

TOMASZ ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI

**Zdjęcia satelitarne  
Landsat-Thematic Mapper  
w ocenie stanu lasu**

Космические снимки со спутника Лэндсат ТМ для оценки  
состояния лесов

Landsat TM satellite data for forest  
quality assessment

1. WSTĘP

**O**d kilkunastu lat w lasach Europy i Ameryki Północnej następuje gwałtowny wzrost szkód powodowanych przez przemysłowe zanieczyszczenia powietrza. Te zmiany środowiska zmuszają do poszukiwania nowych metod wielkopowierzchniowej oceny lasu. W ubiegłych latach Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie opracował metodę inwentaryzacji stanu lasu na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych. Jednakże w przypadku konieczności analizy dużych obszarów leśnych, o znacznej degradacji, stosowanie zdjęć lotniczych jest pracochłonne i dlatego sięgnięto po zdjęcia satelitarne, z pewnością mniej dokładne, ale pozwalające na wnioskowanie o dużych powierzchniach lasu.

Początki wykorzystania zdjęć satelitarnych do badań leśnych sięgają lat siedemdziesiątych, kiedy to na orbitę okołoziemską wprowadzono pierwszego satelitę serii Landsat. Rozdzielczość ówczesnych zdjęć umożliwiała jedynie wydzielenie drzewostanów iglastych, liściastych i mieszanych. Wraz ze wzrostem dokładności obrazowania powierzchni Ziemi informacje ze zdjęć satelitarnych stawały się coraz bardziej precyzyjne. W USA i Kanadzie identyfikowano na ich podstawie drzewostany jednowiekowe, rozróżniano klasy wieku oraz wydzielano różne stopnie zmieszania gatunkowego. Zarówno w Ameryce jak i w Europie prowadzono prace nad wykorzystaniem zdjęć satelitarnych do inwentaryzacji i monitorowania lasów zdegradowanych. Opracowywano także sposoby wykorzystania z pułapu kosmicznego do inwentaryzacji pożarysk i pożarów. W ZSRR od 1976 r. zdjęcia satelitarne umożliwiały precyzowanie zasięgu zniszczeń owadzych, ocenę ich dynamiki, szacowanie szkód oraz ich kartograficzną prezentację.

W Polsce analizowano zdjęcia satelitarne z punktu widzenia ich przydatności do oceny zagospodarowania lasów oraz do analiz stanu lasów iglastych. Od roku 1986 trwają badania przydatności zdjęć satelitarnych do oceny lasów, prowadzone w ramach CPBP 04.10, podprogram 04.10.07 „Ekologiczne podstawy gospodarki leśnej i kształtowanie zdolności lasu do pełnienia wielostronnych funkcji”. Badania te dotyczyły między innymi zastosowania zdjęć wykonywanych przez skaner Thematic Mapper (TM), zainstalowany na satelicie Landsat 5, do waloryzacji zdegradowanych świerczyn w Sudetach Zachodnich. Wybrany fragment tych prac omawia niniejszy artykuł.

## 2. SYSTEM LANDSAT-THEMATIC MAPPER

Aмерыkański satelita Landsat 5 został wystrzelony 1 marca, a operacyjną działalność rozpoczął 6 kwietnia 1984 r. Orbita tego sztucznego satelity Ziemi jest okołobiegunowa, heliosynchroniczna, o nominalnej wysokości 699 km i inklinacji 98°. Okrąża on Ziemię w 98,9 minuty, a cykl obrazowania całego globu wynosi 16 dni.

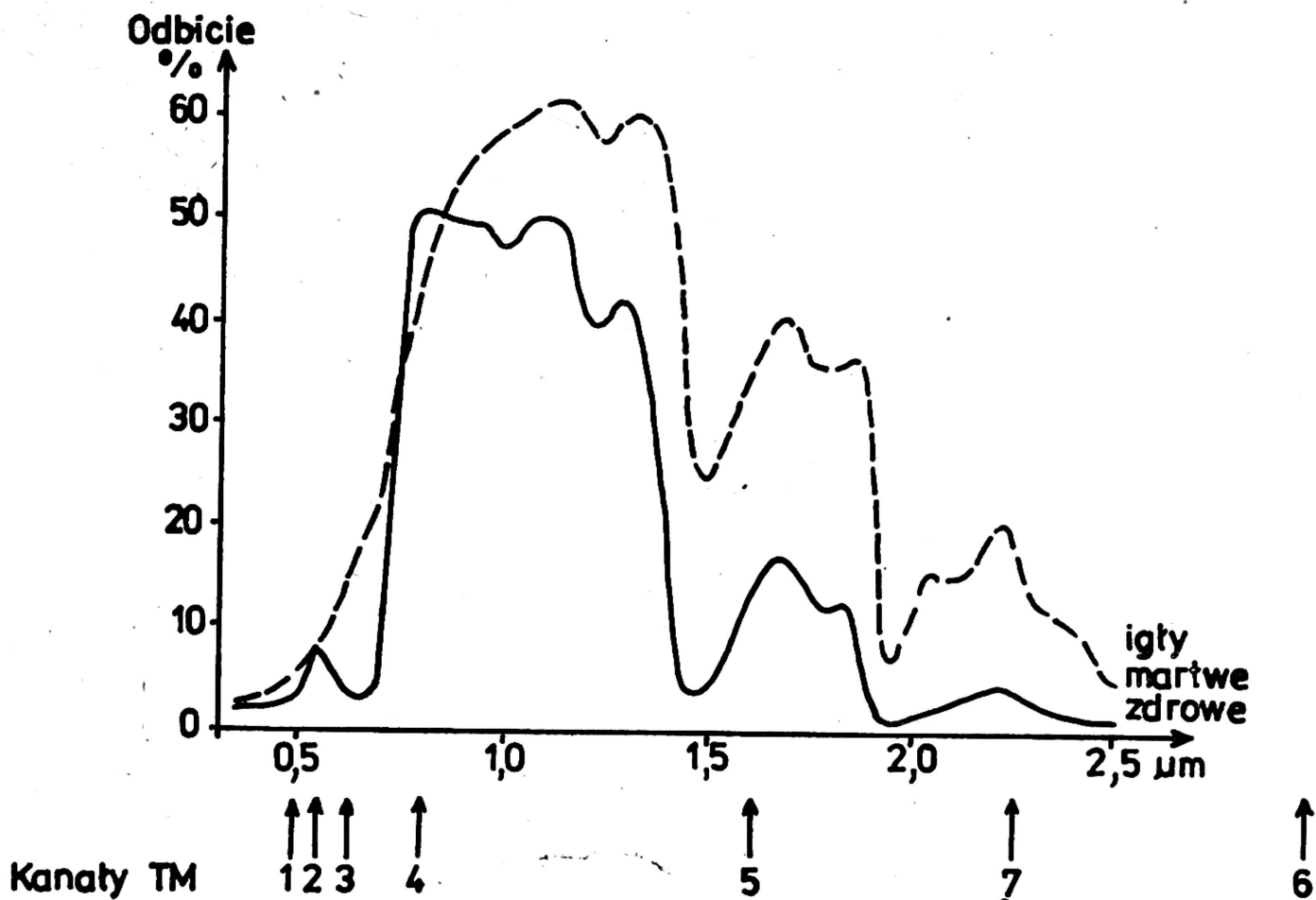
Skaner Thematic Mapper (TM), zainstalowany na pokładzie satelity Landsat, rejestruje określony obszar punkt po punkcie w linii oraz linia po linii i zapisuje uśrednioną wartość spektralną dla każdej powierzchni elementarnej (piksel), odpowiadającej w terenie obszarowi o wymiarach 30×30 m, a dla kanału 6 — 120×120 m. Odpowiedzi spektralne obiektów są rejestrowane w 7 zakresach, wobec czego każdy piksel można sobie wyobrazić jako punkt w 7-wymiarowej przestrzeni spektralnej, gdzie pomiary jasności w poszczególnych kanałach są współrzędnymi piksela —  $P_i$  ( $p_{1,i}, \dots, p_{7,i}$ ). Każda współrzędna punktu P przyjmuje jedną z wartości skali czułości urządzenia rejestrującego w zakresie od 0 do 255. Aparatura skanująca rozpoznaje więc 256 poziomów odpowiedzi spektralnych, tzw. poziomów szarości: wartość 0 odpowiada czerni, a 255 — bieli.

Zakresy spektralne, rejestrowane przez TM, zostały tak dobrane, aby umożliwiały badanie szerokiej gamy zjawisk i elementów przyrodniczych. Skaner TM rejestruje następujące zakresy promieniowania elektromagnetycznego:

- promieniowanie widzialne: kanał 1 (450—520 nm), kanał 2 (520—600 nm), kanał 3 (630—690 nm),
- podczerwień bliska (fotograficzna): kanał 4 (760—900 nm),
- podczerwień średnia: kanał 5 (1550—1750 nm), kanał 7 (2080—2350 nm),
- podczerwień termalna: kanał 6 (10400—12500 nm).

Rycina przedstawia usytuowanie kanałów TM w odniesieniu do krzywej odbicia promieniowania elektromagnetycznego od roślin na przykładzie drzewa zdrowego i martwego (*Pinus pinaster* Ait.).

Zdjęcia wykonane przez satelitę Landsat są przesyłane na Ziemię drogą radiową i rejestrowane na taśmach magnetycznych. Zobrazowania z terenu Polski są odbierane przez stację w Fucino (Włochy). Użytkownicy zdjęć mogą kupować zarówno taśmy z zapisem magnetycznym, jak i materiały fotograficzne w postaci wyciągów poszczególnych kanałów lub ich kompozycji.



Schemat rozmieszczenia kanałów TM w odniesieniu do krzywej odbicia promieniowania elektromagnetycznego od sosen zdrowych i martwych.

W omawianej pracy wykorzystywano taśmy magnetyczne, które do badania lasów są lepsze od materiałów fotograficznych, gdyż umożliwiają dokonywanie odpowiednich przetworzeń cyfrowych, wzmacniających czytelność treści leśnej zdjęcia.

### 3. ANALIZA ZDJĘĆ THEMATIC MAPPER

Przystępując do tematycznego opracowania zdjęcia Thematic Mapper Sudetów Zachodnich, do szczegółowych analiz wybrano te zakresy, które najpełniej odzwierciedlają zmiany zdrowotne drzew, manifestujące się zmniejszeniem ilości barwników i wody w zielonych częściach roślin, a także redukcję aparatu asymilacyjnego, co powoduje modyfikację odbicia słonecznego promieniowania elektromagnetycznego.

Do szczegółowej analizy zdjęcia satelitarnego najkorzystniejsze jest wybranie kanałów o najmniejszej korelacji odpowiedzi spektralnych odpowiadających sobie pikseli, co może świadczyć o tym, że zawartość informacji w tych zakresach jest różna, a więc, że wzajemnie się one uzupełniają, dostarczając tym samym maksimum informacji. Jak wynika z tabeli, istnieje niska korelacja pomiędzy kanałem 6 a pozostałymi kanałami TM. Jednakże ze względu na małą rozdzielczość (120 m) i małą przydatność tego zakresu do badań leśnych nie był on brany pod uwagę w dalszych analizach. Badając użyteczność poszczególnych zakresów TM, poszukiwano trzech kanałów, które mogłyby posłużyć do utworzenia

kompozycji barwnej (przez naświetlenie wyciągów wybranych kanałów jedną z trzech barw podstawowych), najlepiej nadającej się do interpretacji wizualnej.

**Współczynniki korelacji odpowiedzi spektralnych poszczególnych kanałów sudeckiej sceny TM. (Thematic Mapper)**

	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 6
TM 2	0,904					
TM 3	0,890	0,935				
TM 4	0,411	0,570	0,412			
TM 5	0,638	0,736	0,735	0,744		
TM 6	0,560	0,420	0,320	0,343	0,343	
TM 7	0,717	0,781	0,838	0,534	0,930	0,298

Najmniej skorelowaną trójkę tworzą kanały 1, 4, 7. Niektórzy autorzy podkreślają użyteczność kanału 1 do badania lasu. Biorąc jednak pod uwagę, że w tym zakresie występują znaczne zakłócenia atmosferyczne, korzystne jest znalezienie innego kanału, o podobnym zasobie informacji, natomiast w miarę możliwości pozbawionego wpływu atmosfery. Wpływ atmosfery w zakresie kanałów 5 i 7 jest minimalny, a w zakresie kanału 4 słaby przy wysokości Słońca w przedziale 25—90°. Natomiast w zakresach widzialnych ma miejsce znaczny wpływ atmosfery na słoneczne promieniowanie elektromagnetyczne.

Kolejną najmniej skorelowaną trójką kanałów (już bez kanału 1) tworzą zakresy 3, 4 i 7. Jak wynika z tabeli, kanał 3 jest silnie skorelowany z 1 ( $R=0,89$ ), z czego można wnioskować, że zawiera podobny zakres informacji, natomiast w mniejszym stopniu podlega wpływom atmosfery. Silna korelacja ( $R=0,93$ ) istnieje również pomiędzy kanałami 5 i 7, co pozwala sądzić, że i te zakresy TM są zbliżone w zawartości treści. Uważa się, że kanał 5 pozwala na najlepsze rozróżnienie klas leśnych, a wraz z kanałem 4 są najważniejszymi zakresami TM w badaniu lasów.

Opierając się na powyższych danych do szczegółowych analiz wybrałem kanały 3, 4, 5, 7, zestawiając je w kompozycje barwne: 3, 4, 5 oraz 3, 4, 7. Ponadto w szczegółowych badaniach sudeckich lasów stosowałem dzielenie kanałów 5/4 i 4/3, które są przydatne do analiz zdrowotności, a szczególnie ubytku aparatu asymilacyjnego. Dlatego też oprócz dwóch wymienionych kompozycji analizowałem także kompozycję utworzoną z kanałów 7, 5/4, 4/3.

W wyniku interpretacji wizualnej tych kompozycji stwierdziłem, że na nich wszystkich stosunkowo łatwo można wydzielić obszary pozbawione lasu, zarówno z odkrytą glebą, jak i porośnięte trawami. Ponadto stwierdziłem, że poszczególne analizowane kanały mogą być przydatne zwłaszcza do:

- kanał 3 — wydzielenia drzewostanów iglastych,
- kanał 4 — wydzielenia drzewostanów mieszanych, liściastych oraz obszarów porośniętych roślinnością zielną,

- kanał 5 — wydzielenia obszarów z odkrytą glebą oraz znacznych ubytków aparatu asymilacyjnego w świerczynach,
- kanał 7 — wydzielenia obszarów z odkrytą glebą oraz ubytków igliwia,
- kanał 4/3 — wydzielenia drzewostanów mieszanych oraz młodników świerkowych, a także obszarów trawiastych i odnowień,
- kanał 5/4 — wydzielenia uszkodzonych drzewostanów świerkowych, ale z niewielką możliwością stratyfikacji tej klasy.

Spośród analizowanych kompozycji barwnych najkorzystniejsze do określania stanu lasu jest stosowanie zestawień kanałów: 5/4, 4/3, 7 oraz 3, 4, 5. Na podstawie pierwszej kompozycji łatwo można wydzielić obszary lasu zniszczonego, odnowienia, drzewostany liściaste i mieszane, wylesienia pokryte roślinnością zielną oraz z odkrytą glebą. Natomiast kompozycja barwna utworzona z kanałów 3, 4, 5 znajduje zastosowanie głównie do wyznaczania granicy polno-leśnej oraz odróżnienia odnowień od roślinności trawiastej i krzewów.

Po wykonaniu interpretacji wizualnej zdjęcia TM definiowałem wyznaczone klasy, korzystając z wyników inwentaryzacji stanu lasu przeprowadzonej na podstawie barwnych zdjęć lotniczych w podczerwieni (w skali 1:8000), które zostały wykonane w tym samym terminie, co zdjęcia satelitarne. A oto definicje wyznaczonych klas:

1. Drzewostany świerkowe osłabione — klasę tę tworzą świerczyny w wieku 34—99 lat (średnio 55 lat), bonitacji I—III, o liczbie pni na 1 ha wynoszącej średnio 890 (od 380 do 1650), udziale drzew martwych od 0 do 9% (śr. 3%), a drzew martwych i zamierających od 3 do 25% (śr. 14%).

2. Drzewostany świerkowe silnie osłabione — klasę tę tworzą świerczyny w wieku 59—199 lat (śr. 90 lat), bonitacji II—IV, liczbie pni na 1 ha — śr. 512 (od 290 do 780), ilości drzew martwych — śr. 11% (od 0 do 37%), a martwych i zamierających — śr. 22% (od 5 do 50%).

3. Drzewostany świerkowe martwe i zamierające.

4. Drzewostany liściaste i mieszane.

5. Młodniki świerkowe, czyli świerczyny w wieku 10—35 lat.

6. Wylesienia z pokrywą roślinną — obszary leśne nie zalesione, porośnięte trawami i krzewami, a także uprawy leśne.

7. Wylesienia z odkrytą glebą — są to przeważnie powierzchnie, na których w wyniku prac zrębowych odsłonięto glebę.

Porównując wyniki interpretacji zdjęć lotniczych i satelitarnych można stwierdzić, że istnieje zbieżność wyznaczanych klas, z uwzględnieniem faktu, że zdjęcie satelitarne ze swej istoty operuje generalizacją zjawisk. Praktycznie tylko jeden element deformuje, na zdjęciu satelitarnym, faktyczny stan terenowy. Mianowicie interpretując zdjęcie TM, kosodrzewinę zaliczono do drzewostanów martwych i zamierających. Wynika to stąd, że kosówka ma zbliżoną odpowiedź spektralną do drzewostanów martwych. Ograniczenie to w skali Polski ma stosunkowo małe znaczenie, gdyż kosodrzewina występuje jedynie na niewielkich obszarach.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Podsumowując wyniki prac można stwierdzić, że zdjęcie TM nadaje się do wielkoobszarowej analizy stanu uszkodzonych lasów świerkowych. Wydzielenie 2 klas zdrowotności żyjących drzewostanów świerkowych może być dodatkową informacją dla programowania strategii gospodarczej. Z punktu widzenia gospodarki leśnej istotna jest także możliwość wydzielenia drzewostanów młodszych i starszych klas wieku.

Wyróżnienie na zdjęciu satelitarnym TM 3 klas zdrowotności drzewostanów świerkowych oraz 4 innych klas charakteryzujących las można uznać za zadowalające.

Z Ośrodka Przetwarzania  
Obrazów Lotniczych i Satelitarnych  
Instytutu Geodezji i Kartografii  
w Warszawie

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 18 października 1988 r.

#### Краткое содержание

Применение космических снимков со спутника Лэндсат ТМ позволяет провести оценку состояния повреждённых еловых лесов на больших территориях. Работы, проводимые в районе экологического бедствия в Судетах, позволили выделить на снимках ТМ, характеризующих лесные массивы, санитарное состояние для III и IV степени еловых древостоев.

#### Summary

Application of Landsat Thematic Mapper imagery enables large-area evaluation of the state of damaged spruce stands. Research works, carried out at the Sudetes, affected with ecological disaster, allowed for discrimination on the satellite TM image of 3 classes of damaged forests, as well as delineation of 4 other forest categories.