

# FOTOINTERPRETACJA W GEOGRAFII

## 24 PROBLEMY TELEGEODATA

WARSZAWA 1994



Jerzy Mozgawa, Tomasz Kadlewicz,  
Krzysztof Kosiński, Tomasz Grudziński, Krzysztof Botul\*

### Odwzorowanie biogeocenozy Białowieżskiego Parku Narodowego na zdjęciach satelitarnych TM\*\*

*Mapping of the biogeocoenoses of Białowieża National Park  
on the satellite TM images\*\*\**

**W**ithin the framework of research work conducted in the Forest Research Institute and concerning the delimitation of the buffer zones of the Biosphere Reserve in Białowieża Forest, a geographic information system (GIS) was established for the whole of the Forest. This system contains information on the boundaries of the biogeocoenoses, the units being the components of the plant landscapes. Using the information from the GIS, related to the limits of biogeocoenoses and the screen data TM, as well as the software ARC/INFO and ERDAS-IMAGINE, an imagery map of the Forest was elaborated. The mapping of the biogeocoenoses on the satellite images was analysed for the fragment of the Forest corresponding to the area of the strict reserve of Białowieża National Park.

Visual interpretation of the satellite image indicated the spatial variability of the particular types of biogeocoenoses, displayed through different colour mapping of their fragments,

located in various parts of the Reserve. This made it possible to divide the area of the Strictly Protected Reservation into three zones of colour mapping of the biogeocoenoses.

Interpretation of the statistic characteristics and the histograms of the TM channels indicated the greatest information capacity relative to the types of biogeocoenoses in TM channels 4, 5 and 7, as well as the phenomenon of increase of spectral brightness along the increase of soil fertility and humidity of biogeocoenoses.

The image presents the colour composition of the satellite image Landsat TM 4+5+3 processed in the Forest Research Institute. The image was taken on June 20th, 1992, and it presents the strict nature reserve of Białowieża National Park. In the background of the image of the Forest yellow colour denotes the boundaries of biogeocoenoses, determined with surface methods.

t

\* Dr hab. inż. Jerzy Mozgawa, prof. SGGW, mgr inż. Tomasz Kadlewicz, mgr Krzysztof Kosiński, mgr Tomasz Grudziński, mgr inż. Krzysztof Botul, Instytut Badawczy Leśnictwa, Pracownia Teledetekcji i Informacji Przestrzennych, Sękocin-Las, 05-090 Raszyn, Tel.: (48 22) 46 46 23, Fax: (48 22) 46 20 16.

\*\* Referat wygłoszony na XV Ogólnopolskiej Konferencji Fotointerpretacji i Teledetekcji, Warszawa, 21 września 1994 r.

\*\*\* Paper presented at the XV Polish Conference of Photo-interpretation and Remote Sensing, held in Warsaw on September 21st, 1994.

## Wprowadzenie

Postęp techniczny w informatyce dostarczył nowych narzędzi, możliwych do wykorzystania w badaniach przyrodniczych dużych obszarów. Do badań przestrzeni opracowano specjalne systemy informacyjne, tak zwane Systemy Informacji Geograficznej (GIS). Systemy Informacji Geograficznej, służące do przechowywania, przetwarzania i udostępniania informacji o charakterze geograficznym stały się natychmiast przedmiotem licznych zastosowań praktycznych i działalności naukowej wszędzie tam, gdzie rozwiązywane były problemy funkcjonowania przyrody w określonej przestrzeni geograficznej.

Najefektywniejszym narzędziem zbierania informacji o dużych obszarach i właściwego jej przygotowania przed wprowadzeniem do systemu informacji geograficznej jest teledetekcja. Rozwój specjalnego oprogramowania do przetwarzania danych teledetekcyjnych, a co najważniejsze, wyposażenie w to oprogramowanie krajowych jednostek badawczych, stworzyło realnie nowe możliwości analizy wielkoprzestrzennych danych teledetekcyjnych, a następnie kojarzenia tak przetworzonych danych z innymi informacjami wprowadzającymi wspólnie do systemu informacji geograficznej.

W Instytucie Badawczym Leśnictwa została utworzona Pracownia Teledetekcji i Informacji Przestrzennych (PTiIP), którą wyposażono w wysokiej klasy sprzęt komputerowy i oprogramowanie dla potrzeb GIS i teledetekcji. Na wyposażeniu pracowni znajduje się aktualnie system ARC/INFO i ERDAS-IMAGINE pracujące na stacji roboczej HP 735 pod kontrolą systemu operacyjnego HP-UX. W wyżej wymienionej pracowni wykonywano część prac w ramach zlecenia GEF (*Global Environment Facility*) 05/21685 POL (Łonkiewicz, 1994), wykorzystywanych w niniejszym opracowaniu.

W ogólnych założeniach metodycznych całości prac Instytutu Badawczego Leśnictwa w ramach zlecenia GEF, związanych z delimitacją stref buforowych Rezerwatu Biosfery — Puszczy Białowieskiej, przyjęto podejście metodyczne zaproponowane przez W. Kwiatkowskiego (1993). W podejściu tym obszar Puszczy Białowieskiej podzielony został na jednostki przestrzenne nazwane biogeocenozy. W rezultacie prac nad zleceniem GEF dla obszaru Puszczy założono w PTiIP system informacji geograficznej, w którym w jednej z warstw informacyjnych zapisano dane o granicach poszczególnych biogeocenozy. Będące do dyspozycji GEF aktualne dane satelitarne o obszarze Puszczy stworzyły sytuację, w której poszczególne biogeocenozy mogły być charakteryzowane nie tylko opisem naziemnym, ale również danymi teledetekcyjnymi. Dane teledetekcyjne to zarówno przestrzenne zróżnicowanie rastrowego obrazu biogeocenozy jak i charakterystyki statystyczne gęstości optycznych zbiorów pikseli, ograniczonych na obrazie satelitarnym granicami poszczególnych biogeocenozy. Rezultaty analizowanego w PTiIP IBL odwzorowania teledetekcyjnego biogeocenozy i dyskusja nad propozycją wykorzystania takiego sposobu przetwarzania informacji dla potrzeb badań lasów naturalnych i kartografii

geobotanicznej (Faliński, 1990) stanowi przedmiot niniejszego opracowania.

## Ogólne założenia metodyczne

Założenia metodyczne sprowadzały się do uzyskania dwójakiego rodzaju map numerycznych obszaru Puszczy: wektorowej mapy biogeocenozy i rastrowego obrazu satelitarnego. Poprzez wykorzystanie odpowiedniego oprogramowania nałożono obraz wektorowy na obraz rastrowy.

Jak wspomniano, wektorowa mapa granic biogeocenozy, której fragment wykorzystano w niniejszym opracowaniu, powstała w ramach zakładania systemu informacji geograficznej (GIS) dla całej Puszczy Białowieskiej. Główne cele leżące u podstaw podjęcia prac nad utworzeniem GIS dla Puszczy Białowieskiej można sformułować następująco:

- \* umożliwienie integracji danych wieloźródłowych istniejących oraz mających powstać w przyszłości;
- \* traktowanie zarówno polskiej jak i białoruskiej części Puszczy jako jednego, spójnego organizmu przyrodniczego;
- \* dostarczenie informatycznego narzędzia do kontroli stanu, zmian i symulacji stanów przyszłej różnorodności biologicznej Puszczy, kształtowanej działalnością gospodarczą;
- \* dokonanie delimitacji stref buforowych Rezerwatu Biosfery — Puszcza Białowieska.

W metodyce prac nad delimitacją stref buforowych Rezerwatu Biosfery przyjęto podejście metodyczne zaproponowane przez W. Kwiatkowskiego. Podstawowym założeniem teoretycznym, wyjaśniającym przyjęty przez tego autora tryb postępowania w delimitacji i typologii krajobrazów leśnych Puszczy Białowieskiej, jest koncepcja biogeocenozy jako elementarnej jednostki ekologiczno-krajobrazowej. Zgodnie z definicją (Sukaczew, 1960), biogeocenoza jest to część powierzchni Ziemi, na której biocenoza, części atmosfery, litosfery, hydrosfery i pedosfery są jednorodne, związane ze sobą również jednorodnymi współdziałaniami, tworząc jeden wewnętrznie współuwarunkowany kompleks.

Tak zdefiniowana biogeocenoza odpowiada pojęciu geokompleksu, którego granice można wyznaczyć w oparciu o zamiennie lub komplementarnie stosowane kryteria abiotyczne i roślinne.

Ze względu na jednorodnością strukturalną biogeocenozy wiąże się ich indywidualność fizjonomiczna, która powinna manifestować się również przy obserwacjach prowadzonych z dużych wysokości.

Mapę biogeocenozy, w skali 1:50 000, wykonał W. Kwiatkowski (1993) metodą marszrutową. Przy jej sporządzeniu wykorzystał on publikowane i niepublikowane mapy tematyczne, topograficzne oraz zdjęcia fitosocjologiczne, opisy odkrywek glebowych, a także dane na temat rzeźby terenu. Konstruując klucz do identyfikacji biogeocenozy leśnych autor mapy przyjął typologię i charakterystykę zespołów leśnych za A.W. Sokołowskim (1980). Na tej podstawie wyróżniono 19 jednostek biogeocenozy.

Różne kategorie biogeocenozy występują na obszarze Puszczy w trwałych i powtarzalnych kombinacjach, związanych z określonymi typami rzeźby terenu. Dało to podstawę do zgrupowania ich w jednostki krajobrazowe wyższego rzędu, które nazwano krajobrazami roślinnymi. Nawiązując do podziału krajobrazów polodowcowych, wyróżniono cztery gatunki krajobrazów roślinnych.

#### A. Krajobrazy lasów grądowych na płaskich równinach moreny dennej

Krajobraz ten dominuje powierzchniowo na obszarze Puszczy. W związku z niezbyt dużymi gradientami wilgotności i troficzności siedlisk poszczególne biogeocenozy zajmują rozległe powierzchnie, a granice między nimi nie są zbyt ostre. Krajobraz ten obejmuje następujące biogeocenozy:

- \* grądy świeże: grąd typowy (*Tilio-Carpinetum typicum*) — zajmujące najwyższe położenia;
- \* grądy wilgotne: grąd czyścicowy (*Tilio-Carpinetum stachyetosum silvaticae*), grąd turzycowy (*Tilio-Carpinetum caricetosum remotae*), grąd trzcinnikowy (*Tilio-Carpinetum calamagrostietosum*), grąd murszowy (*Tilio-Carpinetum circaeetosum alpinae*).

#### B. Krajobrazy łągów, olsów i borów bagiennych na równinach akumulacji biogenicznej

Tu znalazły się wszystkie biogeocenozy związane z siedliskami hydrogenicznymi. Występują one wzdłuż cieków, lub też zajmują bezodpływowe zagłębienia.

Zidentyfikowano tu 8 biogeocenozy, wymienionych w kolejności rosnącego zabagnienia i malejącej troficzności:

- \* biogeocenoza łągu wiązowo-jesionowego (*Ficario-Ulmetum*);
- \* biogeocenoza łągu jesionowo-olszowego (*Circaeo-Alnetum*);
- \* biogeocenoza łągu świerkowego (*Piceo-Alnetum*);
- \* biogeocenoza dębiny bagiennej (*Carici elongatae-Quercetum*);
- \* biogeocenoza olszyny bagiennej (*Carici elongatae-Alnetum*);
- \* biogeocenoza brzeziny bagiennej (*Thelypterido-Beuletum pubescentis*);
- \* biogeocenoza świerczyny bagiennej (*Sphagno girgensohnii-Piceetum*);
- \* biogeocenoza boru bagiennego (*Vaccinio uliginosi-Pinetum*).

#### C. Krajobrazy oligotroficznych borów sosnowych i mieszanych na wydmyślonych równinach moreny dennej

Większość krajobrazów wydmyślonych występuje w obrębie równin moreny dennej tworząc „wyspy” borów sosnowych bardzo ostro odgraniczone od otaczających je grądów. Występują tu:

- \* biogeocenoza boru sosnowego wilgotnego (*Vaccinio myrtilli-Pinetum*);
- \* biogeocenoza boru świeżego (*Vaccinio vitis idaeae-Pinetum*);

\* biogeocenoza boru dębowo-świerkowego wilgotnego (*Quercu-Piceetum*) — zbiorowisko ekotonowe w strefie granicznej z grądami.

#### D. Krajobrazy grądów ciepłolubnych oraz mezotroficznych borów mieszanych na falistych równinach moreny ablacyjnej ze wzgórzami i pagórkami ostańców denudacyjnych

Układ przestrzenny biogeocenozy ukształtował się tu w stanie daleko posuniętego ujednoczenia warunków edaficznych, pod silną presją antropogeniczną. Trudności w odróżnieniu siedlisk borów mieszanych i lasów mieszanych powodowały w przeszłości „dobudowywanie” wtórnych borów wokół terenów zwydmionych. Gigantyczne wyręby w pierwszej połowie XIX wieku były przyczyną powstania dużych powierzchni brzezyn.

Wyróżniono tu 5 kategorii biogeocenozy:

- \* biogeocenoza boru mieszanego sosnowo-świerkowego (*Calamagrostio arundinaceae-Piceetum*);
- \* biogeocenoza boru mieszanego sosnowo-trzcinnikowego (*Calamagrostio arundinaceae-Pinetum*);
- \* biogeocenoza boru mieszanego sosnowo-dębowego (*Pino-Quercetum*);
- \* biogeocenoza dąbrowy świetlistej (*Potentillo albae-Quercetum*);
- \* biogeocenoza grądu miodnikowego (*Melitti-Carpinetum*).

Założenie systemu informacji geograficznej dla całej Puszczy Białowieskiej i stworzenie numerycznej formy granic wyżej wymienionych biogeocenozy wymagało podjęcia decyzji co do szczegółowości bazy geometrycznej GIS. W wyniku przyjęcia kompromisu pomiędzy dokładnością istniejących podkładów geodezyjnych, a pracochłonnością dygitalizacji zdecydowano, aby dla tworzenia GIS dla obszaru Puszczy Białowieskiej w granicach Polski, przyjęć szczegółowość bazy geometrycznej odpowiadającej skali dostępnych i aktualnych, przeglądowych leśnych map gospodarczych. Geometrię sieci podziału powierzchniowego i granic biogeocenozy oparto o współrzędne punktów granicznych nadleśnictw Hajnówka, Bałowieża, Browsk oraz współrzędnych granicy BPN. Przebieg linii podziału powierzchniowego i granic biogeocenozy uzyskano z map w skali 1:10 000. Istotną sprawą dla przeprowadzenia analiz numerycznych było uzyskanie informacji o przebiegu granic biogeocenozy. Mapa granic biogeocenozy została opracowana na podstawie map topograficznych w skali 1:50 000. Granice biogeocenozy wyznaczone na mapie topograficznej, przenoszono na przeglądowe leśne mapy gospodarcze w skali 1:10 000 w ten sposób, że granice biogeocenozy poprowadzono wzdłuż najbliższych położonych granic wyłączeń drzewostanowych. Jak z powyższego wynika, przebieg granic drzewostanowych, ustalonych przez służby zarządzania lasu w roku 1992, był wykorzystany jako informacja uzupełniająca rzeczywisty przebieg granic biogeocenozy.

Po dygitalizacji przeglądowych map gospodarczych uzyskano zbiór poligonów, rozdzielający obszar Puszczy na poszczególne biogeocenozy. Prace związane z zakła-

daniem systemu informacji geograficznej prowadzono pod kontrolą systemu ARC/INFO 6.1.

Obraz satelitalny Puszczy Białowieskiej uzyskano w ramach współpracy GEF z programem badawczym Forest Service, w Salt Lake City, w Stanach Zjednoczonych. Dla potrzeb programu GEF wykorzystano fragmenty sceny LANDSAT TM, w postaci numerycznej przystosowanej do przetwarzania w programie ERDAS, z 20.06.1992 roku. Przy przetwarzaniu danych satelitalnych korzystano z pakietu ERDAS-IMAGINE znajdującego się na wyposażeniu Pracowni Teledetekcji i Informacji Przestrzennych IBL. Po wykonaniu niezbędnych przekształceń geometrycznych, obraz rastrowy TM połączono z obrazem wektorowym granic biogeocenozy poprzez punkty o znanych współrzędnych, wykorzystanych wcześniej do zakładania GIS.

Wewnętrzna struktura jednostek przyrodniczych na terenie Puszczy Białowieskiej podlegającym działalności gospodarczej jest przekształcona schematycznym użytkowaniem lasu. Powyższy fakt skłonił autorów opracowania do ograniczenia teledetekcyjnej analizy biogeocenozy tylko do fragmentu Puszczy w granicach Ścisłego Rezerwatu BPN. Spodziewano się, że w obszarze tym obraz poszczególnych biogeocenozy będzie charakteryzował się specyficznymi właściwościami spektralnymi. Istnienie numerycznej formy granic biogeocenozy dla całej Puszczy stwarza możliwość podjęcia badań nad teledetekcyjnym odwzorowaniem biogeocenozy również na obszarach leżących poza granicami Białowieskiego Parku Narodowego.

### Przetwarzanie danych teledetekcyjnych

W celu uzyskania odpowiedzi, w jaki sposób biogeocenozy odwzorowują się na obrazie satelitalnym, zastosowano dwa różne podejścia do danych teledetekcyjnych. Po pierwsze wykonano interpretację wizualną obrazu, po drugie przeprowadzono interpretację danych liczbowych uzyskanych dla poszczególnych biogeocenozy.

Przy interpretacji wizualnej zastosowano procedury wzmocnienia obrazu wykorzystując program ERDAS IMAGINE. W ramach tych prac, między innymi, rozciągnięto kontrast poszczególnych kanałów oraz wykonano filtrację przestrzenną, uwypuklającą zróżnicowanie detali zdjęcia. Dla interpretacji wizualnej, zgodnie z sugestią programu (ERDAS, 1991), utworzono obraz w kombinacji RGB\* z kanałów TM: -4, -5 i -3. Interpretację prowadzono na wydruku obrazu z ekranu, wykonanym na folii, za pomocą drukarki HP Paint Jet XL300, na którym interpretator obserwował barwny obraz satelitalny łącznie z granicami poszczególnych biogeocenozy (ryc. 1). Wyniki interpretacji podano w rozdziale „Wizualna analiza satelitalnego obrazu biogeocenozy”.

Uzyskanie danych liczbowych o poszczególnych biogeocenozach było możliwe dzięki dysponowaniu ich gra-

nicami zapisanymi w systemie ARC/INFO. Granice wyznaczają dziesięć typów biogeocenozy, do których zagregowano występujące tu jednostki biogeocenotyczne.

Program ERDAS umożliwił wprowadzenie granic biogeocenozy zapisanych w programie ARC/INFO do obrazu satelitalnego Puszczy obserwowanego na ekranie, a także „wycinanie” poszczególnych biogeocenozy z całego obrazu Puszczy. Umożliwiło to obliczenie parametrów statystycznych i wykonanie histogramów gęstości optycznych pikseli zarejestrowanych w poszczególnych kanałach dla każdego typu biogeocenozy. Charakterystykę statystyczną obrazu satelitalnego dla poszczególnych biogeocenozy zestawiono w tabeli 1. Na podstawie danych zawartych w tej tabeli i utworzonych histogramów dokonano liczbowych analiz odwzorowania poszczególnych biogeocenozy Białowieskiego Parku Narodowego. Przebieg postępowania i wyniki podano w rozdziale „Analiza charakterystyk statystycznych teledetekcyjnego obrazu typów biogeocenozy BPN”.

### Wizualna analiza satelitalnego obrazu biogeocenozy

Barwne, satelitarne odwzorowanie biogeocenozy utworzono poprzez wzmocnienia obrazów cyfrowych z kanałów Landsat TM-4, -5 i -3. Przestrzenne zróżnicowanie obrazu barwnego jest więc przetworzoną formą odpowiedzi spektralnych, układu przyrodniczego w zakresach spektralnych kanałów TM-4, -5 i -3. Obraz Rezerwatu Ścisłego BPN analizowano na diapozytywie wykonanym w skali 1:50 000, która to skala jest optymalna przy korzystaniu z danych TM.

Krajobrazy łągów, olsów i borów bagiennych na równinach akumulacji biogenicznej reprezentowane są w granicach BPN przez biogeocenozy łągu jesionowo-olszowego, brzeziny bagiennego i boru bagiennego.

Obraz biogeocenozy łągu jesionowo-olszowego w dolinie Orłówki dość wyraźnie wyróżnia się jaśniejszą barwą od otaczających je biogeocenozy grądów, borów mieszanych i brzeziny bagiennego. Jedynie u ujścia Orłówki do Narewki biogeocenozy tej nie da się oddzielić od brzeziny bagiennego znajdującej się we wczesnej fazie sukcesji. O ile w dolnym biegu Orłówki i nad Hwożną łąg jesionowo-olszowy odwzorowuje się w barwie oliwkowej, w środkowym biegu Orłówki obraz przyjmuje strukturę drobnopłatową, z przewagą barwy żółtozielonej. Płaty błękitnoniebieskie zwiększają swój udział w górnym biegu Orłówki zlewając się z otaczającymi grądami na przejściu do brzeziny bagiennego. Jednak ta ostatnia wyraźnie oddziela się dzięki obecności niebieskich plam.

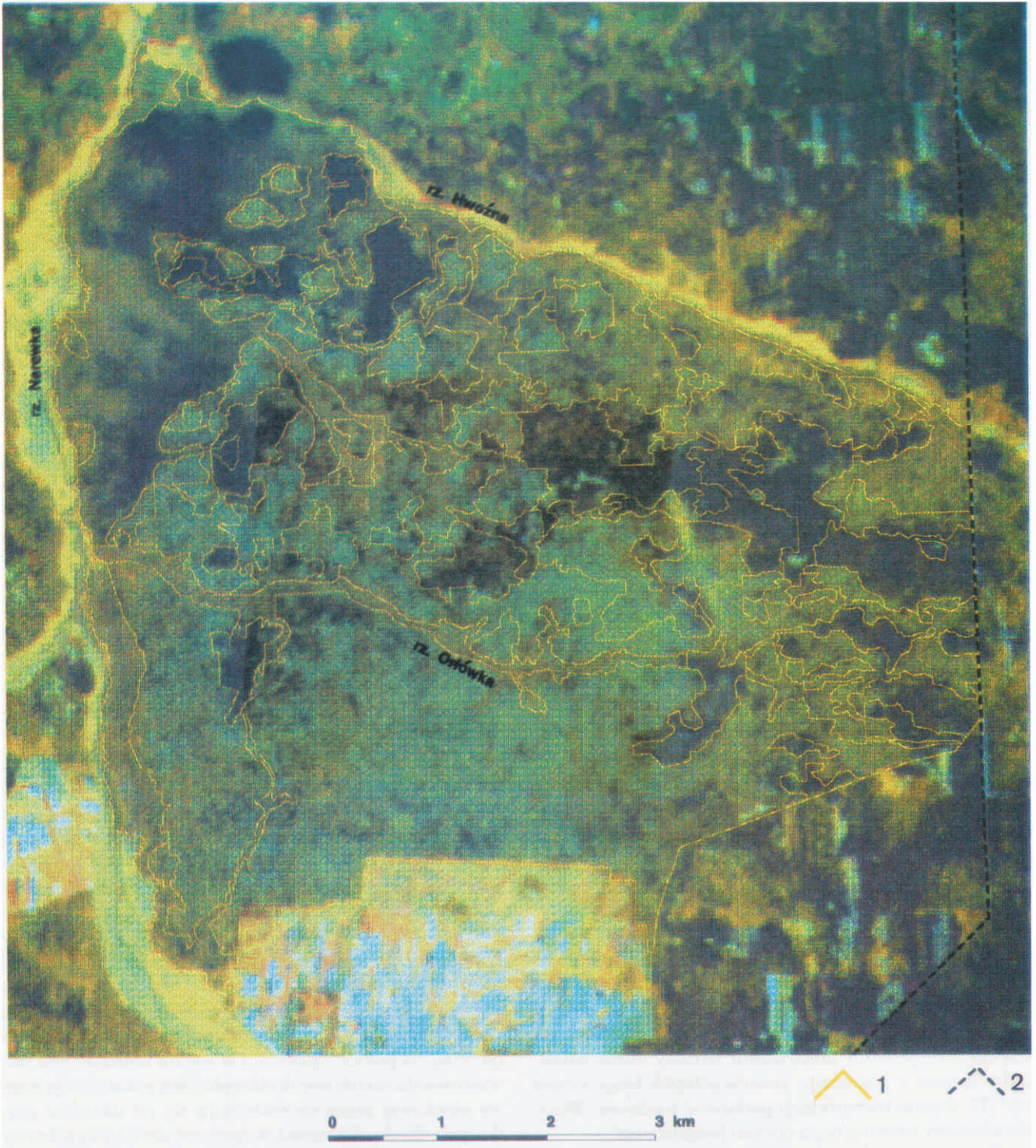
Biogeocenozy łągów jesionowo-olszowych położone bardziej na północ ujawniają w swoim satelitalnym odwzorowaniu strukturę drobnopłatową z dominacją barwy oliwkowej przez co oddzielają się od układów grądowych dzięki obecności w tych ostatnich plam barwy błękitnoniebieskiej lub niebieskiej. Miejscowo plamy błękitnoniebieskie występują też w obrazie biogeocenozy łągów jesionowo-olszowych, umożliwiając ich odgraniczenie od żółtozielonych obszarów brzeziny bagiennego.

Zajęte przez biogeocenozy brzeziny bagiennego obszary

\* Red — czerwony, Green — zielony, Blue — niebieski.

ciągnące się wzdłuż doliny Narewki przedstawiają się w dość jednolitej barwie żółtozielonej. Dzięki temu dają się one odróżnić od grądów, których obraz charakteryzuje się występowaniem drobnych, często zlewających się w większe platy błękitnoniebieskich plam. Granice są jednak rozmyte w dość szerokie strefy przejściowe.

Odmienne przedstawia się rozległa biogeocenoza brzeziny bagiennej występująca w widłach Narewki i Hwoźnej. Wyróżnia się ona spośród wszystkich biogeocenoz Rezerwatu wyjątkowo silnym zróżnicowaniem wewnętrznym. Jej południowo-wschodnia i północna część odwzorowuje się poprzez wielkie plamy barwy niebie-



Ryc. 1. Kompozycja barwna obrazu satelitarnego LANDSAT TM (023/201) z dnia 1992.06.20, typu RGB, utworzona z kanałów TM-4, -5. -3. 1 — granica biogeocenozy; 2 — granica państwowa

Fig. 1. Colour composite LANDSAT TM image (023/201) showing of the Strictly Protected Reservation of the Białowieża National Park on June 20, 1992. TM bands 4, 5 and 3 are displayed as red, green and blue respectively

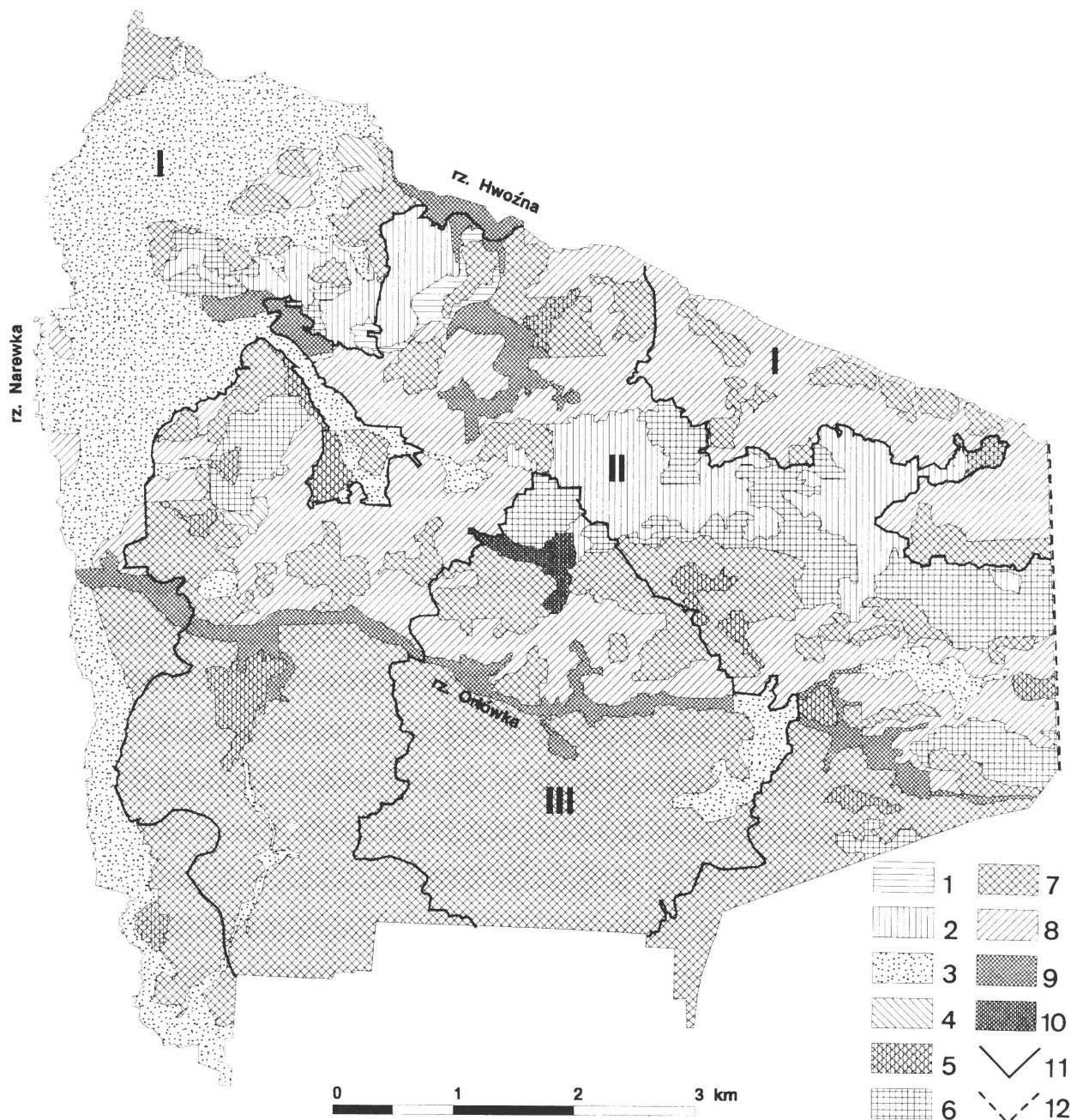
1 — boundary of the biogeocoenoses; 2 — state boundary

skiej połączone płatem barwy oliwkowej. Obszary odwzorowane w barwie niebieskiej oddzielają się zwykle dość wyraźną granicą od przyległych od wschodu biogeocenozy łąk. Tylko na północy strefa przejściowa rozciąga się szeroko. Między ciągnącymi się obok doliny Narewki płacami o barwie niebieskiej i położonymi bliżej Narewki obszarami przybierającymi barwę żółtozieloną rozciąga się szeroka strefa przejściowa.

W granicach tak szeroko ujętej biogeocenozy M.Szań-

kowski (1991) wyróżnia trzy zbiorowiska roślinne. Płacie niebieskiej odpowiada las bagienny sosnowo-brzozowy, zidentyfikowany jako *Sphagno squarrosi-Alnetum*. Barwie zielonożółtej odpowiada młody las brzozowy, a oliwkowej las olszowo-jesionowy.

Jak się wydaje, barwę niebieską należy wiązać z obecnością w drzewostanie gatunków iglastych (sosny i świerka), na co wskazują opublikowane przez M. Szańkowskiego (1991) zdjęcia fitosocjologiczne.



Ryc. 2. Granice biogeocenozy na obszarze Rezerwatu Ścisłego Białowieżskiego Parku Narodowego. Według W.Kwiatkowskiego (1993). 1 — bór mieszany sosnowo-świerkowy; 2 — bór mieszany sosnowo-trzcinnikowy; 3 — brzezina bagienna; 4 — bór sosnowy wilgotny; 5 — bór dębowo-świerkowy wilgotny; 6 — łąka miodnikowa; 7 — łąka świeża; 8 — łąka wilgotna; 9 — łąka olszowo-jesionowa; 10 — bór bagienny; 11 — granica stref roślinnych; 12 — granica państwowa

Fig. 2. Boundaries of the biogeocoenoses in the Strictly Protected Reservation of the Białowieża National Park; after Kwiatkowski, 1993. 1 — Pine-spruce mixed forest; 2 — thermophilous pine-spruce forest; 3 — bog-birch forest; 4 — humid pine forest; 5 — humid oak-spruce forest; 6 — thermophilous oak-hornbeam forest; 7 — fresh oak-linden-hornbeam forest; 8 — humid oak-linden hornbeam forest; 9 — ash-alder flood plain forest; 10 — bog-pine forest; 11 — boundary of the vegetation zones; 12 — state boundary

Tabela 1

Charakterystyki statystyczne teledektacyjnego obrazu biogeocenozy w Rezerwacie Ścisłym Białowieskiego Parku Narodowego  
*Statistic values of the Landsat image of the biogeocoenoses in the Strictly Protected Reservation of the Białowieża National Park*

Typ biogeocoenozy <i>Type of the biogeocoenose</i>	Parametry statystyczne <i>Statistical parameters</i>	Numery i zakresy (w $\mu\text{m}$ ) kanałów skanera TM <i>Band numbers and Band widths (in <math>\mu\text{m}</math>) of the TM scanner</i>						
		1	2	3	4	5	6	7
		0,45-0,52	0,52-0,60	0,63-0,69	0,76-0,90	1,55-1,74	10,40-12,50	2,08-2,95
Bór mieszany sosnowo- świerkowy <i>Pine-spruce mixed forest</i>	Min/Max	65/72	23/30	19/24	43/82	26/65	120/124	7/24
	$\bar{x}$	67,89	24,82	20,37	59,94	41,31	121,76	12,74
	$\delta$	1,10	0,88	0,82	7,68	6,70	9,94	2,46
	Med/Mod	68/68	25/25	20/20	60/62	41/44	122/122	13/12
Bór mieszany sosnowo- trzcinnikowy <i>Termophilous pine-spruce forest</i>	Min/Max	64/73	23/30	18/26	40/83	24/67	119/126	5/25
	$\bar{x}$	67,62	24,82	20,31	53,04	36,33	122,43	11,48
	$\delta$	1,10	0,88	0,90	8,44	7,16	0,90	2,56
	Med/Mod	68/68	25/25	20/20	52/44	35/28	122/122	11/10
Brzezina bagienna <i>Bog-birch forest</i>	Min/Max	63/75	23/31	18/28	45/110	27/76	119/125	8/24
	$\bar{x}$	68,44	25,86	20,74	67,39	44,62	120,75	13,03
	$\delta$	1,14	0,95	0,85	10,88	7,11	0,95	2,07
	Med/Mod	68/68	26/26	21/21	67/75	45/48	121/120	13/14
Bór sosnowy wilgotny <i>Humid pine forest</i>	Min/Max	64/71	23/27	19/23	44/75	27/52	120/124	7/18
	$\bar{x}$	67,92	24,76	20,34	54,80	36,80	121,71	11,53
	$\delta$	0,96	0,74	0,70	7,46	5,28	0,78	1,94
	Med/Mod	68/68	25/25	20/20	54/48	36/34	122/122	11/11
Bór dębowo-świerkowy wilgotny <i>Humid oak-spruce forest</i>	Min/Max	65/72	23/28	19/24	43/49	27/64	120/126	7/22
	$\bar{x}$	67,97	25,31	20,63	61,90	42,82	122,21	13,14
	$\delta$	1,08	0,86	0,97	8,26	6,35	1,26	2,41
	Med/Mod	69/68	25/25	20/20	62/57	43/43	122/122	13/14
Grądzik miodnikowy <i>Termophilous oak- hornbeam forest</i>	Min/Max	64/75	23/29	18/27	41/96	26/66	119/125	6/24
	$\bar{x}$	67,54	24,86	20,24	58,15	39,52	122,27	12,22
	$\delta$	1,12	0,85	0,98	8,37	6,79	0,93	2,56
	Med/Mod	68/68	25/25	20/20	57/57	39/34	122/122	12/11
Grądzik świeży <i>Fresh oak-linden- hornbeam forest</i>	Min/Max	64/75	22/32	18/28	45/101	27/74	119/128	6/26
	$\bar{x}$	68,58	25,96	21,51	64,64	49,21	122,85	15,73
	$\delta$	1,22	1,02	1,27	8,34	5,30	1,52	2,57
	Med/Mod	68/68	26/26	21/21	63/60	50/50	123/122	16/15
Grądzik wilgotny <i>Humid oak-linden- hornbeam forest</i>	Min/Max	64/73	23/30	18/26	45/101	27/69	119/128	7/26
	$\bar{x}$	68,23	25,74	20,94	66,31	47,72	122,14	14,71
	$\delta$	1,12	0,91	1,14	8,53	5,22	1,34	2,35
	Med/Mod	68/68	26/26	21/20	66/68	48/49	122/122	15/15
Łęg olszowo-jesionowy <i>Ash-alder flood plain forest</i>	Min/Max	65/72	23/29	19/26	47/105	29/66	119/126	8/23
	$\bar{x}$	68,25	25,86	20,74	67,91	47,40	121,39	14,23
	$\delta$	1,08	0,78	0,89	6,90	4,28	1,16	1,79
	Med/Mod	68/68	26/26	21/21	68/67	48/47	121/122	14/14
Bór bagienny <i>Bog-pine forest</i>	Min/Max	65/72	23/28	19/25	44/72	28/57	122/124	8/21
	$\bar{x}$	68,35	25,53	21,32	57,16	42,41	123,22	13,84
	$\delta$	1,17	0,91	1,10	5,61	5,96	0,70	2,48
	Med/Mod	68/68	25/25	21/21	57/57	43/45	123/123	14/14

Oznaczenia — *Indications*: Min/Max — najniższa i najwyższa wartość jasności pikseli z przedziału jasności 0-255  
*least and greatest values of the brightness for pixels, in the range 0-255*

$\bar{x}$  — średnia arytmetyczna — *mean value*

$\delta$  — odchylenie standardowe — *standard deviation*

Med/Mod — mediana i wartość modalna — *median & modal values*

Biogeocenoza brzeziny bagiennnej zajmuje niewielką dolinę uchodzącą w południowo-zachodniej części Rezerwatu do doliny Narewki. Jej obraz utworzony jest przez błękitnoniebieskie i żółtozielone plamy, przez co zlewa się on z obrazem grądów występujących wokół brzezin bagiennych. W obrazie biogeocoenozy brzeziny bagiennnej leżącej nad Orłówką na niebieskim tle występują jaśniejsze plamy, odróżniające ją od otaczających grądów.

Obraz biogeocoenozy boru bagiennego nie wyróżnia

się jako odrębna plama barwna. Tylko jedną biogeocoenozę boru bagiennego odnajdujemy na północnych i wschodnich obrzeżach grądzik świeżego, wyraźnie nawiązującego układem barw (od zielonożółtej do niebieskiej) do sąsiadującego od strony północno-wschodniej boru mieszanego sosnowo-trzcinnikowego. Sąsiadujące z borem bagiennym od północy i wschodu grądziki różnią się w swoim obrazie brakiem lub nieznacznym udziałem plam niebieskich.

Krajobrazy oligotroficznych borów sosnowych i mieszanych zajmujących zwymione równiny moreny dennej reprezentują biogeocenozy boru dębowo-świerkowego wilgotnego i tylko jedna biogeocenoza boru sosnowego wilgotnego. Ich obraz przyjmuje barwy od niebieskiej (bór sosnowy wilgotny) do oliwkowej. Znajdujące się w ich sąsiedztwie brzeziny bagiennie dają się z reguły odgraniczyć dzięki wyraźnie jaśniejszej barwie.

Krajobrazy łąk ciepłolubnych oraz mezotroficznych borów mieszanych występujących na falistych równinach moreny ablacynnej ze wzgórzami i pagórkami ostańców denudacyjnych odwzorowują się w barwach podobnych do obrazu oligotroficznych borów sosnowych i mieszanych, a także do obrazu biogeocenozy brzeziny bagiennych położonych w pewnym oddaleniu od dolin rzecznych. W miarę przesuwania się na wschód zaznacza się tendencja do wzrostu udziału drobnych plam o odcieniu żółtawym.

Biogeocenoza boru mieszanego sosnowo-trzcinnikowego odwzorowuje się jako platy barwy niebieskiej, jednolite, lub też pokryte plamami zielonożółtymi, lub pomarańczowozielonymi. Dość dobrze oddziela się ona od sąsiadujących z nią łąk oraz łąk wilgotnych i świeżych.

Biogeocenoza boru mieszanego sosnowo-świerkowego występuje na obrzeżach boru mieszanego sosnowo-trzcinnikowego. Jej obraz charakteryzuje duży udział drobnych plam żółtozielonych, co odróżnia ją od niebieskiego obrazu boru mieszanego sosnowo-trzcinnikowego. Z kolei występujące w sąsiedztwie łąki wyróżniają się barwą błękitnoniebieską, a biogeocenoza łąki — barwą oliwkową.

Obraz biogeocenozy łąki miodnikowej przyjmuje zabarwienie od oliwkowego do niebieskiego. Ich obraz jest podobny do obrazu borów mieszanych reprezentujących ten sam gatunek krajobrazu. W efekcie obraz obu typów biogeocenozy zlewa się, różniąc się jednak dość wyraźnie od obrazu innych łąk. Wyjątkowo mogą one upodabniać się do obrazu pozostałych łąk, różniąc się od obrazu obszarów borowych dużą ilością drobnych plam oliwkowych i zielonych.

Krajobrazy lasów łąkowych na płaskich równinach moreny dennej prezentują się w barwach od żółtozielonej do błękitnoniebieskiej. Na omawianym obrazie ujawnia się większe zróżnicowanie w obrębie poszczególnych biogeocenozy łąkowych, niż między łąkami świeżymi i wilgotnymi. Nie da się tego wytłumaczyć faktem, że kilka kategorii łąk wilgotnych przedstawiono jako zbiorczą jednostkę, ponieważ duże zróżnicowanie obserwujemy między innymi w łąkach świeżych.

Natomiast dosyć czytelnie przedstawia się zależność zobrazowania łąk od ich położenia: od barwy oliwkowej na północnych zachodzie i północnym wschodzie, przez strukturę plamistą w centrum, na południowym zachodzie i południowym wschodzie, do prawie jednolitego zabarwienia błękitnoniebieskiego w środku południowej części Rezerwatu.

Analiza przestrzennej zmienności obrazu biogeocenozy na zdjęciu satelitarnym wskazuje na fakt, że postać

barwna, pod jaką odwzorowuje się konkretna biogeocenoza, zależy od jej pozycji syntaksonomicznej oraz od jej położenia w stosunku do cieków wodnych i otaczających biogeocenozy. Wydaje się z tego względu celowe wyróżnienie na obszarze Rezerwatu trzech stref różniących się sposobem barwnego odwzorowania biogeocenozy, reprezentujących poszczególne jednostki typologiczne wyróżnione przez W. Kwiatkowskiego (tabela 2). Granice proponowanych stref przedstawiono na ryc. 2.

Tabela 2

Charakterystyka barwna stref roślinnych i biogeocenozy Rezerwatu Ścisłego Białowieskiego Parku Narodowego, według oceny wizualnej obrazu barwnego Landsat TM<sup>\*</sup>  
*Colours of the vegetation zones and biogeocoenoses of the Strictly Protected Reservation of the Białowieża National Park, after visual estimation of the Landsat TM colour image*

Biogeocenoza <i>Biogeocoenoses</i>	Nr strefy <i>No of zone</i>		
	I	II	III
Grąd świeży i wilgotny <i>Fresh and humid oak-linden-hornbeam forest</i>	O	żż	BN+żż
Łęg jesionowo-olszowy <i>Ash-alder flood plain forest</i>	O	żż(+O+BN)	BN(+żż)
Brzezina bagienna <i>Bog-birch forest</i>	żż	O	N
Grąd miodnikowy <i>Termophilous oak-hornbeam forest</i>	O	O+N	N
Bór dębowo-świerkowy wilgotny <i>Humid oak-spruce forest</i>	O	O+N	N

<sup>\*</sup> Oznaczenia barw przyjęte w tabeli są zgodne z nazwami używanymi w tekście. Podane w tabeli skróty oznaczają barwy: żż — zielonożółta, żż — żółtozielona, O — oliwkowa, N — niebieska, BN — błękitno-niebieska.  
*Indications of the colours in Table correspond with the names which are used in the text. The abbreviations in Table indicate colours: żż — green-yellow; żż — yellow-green; O — olivaceous; N — blue; BN — light blue.*

Podstawowe znaczenie przy delimitacji trzech wyróżnionych stref mają dominujące powierzchniowo biogeocenozy łąk i brzeziny bagiennych. Z brzezynami bagiennymi doliny Narewki związane są przestrzennie łąki przedstawiające się w barwie oliwkowej. Podobne łąki występują na północnym wschodzie, nad rzeką Hwożną. W części południowej i środkowej Rezerwatu, łąki odwzorowują się w barwie błękitnoniebieskiej. Po między wspomnianymi obszarami rozciąga się strefa pośrednia, wyróżniająca się mozaikową strukturą. Obraz stref zajmujących wyższe położenia różni się od obrazu strefy I występowaniem na tle plam niebieskich i błękitnoniebieskich drobnych plam w barwie od zielonożółtej do zielononiebieskiej. Identyfikacji poszczególnych stref dokonano na podstawie układu plam barwnych reprezentujących ogół biogeocenozy, biorąc pod uwagę występowanie układów o charakterze przejściowym w pobliżu granicy stref.

We wschodniej części Rezerwatu, strefy rozgraniczono orientacyjnie. Sposób odwzorowania biogeocenozy wydaje się tu inny, niż w pozostałej części Rezerwatu. Identyfikacja i delimitacja stref jest tu utrudniona w związku ze sztucznym ograniczeniem zasięgu mapy biogeocenozy granicą państwa.



Kompozycja barwna typu RGB, utworzona z kanałów TM-4, -5, i -3 ujawnia na terenie Rezerwatu Ścisłego BPN indywidualność fizjonomiczną biogeocenozy w ujęciu W.Kwiatkowskiego (1993). Są jednak przypadki, w których biogeocenozę należałoby podzielić na mniejsze jednostki, aby spełniały one warunek względnej jednorodności przestrzennej. Jednorodność przestrzenna nie w każdym przypadku oznacza jednak odrębność fizjonomiczną w sensie barwy na obrazie satelitarnym. Nawet odległe pod względem fitosocjologicznym biogeocenozy, jak na przykład bór sosnowy wilgotny i grąd miodnikowy, mogą odwzorować się w podobnej barwie.

Na ogół granice biogeocenozy, tam gdzie są czytelne na zdjęciu, mają przebieg zgodny z granicami wyznaczonymi w wyniku kartowania terenowego. Rozbieżności występują szczególnie w miejscach szerokich stref przejściowych.

Jeden z ciekawych, jak się wydaje, kierunków zmienności wyraźnie widoczny na zobrazowaniu satelitarnym ma swój wyraz w sekwencji przestrzennej ich odwzorowania barwnego, powtarzalnej w różnych typach biogeocenozy. Ten rodzaj zmienności przestrzennej przejawia się odmiennym odwzorowaniem barwnym płatów tego samego typu biogeocenozy w różnych fragmentach Rezerwatu. Prowadzi to do propozycji podziału Rezerwatu na trzy strefy, które przedstawiono na ryc. 1.

Innym rodzajem zmienności przestrzennej, stwierdzonym na podstawie danych satelitarnych, jest zmienność w obrębie wydzielonych przez W.Kwiatkowskiego (1993) poszczególnych płatów biogeocenozy, która może mieć nawet charakter kierunkowy. Wydaje się to być sprzeczne z zasadą względnej jednorodności przestrzennej podanej w definicji biogeocenozy. Kierunkowy charakter zmienności przestrzennej nie neguje jednak indywidualności strukturalnej tak wydzielonej jednostki.

Stwierdzone silne zróżnicowanie strukturalne i barwne obrazu satelitarnego Rezerwatu upoważnia do stwierdzenia, że wykorzystanie zdjęć satelitarnych w kartowaniu biogeocenozy może przynieść szereg korzyści, bowiem na ogół ułatwia ocenę zmienności przestrzennej biogeocenozy i szerokości stref przejścia.

### **Analiza charakterystyk statystycznych teledetekcyjnego obrazu typów biogeocenozy BPN**

Odpowiedź układu przyrodniczego na strumień promieniowania elektromagnetycznego teledetekcja kwantyfikuje poprzez podanie jasności spektralnych pikseli obrazu badanego układu. W przypadku analizy odwzorowania biogeocenozy BPN świadomie przyjęto zgeneralizowany sposób analizy w ramach całych, złożonych często z poligonów cząstkowych, typów biogeocenozy.

Charakterystyki statystyczne pikseli z poszczególnych kanałów skanera TM (tabela 1), składających się na obraz poszczególnych biogeocenozy BPN, mogą być przedmiotem porównywania. Główne charakterystyki statystyczne, to znaczy: rozstęp, średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe oraz mediana i wartość modalna są uogólnionymi wielkościami rozkładów statystycznych

typów pikseli i zostały zaprezentowane w tabeli 1 w celu ich ewentualnego wykorzystania jako danych wejściowych do konstruowania modeli matematycznych. Ponieważ problematyka wyjaśniania modelami związków pomiędzy charakterystykami spektralnymi biogeocenozy a danymi terenowymi nie jest przedmiotem niniejszego opracowania, skoncentrowano się na wykorzystaniu innej formy charakteryzowania pikseli biogeocenozy, a mianowicie histogramów z poszczególnych kanałów. Histogramy nie prezentowane w niniejszym opracowaniu są graficzną formą szeregów rozdzielczych i podają frekwencję pikseli o określonej jasności w zbiorze pikseli, który pokrywa obszar konkretnego typu biogeocenozy. Zarówno dane zawarte w tabeli 1 jak i histogramy, są uogólnionymi charakterystykami teledetekcyjnymi typów biogeocenozy i powinny być traktowane jako informacja uzupełniająca do obrazu biogeocenozy, utworzonego z danych TM i opisanego w rozdziale „Wizualna analiza obrazu biogeocenozy”.

W poniższej analizie przedstawiono jedynie łatwo dostrzegalne tendencje w odwzorowaniu biogeocenozy, które można było zauważyć poprzez porównywanie kształtu i położenia histogramu na osi jasności.

W celu ustalenia trendów w odwzorowaniu biogeocenozy w zależności od ich zróżnicowania pod względem wilgotności i żyzności, zbiór typów biogeocenozy występujący na terenie BPN, podanych w tabeli 1, rozdzielono na podklasy żyznościowe i wilgotnościowe.

W podklasie żyznościowej siedliska borowe uszeregowano według wzrostu wilgotności biogeocenozy w następującej kolejności: bór sosnowy wilgotny i bór bagienny. W podklasie borów mieszanych szereg rangowy wzrostu wilgotności obejmuje kolejno: bór mieszany sosnowo-trzcinnikowy, bór mieszany sosnowo-świerkowy i bór dębowo-świerkowy wilgotny. W podklasie siedlisk lasowych wzrost wilgotności w biogeocenozach odpowiada szeregowi: grąd miodnikowy, grąd świeży, grąd wilgotny i łęg olszowo-jesionowy. Brzezina bagienna, leżąca na pograniczu borów mieszanych i siedlisk lasowych, wyłączono z analizy odwzorowania różnych stopni uwilgotnienia.

W podklasie wilgotnościowej siedlisk świeżych uszeregowano je według wzrastającej żyzności, ustawiając w kolejności biogeocenozy: bór mieszany sosnowo-trzcinnikowy, bór mieszany sosnowo-świerkowy, grąd świeży. Grąd miodnikowy z uwagi na dużą zmienność siedliskową nie został włączony do tego szeregu. W podklasie siedlisk wilgotnych ustalono kolejność żyzności: bór sosnowy wilgotny, bór dębowo-świerkowy wilgotny, grąd wilgotny. W podklasie siedlisk najbardziej wilgotnych kolejność żyzności ustalono następująco: bór bagienny, brzezina bagienna, łęg olszowo-jesionowy.

Analiza danych statystycznych zawartych w tabeli 1, łącznie z wyglądem histogramów, zdecydowała o skoncentrowaniu dalszych badań na analizie kanałów 4, 5 i 7. Wprowadzony do analizy kanał 7, obejmujący zgodnie z tabelą 2 zakres podczerwieni 2,08-2,35  $\mu\text{m}$ , jest uważany za korzystny do rozpoznawania gleb oraz zawartości wilgoci w glebie i roślinności (ERDAS..., 1991).

Histogramy poszczególnych biogeocenozy zarejestrowane w kanale 7 są wyraźnie bardziej skomplikowane od histogramów dla kanału 3. W wyniku porównania histogramów z poszczególnymi kanałami, ustawionymi w kolejności zgodnej z podanym powyżej zrangowaniem biogeocenozy, stwierdzono w podklasach żyzności i wilgotności interesujące prawidłowości.

\* W podklasie żyznościowej siedlisk borowych ich piksele w miarę wzrostu wilgotności siedliska, znajdują się na histogramach dla kanałów 5 i 7 w strefach coraz to wyższych jasności, to znaczy, że piksele reprezentujące bór bagienny na histogramach dla kanałów 5 i 7 leżą bardziej na prawo, niż piksele boru sosnowego wilgotnego.

\* W podklasie żyznościowej borów mieszanych na histogramach kanałów 4, 5 i 7, w miarę wzrostu wilgotności biogeocenozy, reprezentujące je piksele są sytuowane na histogramach coraz bardziej na prawo zgodnie z kierunkiem dodatnich wartości spektralnych. Na histogramie dla kanału 5 w miarę wzrostu wilgotności siedlisk zmienia się również kształt histogramu, od rozkładu o skośności dodatniej do rozkładu o skośności ujemnej.

\* W podklasie żyznościowej siedlisk lasowych tylko na histogramie dla kanału 4 stwierdzono, że w miarę wzrostu wilgotności reprezentujące je piksele przesuwają się na osi jasności spektralnej. Jednocześnie zmienia się kształt histogramu, od rozkładu o skośności dodatniej w kierunku rozkładu o skośności ujemnej.

\* W podklasie wilgotnościowej siedlisk świeżych w miarę wzrostu żyzności stwierdza się na histogramach dla kanałów 5 i 7 wzrost średniej wartości odbicia spektralnego dla reprezentujących te siedliska pikseli.

\* W podklasie wilgotnościowej siedlisk wilgotnych w miarę wzrostu żyzności biogeocenozy rozkład pikseli na histogramie dla kanału 5 wykazuje wyraźną tendencję do przesuwania się większości pikseli w kierunku jaśniejszych odpowiedzi spektralnych. W kanale 7 w miarę zwiększania się żyzności siedliska następuje na histogramie niewielkie, ale wyraźne przesuwanie się większości reprezentujących dane siedlisko pikseli w kierunku wyższych odpowiedzi spektralnych.

\* W podklasie siedlisk najbardziej wilgotnych na histogramie dla kanału 4 w miarę wzrostu żyzności siedliska, obserwuje się przesuwanie większości pikseli reprezentujących dane siedlisko w kierunku jasnych odpowiedzi spektralnych.

## Wnioski i propozycje dalszych badań

Analiza wizualna obrazów teledetekcyjnych i analiza charakterystyk statystycznych biogeocenozy uzasadnia-

ją twierdzenie, że wydzielone jednostki przyrodnicze — biogeocenozy, mogą być badane przy wykorzystaniu danych satelitarnych z LANDSAT-a TM jako danych uzupełniających dla różnorodnych inwentaryzacji naziemnych. Założony system informacji geograficznej dla BPN, z warstwą informacyjną granic biogeocenozy, istotnie ułatwia integrację danych naziemnych i danych teledetekcyjnych.

Zmienność przestrzenna poszczególnych biogeocenozy stwierdzona w trakcie interpretacji wizualnej sugeruje podjęcie prac nad metodyką analizy zmian obrazu Rezerwatu Ścisłego na podstawie powtarzanych w czasie danych teledetekcyjnych TM oraz nad opracowaniem metody kwantyfikacji wewnętrznej zmienności biogeocenozy.

Charakterystyki statystyczne pikseli poszczególnych kanałów skanera TM wykazują jednoznaczne i powtarzalne trendy w odzworowaniu teledetekcyjnym stopni żyzności i wilgotności poszczególnych siedlisk. Jest to przesłanka sugerująca podjęcie próby budowy modelu matematycznego wyjaśniającego wilgotność i żyzność siedlisk BPN danymi teledetekcyjnymi TM. Po uwzględnieniu dynamiki roślinności model taki może być ewentualnie wykorzystany do długofalowego śledzenia zmian przyrody Parku.

## Literatura.

- ERDAS, 1991: *Field Guide*.  
 Faliński J.B., 1990: *Kartografia geobotaniczna*. T. 2, Kartografia fitosocjologiczna, PPWK, Warszawa — Wrocław, str. 101-135.  
 Kwiatkowski W., 1993: *Krajobrazy roślinne Puszczy Białowieskiej*. Politechnika Białostocka, Zakład Ekologii Krajobrazu, Białystok.  
 Lonkiewicz B., 1994: *Delimitacja i zagospodarowanie stref buforowych Rezerwatu Biosfery — Puszcza Białowieska. Dokumentacja Instytutu Badawczego Leśnictwa*, Złocień GEF 05/21685 POL.  
 Sokołowski A.W., 1980: *Zbiorowiska leśne północno-wschodniej Polski. Monographiae Botanicae*, vol. 60.  
 Sukaczew V.N., 1960: *The correlation between the concept "forest ecosystem" and "forest biogeocenose" and their importance for the classification of forests. Silva Fennica*.  
 Szańkowski M., 1991: *Zbiorowiska brzozy niskiej (Betula humilis Schrank) w Białowieskim Parku Narodowym i ich przyszłość w środowisku uwolnionym spod presji antropogenicznej*. w: *Dynamika roślinności i populacji roślinnych, Zbiór prac poświęconych prof. W. Matuszkiewiczowi*, pod redakcją Janusza B. Falińskiego, *Phytocoenosis*, Vol. 3 (N.S.), Seminarium Geobotanicum 1, Warszawa — Białowieża.