

ZENON F. POŁAWSKI

TOMASZ ZAWIŁA-NIEDZWIECKI

**OCENA PRZYDATNOŚCI ZDJĘĆ SATELITARNYCH WYKONANYCH
SKANEREM TM DO ANALIZY WYBRANYCH ELEMENTÓW
ŚRODOWISKA GEOGRAFICZNEGO**

ZARYS TREŚCI. Wysokorozdzielcze zdjęcia satelitarne wykonane z pokładu satelity Landsat 5 skanerem TM, obejmujące obszar Sudetów Zachodnich, zostało poddane analizie przydatności do wykrywania różnych elementów środowiska i kartowania skutków klęski ekologicznej na tym obszarze.

W ostatnich latach obserwujemy dalszy szybki rozwój teledetekcyjnych technik badania Ziemi, co znajduje wyraz w coraz częstszym wykorzystywaniu zdjęć nowej generacji w wielu dziedzinach nauki i gospodarki. Przykładem takich zdjęć, o podwyższonej przestrzennej, radiometrycznej i spektralnej zdolności rozdzielczej są zdjęcia wykonywane za pomocą skanera Thematic Mapper (TM) umieszczonego na kolejnym satelicie serii Landsat. Satelita ten, oznaczony numerem piątym, został wprowadzony na orbitę okołoziemską 6 kwietnia 1984 r. Orbita tego satelity ma nieco inne parametry niż orbity czterech pierwszych satelitów tej serii. Jest ona także okołobiegunowa o nachyleniu 98° , ale jej nominalna wysokość wynosi 699 km, a więc jest o ponad 230 km niższa niż w przypadku pierwszych satelitów Landsat. Satelita Landsat 5 okrąża Ziemię w 98,8 minuty, a cykl obrazowania całego globu wynosi 16 dni.

Na pokładzie tego satelity zostały zainstalowane dwa systemy zbierania informacji obrazowych o powierzchni Ziemi. Są to: skaner wielospektralny MSS o takich samych parametrach technicznych jak i w przypadku poprzednich satelitów i nowy skaner, o podwyższonej zdolności rozdzielczej, nazywany

Thematic Mapper. Skaner ten rejestruje obraz Ziemi w 7 kanałach spektralnych, przy czym w 6 kanałach jego przestrzenna zdolność rozdzielcza wynosi 30 x 30 m, a w kanale obejmującym długofalowe promieniowanie podczerwone spada ona do 120 x 120 m.

Rejestrowane przez skaner TM zakresy spektrum elektromagnetycznego zostały tak dobrane, aby umożliwiły badanie szerokiej gamy obiektów i zjawisk przyrodniczych ze znacznie większą dokładnością niż było to możliwe w przypadku zdjęć wykonywanych za pomocą skanera MSS.

W celu zorientowania się w przydatności nowej generacji zdjęć satelitarnych do badania środowiska geograficznego wybrano zdjęcie Sudetów Zachodnich wykonane 11 lipca 1984 r.

Rejestracja powierzchni Ziemi aż w siedmiu kanałach spektralnych sprawia, że zasób i zakres informacji zawarty na poszczególnych zdjęciach jest różny. Są jednak zdjęcia, które wydają się przedstawiać niemal te same obiekty i zjawiska, są też i takie, które zdecydowanie różnią się w przedstawianiu tego samego terenu. W celu oceny zawartości informacji na zdjęciach wykonanych w poszczególnych kanałach i wyboru trzech zdjęć, na podstawie których można by utworzyć kompozycję barwną, najbardziej przydatną do interpretacji wizualnej, przeprowadzono analizę korelacji kanałów. Poszukiwano zatem takich zestawień trójek kanałów, w których współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi zakresami są najniższe. Niski wskaźnik korelacji świadczy bowiem o tym, że analizowane kanały niosą różne informacje. Natomiast wysoki współczynnik korelacji wskazuje na podobną zawartość treści w badanych zakresach spektralnych.

Analiza współczynników korelacji pomiędzy zdjęciami, rejestrowanymi przez skaner TM w różnych zakresach spektralnych, pozwala wybrać także zestawienia kanałów, które utworzą kompozycję barwną, dającą możliwie największą ilość informacji, oraz wyeliminować z dalszych rozważań te kanały, które nie wnoszą nowych informacji o środowisku przyrodniczym.

Badania te przeprowadzono dla całego zobrazowanego terenu oraz dla wybranych elementów środowiska takich jak pola orne, lasy zdrowe i zdegradowane oraz obszary zabudowane. W analizie pominięto kanał 6, charakteryzujący się niską rozdzielczością (120 m), który znajduje zastosowanie w specjalistycznych badaniach termalnych, natomiast w przypadku studiów rolno-leś-

Tablica 1

Współczynniki korelacji kanałów TM dla całej sceny 191-25

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
TM1	1,000				
TM2	0,780	1,000			
TM3	0,860	0,707	1,000		
TM4	0,560	0,398	0,514	1,000	
TM5	0,666	0,715	0,744	0,700	1,000
TM7	0,555	0,679	0,641	0,427	0,688

Tablica 2

Współczynniki korelacji kanałów TM dla obszaru rolniczego

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
TM1	1,000				
TM2	0,937	1,000			
TM3	0,950	0,953	1,000		
TM4	-0,037	0,058	-0,128	1,000	
TM5	0,715	0,678	0,725	0,056	1,000
TM7	0,835	0,789	0,868	-0,138	0,912

Tablica 3

Współczynniki korelacji kanałów TM dla lasu zdrowego
(drzewostany świerkowe z niewielką domieszką buka)

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
TM1	1,000				
TM2	0,950	1,000			
TM3	0,919	0,950	1,000		
TM4	0,765	0,856	0,819	1,000	
TM5	0,726	0,839	0,867	0,911	1,000
TM7	0,708	0,824	0,888	0,818	0,950

nych nie wnosi nowych informacji w porównaniu z pozostałymi zakresmi skanera TM [2].

W tablicach 1 - 5 przedstawiono współczynniki korelacji kanałów, dla poszczególnych badanych elementów środowiska. Z tablicy 1 można wysnuć wniosek, że badając całą scenę, w celu

Tablica 4

Współczynniki korelacji kanałów TM dla zdegradowanego obszaru leśnego (drzewostany świerkowe o zróżnicowanym ubytku aparatu asymilacyjnego, fragmenty drzewostanów martwych, wylesienia, obszary ziomów i wywrotów)

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
TM1	1,000				
TM2	0,904	1,000			
TM3	0,890	0,935	1,000		
TM4	0,411	0,570	0,412	1,000	
TM5	0,638	0,736	0,735	0,744	1,000
TM7	0,717	0,781	0,838	0,534	0,930

Tablica 5

Współczynniki korelacji kanałów TM dla obszaru miejskiego (Jelenia Góra)

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
TM1	1,000				
TM2	0,862	1,000			
TM3	0,863	0,950	1,000		
TM4	-0,254	-0,004	-0,087	1,000	
TM5	0,366	0,480	0,458	0,371	1,000
TM7	0,484	0,602	0,609	0,069	0,806

ogólnego opisanie wszystkich elementów środowiska geograficznego, do utworzenia kompozycji barwnej najlepiej używać następujących zestawów kanałów: 2-3-7, 1-4-7, 3-4-7, 2-3-4, 1-2-4. Współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi zakresami, tworzącymi te zestawy, są najniższe.

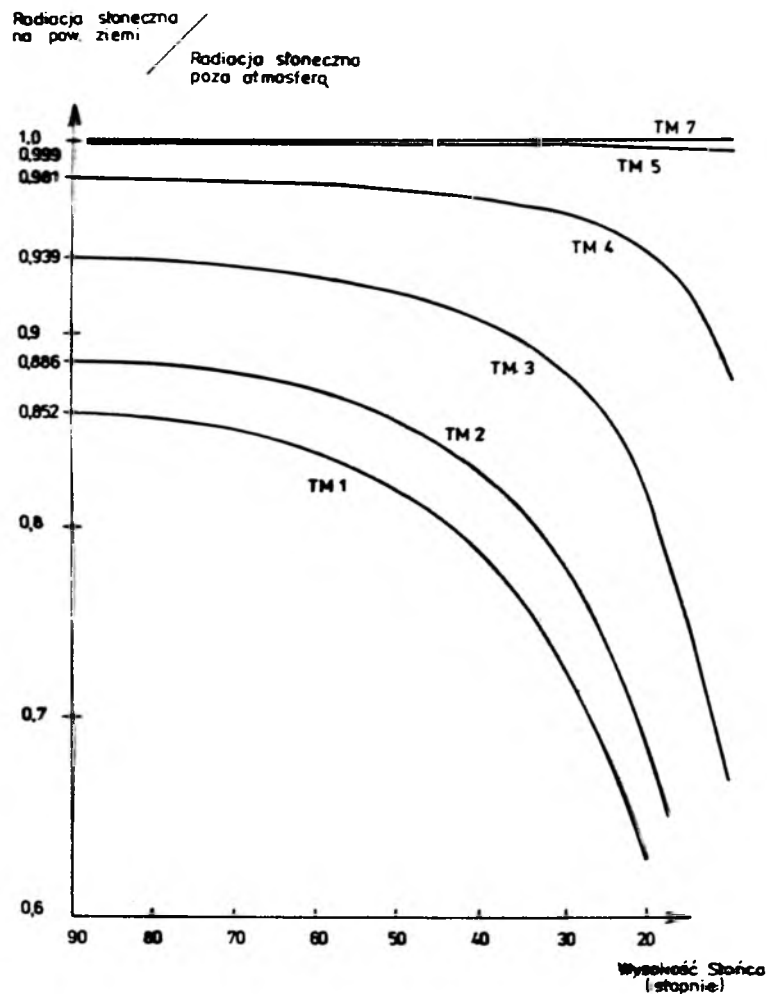
Natomiast do badania obszaru rolniczego najprzydatniejszymi (najmniej skorelowanymi) są następujące zestawy kanałów TM: 2-4-5, 1-4-5, 3-4-5 (tab. 2). Z tablic 3 i 4 wynika, że analiza lasu zdrowego powinna być przeprowadzona na jednej z następujących kompozycji: 1-4-7, 1-5-7, 1-4-5, 1-2-7, 1-3-4, 1-3-5, 3-4-7, a lasu zdegradowanego: 2-4-5, 1-4-5, 3-4-5. Z kolei na potrzeby studiów urbanistycznych najbardziej przydatne kompozycje mogą powstawać z następujących zestawień kanałów TM: 2-4-7, 3-4-7, 1-4-7, 2-4-5, 3-4-5 i 1-4-5.

Podane powyżej przykładowe zestawienia kanałów do kompozycji barwnych mogą być pomocne przy wyborze zakresów spektralnych TM do szczegółowych analiz tematycznych. Przy wyborze kanałów należy także brać pod uwagę fakt, że promieniowanie widzialne ulega zakłóceniom przy przejściu przez atmosferę. Wymóg minimalizacji zakłóceń atmosferycznych, a także eliminacji wpływu wysokości Słońca i ukształtowania terenu, prowadzi do konkluzji, że zakresy podczerwone mogą być bardziej przydatne niż zakresy widzialne. Efekt atmosfery dla kanałów TM5 i TM7 jest minimalny, a dla kanału TM4 słaby, przy wysokości Słońca w przedziale 25 - 90°. Natomiast w zakresach widzialnych uwidacznia się znaczny wpływ atmosfery na wartości spektralne, rejestrowane przez skaner TM. Wpływ ten jest skorelowany z wysokością Słońca i maleje wraz z jej wzrostem, co prezentuje rysunek 1.

W celu eliminacji zakłóceń związanych ze zmianą wysokości Słońca i ukształtowaniem terenu zaleca się wagowanie kanałów (polegające na wyliczaniu dla każdego piksela stosunku wartości liczbowych w dwóch zakresach spektralnych) lub wykorzystywanie analizy chromatycznej, która ponadto pozwala na wiarygodne porównywanie zdjęć wykonanych w różnych terminach oraz obrazujących różne obszary. Analiza chromatyczna umożliwia także szacowanie ubytku aparatu asymilacyjnego oraz analizę przezroczystości zbiorników wodnych i ich zasobności w fitoplankton [3],[5].

Rosengren i Ekstrand [3] stwierdzają ponadto, że istnieje wyraźna zależność pomiędzy wartością stosunku kanałów 5/4 a obrazem uszkodzenia świerka. Zależność tę potwierdzają też wyniki badań prowadzonych w OPOLIS na obszarze sudeckich świerczyn. Williams i Nelson (1986) wskazują na kanał 7, jako najbardziej użyteczny do szacowania ubytku aparatu asymilacyjnego. Ten ubytek uwidacznia się także na zdjęciu wykonanym w kanale 1.

Stosunek kanałów 1/4 pozwala odróżnić trawy od parków, miejsca rekreacji od łąk; może być także wykorzystywany przy klasyfikacji obszarów leśnych [1], natomiast dzielenie kanału 5 przez 7 może być użyteczne do wydzielenia i klasyfikacji obszarów zamieszkałych w przypadku występowania zabudowy rozproszonej. Z kolei do określania rozmieszczenia roślinności wystarcza na ogół stosowanie tylko zdjęcia w kanale 4.



Rys. 1. Wpływ atmosfery na wielkość transmisji promieniowania w zależności od wysokości Słońca [3]

Najlepsze zróżnicowanie pomiędzy terenem zabudowanym a pokrywą roślinną daje zdjęcie wykonane w kanale 7, natomiast na zdjęciach wykonanych w kanałach 4 i 5 uzyskuje się optymalne zróżnicowanie wody od pozostałych klas użytkowania ziemi [4]. Ten sam autor poleca jako najlepsze do badań urbanistycznych kompozycje utworzone z kanałów 1, 4, 5 ewentualnie 3, 4, 5. Ponadto proponuje stosowanie następujących kombinacji: 1, 3, 4 (ewentualnie 2, 3, 4) do kartowania i monitoringu roślinności w miastach oraz 1, 3, 7 jako najlepszą kompozycję do utworzenia

kompozycji przeznaczonej do anlizy i monitorowania zmian urbanistycznych.

Jak więc wynika z powyższych wywodów nie ma takiej kombinacji trzech kanałów, która byłaby równie dobra w każdym przypadku. Stąd też do każdej grupy analizowanych zagadnień trzeba utworzyć oddzielną kombinację. Ogranicza to stosowanie metod tylko analogowych choć ich nie wyklucza, gdyż można sobie wyobrazić kilka kompozycji barwnych tego samego terenu, których każda przeznaczona jest do badania innych komponentów środowiska geograficznego. Oczywiście wpływa to znacząco na koszty opracowania.

W przypadku tworzenia kompozycji barwnych na ekranie monitora sytuacja jest o wiele prostsza. Tu dla każdej grupy analizowanych obiektów czy zjawisk można stosunkowo prosto utworzyć taką kompozycję, która maksymalnie je uwypukla.

Wybrane zdjęcie Sudetów Zachodnich przetworzono w taki sposób aby maksymalnie podkreślić zróżnicowanie obrazu szaty roślinnej i elementów antropogenicznych.

Do analizy roślinności wykorzystano zdjęcia wykonane w kanałach 3, 4, 5 oraz 3, 4, 7 wydzielając (drogą analiz przeprowadzonych metodą wizualną i numeryczną) następujące klasy:

- drzewostany świerkowe osłabione - czyli drzewostany, których udział drzew martwych i zamierających nie przekracza 10%, a stan aparatu asymilacyjnego jest lokalnie najlepszy (ubytek aparatu asymilacyjnego w granicach 20 - 50%).

- drzewostany świerkowe silnie osłabione - czyli drzewostany o udziale drzew martwych i zamierających w granicach 10 - 50% z występującymi rozluźnieniami zwarcia (ubytek aparatu asymilacyjnego w granicach 40 - 70%).

- drzewostany martwe i zamierające - drzewostany o udziale drzew martwych i zamierających powyżej 50% .

- drzewostany młodszych klas wieku - do tej klasy zaliczono drzewostany od fazy młodnika, pokrywającego co najmniej 50% powierzchni, do wieku 40 - 50 lat.

- wylesienia z pokrywą roślinną - to obszary leśne pozbawione drzewostanu, lecz porośnięte roślinnością trawiastą i krzewiastą. Do tej kategorii zalicza się także odnowienia i uprawy, których wysokość i więźba powodują, że odbicie od małych drzewek nie jest w stanie zdominować odbicia

spektralnego, charakterystycznego dla innych roślin porastających teren.

- wylesienia z odkrytą glebą - to najczęściej powierzchnia świeżych zrębów lub złomów i wywrotów, na których w wyniku prac uprzętających odsłonięto glebę.

- kosodrzewina.

Wiarygodność wyznaczenia tych klas wynosiła 80 - 90% .

Zależnie od pory wykonania zobrazowania zmienia się czytelność elementów zapisanych na zdjęciu satelitarnym. Wraz z nią zmieniają się charakterystyki spektralne obiektów terenowych, co sprawia, że raz są one lepiej widoczne na zdjęciu, a w innym przypadku trudne do wydzielenia. W przypadku lasu, zdjęcie satelitarne powinno być wykonane w pełni rozwoju wegetacyjnego, a więc w okresie od połowy czerwca do września. Natomiast w interpretacji rolniczego użytkowania ziemi pora wykonania zobrazowania powinna być tak dobrana, aby pozwoliła na zarejestrowanie roślinności w fazie rozwoju umożliwiającej uchwycenie różnic pomiędzy uprawami. Dotychczasowe doświadczenia wykazują, że najbardziej dogodną porą do analizy struktury upraw jest przełom czerwca i lipca.

Analizując wizualnie kompozycję barwną w skali 1:50 000 wykonaną z kanałów 2, 4 i 5 można stwierdzić czytelność wielu elementów krajobrazu rolniczego. Znaczna przestrzenna zdolność rozdzielcza zdjęć satelitarnych wykonanych za pomocą skanera TM pozwala na analizę struktury agrarnej, m.in. wyznaczenie obszarów rozdrobionych pól uprawnych oraz pól wielkopowierzchniowych. W przypadku tych drugich, zdjęcie satelitarne pozwala na wydzielenie terenów upraw zbożowych i okopowych.

Oceny ilości informacji o terenach antropogenicznych dokonano na podstawie wizualnej interpretacji kompozycji barwnej w skali 1:50 000 utworzonej ze zdjęć satelitarnych wykonanych w kanałach 2, 4, 5. Do oceny tych informacji wykorzystano również nadzorowaną klasyfikację cyfrową. Obiektem analizy był w tym przypadku 60-tysięczny ośrodek miejski Jelenia Góra.

W wyniku badań wizualnych, a także numerycznych wyróżniono następujące kategorie miejskiego użytkowania ziemi:

- miejska zabudowa zwarta - obszary o dużej koncentracji infrastruktury miejskiej, której elementy wypełniają bloki urbanistyczne od 50 do 100% .

- miejska zabudowa rozproszona - tereny o mniejszej koncen-

tracji infrastruktury miejskiej z zaznaczającymi się wyraźnie elementami roślinności, np. ogrody przydomowe.

- tereny zdegradowane - do klasy tej zaliczono obiekty przemysłowe oraz obszary miasta, na których były prowadzone np. prace budowlane itp.

- tereny zieleni urządzonej (parki, skwery).

- ogrody działkowe.

Porównanie uzyskanych wyników z mapami tematycznymi i obserwacjami terenowymi wykazało, że tereny przemysłowe i obszary nowych osiedli mieszkaniowych nie zostały wyróżnione w postaci odrębnych klas.

Wyznaczone parametry statystyczne charakteryzujące te klasy (wartości średnie, odchylenie standardowe) wykazały, że posiadają one podobne charakterystyki spektralne, co tłumaczyłoby trudności z rozdzieleniem w procesie interpretacji tych dwóch klas miejskiego użytkowania ziemi.

Wiarygodność wyznaczenia pięciu kategorii miejskiego użytkowania ziemi wyniosła średnio 85% , a w przypadku terenów zdegradowanych 87% .

Jak wykazały przedstawione powyżej wyniki badań istnieje możliwość zastosowania zdjęć wykonanych skanerem Thematic Mapper do badań środowiska. Uzyskanie poprawnych wyników analizy uzależnione jest jednak, w dużym stopniu, od prawidłowego doboru zakresów spektralnych. Zarówno ilość informacji uzyskanych w wyniku interpretacji kompozycji barwnej utworzonej z prawidłowo dobranych kanałów, jak i wiarygodność klasyfikacji cyfrowych, pozwalają stwierdzić, że zdjęcia satelitarne nowej generacji pozwalają na otrzymanie zadowalających wyników w badaniu środowiska geograficznego, a nawet w jakościowej ocenie niektórych jego komponentów.

L I T E R A T U R A

- [1] Dixon-Gough R.W., Bullard R.K.: *Urban Land Cover Maps from Landsat Thematic Mapper Data*. ESA/EARSel Symposium. Noordwijkerhout, Holandia, 1987.
- [2] Lillesand T.M., Hopkins P.F., Buchheim M.P., Maclean A.L.:

The potential impact of Thematic Mapper, SPOT and microprocessor technology on forest type mapping under Lake States conditions. Environmental Remote Sensing Center, University of Wisconsin-Madison, 1986.

- [3] Rosengren M., Ekstrand S.: *A method aiming at monitoring of large area forest decline using satellite imagery.* Swedish Space Corporation, 1987.
- [4] Strathmann F.W.: *Urban development planning using Thematic Mapper Data of Munich.* ESA/EARSel. Symposium on Europe from Space. Lyngby, Dania, 1986.
- [5] Wastenson L., Alm G., Kleman I., Wastenson B.: *Swedish experiences of forest damage inventory by remote sensing.* Remote Sensing Laboratory, Department of Physical Geography, University of Stockholm, 1987.
- [6] Williams D.L., Nelson R.F.: *Use of remotely sensed data for assessing forest stand conditions in the eastern United States.* IEEE Trans Geoscience and Rem. Sens., vol. GE-25, no 1, 1986.

Recenzował: doc. dr hab. inż. Wojciech Bychawski

Przyjęto do opublikowania w dniu 26 stycznia 1989 r.

ZENON F. POŁAWSKI

TOMASZ ZAWIŁA-NIEDZWIECKI

ASSESSMENT OF USEFULNESS OF LANDSAT THEMATIC MAPPER SATELLITE DATA FOR ANALYSIS OF THE SELECTED ENVIRONMENTAL COMPONENTS

S u m m a r y

High-resolution Landsat TM satellite image, covering Western Sudety mountains, was used for detecting different components of environment and for mapping ecological disaster in this region. In the course of work correlation analysis for different TM spectral bands was performed, in order to select band combinations for colour composites, ensuring maximum

information content and to eliminate these channels, which do not add new information about geographical environment. The assessment of information content of Landsat TM data, concerning forests, agriculture and built-up land was done on the basis of visual analysis of the colour composite, as well as supervised classification of satellite image.

The results of these works proved, that Landsat TM data can be successfully applied for analysis of the selected environmental components.

Translation: Zbigniew Bochenek

Зенон Ф. Полавски
Томаш Завила-Недзьвецки

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ,
ВЫПОЛНЕННЫХ СКАНЕРОМ ТМ, ДЛЯ АНАЛИЗА
ИЗБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Р е з ю м е

Космические снимки с большой разрешительной способностью, выполненные с борта спутника Ландсэт 5 сканером ТМ, а охватывающие территорию Западных Судетов, были подвержены оценке пригодности для обнаружения разных элементов окружающей среды и для картирования последствий экологических бедствий на этой территории. В работе проведен анализ коэффициентов корреляции между снимками, регистрируемыми сканером ТМ в разных спектральных диапазонах, что разрешило выбрать такой перечень каналов, который создает цветные синтезированные изображения, дающие самое большое возможное количество информации, а также исключает из дальнейшего рассмотрения те каналы, которые не вносят нового содержания о природной окружающей среде. На основе визуального анализа избранных цветных синтезированных изображений контролируемой классификации (классификации "с учителем") проведена оценка количества информации о лесных, сельскохозяйственных и антропогенных территориях. Полученные результаты

исследований показали, что существует возможность применения снимков Ландсэт ТМ для исследования избранных элементов окружающей среды.

Перевод: Róża Tołstikowa