

EMILIA WIŚNIEWSKA
TOMASZ ZAWIĘA-NIEDŹWIECKI

KLASYFIKACJA TREŚCI LEŚNEJ ZDJĘĆ SATELITARNYCH

ZARYS TREŚCI: Omówiono zasady klasyfikacji treści leśnej zdjęć satelitarnych oraz metodyczną ewolucję podejścia do interpretacji lasów, jaka dokonała się od połowy lat 70. do dzisiaj. Odnosząc się do zwyczajowej i prawnej definicji pojęcia "las" autorzy przedstawiają sposoby definiowania klas leśnych wyróżnianych na zdjęciach satelitarnych, a także sposoby dostosowywania klasyfikacji do potrzeb praktyki leśnej.

Przystępując do klasyfikowania treści leśnej zdjęć satelitarnych interpretator staje przed koniecznością zdefiniowania pojęcia las. Według Małej Encyklopedii Leśnej [1991] las to "jeden z odnawialnych zasobów przyrody, powstający w wyniku procesu lasotwórczego jako kompleks, w którym roślinność swoista dla danego regionu biogeograficznego i wyróżniająca się wybitnym ilościowym udziałem drzew rosnących zwarcie, świat zwierzęcy, klimat lokalny, stosunki wodne i gleba związane są ze sobą wzajemnymi wpływami i współzależnościami".

Ta definicja, mimo jej językowych zawilosci, zgodna jest z powszechnym rozumieniem słowa las. Jednakże z punktu widzenia prawa las definiowany jest nieco inaczej. Artykuł 3 ustawy o lasach z dnia 28 września 1991 r. (Dz. U. nr 101, poz. 444, z późn. zm.) mówi, że "lasem jest grunt:

- 1) o zwartej powierzchni co najmniej 0,10 ha, pokryty roślinnością leśną (uprawami leśnymi) - drzewami i krzewami oraz runem leśnym - lub przejściowo jej pozbawiony:
 - a) przeznaczony do produkcji leśnej lub
 - b) stanowiący rezerwat przyrody lub wchodzący w skład parku narodowego albo
 - c) wpisany do rejestru zabytków,

- 2) związany z gospodarką leśną, zajęty pod wykorzystywane dla potrzeb gospodarki leśnej: budynki i budowle, urządzenia melioracji wodnych, linie podziału przestrzennego lasu, drogi leśne, tereny pod liniami energetycznymi, szkółki leśne, miejsca składowania drewna, a także wykorzystywany na parkingi leśne i urządzenia turystyczne".

Jak zauważa Radecki [1992], ustawa wprowadza czynnik przestrzenny: powierzchnia pokryta roślinnością leśną, ale mniejsza od 0,10 ha nie jest lasem w znaczeniu prawnym, można ją określić jako zadrzewienie lub zakrzewienie, a więc ustawa niejako zawęża pojęcie lasu. Z drugiej strony ustawa w pewnym zakresie poszerza definicję encyklopedyczną, zaliczając do lasu grunt przejściowo pozbawiony roślinności leśnej oraz grunt związany z gospodarką leśną i zajęty przez obiekty wymienione w cytowanym wyżej art. 3 pkt 2.

Odnosząc definicję prawną do obrazu lasu na zdjęciach satelitarnych, wyraźnie widać trudności klasyfikacji leśnej zdjęć satelitarnych. Trudności narastają, gdy zadaniem interpretatora jest równoczesna klasyfikacja zdjęć obrazujących lasy położone w różnych regionach biogeograficznych. W takim wypadku należy uwzględnić lokalne definicje pojęcia las oraz definicje proponowane przez organizacje międzynarodowe, jak FAO, czy IUFRO. I tak na przykład roślinność sucholubna klimatu śródziemnomorskiego może być traktowana jako las, choć nie sposób jej porównać do obszarów puszczańskich klimatu umiarkowanego, lasów borealnych czy tropikalnych.

Zapewne ta trudność unifikacji definicji lasów różnych regionów biogeograficznych spowodowała, że w projekcie europejskim Corine-Land Cover tereny leśne, w szerokim rozumieniu tego słowa, zakwalifikowano do kilku kategorii użytkowania ziemi (pokrycia terenu), co przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Poziom 1	Poziom 2	Poziom 3
2. Tereny rolne	2.4. Strefy upraw mieszanych	2.4.4. Tereny rolniczo-leśne
3. Lasy i ekosystemy seminaturalne	3.1. Lasy	3.1.1. Lasy liściaste 3.1.2. Lasy iglaste 3.1.3. Lasy mieszane
	3.2. Zespoły roślinności drzewiastej i krzewiastej	3.2.2. Wrzosowiska i zakrzaczenia 3.2.3. Roślinność sucholubna (śródziemnomorska) 3.2.4. Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian
	3.3. Tereny otwarte, pozbawione roślinności lub o rzadkim pokryciu roślinnym	3.3.4. Pogorzelska
4. Strefy podmokłe	4.1. Śródładowe strefy podmokłe	4.1.1. Bagna śródładowe 4.1.2. Torfowiska

Uwzględniając różnice w definiowaniu obszarów leśnych, FAO dla celów oceny zasobów leśnych świata określa las jako (FRA-2000):

- a) obszar o powierzchni powyżej 0,5 ha i o ponad 10% pokryciu drzewami, które w wieku dojrzałości osiągną 5 m wysokości; obszar może być porośnięty zwartym lasem, w którym korony drzew różnych pięter pokrywają większą część terenu lub lasem ze stałą pokrywą roślinną o zwarcium luźnym, w którym pokrywa koron drzew przekracza 10%; minimalna szerokość obszaru uznawanego za las to 20 m;
- b) młode, naturalne drzewostany i wszystkie uprawy założone dla celów leśnych, które jeszcze nie osiągnęły 10% zwarcia koron lub wysokości 5 m, jak również powierzchnie czasowo pozbawione drzew, które są przeznaczone do odnowienia.

Klasyfikacja FAO wyróżnia obok lasu także inne tereny zadrzewione. Są to:

- a) obszary porośnięte drzewami, o pokryciu koron 5-10% (przy czym drzewa w wieku dojrzałości osiągną 5 m wysokości);
- b) obszary o większym niż 10% pokryciu koron drzew (które nie osiągną 5 m wysokości), jak również zarośla i krzewy.

Nomenklatura stosowana do oceny zasobów leśnych świata (FRA-2000) używana jest m.in. w projekcie monitorowania lasów Europy z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych (FMERS - Forest Monitoring in Europe by Remote Sensing) wykonywanym ze środków Unii Europejskiej przez konsorcjum, w którego skład wchodzi także Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie.

Na cele tego projektu wybrano 6 poligonów testowych zlokalizowanych na granicy fińsko-rosyjskiej, w Anglii, Francji, Włoszech i Polsce. Na tych obszarach, stosując zdjęcia wykonane przez satelity Landsat TM, SPOT i ERS, wydziela się cztery klasy leśne i cztery klasy zadrzewień, a ponadto do każdej z klas leśnych przyporządkowuje się jedną z siedmiu klas opisujących skład gatunkowy.

Wydzielane klasy leśne to:

- lasy o pokryciu koron 10-20%,
- lasy o pokryciu koron 21-40%,
- lasy o pokryciu koron ponad 41%,
- obszary czasowo pozbawione lasu i młode drzewostany o pokryciu koron poniżej 10%.

Przyporządkowywane im klasy składu gatunkowego to:

- iglaste (powyżej 75% pokrycia koron stanowią drzewa iglaste),
- liściaste wiecznie zielone (powyżej 75% pokrycia koron stanowią drzewa liściaste wiecznie zielone),
- liściaste zrzucające liście (powyżej 75 % pokrycia koron stanowią drzewa liściaste zrzucające liście),

- mieszane iglasto-liściaste wiecznie zielone (powyżej 75 % pokrycia koron stanowią drzewa iglaste i liściaste wiecznie zielone),
- mieszane iglasto-liściaste zrzucające liście (powyżej 75 % pokrycia koron stanowią drzewa iglaste i liściaste zrzucające liście),
- mieszane liściaste wiecznie zielone i liściaste zrzucające liście (powyżej 75 % pokrycia koron stanowią drzewa liściaste wiecznie zielone i liściaste zrzucające liście),
- mieszane iglasto-liściaste wiecznie zielone i liściaste zrzucające liście (powyżej 75 % pokrycia koron stanowią drzewa iglaste i liściaste wiecznie zielone oraz liściaste zrzucające liście).

Wydzielone klasy zadrzewień to:

- obszary o pokryciu koron 5-10% i powyżej 5 m wysokości w wieku dojrzalości,
- obszary o pokryciu koron 11-20% i wysokości poniżej 5 m,
- obszary o pokryciu koron powyżej 20% i wysokości drzew poniżej 5 m.

Rozbieżności w liczbie i szczegółowości klas różnych opracowań wynikają ze zróżnicowania algorytmów klasyfikacji zdjęć satelitarnych, zależnych od celu i zasięgu terytorialnego opracowania. W przypadku analiz dotyczących lokalnych zjawisk i lasów rosnących w jednym regionie biogeograficznym możliwa jest bardziej szczegółowa klasyfikacja. Zależy ona od rozdzielczości spektralnej i terenowej zdjęć satelitarnych wykorzystywanych do klasyfikacji obszarów leśnych.

Jest to wyraźnie widoczne na przykładzie opracowań wykonywanych od połowy lat 70., kiedy to rozpoczęto prace nad klasyfikacją zdjęć satelitarnych rejestrowanych skanerem MSS z pokładu satelity Landsat 1.

Niska rozdzielczość przestrzenna (80 m) i spektralna (4 zakresy) zdjęć wykonywanych przez pierwszego satelitę teledetekcyjnego umożliwiła jedynie wydzielanie drzewostanów iglastych, liściastych i mieszanych (Ciołkosz i Poławski [1980]) oraz ogólne analizowanie rozkładu zniszczeń lasów w rejonach przemysłowych (Bychawski i in. [1980]). W tych pierwszych pracach nie posługiwano się specjalnymi narzędziami terenowego definiowania wydzielanych klas, dokonując jedynie intuicyjnego ich przypisania do kategorii wynikających z odpowiedzi spektralnych i weryfikacji terenowych.

Wraz ze wzrostem dokładności obrazowania powierzchni Ziemi, informacje ze zdjęć satelitarnych stawały się coraz bardziej precyzyjne. Rosła rozdzielczość spektralna (Landsat TM rejestruje 7 zakresów spektralnych) i terenowa (Landsat TM - 30 m, SPOT - 20 i 10 m, Kosmos - 2 m) zobrazowań. Umożliwiło to identyfikowanie na ich podstawie drzewostanów jednogatunkowych z podziałem na klasy wieku oraz wydzielanie różnych stopni zmieszania gatunkowego (Beaubien [1979]). Zarówno w Ameryce, jak i Europie prowadzono prace nad wykorzystaniem zdjęć satelitarnych do określania stanu lasu

(Bychawski i in. [1980]) oraz inwentaryzacji i monitorowania lasów zdegradowanych (Lillesand i in. [1986]; Wastenson i in. [1987]; Kadro [1988]; Zawila-Niedźwiecki [1990], [1993], [1994]; Bochenek i in. [1997]). Opracowywano także sposoby wykorzystania informacji pozyskiwanych z pułapu kosmicznego do inwentaryzacji pożarów i pogorzeliisk, a także określania zagrożenia pożarowego (Estell [1980]; Husson [1984]; Chuvieco [1989]; Chuvieco i Congalton [1989]; Lopez Garcia i Cassells [1991]; Karlikowski i Zawila-Niedźwiecki [1993]; Karlikowski i in. [1997]). Zdjęcia satelitarne umożliwiały precyzowanie zasięgu zniszczeń owadzych, ocenę ich dynamiki, szacowanie szkód oraz kartograficzną prezentację ich występowania (Ezkov i in. [1986]). Informacje pozyskiwane z pułapu satelitarnego służyły także do szacowania zapasu drewna i strat przyrostu (Suchich [1986]; Ciołkosz i Zawila-Niedźwiecki [1990]).

Wyrazisty obraz ewolucji definiowania klas leśnych wydzielanych na zdjęciach satelitarnych wyłania się podczas analizowania wieloterminowych opracowań dotyczących stosunkowo niewielkich obszarów, jak na przykład Sudety Zachodnie, które od końca lat 70. są monitorowane z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych.

Pierwsze analizy zdjęć satelitarnych obrazujących lasy dotknięte klęską ekologiczną w Górach Izerskich i Karkonoszach umożliwiły wydzielenie drzewostanów świerkowych żyjących, drzewostanów martwych, drzewostanów liściastych i mieszanych oraz wylesień. Na początkowym etapie interpretacji zdjęć tego obszaru posługiwano się wciąż intuicyjną metodą definiowania wydzielonych klas. Jednakże wkrótce podjęto próbę obiektywizacji definiowania klas wydzielonych na zdjęciach satelitarnych. W roku 1987 Bochenek i in. nadawali znaczenie informacyjne zmienności barw lasów na zdjęciu satelitarnym poprzez porównanie z wynikami interpretacji spektrostrefowych zdjęć lotniczych. Ta interpretacja dostarczyła informacji na temat ubytku aparatu asymilacyjnego świerków, lokalizacji drzewostanów martwych i zamierających oraz lokalizacji różnych klas wieku i zwarcia. W wyniku tak przeprowadzonej analizy wyznaczono:

- drzewostany świerkowe osłabione, czyli drzewostany zwarte, w których udział drzew martwych i zamierających nie przekracza 10%, a stan aparatu asymilacyjnego jest lokalnie najlepszy; szacowany ubytek aparatu asymilacyjnego w tej klasie wynosił 20-50%;
- drzewostany świerkowe silnie osłabione, do których zaliczono drzewostany o udziale drzew martwych i zamierających w granicach 10-50%, z występującymi rozluźnieniami zwarcia; ubytek aparatu asymilacyjnego w tej klasie był szacowany na 40-70%;
- drzewostany świerkowe martwe i zamierające, do których zaliczono drzewostany o udziale drzew martwych i zamierających powyżej 50%, silnie lukowate lub o rozluźnionym zwarcu;
- drzewostany młodszych klas wieku, do których zaliczono drzewostany od fazy młodnika do wieku 40-50 lat;

- drzewostany liściaste i mieszane;
- wylesienia z pokrywą roślinną;
- wylesienia z odkrytą glebą;
- kosodrzewinę.

Analizy dokładności klasyfikacji wykazały znaczne przenikania się klas „drzewostany świerkowe osłabione i drzewostany świerkowe silnie osłabione” oraz zróżnicowaną dokładność wydzielenia poszczególnych klas: od 58% - w przypadku „młodszych klas wieku”, po 90% - w przypadku „drzewostanów świerkowych zamierających i martwych”.

Zastosowanie nowoczesnych technik przetwarzania i analizy zdjęć satelitarnych pozwoliło na rozszerzenie opisu wydzielanych klas. Było to możliwe między innymi dzięki wyselekcjonowaniu kanałów TM przydatnych do monitorowania lasu. Stwierdzono, że zakresy TM3, TM4, TM5 i TM7 są do tego szczególnie użyteczne, a ponadto zauważono, że wagowania zakresów TM5/TM4 (tzw. wskaźnik uszkodzeń) i TM4/TM3 (tzw. wskaźnik biomasy) rozszerzają możliwość oceny uszkodzeń drzewostanów świerkowych. Badania laboratoryjne wykazały (Rock i in. [1992]), że wagowanie kanałów TM5/TM4 pozwala rozpoznać deficyt wody w igłach (wskaźnik = $\pm 0,5$) oraz stadium zamierania igieł (wskaźnik = $\pm 0,7$). Szczególną uwagę przywiązywano do precyzyjnego zdefiniowania klas zdrowotności drzewostanów świerkowych. W wyniku tych prac powstały kolejne klasyfikacje opisujące klasy kondycji lasu poprzez liczbę drzew martwych i zamierających w drzewostanach, a także ich wiek i gęstość (Zawila-Niedźwiecki [1989]). Stosując te miary stanu lasu wyróżniono:

1. drzewostany osłabione - o średniej wieku 70 lat, 703 pniach na ha, udziale drzew martwych wynoszącym 7%, a drzew martwych i zamierających - 19%;
2. drzewostany silnie osłabione - o średniej wieku 93 lata, 513 pniach na ha, udziale drzew martwych - 78%, udziale drzew martwych i zamierających - 90%.

Próba definiowania klas wydzielonych na podstawie interpretacji zdjęcia satelitarnego z wykorzystaniem wyników interpretacji barwnych zdjęć lotniczych w podczerwieni pozwoliła na zbudowanie alternatywnych klasyfikacji opisujących kondycję lasów Sudetów Zachodnich poprzez liczbę drzew na 1 ha oraz poprzez wskaźnik stanu sanitarnego lasu. Stwierdzono, że wskaźnik ten precyzyjniej definiuje stan lasu niż wskaźnik liczby drzew na 1 ha, a ponadto jest on bardziej czytelny dla praktyki leśnej.

Rozwój nowych technik analizy wieloźródłowych danych o środowisku umożliwił w czasie jeszcze dalej idącą obiektywizację klasyfikacji zdjęć satelitarnych. Wykorzystanie systemów informacji przestrzennej pozwoliło na precyzyjniejsze definiowanie wydzielanych klas leśnych dzięki odniesieniu po-

wierzchni treningowych i jednorodnych spektralnie klas do terenowych parametrów charakteryzujących poszczególne drzewostany. I tak wykorzystanie wyników inwentaryzacji zdrowotnego i sanitarnego stanu lasu do definiowania klas wydzielonych na zdjęciach satelitarnych pozwoliło sformułować wniosek, że zróżnicowanie spektralne obrazu górskich lasów świerkowych na zdjęciach Thematic Mapper umożliwia wydzielenie maksimum trzech klas kondycji drzewostanów (Zawiła-Niedźwiecki [1994]). Klasa I łączy w sobie drzewostany zdrowe i osłabione, o ubytku aparatu asymilacyjnego od 0 do 30%. Jak z tego wynika, nie ma możliwości rozpoznania na zdjęciach satelitarnych wstępnych stadiów uszkodzeń świerków. Możliwość wyróżniania na zdjęciach satelitarnych kolejnych klas drzewostanów świerkowych o ubytku aparatu asymilacyjnego powyżej 30% jest uzależniona od takich parametrów drzewostanów, jak zwarcie, pokrywa gleby, roślinność niższych pięter. Gdy na przykład w drzewostanach o luźnym zwarciu występuje trawiasta pokrywa gleby, odpowiedź spektralna rejestrowana na zdjęciu satelitarnym powoduje zawyżenie oceny kondycji lasu. W sprzyjających warunkach (odpowiedni okres fenologiczny, zobrazowania wieloterminowe: porównanie zdjęć wykonanych w lecie ze zdjęciami jesienno-zimowymi) istnieje jednak możliwość wydzielenia drzewostanów o ubytku aparatu asymilacyjnego rzędu 30-60% (klasa II) oraz powyżej 60% (klasa III).

Kontrola dokładności tak wyróżnionych klas wykazała, że z największą dokładnością (ponad 99%) sklasyfikowano drzewostany zamierające i martwe (klasa III). Mały błąd klasyfikowania dotyczył także drzewostanów osłabionych (klasa I) i silnie osłabionych (klasa II). Dokładność wyróżniania tych klas wyniosła odpowiednio: ponad 88% i ponad 83%, przy wzajemnym przenikaniu się tych klas rzędu 10% (Zawiła-Niedźwiecki [1994]).

Analizy relacji pomiędzy parametrami terenowymi drzewostanów, a ich odpowiedziami spektralnymi rejestrowanymi na zdjęciach satelitarnych dotyczyły nie tylko sudeckich lasów świerkowych, które ze względu na swą strukturę są najłatwiejsze do oceny na podstawie zdjęć satelitarnych, ale także drzewostanów sosnowych. Te z kolei uznawane są za najtrudniejsze do charakteryzowania za pomocą danych teledetekcyjnych. Struktura lasów sosnowych (charakteryzująca się luźniejszym zwarcie koron niż ma to miejsce w drzewostanach świerkowych) powoduje, że w dużym zakresie na ich wartość spektralną wpływa nie tylko aparat asymilacyjny (który odgrywa dominującą rolę w charakterystykach spektralnych świerczyn), ale także gałęzie korony, pnie drzew, gleba, jej pokrycie i podszyt. Jak wiadomo, charakterystyka spektralna określonego drzewostanu jest wypadkową odbicia słonecznego promieniowania elektromagnetycznego od aparatu asymilacyjnego, kory, gałęzi i pokrywy glebowej.

Mimo tych trudności odpowiednie przetworzenie zdjęć satelitarnych SPOT, obrazujących drzewostany sosnowe Borów Tucholskich, pozwoliło na wydzielenie następujących klas (Zawiła-Niedźwiecki [1987]):

1. drzewostany sosnowe na siedlisku boru suchego (mszysta pokrywa gleby, chrobotek, wrzos, rokit; zwarcie przerywane);
2. drzewostany sosnowe na siedlisku boru świeżego (zwarcie umiarkowane; pokrywa mszysta, trawy, rokit, brusznica, ew. chrobotek, pojedynczo lub miejscowo podszyt);
3. młodniki sosnowe;
4. uprawy;
5. drzewostany liściaste i mieszane z przewagą gatunków liściastych.

Warto podkreślić wysoką dokładność klasyfikacji numerycznych, osiągającą nawet 95%.

Te pierwsze interpretacje zdjęć satelitarnych obrazujących lasy sosnowe były bardzo obiecujące, mimo że oparte były na produktach SPOT-1, który nie rejestrował zakresu średniej podczerwieni. Jednakże dopiero zastosowanie systemu informacji leśnej, zbudowanego w Instytucie Geodezji i Kartografii na potrzeby Leśnego Kompleksu Promocyjnego "Lasy Puszczy Kozienickiej" oraz Kozienickiego Parku Krajobrazowego, umożliwiło przeprowadzenie wyczerpujących analiz dotyczących drzewostanów sosnowych. Pozwoliły one stwierdzić, że (Wiśniewska [1997b]):

- zdjęcia satelitarne umożliwiają rozróżnienie gatunków panujących oraz siedliskowych typów lasu;
- wpływ na odpowiedzi spektralne lasów sosnowych mają przede wszystkim: zwarcie, udział poszczególnych gatunków oraz defoliacja i liczba drzew żywych na 1 ha;
- w drzewostanach o dużym udziale sosny i wysokim zwarcu mogą być różniane klasy wieku oraz wysokości;
- rozróżnialność wymienionych parametrów jest możliwa głównie w drzewostanach monolitycznych i dzięki analizom wielokanałowym;
- drzewostany sosnowe najlepiej odwzorowują się w zakresach średniej i bliskiej podczerwieni oraz czerwieni, którym odpowiadają kanały 5, 4 i 3 skanera Thematic Mapper.

Zdjęcia satelitarne spełniają warunki stawiane narzędziom monitorowania lasu. Powtarzalność zobrazowań z określonego obszaru umożliwia ocenę dynamiki zmian stanu lasu na analizowanym obszarze. Opracowania takie wykonywane były w Polsce dla obszaru Sudetów i Lasów Raciborskich. Wykorzystywano do tego wieloterminowe zobrazowania wykonywane przez skaner Thematic Mapper (Zawila-Niedźwiecki [1994]), a także wieloterminowe zobrazowania wykonywane przez różne sensory: Landsat MSS, TM, SPOT, ERS (Bochenek i in. [1997]; Zawila-Niedźwiecki i in. [1994]).

Nowe koncepcje klasyfikacji zdjęć satelitarnych dotyczą nie tylko sposobu definiowania klas utworzonych w wyniku spektralnej analizy zdjęć satelitarnych, ale także wyznaczania pól treningowych będących wzorcami spektralnymi dla wykonania klasyfikacji. Subiektywny wybór pól treningowych opierają-

cy się na wizualnej analizie zdjęcia bywa zastępowany przez wybór losowy, dokonywany wzdłuż transektów wyznaczonych na numerycznej mapie leśnej (Wiśniewska, Zawila-Niedźwiecki [1998]). Wszystkie drzewostany leżące na liniach transektowych analizowane są z punktu widzenia zróżnicowania spektralnego. Taki sposób wyboru pól treningowych bardziej odpowiada analizie statystycznej, jaką przecież jest klasyfikacja zdjęć satelitarnych. Dzięki informacjom opisowym przypisanym do poszczególnych drzewostanów, zaznaczonych na mapie numerycznej, łatwiejsze jest także przyrodnicze definiowanie wydzielonych klas.

LITERATURA

1. Beaubien J. [1979]: *Forest Type Mapping from Landsat Digital Data*. „Photogram. Eng. Rem. Sensing” Vol. 45, No. 8.
2. Bochenek Z., Poławski Z., Zawila-Niedźwiecki T. [1987]: *Wykorzystanie zdjęć Landsat Thematic Mapper do badania zdegradowanych obszarów leśnych na przykładzie Sudetów Zachodnich*. Prace IGiK, t. 34, z. 2(79), s. 59-68.
3. Bochenek Z., Ciołkosz A., Iracka M. [1997]: *Zmiany stanu lasów w Sudetach Zachodnich na podstawie analizy zdjęć satelitarnych*. Prace IGiK, t. 44, z. 95, s. 73-93.
4. Bychawski W., Linsenbarth A., Mizerski W. [1980]: *Charakterystyka zdjęć satelitarnych wykonanych ze stacji orbitalnej Salut-6 w czasie radziecko-polskiego lotu kosmicznego*. [w:] *Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego*. Warszawa: PWN.
5. Bychawski W., Zawila-Niedźwiecki T., Iracka M., Glasenapp E. [1990]: *Wielkoobszarowa ocena stanu lasów na podstawie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych*. [w:] *Określanie zmian zasobów leśnych i ich wartości zachodzących pod wpływem antropopresji*. Synteza Nr IV CPBP 04.10.07. Warszawa: SGGW, s. 47-56.
6. Chuvieco E. [1989]: *Multitemporal Analysis of TM Images: Application to Forest Fire Mapping and Inventory in a Mediterranean Environment*. [in:] *Monitoring the Earth Environment*. European Space Agency, ESA SP-1102: 279-285.
7. Chuvieco E., Congalton R.G. [1989]: *Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping*. *Remote Sensing of Environment* Vol. 29, No. 2, s. 147-159.
8. Ciołkosz A., Poławski Z. [1980]: *Mapa użytkowania ziemi w skali 1:250 000 sporządzona za pomocą wizualnej klasyfikacji treści obrazów satelitarnych*. [w:] *Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego*. Warszawa: PWN.

9. Ciołkosz A., Zawila-Niedźwiecki T. [1990]: *Remotely sensed data and limitation of forest productivity in Poland*. Nature and Resources, Vol. 26, No. 1, s. 41-44.
10. Corine-Land Cover [1993]: *Technical Guide*. Brussels
11. Estell W.E. [1980]: *NOAA Weather Radio - A New Service Opportunity for Forestry Officials*. Fire Management Notes Vol. 41, No. 4.
12. Ezkov V.V., Metalnikov A.P., Isajev A.S., Suchich V.I., Kundriawcew W.S., Szczetinskij E.A. [1986]: *Effektivnost ispolzovanija kosmiceskoj informacii v lesnom chozjajstwie*. Issled. Zem. Kosm. nr 3.
13. FRA-2000 [1997]: *Forest Resource Assessment 2000*. UN-ECE/FAO paper GE.97-22231.
14. Husson A. [1984]: *Exemple d'utilisation de la teledetection en France: cartographie des feux de foret*. Geometre No. 3.
15. Kadro A. [1988]: *Use of Landsat-TM data for forest damage inventory*. European Space Agency.
16. Karlikowski T., Dąbrowska-Zielińska K., Zawila-Niedźwiecki T., Gruszczynska M., Santorski Z., Sakowska H., Janowska M. [1997]: *Wykorzystanie zdjęć satelitarnych NOAA-AVHRR do wspomagania oceny zagrożenia pożarowego lasów*. Prace IBL, S. A, nr 829.
17. Karlikowski T., Zawila-Niedźwiecki T. [1993]: *Remote sensing and GIS in fire management of Polish forests*. Proceedings of the ESA-EARSeL Workshop on "Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management", held in Thessaloniki, 4-6 November.
18. Lillesand T.M., Hopkins P.F., Buchheim M.P., Maclean A.L. [1986]: *The potential impact of Thematic Mapper, SPOT and microprocessor technology on forest type mapping undertake status conditions*. Environmental Remote Sensing Center, Madison: University of Wisconsin.
19. Lopez Garcia M.J., Cassells V., [1991]: *Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data*. „Geocarto Int.” No. 6, s. 31-37.
20. *Mała Encyklopedia Leśna* [1991]: Praca zbiorowa, Warszawa: PWN.
21. Radecki W. [1992]: *Ustawa o lasach z komentarzem*. Wrocław: Towarzystwo Naukowe Prawa Ochrony Środowiska.
22. Rock B.N., Greczyński J., Moss D.M., Zawila-Niedźwiecki T. [1992]: *Spectral characterization of forest decline damage in branch segments of norway spruce (Picea abies) in the Sudety Mountains of Poland*. Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Meeting, held in Washington, D.C., August 2-5, s. 271-280.
23. Suchich V.I. [1986]: *Ispolzovanie kosmiceskoj informacii v lesnom chozjajstwie*. Geod. i Kartogr. nr 4.

24. Wastenson L., Alm G., Kleman J., Wastenson B. [1987]: *Swedish experiences of forest damage inventory by remote sensing*. Remote Sensing Laboratory, Department of Physical Geography, University of Stockholm.
25. Wiśniewska E. [1997a]: *Analiza dokładności graficznych baz danych systemu informacji leśnej*. Sylwan nr 2.
26. Wiśniewska E. [1997b]: *Analiza relacji pomiędzy charakterystykami terenowymi drzewostanów sosnowych Puszczy Kozienickiej, a ich odpowiedziami spektralnymi rejestrowanymi na zdjęciach wykonywanych przez satelitę Landsat Thematic Mapper*. Warszawa: Instytut Geodezji i Kartografii, maszynop.
27. Wiśniewska E., Zawila-Niedźwiecki T. [1998]: *Inwentaryzacja drzewostanowa dla celów monitorowania lasów Europy z wykorzystaniem teledetekcji*. Raport etapowy polskiej części projektu FMERS. Warszawa: Instytut Geodezji i Kartografii.
28. Zawila-Niedźwiecki T. (kier.) [1987]: *Metody i systemy waloryzacji lasów na podstawie danych teledetekcyjnych nowej generacji*. Sprawozdanie etapowe zadania badawczego wykonywanego w ramach programu: "Rozwój i wykorzystanie badań kosmicznych". Warszawa: Instytut Geodezji i Kartografii.
29. Zawila-Niedźwiecki T. [1989]: *Metoda opracowywania map stanu lasu na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat-Thematic Mapper*. Warszawa: Instytut Geodezji i Kartografii, pr. doktorska.
30. Zawila-Niedźwiecki T. [1990]: *Wybrane zagadnienia wykorzystania zdjęć wykonanych przez satelity Landsat TM i SPOT w badaniu lasu*. Prace IGiK t. 37, z. 1-2 (84-85), s. 63-73.
31. Zawila-Niedźwiecki T. [1993]: *Use of satellite data and GIS technology for forest damage monitoring*. Final report of the CEC-JRC Project No. 2484. Laboratory of Remote Sensing and Forest Management, University of Gent (Belgium).
32. Zawila-Niedźwiecki T. [1994]: *Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej*. Prace IGiK t. 41, z. 90.
33. Zawila-Niedźwiecki T., Bochenek Z., Strzelecki P. [1994]: *Wykorzystanie zdjęć satelitarnych ERS-1 w inwentaryzacji szkód leśnych*. Prace IGiK t. 41, z. 89, s. 1-16.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Wojciech Bychawski

*EMILIA WISNIEWSKA
TOMASZ ZAWILA-NIEDZWIECKI*

CLASSIFICATION OF FOREST CONTENT OF SATELLITE IMAGES

S u m m a r y

Rules of classification of forest content of satellite images are discussed in the article, as well as evolution of methodical approach to forest interpretation, observed since seventies till today. Referring to the traditional and formal definition of forest the authors present methods of determining forest classes, which are distinguishable on satellite images, including ways of adjusting classification images to the needs of forest practice.

Different approaches to classification of satellite images are discussed: due to aim and spatial extent of the study, due to characteristic of the analysed images and considering tools used for classification.

New concepts of classification of satellite images are mentioned at the end of the article. They concern method of defining classes formed as a result of spectral analysis of satellite images, as well as random determination of training areas, which serve as spectral patterns for classification process.

Translation: Zbigniew Bochenek

*ЭМИЛИЯ ВИСЬНЕВСКА
ТОМАШ ЗАВИЛА-НЕДЗЬВЕЦКИ*

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕСНОГО СОДЕРЖАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Р е з ю м е

Статья рассматривает принципы классификации лесного содержания спутниковых снимков и методическую эволюцию подхода к интерпретации лесов, которая произошла с середины 70 годов по настоящее время. Опираясь на обычную и правовую дефиницию „лес”, авторы представляют способы определения лесных классов, выделяемых на спутниковых снимках, а также способы приспособления классификации для нужд лесной практики.

Проанализированы были подходы к классификации спутниковых снимков относительно разных целей и территориального охвата разработки, характеристики анализируемых снимков, а также орудий, используемых для классификации.

В заключении статьи указаны новые концепции классификации спутниковых снимков. Касаются они не только способа определения классов, созданных в результате спектрального анализа спутниковых снимков, но также определения жеребьевкой тренировочных полей, являющихся спектральными образцами для проведения классификации.

Перевод: Róża Tolstikowa

