

GEOGRAFICZNA INTERPRETACJA SATELITARNYCH OBRAZÓW WIELOSPEKTRALNYCH SYSTEMU "THEMATIC MAPPER" — — PRZYKŁAD Z ZACHODNIEJ CZĘŚCI NIŻU ŚRODKOWOEUROPEJSKIEGO

WSTĘP

Wprowadzony latem 1983 roku na orbitę satelita LANDSAT 4 oraz wystrzelony wiosną 1984 LANDSAT D (LANDSAT 5) mają na swych pokładach dwa wielospektralne urządzenia skanerowe do obrazowania Ziemi. Pierwsze z nich (Multispectral Scanner — MSS) reprezentuje typ montowany na wszystkich poprzednich satelitach LANDSAT i dostarczający obrazów Ziemi od 1972 r. Drugi to skaner nowej generacji (Thematic Mapper — dalej TM). Głównym celem jego wprowadzenia było uzyskanie danych do konstruowania map tematycznych, obejmujących zwłaszcza zróżnicowanie szaty roślinnej (Townsend, 1984).

Zasadnicze różnice między obu systemami dotyczą liczby i doboru pasm rejestracji, różnicowania intensywności promieniowania emitowanego przez powierzchnię czynną, a także rozdzielczości obrazu. LANDSAT MSS rejestruje promieniowanie w czterech pasmach (0,5—0,6 μm , 0,6—0,7 μm , 0,7—0,8 μm i 0,8—1,1 μm) na 64-stopniowej skali intensywności promieniowania. „Pole jednoczesnego widzenia” tego skanera (tzw. piksel) ma rozmiary 79×79 m. Skaner nowej generacji — LANDSAT TM ma 7 pasm rejestracji promieniowania (0,45—0,52 μm , 0,52—0,60 μm , 0,63—0,69 μm , 0,76—0,90 μm , 1,55—1,75 μm , 10,4—12,5 μm i 2,08—2,35 μm) i możliwość rozróżniania 256 poziomów jego intensywności. Wielkość piksela wynosi tu 30×30 m, a dla pasma podczerwieni termalnej 120×120 m. Dalsze parametry techniczne charakteryzujące właściwości systemu skanerowego TM przedstawił A. Ciolkosz (1984).

Publikowane materiały dotyczące programu LANDSAT TM dostar-

* Dr Andrzej Mizgajski, Instytut Geografii Fizycznej, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Fredry 10, 61—701 Poznań

Dr Martin Michaelis, Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover

czają informacji o zakresie możliwych interpretacji w poszczególnych pasmach (*Erthnet...*, 1984; *Landsat. Data...*, 1984; por. także Ciolkosz, 1984). Są to jednak z natury rzeczy sformułowania bardzo ogólne, zachodzi więc potrzeba uszczegółowienia wiedzy na ten temat przez przedstawienie konkretnych przykładów z różnych terenów. Dominująca część istniejącej literatury dotyczy bowiem obszaru USA. Informacje te zostały przedstawione w specjalnym zeszycie IEEE Translations on Geoscience and Remote Sensing (1984). Warunki europejskie badał pod tym względem J. R. G. Townsend (1984), ale posłużył się nie oryginalnymi obrazami satelitarnymi, lecz zdjęciami symulatora TM operującego z samolotu.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie sposobów interpretacji wizualnej poszczególnych pasm TM oraz wskazanie — na przykładzie podczerwieni terminalnej i kombinacji pasm — możliwości, jakie daje elektroniczna technika obliczeniowa.

Prezentowany materiał ukazuje wyniki jednego z pilotowych programów badawczych Europejskiej Agencji Przestrzeni Kosmicznej (ESA), który był realizowany przez A. Mizgajskiego stypendystę Fundacji Aleksandra Humboldta. Program dotyczył przydatności materiałów LANDSAT TM do analizy struktury krajobrazowej obszarów rolniczych i był prowadzony w południowej części Emsland (płn.-zach. RFN).

Autorzy sądzą, że spostrzeżenia dotyczące zachodniej części Nizy Środkowoeuropejskiego można w znacznym stopniu ekstrapolować na obszar Polski. Wynika to ze wspólnej genezy całego tego obszaru uformowanego przez zlodowacenie plejstocenske. Wyraźne jest też podobieństwo występujących form użytkowania terenu, stosowanych roślin uprawnych oraz struktury wielkościowej pól, których powierzchnie na obszarze poddanym badaniom wahają się od kilku do kilkudziesięciu hektarów.

ZARYS WARUNKÓW PRZYRODNICZYCH BADANEGO OBSZARU

Analizie poddano wycinek sceny obejmującej N-W część RFN w pobliżu granicy z Holandią. Badany fragment zajmuje około 300 km², a jego oś stanowi Kanał Dortmund-Ems oraz meandrująca w jego sąsiedztwie rzeka Ems. Obszar ten to południowa część powiatu Emsland z położonym centralnie miastem Lingen.

Wśród utworów budujących warstwę przypowierzchniową dominuje materiał pochodzący z akumulacji glacialnej i glacialfluwialnej zlodowacenia Saale (odpowiednik środkowopolskiego). Występujące w późnym plejstocenie i holocenie procesy peryglacialne, fluwialne i eoliczne zaznaczyły się odpowiednimi osadami i przekształceniem rzeźby.

Najwyżej położone części terenu osiągają wysokość 70 m n.p.m. i leżą w obrębie równoleżnikowego, pokrytego lasem sosnowym, pasa moren

czołowych spiętrzonych. Najniżej położone punkty znajdują się w dnie doliny Ems, na wysokości około 15 m n.p.m.

Prostopadłe do południkowo ukierunkowanych rzeki Ems i Kanału Dortmund-Ems przebiega Kanał Ems-Vechte. Cieki te mają znaczenie w odwodnieniu terenu oraz jako drogi wodne.

Ważnym elementem w krajobrazie omawianego obszaru są utwory eoliczne występujące w postaci wydmy i piasków pokrywowych. Rozciągają się one głównie wzdłuż doliny Ems. Procesy eoliczne zostały silnie zintensyfikowane w czasach historycznych przez człowieka, a następnie przyhamowane w XIX stuleciu dzięki zalesianiom.

W pokrywie glebowej dominują gleby płowe. Znaczący udział mają gleby glejowe, występujące w warunkach stałego oddziaływania wód podziemnych. Około 15% powierzchni zajmują antropogeniczne gleby „darniowe”, powstałe w wyniku trwającego wiele stuleci nawożenia darnią zawierającą obok części organicznych także substancję mineralną. Pozostała część gleb to mady oraz gleby torfowe.

Klimat tego obszaru jest kształtowany przede wszystkim przez atlantyckie masy powietrza. Średnie temperatury w Lingen wahają się od 17°C w lipcu do 1°C w styczniu, a średni opad roczny przekracza 750 mm.

Dokładniejszą prezentację tego obszaru wraz z odsyłaczami do materiałów źródłowych zawiera praca A. Mizgajskiego (1986).

PROCEDURA i ZAKRES BADAŃ

Analizowany obszar stanowi fragment sceny wykonanej 22 sierpnia 1984 roku. Wybór późnego lata był podyktowany chęcią uchwycenia różnic fototonalnych w obrębie użytków rolnych, zwłaszcza między gruntami ornymi a użytkami zielonymi. W dniu obrazowania grunty orne winny być więc albo pozbawione pokrywy roślinnej, albo obsadzone kukurydzą lub okopowymi, by można było uzyskać wyraźne różnice w stosunku do użytków zielonych.

Materiał wyjściowy stanowiły zapisy cyfrowe poszczególnych pasm obrazowania. W procesie jego opracowania wykorzystano komputer z urządzeniami peryferyjnymi, z których najważniejsze to monitor typu COM-TAL do projekcji obrazów oraz urządzenie OPTRONICS P1700 do przenoszenia zapisu cyfrowego obrazu na błonę fotograficzną. Zastosowano też zestaw programów DIVAH przeznaczony do obróbki obrazów, opracowany w Instytucie Fotogrametrii Uniwersytetu Technicznego w Hanowerze (Ehlers, 1984).

Wstępna obróbka cyfrowa materiału polegała na korekcji geometrii obrazu przez wpasowanie do odwzorowania Gaussa-Krügera oraz zwięk-

szenie kontrastowości obrazów w poszczególnych pasmach w wyniku „rozciągania” wykorzystywanego zakresu gęstości optycznej.

Analizę wizualną pasm prowadzono na monitorze, mając możliwość bieżącego odczytywania i zapisu rozkładów intensywności emisji w dowolnym fragmencie obszaru. Oprócz analizy podstawą wnioskowania była interpretacja zapisów fotograficznych powiększonych do skali 1 : 100 000 oraz do skali 1 : 25 000. Miała ona charakter nie nadzorowany i opierała się ona na wcześniejszym rozpoznaniu terenu oraz na istniejących mapach tematycznych.

Dobór skal, w których dokonano interpretacji, wynikał z wielkości obszaru, o którego geokompleksie chciano uzyskać aktualne i syntetyczne informacje. Opracowanie pasma 6 obejmującego podczerwień termalną miało specyficzny charakter, gdyż dotyczyło zmienności termicznej obszaru, a nie identyfikacji różnych typów powierzchni i wyznaczenia ich zasięgów przestrzennych.

W ramach cyfrowej obróbki obrazów LANDSAT TM utworzono kombinacje wielospektralne z trzech pasm oraz dokonano ich klasyfikacji według typów użytkowania powierzchni.

ZAKRES INTERPRETACJI W POSZCZEGÓLNYCH PASMACH

Pasmo 1 (0,45—0,52 μm) przeznaczono do penetracji wód (fot. 1A), pasmo 2 (0,52—0,60 μm) do badania kondycji zdrowotnej roślin (fot. 1B). Oba te pasma mieszczą się w zielonym zakresie widma. W tym przypadku potraktowano je łącznie, gdyż na analizowanym obszarze nie zauważono istotnych różnic w ukazywanej treści. Malejąca gęstość optyczna (rosnące zaciemnienie obrazu) odzwierciedla w tych pasmach zwiększającą się gęstość pokrywy roślinnej — od pól uprawnych, poprzez użytki zielone, do lasów. Charakterystyczne są nieostre granice między tymi rodzajami pokrycia. Skrajnie wysoką gęstość optyczną mają powierzchnie piaszczyste o zdartej pokrywie glebowej, takie jak wyrobiska czy place budowy.

Ten typ powierzchni bardzo wyraźnie odcina się od reszty obrazu i jest łatwy do wyodrębnienia. Słabo natomiast są widoczne tereny zabudowane. W gęstości optycznej odpowiadającej użytkom zielonym również są zauważalne tylko niewyraźne różnice strukturalne obrazu. Powierzchnie wodne, niewielkie na tym obszarze, są w tych pasmach zupełnie zamaskowane.

Pasmo 3 (0,63—0,69 μm) obejmuje czerwony przedział widma; jest to promieniowanie silnie pochłaniane przez chlorofil, co predestynuje je do różnicowania szaty roślinnej (fot. 1C). Największą gęstością optycz-

ną (najjaśniejszym fototonem) odznaczają się powierzchnie pozbawione szaty roślinnej. Malejącej gęstości optycznej odpowiada sekwencja od gruntów ornych o rosnącym stopniu pokrycia powierzchni, poprzez użytki zielone, do lasów, w których obrębie nie uwidacznia się większe zróżnicowanie.

Wszystkie obszary pozbawione roślinności mają bardzo jasny obraz, nie można więc wyróżnić powierzchni o zdartej pokrywie glebowej. Charakterystyczne jest też zamaskowanie wód powierzchniowych, cechujących się podobną gęstością optyczną jak szata roślinna. Obszary zabudowane wyróżnia drobna struktura obrazu, jednak ich zarys jest słabo widoczny. W N-W części obrazu ujawniają się jasne struktury pasmowe, które w zielonym przedziale widma (pasmo 1 i 2) mają fototon bardzo zbliżony do powierzchni leśnych. Są to fragmenty torfowisk wysokich, będących w trakcie zabiegów kultywacyjnych.

Pasmo 4 (0,76—0,90 μm) znajduje się już w przedziale podczerwonym i ma zastosowanie w kartowaniu biomasy i powierzchni wodnych (fot. 1D). W tym paśmie jest możliwe zlokalizowanie nawet bardzo drobnych powierzchni wodnych, charakteryzujących się bardzo niską gęstością optyczną. Bardzo ciemny fototon odpowiada również asfaltowym nawierzchniom dróg, a także fragmentom kultywowanych torfowisk w miejscach, gdzie został odsłonięty ciemny i silnie uwilgocony torf z głębszych warstw. Mniej wyraźne są granice powierzchni leśnych, a zupełnie zamaskowaniu uległy powierzchnie pozbawione roślinności.

W obrębie użytków rolnych rosnąca gęstość optyczna wskazuje na coraz większy stopień pokrycia powierzchni terenu przez roślinność uprawną. Lasy zawierają się w tym samym zakresie fototonów co użytki rolne i dlatego można zidentyfikować tylko większe kompleksy leśne. Dość dobrze widoczne są jednostki osadnicze o charakterze miejskim. Wynika to z drobnej struktury ich obrazu oraz zauważalnej sieci głównych ulic. Występujący problem wyznaczenia zasięgu przestrzennego jednostek osadniczych można rozwiązać korzystając z większego powiększenia. W skali 1 : 25 000 różnice strukturalne między obszarem zabudowanym a krajobrazem otwartym są bardzo wyraźne. W tej skali zaznacza się też wyraźnie sieć komunikacyjna na obszarze miejskim.

Pasmo 5 (1,55—1,75 μm) ukazuje zróżnicowanie zawartości wilgoci w pokrywie roślinnej i w glebie. Na analizowanym terenie (fot. 1E) charakterystyczne jest bardzo wyraźne wyodrębnienie powierzchni leśnych, cechujących się kontrastowo niską gęstością optyczną oraz zróżnicowaniem w obrębie poszczególnych kompleksów. Różnice te są związane ze zwartością dominujących tam drzewostanów sosnowych i skorelowane z ich wiekiem.

Mała różnica w gęstości optycznej między lasami a powierzchniami wodnymi powoduje, że mniejsze akweny lub enklawy leśne mogą być

wadliwie kwalifikowane. Najjaśniejsze obszary w tym paśmie to powierzchnie pozbawione pokrywy roślinnej, a stopień zaciemnienia wzrasta wraz z rosnącym pokryciem powierzchni przez rośliny. Dobrze widoczne są ważniejsze linie komunikacyjne, co wiąże się z ciemnym fototonem odpowiadającym powierzchniom wyasfaltowanym.

Pasma 7 (2,08—2,35 μm) także znajduje się w zakresie podczerwieni. Zostało wprowadzone jako pasmo dodatkowe (Ciolkosz, 1984), przeznaczone do badań geologicznych i hydrogeologicznych. Na rozpatrywanym fragmencie sceny (fot. 1F) wyraźnie odcinają się jako najjaśniejsze powierzchnie pozbawione roślinności. Malejąca gęstość optyczna odzwierciedla narastający stopień pokrycia terenu przez roślinność — od gruntów orných, poprzez użytki zielone, do lasów. W tych ostatnich jest widoczne zróżnicowanie wynikające z gęstości koron. Obszary zabudowane są zobrazowane fototonem odpowiadającym gruntom ornym pokrytym roślinnością. Skrajnie ciemny fototon mają wody, które jednak w interpretacji wizualnej niezbyt wyraźnie odróżniają się od powierzchni leśnych.

Pasma 6 (10,48—12,50 μm) rejestruje w tzw. dalszej podczerwieni termalnej promieniowanie, którego intensywność jest skorelowana z temperaturą obiektu lub powierzchni. Ogólną prawidłowością tego obrazu jest to, że wyższej temperaturze odpowiada jaśniejszy fototon. Wyciągając wnioski na podstawie obrazów, trzeba uwzględnić moment ich powstania (22.09.1984 ok. 9³⁰ czasu miejscowego) oraz wielkość pola jednostkowego (120 \times 120 m), które jest obrazowane jako powierzchnia o uśrednionej radiacji (temperaturze).

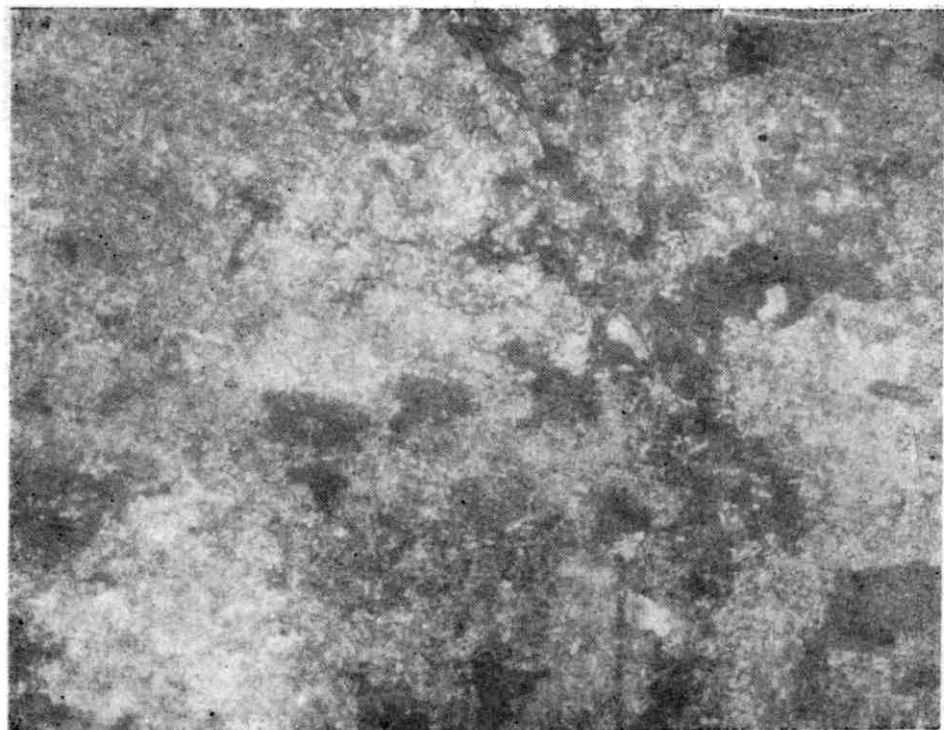
Wstępna analiza wizualna obrazu (fot. 1G) pozwala ustalić, że najcieplejsze były sztuczne emitory ciepła (rafineria ropy, elektrownia atomowa, inne zakłady przemysłowe). Drugi stopień termiczny stanowiły powierzchnie o zdartej pokrywie glebowej. Do wyraźnie chłodniejszych należały powierzchnie gruntów orných oraz obszary zabudowane, charakteryzujące się podobnymi do siebie temperaturami. Łąki i pastwiska, występujące w ramach użytków rolných, odznaczały się mniejszą intensywnością radiacji, co wskazuje na niższe temperatury tych powierzchni. Grupę powierzchni najchłodniejszych stanowiły lasy i wody, których wizualne różnicowanie nie jest możliwe.

Większe możliwości poznania zróżnicowania termicznego obszaru daje densytometria powierzchniowa, którą przeprowadzono dla fragmentów poszczególných typów powierzchni o wymiarach 2,4 \times 2,4 km. Na

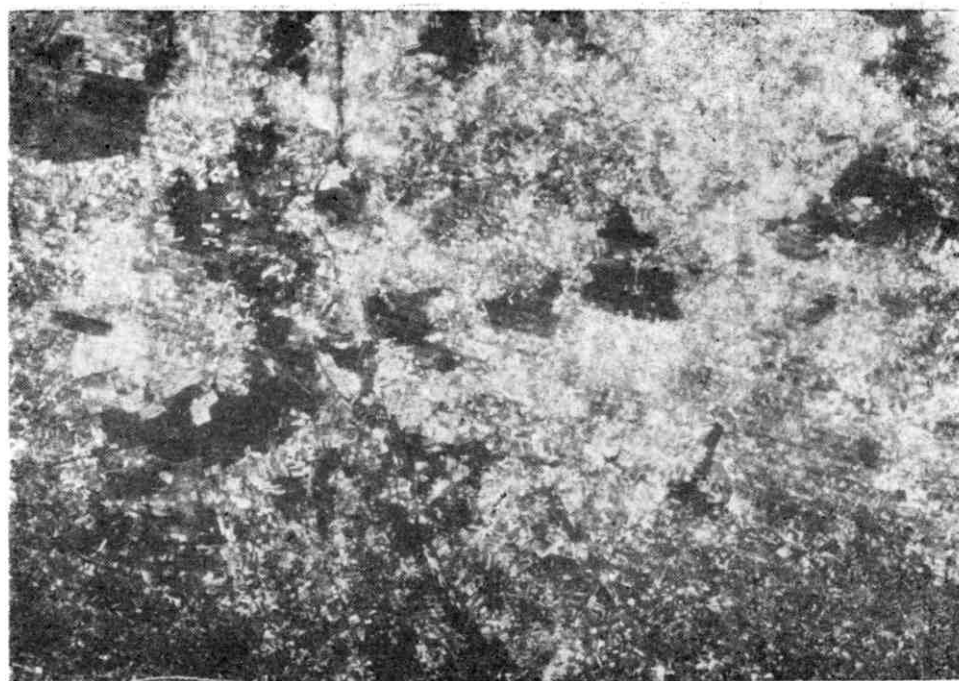
Fot. 1. Obrazy południowej części Emsland w pasmach spektralnych TM:
A — pasmo 1, B — pasmo 2, C — pasmo 3, D — pasmo 4, E — pasmo 5, F — pasmo 7, G — pasmo 6

Photo 1. Images of South Emsland on the spectral bands of Thematic Mapper:
A — band, 1, B — band 2, C — band 3, D — band 4, E — band 5, F — band 7, G — band 6

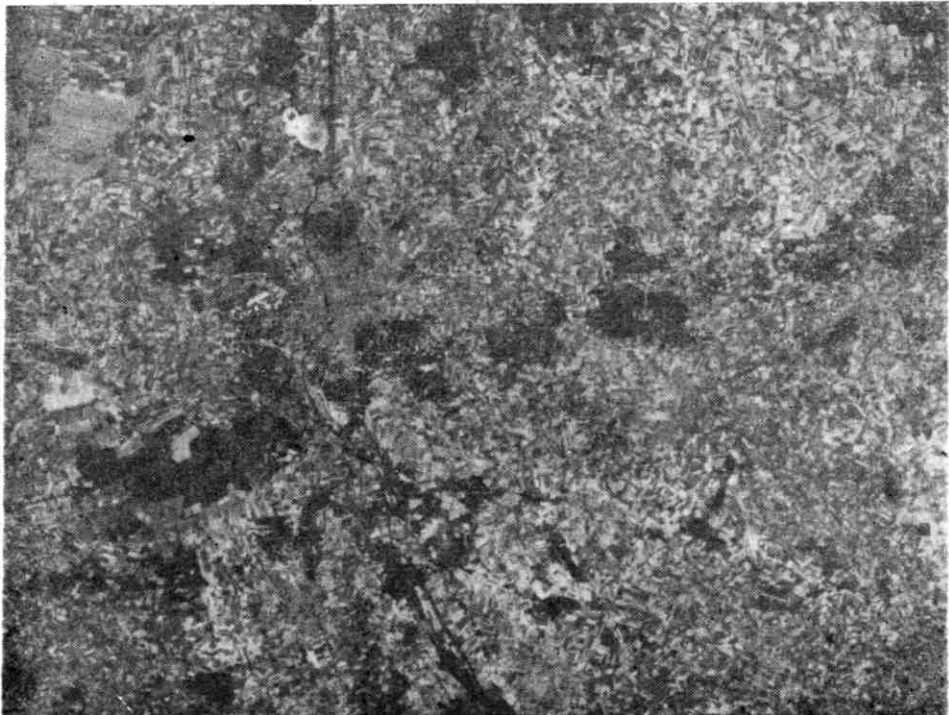
A



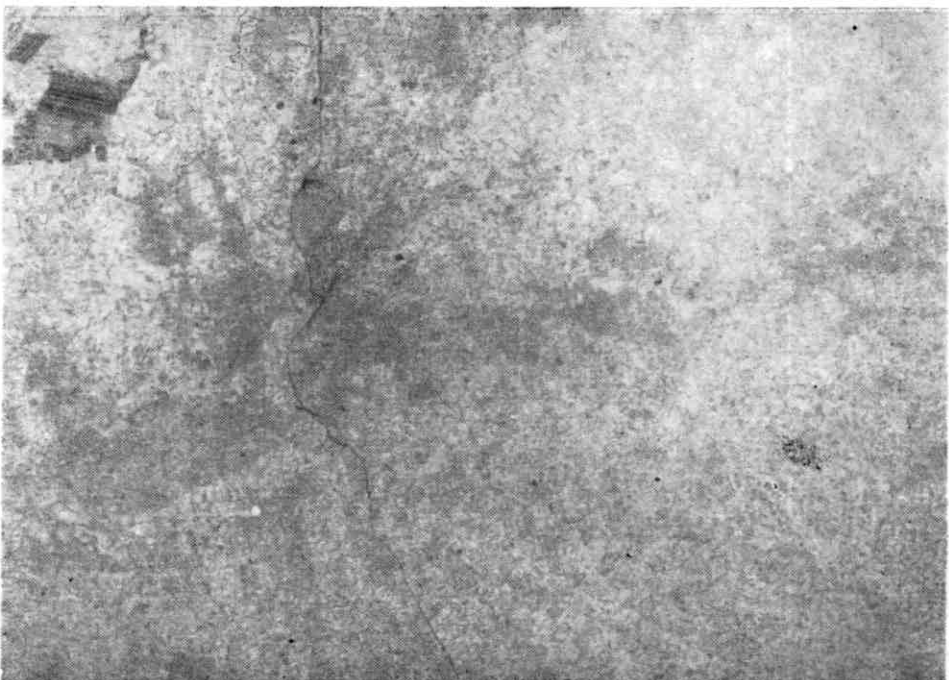
B



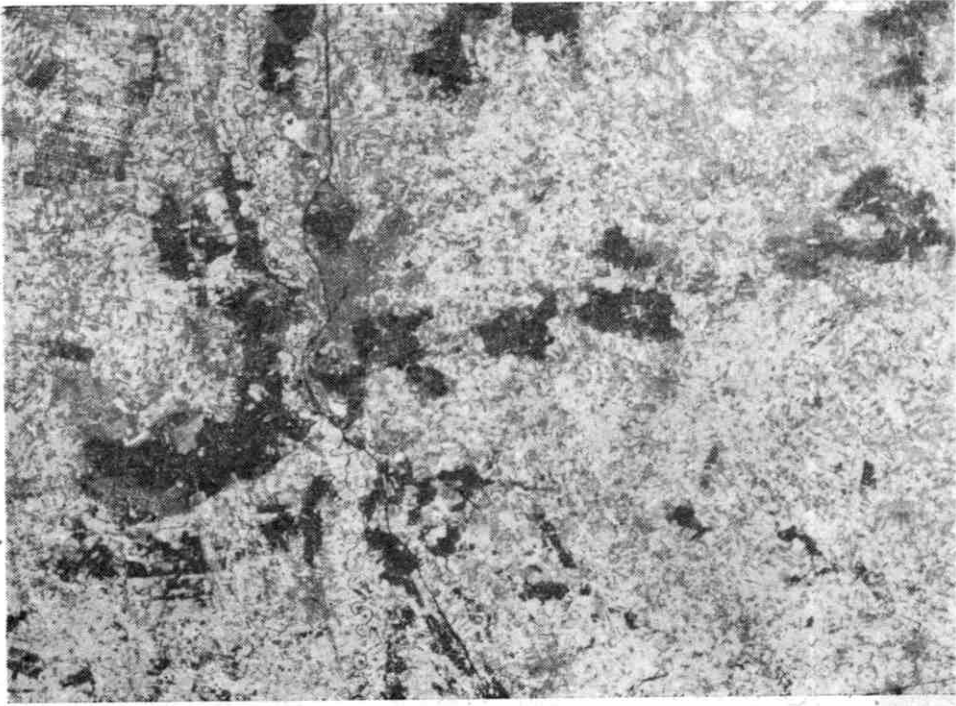
C



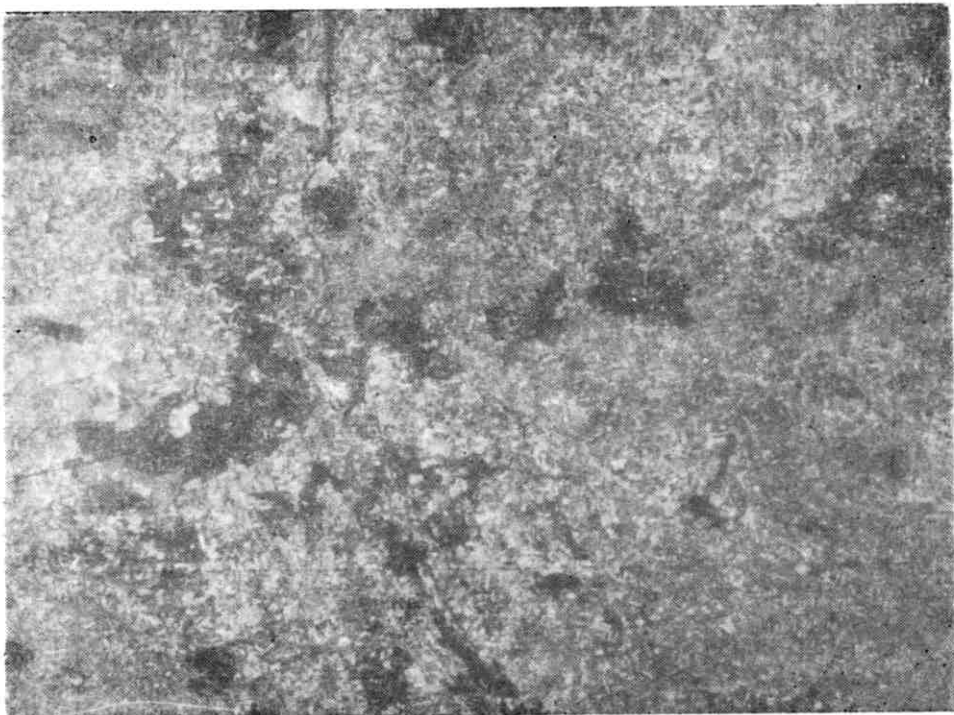
D

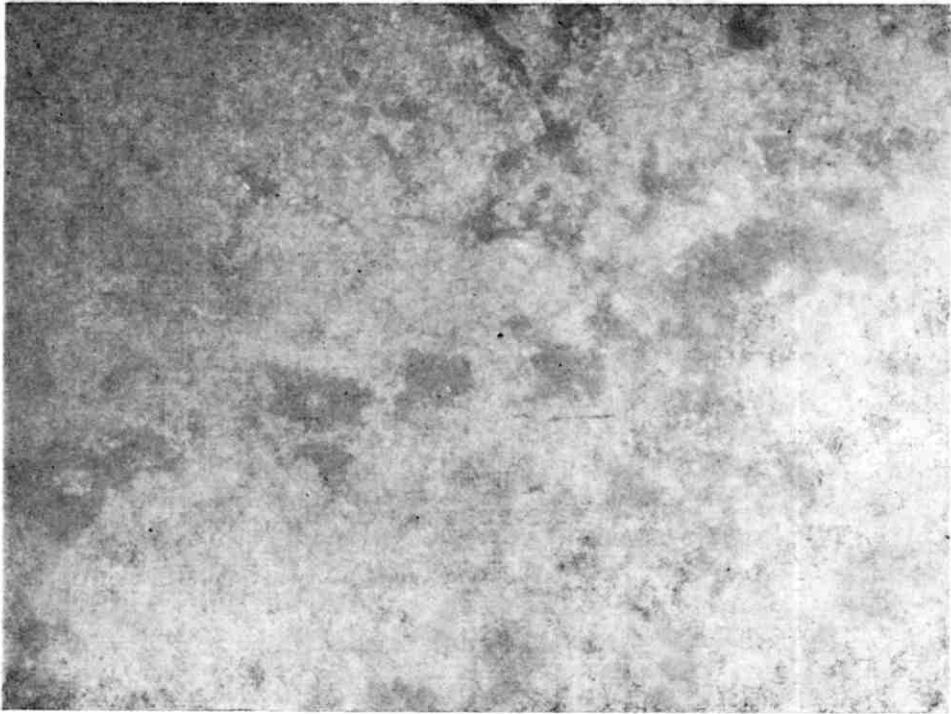


E



F





podstawie zapisów cyfrowych intensywności radiacji w skali 256-stopniowej wykonano kartodiagramy (rys. 1A-E) powierzchni leśnej, użytków zielonych, gruntów ornych, zabudowy miejskiej oraz dużego placu budowy. Prezentowane ilustracje ukazują zarówno różnice termiczne między tymi powierzchniami, jak i zmienność w ich obrębie. Porównanie rysunków potwierdza opisaną wcześniej gradację termiczną analizowanych typów powierzchni — od najchłodniejszych lasów, poprzez użytki zielone, miasta, grunty orne, po najcieplejszy obszar placu budowy. W obrębie lasów i użytków zielonych występuje tylko niewielkie zróżnicowanie radiacji. Wyższe wartości na skraju wycinka użytków zielonych sygnalizują już inny rodzaj powierzchni.

Na gruntach ornych uwidacznia się zmienność termiczna związana z różnym stopniem pokrycia pól przez roślinność. Pola z roślinnością cechują się niższym poziomem radiacji niż pola jej pozbawione.

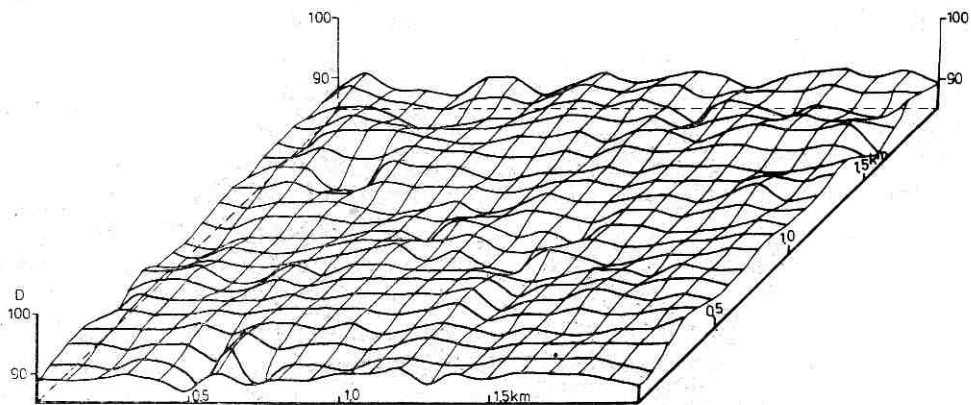
Interesujący obraz zmienności termicznej uzyskano dla obszaru zabudowanego miasta Lingen. W stosunku do krajobrazu otwartego zmien-

Rys. 1. Rozkład intensywności radiacji w paśmie podczerwieni termalnej:
A — las, B — użytek zielony, C — grunty orne, D — zabudowa miejska, E — plac budowy

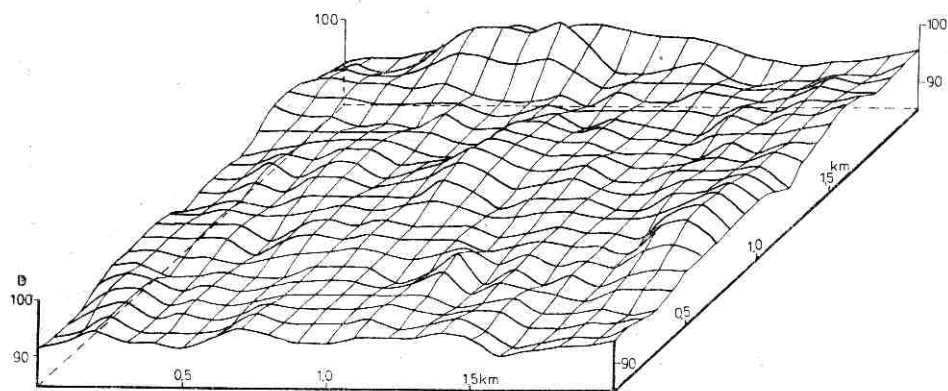
Fig. 1. Distribution of radiation intensity at the thermal infrared band for test areas:

A — forest, B — grassland, C — fields, D — urban area, E — building site

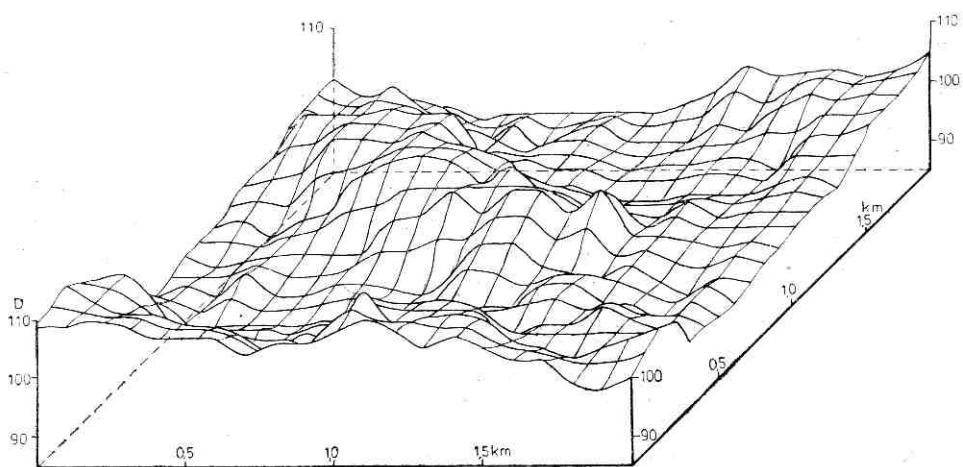
A

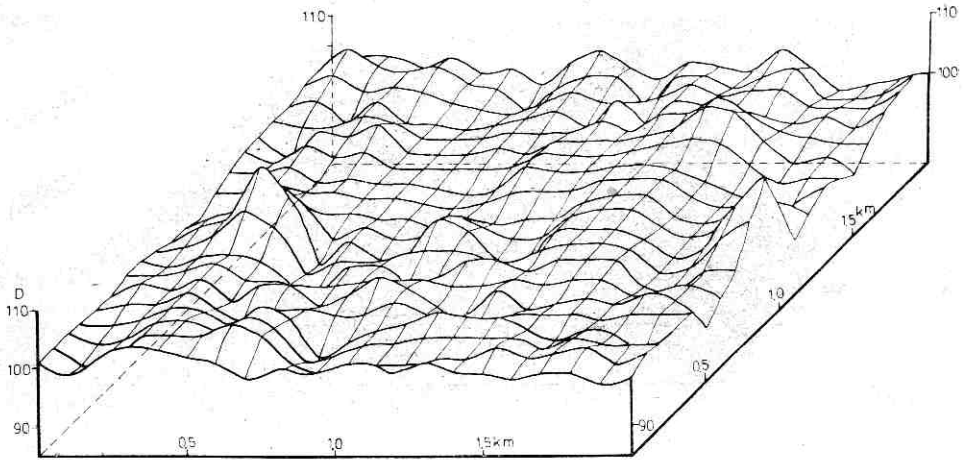
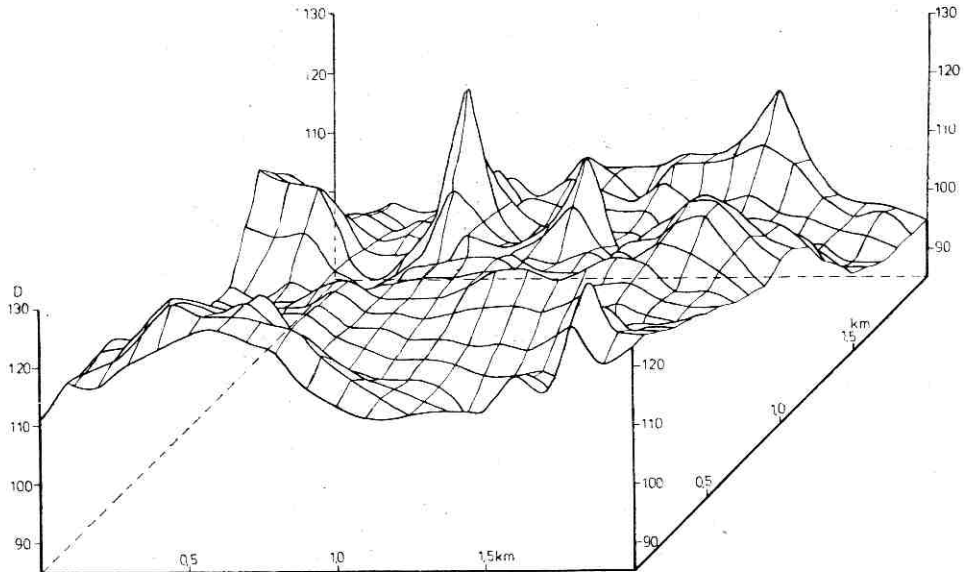


B



C



D**E**

ność ta nie jest tak wielka, jak można by się spodziewać na bardzo zróżnicowanych terenach miejskich. Wystąpił tu efekt zniwelowania bardzo drobnego rytmu zmienności temperatur obiektów przez względnie dużą powierzchnię piksela (1,44 ha). Na tym tle zdecydowanie największe zróżnicowanie wystąpiło na powierzchni placu budowy.

Uchwycenie zależności funkcyjnej temperatury obiektów od intensywności radiacji w omawianym paśmie wiąże się z problemem współczynnika emisji dla poszczególnych powierzchni (Reevers 1975; Rudowski 1978, 1980). Obliczone zależności funkcyjne mają więc cha-

rakter empiryczny i odnoszą się do konkretnych powierzchni. Polska literatura dotycząca tego zagadnienia to prace A. Ciołkosza, B. Hałemby (1978), a także A. Mizgajskiego (1984).

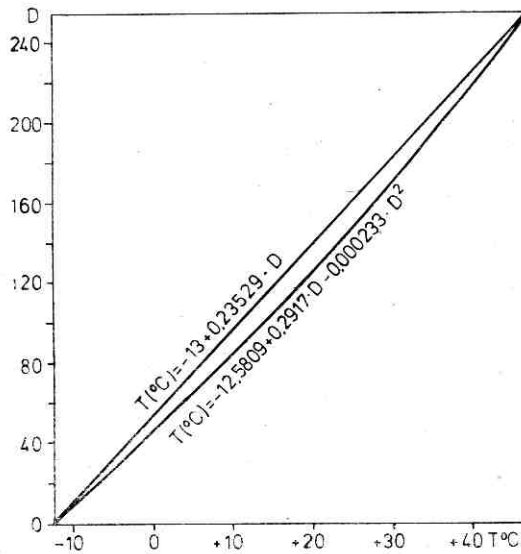
Przykładu kalibracji obrazów termalnych LANDSAT TM dostarcza praca P. E. Anuta et al. (1984), w której wyprowadzono zależności funkcyjne między temperaturą (T) a intensywnością radiacji (D). Dla powierzchni doskonale czarnej funkcja ta ma charakter prostoliniowy:

$$T (^{\circ}\text{C}) = -13 + 0,23529 \times D.$$

Obliczona dla wody przyjmuje postać funkcji parabolicznej:

$$T (^{\circ}\text{C}) = -12,5809 + 0,2917 \times D - 0,000233 \times D^2.$$

Postacie graficzne tych zależności (rys. 2) wskazują, że na tym samym poziomie radiacji powierzchni realnie występujące w przyrodzie mają wyższe temperatury radiacyjne niż teoretyczne powierzchnie doskonale czarne. Jeśli brak reperownych pomiarów naziemnych, które byłyby wykonane synchronicznie z obrazowaniem, to nie jest możliwe dokładne określenie rozkładu temperatury na obrazowanym obszarze. Opierając się na zależności funkcyjnej dla wody, można natomiast oszacować na podstawie rozkładu wielkości emisji względne różnice temperatur.



Rys. 2. Zależność temperatury radiacyjnej od intensywności radiacji w paśmie podczerwieni termalnej

Fig. 2. Dependence of radiation temperature on radiation intensity at the infrared band

Różnicy intensywności emisji promieniowania (D) równej 10 jednostkom odpowiada różnica temperatur wynosząca około $2,5^{\circ}\text{C}$. Stwierdzone na wycinkach testowych poziomy emisji wahają się od ok. 85 do 125 jednostek, co oznacza 10°C różnicy między najcieplejszą a najchłodniejszą

szą powierzchnią. Trzeba podkreślić, że wielkość ta nie jest różnicą między temperaturami ekstremalnymi, gdyż te zostały zniwelowane przez wielkość piksela.

Z porównania obrazów w skali 1 : 100 000 i 1 : 25 000 wynika, iż znaczniejsze powiększenie nie powoduje zasadniczo wzrostu możliwości interpretacyjnych. Wolor skali 1 : 25 000 to lepsza czytelność struktury obrazu. Wynika z tego możliwość precyzyjniejszego określenia rozkładu pól oraz dokładniejszego wyróżnienia terenów zabudowanych.

W tab. 1 przedstawiono syntetycznie zakres możliwej interpretacji wizualnej w poszczególnych pasmach, natomiast na rys. 3 zaprezentowano wyniki interpretacji ujęte kartograficznie.

Tabela 1

Table 1

Interpretacja wizualna wykonanych w lecie pasm LANDSAT TM dla Emsland (zachodnia część Niżu Środkowoeuropejskiego)

Visual interpretation of LANDSAT TM bands for the Emsland (West Part of Middle European Plains). Summer

Nr pasma (No of band)	Wody powierzchniowe (Surface waters)	Lasy (Forests)	Użytki zielone (Grassland)	Roślinność uprawna (Crops)	Pola bez roślinności (Fields without vegetation)	Powierzchnie o zdartej pokrywie glebowej (Surface without soil cover)	Tereny zabudowane (Built-up areas)	Linie komunikacyjne (Roads)
1	0	1—2	1	1	1—2	2	0—1	0—1
2	0	1—2	1	1	1—2	2	0—1	0—1
3	0	2—1	1—2	1—2	2	0	1	1
4	2	1	1	1	1	0	2	1—2
5	1—2	3	1	1	2	0	1—2	1
7	1	1—3	1—2	1—2	2	0	1	1
6	0	1	0—1	0—1	1—2	2	0—1	0

Objaśnienia (Explanation):

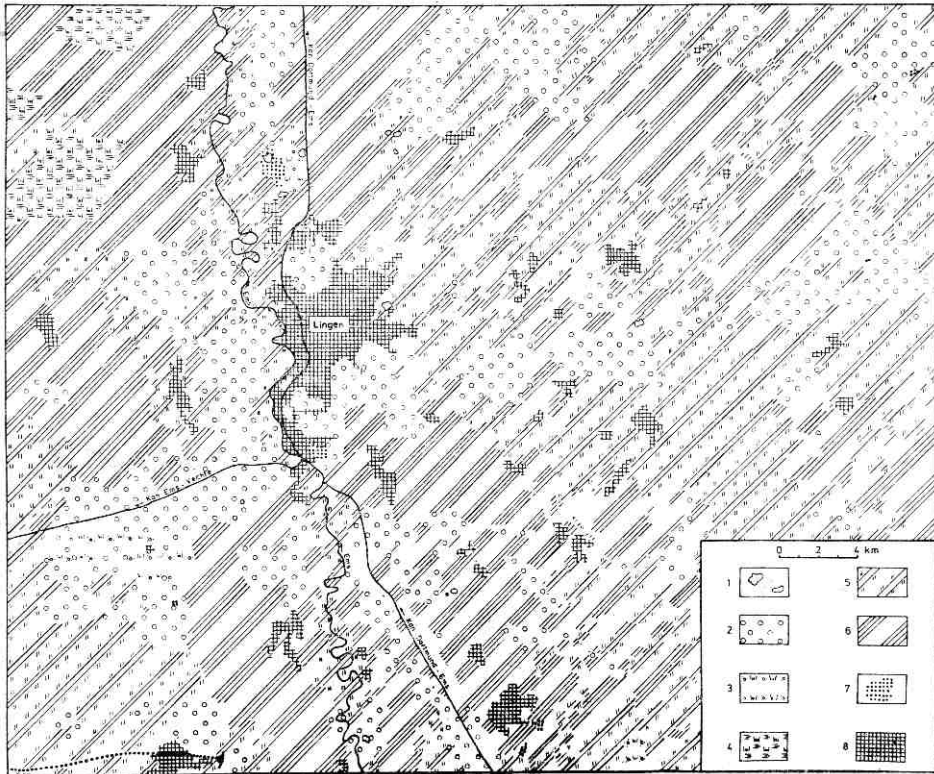
0 — brak możliwości odróżnienia konturu (distinction of contour is impossible),

1 — niepewne odróżnienie konturu (distinction of contour is uncertain),

2 — pewne odróżnienie konturu (distinction of contour is certain),

3 — pewne odróżnienie konturu oraz zróżnicowanie w jego obrębie (distinction of contour and differentiation within it is certain)

Okazuje się, że interpretacja wizualna pozwala na precyzyjne wyróżnienie wód powierzchniowych, użytków rolnych, odsłoniętej gleby, powierzchni o zdartej pokrywie glebowej oraz terenów zabudowanych. Można również dokonać zróżnicowania w obrębie lasów, związanego z gęstością koron. Niełatwo natomiast określić przebieg linii komunikacyjnych o mniejszej szerokości, gdy biegną poza kompleksami leśnymi. Także rozróżnienie w obrębie użytków rolnych, zwłaszcza między grun-



Rys. 3. Interpretacja wizualna kategorii terenu w pasmach TM:

1 — wody, 2 — lasy, 3 — pustacie, 4 — torfowiska, 5 — użytki rolne z dominacją użytków zielonych, 6 — użytki rolne z dominacją gruntów orných, 7 — powierzchnie pozbawione pokrywy glebowej, 8 — tereny zabudowane

Fig. 3. Visual interpretation of terrain categories on TM bands:

1 — waters, 2 — forests, 3 — barren land, 4 — peatbogs, 5 — land in agricultural use with dominance of grassland, 6 — land in agricultural use with dominance of fields, 7 — surfaces without soil cover, 8 — built-up areas

tami ornymi z roślinnością a użytkami zielonymi, nastęrcza trudności. Wydaje się jednak, że to ostatnie spostrzeżenie nie będzie się odnosiło do terenu Polski. Analizowane obrazy pochodzą przeważnie z obszaru o płytkim występowaniu wód podziemnych, gdzie pola uprawne i użytki zielone układają się mozaikowo. Zmeliorowanie tego terenu oraz wysokie i równomiernie rozłożone opady w ciągu roku redukują dodatkowo zmienność warunków wilgotnościowych. Na obszarze niżowym Polski kontrast warunków wilgotnościowych między użytkami zielonymi a gruntami ornymi jest znacznie większy, co powinno znaleźć odzwierciedlenie na obrazie satelitarnym zwłaszcza w podczerwonym zakresie promieniowania elektromagnetycznego.

KLASYFIKACJA OBRAZÓW WIELOSPEKTRALNYCH

Elektroniczna technika obliczeniowa pozwala na tworzenie obrazów stanowiących kombinację dowolnych trzech pasm obrazowania. W przypadku niskiej korelacji między rozkładem poziomów emisji w pasmach wchodzących do kombinacji otrzymany obraz wielospektralny powinien skupiać walory poszczególnych pasm.

W tym opracowaniu posłużono się kombinacją pasm 2, 3 i 4, przyjętą na podstawie badań amerykańskich (Lauer, Waltz, 1983), w których dla miasta Oklahoma i doliny Sacramento dokonano rangowania przydatności wybranych kompozycji pasm w celu wyodrębnienia różnych rodzajów powierzchni (tab. 2).

Obraz wielospektralny został sklasyfikowany według sześciu typów użytkowania ziemi; są to: powierzchnie o zdartej pokrywie glebowej, grunty orne, użytki zielone, lasy, wody i tereny zabudowane. Początek tej procedury stanowiło wyznaczenie na monitorze powierzchni wzorcowych dla wyróżnionych typów. Powierzchnie te scharakteryzowano statystycznie przez średnie poziomy radiacji oraz kowariancje między jej poziomami w poszczególnych pasmach wchodzących do obrazu wielospektralnego. Parametry te stanowiły podstawę do przyporządkowania poszczególnych pikseli budujących obraz do jednego z wydzielonych typów powierzchni. Ta operacja nazywana klasyfikacją obrazu wielospektralnego została przeprowadzona dwiema metodami: Maximum — Likelihood oraz Minimum — Distance, standardowymi dla prac tego typu. Każdemu z typów powierzchni nadano jedną gęstość optyczną i w ten sposób powstał obraz będący w zasadzie gotową mapą tematyczną (fot. 2A-B).

Trzeba jednak w tym miejscu wskazać na błędy i uproszczenia, jakie może zawierać taki obraz oraz na ich źródła. Wbrew pozorom procedura ta zawiera znaczną dawkę subiektywizmu, co wpływa na uzyskiwane rezultaty. Momentem kluczowym jest wybór kategorii terenu, które zostaną uwzględnione w klasyfikacji. Ta decyzja musi opierać się na znajomości analizowanego obszaru oraz cech decydujących o zmienności obrazu. Ważne jest, aby poszczególne klasy odpowiadały różnym parametrom obrazu, gdyż w przeciwnym razie wystąpi „nakładanie się” klas na siebie i błędy w klasyfikacji. Skutek ten może wywołać zarówno nadmierna liczba wyróżnionych klas, jak też ich zbytne zagregowanie.

Należy się również ustosunkować do ewentualności występowania fragmentów nie sklasyfikowanych. Jeśli są one niepożądane, to wyróżnione typy winny wyczerpać możliwie wszystkie warianty zmienności obrazu.

Decydujące znaczenie dla jakości klasyfikacji ma wybór powierzchni testowych. Rozstrzygająca jest ich reprezentatywność dla poszczególnych klas. Jeśli charakterystyki statystyczne powierzchni testowych odpowia-

Tabela 2
Table 2

Wizualna interpretacja kombinacji pasm LANDSAT TM*
Visual interpretation of LANDSAT TM Bank Combination*

Wyszczególnienie (Specification)	Kombinacja pasm w porządku: niebiesko-zielony-czerwony (Bank Combinations in blue-green-red order)						Test X ² (Chi-square values)
	2-3-4	1-2-3	2-3-5	2-4-5	5-4-3	3-4-7	
	Rangi (Rankings)						
Zabudowa miejska (Urban area)	1-2	6	5	4	1-2	3	29,920*
Sedymenty wodne (Water sediment)	2	1	3	5-6	4	5-6	59,680*
Granice pól (Field boundaries)	2	6	4	3	5	1	22,857
Roślinność w obrębie pól (Vegetation within field)	2	6	5	3	4	1	36,893*
Gleby w obrębie pól (Soil within field)	1	5	6	2-3	2-3	4	11,286
Granica woda-roślinność (Water-vegetation boundaries)	2	6	5	1	4	3	38,500*
Odwodnienie (Drainage)	1	6	2	5	4	3	20,286
Typy roślinności leśnej (Forest vegetation types)	2	6	5	1	4	3	72,393*
Odróżnienie obszarów zale- sionych i użytków zielo- nych (Timber — grassland diffe- rentiation)	1	6	2	4	5	3	54,893*
Małe stawy, „oczka wodne” (Small ponds)	4	6	5	3	2	1	57,607*
Roślinność na użytkach zie- lonych (Vegetation in grassland)	3	2	6	5	4	1	24,821
Roślinność marszów (Marsh vegetation)	1	6	5	2	4	3	48,071**

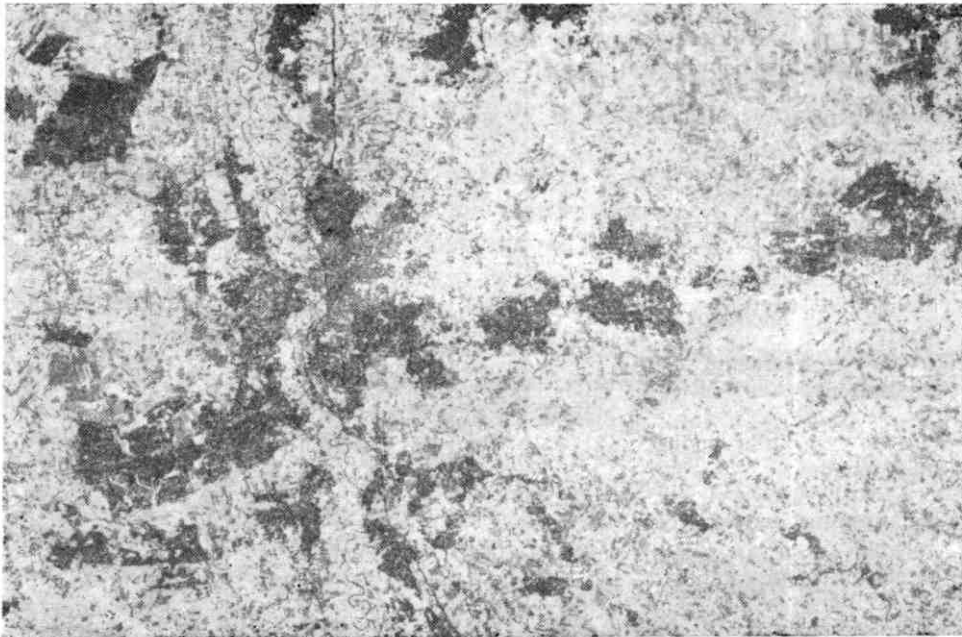
* Według (after): Lauer, Waltz, 1983

** Oznaczony na poziomie istotności 0,05
Significant at 0.05 level

A



B



Fot. 2. Sklasyfikowany obraz kombinacji pasm 2-3-4 TM:

A — metoda Maximum — Likelihood, B — metoda Minimum — Distance

Photo 2. Classified images of 2-3-4 band combination from TM:

A — Maximum — Likelihood Method, B — Minimum — Distance Method

dają węższemu zakresowi zróżnicowania obrazu niż ten, który odzwierciedla całą klasę, to rośnie udział powierzchni nie sklasyfikowanych. Gdy parametry statystyczne nie różnią się wyraźnie, mogą wystąpić błędy w przyporządkowaniu do klas, polegające na zaliczaniu do jednej klasy powierzchni różnego typu.

Przedstawione ograniczenia procedury klasyfikacji w różny sposób wpływają na jej realizację. Ilustruje ten fakt tab. 3, w której zestawiono wyniki klasyfikacji przeprowadzonej obiema metodami. Przyjęcie jednej z nich rzutuje na uzyskany wynik.

Tabela 3

Table 3

Wyniki klasyfikacji obrazu wielospektralnego (pasma 2—3—4)
Results of Multispectral Image Classification (2—3—4 Bands)

Kategorie terenu (Categories of terrain)	Udział powierzchni wg metod: (Part of study area according to): [%]		Gęstość optyczna na sklasyfikowanym obrazie (Density in clas- sificated image)
	Maximum — Likelihood Method	Minimum — Distance Method	
Wody powierzchniowe (Surface waters)	1,61	1,70	0
Lasy (Forests)	9,17	14,00	40
Tereny zabudowane (Built-up areas)	28,25	14,95	80
Grunty orne (Fields)	12,22	14,78	120
Użytki zielone (Grassland)	37,92	37,09	160
Powierzchnie o zdartej pokry- wie glebowej (Surfaces without the soil cover)	2,08	0,12	200
Powierzchnie nie sklasyfiko- wane (Unclassificated areas)	8,76	13,75	255

Podsumowując, procedura klasyfikacji jest z pewnością techniką bardzo efektywną i czasoszczędną. Rezultaty winny być jednak wnikliwie weryfikowane, gdyż istnieje niebezpieczeństwo popełnienia błędów.

WNIOSKI

Obrazy pochodzące ze skanera TM stanowią nową jakość w badaniu środowiska geograficznego w stosunku do wcześniejszego systemu obrazowania powierzchni Ziemi. Ich walorami są: większa liczba pasm obrazowania (w tym podczerwieni termalnej), znaczna redukcja wielkości pola jednoczesnego widzenia oraz czterokrotne zwiększenie liczby rejestrowanych poziomów intensywności promieniowania.

Poszczególne pasma pozwalają na zdecydowane wizualne wyodrębnienie takich powierzchni, jak: wody, lasy, obszary zabudowane, pola bez roślinności oraz powierzchnie pozbawione pokrywy glebowej. Nie nadzorowana interpretacja wizualna nie zapewnia bezbłędnego rozróżnienia między użytkami zielonymi a inną roślinnością uprawną. Cennym źródłem informacji jest pasmo podczerwieni termalnej, które umożliwia uchwycenie powierzchniowego zróżnicowania temperatury warstwy czynnej w porze obrazowania. Dokładne określenie wysokości temperatury na poszczególnych powierzchniach wymaga jednak oddzielnego opracowania zależności funkcyjnej między gęstością optyczną obrazu a temperaturą dla poszczególnych typów powierzchni.

Elektroniczna technika obliczeniowa daje możliwość klasyfikacji obrazów satelitarnych według parametrów statystycznych, charakteryzujących rozkład intensywności radiacji dla różnych typów powierzchni. Innymi słowy, technika ta pozwala na sformalizowane wyróżnienie różnych kategorii terenu. Stopień poprawności sklasyfikowanego obrazu jest uzależniony od doboru powierzchni wzorcowych oraz od zastosowanej metody klasyfikacji.

Zaprezentowany materiał pozwala stwierdzić, że obrazy TM mogą stanowić cenne źródło informacji dla planistów, zwłaszcza w zakresie szybkiego opracowania map aktualnego stanu użytkowania ziemi. Nie wdając się szczegółowo w analizę przydatności TM w rolnictwie, stwierdzono możliwość wyodrębnienia na obrazie pól bez pokrywy roślinnej. Pozwala to na ocenę zaawansowania zbiorów oraz stanowi przesłankę szacowania struktury upraw.

W warunkach silnego rozdrobnienia struktury użytkowania ziemi w Polsce obrazy TM będą z pewnością cenniejszym źródłem informacji niż wcześniejszy system skanerowy MSS. Rzeczywisty stopień ich wykorzystania będzie zależał od rozwiązania problemów natury technologicznej i finansowej, warunkujących rozszerzenie zakresu analizy cyfrowej tych materiałów.

LITERATURA

- Anuta P. E. et. al., 1984: *Landsat-4 MSS and Thematic Mapper Data Quality and Information Content Analysis*, IEEE Translations on Geoscience and Remote Sensing, vol. GE-22, No. 3.

- Ciołkosz A., 1984: *Landsat 4 źródłem pozyskiwania informacji do kartowania tematycznego Polski*, Przegląd Kartograficzny, t. 16, nr 1, Warszawa.
- Ciołkosz A., Halemba B., 1978: *Wykorzystanie lotniczych obrazów termalnych w opracowaniu termicznych warunków podłoża południowej Warszawy*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, t. 25, z. 2(59), Warszawa.
- Erthnet, 1984: *The Story of Images*, European Space Agency BR-18, Paris.
- Landsat. Data Users Notes, U.S. Department of Commerce, NOAA, March 1984.
- Lauer D. T., Waltz F. A., 1983: *Landsat 4 investigation of Thematic Mapper and Multispectral Scanner Applications*, [w:] Landsat. Data Users Notes, U.S. Department of Commerce, NOAA, March 1984.
- Manual of Remote Sensing*, 1975, ed. R. G. Reeves, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia.
- Mizgajski A., 1984: *Czynniki różnicujące temperaturę radiacyjną użytków rolnych w obszarze młodoglacjalnym na obrazach termalnych wykonanych 14 kwietnia 1980, po zachodzie słońca*, [w:] *Fotointerpretacja w geografii*, t. VII (17), Uniwersytet Śląski, Katowice.
- Mizgajski A., 1986: *Zur Entwicklung der Agrarlandschaft im Altkreis Lingen, Emsland im 19. und 20. Jh. und ihre wirtschaftlichen Ursachen*, Neues Archiv für Niedersachsen. B. 35, H. 1, Göttingen.
- Rudowski G., 1978: *Termowizja i jej zastosowanie*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Rudowski G., 1980: *Wpływ emisyjności i wymiarów obiektu na poprawność interpretacji termalnych obrazów skanerowych*, [w:] *Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego*, PWN, Warszawa—Łódź.
- Townshend J.R.G., 1984: *Agricultural Land-cover discrimination using thematic mapper spectral bands*, Int. J. Remote Sensing, vol. 5, No. 4.

АНДЖЕЙ МИЗГАЙСКИ, МАРТИН МИХАЕЛИС

**ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СИСТЕМЫ THEMATIC MAPPER
— ПРИМЕР ИЗ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕЕВРОПЕЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ**

Резюме

В работе рассматривается вопрос визуального дешифрирования космических изображений *Thematic Mapper*, а также их цифровой анализ. Изучаемая территория находится в западной части Среднеевропейской низменности (Эмсланд—ФРГ).

Визуальное дешифрирование отдельных полос позволяет выделить воды, леса, застроенные территории, поля без растительности, а также поверхности, лишенные почвенного покрова. Однако появляются некоторые трудности при отличении пастбищных угодий от других культурных растений.

В полосе термального инфракрасного излучения можно уловить разницы температур между разными типами поверхности. Однако для более точного определения распределения температур на этой основе необходимо отдельно установить функциональные зависимости между оптической плотностью и температурой для отдельных типов поверхности.

Цифровой анализ позволяет провести классификацию изображения, т.е. формализованное выделение разных категорий местности. Однако этот метод

может содержать некоторые ошибки, связанные с неправильным подбором исследуемых поверхностей. Его результаты зависят также от процедуры классификации.

В условиях сильной раздробленности структуры пользования землей в Польше изображения *Thematic Mapper* будут более ценным источником информации, чем прежняя система *Multispectral Scanner*. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что изображения ТМ могут быть ценным источником информации для планировочных целей, особенно для быстрого составления карт актуального состояния пользования землей. Возможность выделения полей без растительного покрова позволяет оценить, как далеко продвинулся сбор урожая, а также является предпосылкой для определения структуры возделывания.

Однако для более широкого использования этого материала необходимо преодолеть технологический и финансовый барьеры, обуславливающие возможность получения изображений и их цифровой анализ.

ANDRZEJ MIZGAJSKI, MARTIN MICHAELIS

GEOGRAPHICAL INTERPRETATION OF MULTISPECTRAL SATELITE IMAGES OF THE "THEMATIC MAPPER" SYSTEM — EXAMPLE FROM THE WESTERN PART OF THE MIDDLE EUROPEAN PLAINS

S u m m a r y

The article covers the problem of visual interpretation of Thematic Mapper satellite images and their digital analysis. The area covered by the analysis is situated in the western part of the Middle European Plains (Emsland — FRG).

Visual interpretation of particular bands enables to distinguish waters, forests, built-up areas, fields without vegetation and surfaces without soil cover. Some difficulties occur when grasslands and fields with other vegetation are to be distinguished. Thermal infrared band enables to distinguish differences between particular types of surfaces, however more detailed determination of the temperature layout requires determination of the functional dependence between optical density and temperature, separately for each type of the surface.

The image classification, which means formal distinction of different types of surfaces, is possible due to digital analysis. However this method may contain certain errors which are connected with improper choice of test surfaces. The results also depend on the applied classification procedure (Minimum distance Method or Maximum Likelihood Method).

Thematic Mapper images will be more reliable source of information in Poland, where the structure of land use is highly divided, than the previous Multispectral Scanner. The research proves that TM images may be helpful to planning purposes, especially when quick preparation of maps of current state of land use is needed. Distinguishing fields without vegetation enables to determine the stage of harvest and is a indication to estimate cultivation structure. However further application of this material is limited by technological and financial barriers which hinder taking images and their digital analysis.

Maszynopis złożony Radzie Redakcyjnej w maju 1986 roku, przyjęty do druku przez Wydawnictwo UŚ w marcu 1989 roku.