

Eksperymenty teledetekcyjne przeprowadzone na poligonach testowych w ramach współpracy międzynarodowej w programie INTERKOSMOS

Wstęp

Polska uczestniczy w programie Interkosmos od 1967 roku w kilku różnych dyscyplinach. Główną rolę w tych badaniach spełnia Centrum Badań Kosmicznych PAN. Koordynatorem kosmicznych badań naukowych, wykonywanych w Polsce w ramach programu, jest Komitet Badań Kosmicznych PAN.

Najmłodszą dyscypliną w programie Interkosmos jest teledetekcja, która zajmuje się zdalnymi metodami i technikami pozyskiwania danych o powierzchni Ziemi i zjawiskach na niej zachodzących, a także ich przetwarzaniem i interpretacją. Rolę krajowego centrum teledetekcji spełnia w Polsce Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych IGiK (OPOLiS). Ośrodek koordynuje także badania naukowe prowadzone w kraju w zakresie teledetekcji.

Prócz badań o charakterze poznawczym i aplikacyjnym OPOLiS podjął w 1977 roku współpracę międzynarodową w programie Interkosmos. Z udziałem i pod kierunkiem specjalistów z OPOLiS przygotowano i przeprowadzono dwa podspunkowe eksperymenty, nazwane umownie Telefot-77 i Telefot-78.

Ideą przewodnią tych eksperymentów było prowadzenie pomiarów oraz rejestracja promieniowania elektromagnetycznego odbitego od powierzchni terenu synchronicznie z trzech poziomów — satelitarnego, lotniczego i naziemnego bezpośrednio w terenie. W pracach tych oprócz kilkunastu instytucji krajowych, wzięły udział również instytucje zagraniczne, a mianowicie: Instytut Badań Kosmicznych Akademii Nauk ZSRR, Centralny Instytut Fizyki Ziemi Akademii Nauk NRD, Centralne Laboratorium Badań Kosmicznych Bułgarskiej Akademii Nauk oraz Centrum Naukowe „Kaspij” azerskiej Akademii Nauk.

Ze względu na bogate materiały, jakie otrzymano w wymienionych eksperymentach, oraz ograniczoną objętość publikacji, omówiono jedynie najpoważniejsze wyniki prac badawczych i interpretacyjnych, uzyskane w OPOLiS i instytucjach współpracujących.

Cele i zakres eksperymentów

Ze względu na znacznie rozdrobnioną gospodarkę rolną w Polsce, głównym celem eksperymentów było określenie przydatności zdjęć i obrazów wielospektralnych wykonanych z różnych pułapów dla różnych dziedzin gospodarki narodowej, a głównie dla rolnictwa.

Eksperyment Telefot-77 polegał na wykonaniu z pokładu samolotu-laboratorium AN-30, a następnie opracowaniu zdjęć i obrazów wielospektralnych obszarów testowych Mosina i Środa Śląska. W rezultacie nalotów i pomiarów naziemnych otrzymano:

- zdjęcia wielospektralne w 6 przedziałach spektralnych ze zmodyfikowanej kamery AFA-39M, w skali 1:60 000 i 1:25 000, na filmie panchromatycznym T-17 i podczerwonym I-840 oraz z kamery Hasselblad 500 EL/M, w skali 1:50 000 i 1:120 000, na filmie Kodak TRI-X i Kodak IR Aerographic 2424;

- zdjęcia spektrostrefowe wykonane kamerą Hasselblad EL/M na filmie Kodak Aerochrome Infrared, w skali 1:75 000 i 1:33 000;

- obrazy skanerowe wykonane z wysokości 6200 m skanerem wielospektralnym C-500 pracującym w 8 kanałach spektralnych w zakresie od 0,49 do 1,1 μm z rejestracją obrazu na taśmie magnetycznej;

- wyniki pomiarów naziemnych, a mianowicie: temperatury powietrza i gruntu, wilgotności, nasłonecznienia, prędkości wiatru itp., przeprowadzone przez ekipy z uniwersytetów we Wrocławiu i w Poznaniu;

- wyniki spektrometrycznych pomiarów naziemnych spektrometrem PS-3 Centrum „Kaskij” — współczynnika odbicia w przedziale od 0,4 do 1,2 μm oraz spektrometrem bułgarskiej Akademii Nauk, pracującym w przedziale od 0,4 do 0,8 μm ;

- wyniki pomiarów spektralnego współczynnika odbicia w zakresie 0,4 do 0,9 μm wykonanych aerospektrofotometrem WAT i ITWL ze śmigłowca z wysokości około 200 m;

- wyniki laboratoryjnych badań próbek gruntów, przeprowadzonych przez ITWL.

Przeprowadzono również analizę dostępnych aktualnych materiałów kartograficznych z rejonów obszarów testowych oraz wykonano aktualne na moment fotografowania mapy tematyczne w skali 1:25 000, dotyczące: geologii powierzchniowej, geomorfologii, kompleksów glebowych, hydrografii i struktury upraw.

Eksperyment Telefot-78 był częścią składową satelitarnego eksperymentu Ziemia, przeprowadzonego podczas lotu pierwszego polskiego kosmonauty, Mirosława Hermaszewskiego, na kompleksie orbitalnym Sojuz-29 — Salut-6 — Sojuz-30 w lipcu 1978 roku. Obejmował on jednocześnie wykonanie zdjęć i obrazów różnymi technikami wybranych rejonów Polski południowej z różnych pułapów, a mianowicie:

- 1) satelitarnego, przez polskiego kosmonautę, kamerą MKF-6M ze stacji Salut-6;

- 2) lotniczego z wysokości:

- 10 000 m, kamerą AFA,

- 6500 m, z samolotu-laboratorium AN-30 IKI AN ZSRR, kamerą MKF-6 i skanerem C-500 M z rejestracją obrazu na taśmie magnetycznej oraz kamerą wielospektralną MB-470 firmy NAC i kamerą pomiarową MK-70 Hasselblad;

- 6500 m, kamerą fotogrametryczną RC-10 Wilda na filmie panchromatycznym i uczulonym na podczerwień;

- 2500 m, kamerami MKF-6, MK-70 i MB-470 NAC.

Eksperyment obejmował także wykonanie:

- naziemnych pomiarów meteorologicznych i wilgotności gruntu na obszarach testowych: Mosina — przez zespół z Uniwersytetu w Poznaniu, Środa Śląska — przez zespół z Uniwersytetu Wrocławskiego, Płock — przez zespół z Uniwersytetu Warszawskiego;

- pomiarów widmowego współczynnika odbicia spektrometrami naziemnymi;

- aktualnych w lipcu 1978 roku map struktury upraw obszarów testowych.

Niektóre wyniki interpretacji zdjęć satelitarnych

Zdjęcia satelitarne obszaru Polski południowej położonego poniżej równoleżnika 52° wykonano kamerą wielospektralną MKF-6M ze stacji Salut-6, w skali 1:2 652 000. Nachylenie płaszczyzny orbity do płaszczyzny równika ziemskiego wynosi 51,6°, a perigeum 338 km i apogeum 357 km. Każde zdjęcie obejmuje obszar 215 × 149 km. Opis kamery MKF-6 zamieszczono w [4].

Na zdjęciach wykonanych z wysokości 340 km zdolność rozdzielcza na Ziemi wynosi około 40 m przy kontraście obrazu 0,1, a 15 m przy kontraście obrazu 1,0 (w kanałach 1, 2, 3 i 4, przy rejestracji na filmie T-18).

Jak wynika z tablicy, najbardziej informatywny jest kanał 4 (0,64—0,68 μm) i kanał 6 (0,79—0,89 μm).

Dr inż. St. Dąbrowski i dr inż. W. Mizerski z IGiK przeprowadzili badania kartometryczności zdjęć wielospektralnych wykonanych kamerą MKF-6M ze stacji Salut-6. W wyniku porównania współrzędnych punktów kontrolnych zidentyfikowanych na zdjęciach i na mapie topograficznej

Tablica. Informatywność kanałów kamery MKF-6M, podana w skali 5-stopniowej

Dziedzina	Interpretowane obiekty	Kanały					
		1	2	3	4	5	6
Geografia	Roślinność rolna	4	3	2	2	0	5
	Gleby	3	1	2	4	0	5
	Kompleksy leśne	5	0	4	3	1	2
	Pokrywa śnieżna	2	0	3	5	0	4
Hydrologia	Powierzchnia wody	3	1	4	5	4	5
	Mielizny, penetracja podwodna, roślinność	3	2	5	4	1	0
	Zawiesiny mechaniczne	1	5	2	2	1	4
Geologia	Osady czwartorzędowe	1	2	3	4	0	5
	Rodzaje skał	0	4	1	3	5	2
	Budowa strukturalna	0	3	5	2	1	0
Suma punktów		25	21	29	34	13	32

w skali 1:200 000 otrzymano dokładność poniżej kartometryczności mapy, a mianowicie:

$$m_x = \pm 50 \text{ m}, m_y = \pm 60 \text{ m}, m_z = \pm 70 \text{ m}$$

Zespół pod kierunkiem dra inż. A. Uhrynowskiego przeprowadził próbę generalną oceny charakteru użytkowania gruntów w gminie Środa Śląska na podstawie interpretacji zdjęć satelitarnych. W wyniku interpretacji powiększonych zdjęć wielospektralnych i kompozycji barwnych wykonanych na Multi Data Color System NAC wydzielono:

- sady i lasy;
- rzepak, zboża i pola zaorane;
- okopowe i łąki;
- tereny osiedlowe i nieużytki

i opracowano szkic struktury użytkowania gruntów w skali 1:25 000.

Dr inż. W. Bychawski wraz z zespołem określił możliwość wykorzystania zdjęć satelitarnych do celów leśnych. W wyniku analizy stwierdzono możliwość:

- określenia granic, kompleksów leśnych ze znacznie wyższą dokładnością niż na mapie w tej samej skali co zdjęcia;
- oddzielenia lasów iglastych od liściastych;
- określenia zrębów i upraw leśnych;
- lokalizacji drzewostanów silnie uszkodzonych.

Mgr M. Kowalska wydzieliła z kompozycji barwnej wykonanej na przegłądce addytywnej MSP-4 ze zdjęć wielospektralnych (kanały 2, 4 i 6):

- lasy mieszane;
- lasy liściaste;
- lasy iglaste;
- łąki;
- rozdrobnione gospodarstwa rolne;
- gospodarstwa rolne wielkotowarowe z przewagą roślin okopowych;
- gospodarstwa rolne wielkotowarowe z przewagą roślin zbożowych;
- miasta;
- rzeki;
- jeziora;
- odcinki sieci komunikacyjnych, centrum Wrocławia ze zwartą zabudową oraz obszary podmiejskie z zabudową rozproszoną.

Wykonano również próbę opracowania mapy topograficznej w skali 1:200 000 na podstawie zdjęć satelitarnych powiększonych do skali 1:1 000 000. Opracowanie autogrametryczne wykonano na autografie A-10 Wilda po zagęszczeniu osnowy na steokometrze. Opracowano oddzielnie poszczególne elementy treści mapy, a mianowicie linie komunikacyjne i miasta, lasy oraz hydrografię. Analiza wykazała znaczną przydatność zdjęć satelitarnych do opracowania elementów powierzchniowych (las) oraz niemożność opracowania wszystkich elementów liniowych.

Niektóre wyniki interpretacji zdjęć i obrazów wielospektralnych wykonanych z samolotów

Niektóre wyniki eksperymentu Telefoto-77 zamieszczono w [1], a całość w [5].

W OPOLIS IGiK wykonano następujące opracowania:

- analizę możliwości wykorzystania zdjęć wielospektralnych obszaru Mosina do określenia struktury upraw i zasiewów;

- interpretację użytkowania terenu rejonu Mosina, ze szczególnym uwzględnieniem zagospodarowania leśnego;
- analizę użytkowania ziemi i form geomorfologicznych;
- wykonanie kompozycji barwnych na MSP-4 i ocenę możliwości ich wykorzystania do różnych celów;
- opracowanie zdjęć wielospektralnych metodą cyfrową na Photomat P-1700 firmy Optronics i ich analizę;
- zwizualizowanie taśm magnetycznych z zarejestrowanym obrazem za pomocą wielospektralnego skanera C-500.

W Instytucie Geografii Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, pod kierunkiem doc. dra hab. L. Kozackiego o opracowano zdjęcia wielospektralne rejonu Mosina do różnych celów, to jest do:

- wykonania map tematycznych sadu;
- interpretacji rolniczej;
- określenia procesów erozyjnych;
- kartografii gleboznawczej;
- określenia zarastania jezior;
- leśnictwa.

W Instytucie Geologicznym zespół pod kierunkiem doc. dra J. Bażyńskiego zinterpretował zdjęcia wielospektralne rejonu Mosina i na ich podstawie wykonał mapę fotolineamentów, kierunków ciągów rynnowo-ozowych oraz schematyczny przekrój geologiczny przez złożę węgla brunatnego. Interpretacja zdjęć wielospektralnych umożliwiła uszczegółowienie posiadanych map geologicznych oraz określenie kanałów spektralnych najbardziej przydatnych w geologii.

Zespół pod kierunkiem mgra Z. Marczewskiego wykonał mapę rozmieszczenia gruntów rejonu Mosina na podstawie badań laboratoryjnych próbek gruntów pobranych w terenie i interpretacji zdjęć wielospektralnych oraz na podstawie wyników pomiarów widmowego współczynnika odbicia, wykonanych przez zespół z Katedry Geodezji i Fotogrametrii WAT.

W wyniku opracowania zdjęć wielospektralnych otrzymanych podczas eksperymentu Telefoto-78 w OPOLIS IGiK przeprowadzono:

- ocenę możliwości rozpoznania różnych gatunków upraw na podstawie analizy dwu zestawów zdjęć wielospektralnych wykonanych kamerami MKF-6 i MB-470 NAC;
- próbę określenia struktury upraw i użytkowania gruntów w gminie Środa Śląska na podstawie lotniczych zdjęć z MKF-6, wykonanych w skali 1:50 000;
- analizę możliwości wykorzystania lotniczych zdjęć wielospektralnych obszaru Środa Śląska do identyfikacji gatunków roślin uprawnych;
- opracowanie obrazów skanerowych i zbadanie ich kartometryczności oraz zniekształceń;
- analizę możliwości wyróżnienia tekstów barwnych oraz określenie parametrów pomiarowych na przykładzie kamery wielospektralnej MB-470 NAC.

Zespół z Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Warszawskiego wykonał pomiary naziemne wybranych elementów środowiska geograficznego na terenie poligonu Płock oraz określił przydatność zdjęć panchromatycznych i w podczerwieni do interpretacji struktury użytkowania ziemi.

Zespół z Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu przeprowadził pomiary naziemne na poligonie Mosina oraz wykonał tematyczną interpretację zdjęć i określił ich przydatność do różnych celów.

Doc. dr hab. E. Tomaszewski z Uniwersytetu we Wrocławiu określił przydatność zdjęć rejonu Środa Śląska oraz opracował mapy wykonane na podstawie bezpośredniej interpretacji terenowej.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie dotychczasowych wyników badań można sformułować następujące wnioski:

- wszystkie materiały otrzymane podczas eksperymentów Telefoto są przydatne w różnych dziedzinach gospodarki narodowej, choć okres ich wykonania nie jest optymalny przy rozwiązywaniu wielu zagadnień;
- skala lotniczych zdjęć wielospektralnych 1:50 000 jest wystarczająca do rozwiązywania większości zagadnień, przy założeniu, że interpretacja ich odbywa się na instrumentach powiększających obraz;
- obrazy satelitarne z Landsata i zdjęcia wielospektralne ze statku Salut-6 są przydatne jedynie w interpretacji do celów geologicznych, hydrologii i określenia kompleksów leśnych, natomiast są za mało szczegółowe do interpretacji struktury upraw rozdrobnionych gospodarstw rolnych;
- bogaty materiał z kilku obszarów testowych, otrzymany w różnych okresach i różnymi technikami, umożliwił wykonanie badań prowadzących do opracowania optymal-

nych technik pozyskiwania danych o terenie i ich opracowania dla różnych dziedzin gospodarczych;

— system skanerowy zainstalowany na pokładzie samolotu, z rejestracją danych na taśmie magnetycznej w wąskich zakresach spektrum, pozwala na uzyskanie bogatej informacji o zjawiskach występujących na obrazowanym terenie. Tak otrzymaną informację można przetwarzać na urządzeniach analogowo-cyfrowych z wykorzystaniem komputerów, co w zasadniczy sposób skracza czas interpretacji i opracowania. Aby jednak w pełni wykorzystać zasób informacji zawartych w zobrazowaniu skanerowym, konieczne jest prowadzenie badań dotyczących charakterystyk spektralnych różnych obiektów. Wyniki tych badań można wykorzystać podczas interpretacji na urządzeniach znajdujących się w OPOLiS. Kartometryczna dokładność obrazów skanerowych pozwala wykorzystać je jako materiał podkładowy do map tematycznych;

— wielospektralne zdjęcia lotnicze wykonane kamerą MKF-6 umożliwiają wydzielenie sześciu klas użytkowania gruntów, a mianowicie: terenów zurbanizowanych, lasów i terenów zadrzewionych, wód, nieużytków i terenów rolniczych o gospodarce rozdrobnionej, terenów rolniczych gospodarki wielkoobszarowej;

— strukturę upraw można częściowo określić ze zdjęć wykonanych kamerą MKF-6 w skali 1 : 50 000 z wykorzystaniem aparatury znajdującej się w OPOLiS, obejmuje ono sklasyfikowanie niektórych grup upraw oraz osobno — jęczmienia ozimego, buraków cukrowych i żyta z wiarygodnością interpretacji rzędu 90%. Porównanie możliwości interpretacyjnych zdjęć wykonanych kamerą MKF-6 i MB-470 NAC wykazuje, że zdjęcia wielospektralne o węższych pasmach widma (MKF-6) są bardziej przydatne do analizy struktury upraw niż zdjęcia wykonane kamerą z filtrami o szerszych pasmach;

— wykorzystanie lotniczych i satelitarnych zdjęć wielospektralnych do interpretacji zjawisk zachodzących na powierzchni Ziemi umożliwia znaczne skrócenie czasu i obniżenie kosztów w porównaniu do bezpośredniej interpretacji terenowej. Umożliwia również uchwycenie jakościowo nowych informacji, których nie można uzyskać z wykorzystaniem tradycyjnych technik badawczych.

Z dotychczasowych doświadczeń wynikają wnioski dotyczące dalszych badań, a mianowicie:

— konieczne jest kontynuowanie badań laboratoryjnych i na odpowiednich polach testowych w celu określenia optymalnych przedziałów spektrum do wydzielenia różnych barw na podstawie interpretacji zdjęć wielospektralnych różnymi metodami;

— konieczne jest powtarzanie badań określonego terenu przez kilka lat z uwzględnieniem faz rozwojowych poszczególnych gatunków roślin oraz określenie zakresów szerokości kanałów umożliwiających maksymalne zróżnicowanie charakterystyk spektralnych różnych typów upraw na zdjęciach wielospektralnych;

— przy zbieraniu danych naziemnych do określenia struktury upraw należy podać wszystkie możliwe parametry mające wpływ na wiarygodność interpretacji zdjęć wielospektralnych;

— w celu określenia struktury upraw na podstawie interpretacji lotniczych zdjęć wielospektralnych loty należy wykonywać w określonych terminach.

LITERATURA

- [1] Kaczyński R.: *Eksperyment „Telefoto-77”*. Biul. Inf. IGIK. T. XXIII: 1978 nr 5
- [2] Kaczyński R.: *Eksperyment „Ziemia — Telefoto-78”*. Prz. Geod. R. 51: 1979 nr 5
- [3] Kaczyński R.: *Addytywna przeglądarka MSP-4*. Prz. Geod. R. 50: 1978 nr 6
- [4] Linsenbarth A.: *Satelitarna kamera wielospektralna MKF-6*. Prz. Geod. R. 50: 1978 nr 6
- [5] Wykonanie i opracowanie wielospektralnych zdjęć lotniczych z samolotu AN-30 nad polskimi obszarami testowymi. Sprawozdanie IGIK — OPOLiS, Warszawa 1978
- [6] Wykonanie wielospektralnych zdjęć lotniczych podczas lotu polskiego kosmonauty nad polskimi obszarami testowymi oraz ich interpretacja „Telefoto-78”. Sprawozdanie IGIK — OPOLiS, Warszawa 1979
- [7] Kaczyński R.: *Mirosław Hermaszewski z wizytą u geodetów*. Prz. Geod. R. 51: 1979 nr 4
- [8] Konieczny J., Kaczyński R.: *Rezultaty obróbki aerokosmicznych snímków wypiętnionych z orbitalnego kompleksa Sojuz-27 — Salut-6 — Sojuz-30 pri uczasti polskiego kosmonawta. Referat na posiedzenie Grupy Roboczej Teledetekcji Interkosmos. Hawana 1979*

Mgr inż. JACEK DOMAŃSKI

Instytut Geodezji i Kartografii

Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych

Metody analizy cyfrowej wielospektralnych danych teledetekcyjnych

Wstęp

Zadaniem teledetekcji jest pozyskiwanie informacji dotyczących zjawisk terenowych z wyeliminowaniem lub minimalizacją bezpośredniego kontaktu z nimi. Informacje takie mogą być przekazywane na Ziemię przez specjalne urządzenia służące do ich zbierania, zamontowane na pokładach samolotów lub sztucznych satelitów Ziemi. Urządzenia takie w większości wykorzystują wielkość promieniowania elektromagnetycznego odbitego lub emitowanego przez poszczególne obiekty znajdujące się na powierzchni Ziemi. Promieniowanie to może być rejestrowane w części dotyczącej tylko wybranej długości fali elektromagnetycznej, lub też jednocześnie kilku długości fal. Rejestracja promieniowania elektromagnetycznego pochodzącego od obiektu terenowego w kilku wybranych zakresach nosi nazwę rejestracji wielospektralnej, a dane pozyskane w ten sposób nazywa się danymi wielospektralnymi.

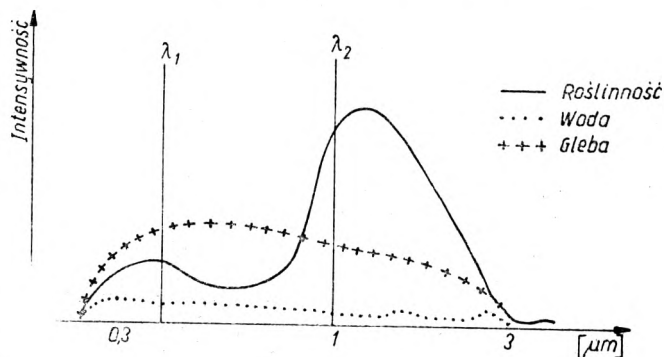
W zależności od sposobu rejestracji, informacje teledetekcyjne przekazywane są na Ziemię drogą telemetryczną, bądź też transportowane są na specjalnych nośnikach informacji (na przykład na filmach fotograficznych lub taśmach magnetycznych). W stacjach odbiorczych i w wyspecjalizowanych ośrodkach są one poddawane obróbce, której sposób zależy od celu jakiego ma służyć ich analiza oraz od wymagań użytkownika.

Charakterystyka danych wielospektralnych

Teledetekcyjne dane wielospektralne są pozyskiwane przez urządzenia rejestrujące jedynie wybrane fragmenty promieniowania elektromagnetycznego. Taki sposób rejestracji realizuje się poprzez uczulenie emulsji fotograficznej na odpowiednie długości fal, zastosowanie filtrów barwnych lub użycie specjalnych detektorów pracujących w wybranych pasmach widma.

Każdy obiekt terenowy odbija lub emituje promieniowanie elektromagnetyczne o określonej charakterystyce. Różnice promieniowania pochodzącego od różnych obiektów polegają na niejednakowej intensywności tego promieniowania w zakresie określonych długości fal. Uzależniając wielkość promieniowania od długości fali można określić tak zwane krzywe charakterystyczne dla różnych obiektów. Przykłady takich krzywych dla roślinności, gleby i wody są przedstawione na rysunku 1.

Jak wynika z tego rysunku, można wybrać takie długości fal elektromagnetycznych, dla których różne obiekty



Rys. 1. Krzywe charakterystyczne dla roślinności, wody i gleby