

TOMASZ ZAWIŁA-NIEDZWIĘCKI

WYBRANE ZAGADNIENIA WYKORZYSTANIA ZDJĘĆ WYKONANYCH PRZEZ
SATELITY LANDSAT TM I SPOT W BADANIU LASU

ZARYS TREŚCI: W artykule porównano możliwości wykorzystania zdjęć wykonanych przez satelity Landsat TM i SPOT do oceny stanu lasu i kartowania zmian w środowisku leśnym.

Od kilkunastu lat w naszych lasach obserwujemy wzrost szkód powodowanych przez przemysłowe zanieczyszczenia powietrza. Powodem złego stanu naszych lasów jest stałe zwiększanie się powierzchni drzewostanów uszkodzonych i zagrożonych przez przemysł. Już obecnie szacuje się, że wskutek zanieczyszczeń przemysłowych straciliśmy około 10 000 ha, blisko 1 mln ha lasów jest uszkodzonych, a 4 mln ha zagrożonych. Szczególnie groźna sytuacja występuje w górach, gdzie gatunkami lasotwórczymi są jodła, świerk i buk, a więc gatunki najbardziej wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza [7]. Istnieje obawa, że w ciągu 10 lat może dojść do całkowitego wylesienia regla górnego [8].

Gwałtowne zmiany środowiska powodują konieczność sięgania po nowe metody oceny stanu lasu. Tym też należy tłumaczyć, że teledetekcja jest przedmiotem stałego zainteresowania leśników. W ostatnich latach w inwentaryzacji lasu stosowane były zdjęcia lotnicze - panchromatyczne i spektrostrefowe. Jesteśmy także świadkami szybkiego rozwoju satelitarnych technik badania

zasobów leśnych. Zdjęcia satelitarne są dziś materiałem kartometrycznym, na którym można dokonywać wielu pomiarów, wzbogacających warsztat pracy każdego, kto zajmuje się problemami środowiska naturalnego.

Doceniając rolę satelitarnych technik badania zasobów naturalnych, od kilku lat w Ośrodku Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych (OPOLiS) prowadzone są analizy, mające na celu sprawdzenie przydatności zdjęć satelitarnych nowej generacji do oceny stanu lasu oraz kartowania zmian w środowisku leśnym.

Podstawą tych analiz były zdjęcia obszaru Sudetów (scena 191-25 z 11.07.1984 r. z satelity Landsat oraz scena 65-247 z 3.05.1986 r. z satelity SPOT), Borów Tucholskich (Landsat - scena 190-23 z 24.08.1985 r. oraz SPOT-scena 69-241 z 4.08.1986 r.) a także Puszczy Knyszyńskiej (SPOT-scena 78-242 z 15.06.1986 r.). Jak więc widać badania prowadzono na terenach leśnych różniących się siedliskami, typami lasów, składem gatunkowym oraz zdrowotnością. Zdjęcia SPOT dostarczono do OPOLiS w ramach Międzynarodowego Programu Oceny Zobrazowań SPOT (PEPS), zorganizowanego przez francuskie CNES i SPOT IMAGE [3].

Zdjęcia wykonane przez satelity LANDSAT i SPOT różnią się rozdzielczością spektralną i przestrzenną. Skaner Thematic Mapper (TM), umieszczony na satelicie LANDSAT, rejestruje siedem zakresów spektralnych, ma więc większą rozdzielczość spektralną niż skaner HRV, zainstalowany na satelicie SPOT, który rejestruje trzy zakresy. Natomiast lepsza rozdzielczość terenowa posiadają zdjęcia SPOT, które ponadto umożliwiają tworzenie modelu stereoskopowego. Szczegółowe charakterystyki omawianych systemów przedstawia tablica 1.

Zdjęcia wykonane przez satelity SPOT i LANDSAT są rozprowadzane w postaci zapisu cyfrowego na taśmach magnetycznych lub jako fotografie, w postaci negatywów i diapozytywów wyciągów spektralnych oraz kompozycji barwnych. Niestety standardowe materiały nie nadają się do szczegółowych analiz leśnych. Do tego celu konieczne jest zastosowanie specjalnych przetworzeń cyfrowych, wzmacniających treść leśną zdjęcia, co wymaga zakupu zdjęć zapisanych cyfrowo oraz stosowania numerycznych systemów przetwarzania obrazów.

Istnieją dwie drogi analizy treści zdjęcia sateliternego zapisanego cyfrowo:

- poprzez klasyfikację komputerową - podczas której brane jest pod uwagę jedynie zróżnicowanie spektralne,
- poprzez interpretację analogową - podczas której oprócz danych spektralnych można wykorzystać dane teksturalne i wiedzę interpretatora.

Tablica 1

Charakterystyka systemów		LANDSAT 5	SPOT 1
Wysokość orbity	[km]	705	832
Inklinacja	[°]	98,2	98,7
Cykl obrazowania globu	[dni]	16	26
Czas okrążenia globu	[min]	98	101
Aparatura rejestrująca	-	Skaner TM	Skaner HRV
Zakresy spektralne skanera	[μm]	TM1: 0,45 - 0,52 TM2: 0,52 - 0,60 TM3: 0,63 - 0,69 TM4: 0,76 - 0,90 TM5: 1,55 - 1,75 TM6: 10,40 - 12,50 TM7: 2,08 - 2,35	XS1: 0,50 - 0,59 XS2: 0,61 - 0,68 XS3: 0,79 - 0,89 XP: 0,51 - 0,73
Rozdzielczość terenowa	[m]	TM1 - TM7 : 30 TM6 : 120	XS : 20 XP : 10
Wymiary sceny	[km]	180 x 180	60 x 60

Optymalnym wariantem wydaje się interpretacja hybrydowa, opierająca się na interpretacji wizualnej odpowiednio przygotowanych cyfrowo kompozycji barwnych zdjęć satelitarnych. Stoso-

wanie interpretacji wizualnej zwiększa także możliwość praktycznego stosowania zdjęć satelitarnych w Polsce, gdyż jak dotąd operacyjny system przetwarzania obrazu jest zainstalowany jedynie w OPOLIS.

Jak wiadomo teledetekcja wykorzystuje promieniowanie elektromagnetyczne odbite lub emitowane przez różne obiekty. Główną rolę w wartościach odbicia elektromagnetycznego od lasu odgrywa aparat asymilacyjny. Jego stan (tzn. ilość, zawartość barwników i wody) decyduje o wielkościach charakterystyk spektralnych, przy czym przy różnych zakresach promieniowania mogą się manifestować różne elementy przyrodnicze, jak również różne objawy zmian kondycji roślin. W zakresie widzialnym słoneczne promieniowanie elektromagnetyczne jest pochłaniane przez barwniki zawarte w chloroplastach oraz rozpraszane przez inne organelle komórki. W zakresie żółtoczerwonym ($0,60 - 0,64 \mu\text{m}$) odbiciu promieni sprzyja nalot woskowy i pokrywa włoskowa liści. Z kolei w zakresie podczerwieni chloroplasty nie pochłaniają promieniowania, gdyż są dla niego przezroczyste.

W zakresie widzialnym chlorofil, dostarczając energii niezbędnej do fotosyntezy, pochłania promieniowanie niebieskie ($0,4 \mu\text{m}$) i czerwone ($0,675 \mu\text{m}$), natomiast nie absorbuje fal zielonych ($0,55 \mu\text{m}$). Zmniejszenie zawartości pigmentów w liściach powoduje wzrost odpowiedzi spektralnej. W przedziale $0,75 - 1,3 \mu\text{m}$ odbicie od zielonych części roślin jest większe niż w zakresie widzialnym, co wynika z odbicia i rozproszenia promieni w miękiszu gąbczastym przy czym wyraźny spadek promieniowania następuje tutaj w przypadku liści chorych. W przedziale $1,3 - 2,5 \mu\text{m}$ zauważa się zmianę odbicia od liści wraz ze zmianą zawartości wody.

Te teoretyczne rozważania pozwalają wytypować zakresy spektralne, które mogą być przydatne w badaniach stanu lasu.

Analizując zdjęcia, wykonane w siedmiu zakresach spektralnych, rejestrowanych przez skaner Thematic Mapper, mamy możliwość wyboru tych kanałów, które zawierają najwięcej informacji o lesie. O użyteczności poszczególnych kanałów decyduje odpowiedni dobór zakresów spektralnych, a o informacyjności tych zakresów mogą świadczyć ich histogramy i korelacje odpowiedzi spektralnych, zapisanych w poszczególnych kanałach TM [5].

W wyniku przeprowadzonych w OPOLiS analiz stwierdzono, że duży zasób informacji o lesie jest zawarty w kanale 1 Thematic Mapper. Jednakże jego przydatność jest w znacznym stopniu ograniczona wskutek zakłóceń atmosferycznych, występujących w zakresie spektrum rejestrowanym przez ten kanał. Z kanałem 1 TM jest silnie skorelowany kanał 3, z czego można wnioskować, że zawiera podobny zakres informacji, natomiast w mniejszym stopniu podlega on zakłóceniom atmosferycznym. Wprawdzie użyteczność zakresów TM 2 i 3 również jest ograniczona wpływem wysokości Słońca na wartości odbicia promieni elektromagnetycznych od powierzchni Ziemi (im niższa wysokość Słońca, tym większe zakłócenia atmosferyczne), ale stosowanie tych kanałów można zalecać w przypadku zdjęć wykonanych w okresach letnich.

Silna korelacja istnieje również pomiędzy kanałami 5 i 7, co pozwala sądzić, że i te zakresy TM mają zbliżoną zawartość informacji o lesie, choć TM 7 ma niższą dynamikę tonów szarości. Kanał 5, wraz z kanałem 4, pozwala na najlepsze rozróżnianie klas leśnych. Oba te kanały zawierają podobny zasób informacji, dotyczących typów lasów i klas wieku, natomiast kanał 5 może dodatkowo dostarczyć danych o zdrowotności lasu oraz o wilgotności siedlisk. Kanał 6, mimo niskiej korelacji ze wszystkimi zakresami TM, jest mało użyteczny w badaniach lasu, gdyż nie wnosi nowych informacji, a charakteryzuje się niską rozdzielczością terenową (120 m). W celu zwiększenia informacyjności oraz eliminacji zakłóceń można stosować wagowanie kanałów, polegające na wyliczaniu dla każdego piksela stosunku wartości liczbowych w różnych zakresach spektralnych.

Szczegółowe analizy kompozycji barwnych różnych kombinacji kanałów TM doprowadziły do wniosku, że poszczególne zakresy zawierają szereg informacji, umożliwiających wydzielenie elementów taksacyjnych lasu. I tak zdjęcie w kanale 3 najlepiej nadaje się do wydzielenia drzewostanów iglastych, w kanale 4 najlepiej wyróżnia się drzewostany mieszane i liściaste oraz obszary trawiste, a kanały 5 i 7 mogą służyć do wydzielenia wylesień z odkrytą glebą oraz znacznych ubytków aparatu asymilacyjnego w drzewostanach iglastych. Natomiast wagowanie kanałów $4/3$ jest przydatne do odróżniania drzewostanów mieszanych i liściastych od młodszych klas wieku drzewostanów iglastych, a także wydzier-

lania obszarów trawiastych i odnowień. Z kolei wagowanie kanałów 5/4 jest szczególnie przydatne do wydzielenia uszkodzonych drzewostanów iglastych. Tak więc do szczegółowych analiz leśnych należy polecić stosowanie zakresów TM: 3, 4, 5 lub 7, ze szczególnym uwzględnieniem kompozycji utworzonej z kanałów: 5/4, 4/3 i 7. Na podstawie takiej kompozycji, na obszarze Sudetów wydzielono klasy interpretacyjne, które definiowano korzystając z wyników inwentaryzacji stanu lasu, przeprowadzonej na podstawie barwnych zdjęć lotniczych w podczerwieni. Zdjęcia te, w skali 1:8 000, zostały wykonane w tym samym terminie, co zdjęcia satelitarne. A oto definicje wyznaczonych klas:

1. Drzewostany świerkowe osłabione - klasę tę tworzą świerczyny w wieku średnio 70 lat, bonitacji I - III, o liczbie pni na 1 ha wynoszącej średnio 703, udziale drzew martwych 7 %, a drzew martwych i zamierających 19 %.

2. Drzewostany świerkowe silnie osłabione - klasę tę tworzą świerczyny w wieku średnio 93 lata, bonitacji II - IV, o liczbie pni na 1 ha wynoszącej średnio 513, udziale drzew martwych 78 %, a drzew martwych i zamierających 90 %.

3. Drzewostany świerkowe martwe i zamierające.

4. Drzewostany liściaste i mieszane.

5. Młodniki świerkowe.

6. Wylesienia z pokrywą roślinną.

7. Wylesienia z odkrytą glebą.

Porównując wyniki interpretacji zdjęć lotniczych i zdjęć wykonanych przez satelitę Landsat TM można stwierdzić, że istnieje zbieżność wyznaczonych klas, z uwzględnieniem faktu, że zdjęcia satelitarne ze swej istoty operują generalizacją zjawisk.

Analiza zdjęć, wykonanych przez satelitę SPOT nie wymaga, w przeciwieństwie do zdjęć Thematic Mapper, ograniczania liczby badanych kanałów, gdyż francuski satelita rejestruje jedynie 3 zakresy spektralne. Maksymalne wykorzystanie informacyjności zdjęć SPOT następuje więc w wyniku odpowiednich przetworzeń numerycznych, wzmacniających obraz i uwypuklających treść leśną.

Z punktu widzenia analizy treści leśnej, zdjęcia SPOT, wykonane w kanałach XS1 i XS2, są podobne w zasobie informacji (wysoka korelacja odpowiedzi spektralnych, rejestrowanych w tych

kanałach). Niestety nie dysponujemy żadnym innym zakresem, który, mógłby zastąpić jeden z silnie skorelowanych kanałów. Przeprowadzone analizy wykazują, że standardowe kompozycje barwne umożliwiają wydzielenie podobnych klas lasów zdrowych, jak w przypadku zdjęć TM, natomiast wagowanie XS1/XS3 umożliwia analizowanie zmieszania gatunkowego w obrębie gatunków iglastych. W przypadku drzewostanów uszkodzonych dobre rezultaty daje wagowanie: $XS2/XS1 * XS3$, dzięki któremu zwiększa się kontrast pomiędzy fragmentami lasu o różnym stopniu uszkodzenia, wskutek wzrostu wagowanej odpowiedzi spektralnej w lasach uszkodzonych [1]. Wagowania kanałów podkreślają również zróżnicowanie, wynikające z różnego oświetlenia stoków. Drzewostany na stokach północnych, w związku ze słabszym oświetleniem, charakteryzują się niższą odpowiedzią spektralną niż położone na stokach południowych.

Szerokie możliwości interpretacyjne daje kompozycja barwna zdjęcia SPOT, utworzona z trzech wagowanych kanałów:

- 1) $XS3 - XS2 / XS3 + XS2$
- 2) $XS2 / XS1 * XS3$
- 3) $XS1 / XS2$

Kompozycja ta jest syntezą wyników naszych prac nad zastosowaniem zdjęć SPOT do analiz leśnych i warta jest polecenia do badania lasu.

Nawiązując do pierwszego, z wymienionych wyżej, wagowanych kanałów, warto zwrócić uwagę na znormalizowany indeks roślinności. Jest to specjalny typ wagowania danych, polegający na dzieleniu różnicy odpowiedzi spektralnych w zakresach podczerwonym i czerwonym przez sumę odpowiedzi spektralnych w tych dwóch zakresach. Wskaźnik ten dla zdjęć Landsat TM przyjmuje postać: $TM4 - TM3 / TM4 + TM3$, a dla zdjęć SPOT: $XS3 - XS2 / XS3 + XS2$. Zaletą tego wskaźnika jest agregacja informacji zawartych w dwóch kanałach spektralnych, a jego znaczenie w wydzieleniu roślinności wynika z dużej absorpcji światła czerwonego przez chlorofil oraz wysokiego odbicia promieniowania elektromagnetycznego w zakresie bliskiej podczerwieni. Sader [6] twierdzi, że indeks roślinności może być pomocny także przy szacowaniu biomasy równoległych drzewostanów sosnowych, gdyż jest on z nią wyraźnie skorelowany ($r=0,81$ przy $\beta=0,05$), natomiast nie znaleziono

wyraźnego związku pomiędzy indeksem roślinności, a biomasa drzewostanów liściastych i mieszanych.

Prace prowadzone w OPOLIS dowodzą, że zdjęcia wykonane przez satelity LANDSAT i SPOT mogą być stosowane do kartowania i monitorowania lasów. W przypadku kartowania lasów zdrowych podobny zakres treści leśnej może być uzyskany ze zdjęć pochodzących z obu omawianych satelitów. Natomiast w przypadku lasów uszkodzonych i zdegradowanych, zdecydowanie lepsze wyniki osiąga się stosując zdjęcia wykonane skanerem Thematic Mapper. Brak rejestracji zakresów średniej podczerwieni, stanowi duży mankament w wykorzystaniu zdjęć wykonanych przez satelitę SPOT w badaniach przyrodniczych. Guyon i Riou [4] twierdzą nawet, że kompozycja TM złożona z kanałów 1, 4 i 5 zawiera o połowę informacji więcej, niż kompozycja SPOT: XS1, XS2 i XS3 oraz porównywalna z nią kompozycja TM 2, 3 i 4.

Na zakończenie warto podkreślić, że bezpośrednie porównywanie ze sobą zdjęć LANDSAT i SPOT może natrafiać na przeszkody, gdyż satelita francuski obrazuje wybrany obszar Ziemi około dwie godziny później niż satelita amerykański. Różny kat padania promieni słonecznych, powodując zmianę rozkładu cieni na stokach gór i wzgórz, utrudnia bezpośrednie porównywanie zdjęć wykonanych w różnych terminach i z różnych satelitów.

LITERATURA

- [1] Aboussouan N., Felten V., 1988: *Contribution a la cartographie forestiere en zone fortement morcelee a l'aide de l'imagerie Spot*. Colloque international: Spot 1 utilisation des images, bilan, resultats. Cepadues Edition, Paris.
- [2] Bychawski W., Zawila-Niedzwiecki T., 1989, *Zdjęcia satelitarne w badaniu lasu*. w: *Ocena zasobów leśnych w ekosystemach zagrożonych*. Seminarium naukowe CPBP 04.10. Jeddinia, 22-24 listopad.
- [3] Ciołkosz A., 1987, *Assessment of large-area forest disturbances caused by biotic and abiotic factors*. PEPS Program No 282, Final report. Polish Remote Sensing Center, Warsaw.

- [4] Guyon D., Riou J., 1988, *Interet du systeme Spot pour l'etude de la foret landaise*. Colloque international: Spot 1 utilisation des images, bilan, resultats. Cepadues Edition, Paris.
- [5] Polawski Z., Zawila-Niedzwiecki T., 1988, *Ocena przydatności zdjęć satelitarnych wykonanych skanerem TM do analizy wybranych elementów środowiska geograficznego*. Prace IGiK, T. XXXVI, z.1-2(82-83).
- [6] Sader S., 1988, *Remote sensing investigations of forest biomass and change detection in tropical regions*. Proceedings of the IUFRO Subject Group 4.02.05 Meeting on: Satellite Imagery for Forest Inventory and Monitoring: Experiences, Methods, Perspectives. Helsinki, Aug. 29-Sept. 2.
- [7] Szujecki A., 1988, *Ochrona środowiska leśnego w Polsce*. Sylwan, Nr 1.
- [8] Zawada J., 1987, *Ocena zagrożenia świerczyn górskich wynikająca z aktualnych tendencji przyrostowych*. Las Polski Nr 7.

Skrót pracy doktorskiej.

Przyjęto do opublikowania w dniu 7 maja 1990 roku.

TOMASZ ZAWIŁA-NIEDZWIECKI

SELECTED PROBLEMS CONCERNING APPLICATION OF LANDSAT TM
AND SPOT SATELLITE IMAGES FOR FOREST STUDIES

S u m m a r y

Rapid environmental changes imply necessity of applications of new methods for evaluation of forest quality. Appreciating role of satellite techniques for natural resource studies, the works aimed at determination of usefulness of high-resolution

satellite images for assessment of forest quality and for mapping forest changes, have been started several years ago at the Remote Sensing Centre of the Institute of Geodesy and Cartography. These works revealed, that Landsat TM and SPOT images can be used for mapping and monitoring forest areas. In case of non-damaged forests the information content can be obtained from both types satellite images, while damaged and degraded forests are much better mapped, using Thematic Mapper images. Lack of middle infrared bands in SPOT multispectral data is limitation in applying these images for environmental studies.

Translation: Zbigniew Bochenek

ТОМАШ ЗАВИЛА-НЕДЗВЕЦКИ

**ИЗБРАННЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СНИМКОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ СПУТНИКАМИ
LANDSAT TM И SPOT, В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛЕСА**

Р е з ю м е

Бурные изменения окружающей среды вызывают необходимость прибегать к новым методам оценки состояния леса. Оценивая должным образом роль спутниковых техник изучения природных богатств, в течение нескольких лет в Центре обработки аэрокосмических материалов Института геодезии и картографии ведутся анализы, имеющие целью проверку пригодности космических снимков нового поколения для оценки состояния леса и картирования изменений в лесной среде. Эти работы выявили, что снимки, выполненные спутниками Landsat и SPOT, могут применяться для картирования и для мониторинга лесов. В случае здоровых лесов подобный объем содержания может быть получен со снимков, выполненных этими двумя спутниковыми системами. Зато в случае поврежденных

в деградированных лесов значительно лучшие результаты получаются при картировании лесов на основе снимков Thematic Mapper. Отсутствие диапазонов среднего инфракрасного излучения является недостатком в использовании снимков SPOT при анализах природы.

Перевод: Róża Tołstikowa

