

WOJCIECH BYCHAWSKI  
ANDRZEJ CIOŁKOSZ  
MARIA IRACKA  
TOMASZ ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI

### Doświadczenia OPOLiS w badaniach degradacji lasów za pomocą teledektacji lotniczej i satelitarnej

Zarys treści. Artykuł omawia doświadczenia OPOLiS dotyczące teledetekcyjnego badania degradacji lasów, powodowanej przez czynniki biotyczne i abiotyczne.

Pobieżny choćby przegląd zdjęć satelitarnych, napływających do Polski od prawie piętnastu lat, pozwala zauważyć, że należymy do najbardziej zanieczyszczonych krajów Europy. Na wielu zdjęciach bowiem, dotyczy to zwłaszcza zdjęć południowej części Polski, doskonale widoczne są smugi dymów emitowanych przez różne zakłady przemysłowe. Nie są to przypadki szczególne, gdyż dymy te widoczne są na wielu zdjęciach, o ile pokrywa chmur nie przysłania terenu. Analizując zdjęcia wykonane przez satelity Landsat stwierdzono, że dymy z większości zakładów Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, czy też aglomeracji krakowskiej, rozciągają się na ogromną odległość dochodzącą, w warunkach sprzyjającej propagacji, do 180 km. Dotyczy to zanieczyszczeń pyłowych, bo tylko one są widoczne na zdjęciach. Zanieczyszczenia gazowe docierają znacznie dalej. Niekiedy widoczne w postaci drobnych obłoków kłębiastych, tworzących się na przedłużeniu trajektorii widzialnej części smugi kominowej. Jest wielce prawdopodobne, że jądrami kondensacyjnymi pary wodnej w tych obłokach są bardzo drobne pyły i molekuly gazów.

Sytuacja propagacji zanieczyszczeń zmienia się zależnie od warunków meteorologicznych, jednak na wszystkich analizowanych zdjęciach z obszaru Polski południowej zanieczyszczenie powietrza jest zawsze wyraźnie widoczne.

Warto zwrócić uwagę, że np. zdjęcia z obszarów Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego ujawniają dodatkowo przemieszczanie się zanieczyszczeń z terenu Ostrawy i Karwina, które wraz z ruchami powietrza charakterystycznymi dla wielkich obniżeń śródgórskich, zwykle spływają ku dolinie górnej Odry.

Bardzo interesującą sytuację rejestrują zdjęcia wykonywane w zimie w okresie zalegania pokrywy śnieżnej. Wówczas to na wielu zdjęciach można zaobserwować emisję pyłów przemysłowych i komunalnych, wyraźnie kontrastujących z białym tłem śniegu. Na tej podstawie można, z pewnym przybliżeniem, określać zasięg oddziaływania niektórych zakładów przemysłowych na środowisko.

Wspomniane fakty skłoniły OPOLiS do przeanalizowania za pomocą zdjęć lotniczych i satelitarnych, sytuacji zdrowotnej w lasach, które sądząc z obrazów przedstawionych na zdjęciach satelitarnych, znajdują się pod wpływem zanieczyszczeń atmosferycznych.

Jedną z technik stosowanych w fotografii lotniczej posiada szczególną właściwość odwzorowywania roślinności. Wykorzystuje się w niej film, którego emulsja składa się z trzech warstw, przy czym jedna z nich jest uczulona na niewidzialne dla ludzkiego oka promieniowanie podczerwone. Odpowiednio dobrane barwniki wprowadzone do poszczególnych warstw emulsji sprawiają, że wynikiem tego typu fotografowania jest zdjęcie barwne, które jednak nie odtwarza barw rzeczywistych. Takie zdjęcia, zwane spektrostrefowymi, mają specyficzną właściwość, rejestrują bowiem nawet niewielkie zmiany zawartości wody i barwników w liściach, które najczęściej wiążą się z chorobami roślin. Fotografia spektrostrefowa wydobywa obraz patologicznych zmian lasu, które nie są widoczne na zdjęciach w widzialnym zakresie spektrum. Tę prawidłowość wykorzystano do analizy stanu lasów na wybranych obszarach naszego kraju, gdzie zwiększające się skażenie środowiska powoduje katastrofalne zmiany w lasach. Obecnie drzewostany jodłowe znajdują się w końcowej fazie obumierania, postępuje regres świerka i poważnie zagrożona jest sosna. Ginią także buki, dęby, a nawet brzozy. Drzewostany poddane synergicznemu działaniu czynników stresowych ulegają osłabieniu, stają się podatne na inwazję szkodników i chorób. Właśnie osłabienie kondycji drzew i utrata naturalnej odporności czyni drzewostany szczególnie podatnymi na masowe występowanie szkodników owadzych (gradacje).

Wobec rozmiarów zmian, do oceny stanu lasu, zdecydowano się użyć teledetekcji. Dotychczasowe badania pozwoliły opracować w OPOLiS metody oceny stanu lasów, na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych. Metody te, zaaprobowane przez administrację Lasów Państwowych, posłużyły do oceny stanu lasów w rejonach szczególnie zagrożonych czynnikami biotycznymi i abiotycznymi.

### Gradacja poprocha cetyniaka w Puszczy Augustowskiej

Po raz pierwszy zdjęć spektrostrefowych użyto do oceny zniszczeń, spowodowanych gradacją poprocha cetyniaka (*Bupalus piniarius* L), która wystąpiła w borach sosnowych Puszczy Augustowskiej w 1975 r. Stosunkowo niewielki jej zasięg umożliwił sfotografowanie całego obszaru dotkniętego inwazją szkodników.

Na filmie Kodak Aerochrome IR sfotografowano w skali 1:800 obszar 750 ha. Według barwnego zróżnicowania uszkodzonych drzewostanów wydzielono 5 stopni uszkodzeń, odpowiadających drzewostanom różniącym się stopniem zredukowania igliwia.

Wydzielono zatem następujące stopnie nasilenia żeru:

- 1 — brak szkód lub uszkodzenia nieznaczne; do 20% redukcji aparatu asymilacyjnego,
- 2 — szkody słabe; 20%—40% redukcji aparatu asymilacyjnego,
- 3 — szkody średnie; 40%—60% redukcji aparatu asymilacyjnego,
- 4 — szkody znaczne; powyżej 60% redukcji aparatu asymilacyjnego,
- 5 — żer pełny; 100%.

W wyniku interpretacji zdjęć całego obszaru wykonano, na podkładzie leśnej mapy drzewostanowej, mapę rozkładu wydzielonych stopni uszkodzeń. Tak dokładny obraz skutków gradacji stał się dla leśników cenną informacją, na której oparto decyzje gospodarcze dotyczące uszkodzonych drzewostanów.

### Gradacja brudnicy mniszki

W 1977 r. w północnej Polsce rozpoczęła się, trwająca 8 lat, gradacja brudnicy mniszki (*Lymantria monacha*). Jej rozmiar był niespotykany w historii polskiego i europejskiego leśnictwa. Dla zobrazowania skali zjawiska wystarczy podać, że w ciągu 8 lat zabiegami ratowniczymi objęto ponad 6 milionów ha. W kulminacyjnym roku gradacji (1982) powierzchnia zwalczania szkodnika wynosiła 2 300 000 ha (ok.  $\frac{1}{4}$  lasów Polski).

Niespotykany dotąd zasięg gradacji w czasie i przestrzeni spowodował, że jej przebieg nie mógł być śledzony na całym obszarze przez nasz Ośrodek. Przypadek ten stał się jednak przedmiotem badań metodycznych nad uściśleniem i sformalizowaniem związków między informacjami o drzewach i drzewostanach, jakich dostarczają zdjęcia spektrostrefowe, a ich charakterystyką przyrodniczą.

Na podstawie badań prowadzonych na 15 powierzchniach testowych w ciągu 3 lat, została określona zależność między barwą korony na zdjęciu a ubytkiem aparatu asymilacyjnego, wyrażonym w procentach, w stosunku do korony posiadającej 3 pełne roczniki igieł. Wyróżniono cztery odcienie barwy, odpowiadające utracie igliwia w następujących przedziałach:

- 1 — barwa ciemnopurpurowa; 0%—30% utraty igliwia,
- 2 — barwa jasnopurpurowa; 30%—85% utraty igliwia,
- 3 — barwa różowoszara i szara; 85%—95% utraty igliwia,
- 4 — barwa niebieskozielona; ponad 95% utraty igliwia.

Nadanie rozróżnialnym na zdjęciu barwom koron wymiernej oceny ich uszkodzenia pozwoliło wykorzystać ten związek do szczegółowej waloryzacji drzewostanów objętych gradacją.

Do przeprowadzenia studium rozwoju gradacji, w trzyletnim okresie od 1980 do 1982 r., wybrano fragment lasów w Borach Tucholskich o powierzchni około 1 800 ha. Są to położone na ubogich siedliskach, w przybliżeniu równowiekowe, bory sosnowe (50—65 lat), w których w pierwszym roku badań wystąpił pełen zakres nasilenia zniszczeń — od drzewostanów prawie nie uszkodzonych do pełnego żeru. Co roku fotografowano wybrany do analizy obszar. Oceny drzewostanów dokonywano na ponad 300 powierzchniach testowych, rozmieszczonych na analizowanym obszarze. Każda z nich zatem przypadała przeciętnie na 6 ha lasu. Tak gęsta siatka powierzchni testowych pozwoliła zaprezentować przestrzenny obraz zniszczeń, utworzony za pomocą izolinii łączących powierzchnie o takim samym ubytku igliwia. Izolinie, przeprowadzone w dziesięcioprocentowych odstępach, wydobywają nawet niewielkie różnice w zniszczeniach pozornie jednorodnych obszarów. Opracowywane co roku obrazy lasu tworzą sekwencję map przedstawiających zmiany w rozkładzie i nasileniu zniszczeń, pozwalającą określić ich kierunek w następnych latach.

Analizując te mapy można zauważyć, że w drugim i trzecim roku badań widoczne jest już załamanie się gradacji. Egzystujące jeszcze w 1980 r. drzewostany nieuszkodzone i minimalnie uszkodzone, w następnych latach już nie występują. Jednocześnie począwszy od 1981 r. zróżnicowanie zniszczeń jest mniejsze. Wielkość powierzchni najbardziej i najmniej zniszczonych drzewostanów zmniejsza się, rośnie natomiast powierzchnia średnich zniszczeń, zawierających się w przedziale 60—70% ubytku igliwia. Zjawisko to staje się jeszcze bardziej wyraźne w 1982 r.

Z analizy rozkładu zniszczeń na tle map drzewostanowych można wnosić, że silniejsze zniszczenia są związane ze słabszą bonitacją drzewostanów, natomiast obszary najmniej zniszczone można wiązać z sąsiedztwem doliny rzeki i związanymi z nią odmiennymi warunkami siedliskowo-florystycznymi.

Bogaty materiał obserwacyjny umożliwiający prześledzenie zmian, zachodzących w tych samych częściach lasu w kolejnych latach, skłonił autorów tej pracy do przedstawienia prognozy zmian w następnym okresie, na podstawie kierunku i tempa zmian, jakie wystąpiły w okresie badań.

W tym celu, dysponując wynikami interpretacji zdjęć z lat 1980, 1981, 1982, określono dla każdej z 230 powierzchni rozpoznawczych ubytek aparatu asymilacyjnego na podstawie zależności wiążącej zasobność korony w igliwie z barwą korony na zdjęciu. Następnie określono równania opisujące zależność między ubytkami aparatu asymilacyjnego w kolejnych latach, zależnie od wielkości w roku poprzednim. Aby unaocznic nie tylko wielkość, ale i kierunek zmian, jakie zachodziły w badanych drzewostanach w latach 1980, 1981 i 1982, zbudowano model zmienności ubytku aparatu asymilacyjnego. Model taki pozwala nie tylko na syntetyczne ujęcie badanego zjawiska, lecz również, po przyjęciu pewnych warunków, pozwala zorientować się, jak będzie ono przebiegać w najbliższych latach, o ile nie zmienią się warunki, w jakich przeprowadzono badania. Model został sporządzony dla okresu 1980—1985. Dynamikę zjawiska przedstawioną na modelu można opisać w sposób następujący:

— drzewostany, które w 1980 r. były jeszcze dość, jak na tamte warunki zasobne w igliwie, lepsze od przeciętnych na tym obiekcie, przez dwa kolejne lata traciły igliwie: w latach 1980—1981 szybciej, w latach 1981-1982 wolniej. Natomiast drzewostany gorsze od przeciętnych regenerowały się; bardziej ogołoczone z igliwia — szybciej, mniej ogołoczone — wolniej.

Wszystkie drzewostany w miarę upływu lat zmierzały ze swą zasobnością w igliwie ku asymptocie  $U = 65 - 70\%$  ( $U$  — ubytek igliwia), co odpowiada drzewostanowi składającemu się z drzew, w koronach których zachował się jeden, niekiedy dwa roczniki igieł. Jeśli zatem po 1982 r. przeobrażenia w drzewostanach nie będą rządziły się innymi prawami, to zasobność w igliwie tych drzewostanów w kolejnych latach będzie zmierzała ku wyrównaniu do poziomu  $U = 65 - 70\%$ , który to poziom powinien zostać osiągnięty w 1985 r.

Dla porównania przebiegu zmian ukazywanych przez model z rzeczywistością przeprowadzono kontrolę wyników modelowania wykorzystując w tym celu bezpośrednie obserwacje terenowe. Okazało się, że kontrola w pełni potwierdziła skuteczność modelowania i pozwoliła na ocenę jego dokładności.

Natomiast dla sprawdzenia części modelu wyrażającej prognozę rozwoju zjawiska, w 1985 r. przeprowadzono badania terenowe, które miały na celu ocenę zasobności w igliwie drzewostanów, tak aby prognoza mogła być sprawdzona w całym zakresie zmienności ubytku aparatu asymilacyjnego. Wynik kontroli potwierdził skuteczność i prawidłowość modelu obrazującego przebieg zjawiska również w części dotyczącej jego prognozy.

## Zmiany stanu lasów w Bełchatowskim Okręgu Przemysłowym

Zależność między barwą korony na zdjęciu a ubytkiem aparatu asymilacyjnego została wykorzystana do różnicowania jakości drzewostanów ulegających degradacji pod wpływem różnych czynników sprawczych kumulujących się na danym obszarze.

W celu waloryzacji lasów ulegających degradacji, zastosowano metodę oceny zdrowotnego i sanitarnego stanu lasu, opartą na interpretacji spektrostrefowych zdjęć lotniczych. Powtarzana co kilka lat ocena jakości takich drzewostanów pozwala obserwować tempo zmian i przewidywać rozwój występujących na badanym obszarze zjawisk.

Miarą oceny jakości lasów, według tej metody, jest procentowy udział martwych i zamierających drzew w drzewostanie oraz występowanie takich zjawisk, jak: rozluźnienie zwarcia, powstawanie luk i obszarów wylesionych oraz fragmentów martwego lasu itp. zjawisk, których obecność i rozmiar świadczą o naruszeniu równowagi ekosystemu leśnego.

Zastosowanie tej metody do oceny stanu lasów w Bełchatowskim Okręgu Przemysłowym pozwoliło stwierdzić, że stan zdrowotny drzewostanów znajdujących się w sąsiedztwie odkrywkowej kopalni węgla brunatnego i elektrowni, w ciągu czterech lat od jej uruchomienia, uległ wyraźnemu pogorszeniu na całym analizowanym obszarze obejmującym 8 500 ha.

Generalny obraz zmian, jakie zaszły w ciągu czterech lat dzielących oba terminy oceny, ukazują mapy stanu sanitarnego tych samych części drzewostanów z 1981 i 1985 r. Na mapach tych drzewostany podzielono na klasy jakości, przyjmując za kryterium procentowy udział drzew zamierających i martwych. Wydzielono następujące klasy:

- I — do 10% drzew martwych i zamierających
- II — 11% do 30% drzew martwych i zamierających
- III — 31% do 50% drzew martwych i zamierających
- IV — 51% do 70% drzew martwych i zamierających
- V — powyżej 70% drzew martwych i zamierających.

Zmiany jakości drzewostanów można więc prześledzić na podstawie zmian granic i wielkości obszarów zajmowanych przez różne klasy w obydwu rozpatrywanych terminach. Z przeprowadzonego porównania, na reprezentowanych fragmentach ocenianych lasów, wynikają następujące wnioski:

- poza niewielkimi fragmentami, znikły drzewostany należące do I klasy, która w 1981 r. zajmowała 75% powierzchni — w 1985 pozostało zaledwie 13%;
- 80% drzewostanów znalazło się w 1985 r. w II klasie jakości, podczas gdy w 1981 r. było ich tylko 25%;
- pojawiła się III klasa jakości (8% powierzchni), a nawet sporadycznie klasa IV.

Generalnym spostrzeżeniem jest więc przejście większości drzewostanów z klasy najwyższej do niższej klasy jakości, co dowodzi postępującej degradacji tych kompleksów leśnych. Potwierdza to także fakt pojawienia się kolejnych niższych klas jakości, które w pierwszym terminie badania jeszcze nie występowały.

### **Kłęsa ekologiczna w Sudetach Zachodnich**

W roku 1982 rozpoczęto, na podstawie danych teledetekcyjnych, kompleksowe badania degradacji środowiska w polskiej części Sudetów. Na tym obszarze drzewostany świerkowe masowo zamierają wskutek zanieczyszczeń przemysłowych emitowanych w Czechosłowacji, NRD i Polsce. Szczególnie zabójcze są emisje licznych w tej okolicy elektrowni opalanych węglem brunatnym.

W pierwszej fazie dokonano oceny stanu lasów w Sudetach na podstawie barwnych zdjęć lotniczych w podczerwieni. Służba leśna zainteresowana była dokładnymi mapami w skali 1:10 000 obrazującymi kondycję lasu, ale ze względu na rozmiar katastrofy ekologicznej, zdecydowano wyniki interpretacji zdjęć lotniczych przedstawić także na mapach topograficznych w skali 1:25 000. Przedstawiono na nich zasięgi: drzewostanów martwych, rozluźnionego zwarcia, wywrotów i złomów, wylesień, zalesień i odnowień, kosodrzewiny oraz drzewostanów liściastych. Ponadto drzewostany iglaste sklasyfikowano pod względem stanu sanitarnego, wydzielając drzewostany obumierające, silnie osłabione i osłabione.

Informacje uzyskane w wyniku analizy zdjęć lotniczych, wykonanych w różnych latach, posłużyły do opracowania mapy zmian szaty leśnej w Sudetach Zachodnich, w przeciągu 37 lat. Na jej podstawie wyodrębniono obszary w różnym stopniu dotknięte przeobrażeniami środowiska (Poławski i inni, 1987).

Diachroniczne zdjęcia lotnicze posłużyły także do przeanalizowania zmian w drzewostanach na wybranym fragmencie Gór Izerskich, a więc na obszarze, gdzie najwyraźniej wystąpiła degradacja szaty roślinnej. Podstawą analizy były zdjęcia lotnicze z 1975 r. (panchromatyczne w skali 1:16 000), 1982 (panchromatyczne, 1:17 000) i 1984 (spektrostrefowe, 1:8 000).

Z analizy wynika, że w 1975 r. rozległe obszary północnego stoku, od 600 do 900 m n.p.m., porośnięte były zwartymi drzewostanami świerkowymi. W miarę wznoszenia się terenu las ulegał przerzedzeniu, a w części grzbietowej występowały wylesienia. Stok południowy pokryty był drzewostanem świerkowym o rozluźnionym zwarcu.

Zdjęcia z 1982 r. wskazują na wzrost powierzchni wylesionych oraz rozluźnienie zwarcia. Na północnym stoku, od 750 m n.p.m. występują wylesienia, zarówno w lesie o zwarcu pełnym, jak i rozluźnionym. Na zrównaniu grzbietowym nie wystąpiły znaczące zmiany. Na stoku południowym las zanikł na wysokości 1000 m n.p.m.

Ostatnie zobrazowanie lotnicze wskazuje na dalsze rozprzestrzenianie się procesów degradacyjnych. Jedynie fragmenty północnego stoku do wysokości 650 m n.p.m. nie uległy widocznym zmianom. Pozostałe tereny zostały pozbawione lasu, bądź pozostały po nim szczątki w postaci drzew martwych, ewentualnie drzewostanu o rozluźnionym zwarcu. Praktycznie rzecz biorąc, w ciągu 9 lat, las jako formacja roślinna na analizowanym terenie przestał istnieć (Poławski i inni, 1987).

### **Zdjęcia satelitarne w wielkoobszarowych badaniach lasów**

Skala zmian środowiska w Sudetach spowodowała, że w 1985 r. sięgnięto po zdjęcia satelitarne. Wysokorozdzielcze zdjęcia wykonane skanerem Thematic Mapper (TM) z pokładu Landsata 5, wykorzystano do oceny przydatności tego

typu zobrazowań do badania lasów. Termin wykonania zdjęcia satelitarnego był zgodny z datą wykonania zdjęć lotniczych w podczerwieni, co umożliwiło szczegółową analizę danych satelitarnych.

Ze zdjęć satelitarnych obszaru Sudetów utworzono barwne kompozycje w skali 1:100 000, 1:50 000 i 1:25 000. Te kompozycje analizowano metodami wizualnymi. Wykonano także klasyfikację numeryczną treści leśnej. Na podstawie wyników analiz przeprowadzonych metodą wizualną i numeryczną stwierdzono możliwość wydzielenia następujących klas:

1. Drzewostany świerkowe osłabione.
2. Drzewostany świerkowe silnie osłabione.
3. Drzewostany martwe i zamierające.
4. Drzewostany młodych klas wieku (od fazy młodnika do wieku 40—50 lat).
5. Drzewostany liściaste i mieszane.
6. Wylesienia z pokrywą roślinną.
7. Wylesienia z odkrytą glebą.
8. Kosodrzewina.

Dokładność interpretacji wizualnej była zdeterminowana wielkością piksela TM ( $30 \times 30$  m). Podczas interpretacji wizualnej zdjęć satelitarnych wydzielono poszczególne klasy z dokładnością 1 piksela.

Klasyfikacja zdjęcia satelitarnego TM obszaru Sudetów metodą numeryczną wykonano z precyzją wyznaczania poszczególnych klas, wahającą się w granicach 90—65%.

W latach 1986—1987 OPOLiS uczestniczył w międzynarodowym programie wstępnej oceny zdjęć wykonanych przez francuskiego satelitę teledetekcyjnego SPOT. W ramach programu badano użyteczność zdjęć, wykonanych przez tego satelitę, z punktu widzenia ich przydatności do waloryzacji lasów. Analizowano zarówno zdjęcia lasów zdegradowanych (Sudety), lasów o normalnej wegetacji, jak i lasów potencjalnie zagrożonych, porastających ubogie siedliska (Bory Tucholskie).

Z przeprowadzonych prac wynika, że zdjęcia wykonywane przez satelitę SPOT mogą służyć do wielkoobszarowej analizy lasów podlegających degradacji i lasów zdrowych. Jednocześnie stwierdzono, że nierejestrowanie przez skaner HRV satelity SPOT promieniowania podczerwonego ogranicza zastosowanie wykonywanych przez niego zdjęć do badań roślinności.

Na podstawie zdjęć wykonanych przez satelitę SPOT można wydzielić niektóre typy lasów i ich siedliska, młodsze i starsze klasy wieku drzewostanów iglastych, drzewostany liściaste i mieszane, uprawy i młodniki. Stwierdzono także możliwość zdrowotnej statyfikacji uszkodzonych drzewostanów świerkowych, jednak bez możliwości wczesnego wykrywania i lokalizowania zagrożonych obszarów leśnych. Warto podkreślić wysoką (90—95%) dokładność klasyfikacji cyfrowych.

W OPOLiS są także prowadzone badania zawartości informacyjnej radzieckich zdjęć satelitarnych.

Zdjęcia z radzieckich satelitów nowej generacji KOSMOS różnią się od zdjęć satelitów Landsat i SPOT pod względem techniki ich wykonywania. Są one bowiem wykonywane kamerami fotograficznymi, a nie skanerem, są zapisem fotograficznym, a nie numerycznym. Zdjęcia wykorzystywane do analizy obszarów leśnych były wykonywane na spektrostrefowym filmie SN-10 w skali około 1:280 000. Film SN-10 jest dwuwarstwowym filmem negatywowym, który rejes-

truje zakres promieniowania 570—800 m. Fotograficzny zapis obrazów wykonywanych przez satelity KOSMOS skłania raczej do wizualnej interpretacji ich treści, niż do stosowania numerycznych przetworzeń obrazu.

Najłatwiej dostrzegalną cechą obrazu jest tutaj wyraźne zróżnicowanie gatunków liściastych i iglastych. Są one bowiem odwzorowane jako obiekty o skrajnie różnych wartościach odbicia spektralnego; liściaste — jako obiekty o dużej wartości odbicia spektralnego (barwa jasnoseledynowa), iglaste — należą do obiektów o niskim odbiciu (ciemna purpura) w zakresie spektrum, na który uczulony jest film. Natomiast w zakresie barw, charakterystycznych dla obydwu tych grup gatunkowych, trudno już mówić o zróżnicowaniu barw, jednocześnie świadczącym o uszkodzeniach, czy tym bardziej osłabieniu kondycji drzewostanów. Pełniejsze wykorzystanie obrazu lasów zarejestrowanego na filmie SN-10 z pułapu satelitarnego umożliwi zróżnicowanie struktury, wyrażające się ziarnistością obrazu lasu, zarówno wewnątrz każdej z barw charakterystycznych dla obydwu grup gatunków (liściastych i iglastych), jak też struktury barwnej obrazu lasu, wynikającej z przemieszczenia plam barw purpurowej i niebieskozielonej.

Zróżnicowanie barwy i struktury obrazu lasu pozwala wyodrębnić drzewostany liściaste, iglaste i mieszane oraz określić, w pewnym zakresie, stopień i rodzaj mieszania (równomierne, wyspowe, smugowe itp.). Zróżnicowanie struktury obrazu, czyli jego ziarnistość, drobniejsza lub grubsza, pozwala odróżnić drzewostany starsze od młodszych oraz ustalić ich jednorodność lub zróżnicowanie wiekowe. Dość dobrze dającą się wydzielić klasą są odnowienia, które na ogół można odróżnić od drzewostanów liściastych mimo zbliżonej jasności spektralnej. Trzeba się jednak liczyć z możliwością popełnienia omyłki i zaliczenia do upraw leśnych enklaw rolniczych lub trawiastych polan. Prawdopodobieństwo takiej omyłki może jednak znacznie ograniczyć znajomość przyrodniczego charakteru analizowanego terenu oraz charakteru prowadzonej tam gospodarki leśnej.

Jak wynika z powyższego opisu, cechy obrazu lasów, jakie można określić na zdjęciu z satelity KOSMOS są, jak dotąd, mało precyzyjne i nie można na ich podstawie dać dokładnej i jednoznacznej charakterystyki lasów. Jednakże na podstawie możliwych do określenia zróżnicowań można nadawać im pewne uogólnione charakterystyki określające budowę gatunkową i jej strukturę, a także, w generalnych podziałach, strukturę wiekową.

### **Zakończenie**

Zaprezentowane wyżej przykłady wykorzystania teledetekcji w badaniach lasu wskazują, że nowe techniki zbierania informacji mogą wzbogacić dotychczasową wiedzę. Możliwość uzyskiwania aktualnych i archiwalnych informacji ze zdjęć lotniczych i satelitarnych może uzupełnić warsztat badawczy każdego, kto zajmuje się problematyką ochrony lasów.

Prowadzone w Polsce badania stanu lasu za pomocą teledetekcji znajdują wyraz we współpracy międzynarodowej. Od kilku lat współpracujemy ze Szwedzką Korporacją Kosmiczną (SSC), która, przy naszym udziale, analizuje rozwój kłęski ekologicznej w Sudetach. Obiecująco zapowiada się wznowienie kontaktów ze służbą leśną USA. Prowadzimy także wspólne badania z Węgrami i CSRS.

Pracownicy IGIK-OPOLiS są zapraszani, w charakterze ekspertów, przez Mię-



dzynarodowy Instytut Zastosowań Analiz Systemowych (IIASA) w Laxenburgu k/Wiednia, przez Europejską Komisję Gospodarczą ONZ oraz FAO. Na ostatnim posiedzeniu Grupy Roboczej EKG/FAO ds satelitarnej detekcji uszkodzeń lasów, nasz Ośrodek został zaproszony do wspólnych prac badawczych, których zakres i zasady mają opracować agendy ONZ, przy udziale IIASA oraz Unii Leśnych Organizacji Badawczych (IUFRO).

#### LITERATURA

- [1] Bychawski W., Iracka M.: *Przyczyny zróżnicowania barw obrazów koron sosny na spektrostrefowym zdjęciu*. Prace IGiK, t. XXV, z. 3, 1978.
- [2] Iracka M.: *Badania zniszczeń drzewostanów w Nadleśnictwie Osie (Bory Tucholskie), w oparciu o spektrostrefowe zdjęcia lotnicze, w czasie trwania gradacji brudnicy mniszki w latach 1980-1982*. Maszynopis IGiK-OPOLiS, Warszawa 1984.
- [3] Iracka M.: *Ocena procesu degradacji lasów w okolicach Bełchatowa, na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych*. Prace IGiK, t. XXXV, z. 2, 1987.
- [4] Kozłowski S.: *Przyrodnicze uwarunkowania gospodarki przestrzennej Polski*. Ossolineum, Wrocław 1983.
- [5] Połowski Z.F., Zawila-Niedźwiecki T.: *Teledetekcja w ocenie stanu środowiska leśnego Sudetów Zachodnich*. Sylwan nr 5, 1987.

Recenzował: dr hab. inż. *Wojciech Wilkowski*  
Przyjęto do opublikowania w dniu 21 maja 1988 r.

*WOJCIECH BYCHAWSKI*  
*ANDRZEJ CIOLKOSZ*  
*MARIA IRACKA*  
*TOMASZ ZAWILA-NIEDŹWIECKI*

#### REMOTE SENSING INVESTIGATIONS OF FOREST DEGRADATION- -EXPERIENCES OF THE POLISH REMOTE SENSING CENTRE OPOLiS

##### Summary

The authors describe research works carried out at the Polish Remote Sensing Centre (OPOLiS) of the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw in the field of remote sensing investigations of forests during the last decade. First investigations have been carried out on forests infested by insects (*Bupalus piniarius* L., *Lymantria monacha*). Colour infrared aerial photographs taken on Kodak Aerochrome IR and on the Soviet SN-6M films have been applied for these investigations. Four to five classes of forest damage have been distinguished; the results were highly appreciated and used by forest management. A model for forecasting future changes within the infested stands has been constructed after a few years of research. Colour infrared aerial photographs have also been applied for the determination of intensity and extent of the degradation of forests caused by industrial activities. Studies of changes occurring in the forests of the Bełchatów Industrial District as a result of open-pit mining of brown coal have been carried out for the government.

Complex investigations of environmental degradation in the Polish part of the Sudety Mountains have been carried out at OPOLiS since 1982. The first inventory of forests in the region was carried out with the use of aerial colour infrared photographs. The following categories have been distinguished: dead and dying coniferous stands, stands with loose canopy closure, wind-breaks, wind-falls, regenera-

tions, afforestations, dwarf mountain pine stands, deciduous and mixed stands. The results were presented on maps in 1:25 000 scale. Coniferous forests of the area were also classified with respect to their sanitary condition: dying, heavily impaired and impaired stands were distinguished.

A study concerning changes in the forests of Sudety Mountains during the last 37 years has been performed on the basis of all available aerial and satellite imagery. Because of the intensity and range of the ecological disaster of Sudety forests, further, more detailed studies were needed. In 1985, Landsat 5 Thematic Mapper data were used. Impaired, highly impaired, dead and dying coniferous stands have been discriminated. Computer assisted classification of TM images led to the discrimination of the above categories with the accuracy ranging from 65% to 90%.

In the years 1986-1987 OPOLiS participated in PEPS — preliminary evaluation programme for SPOT data. Our team have been assessing the usefulness of SPOT data for the valorization of forest. The research has confirmed the applicability of SPOT images for large-area surveys of both healthy and impaired forests, and in particular for distinguishing types of forests, forest-stands and age of stand (older and younger coniferous stands, thickets and nurseries) as well as deciduous and mixed stands. SPOT data also facilitates the classification of the degree of damage to coniferous stands; it does not, however, enable early detection of the symptoms of forest damage. High reliability (90-95%) of computer assisted classification should be stressed.

OPOLiS specialists also analyze the information content of Soviet satellite photographs, taken on two-layer SN-10 colour infrared film.

In the field of remote sensing investigations of forests, OPOLiS cooperates with the following institutions: Swedish Space Corporation, US Forest Service, Hungarian and Czech remote sensing centres, International Institute for Applied Systems Analysis in Laxenburg (Austria), UN Economic Commission for Europe, and Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Translation: *Wiesława Sujkowska*

*ВОЙЦЕХ БЫХАВСКИ  
АНДЖЕЙ ЦИОЛКОШ  
МАРИЯ ИРАЦКА  
ТОМАШ ЗАВИЛА-НЕДЗВЕЦКИ*

## ОПЫТ ОПОЛИС В ИССЛЕДОВАНИЯХ ДЕГРАДАЦИИ ЛЕСОВ С ПОМОЩЬЮ АЭРО- И КОСМИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

### Резюме

Авторы рассматривают многолетние достижения Центра обработки аэрокосмических материалов (ОПОЛиС) Института геодезии и картографии в Варшаве в области исследования лесов методами дистанционного зондирования. Первые работы в этой области ОПОЛиС проводил на территории охваченной градацией насекомых-вредителей (*Viralus pinarius*, *Lymantia monacha*). Для валоризации повреждений применялись спектрональные аэроснимки, выполненные на пленке Kodak Aerochrom IR и на советской пленке СН-6М. На их основе выделено 4-5 классов состояния здоровья древостоя, а работы, проделанные в ОПОЛиС, были неоднократно использованы при принятии хозяйственных решений.

Слежение хода градации насекомых разрешило также создать модель, которая служила для прогнозирования изменений в древостоях.

Спектрональные аэроснимки оказывали также помощь при определении темпа и объёма деградации лесов, находящихся под влиянием промышленности. По заказу энергетики проведено исследование изменений в лесах Белхатовского промышленного округа.

С 1982 г. ведутся в ОПОЛис комплексные исследования деградации природной среды в польской части Судетов. На основе цветных аэроснимков в инфракрасной части спектра проведена инвентаризация состояния леса, синтезированное изображение которой представлено на картах в масштабе 1:25 000, изображающих охват: мёртвых древостоев, разреженной сомкнутости полога, опрокинутых и переломленных деревьев, истребленного леса и возобновлений, горной сосны, а также лиственного и смешанного древостоя. Кроме того, хвойные древостои были классифицированы с точки зрения санитарного состояния, с выделением омертвевших древостоев, сильно ослабленных и ослабленных.

На основе двукратных съёмок территории Судетов проведено изучение изменений лесного покрова в течение 37 лет.

Размер экологического бедствия в Судетах вызвал то, что в 1985 г. появилась необходимость обратиться к спутниковым снимкам, выполненным сканером Thematic Mapper с борта американского спутника Ландсат 5. На их основе были выделены ослабленные древостои, сильно ослабленные, мёртвые и умирающие, младшие классы возраста, лиственные и смешанные древостои, а также обезлесения. Цифровая классификация снимка ТМ выполнена с точностью определения классов, колеблющейся в границах 65-90%.

В 1986-1987 годах ОПОЛис участвовал в международной программе оценки снимков, выполненных французским спутником СПОТ-1 (программа PEPS N° 282). В рамках этой программы исследовано возможность использования снимков СПОТ для валоризации лесов. Из проведенных работ следует, что изображения, выполненные спутником СПОТ могут служить для крупноплощадного анализа как здоровых лесов, так и поврежденных деградации. Установлена возможность выделения на снимках СПОТ некоторых типов лесов и мест их произрастания, младших класс возраста хвойных древостоев, лиственных и смешанных древостоев, а также рассадников и молодняка. Существует также возможность стратификации по состоянию здоровья поврежденных хвойных древостоев, однако без возможности раннего обнаруживания симптомов заболевания. Стоит подчеркнуть (90-95%) достоверность цифровой классификации содержания полученных снимков.

ОПОЛис ведет также изучение информационного содержания советских спутниковых снимков, выполненных на двуслойной спектральной пленке СН-10.

Проводимые в Польше исследования состояния леса с помощью дистанционного зондирования, находят свое выражение в международном сотрудничестве с Swedish Space Corporation, US Forest Service, а также центрами в Венгрии, ЧССР. ОПОЛис сотрудничает с International Institute for Applied Systems Analysis в Laxenburg (Австрия) и UN Economic Commission for Europe and FAO.

Перевод: Róża Tolstikowa

