

JERZY MOZGAWA

## Teledetekcyjna metoda badania obszarów leśnych

Теледетекционный метод исследования лесных территорий

Remote sensing for studying forest regions

### WSTĘP

Lata siedemdziesiąte cechuje dynamiczny rozwój nowej dyscypliny naukowej, przeznaczonej do badań powierzchni Ziemi. Przedmiotem tej dyscypliny, zwanej w Polsce teledetekcją lub badaniem z odległości, jest opracowanie sposobów wykorzystania do celów gospodarczych i naukowych promieniowania elektromagnetycznego emitowanego lub odbitego od obiektów materialnych. Emitowane lub odbite promieniowanie jest nośnikiem informacji o obiekcie. Charakterystyczną cechą teledetekcji jest umieszczenie czujnika promieniowania elektromagnetycznego zawsze w pewnej odległości od obiektu, a następnie odpowiednia transformacja tego promieniowania na formę możliwą do rejestracji. Rejestracja promieniowania odbywa się na drodze fotograficznej lub magnetycznej.

Po wizualizacji zarejestrowanego promieniowania (wywołanie filmu lub utworzenie obrazu na podstawie zapisu magnetycznego) uzyskanie danych o obiektach możliwe jest dopiero po rozszyfrowaniu zakodowanej informacji. Proces przypisania punktom obrazu cech obiektów nosi nazwę odczytywania. Proces syntezy odczytanych informacji i wnioskowanie o zjawiskach występujących na badanych obszarach zwany jest interpretacją, a w przypadku kiedy proces interpretacji odbywa się na podstawie obrazu fotograficznego mówimy o fotointerpretacji.

Wyniki prac badawczych nad możliwością poznawania powierzchni Ziemi z odległości dały podstawę do opracowania toku postępowania zarówno przy ustalaniu parametrów technicznych rejestracji, czyli przy wyborze tzw. techniki teledetekcji jak i wnioskowaniu o procesach zachodzących na badanych obszarach podczas interpretacji. Ten ciąg postępowania nosi nazwę metody teledetekcyjnej. Jeżeli do zbierania informacji o obiektach wykorzystywane są fotograficzne techniki teledetekcji, metoda teledetekcyjna zwana jest zazwyczaj fotointerpretacyjną metodą badania obszarów leśnych.

## CHARAKTERYSTYKA NIEKTÓRYCH WSPÓŁCZESNYCH TECHNIK TELEDETEKCJI

Obecnie jako nośnik informacji wykorzystywane są prawie wszystkie zakresy promieniowania elektromagnetycznego. W badaniach przyrodniczych istnieje jednak tendencja do wykorzystywania zakresów od ultrafioletu (0,1—0,35  $\mu\text{m}$ ) do dalekiej podczerwieni (5—1000  $\mu\text{m}$ ) (3, 12) i inni). Postępy poczyniono w opracowaniu nowych i doskonaleniu istniejących technik teledetekcji. Poniższy przegląd świadczy, jak dużymi możliwościami technicznymi dysponować mogą obecnie służby cywilne i zespoły naukowe, w tym również gospodarka leśna i naukowe dyscypliny leśnictwa. W przeglądzie pominięto techniki telewizyjne i radarowe, które w warunkach europejskich do celów teledetekcji z samolotów nie są stosowane.

### A. Fotograficzne techniki teledetekcji

Czujnikiem promieniowania w fotograficznych technikach teledetekcji jest emulsja fotograficzna, a obiekty odwzorowane są w rzucie środkowym (zdjęcie lotnicze). Ze względu na możliwości uczulenia emulsji, w fotograficznych technikach teledetekcji wykorzystuje się najczęściej zakres promieniowania widzialnego (0,35—0,75  $\mu\text{m}$ ) oraz dodatkowo zakres tzw. bliskiej podczerwieni fotograficznej (0,75—1,0  $\mu\text{m}$ ). Fotograficzne techniki teledetekcji są obecne najszerzej stosowaną grupą technik badania obszarów leśnych z odległości.

#### 1. Fotografia czarno-biała

Bazuje na jednowarstwowych materiałach fotograficznych. Do celów leśnych najczęściej używane są panchromatyczne zdjęcia lotnicze oraz zdjęcia czarno-białe w podczerwieni, wykorzystujące zakres podczerwieni fotograficznej (1, 14, 15 i in.).

#### 2. Fotografia barwna

##### a. Fotografia barwna w barwach naturalnych

wykonywania odbitek barwnych z materiałów fotograficznych negatywnych istnieje tendencja stosowania do celów leśnych materiałów fotograficznych diapozytywowych (7, 8 i n.). Materiały diapozytywowe oddają fotografowane obiekty w barwach zbliżonych do naturalnych. Proces tworzenia barw przezrocza odbywa się na drodze subtraktywnej (7), w sposób analogiczny jak w przezroczach powszechnie używanych do celów amatorskich.

##### b. Fotografia barwna w barwach umownych

Przykładem tej techniki fotograficznej są filmy barwne w podczerwieni, zwane również filmami spektrostrefowymi (4, 6, 10 i in.). Powstawanie wrażeń barwnych odbywa się na drodze subtraktywnej (10). Poszczególne warstwy emulsji filmowej uczulane są na różne zakresy promieniowania widzialnego oraz na zakres podczerwieni fotograficznej. Specjalnie dobrane barwniki, wprowadzone do warstw emulsji, powodują, że obiekty fotografowane na filmach spektrostrefowych oddawane są w barwach nienaturalnych. Technika zdjęć barwnych w podczerwieni jest szeroko stosowana za granicą do różnorodnych badań roślinności.

### 3. Fotografia wielospektralna

Polega na wykonywaniu zdjęć tego samego obiektu na materiałach fotograficznych czarno-białych równocześnie i niezależnie przez kilka obiektywów zaopatrzonych w specjalne filtry optyczne, przepuszczające odpowiednio wybrane zakresy promieniowania. W wyniku takiego postępowania uzyskuje się czarno-białe wyciągi spektralne (kilka czarno-białych przezroczyc tego samego fragmentu obiektu). Analiza wyciągów spektralnych odbywa się najczęściej na tzw. przeglądarkach addytywnych w warunkach kameralnych. Przeglądarki addytywne są wieloobiektywowymi rzutnikami, które — wykorzystując proces addytywnego tworzenia efektów barwnych — dają na jednym ekranie kompozycje barwne, uzyskane z różnych kombinacji wyciągów i barwnych filtrów optycznych (9, 18, 19).

Technika wielospektralnej fotografii lotniczej rokuje duże nadzieje wykorzystania w leśnictwie, ze względu na możliwość optymalnego wyboru zakresów wyciągów spektralnych do badanych zjawisk przyrodniczych (11).

### B. Skanerowe techniki teledetekcji

Nazwa technik pochodzi od urządzenia przeszukującego (skanera) montowanego na samolocie lub innym statku powietrznym, a służącego do zbierania informacji o obiektach. Istota pracy skanera polega na analizie terenu wąskimi paskami. Obiektyw skanera jest ruchomy, a wirująca oś obiektywu obraca się w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku lotu samolotu (5, 13, 16).

W skanerach wielospektralnych promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące od elementarnych powierzchni terenu, po przejściu przez obiektyw skanera, zostaje rozdzielone układem pryzmatów na wąskie pasma, które padając na czujniki elektroniczne powodują zmiany ich charakterystyk elektrycznych. Zapis zmian charakterystyk elektrycznych odbywa się z reguły na taśmie magnetycznej. Wizualizacja zapisu magnetycznego dokonywana jest w warunkach kameralnych na specjalnych barwnych magnetowidach.

W skanerach monospektralnych (5) przetworzone czujnikiem promieniowanie może być zapisywane na taśmie filmowej przez fotografowanie kamerą szczelinową ekranu lampy oscyloskopowej.

Istotną zaletą urządzeń skanerowych jest możliwość rejestracji szerokiego zakresu promieniowania, przy czym najczęściej wykorzystuje się zakres od ultrafioletu do podczerwieni termalnej (0,35—30  $\mu\text{m}$ ). W technikach skanerowych istnieje możliwość analizowania obszarów leśnych w zakresach promieniowania nie rejestrowanych fotograficznymi technikami teledetekcji.

W Polsce z nowoczesnych technik teledetekcji praktycznie sprawdzono przydatność do celów leśnych zdjęć barwnych w podczerwieni (10, 17). Do celów cywilnych nieleśnych Instytut Geodezji i Kartografii, będący wiodącą krajową placówką naukową w problematyce teledetekcji, poddał badaniom technikę skaningu monospektralnego w paśmie średniej podczerwieni (zakres 2,0—5,6  $\mu\text{m}$ ) oraz technikę wielospektralnej fotografii lotniczej do celów rolnictwa (5, 2). Należy sądzić, że w niedalekiej

przyszłości do dyspozycji gospodarki narodowej, w tym również gospodarki leśnej, oddane będą wszystkie pisane wyżej współczesne techniki teledetekcji.

## METODA TELEDETEKCJI W ZASTOSOWANIU DO POTRZEB LEŚNICTWA

Brak w krajowej i zagranicznej literaturze leśnej kompleksowych przesłanek w stosowaniu teledetekcji w leśnictwie skłonił autora do opracowania podanego dalej toku postępowania przy stosowaniu metody do różnorodnych problemów przyrodniczych i gospodarczych. Propozycja oparta jest na analizie obszernej, nie cytowanej w niniejszej pracy, literaturze przedmiotu oraz własnych doświadczeń autora.

Zależności między obiektem leśnym, nośnikiem informacji, jej rejestracją i interpretacją odczytanych cech obrazu lotniczego upoważniają do stwierdzenia, że czynnikiem determinującym prawidłowe zrealizowanie celu interpretacji jest właściwy wybór zakresów promieniowania elektromagnetycznego, przenoszącego informację o obiekcie oraz poznanie charakterystyk ilościowych i jakościowych nośnika informacji.

Jednym z pierwszych etapów postępowania w metodzie teledetekcyjnej jest zatem ustalenie, jakie skutki fizyczne w parametrach nośnika informacji może powodować wpływ szukanej interpretacyjnie cechy obiektu. Na tym etapie stwierdzić również należy, czy przyczyna powodująca poszukiwaną interpretacyjnie cechę jest jedyną wywołującą określony proces zmian fizycznych nośnika. Rozważania nad fizycznymi zmianami nośnika mają na celu uzyskanie podstaw teoretycznych do wyboru zarówno czujnika jak i zakresów promieniowania. Na tym etapie metody należy ustalić, jaką technikę teledetekcji zastosować w konkretnym przypadku działalności praktycznej, aby właściwie uchwycić i zarejestrować najkorzystniejsze dla późniejszej interpretacji zakresy promieniowania elektromagnetycznego. Nośnik informacji z oczywistych względów determinuje również możliwości poznawcze metody teledetekcji. Możliwości poznawcze metody nie są jednak ograniczone tylko do cech obiektów zmieniających ilościowo i jakościowo strumień promieniowania przepływającego od tych obiektów do czujnika, bowiem na podstawie powierzchniowego rozkładu odczytanych cech wnioskować można dodatkowo o zasięgu występowania zjawisk.

W dalszym ciągu postępowania należy rozważyć, w jaki sposób przestrzeń między obiektem a czujnikiem wpływa zniekształcająco na nośnik informacji oraz dokonać wyboru dróg eliminacji ewentualnego niekorzystnego wpływu.

Rejestracja informacji o obiektach wybraną techniką teledetekcji jest następnym etapem postępowania w metodzie teledetekcyjnej.

Kolejnym etapem metody będzie przyjęcie środków technicznych i toku postępowania podczas odczytywania i interpretacji, aby obiektywnie i szybko dokonać wyboru, występujących z reguły w nadmiarze a często zbędnych dla zasadniczego celu, zarejestrowanych informacji dodatkowych. W zakresie interpretacji istnieją systemy komputerowego odczytywania i interpretacji automatycznej, jednakże autor uważa, że dla celów stosunkowo skomplikowanej tematycznej interpretacji leśnej udział

człowieka ciągle będzie znaczny. Urządzenia komputerowe mogą odegrać istotną rolę głównie na etapie odczytywania zarejestrowanej informacji.

Przyjęcie formy opracowania graficznego lub liczbowego wyników interpretacji jest końcowym etapem postępowania w metodzie teledetekcyjnej.

Przedstawiony zakres merytoryczny metody sugeruje możliwość optymalizowania całości procesu rejestracji promieniowania i interpretacji właściwej, według przyjętego kryterium optymalizacji. Autor uważa, że istota optymalizacji metody teledetekcyjnej leży w uzasadnionym teoretycznie wyborze różnych wariantów postępowania, w zakresie poszczególnych etapów realizowanej praktycznie metody. Optymalizacja metody powinna obejmować wszystkie części łańcucha przyczynowo-skutkowego, poczynając od poszukiwanej cechy obiektu a kończąc na wynikach interpretacji. Teledetekcyjna metoda badania obszarów leśnych powinna zatem względnie taką formę rejestracji i interpretacji, aby poszukiwane cechy obiektów były najlepiej wyróżnialne spośród innych cech równoległe z nimi rejestrowanych.

Metoda teledetekcji wymaga właściwego wyboru środków technicznych i form organizacyjnych dla osiągnięcia celu stosowania metody. Teoretyczne wyjaśnienie ciągu przyczynowo-skutkowego (cecha obiektu — odczytanie) upoważnia do traktowania metody za obiektywną metodę badawczą dużych obszarów leśnych, zaś jej właściwe stosowanie może istotnie ułatwić wiele prac inwentaryzacyjnych.

Metoda teledetekcji w zastosowaniu do potrzeb leśnictwa, mając cechy wspólne w zakresie technik teledetekcji, różni się od zastosowań nieleśnych skomplikowanym pod względem struktury i właściwości obiektem badań. Zgodny jest pogląd, że interpretację do celów leśnych najlepiej wykona specjalista znający kompleks uwarunkowań przyrodniczych i gospodarczych obiektu badań oraz ogólnie znający zastosowaną w konkretnym przypadku technikę teledetekcji. Lasy są specyficznym obiektem do badań teledetekcyjnych, ze względu na przestrzenną budowę drzewostanów i kompleks uwarunkowań ekologicznych. Dla optymalnego stosowania metody wskazana byłaby znajomość większości dyscyplin przyrodniczych i gospodarczych leśnictwa. Niech świadczy o tym fakt, że tylko dla zrozumienia, istotnego dla różnych etapów metody, mechanizmu zmian ilościowych i jakościowych odbitego lub emitowanego z warstwy koron promieniowania elektromagnetycznego potrzebna jest wiedza w zakresie anatomii, morfologii i fizjologii roślin drzewiastych, jak również znajomość uwarunkowań siedliskowych i działalności czynników patogennych. Podejście kompleksowe do zagadnień przyrodniczych i gospodarczych obiektu leśnego, z szerokim wykorzystaniem zawartych w ostatnim planie urządzeniowym informacji o lesie, gwarantuje pełne wykorzystanie możliwości poznawczych metody, istotnie przybliżając granicę optymalnego wyboru możliwych wariantów postępowania.

Względy ekonomiczne wskazują na konieczność udzielania odpowiedzi na pytanie, jakie dodatkowe cele poznawcze można osiągnąć, poddając całość zarejestrowanej informacji innym interpretacjom tematycznym. Wszechstronne wykorzystanie informacji teledetekcyjnej powinno się stać regułą. Z materiałów teledetekcyjnych powinny korzystać różne dyscypliny naukowe i gospodarcze leśnictwa, jak również nieleśne dys-

cypliny naukowe i resorty gospodarcze. Wszechstronne wykorzystanie materiałów mogłoby postawić w nowym świetle stosunkowo wysokie koszty teledetekcyjnego zbierania informacji oraz stworzyć możliwość niezależnego opracowywania różnych zagadnień naukowych i gospodarczych.

Przykładem praktycznego zrealizowania podanych w niniejszym opracowaniu założeń teoretycznych było zastosowanie w 1975 r. w OZLP Białystok do celów gospodarczych fotointerpretacyjnej metody wielkopowierzchniowej inwentaryzacji uszkodzeń drzewostanów sosnowych spowodowanych żerem poprocha (10). Celem zastosowania metody było dokonanie szybkiej inwentaryzacji uszkodzeń drzewostanów na terenie ognisk gradacyjnych szkodnika.

W kolejnych etapach metody ustalono:

- a) przewidywane zmiany jakościowe i ilościowe charakterystyk odbicia promieniowania elektromagnetycznego od koron drzew w zależności od nasilenia żeru gąsienic,
- b) technikę teledetekcji, która pośrednio, poprzez zmiany charakterystyk odbicia promieniowania, umożliwiłaby wyznaczenie powierzchni jednakowego i określonego nasilenia żeru,
- c) parametry techniczne techniki teledetekcyjnej oraz porę nalotu,
- d) technikę odczytywania oraz sposób przyporządkowania punktom obrazu lotniczego cech fizycznych uszkodzonych koron, czyli sposób ustalenia tzw. klucza fotointerpretacyjnego,
- e) formę opracowania graficznego wyników interpretacji.

W rezultacie kompleksowej analizy warunków przyrodniczych obiektu i parametrów dostępnych technik teledetekcji inwentaryzację dokonano w lipcu z samolotu Wilga 104, stosując technikę zdjęć barwnych w podczerwieni na błonie Kodak Aerochrome Infrared 2443. Zdjęcia lotnicze w skali około 1 : 8000 wykonano kamerą Hasselblad 500 EL z pokryciem podłużnym 70% i pokryciem poprzecznym około 25%. Klucz fotointerpretacyjny sporządzono metodą powierzchni próbnych, zaś odczytywanie i interpretacji dokonano na modelu stereoskopowym drzewostanów. W wyniku końcowego opracowania kartograficznego, wykonanego przez Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne w Białymstoku, uzyskano materiał mapowy z pięciostopniowym nasileniem żeru, wykorzystany w działalności gospodarczej OZLP.

Niezależnie od aspektów gospodarczych uzyskano unikalną dokumentację zdjęciową, możliwą do wykorzystania przez entomologów w badaniach nad szkodnikiem i naturalnym oporem środowiska.

Owocna współpraca IGiK, IBL, OZLP Białystok i OPGK Białystok oraz doświadczenia w stosowaniu metody fotointerpretacyjnej na obiekcie Głęboki Bród dały początek podjęcia prac nad zastosowaniem metody teledetekcji w kontroli stanu sanitarnego lasu i wielkopowierzchniowej inwentaryzacji uszkodzeń drzewostanów, spowodowanych działalnością przemysłu.

Z Instytutu Organizacji  
Gospodarstwa Leśnego SGGW—AR

## LITERATURA

1. Baumann H. — Forstliche Luftbildinterpretation. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 1957.
2. Bochenek Z. — Zastosowanie techniki zdjęć wielospektralnych w badaniach szaty roślinnej. „Przegląd Geodezyjny” 1976, nr 3.
3. Charin N. G. — Distancjonnyje metody izuczienia rastitelnosti. Izdatielstwo „Nauka”, Moskwa 1975.
4. Charin N. G. — Liesochozjajstwiennoje dieszifrowanie aerosnimkow. Izdatielstwo „Nauka”, Moskwa 1965.
5. Ciołkosz A. — Zastosowanie długofalowego promieniowania podczerwonego w badaniach termalnego zanieczyszczenia rzek. „Prace IGiK” t. XXII, z. 2/51, Warszawa 1975.
6. Fritz N. L. — Optimum methods for using infrared-sensitive color films. „Photogrammetric Engineering” 33, 1967.
7. Heller R. C. — Color and false color photography: its growing use in forestry. „Application of remote sensors in forestry”. Druck Rombach and CO. Freiburg 1970.
8. Kenneweg H. — Color and false color photography: its growing use in forestry — a European view. „Application of remote sensors in forestry”. Druck Rombach and CO. Freiburg 1970.
9. Lauer D. T. — Multiband photography for forestry purposes. „Application of remote sensors in forestry”. Druck Rombach and CO. Freiburg 1970.
10. Mozgawa J. — Wykorzystanie barwnych zdjęć lotniczych w ochronie lasu. „Las Polski” 1976, nr 15/16.
11. Mozgawa J. — Zastosowanie teledetekcji w leśnictwie. Materiały Seminarium nt. „Wykorzystanie obrazów lotniczych i satelitarnych w zarządzaniu gospodarką narodową” Warszawa 4—5.X.1976 r.
12. National Academy of Sciences 1970. — Remote sensing with special reference to agriculture and forestry. National Acad. Sci. 2101 Constitution Ave., Washington, DC.
13. Olson Jr. C. E. — Collection and processing of multispectral imagery. „Application of remote sensors in forestry”. Druck Rombach and CO. Freiburg 1970.
14. Piekarski E. — Ocena różnych typów emulsji fotograficznych przy zdjęciach lotniczych dla potrzeb urządzania lasu. „Sylwan” 1970, nr 3.
15. Stellingwert D. A. — Practical applications of aerial photographs in forestry and other vegetation studies. Series B. Number 36. Summer 1966, Published by I.T.C., 3 Kanaalweg, Delft, The Netherlands.
16. Wójcik S. — Próba sklasyfikowania metod fotograficznych zwiadu powietrznego. „Przegląd Geodezyjny” 1973, nr 11—12.
17. Wolfram K. — Specjalne techniki fotografii lotniczej, jako źródło informacji o sanitarnym stanie drzewostanów. Materiały Seminarium nt. „Wykorzystanie obrazów lotniczych i satelitarnych w zarządzaniu gospodarką narodową” Warszawa 4—5.X.1976 r.
18. Yost E. F., Waederoth S. — Multispectral color aerial photography. „Photogrammetric Engineering” 33, 1967.
19. Yost E. F., Waederoth S. — Multispectral color for agriculture and forestry. „Photogrammetric Engineering” 37, 1971.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 30 października 1976 r.

Понятие «метод теледетекции» автор рассматривает как обоснованный теоретически ход действия, связанный с определением технических показателей регистрации информационных данных об объектах исследуемых на расстояние, сроком сбора информации и масштабом отображения, способами интерпретации зарегистрированной информации, определением состояния объектов или природно — экономических процессов происходящих на них, на основе интерпретации установленных признаков а также представлением результатов интерпретации в форме возможной для использования в практической или научной деятельности.

Автором рассматриваются важнейшие фотографические и сканерные техники теледетекции, особо пригодные для исследований отечественных лесных территорий на расстояние.

Реализация цели применения методов теледетекции будет зависеть с одной стороны от доступных техник теледетекции, с другой от полного использования достижений естественноведческих наук в области объяснения явления исследуемого методами теледетекции.

С экономической точки зрения считается целесообразным, что-бы собранная и преобразованная в зависимости от цели применения метода теледетекционная информация была подвергнута дополнительному анализу относительно возможности её использования в решении других экономических и научных вопросов.

#### Summary

As a remote sensing procedure author understands theoretically justified procedure involving the determination of technical parameters of the recording of information on remote objects, dates of data collection and scale of mapping, ways of reading the information recorded, concluding about the status of objects or natural economic processes occurring in them on the background of the interpretation of characters read and along with the presentation of interpretation results in a form possible to utilize them in practical or scientific activities.

Author discusses more important photographic and scanning procedures of remote sensing particularly useful for a remote examination of national forest areas.

The achievement of goals of the application of remote sensing procedure depends both upon available techniques and upon a full utilization of advances in biological sciences for the explanation of phenomena examined.

Economic considerations suggest that the information gathered and processed in relation to the purpose of application, should be additionally analyzed in respect to its possible use while solving other management and scientific problems.