

ZBIGNIEW BOCHENEK
ANDRZEJ CIOŁKOSZ
MARIA IRACKA

ZMIANY STANU LASÓW W SUDETACH ZACHODNICH NA PODSTAWIE ANALIZY ZDJĘĆ SATELITARNYCH¹

ZARYS TREŚCI: W artykule przedstawiono wyniki oceny stanu lasów uzyskane na podstawie analizy zdjęć wykonanych przez satelitę Landsat w 1976r. skanerem MSS oraz w 1990 r. skanerem TM. Wyniki analizy posłużyły do oceny zmian, jakie zaszły na obszarach leśnych w ciągu 14 lat.

WPROWADZENIE

Postępujący proces degradacji lasów w Polsce stwarza pilną potrzebę opracowania systemu pozyskiwania informacji o stanie obszarów leśnych w skali całego kraju. Do tego celu postanowiono wykorzystać zdjęcia wykonywane z satelitów środowiskowych. Spośród wszystkich rutynowo osiągalnych zdjęć wybrano zdjęcia wykonywane przez satelitę Landsat skanerem TM. Zdjęcia te cechują się dużą terenową i spektralną zdolnością rozdzielczą i są wykonywane m.in. w zakresie środkowej podczerwieni, a więc w tym zakresie, w którym można otrzymać stosunkowo dużo informacji charakteryzujących roślinność. Powinny zatem umożliwić wielkoobszarową ocenę stanu lasów na podstawie charakterystyk spektralnych i struktury zobrazowanych na nich drzewostanów. Ocena zakresu i dokładności informacji pozyskiwanych za pomocą zdjęć satelitarnych wymagała dokładnych badań, z włączeniem obserwacji naziemnych oraz analizy zdjęć lotniczych. Tego typu podejście metodyczne zostało przyjęte w toku prac nad zagadnieniem oceny przydatności zdjęć satelitarnych do określania stanu lasu. Postanowiono wszechstronnie przeanalizować przydatność zdjęć wykonywanych przez satelitę Landsat skanerem TM do kartowania obszarów leśnych, z uwzględnieniem ich zróżnicowania gatunkowego i wiekowego, oraz ocenić użyteczność wspomnianych zdjęć w ocenie zdrowotnego

¹ Praca wykonana w ramach projektu finansowanego ze środków II Funduszu im. Marii Skłodowskiej - Curie.

stanu drzewostanów. W pracy wykorzystano również zdjęcia wykonane w 1976r. skanerem MSS, tj. skanerem starszej generacji o mniejszej rozdzielczości przestrzennej i spektralnej. Analiza tych zdjęć miała na celu nie tylko zbadanie ich przydatności do określania różnicowania uszkodzeń drzewostanów świerkowych przy użyciu najnowszego systemu przetwarzania zdjęć, jakim jest ERDAS IMAGINE; umożliwiła również retrospektywne odtworzenie sytuacji badanych drzewostanów. W toku prac przebadano także przydatność różnych metod klasyfikacji zdjęć satelitarnych do określenia optymalnego sposobu otrzymywania informacji o stanie lasów. Do oceny dokładności klasyfikacji zdjęć satelitarnych wykorzystano szczegółowe informacje o charakterze i kondycji drzewostanów pochodzące z inwentaryzacji terenowych oraz z interpretacji spektrostrefowych zdjęć lotniczych.

W toku prac wykorzystano doświadczenia i materiały z obserwacji terenowych zebrane w trakcie badań prowadzonych przez Instytut Geodezji i Kartografii na zlecenie Instytutu Badawczego Leśnictwa.

1. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Do przeprowadzenia badań został wybrany obszar Sudetów, na którym w sposób drastyczny przejawiały się skutki działalności przemysłu oraz gradacji szkodników owadzych. Koncentracja zakładów przemysłowych na obszarze Czech, Niemiec i Polski spowodowała degradację ogromnych obszarów leśnych na pograniczu tych trzech państw. Rozmiary zniszczeń, zarówno pod względem intensywności szkód, jak i zajmowanej przez nie powierzchni, są tak znaczne, że obszar ten zaliczono do regionów klęski ekologicznej i nazwano „czarnym trójkątem”.

Obszar badań został podzielony na dwa poligony, różniące się pod względem stanu zdrowotnego i składu gatunkowego drzewostanów.

Poligon I objął zachodnią część Sudetów, czyli Góry Izerskie i Karkonosze, gdzie dominują drzewostany świerkowe stanowiące zwarty kompleks leśny. Tutaj też najbardziej drastycznie objawiły się zniszczenia lasów i uszkodzenia drzewostanów.

Poligon II obejmuje kompleksy lasów porastających Góry Sowie i Stołowe, a także liczne niewielkie obszary leśne rozproszone między większymi kompleksami. Lasy tej części Sudetów są bardziej zróżnicowane gatunkowo, tj. charakteryzuje je znacznie większy udział gatunków liściastych, głównie buka. Znacznie lepszy jest także ich stan zdrowotny.

Takie zróżnicowanie drzewostanów na obydwu poligonach było korzystne z punktu widzenia celu badań, gdyż umożliwiło wzięcie pod uwagę większej liczby cech drzewostanów i określenie ich charakterystyk na podstawie zdjęć satelitarnych.

2. MATERIAŁY I METODYKA PRAC

Pracę rozpoczęto od zbadania przydatności wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych do klasyfikacji stanu zdrowotnego lasu, jego składu gatunkowego oraz określenia innych zjawisk zachodzących w granicach kompleksów leśnych. W tym celu wybrano zdjęcia satelitarne wykonane w lipcu 1984 r. oraz w sierpniu 1990 r., pokrywające obszar obu poligonów badawczych, tzn. Karkonoszy – Gór Izerskich oraz Gór Sowich – Gór Stołowych. W pierwszej fazie prac przeanalizowano obszar poligonu zlokalizowanego w zachodniej części Sudetów, na którym wystąpiły najsilniejsze uszkodzenia drzewostanów. Analizę wykonano za pomocą systemu przetwarzania obrazów ERDAS IMAGINE. System ten umożliwia wykonywanie interaktywnych operacji na zdjęciach satelitarnych, a w szczególności przeprowadzanie korekcy radiometrycznych i geometrycznych zdjęć, lokalizację na zdjęciach powierzchni testowych, na których były prowadzone prace terenowe, określanie odpowiedzi spektralnych drzewostanów oraz wykonywanie nadzorowanej klasyfikacji zdjęć satelitarnych.

3. MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE - BADANIA TERENOWE I ZDJĘCIA LOTNICZE

W celu określenia relacji między terenową charakterystyką drzewostanów a ich obrazem na zdjęciu satelitarnym przeprowadzono ocenę drzewostanów świerkowych na ponad 500 powierzchniach testowych zlokalizowanych w Górach Izerskich, Karkonoszach, Górach Sowich oraz Stołowych.

Na podstawie informacji opisujących drzewostany zebranych w trakcie ocen terenowych analizowano związki pomiędzy poszczególnymi charakterystykami drzewostanów a elementami określającymi warunki terenowe, a także związki pomiędzy cechami świadczącymi o uszkodzeniach drzew a charakterystykami spektralnymi tych drzewostanów uzyskanymi ze zdjęć satelitarnych. Analiza tych relacji pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- na obszarach o silniejszych uszkodzeniach drzewostanów daje się zaobserwować wyraźną zależność między kondycją drzew a wyniesieniem terenu ponad poziom morza; im wyżej znajduje się dany drzewostan, tym silniej jest uszkodzony; na terenach cechujących się mniejszymi uszkodzeniami drzewostanów zależność ta nie jest tak silna;
- najsilniejsze związki z charakterystykami spektralnymi drzew wykazują wskaźniki opisujące kondycję drzew (defoliacja, odbarwienie i żywotność drzew); trzeba tu jednak dodać, że rozluźnienie zwarcia drzewostanu wprowadza zakłócenia tej zależności; dlatego też, jeśli zjawisko rozluźnienia zwarcia drzewostanów jest powierzchniowo znaczące, należy tę informację

wykorzystać w procesie klasyfikacji nadzorowanej, zmierzającej do różnicowania uszkodzeń drzewostanów.

Informacje tego typu, a także inne, charakteryzujące drzewostany pod względem przyrodniczo-gospodarczym, można uzyskać w trakcie interpretacji spektrostrefowych zdjęć lotniczych. Zdjęcia takie zostały wykonane dwukrotnie, w latach 1984 i 1992. Objęto nimi duże obszary poligonu I. Zdjęcia te w istotnym stopniu przyczyniły się do właściwej interpretacji zdjęć satelitarnych, ułatwiając przeprowadzenie nadzorowanej ich klasyfikacji. Na podstawie interpretacji spektrostrefowych zdjęć lotniczych można już bowiem wnioskować o rozkładzie różnych zjawisk ocenianych w trakcie badań terenowych.

4. ANALIZA POLIGONU BADAWCZEGO KARKONOSZE – GÓRY IZERSKIE

Przy klasyfikacji zdjęć satelitarnych zachodniej części Sudetów dodatkowym źródłem informacji o stanie lasów była mapa stanu zdrowotnego lasów. Mapa ta została opracowana na podstawie informacji pozyskanych w wyniku interpretacji lotniczych zdjęć spektrostrefowych wykonanych w lipcu 1984 r. Mapa przedstawiająca sanitarny stan lasów stanowiła materiał referencyjny służący właściwemu wyborowi pól treningowych i testowych, wykorzystywanych w procesie nadzorowanej klasyfikacji zdjęć satelitarnych.

Po wielu próbach do analizy wizualnej zdjęć satelitarnych, a następnie ich klasyfikacji, wybrano ostatecznie kompozycję z klasycznym zestawem kanałów, mianowicie TM3, TM4 i TM5.

Następnie, na podstawie prób z wykorzystaniem materiałów referencyjnych (mapy urzędniowo-leśne, mapy zdrowotnego i sanitarnego stanu drzewostanów, barwne zdjęcia lotnicze w podczerwieni, wyniki ocen terenowych), wyznaczono jednorodne obszary testowe reprezentujące osiem typów obszarów leśnych, a mianowicie:

- drzewostany świerkowe lekko osłabione,
- drzewostany świerkowe silnie osłabione,
- drzewostany zamierające i martwe,
- drzewostany młodszych klas wieku,
- wylesienia pokryte roślinnością,
- wylesienia z odkrytą glebą,
- drzewostany liściaste i mieszane,
- kosodrzewinę.

Obszary testowe reprezentujące powyższe klasy zostały przeniesione na zdjęcie satelitarne i następnie dokonano szczegółowej analizy rozdzielczości spektralnej poszczególnych klas w celu wyznaczenia tych kategorii, które w wyniku klasyfikacji zostaną wyróżnione z odpowiednią dokładnością (przekraczającą 80%). W wyniku tej analizy stwierdzono, iż wszystkie wyżej

wymienione klasy, z wyjątkiem kosodrzewiny, spełniają warunek odpowiedniej rozdzielczości spektralnej. Do dalszej klasyfikacji wybrano zatem siedem kategorii lasu, zaś obszary kosodrzewiny zostały przeniesione z mapy topograficznej.

Po dokonaniu ostatecznego wyboru klas przeprowadzono klasyfikację nadzorowaną poligonu badawczego Karkonosze – Góry Izerskie odwzorowanego na zdjęciu satelitarnym wykonanym w lipcu 1984 r. Następnie powtórzono cały proces klasyfikacyjny, wykorzystując tym razem zdjęcie zarejestrowane w sierpniu 1990 r. Zastosowano taki sam zestaw pól treningowych, jak w przypadku poprzedniego zdjęcia. Wyniki obu klasyfikacji zostały przedstawione w postaci barwnych map.

5. ANALIZA POLIGONU BADAWCZEGO GÓRY SOWIE – GÓRY STOŁOWE

Poligon badawczy zlokalizowany we wschodniej części Sudetów, obejmujący pasma Gór Stołowych i Gór Sowich, w odróżnieniu od zachodniej części Sudetów, cechuje się większym zróżnicowaniem gatunkowym. Na tym obszarze występują w znacznie mniejszym stopniu silne uszkodzenia drzewostanów, obserwowane na dużych powierzchniach w Karkonoszach i Górach Izerskich. Z tych względów do wykonania analizy zdjęcia satelitarnego tego poligonu należało wykorzystać zestaw klas leśnych pełniej charakteryzujących ten region. Po wykonaniu wstępnej analizy zdjęć satelitarnych oraz map drzewostanowych do dalszych prac wytypowano następujące klasy lasu:

- drzewostany iglaste,
- drzewostany iglaste młode (do ok. 25 lat),
- drzewostany iglaste mieszane (udział drzew iglastych 40–70%),
- drzewostany liściaste,
- drzewostany liściaste młode,
- drzewostany liściaste mieszane (udział drzew liściastych 40–70%),
- odnowienia,
- łąki.

Na podstawie map drzewostanowych wybrano zespół pól treningowych dla wyżej wymienionych klas. Po wyznaczeniu statystyk spektralnych przeprowadzono analizę rozdzielczości tych klas w celu dokonania finalnego wyboru obiektów możliwych do sklasyfikowania na zdjęciu satelitarnym. Analiza ta wykazała zadowalającą rozdzielczość spektralną większości klas. Zbieżność spektralna wystąpiła jedynie w przypadku klas reprezentujących starsze i młode drzewostany liściaste. Postanowiono zatem zrezygnować z rozdzielenia tych klas i połączyć je w jedną – drzewostany liściaste.

W trakcie dalszych prac przeanalizowano także wpływ ekspozycji stoków (stoki północne i południowe) na zróżnicowanie sygnału spektralnego. Stwierdzono bardzo małe różnice w wielkości sygnału w zależności od orientacji zboczy. W wyniku tych analiz do wykonania finalnej klasyfikacji wybrano zespół siedmiu klas, a mianowicie:

1. drzewostany iglaste - klasa ta zawiera głównie drzewostany świerkowe (i sosnowe), w wieku powyżej 25 lat, czyste lub z niewielką domieszką drzew liściastych;
2. drzewostany iglaste mieszane – drzewostany świerkowe (i sosnowe) występujące w zmieszaniu z gatunkami liściastymi (40–70% masy drewna stanowią gatunki iglaste);
3. drzewostany iglaste młode - drzewostany świerkowe (i sosnowe) w fazie młodnika (generalnie 7–25 lat);
4. drzewostany liściaste – drzewostany złożone z gatunków liściastych z wyraźną dominacją buka lub z niewielką domieszką gatunków iglastych (do 20–30%);
5. drzewostany liściaste mieszane - drzewostany z przewagą gatunków liściastych (40–70%);
6. odnowienia - klasa zawierająca obszary upraw leśnych, najczęściej świerków, w wieku 2–7 lat (do osiągnięcia zwarcia);
7. łąki – klasa ta zawiera obszary łąk oraz upraw leśnych w najmłodszym stadium oraz obszary zrębów porośniętych niską roślinnością.

Po dokonaniu wyboru pól treningowych dla wyżej wymienionych klas przeprowadzono analizę ich jednorodności. Analiza ta wykazała homogeniczność wybranych pól w granicach 83–96%, potwierdzając prawidłowość wyboru obszarów treningowych. Następnie wykonano klasyfikację nadzorowaną zdjęcia satelitarnego zarejestrowanego w lipcu 1984 r. obejmującego obszar Gór Sowich i Gór Stołowych.

W kolejnej fazie prac postanowiono wykonać klasyfikację zdjęcia satelitarnego LANDSAT TM zarejestrowanego w sierpniu 1990 r., wykorzystując analogiczny zestaw klas do wyboru pól treningowych jak w przypadku zdjęcia z 1984 r. Po wyznaczeniu pól treningowych dla siedmiu klas i określeniu ich statystyk przebadano rozdzielczość spektralną tych klas. W wyniku analizy stwierdzono, iż klasa młodych drzewostanów iglastych słabo różnicuje się w porównaniu z pozostałymi drzewostanami iglastymi. Postanowiono zatem nie włączać tej klasy do finalnego procesu klasyfikacji.

Wykonano także próbę wyróżnienia drzewostanów uszkodzonych z defoliacją powyżej 60%. Tego typu uszkodzenia drzewostanów występują w Górach Sowich i Górach Stołowych na stosunkowo niewielkich rozproszonych powierzchniach. Charakterystyki spektralne tych powierzchni okazały się bardzo zbliżone do tych, jakimi cechuje się klasa mieszanych drzewostanów iglastych. Z tego względu tej klasy nie włączono do finalnego procesu klasyfikacyjnego.

W trakcie prac przeanalizowano także możliwość wyróżniania poszczególnych gatunków drzewostanów w grupach drzewostanów iglastych i liściastych. W tym celu wyznaczono charakterystyki drzewostanów sosnowych i świerkowych, a także drzewostanów dębowych i bukowych. Analiza rozdzielczości wykazała słabą rozróżnialność gatunków w obu typach drzewostanów.

6. DRUGI ETAP BADAŃ I ANALIZ ZDJĘĆ SATELITARNYCH POLIGONU I

W pierwszym etapie prac wykonano testowanie i ustalono klasy możliwe do wyróżnienia na zdjęciach wykonanych skanerem TM. Badaniami objęto tylko wschodnią część poligonu I, bowiem wówczas nie dysponowano zdjęciami pokrywającymi całość obszaru Sudetów Zachodnich. W ostatnim roku prac badawczych otrzymano zdjęcia całości tego obszaru z 1990 r. oraz zdjęcie wykonane skanerem MSS w 1976 r.

Doświadczenia z pierwszego etapu klasyfikacji i wyniki analiz zdjęć z obydwu poligonów badawczych skłoniły nas do skoncentrowania uwagi na poligonie I. Wyniki klasyfikacji zdjęć z lat 1976 i 1990 wskazują w sposób bardzo spektakularny, poprzez analizę rozmieszczenia wyróżnionych klas o znanych charakterystykach, na przydatność zdjęć satelitarnych do obserwacji zmian i oceny przebiegu procesu degradacji, któremu podlegają lasy w Sudetach Zachodnich.

Należy podkreślić, że uzyskanie obydwu zdjęć pokrywających w całości obszar Sudetów Zachodnich znajdujących się w polskich granicach umożliwiło pełniejsze przedstawienie zarówno stanu lasów na całym tym obszarze, jak i zmian zaszłych w okresie 1976 – 1990.

Praktycznym wykorzystaniem i oceną przydatności wyróżnionych klas jest przedstawienie ich przestrzennego rozkładu oraz zajmowanej przez nie powierzchni. Sprawdzeniem takiego wykorzystania oceny obszaru leśnego za pomocą charakteryzujących go klas spektralnych było wykonanie klasyfikacji tego samego obszaru obejmującego poligon I, to jest Góry Izerskie i Karkonosze, na podstawie:

- zdjęcia wykonanego skanerem MSS w 1976 r.,
- zdjęcia wykonanego skanerem TM w 1990 r.

7. KLASYFIKACJA ZDJĘCIA SATELITARNEGO WYKONANEGO SKANEREM TM W 1990 R.

Wykorzystując wyniki analiz przeprowadzonych na poprzednim etapie, przeprowadzono na nowo klasyfikację całego obszaru poligonu I

przedstawionego na zdjęciu satelitarnym Landsat TM wykonanym w 1990 r. W wyniku klasyfikacji powstał obraz (patrz załącznik), na podstawie którego można scharakteryzować sytuację lasów na obszarze, który kiedyś był prawie całkowicie pokryty lasami świerkowymi.

Obraz ten ukazuje niemal całkowitą deteriorację lasów w zachodniej części poligonu, czyli w Górach Izerskich i w zachodniej części Karkonoszy. Wyróżniono tu jednak, na obszarach pozbawionych lasów, trzy klasy różniące się charakterem pokrycia, a mianowicie:

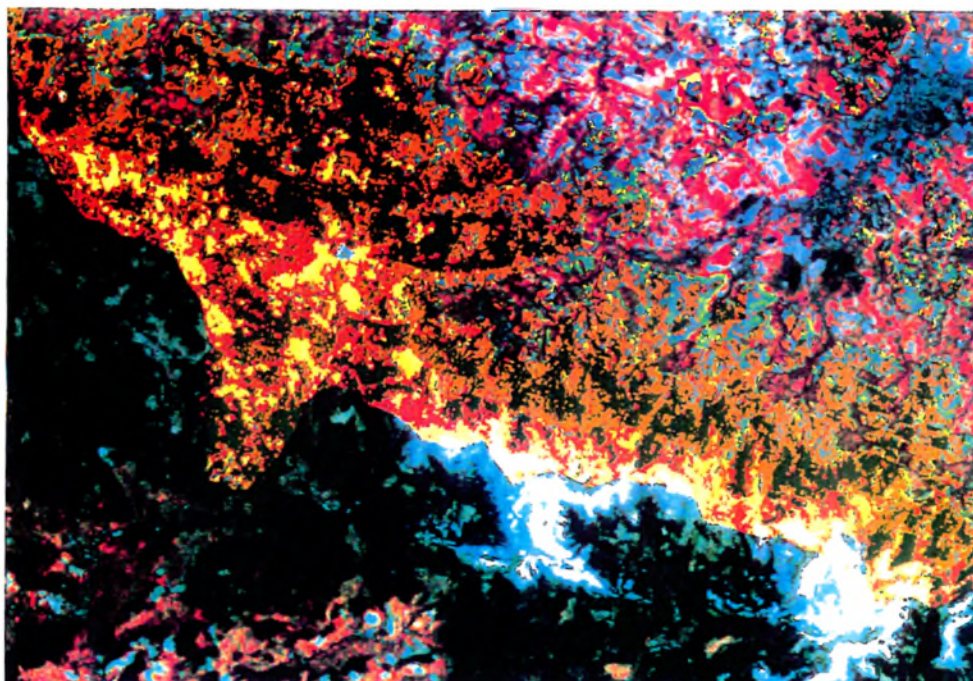
- wylesienia z odkrytą glebą - to obszary, z których niedawno usunięto martwe i powalone drzewa, przeważa na nich odsłonięta gleba;
- wylesienia z częściową pokrywą roślinną - obszary praktycznie pozbawione lasów, na których miejscami pozostały resztki zniszczonych i powalonych drzew, wskazujących na to, że drzewostany te obumarły później. Na tych obszarach nie zachowała się struktura drzewostanów charakterystycznych dla lasu, są one praktycznie wylesieniami, jednak różnica w charakterze pokrycia powoduje, że klasa ta jest rozróżnialna spektralnie od wylesień z odkrytą glebą (tab. 1);
- wylesienia najdawniejsze, które najwcześniej zostały pozbawione lasu i porosły trawą, zaroślami, samosiewem lub zostały już tam założone nowe nasadzenia; dlatego kategorię tę nazwano *odnowieniami lub wylesieniami z pokrywą roślinną*.

Tabela 1. Klasy obszarów leśnych wyróżnione na podstawie wartości odbicia spektralnego zarejestrowanego na zdjęciu Landsat TM z 1990 r. (poligon I)

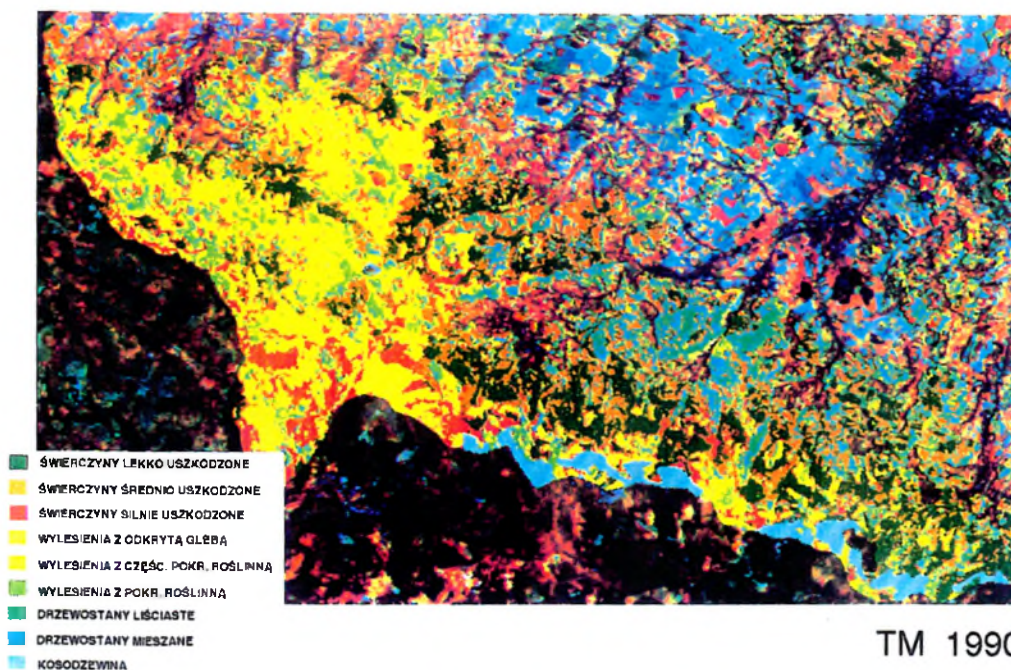
Klasa	Wartości odbicia spektralnego (średnie)		
	TM3 (1)	TM4 (2)	TM5 (3)
Świerki zdrowe i lekko uszkodzone	17,64	32,94	20,76
Świerki średnio uszkodzone	18,10	42,63	25,83
Świerki zamierające i martwe	20,22	37,78	31,42
Drzewostany liściaste	18,87	74,70	54,46
Drzewostany mieszane	18,86	61,62	44,52
Wylesienia z pokrywą roślinną	23,17	67,37	63,47
Wylesienia z częściową pokrywą roślinną	29,39	53,61	66,88
Wylesienia z odkrytą glebą	22,38	47,34	53,03
Kosodrzewina	20,52	45,10	38,38

ZMIANY W LASACH SUDETÓW ZACHODNICH

W OKRESIE 1976 - 1990



MSS 1976



TM 1990

Należy tu jeszcze nadmienić, że tereny pozbawione lasów z trzema wyżej wymienionymi kategoriami pokrycia rozciągają się na ogromnych obszarach poza granicami Polski. Można to dobrze zaobserwować na tej części zdjęcia satelitarne, która nie została sklasyfikowana. Te pozbawione lasów tereny występują w całych Górach Izerskich i w znacznych partiach Karkonoszy po czeskiej stronie. Jasne plamy widoczne na tym zdjęciu to różne kategorie obszarów wylesionych, natomiast ciemne, z odcieniem czerwieni, to pozostałe fragmenty lasów z drzewostanami silnie uszkodzonymi i zamierającymi. Najciemniejsze, widoczne na zdjęciu plamy wskazują miejsca, gdzie zachowały się fragmenty żyjących jeszcze drzewostanów.

Otrzymana mapa poklasyfikacyjna umożliwiła także analizę występowania i rozkładu pozostałych klas leśnych. Na tej podstawie można zaobserwować, że na badanym terenie zachowały się tylko bardzo małe fragmenty drzewostanów świerkowych najlepszej i średniej kategorii zdrowotnej, które w postaci szczątkowej występują w dolinach. W wysuniętej na południe części poligonu widoczne są obszary drzewostanów należących do klasy: *silnie uszkodzone i zamierające*. Stanowią one wprawdzie jedną z klas drzewostanów jeszcze istniejących, wiadomo jednak, że wkrótce powiększą one obszary pozbawione lasów. Pewną nadzieję na odnowienie się lasów w tej części poligonu dają obszary zaliczone do klasy: *odnowienia*, którą w znacznej mierze stanowią naturalne i sztuczne odnowienia świerkowe z domieszkami gatunków liściastych.

W paśmie górskim rozciągającym się na wschód od Gór Izerskich obszary wylesień i martwych drzewostanów zajmują znacząco mniejszą powierzchnię w porównaniu z obszarem zajęтым przez drzewostany żywe. Świerki najlepszej kategorii zdrowotnej porastają doliny i niższe partie grzbietów górskich. Zajmują one też większą powierzchnię niż świerki średniej kategorii zdrowotnej występujące w wyższych partiach stoków i grzbietów górskich.

Wylesienia i obszary drzewostanów silnie uszkodzonych i zamierających zajmują tu znacznie mniejszą powierzchnię w porównaniu z zachodnią częścią poligonu, chociaż również w tej części są zjawiskiem znaczącym.

8. KLASYFIKACJA ZDJĘCIA SATELITARNEGO WYKONANEGO SKANEREM MSS W 1976 R.

Przystępując do klasyfikacji zdjęcia wykonanego skanerem MSS w 1976r. założono, że wyróżnienie na nich lasów wśród innych kategorii pokrycia terenu pozwoli na porównanie obszarów zajmowanych przez lasy odwzorowane na zdjęciach wykonanych w obu rozpatrywanych terminach. Założono też, że będzie możliwe wyróżnienie obszarów lasów o zaburzonej strukturze, co dałoby pełniejszy obraz dynamiki procesu degradacji drzewostanów w okresie 1976–1990.

Brak informacji dotyczących oceny kondycji zdrowotnej drzewostanów na tym obszarze sprawił, że nie było żadnych danych źródłowych, do których można by odnieść wartości odbicia spektralnego przez różniące się między sobą grupy drzewostanów odwzorowane na zdjęciach. Jednakże wizualna analiza zdjęć satelitarnych z lat 1976 i 1990 pozwoliła zidentyfikować na nich klasy podobne znaczeniowo.

Tak więc zdjęcie satelitarne TM z 1990 r. i otrzymana na jego podstawie mapa poklasyfikacyjna umożliwiła zidentyfikowanie podobnych klas na zdjęciu MSS z 1976 r. i nadanie im znaczenia. Stwierdzono bowiem, że w granicach obszarów leśnych uwidocznionych na zdjęciu satelitarnym MSS można wizualnie rozróżnić 3 poziomy nasycenia barwy. Szczegółowa analiza tego zdjęcia, z uwzględnieniem wyników klasyfikacji zdjęcia TM z 1990 r., umożliwiła wyróżnienie 3 klas odpowiadających klasom zdrowotnej kondycji drzewostanów wyróżnionych w efekcie klasyfikacji zdjęcia TM.

W wyniku wielu prób zostały wybrane pola treningowe, na podstawie których wykonano klasyfikację zdjęcia MSS 1976. Tabela 2 przedstawia średnie wartości odbicia spektralnego wyróżnionych klas. Odległości spektralne między poszczególnymi klasami wskazują na wystarczająco dobrą ich rozdzielność. Obraz otrzymany po klasyfikacji został poddany szczegółowym porównaniom wizualnym z obrazem TM 1990, co pozwoliło stwierdzić bardzo dużą wiarygodność klasyfikacji w zakresie oceny zdrowotnej kondycji lasu.

Tabela 2. Klasy obszarów leśnych wyróżnione na podstawie wartości odbicia spektralnego zarejestrowanego na zdjęciu Landsat MSS w 1976r. (poligon I)

Klasa	Wartości odbicia spektralnego (średnie)		
	MSS 4	MSS 5	MSS 7
Świerki zdrowe i lekko uszkodzone	24,48	18,94	25,33
Świerki średnio uszkodzone	24,21	18,93	35,70
Świerki silnie uszkodzone	29,35	27,62	31,64
Drzewostany liściaste	29,91	26,86	63,94
Drzewostany mieszane	28,81	24,63	54,33
Wyłesienia	36,18	42,89	52,97

Kryterium oceny wiarygodności, w tym przypadku, jest przede wszystkim konsekwencja występowania klas na obydwu mapach poklasyfikacyjnych. Porównując te same miejsca na zdjęciach MSS 1976 i TM 1990 (patrz załącznik), można zaobserwować, że drzewostany o lepszej kondycji zdrowotnej w 1976 r. przeszły w drzewostany o gorszej kondycji, natomiast drzewostany, których kondycja w 1976 r. była zła, na zdjęciu z 1990 r. już nie występują. Ich miejsce zajęły obszary zakwalifikowane jako *wylesienia*. Pewnym zaskoczeniem wynikającym z klasyfikacji zdjęcia MSS był fakt wskazujący na to, że obraz zniszczeń lasów na tym obszarze był znacznie zaawansowany już w tamtym czasie. Należy tu dodać, że klasy wyróżnione na tych dwóch obrazach poklasyfikacyjnych nie są identyczne. Na podstawie zdjęcia MSS z 1976 r. wyróżniono tylko jedną klasę wylesień, w obrębie której nie zaobserwowano zróżnicowania spektralnego. Wylesienia te zajmowały znacznie mniejszą powierzchnię niż miało to miejsce 14 lat później.

Inną klasą, która występuje na zdjęciu z 1976 r., nie ma jej natomiast na zdjęciu z 1990 r., jest pokrywa śnieżna. W 1976 r. śnieg pokrył całkowicie kosodrzewinę, klasa kosodrzewiny nie została więc wyodrębniona w procesie klasyfikacji zdjęcia satelitarne.

Mimo tych różnic, wyniki otrzymane w toku klasyfikacji zdjęcia MSS oceniono jako lepsze od spodziewanych. Pomimo mniejszej rozdzielczości przestrzennej i spektralnej zdjęcia MSS uzyskano te same znaczeniowo informacje, które mają zasadnicze znaczenie w ocenie dynamiki badanego zjawiska. Wyniki analizy zdjęć z lat 1976 i 1990 dają podstawę do szczegółowego rozpoznania rozwoju zjawiska degradacji lasów w badanym okresie.

9. OCENA ZMIAN STANU LASÓW W SUDETACH ZACHODNICH NA PODSTAWIE MAP POKLASYFIKACYJNYCH MSS 1976 I TM 1990

W tabeli 3 zostały zestawione powierzchnie zajmowane przez te same klasy na mapach poklasyfikacyjnych z lat 1976 i 1990. Wnioski, jakie można wysnuć na podstawie danych zawartych w tabeli dotyczą dwóch kwestii:

- zmian powierzchni zajmowanych przez poszczególne klasy,
- wiarygodności oceny wydzielonych klas.

Biorąc pod uwagę powierzchnie zajmowane przez drzewostany świerkowe i wylesienia przedstawione na mapach poklasyfikacyjnych, można ocenić rozmiar deterioracji drzewostanów na obszarze poligonu I. Analiza tych map wykazuje, że:

- w 1976 r. było prawie dwukrotnie więcej drzewostanów w najlepszej kondycji zdrowotnej niż w 1990 r.;
- w 1990 r. przybyło 2,5% drzewostanów świerkowych średniouškodzonych;
- w 1990 r. było mniej o 5,5% drzewostanów silnie uszkodzonych i zamierających niż w roku 1976.

Tabela 3. Zestawienia powierzchni klas

Klasa	Powierzchnia w ha (w %)	
	MSS 1976	TM 1990
Świerki zdrowe i lekko uszkodzone	18 529 (32.7)	9 919 (17.5)
Świerki średnio uszkodzone	10 380 (18.3)	11 792 (20.8)
Świerki silnie uszkodzone	9 938 (17.5)	6 831 (12.0)
Drzewostany mieszane	8 636 (15.2)	10 104 (17.8)
Drzewostany liściaste	2 497 (4.4)	435 (0.8)
Wylesienia z pokrywą roślinną		5 528 (9.7)
Wylesienia z częściową pokrywą roślinną	4 894 (8.6)	6 752 (11.9)
Wylesienia z odkrytą glebą		4 434 (7.8)
Śnieg	1 845 (3.3)	
Kosodrzewina		961 (1.7)
	56 719 (100)	56 756 (100)

Najbardziej znacząca różnica widoczna jest w wielkości powierzchni wylesień. W 1990 r. zajmują one ponad 3-krotnie większą powierzchnię niż w 1976 r.

Zmiany powierzchni zajmowanej przez poszczególne klasy opisujące zdrowotną kondycję drzewostanów oraz rozmieszczenie tych klas można scharakteryzować następująco:

– Drzewostany świerkowe najlepszej klasy zdrowotnej zachowały się przede wszystkim w Karkonoszach, ale zajmowana przez nie powierzchnia wyraźnie się zmniejszyła. Jej miejsce zajęły średnio uszkodzone świerczyny, niekiedy silnie uszkodzone i wylesienia. Znacznie bardziej drastyczne zmiany nastąpiły w Górach Izerskich, gdzie świerczyny najlepszej klasy zdrowotnej prawie całkowicie zanikły i tylko w postaci szczątkowych fragmentów zachowały się w dolinach. Na miejsce tej klasy, na decydującej powierzchni pojawiły się klasy wylesień różnych kategorii. Jak zatem widać, proces degradacji lasu wystąpił tu bardziej gwałtownie, obejmując prawie wszystkie, istniejące jeszcze w 1976 r. drzewostany.

– Drzewostany świerkowe średnio uszkodzone (ok. 60% utraty igliwia) w 1990 r. zajmowały powierzchnię tylko o 2,5% większą niż w 1976 r. Już w 1976 r. drzewostany tej klasy zajmowały znaczącą powierzchnię w płn.-wsch. części Gór Izerskich i w Karkonoszach. W 1990 r. prawie całkowicie zniknęły one z obszaru Gór Izerskich, przechodząc głównie do kategorii wylesień, niekiedy do klasy silnych uszkodzeń. W to miejsce pojawiły się drzewostany, które z lepszej kategorii zdrowotnej w 1976 r. przeszły w 1990r. do klasy świerczyn średnio uszkodzonych. Tak więc powierzchniowy udział

tej klasy zwiększył się stosunkowo niewiele, lecz uległ zmianie jej przestrzenny rozkład.

– Drzewostany najgorszej kategorii zdrowotnej, a więc silnie uszkodzone i zamierające, zmniejszyły swoją powierzchnię o 5,5% w stosunku do 1976 r. Większość drzewostanów tej kategorii w 1990 r. znalazła się w klasie wylesień. Największe powierzchnie drzewostanów silnie uszkodzonych znajdują się w południowej części Gór Izerskich i w zachodniej partii Karkonoszy, gdzie zachowały się one częściowo od roku 1976, a częściowo powstały ze świerczyn lepszych kategorii, które w tym czasie uległy degradacji.

– Najbardziej zauważalną różnicę w obrazie lasów między rokiem 1976 i 1990 tworzą obszary wylesione. Chociaż proces wylesiania jest już widoczny w 1976 r., to w roku 1990 obszar wylesień jest ponad 3-krotnie większy. Góry Izerskie i zachodnia część Karkonoszy są już praktycznie pozbawione lasu. W znacznej mierze wylesione są też grzbietowe partie pasm górskich w pozostałej części Karkonoszy. Tak więc obszar, na którym las przestał istnieć, stanowi 30% całego obszaru poligonu I. Biorąc pod uwagę fakt, że drzewostany świerkowe najgorszej kategorii zdrowotnej powiększą wkrótce ten obszar o kolejne 12%, mamy obraz katastroficznej zagłady lasów, jaka nastąpiła w tej części Europy.

Klasie nazwanej ogólnie wylesieniami należy poświęcić nieco więcej uwagi. O ile na zdjęciu MSS z 1976 r. klasa ta jest spektralnie jednorodna, o tyle już na zdjęciu TM z 1990 r. jest ona na tyle zróżnicowana, że zdecydowano się na wyróżnienie 3 kategorii obszarów wylesionych różniących się pokryciem roślinnym. Zróżnicowanie to wynika z długiego już czasu trwania procesu degradacji lasu. Stąd też dają się zaobserwować zmiany w pokryciu gleby, a także nowe obszary lasów ulegających deterioracji.

Porównując mapy poklasyfikacyjne MSS 1976 i TM 1990 można zaobserwować, że wylesienia pokryte roślinnością na późniejszym obrazie korespondują z klasą wylesień z roku 1976. Obszary, które już w 1976 r. były pozbawione lasu, do roku 1990 porosły samosiewem, zaroślami lub też zostały sztucznie odnowione. Można by zatem traktować tę klasę jako odnowienie, jednak przyszłość tych odnowień, zarówno sztucznych, jak i naturalnych, jest trudna do przewidzenia. Nie jest to więc obecnie kategoria leśna, choć może kiedyś się nią stanie.

Drugą klasę stanowią wylesienia z odkrytą glebą. Do nich zalicza się te obszary wylesione, z których usunięto resztki obumarłych i powalonych drzew, a przy tych czynnościach w znacznej części zniszczono pokrycie gleby. Są to więc obszary, na których proces obumierania lasu następował później niż na terenach zajętych obecnie przez odnowienia.

Trzecią wreszcie klasą są wylesienia częściowo pokryte roślinnością. Spektralnie różnią się one od pozostałych klas, ale znaczeniowo są zbliżone do

pełnych wylesień, tj. wylesień z odkrytą glebą. Ta kategoria wylesień powstała tam, gdzie struktura lasu uległa już zniszczeniu, a obumarłe i powalone drzewa nie zostały jeszcze całkowicie uprzątnięte. Generalnie można powiedzieć, że ta kategoria wylesień to najpóźniej obumarłe fragmenty lasu, a wyodrębnienie ich może być ciekawym elementem przestrzennej analizy rozwoju degradacji lasu.

Inne klasy wydzielone w klasyfikacji, których powierzchnia w zasadzie nie uległa zmianie, to:

- drzewostany liściaste,
- drzewostany mieszane,
- kosodrzewina.

Kosodrzewina jest w tym przypadku klasą wydzieloną za pomocą maski, a na zdjęciu z 1976 r. jest ona całkowicie pokryta śniegiem, zatem nie może być przedmiotem analizy dokładności i wiarygodności wydzielenia. Nie dzieje się to zresztą ze szkodą dla oceny rozwoju zjawiska degradacji lasu, jako że nie odgrywa ona żadnej roli w tym procesie.

W przypadku drzewostanów liściastych i mieszanych, chociaż one także w wyraźny sposób nie obrazują procesu degradacji, różnica w wielkości zajmowanej przez nie powierzchni na obu mapach poklasyfikacyjnych wymaga komentarza.

Drzewostany liściaste są klasą zajmującą najmniejszą powierzchnię na obszarze poligonu I. Ponadto składają się na nią rozproszone drzewostany o bardzo małych powierzchniach, a piksel skanera MSS, jako 7-krotnie większy od piksela tworzonego przez skaner TM, powiększa powierzchnię drzewostanów liściastych, które – mając wyraźnie wyższe wartości odbicia spektralnego od sąsiednich drzewostanów – stają się dominujące w pikselach brzegowych. Małe, rozproszone powierzchnie takich drzewostanów powodują, że brzegowych pikseli jest stosunkowo dużo w porównaniu z łączną powierzchnią całej klasy. W rezultacie powierzchnia drzewostanów liściastych na mapie poklasyfikacyjnej MSS z 1976 r. jest 5,5 razy większa niż na mapie poklasyfikacyjnej TM z 1990r.

Drzewostany mieszane wykazują mniejszą różnicę w powierzchni zajmowanej na obu mapach poklasyfikacyjnych. Rozpatrując drzewostany liściaste i mieszane łącznie można stwierdzić, że różnica w ich powierzchni określona na podstawie obu map poklasyfikacyjnych wynosi zaledwie 1%.

Konkludując należy zauważyć, że spektralna rozdzielczość tych klas jest wystarczająco dobra, aby wynik klasyfikacji uznać za wiarygodny. Również porównanie usytuowania obu tych klas na kolejnych mapach poklasyfikacyjnych wskazuje na to, że klasy te zostały wyróżnione z dużą wiarygodnością. Różnice zaś w powierzchni zajętej przez drzewostany mieszane na obu mapach poklasyfikacyjnych wynikają z ograniczeń technicznych zdjęć satelitarnych.

Mimo że w przypadku poligonu I rozdzielenie drzewostanów liściastych i mieszanych nie ma większego znaczenia w ocenie stanu lasu i procesu jego

degradacji, to w przypadku, kiedy klasy te mają znaczący udział lub są dominującym składnikiem drzewostanów, rozdział drzewostanów liściastych i mieszanych wnosi istotne informacje o charakterze danego obszaru leśnego.

Taka właśnie sytuacja występuje na poligonie II, gdzie wydzielono nawet dwie klasy drzewostanów mieszanych:

- drzewostany mieszane z przewagą gatunków iglastych,
- drzewostany mieszane z przewagą gatunków liściastych.

10. ANALIZA WYNIKÓW KLASYFIKACJI ZDJĘĆ

Wielostronna analiza zdjęć satelitarnych dwóch poligonów badawczych zobrazowanych w dwóch terminach przez satelitę Landsat doprowadziła do wniosku, że zróżnicowanie spektralne górskich lasów świerkowych na tych zdjęciach umożliwia wydzielenie maksimum trzech klas określających kondycję drzewostanów.

Klasa I łączy w sobie drzewostany zdrowe i osłabione, o ubytku aparatu asymilacyjnego od 0 do 30%. Wynika z tego, że na podstawie zdjęć satelitarnych nie ma możliwości rozpoznania wstępnych stadiów uszkodzeń świerków. Dlatego też podczas przeprowadzania klasyfikacji nadzorowanej zdjęć satelitarnych pola treningowe lokowane w drzewostanach o ubytku aparatu asymilacyjnego w przedziale 0–30% należy traktować jako wzorce jednej klasy spektralnej.

Możliwość wyróżniania na zdjęciu satelitarnym kolejnych klas uszkodzeń drzewostanów świerkowych, o ubytku aparatu asymilacyjnego powyżej 30%, jest uzależniona od warunków lokalnych takich jak: zwarcie drzewostanów, pokrywa glebowa, roślinność dna lasu. Jeśli na przykład w drzewostanie o luźnym zwarciu występuje trawiaste pokrycie gleby, ocena kondycji lasu bazująca wyłącznie na wartości odpowiedzi spektralnej jest w tym przypadku zawyżona. W przeciętnych warunkach istnieje jednak możliwość wydzielenia drzewostanów o ubytku aparatu asymilacyjnego rzędu 30–60%, określonych jako średnio uszkodzone (**klasa II**), oraz powyżej 60%, określonych jako silnie uszkodzone i zamierające (**klasa III**).

Godny podkreślenia jest fakt dobrego wyróżnienia młodych drzewostanów iglastych na zdjęciu satelitarnym wykonanym 1984 r. Klasa ta zawiera głównie drzewostany świerkowe, lecz także, choć w znacznie mniejszym stopniu, drzewostany sosnowe w wieku 7–25 lat. Zajmuje ona ok. 9% powierzchni poligonu badawczego Karkonosze i Góry Izerskie. Dobrze wyróżniły się także klasy na ogół trudno rozróżnialne, a mianowicie łąki i odnowienia. Ponieważ odnowienia zajmują ok. 7% całej powierzchni klasyfikacyjnej, jest to więc klasa w istotny sposób charakteryzująca strukturę wiekową badanych drzewostanów.

Główne kategorie drzewostanów i innych klas leśnych zostały sklasyfikowane z dużą dokładnością, przekraczającą 80%. Biorąc pod uwagę

złożone zjawiska przyrodnicze, które zostały poddane klasyfikacji, otrzymane wyniki należy uznać za w pełni zadowalające. Charakteryzują one dobrze strukturę i stan zdrowotny drzewostanów występujących w rejonie Karkonoszy i Gór Izerskich.

Analiza porównawcza map poklasyfikacyjnych z mapami drzewostanowymi wykazała dużą zgodność pomiędzy klasami wyznaczonymi ze zdjęć satelitarnych a charakterystykami drzewostanów występującymi na mapach leśnych. Można zatem stwierdzić, że charakterystyka drzewostanów uzyskana w wyniku klasyfikacji zdjęć Landsat TM obszaru Karkonoszy i Gór Izerskich daje możliwości wykorzystania informacji pochodzących ze zdjęć satelitarnych przydatnych do wielkoprzestrzennego opisu stanu zdrowotnego i struktury drzewostanów. Trzeba jednak zaznaczyć, że więcej informacji, które charakteryzowałyby drzewostany, nie da się już pozyskać z aktualnie wykonywanych zdjęć satelitarnych.

W przypadku obszaru badawczego Gór Sowich i Gór Stołowych, cechującego się występowaniem dużych obszarów drzewostanów mieszanych, stwierdzono możliwość rozróżnienia dwóch klas tego typu lasu, mianowicie: drzewostanów mieszanych iglastych oraz mieszanych liściastych. Wydzielenie klas uszkodzeń w omawianym regionie okazało się trudne ze względu na niewielkie, rozproszone powierzchnie drzewostanów o dużym stopniu uszkodzeń.

*Tabela 4. Klasy obszarów leśnych
wyróżnione na podstawie wartości odbicia spektralnego
zarejestrowanego na zdjęciu Landsat TM (poligon II)*

Klasa	Wartości odbicia spektralnego (średnie)		
	TM3 (1)	TM4 (2)	TM5 (3)
Drzewostany iglaste	18,59	33,54	20,70
Drzewostany iglaste młode	19,02	48,07	35,26
Drzewostany iglaste mieszane	17,94	38,66	25,76
Drzewostany liściaste	20,33	79,67	58,49
Drzewostany liściaste mieszane	19,29	60,57	43,60
Odnowienia	24,18	48,73	56,71
Łąki	27,75	65,58	85,67

Drzewostany iglaste, stanowiące najliczniejszą klasę, zostały sklasyfikowane z wysoką dokładnością (92 %); podobnie dobrą dokładność osiągnięto w przypadku pozostałych klas leśnych (83–88 %). Porównanie map poklasyfikacyjnych z mapami drzewostanowymi tego regionu wykazało generalnie zbieżność wydzieleni na mapie satelitarnej z informacją pochodzącą z map leśnych.

11. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedmiotem niniejszej pracy badawczej było określenie zakresu informacji, jakie można pozyskać za pomocą zdjęć satelitarnych do charakterystyki przyrodniczo-gospodarczej lasów.

Na pierwszym etapie prac przedmiotem analizy było wyróżnienie na zdjęciach satelitarnych klas, które w sposób powtarzalny opisują dany obszar leśny. Przebadanie dwóch poligonów leśnych o różnym charakterze dostarczyło danych, na podstawie których można sformułować następujące stwierdzenia.

Zdjęcia satelitarne obszarów leśnych o przeciętnej kondycji zdrowotnej mogą dostarczyć informacji charakteryzujących drzewostany za względu na:

- wiek; można tu wyróżnić trzy klasy wieku:
 - odnowienia,
 - młodsze klasy wieku (do 30 lat),
 - średnie i starsze klasy wieku;
- gatunki i ich zmieszanie; można tu wyróżnić pięć klas:
 - drzewostany iglaste,
 - drzewostany liściaste,
 - drzewostany mieszane,
 - drzewostany mieszane iglaste,
 - drzewostany mieszane liściaste;
- strukturę drzewostanów; można tu rozróżnić następujące klasy drzewostanów:
 - drzewostany o silnie rozluźnionym zwarcu,
 - drzewostany o silnym zaburzeniu struktury (płazowiny, lukowatość),
 - zręby i wiatrolomy.

Na obszarach, gdzie lasy podlegają degradacji – jak ma to miejsce na poligonie I obejmującym Sudety Zachodnie – zdjęcia satelitarne dostarczyły informacji o:

- zdrowotnej kondycji lasu (trzy klasy).
- obszarach wylesionych (poprzez wyróżnienie trzech klas reprezentujących różne stadia procesu wylesiania).

Wyróżnione klasy charakteryzujące obszar leśny dostarczają informacji zarówno o aktualnym stanie lasu, jak i – poprzez ocenę zmian w przestrzennym rozkładzie klas – o zmianach, jakie nastąpiły w określonym czasie. Istnieje

zatem możliwość prowadzenia monitoringu wybranych obszarów leśnych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych.

Jest sprawą oczywistą, że na podstawie zdjęć wykonanych przez satelitę Landsat TM można wyróżnić kilka klas spektralnych na obszarach leśnych. Wyniki prac prowadzonych w ramach niniejszego projektu upoważniają do stwierdzenia, że wszystkie wyróżnione klasy mogą być w sposób konsekwentny rozpoznawane na zdjęciach wykonywanych w kolejnych terminach.

Na podstawie informacji o spektralnych właściwościach różnych obszarów leśnych można je scharakteryzować pod względem wieku (3 klasy), gatunków i ich zmieszania (5 klas) oraz struktury drzewostanów i jej zaburzeń (3 klasy). Ponadto na obszarach podlegających procesom degradacji można wyróżnić 3 klasy spektralne różnicujące stopień uszkodzenia drzewostanów świerkowych oraz 3 klasy obszarów znajdujących się w różnych stadiach procesu wylesienia. Należy też stwierdzić, że zdjęcia z Landsata wykonywane skanerem MSS powinny być brane pod uwagę jako ważne źródło informacji o stanie początkowym w analizach rozwoju procesu degradacji obszarów leśnych.

LITERATURA

- [1] Bychawski W., Iracka M., Zawila-Niedźwiecki T.: *Metoda określania zdrowotnego i sanitarnego stanu lasu na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych*. Opis technologiczny. IGIK - OPOLIS, Warszawa 1984
- [2] Ciołkosz A., Iracka M., Zawila-Niedźwiecki T.: *Monitoring of forest decline in Poland by remote sensing*. Proceedings: Seminar on Remote Sensing and Forest Decline Attributed to Air Pollutants, held in Laxenburg, Austria, 11–12 March, IIASA (Laxenburg, Austria) EPRI (Palo Alto, Ca, USA), EA-5715, Ch. 7, 1987
- [3] Holler D.N.H., Ahern F.J.: *Forestry Information Content of Thematic Mapper Data*. Int. J. Remote Sensing 1986 Vol. 7, No 3
- [4] 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 take status conditions*. Environmental Remote Sensing Center. University of Wisconsin, Madison 1986
- [5] Rock B. N., Voelmann J.E., Williams D.L., Vogelmann A.,F., Hoshizaki T.: *Remote detection of forest damage*. Bioscience 1986 Vol. 36
- [6] Rosengren M., Eksrtrand S.: *A method aiming at monitoring of large area forest decline using satellite imagery*. Swedish Space Corporation 1987

- [7] Wastenson L., Alm G., Kleman J., Wastenson B.: *Swedish experiences of forest damage inventory by remote sensing*. Remote Sensing Laboratory. Department of Physical Geography, University of Stockholm 1987
- [8] Zawila-Niedźwiecki T.: *Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej*. Pr. IGiK 1984 t. XLI, z. 90

Przyjęto do opublikowania w lipcu 1997 roku

ZBIGNIEW BOCHENEK
ANDRZEJ CIOŁKOSZ
MARIA IRACKA

CHANGES OF FOREST QUALITY AT WESTERN SUDETY
DETECTED ON THE SATELLITE IMAGES

S u m m a r y

Results of classification and post-classification analysis of satellite images collected by Landsat MSS in 1976 and Landsat TM in 1990 are discussed in the article.

The analysis and classification was concentrated on forests covering areas of the Western Sudety, where significant changes of forest quality occurred at the analysed period as a result of degradation processes. Information derived from field work and from interpretation of aerial colour-infrared photographs was also used in the course of satellite image analysis.

As a result of classification of 1990 Landsat TM image three categories of quality of spruce stands were distinguished, as well as three classes of deforested areas differing in land cover. These differences lead to the conclusion, that deforestations were performed throughout the whole analysed period. Discrimination of the above mentioned classes with high accuracy (over 80%) allows for reliable large-area assessment of health conditions of forests and for estimation of degradation processes.

Classification of 1976 Landsat MSS image covering the same region brought very interesting information. Despite of 7 times smaller pixel acreage and smaller spectral range of MSS scanner it was also possible to distinguish three classes of forest quality. It enabled to monitor degradation processes at Izerskie Mountains and Karkonosze between 1976 and 1990, as well as to characterise area occupied by particular classes and their spatial distribution.

Supervised classification was also done for 1984 and 1990 Landsat TM images, which cover Sowie and Stołowe Mountains. Forests at this part of Sudety

are characterised by quite good health conditions and great diversification of tree species. As a result of classification three classes of age of stands were distinguished, as well as five classes related to species and their mixtures.

Damages of stands appear at this region only on small areas, so using satellite images they can be hardly identified. Hence analysis of classification results was not thoroughly discussed in this article, as changes between classification images based on 1984 and 1990 data were insignificant. Repetitiveness and consequence of the distinguished classes was observed on both classification images.

Translation: Zbigniew Bochenek

*ЗБИГНЕВ БОХЕНЕК
АНДЖЕЙ ЦИОЛКОШ
МАРИЯ ИРАЦКА*

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ В ЗАПАДНЫХ СУДЕТАХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Резюме

Статья рассматривает результаты классификации и анализа послеклассификационного содержания спутниковых снимков, выполненных со спутника Ландсат сканером MSS в 1976 году и сканером TM в 1990 году.

Классификация и анализы концентрируются на лесном содержании снимков, охватывающих территорию Западных Судетов, где в результате процесса деградации лесов произошли существенные изменения в лесах в течение зарегистрированного на снимках периода. В процессе классификации были использованы также информации, полученные при полевых исследованиях и дешифрировании цветных аэроснимков в инфракрасном излучении.

В результате классификации снимка 1990 г. выделено 3 класса еловых древостоев с разным состоянием здоровья, а также 3 класса обезлесённых пространств, отличающихся покрытием местности. Из различий в покрытии обезлесённых территорий можно делать выводы, что они подвергались истреблению в разное время. Выделение вышеуказанных классов разрешает с большой точностью (свыше 80%) на достоверную оценку, с точки зрения крупноплощадных оценок, состояния здоровья древостоев и степени их деградации.

Классификация снимка, выполненного 14 лет раньше сканером MSS, охватывающего ту же самую территорию, привела к очень интересным

наблюдениям. Несмотря на 7-кратно меньший пиксель и более узкий спектральный диапазон сканера MSS, на снимке, выполненном этим сканером, выделено также 3 класса с разным состоянием здоровья леса, что дало возможность проследить ход процесса деградации лесов в период 1976 – 1990 г. на территории Изерских гор и Карконошей, как в аспекте величины поверхности, занимаемой выделенным классом, так и в аспекте их поверхностного расположения. Классификации "с учителем" подверглись также снимки 1984 – 1990 годов, выполненные сканером TM, охватывающие Сове горы и Столове горы. Леса этой части Судетов характеризуются неплохим состоянием здоровья и большим разнообразием с точки зрения видов, создающих древостой. В результате классификации выделено здесь 3 класса, связанных с возрастом древостоев, и 5 классов, связанных с видами /типами/ и их смешиванием.

Проблема повреждения древостоев сигнализируется здесь на небольших поверхностях, поэтому с точки зрения дистанционного зондирования её невозможно идентифицировать. Таким образом, здесь меньше внимания посвящено анализу результатов, полученных из классификации снимков этой территории, ибо разницы между послеклассификационными изображениями 1984 и 1990 годов не выступают. Видна зато повторяемость и последовательность выделенных классов.

Перевод: Róża Tolstikowa

