

## **Zachmurzenie na obrazach LANDSAT Pomorza Wschodniego w dniu 20 maja 1974 roku**

### **WSTĘP**

Informacje satelitarne dotyczące zjawisk meteorologicznych w Polsce poszerzyły się w związku z uzyskaniem obrazów z satelity ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite), przemianowanego w 1975 roku na LANDSAT (Land Observation Satellite). Celem zobrazowań wykonywanych z pokładu tego satelity jest badanie środowiska przyrodniczego powierzchni Ziemi, a nie atmosfery, do czego służą inne sztuczne satelity Ziemi (TIROS, NIMBUS, ITOS, KOSMOS, METEOR, NOAA, ESSA, ATS, SMS). Niemniej jednak na tych bardzo dokładnych obrazach widoczne są szczegóły zachmurzenia. Porównanie obrazów zachmurzenia w trzech dostępnych w Polsce kanałach MSS (Multispectral Scanner) pozwala nie tylko rozpoznać typ, ale wyciągnąć wnioski dotyczące „gęstości zachmurzenia”, a w powiązaniu z obserwacjami naziemnymi sporządzać mapy rozkładu typów zachmurzenia, a także w przyszłości typów pogodowych w momencie zobrazowania. Powtarzalność zobrazowań wykonywanych przez satelitę LANDSAT (co 18 dni) i możliwość wykonywania dokładnych (w podziale zobrazowania) map typów zachmurzenia pozwalają na uzyskanie danych dotyczących przebiegu tego zasadniczego elementu pogodowego w obszarach pozostających z dala od stałych stacji synoptycznych, czy klimatycznych (tzw. martwe pola). Ma to istotne znaczenie przy opracowywaniu warunków klimatycznych na potrzeby planowania przestrzennego, urbanistyki, rolnictwa i innych potrzeb gospodarczych.

Niniejsza praca ma na celu określenie rodzaju i stopnia zachmurzenia zarejestrowanego 20 maja 1974 roku na obrazach MSS z pokładu LANDSAT, dla Pomorza Wschodniego, w powiązaniu z cyrkulacją europejską i obserwacjami stacji naziemnych. Opracowanie to stanowi wstęp do badań, które na podstawie **analizy** satelitarnego obrazu zachmu-

zenia w dużej podziale pozwolą stworzyć mapy typów pogodowych w skali regionalnej.

Stosowanie metod teledetekcyjnych w meteorologii wprowadzono wraz z pierwszymi eksperymentami w 1960 roku z satelitą Tiros 1. Wraz z ciągłym unowocześnianiem aparatu (Tepper, 1974), ewoluowały systemy zbierania informacji i ostatecznie na stałe zostały wprowadzone do biur synoptycznych całego świata, a także i w Polsce. Stacja Odbioru Danych Satelitarnych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie systematycznie odbiera obrazy w przedziale widzialnym i podczerwonym promieniowania elektromagnetycznego z satelity NOAA, TIROS-N, METEOR, METEOSAT, ESSA. Obrazy skanerowe oraz telewizyjne informują o wyglądzie i stanie górnej powierzchni chmur. Pozwala to przewidywać kierunki, a nawet tempo przemieszczania się układów barycznych, rozpoznawanych po charakterystycznych układach chmur. Materiały te wykorzystywane są łącznie z danymi obserwacji naziemnych i aerologicznych. W Europie są to najczęściej cyklony przesuujące się ku wschodowi z obszaru północnego Atlantyku. Mają one zasadniczy wpływ na kształtowanie się pogody tego kontynentu. Interesujące badania rozwoju i przemieszczania się układów niżowych na podstawie obrazów satelitarnych NOAA i ESSA w latach 1972—1974 wraz z badaniem modyfikującego wpływu barier orograficznych przeprowadzili I. Haupt i U. Katergiannakis (1974). Zdalne — satelitarne sondowanie temperatury troposfery w profilach pionowych do wysokości 18 km, począwszy od ciśnienia 1000 mb do około 100 mb w pobliżu tropopauzy, pozwalają uściślić dane do prognozowania pogody, a także opracowań klimatologicznych. Prace takie prowadzone były między innymi przez satelitę pogodowego Nimbus 5 (Waters, 1974). Obecnie nie tylko odbieranie obrazów satelitarnych ale najtrudniejsza część — przetwarzanie i interpretacja olbrzymiej liczby informacji zawartych w tych obrazach są zautomatyzowane (*Issledovaniya...*, 1975). W wielu ośrodkach stosowane jest przetwarzanie danych za pomocą elektronicznych maszyn cyfrowych.

Spośród bogatej literatury światowej dotyczącej wykorzystywania obrazów i innych informacji satelitarnych na potrzeby meteorologii i klimatologii wspomnieć należy o publikowanych rezultatach kolejnych, corocznych posiedzeń COSPAR (na przykład Space Research XV 1975), materiałach licznych sympozjów naukowych i konferencji (na przykład Proc. 8th Symp. Remote Sensing of Environment, Univ. of Michigan 1972), oraz instrukcje dotyczące korzystania z poszczególnych systemów zbierania meteorologicznych informacji satelitarnych (*The NIMBUS 5 User's Guide*, 1972). Ukazują się także podręczniki dotyczące metod teledetekcji w badaniu środowiska geograficznego, w tym atmosfery. Kompendium wiedzy o klimatologii i meteorologii satelitarnej jest podręcznik E. C. Barretta (1974).

## CHARAKTERYSTYKA OBRAZÓW Z LANDSAT

ERTS 1 wystrzelony został 23 lipca 1972 roku. Krąży on po orbicie kołowej w odległości 915 km od powierzchni Ziemi, z szybkością jednego okrążenia na 103,267 minuty, między 81° szerokości geograficznej północnej i południowej. W ciągu 7 dni wykonuje około 10 000 obrazów. Co 18 dni obrazuje — w tym samym czasie lokalnym — ten sam obszar. Otrzymany obraz skanerowy ma kształt kwadratu o bokach 185 km na powierzchni Ziemi. Rozdzielczość pozioma w terenie wynosi 90 m (Schneider, 1974). Obrazy takie wykonywane są w 6 kanałach promieniowania przez MSS. Ze względów technicznych i użytecznych najpowszechniejsze są 3 kanały.

1. Kanał zielony: 0,5—0,6  $\mu\text{m}$  (oznaczony na zdjęciu numerem 4) — pozwala uchwycić promieniowanie podwodne, rozróżnić skały i grunty w obszarach aridalnych (suchych).

2. Kanał czerwony: 0,6—0,7  $\mu\text{m}$  (oznaczony na zdjęciu numerem 5) daje możliwość śledzenia rozwoju roślinności i sterowania procesami rolniczymi i leśnymi. Ułatwia przegląd lokalnej zabudowy oraz trendów rozwojowych urbanizacji danego regionu. Dzięki niemu można prowadzić badania krajobrazowe, wykrywać turbulancję wodną, znajdować granicę między powierzchnią śnieżną i szatą roślinną, wodną i lądem.

3. Kanał bliskiej podczerwieni: 0,8—1,1  $\mu\text{m}$  (oznaczony na zdjęciu numerem 7) pozwala na ścisłą inwentaryzację zbiorników wodnych i rzek, podaje aktualny stan zdrowia i żywotności roślin uprawnych i lasów (Lyons, 1974).

Poszczególne rodzaje chmur mają różny wygląd na obrazach satelitarnych. Powłokę chmur najłatwiej jest rozpoznać nad powierzchnią wody (we wszystkich pasmach promieniowania), która przybiera kolor jednostajnie szary lub czarny. Wtedy białe obłoki na ciemniejszym tle widoczne są najwyraźniej. Trudniej zaobserwować te zjawiska nad powierzchnią lądu, gdyż tylko chmury o dużej miąższości są identyfikowane bezbłędnie. Natomiast cienkie powłoki mgieł czy chmur *Cirrus* mogą umknąć uwadze interpretatora. Dodatkowym elementem komplikującym obraz mogą być smugi kondensacyjne oraz dymy w regionach zindustrializowanych. Wykorzystanie obrazów LANDSAT w badaniu stanu atmosfery, w tym zachmurzenia, ma już pewną tradycję. W.A. Lyons (1974) zajmował się problemem wykrywania rozmieszczenia i analizą chemicznych zanieczyszczeń atmosfery. Obserwowany był pióropusz dymów przemysłowego kompleksu Chicago — N Indiana. Badając zanieczyszczenia, autor ten rozpoznał i sklasyfikował różne rodzaje chmur widoczne na obrazach LANDSAT. Okazało się, że wzrost ilości dymów i pyłów w atmosferze mimowolnie wpływa na zmianę stanu pogody, przyspieszając rozwój chmur konwekcyjnych typu *Cumulus*.

Inne przykłady podobnych badań atmosfery daje praca: ERTS 1 — *a new window on our planet* (1973). W Polsce, na podstawie obrazów

ERTS 1, wykonano interpretację zanieczyszczeń powietrza dymami w rejonie GOP-u (*Mapy tematyczne*, 1976). Podobnymi zagadnieniami zajmował się J. Walczewski (1976, 1977). Kształty chmur na obrazach LANDSAT badali K. Wiesner i K. Fezer (1979).

Niniejsze opracowanie opiera się na obrazach satelity LANDSAT wykonanych systemem MSS w kanałach 4, 5, 7, dnia 20 maja 1974 roku o godzinie 11<sup>00</sup>. Odbitki fotograficzne tych obrazów w skali 1:500 000 wykonano w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie. Odbitki te są bardziej kontrastowe od oryginalnych obrazów LANDSAT z uwagi na konieczność wykonywania kontrnegatywów, a następnie kopiowania z nich. Kopie wykonano na matowym papierze fotograficznym produkcji zakładu „Foton” o gradacji normalnej. Jakość materiału zdjęciowego w porównaniu z innymi obrazami z terenu Polski była dobra. Przeprowadzono wyłącznie jakościową interpretację wizualną. Zobrazowanie objęło 34 225 km<sup>2</sup>, z czego około 40% przypada na wody Morza Bałtyckiego. Zachodnia granica obrazu biegnie wzdłuż linii: jeziora Gardno, Słupsk, jezioro Wierzchowno. Południowa granica przez Biały Bór, Chojnice, przecina Wisłę na północ od Grudziądza i dociera do Łasina. Granica wschodnia przechodzi przez Jezioro Płaskie, Pasłęk, Braniewo i dalej do Swietłogorska w Litewskiej SRR. Granica północna przecina Bałtyk około 50 km na północ od Rozewia (rys. 1). Na obrazach tych wyraźnie widać zarys linii brzegowej, podkreślonej piaszczystymi plażami, które z wysokości 915 km wyglądają jak białe linie stanowiące wyraźną granicę między ciemną wodą Bałtyku a szarym lądem (fot. 1). Obszary lasów najlepiej widoczne są w kanale 5 (fot. 2). Ciemniejsze plamy lasów charakterystyczne są dla południowej części omawianego obszaru między Białym Borem, Bytowem, Kościerzyną, Grudziądem i w rejonie Tucholi. Wysoczyzny morenowe Pojezierza Pomorskiego, Żuławy Wiślane oraz zachodnia część Pojezierza Mazurskiego to obszar pól uprawnych i łąk. Są one znacznie jaśniejsze od otaczających je lasów. W kanale 7 (fot. 3) można rozróżnić prostokąty bloków pól uprawnych i łąk o różnych odcieniach szarości, co świadczy o zróżnicowaniu upraw. Wśród pól i lasów wyraźnie odcinają się, szczególnie w kanale 7, czarne zbiorniki wodne oraz wstęgi rzek. Na fot. 3 można rozpoznać większe obszary zabudowane — miasta, które wyróżniają się jako ciemniejsze plamy. Łatwo rozpoznać można Słupsk, Elbląg, Tczew, Malbork. Trójmiasto nie jest widoczne z uwagi na przesłaniające je chmury.

## CHARAKTERYSTYKA OBRAZU ZACHMURZENIA

Pełny obraz zawartości skondensowanej pary wodnej, szczególnie chmur, występuje w kanale 4 (fot. 1). Czytelność zobrazowania chmur jest większa nad jednolitą powierzchnią wodną Bałtyku. Chmury ukła-

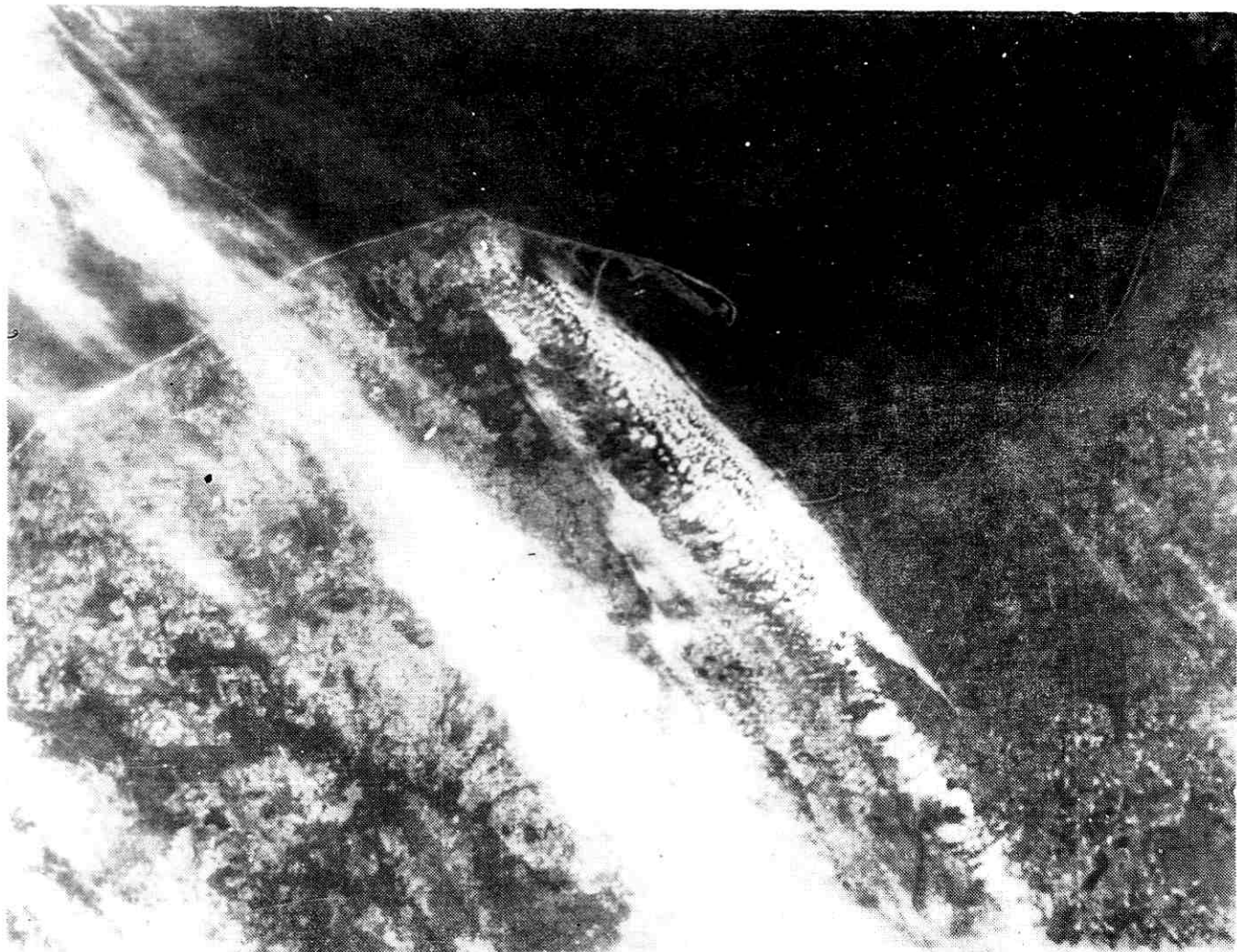
dają się w szereg równoległych do siebie pasm o przebiegu NW-SE. Wyraźnie widać strukturę tych obłoków. Idąc z SW ku NE natrafiamy na dwa pasma chmur pierzastych o strukturze włóknistej w kształcie oddzielonych wąskich pasm lub małych ławic (fot. 1 — SW część zdjęcia). Ta porozdzielana „cienka zasłona chmur składająca się z prawie prostolinijnych albo mniej lub bardziej zakrzywionych włókien, które jednak nie są zakończone haczykami” jest identyfikowana jako chmury *Cs fibratus* (Międzynarodowy Atlas Chmur, 1956). Patrząc na nie z góry, widać pod nimi zarys rzeźby terenu. Drugie pasmo chmur *Cirrus* jest znacznie cieńsze i przechodzi ono w wyraźną ławicę chmur o przebiegu NW-SE, prawie po przekątnej obrazu. Charakterystyczne jest, że miąższość tego płata wzrasta ku SE przesłaniając całkowicie zarysy powierzchni ziemi w swej środkowej i południowej części (między Kartuzami i Skurczą). Jedynie NE i SW obrzeżenia oraz NW część pasma (nad Morzem Bałtyckim po wysokość Wejherowa) posiadają strukturę włóknistą i to uporządkowaną w równoległe do siebie smugi. Główny jednak trzon chmur jest bezstrukturalny, o barwie szarej, dużej spoistości i gęstości. Przy obserwacjach naziemnych pasma takie przysłaniają słońce. Chmury te możemy sklasyfikować jako *Cs fibratus* i *Ci radiatus* w części NW i *Ci spissatus* w części środkowej i południowej. Kolejnym pasmem jest delikatnie zarysowana warstwa *Cirrocumulusów* „złożona z bardzo małych członów w kształcie ziaren, zmarszczek oddzielonych od siebie i ułożonych mniej lub bardziej regularnie” (Międzynarodowy Atlas Chmur, 1956). W części południowej (na S od Pruszcza Gdańskiego) jest to gatunek *Cc flocus*, w części północnej (na W od Gdańska) *Cc stratiformis*. Idąc dalej ku NE napotykamy wyraźnie zaznaczoną strefę białych *Alto-cumulusów*, składającą się z „płatów, zokrąglonych brył, walców połączonych lub oddzielonych od siebie, uporządkowanych dość regularnie” (Międzynarodowy Atlas Chmur, 1956). Między pojedynczymi obłokami prześwituje powierzchnia łąd lub morza (nad Zatoką Gdańską). W części południowej *Ac* są bardziej rozbudowane, mają większą rozciągłość poziomą. Wchodzą one pod warstwę *Ci* z gatunku *spissatus*. Północna część ma delikatniejszą budowę i można ją zaliczyć do odmiany *Ac translucidus* (nad Żuławami Wiślanymi). Ostatnie na wschodzie pasmo *Cirrusów*, przebiegające w większej swej części nad Morzem Bałtyckim, zbudowane jest z pojedynczych, równoległych do siebie wstęg o strukturze włóknistej. Jego miąższość jest niewielka i staje się ono zupełnie niewidoczne na obrazie w kanale 7. W części środkowej ławicy (na E od Mierzei Helskiej) wyraźne jest ułożenie pojedynczych pasemek o niewielkich zgrubieniach o przebiegu równoległym do głównych pasm. Można je zaklasyfikować do gatunku *Ci uncinus*, gdyż posiadają one haczykową budowę, pozostała powierzchnia stanowi cienką zasłonę chmur *Cs fibratus*, składających się z „prawie prostolinijnych albo mniej lub bardziej nieregularnie zakrzywionych włókien, które jednak nie są za-

kończone haczykami lub klaczkami” (*Międzynarodowy Atlas Chmur*, 1956).

Kanał 5, a bardziej jeszcze kanał 7 pozwalają sądzić o miąższości ławicy chmur. Interpretacja wizualna nie pozwala na określenie miąższości i pułapu obserwowanego zachmurzenia. Zastosowanie nowoczesnych metod przetwarzania obrazów z różnych kanałów na przeglądarce lub kopiarce addytywnej umożliwiłoby wnioskowanie o tych parametrach. Niemniej jednak w porównaniu z klasycznymi metodami oceniania rodzajów zachmurzenia na podstawie naziemnych obserwacji wizualnych, analiza obrazów satelitarnych daje wyniki dokładniejsze i bardziej obiektywne. Wnioskując z obrazu w kanale 7, największe miąższości ławicy *Cirrusów* występują w rejonie na południowy zachód od Wejherowa i dalej w kierunku południowo-wschodnim w okolicy Kartuz, Skórczu i Grudziądza.

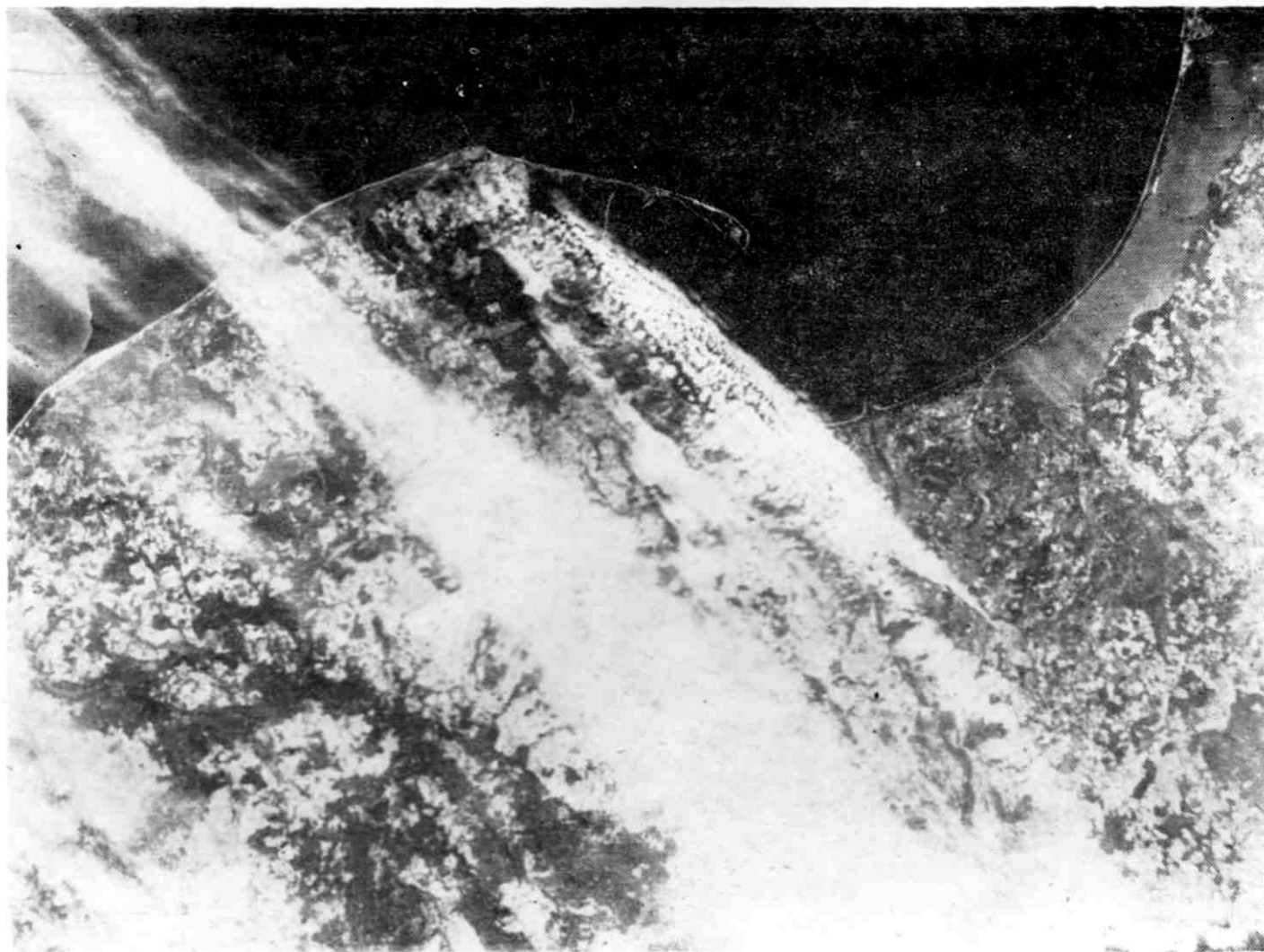
## SYTUACJA POGODOWA W POLSCE W DNIACH 19—21 MAJA 1974 ROKU

Aby w pełni poznać genezę oraz związek zobrazowanego zachmurzenia z cyrkulacją atmosferyczną w Europie, prześledzono rozwój sytuacji pogodowej w Polsce na tle informacji z Europy, na podstawie Biuletynów Synoptycznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z 19, 20 i 21 maja 1974 roku. 19 maja przeważała w Polsce cyrkulacja północno-zachodnia. Było „bezczmurnie lub zachmurzenie małe, tylko przejściowo na wschodzie kraju większe. Temperatura maksymalna wynosiła od 14°C w Ustce do 22—25°C na pozostałym obszarze i 27°C w Toruniu, a minimalna od 1°C w Lęborku do 12°C w Zielonej Górze. Wiatry były słabe i umiarkowane” (Biuletyn z 19 V 1974 r.). Europa środkowa i północna znajdowała się pod wpływem układów wysokiego ciśnienia z centrami nad Skandynawią i środkowym Atlantykiem. Łączą się one izobarami 1020 mb. Na zachód i wschód od tej strefy rozbudowały się dwa silne układy niżowe: nad północnym Atlantykiem (970 mb) i europejską częścią Związku Radzieckiego (985 mb). Od zachodu przesunął się południkowo przebiegający (między 50° a 74° szerokości geograficznej północnej) front zokludowany, rozdzielający powietrze polarno-morskie od mas polarno-kontynentalnych i arktycznych na wschodzie. 20 maja 1974 roku pogoda w Polsce uległa nieznacznym zmianom. „Zachmurzenie było małe i umiarkowane, po południu i w nocy w zachodniej połowie kraju wzrastające do dużego, lokalnie wystąpiły przelotne opady i burze. Temperatura maksymalna wynosiła od 14°C w Suwałkach i miejscami na Wybrzeżu do 24°C w Szczecinie i Słubicach, a minimalna od -2°C w Suwałkach i Białymstoku do 12°C w Opolu. Wiatry były słabe i umiarkowane z kierunków północnych” (Biuletyn z 20 V 1974 r.).



Fot. 1. Zobrazowanie Pomorza Wschodniego wykonane z pokładu satelity ERTS-1 20 maja 1974 roku o godzinie 11 w kanale zielonym (0,5—0,6  $\mu\text{m}$ ) — MSS 4

Phot. 1. The image of East Pomerania Taken from ERTS-1 Satellite on May 20, 1974 at 11 a.m. in Green Band (0,5—0,6  $\mu\text{m}$ ) — MSS 4



Fot. 2. Zobrazowanie Pomorza Wschodniego wykonane z pokładu satelity ERTS-1 20 maja 1974 roku o godzinie 11 w kanale czerwonym (0,6—0,7  $\mu\text{m}$ ) — MSS 5

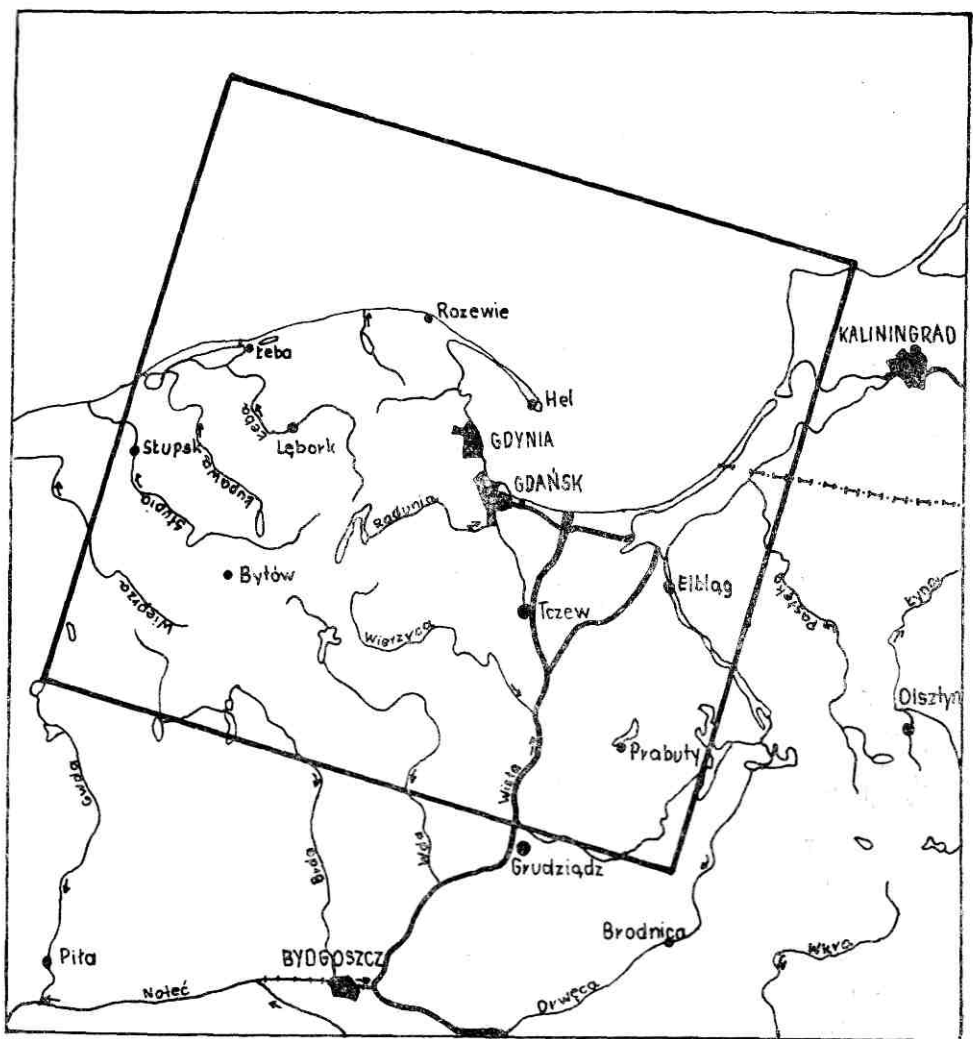
Phot. 2. The image of East Pomerania Taken from ERTS-1 Satellite on May 20, 1974 at 11 a.m. in Red Band (0,6—0,7  $\mu\text{m}$ ) — MSS 5





Fot. 3. Zobrazowanie Pomorza Wschodniego wykonane z pokładu satelity ERST-1 20 maja 1974 roku o godzinie 11 w kanale bliskiej podczerwieni (0,8—1,1  $\mu\text{m}$ ) — MSS 7

Phot. 3. The image of East Pomerania Taken from ERTS-1 Satellite on May 20, 1974 at 11 a.m. in Light Red Band (0,8—1,1  $\mu\text{m}$ ) — MSS 7



Rys. 1. Granice i powierzchnia zobrazowania satelity ERTS-1 z 20 maja 1974 roku, godzina 11<sup>00</sup>.

Fig. 1. The boundaries and area photographed by ERTS-1 satellite on May 20, 1974 at 11 a.m.

W sytuacji barycznej zmienił się układ strefy wysokiego ciśnienia, która została przerwana w rejonie Kopenhagi. Tutaj dotarł wspomniany poprzednio front zokludowany, wkraczający o godzinie 12 GMT w granice Polski (rys. 2). Oba ośrodki niżowe wypełniły się nieco. 21 maja nastąpiła zmiana typu pogody. „Zachmurzenie było duże z większymi przejaśnieniami. Miejscami przelotne opady i lokalne burze. Temperatury maksymalne: 12°C w Łodzi do 19°C w Słubicach, Szczecinie i Lesznie, temperatury minimalne od 3°C w Koszalinie do 12°C w Mikołajkach. Wiatry były słabe i umiarkowane z kierunków północno-zachodnich i zachodnich” (Biuletyn z 21 V 1974 r.). W Europie zaznaczył się wyraźny spadek gradientów barycznych (wyżej uległy spłyceciu, a niżej wypełnieniu). Uformował się układ dwóch ośrodków ciśnienia: niż na wschodzie i wyż na zachodzie. Przez Polskę przeszedł front zokludowany, dając spadek ciśnienia i temperatur, wzrost zachmurzenia i opadów, zmianę kierunków wiatru. Napłynęło stare powietrze polarne. Tuż za frontem zokludowanym (w odległości 350 km) nasuwał się front chłodny. Dnia 20 maja 1974 roku rozpoczęła się zmiana pogody z typu 21 na typ 13. Znaczy to, że temperatura będąca w normie zmieniała się na poniżej normy. Opady ze stanu poniżej normy przeszły w stan powyżej normy. Kierunek cyrkulacji pozostał ten sam. Zmianie uległ tylko jej typ z wyżowej na niżową. Normy dla poszczególnych parametrów meteorologicznych ustalono na podstawie danych z okresu 60 lat dla Warszawy (L i t y ń s k i, 1973).

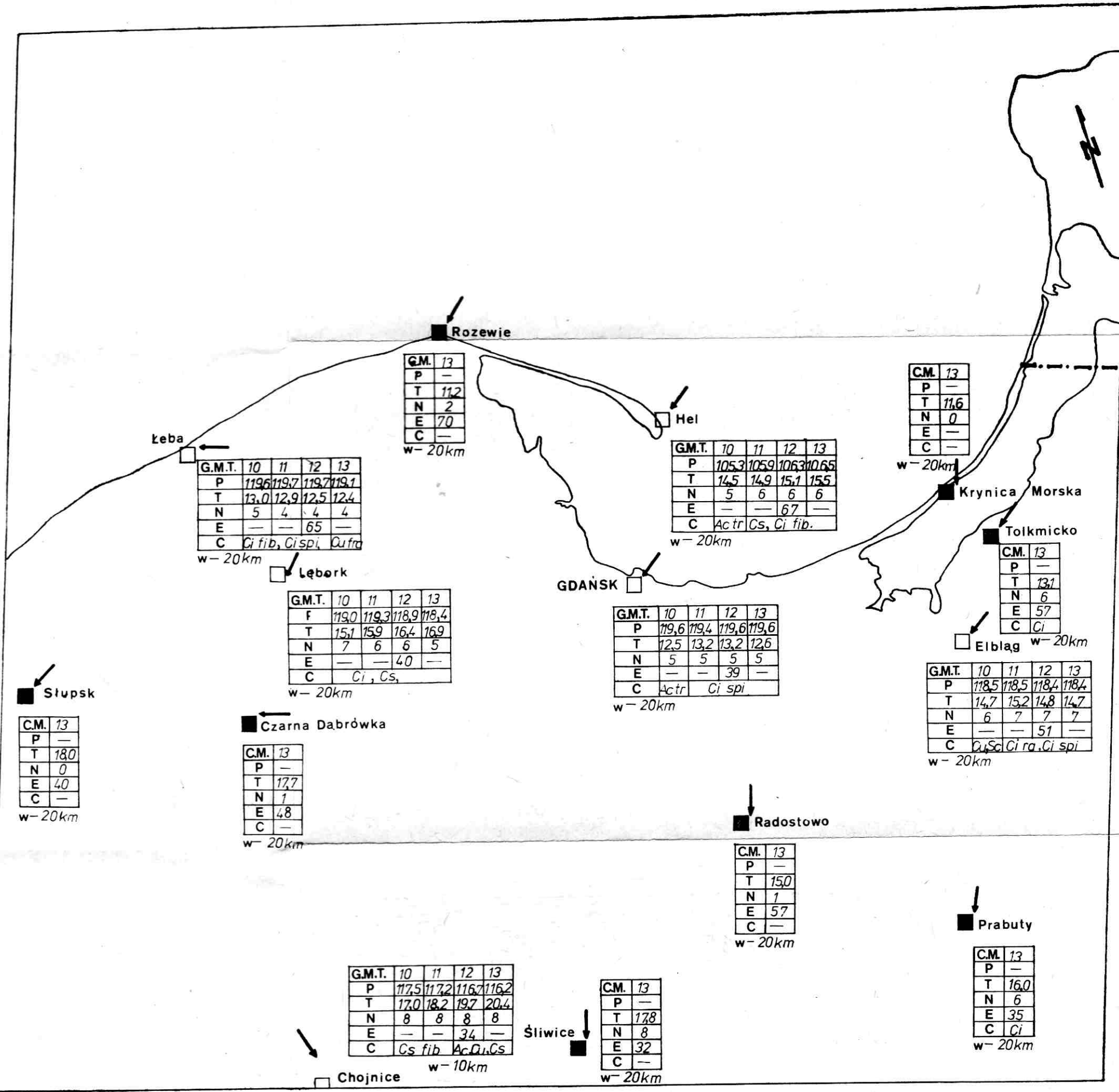
Zobrazowane zachmurzenie nad Pomorzem Wschodnim wiązać należy ze zbliżającym się frontem zokludowanym. Obserwacje naziemne potwierdzają w szczególności opisaną poprzednio sytuację pogodową. Na omawianym obszarze znajduje się sześć stacji synoptycznych: Łeba, Lębork, Chojnice, Hel, Gdańsk i Elbląg. Podają one dane z obserwacji godzinnych w czasie GMT. Pracuje tutaj także osiem posterunków klimatologicznych prowadzących obserwacje w trzech terminach czasu miejscowego: Słiwice, Tolkmicko, Radostowo, Krynica Morska, Słupsk, Rozewie, Czarna Dąbrówka i Prabuty (rys. 3). Obserwacje z tych stacji potwierdzają występowanie zachmurzenia. W Łebie o godzinie 10 GMT występowały chmury *Cirrus fibratus* i *Cirrus spissatus*, w Lęborku *Cirrus* i *Cirrostratus*, w Chojnicach *Cirrostratus fibratus*, na Helu *Cirrostratus*, *Cirrus fibratus* i *Alto cumulus translucidus*, w Gdańsku *Cirrus spissatus* i *Alto cumulus translucidus*. W Tolkmicku i Prabutach *Cirrus*. Wielkość zachmurzenia wahała się od 0° (Krynica Morska, Słupsk), poprzez 1° (Radostowo, Czarna Dąbrówka), 2° (Rozewie), 4°, 5° i 6° (Elbląg, Prabuty, Tolkmicko, Gdańsk, Hel, Lębork, Łeba), do 8° (Słiwice, Chojnice) — w skali dziesięciostopniowej. Temperatury wahały się w granicach 11,2°C (Rozewie) — 18°C (Słupsk) o godzinie 13<sup>00</sup> czasu miejscowego, osiągając w godzinach popołudniowych 20,4°C (Chojnice). Ciśnienie baryczne wykazywało tendencję spadkową mniej lub bardziej równomierną z pozio-

mu około 1020,8 mb (godzina 0 czasu GMT) do 1017,7 mb (godzina 24 czasu GMT — Łębork). Przeważającym kierunkiem wiatru był północno-wschodni (Rozewie, Hel, Gdańsk, Tolkmicko, Elbląg, Prabuty, Słupsk, Łębork), północny (Radostowo, Krynica Morska), wschodni (Czarna Dąbrówka). Są to dane z godziny 12 GMT ze stacji synoptycznych i z godziny 13 czasu miejscowego z posterunków klimatologicznych. Wiatry te odznaczały się niewielkimi prędkościami 0—5 m/s, można je więc zaliczyć do wiatrów słabych i bardzo słabych (według klasyfikacji L. Bartnickiego, 1930). Taka sytuacja panowała do wysokości 1,5 km nad poziomem morza, powyżej wiatry zmieniały kierunek na północno-zachodni, zwiększając też swą siłę, osiągając na wysokości 4 km prędkość ponad 15 m/s, na poziomie 10,5 km powyżej 26 m/s (rys. 4). Podobna sytuacja zanotowana została we Wrocławiu. Warto także zwrócić uwagę na wartości temperatur. Zarówno w Legionowie, jak i we Wrocławiu notowany był równomierny spadek temperatur od +20°C (godzina 12 GMT) do -60°C na wysokości 11 km, dopiero od tego poziomu temperatury stopniowo wzrastały do -50°C na wysokości 14 km. Pojawia się tutaj wpływ wycinka ciepłego frontu zokludowanego.

Na badanym obszarze notowano bardzo niskie wartości wilgotności względnej — poniżej 50% (Słupsk 40%, Czarna Dąbrówka 48%, Chojnice 34%, Gdańsk 39%, Prabuty 35%) i duże wartości niedosytu wilgotności (Śliwice 13,8 mb, Radostowo 11,5 mb, Słupsk 12,4 mb, Czarna Dąbrówka 11,9 mb). Jedynie stacje na wybrzeżu notowały większe wartości wilgotności względnej, związane z sąsiedztwem powierzchni wodnej (Rozewie 70%, Tolkmicko 57%) i mniejszy niedosyt wilgotności (Rozewie 4 mb, Tolkmicko 6,6 mb). Świadczy to o dużej suchości powietrza arktycznego.

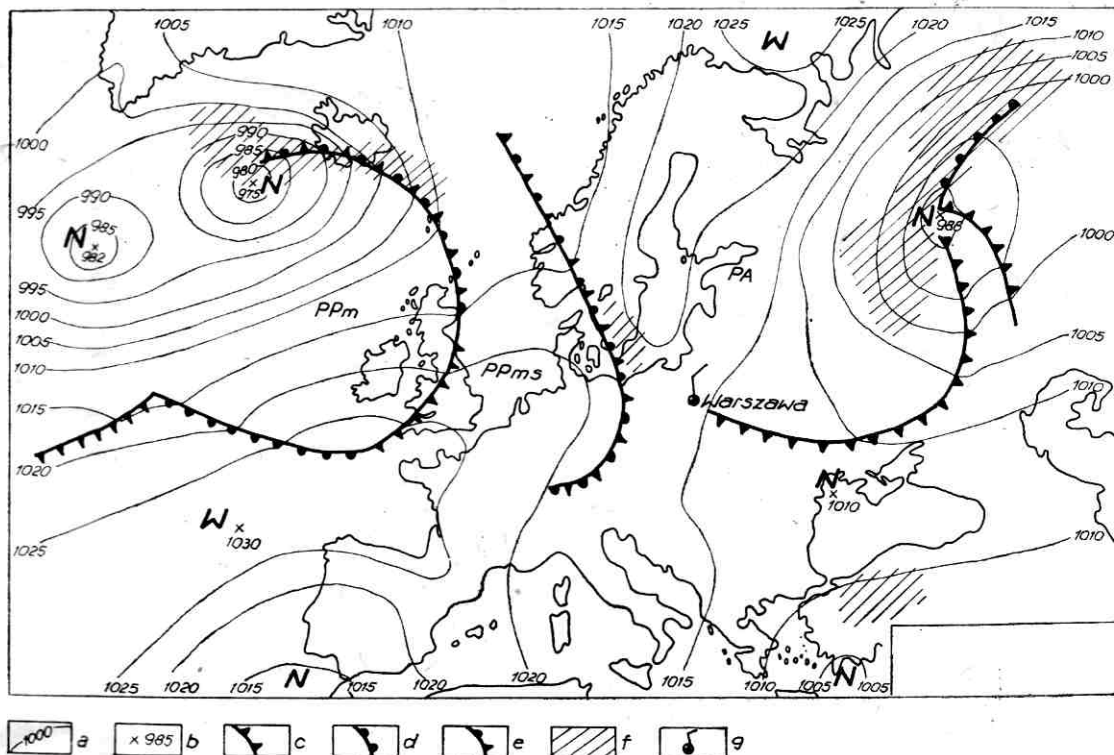
## WYNIKI

Dane z Biuletynów Meteorologicznych IMGW oraz obserwacje naziemne w pełni uzupełniają oraz wyjaśniają genezę zobrazowanych chmur. Utworzone one zostały w strefie frontalnej pomiędzy masami powietrza arktycznego, którego charakterystykę zawierają obserwacje naziemne z Pomorza Wschodniego, a masami powietrza polarno-morskiego przemieszczającymi się wraz z wyraźnym układem niżowym w formie zokludowanego wycinka ciepłego. Charakter rozpoznanych na obrazie satelitarnym chmur w pełni pokrywa się z danymi obserwacji naziemnych. Zobrazowane zachmurzenie jest zatem typowym przykładem ilustrującym sekwencje rodzajów chmur we froncie zokludowanym o charakterze ciepłym, przemieszczającym się nad nagrzane podłoże w okresie wiosennym. Strefa najwyższych chmur typu *Cirrus* wyprzedza front zokludowany o około 500 km.



Rys. 3. Dane meteorologiczne zanotowane na stacjach synoptycznych o godzinie 10<sup>00</sup>, 11<sup>00</sup>, 12<sup>00</sup>, 13<sup>00</sup> czasu GMT oraz na posterunkach klimatologicznych o godzinie 13<sup>00</sup> czasu miejscowego:  
 a — stacje synoptyczne, b — posterunki klimatologiczne, c — kierunki wiatrów dolnych obserwowanych o godz. 13<sup>00</sup> czasu miejscowego na posterunkach klimatologicznych i o godzinie 12<sup>00</sup> czasu GMT na stacjach synoptycznych. CM — czas miejscowy, GMT — Greenwich Mean Time, P — ciśnienie, T — temperatura, N — zachmurzenie, E — wilgotność względna, C — rodzaj chmur, w — widzialność pozioma dzienna, Ci — Cirrus, Cs — Cirrostratus, Ci fib — Cirrus fibratus, Ci spi — Cirrus spissatus, Ci ra — Cirrus radiatus, Ac — Altopcumulus, Ac tr — Altopcumulus translucidus, Cu — Cumulus, Cu fra — Cumulus fractus

Fig. 3. Meteorological data recorded in synoptic stations at 10 and 11 a.m., 12 and 1 p.m. GMT, and the data recorded in climatological posts at 1 p.m. local time:  
 a — synoptic stations, b — climatological posts, c — lower wind directions observed in climatological posts at 1 p.m. local time and those observed in synoptic stations at 12 o'clock GMT. CM — local time, GMT — Greenwich Mean Time, P — pressure, T — temperature, N — cloudiness, E — relative humidity, C — types of clouds, w — horizontal visibility during a day



Rys. 2. Mapa synoptyczna dolna z godziny 12<sup>00</sup> GMT 20 maja 1974 roku:

a — izobary prowadzone co 5 milibarów, b — położenie i wartości ciśnienia powietrza w środku układu, c — front chłodny, d — front ciepły, e — front zokludowany, f — strefa opadów ciągłych, g — położenie stacji Warszawa: zachmurzenie 7°—8° (w skali dziesięciostopniowej), wiatry północne o prędkości 4—6 m/s, W — ośrodek wysokiego ciśnienia, N — ośrodek niskiego ciśnienia, PPm — powietrze polarno-morskie, PPms — powietrze polarno-morskie stare, PA — powietrze arktyczne

Fig. 2. Lower weather chart made at 12 o'clock GMT on May 20, 1974:

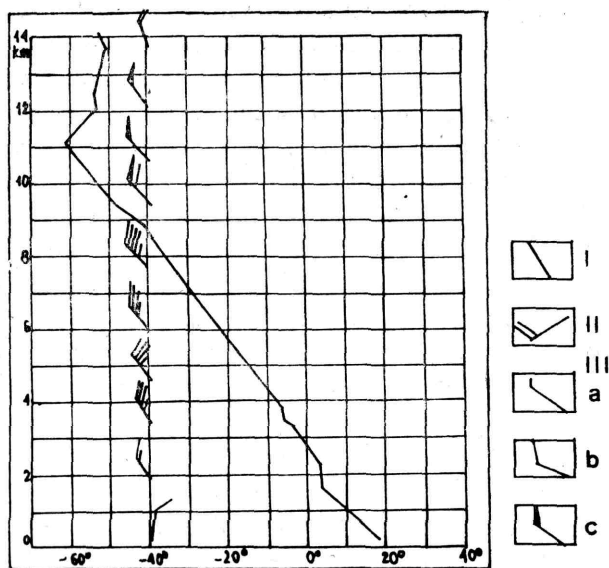
a — isobars drawn every 5 millibars, b — arrangement of air pressure its values in the centre of the pressure system, c — cold front, d — warm front, e — occluded front, f — area of constant rainfall, g — site of the Warszawa station: cloudiness of 7°—8° (in the 10 degrees scale), northern winds in the speed of 4—6 m/s, W — centre of high pressure, N — centre of low pressure, PPm — polar maritime air, PPms — old polar maritime air, PA — polar air

Rys. 4. Dane areologiczne dla Legionowa z godziny 12<sup>00</sup> czasu GMT, dnia 20 maja 1974 roku:

I — wykres temperatury powietrza, II — kierunek wiatru — tak jak na mapach synoptycznych dolnych, III — prędkość wiatru; a — 1,5–3,5 m/s, b — 4–6 m/s, c — 24–26 m/s

Fig. 4. Areological data in Legionowo at 12 o'clock GMT on May 20, 1974

I — graph of air temperature, II — wind direction — the same as in the lower synoptic maps, III — wind speed: a — 1,5–3,5 m/s, b — 4–6 m/s, c — 24–26 m/s



Słabe wiatry dolne charakterystyczne są dla niezbyt intensywnego siodła wyżowego pomiędzy wyżem skandynawskim i bardzo słabym wyżem środkowoeuropejskim. Są one jednak, generalnie biorąc, zgodne z układem pasm chmur. Kierunki wiatrów górnych obserwowanych aerologicznie w Legionowie i we Wrocławiu wyraźnie nawiązują do przebiegu pasm *Cirrusów*. Można zatem wnioskować o kierunkach wiatrów górnych na podstawie układu i struktury chmur, rodzajów *Cirrusów* (rys. 5). Wnioski z obserwacji naziemnych w różnych terminach pozwalają stwierdzić, że przemieszczanie pasm chmur odbywało się — ogólnie rzecz biorąc — z zachodu na wschód, czyli pod kątem prostym do przebiegu stref zachmurzenia i kierunków wiatrów. Geneza *Alto cumulusów* w rejonie Gdańska związana jest zapewne z rozwojem konwekcji nad nagrzaną powierzchnią lądu (intensywna radiacja w przezroczystych masach powietrza arktycznego), gdzie poprzednio rozwinęły się chmury z rodzaju *Cumulus* i przeszły transformację w *Alto cumulus*. Przemawia za tym także większa miąższość tych chmur we wspomnianym rejonie.

Analiza obrazu satelitarnego w trzech kanałach oraz powiązanie jej z danymi obserwacji naziemnych pozwoliło na wykreślenie mapy zachmurzenia Pomorza Wschodniego dnia 20 maja 1974 roku o godzinie 11<sup>00</sup> (rys. 5). Wydzielono tam siedem stref zachmurzenia. Przeważają chmury typu *Cirrostratus* i *Cirrus* o różnej gęstości, występuje także *Cirrocumulus* i *Alto cumulus*. Środkowa część omawianego obszaru wzdłuż przekątnej zobrazowania) zajęta jest przez chmury *Cirrostratus*, które całkowicie przysłaniają powierzchnię Ziemi we wszystkich kanałach (wydzielenie „a” — rys. 5). Ku północnemu wschodowi i południowemu zachodowi ławica ta wyraźnie zmniejsza swą grubość, tworząc jednak na-

dal dosyć gęstą formację chmur, spod której widoczne są już niektóre szczegóły powierzchni Ziemi (szczególnie w kanale 7). Następne wydzielenie („c” — rys. 5) obejmuje chmury *Cirrostratus*, przez które widać wiele szczegółów powierzchni Ziemi. Są one słabo widoczne w kanale 7 i ku południowemu wschodowi przechodzą w *Cirrocumulusy*. Natomiast wzdłuż linii Rozewie—Gdańsk—Prabuty biegnie strefa chmur piętra średniego — *Alto cumulus*, o dużej rozciągłości pionowej, przysłaniająca we wszystkich kanałach szczegóły powierzchni Ziemi. Równoległe do wymienionych pasm, nad Bałtykiem aż po Krynicę Morską i Tolkmicko, rozciąga się najdelikatniejsza zasłona *Cirrostratusów* i *Cirrusów* z gatunku *uncinus*, która jest zupełnie niewidoczna w kanale 7 i słabo zaznaczająca się w kanale 5. Analiza mapy zachmurzenia oraz danych naziemnych pozwoliła na wykreślenie profilu pionowego troposfery wzdłuż przekątnej zobrazowania, prostopadle do głównego przebiegu pasm chmur (rys. 6), z wyraźnie zaznaczoną powierzchnią frontalną oraz układem poszczególnych rodzajów chmur.

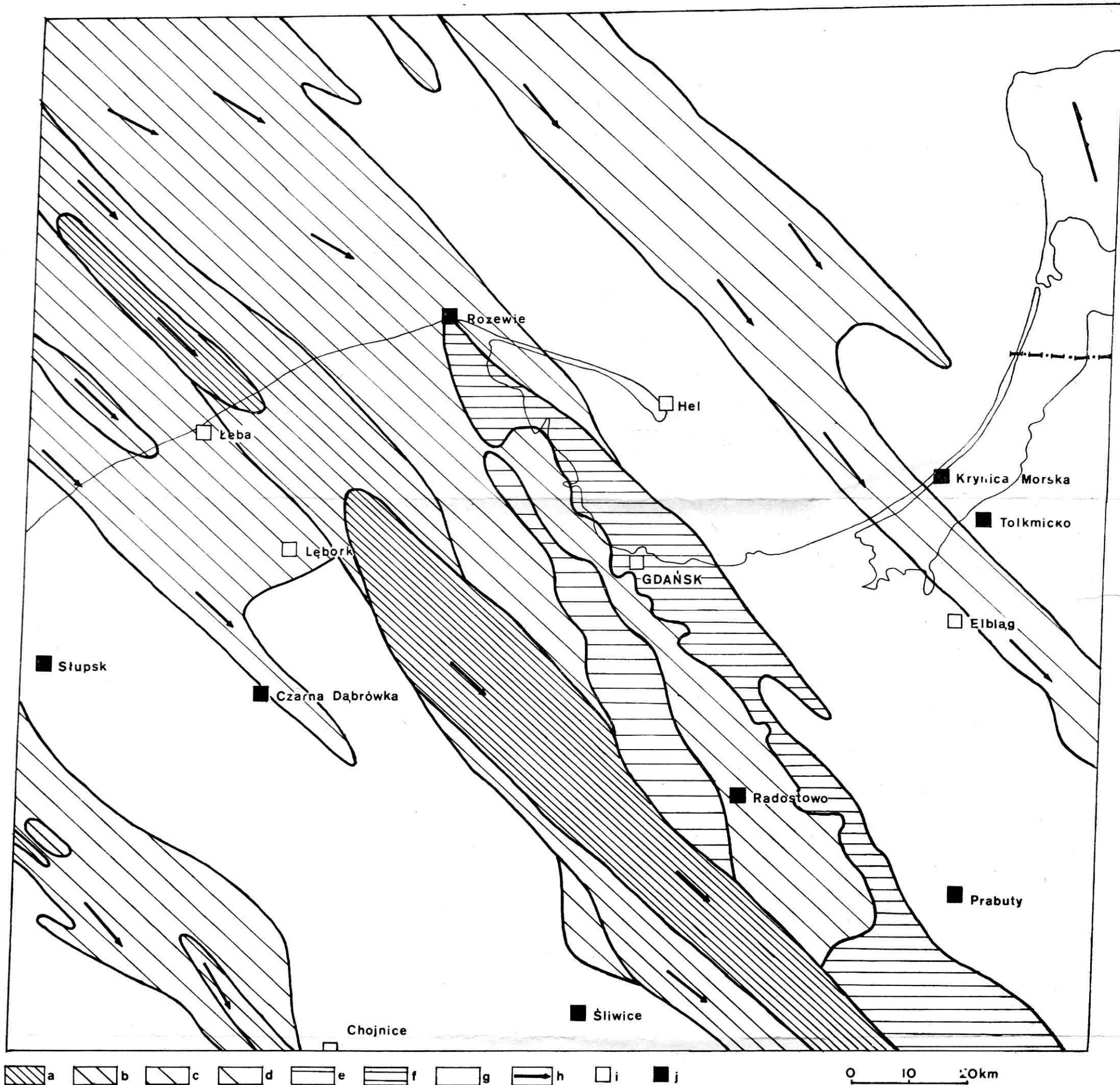
Zdjęcia LANDSATA porównane zostały z obrazami satelity NOAA 3 (National Oceanic and Atmospheric Administration) otrzymywanymi przez Stację Odbioru Danych Satelitarnych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie. Obrazy te są w znacznie mniejszej skali. Powierzchnia Polski zajmuje na nich kilka centymetrów kwadratowych. Zdolność rozdzielcza jest ponad dziesięciokrotnie mniejsza niż na zdjęciach LANDSAT. Poza tym odbitki wykonano na papierze elektroczułym. Są więc znacznie gorszej jakości. Niemniej jednak można stwierdzić brak zachmurzenia nad całym obszarem Polski w dniu 19 maja 1974 roku, nasuwającą się ławicę chmur o przebiegu NW-SE 20 maja 1974 roku oraz całkowite zachmurzenie 21 maja 1974 roku. Zinterpretowanie drobniejszych szczegółów rozwoju zachmurzenia było niemożliwe ze względu na złą jakość techniczną odbitek oraz ich małą podziałkę.

Te informacje pozwalają przypuszczać że na podstawie przeanalizowanych w podobny sposób obrazów z różnych terminów, różnych typów cyrkulacji możliwe jest bardzo dokładne scharakteryzowanie przebiegu w czasie i przestrzeni zmian typów pogody. Wykorzystanie w takich szerzej zakrojonych badaniach metody interpretacji pomiarowej: profilowania mikrofotometrycznego czy techniki fotograficznej Agfa-Contur, lub też praca na przegładarce addytywnej wraz z przetwarzaniem informacji za pomocą ETO, pozwoli stworzyć dokładny model stosunków klimatycznych wszystkich regionów Polski.

## WNIOSKI

Zachmurzenie jest jednym z podstawowych elementów meteorologicznych. Wpływa ono w decydujący sposób na dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi, jak również warunkuje wielkość wypromienio-



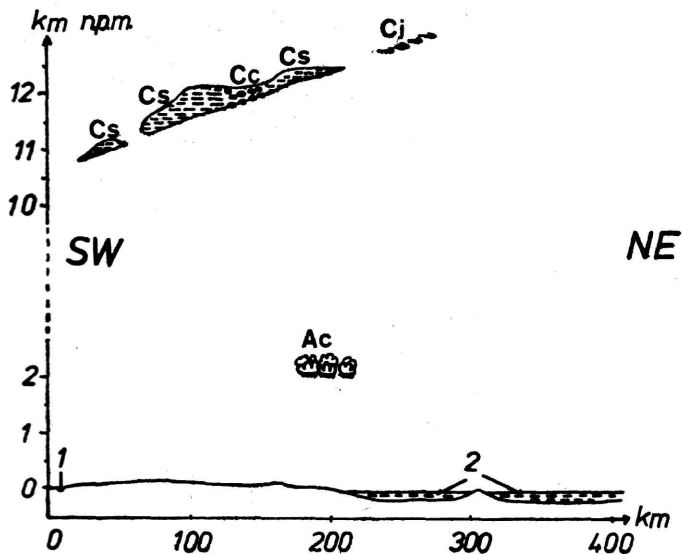


Rys. 5. Mapa zachmurzenia nad Pomorzem Wschodnim dnia 20 maja 1974 roku o godzinie 11<sup>00</sup>, wykonana na podstawie analizy zobrażenia LANDSAT w kanałach 4, 5 i 7:

a — obszar występowania gęstej formacji chmur *Cirrostratus* — przysłaniają całkowicie powierzchnię ziemi we wszystkich kanałach zobrażenia, b — obszar występowania dosyć gęstej formacji chmur *Cirrostratus*, przez które widoczne są niektóre szczegóły powierzchni ziemi, szczególnie w kanale 7, c — obszar występowania cienkiej lawicy chmur *Cirrostratus*, przez które widać wiele szczegółów powierzchni ziemi (słabo widoczne w kanale 7), d — delikatna zasłona chmur *Cirrostratus* i *Cirrus uncinus* niewidoczna w kanale 7 i słabo zaznaczająca się w kanale 5, e — lawica chmur *Cirrocumulus* o strukturze ziarnistej (widoczna we wszystkich kanałach), f — strefa występowania chmur typu *Alto-cumulus* o znacznej rozciągłości pionowej (przysłaniają szczegóły powierzchni ziemi we wszystkich kanałach), g — strefa bezchmurna, h — kierunki wiatrów górnych zgodne ze strukturą chmur *Cirrus* i *Cirrostratus*, i — miejscowości w których występują stacje synoptyczne, j — miejscowości w których występują posterunki klimatologiczne

Fig. 5. Map of the cloudiness in East Pomerania on May 20, 1974 at 11 a.m., the map is based on the analysis of LANDSAT images taken in the bands: 4, 5, 7:

a — area of dense formation of *Cirrostratus* clouds — the clouds covered the entire face of the earth in all bands, b — area of no more dense formation of *Cirrostratus* clouds — the clouds no covered all the entire face of the earth, specially in band 7, c — area of no dence formation of *Cirrostratus* clouds, over the clouds visibilited lot of areas on the earth (but no in band 7), d — area of formation of *Cirrostratus* and *Cirrus uncinus* clouds — the clouds arn't visibilited on images in band 5 and 7, e — formation of *Cirrocumulus* clouds in glanular structure (visibilited in all bands), f — area of formation of thick *Alto-cumulus* clouds — the clouds covered all the entire face of the earth in all bands, g — area without clouds, h — the upper winds direction in accordance with *Cirrus* and *Cirrostratus* clouds structure, i — locality of the synoptic stations, j — locality of the climatologic posts



Rys. 6. Przekrój pionowy przez troposferę prowadzony z południowego zachodu na północy wschód wzdłuż przekątnej zobrazowania LANDSAT z dnia 20 maja 1974 roku o godzinie 11:

1 — dolina Noteci, 2 — Morze Bałtyckie, Ci — Cirrus uncinus, Cs — Cirrostratus, Cc — Cirrocumulus, Ac — Alto cumulus

Fig. 6. Vertical section through the troposphere led SW-NE along the diagonal lines of LANDSAT image taken on May 20, 1974 at 11 a.m.:

1 — Noteć valley, 2 — Baltic Sea, Ci — Cirrus uncinus, Cs — Cirrostratus, Cc — Cirrocumulus, Ac — Alto cumulus

wania i wartość promieniowania efektywnego. Do niedawna analizowano zachmurzenie, biorąc za punkt wyjścia obserwacje naziemne. Dzięki zobrazowaniom LANDSAT w dużej skali uzyskano nowy materiał pozwalający szczegółowo analizować powłokę chmur. Dokładne poznanie zachmurzenia na obrazach satelitarnych daje możliwość wyciągnięcia daleko idących wniosków dotyczących sytuacji pogodowych, typu klimatu, a nawet zmian klimatycznych (O t t e r m a n, 1976).

Niniejsze opracowanie pozwala natomiast na stwierdzenie, że:

- Zobrazowania LANDSAT powstają zbyt rzadko (obecnie co 9 dni dla tego samego terenu), by stanowić wyłączny materiał do opracowań zachmurzenia w skali regionalnej. Niezbędne jest prowadzenie obserwacji naziemnych, a także małoskalowych zobrazowań z satelitów pogodowych (na przykład NOAA) z czasu pomiędzy obrazami LANDSAT.
- Obrazy satelity NOAA nie mogą stanowić podstawowego materiału w interpretacji zachmurzenia w skali regionalnej ze względu na zbyt małą podziałkę. Z uwagi na wielokrotność zobrazowań w ciągu doby są one najlepszym źródłem informacji o stanie pogody w skali makro (na przykład dla całej Europy).
- Możliwa jest obiektywizacja i weryfikacja subiektywnych obserwacji zachmurzenia. Istnieją duże różnice w polu widzenia obserwatora i obrazu LANDSAT. Obserwator na ziemi widzi chmury piętra wysokiego w promieniu 184 km, lecz zdolny jest do dokładnej obserwacji tylko tego, co dzieje się bezpośrednio nad nim. Chmury znajdujące się w pobliżu horyzontu są w dużej mierze zniekształcone. Satelita natomiast obrazuje kwadrat o boku 185 km (na ziemi), prostopadłe do jej powierzchni, dając tym samym bardziej obiektywny obraz. Obrazy satelitarne mogą nawet być pomocne przy sprawdzaniu trafności oceny zachmurzenia przez obserwatora.
- Na podstawie obrazu i struktury chmur można identyfikować rodzaje chmur, wykreślać kierunki wiatrów górnych, jak również prognozować kierunki przemieszczania i transformacji stref zachmurzenia.

#### LITERATURA

- Barrett E., C., 1974: *Climatology from Satellites*, Methuen and Co Ltd, London.
- Bartnicki L., 1930: *Prądy powietrzne dolne w Polsce*, „Prace Geograficzne”, z. 3.
- ERTS 1 — *a new window on our planet*, 1973, Geol. Survey Professional Paper 929, ed. R. S. Williams, M. D. Carter, US Govern. Printing Office, Washington.
- Haupt I., Katergiannakis U., 1974: *Space Research XV, Proceedings of the Seventeenth Plenary Meeting of COSPAR*, ed. M. J. Rycroft, Berlin.

- Isledovanija Ziemnych Resursov Kosmičeskimi Sředstvami*, Komissija po Issledovaniju Prirodných Resursov s Pomoščju Kosmičeskich Sredstv AN SSSR, Moskva. Lityński J., 1973: *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, [w:] *Prace i Studia IG UW*, z. 11, [Warszawa].
- Lyons W. A., 1974: *Satellite Detection of Air Pollutants, Remote Sensing Energy — Related Studies*, ed. T. Nejat Veziroglu, New York, London, Sydney, Toronto. *Mapy tematyczne opracowane na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych i satelitarnych*, 1976, IGIK, Warszawa.
- Międzynarodowy Atlas Chmur*, 1956, PIHM seria A, nr 42, Światowa Organizacja Meteorologiczna 1956, Wyd. Komunikacyjne, Warszawa.
- Otterman T., 1976: *Climatic change by cloudiness linked to the spatial variability of sea surface temperatures*, Journ. Franklin Institut.
- Schneider S., 1974: *Luftbild und Luftbildinterpretation*, Walter de Gruyter, Berlin—New York.
- Tepper M., 1974: *The Evolution of Atmospheric Measurements from Satellites, Remote Sensing Energy — Related Studies*, ed. T. Nejat Veziroglu, New York, London, Sydney, Toronto.
- The NIMBUS 5 User's Guide*, 1972, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Walczewski J., 1976: *Badania zanieczyszczeń atmosfery metodami teledetekcji*, „Aura” nr 1.
- Walczewski J., 1977: *Przestrzeń kosmiczna a środowisko człowieka*, „Aura”, nr 4.
- Waters J. W., 1974: *Space Research XV, Proceedings of the Seventeenth Plenary Meeting of COSPAR*, ed. M. J. Rycroft, Berlin.
- Wiesner K., Fezer K., 1979: *Ferrestischen beeinflusste Wolkenformen auf Satellitenbildern*, „Erkunde”, Bd 33, Lfg 4, Bonn.

ELŻBIETA BUKOWSKA

**CLOUDINESS VISIBLE IN THE ERTS-1 SATELLITE PHOTOGRAPHS OF EAST POMERANIA TAKEN ON 20 MAY, 1974**

**S u m m a r y**

The article is an attempt to analyze cloudiness presented in the Landsat Satellite photographs (ERTS-1). The photographs were taken on May 20, 1974, at 11 a.m. over the East Pomerania and the southern part of the Baltic Sea (Gdańska Bay) in the bands 4, 5 and 7 MSS. The results of the interpretation are compared with observations in climatological and synoptic stations in the analyzed area, with synoptic maps of that day, and with aerological soundings. It can be noticed that the weather conditions depend on clouds. The following cloud types: *Cirrostratus*, *Cirrus* and *Alto cumulus* are connected with the occluded front coming towards Poland. In studies of local climate in areas far from meteorological stations it is possible to state the interdependence between the cloudiness (pictured by ERTS-1 multispectral scanner) and the weather conditions. For however, this, purpose explores need small-scale meteorological satellite photographs which are taken more frequently. The Landsat photographs of clouds may help to verify the very subjective observations made by ground observers. This helps to analyze those Landsat photographs which are rejected in analyses because of the high percentage of clouds. The photographs may also be used to characterize other features of the geographical environment.

**NÉBULOSITÉ SUR LES IMAGES SATELLITES ERTS-1 DE LA  
POMÉRANIE ORIENTALE LE 20 MAI 1974**

**R é s u m é**

Cette étude constitue un essai de lecture et d'interprétation de la nébulosité sur les images satellites à grande échelle du système Landsat (ERTS-1).

A été analysée l'image de la nébulosité prise le 20 mai 1974 à 11 ha dans la Poméranie Orientale et partie sud de la Baltique (golf de Gdańsk) sur canal 4, 5 et 7 MSS. A été confronté le résultat de l'interprétation avec les matériaux d'observation provenant des stations climatiques et synoptiques de la région étudiée, les cartes synoptiques de cette journée-là et les sondages aérologiques. On remarque la dépendance entre l'image des nuages et le temps. Les nuages de type *Cirrostratus*, *Cirrus* et *Alto cumulus* sont liés avec le front occlus s'approchant de la Pologne. A été constatée la possibilité de la détermination des dépendances entre la nébulosité illustrée par le skaner multispectral ERTS-1 et le temps, dans l'étude sur le climat local des régions se trouvant loin des stations météo. Dans ce but il est indispensable de se servir des illustrations à petite échelle mais fréquentes provenant des satellites. L'illustration des nuages sur les scènes de Landsat permet de vérifier les observations subjectives de la nébulosité obtenues par les observateurs terrestres. Cela permettra aussi d'utiliser ces scènes de Landsat qui, vu le grand pourcentage de couverture par des nuages, sont actuellement omis dans les analyses. La détermination du temps, même approximative, pour toute la scène est aussi importante pour interpréter les différents éléments de l'environnement provenant de l'illustration satellite.