

## **Analiza pokrycia terenu Basenu Środkowego Biebrzy na podstawie interpretacji zdjęć satelitarnych wykonanych w latach 1979–1991\***

*Analysis of the land cover of the Middle Biebrza Basin on the basis  
of the interpretation of satellite imagery obtained 1979-1991*

Małgorzata BIAŁACH

**T**he article offers an analysis of land cover in the Middle Biebrza Basin; part of the Biebrzański National Park. The work was done between 1979 and 1991, making use of satellite images from MSS and TM scanners. In addition, a digital analysis of the land was also carried out by making an unsupervised classification of the TM image.

Situated in north-eastern Poland, the Basin of the Middle Biebrza takes in a fragment of the marshy Biebrza Valley with extensive fens that constitute a unique wetland area on both the national and European scales.

The running of an analogue classification of images from the TM and MSS scanners provided information on land cover in 1991 and 1979, as well as allowing for analysis of the changes which had occurred in the intervening 12 years.

The predominant plant formations in the Basin are seen to be fens and scrub, with the latter shown to be subject to a slow extension in area. The main causes of this are the limiting of the mowing and cutting of marshland vegetation, as well as changes in hydrological conditions linked to the drying-out of the substratum. Of no less importance is the further observa-

tion concerning the large-scale changeovers between the two aforementioned plant communities that are occurring in at least some localities — as a consequence of uneven encroachment of scrub onto marshland areas.

A secondary aim of this study has been to produce a digital classification and to compare it with that obtained using the analogue method. An unsupervised classification was carried out on the TM image, as well as on the basis of previously-selected training fields.

The comparison of the two methods pointed to the greater precision of the analogue method, which allowed for the discernment of a greater number of classes. This reflected the possibility of using textures as a factor distinguishing objects, as well as the chance of separating non-homogeneous classes (mixed forests). In turn, the main attribute favouring the digital classification was its objectivity.

To sum up, it did prove possible to achieve the research aims, in spite of differences in the technical parameters of the satellite images utilised (varying field and spectral resolution). This confirms the high degree of suitability of teledetection materials for this kind of analysis.

### **Wstęp**

Biebrzański Park Narodowy jest unikatowym w skali Europy obszarem wodno-błotnym. Niestety w ostatnich dziesięcioleciach na jego terenie nastąpiły niekorzystne

przekształcenia. Są one wynikiem peerelowskiej koncepcji melioracji, będącej przyczyną osuszania torfowisk oraz zmiany sposobu gospodarowania bagnami. Zaprzestanie wypasu bydła, wykaszania i odkrzaczania łąk było bodźcem do naturalnej sukcesji zaroślowo-

\* Artykuł jest publikacyjną wersją pracy magisterskiej wykonanej w 2000 roku na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych w Zakładzie Teledetekcji Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego, pod kierunkiem A. Ciołkosza.

drzewiastej i zapoczątkowało proces kurczenia się mokradel (Wyszkowski, 1974).

Główny cel tego artykułu obejmuje zbadanie stopnia i kierunków zmian, jakie zaszły w pokryciu terenu części Parku (Basenu Środkowego) w latach 1979–1991 z wykorzystaniem materiałów teledetekcyjnych. Celem drugorzędym jest przeprowadzenie klasyfikacji cyfrowej oraz porównanie jej wyników z metodą analogową.

Faktem jest, że ginące obszary bagienne wymagają ochrony. Do tego niezbędne są dane o przestrzennym zróżnicowaniu szaty roślinnej i o przekształceniach w niej zachodzących. Obrazy satelitarne wydają się być cennym materiałem badawczym w tego rodzaju opracowaniach, za czym przemawia klasyczne zastosowanie teledetekcji w monitoringu roślinności i kartowaniu pokrycia terenu. Dysponowanie danymi archiwalnymi umożliwia prognozowanie tempa i kierunków przemian szaty roślinnej. Niewątpliwym atutem obrazów satelitarnych jest ich obiektywność i szybkość pozyskiwania oraz możliwość zastosowania dla obszarów niedostępnych i rozległych, właśnie takich, jak Bagna Biebrzańskie.

Dynamika przekształceń zachodzących w środowisku stwarza potrzebę posiadania aktualnych danych o pokryciu terenu. Sporządzanie takich opracowań zostało znacznie przyspieszone i ułatwione dzięki rozwojowi i coraz szerszemu wykorzystaniu metod cyfrowego przetwarzania i analizy obrazów satelitarnych.

## Obszar badań

Biebrzański Park Narodowy Powstał w 1993 r. i pod względem powierzchni jest największym tego typu obiektem w kraju (59 223 ha). Jego głównym celem jest ochrona największego i najlepiej zachowanego w Polsce i Europie kompleksu torfowisk niskich o charakterze zbliżonym do naturalnego (z żywym procesem torfotwórczym).

Analizowany teren leży w północno-wschodniej Polsce w woj. podlaskim. Obejmuje on znaczną część Kotliny Biebrzańskiej, która stanowi rozległe bagienno-torfowiskowe obniżenie o powierzchni około 2000 km<sup>2</sup> i długości 120 km. Na obszarze BPN wyodrębniają się wyraźnie 4 jednostki, oddzielone od siebie przewężeniami szerokości około 1 km tamującymi odpływ wód. Jednostki te zwane są basenami: Basen Biebrzy Górnej (Północny), Basen Biebrzy Środkowej (Środkowy) i Basen Biebrzy Dolnej (Południowy) (Kondracki, 1972; Maciejewski, 1996). W niniejszym artykule analiza zmian w pokryciu terenu została ograniczona jedynie do Basenu Środkowego.

## Metody badań i materiały źródłowe

W celu analizy pokrycia terenu wykorzystano zdjęcie ze skanera TM z 7 października 1991 r. oraz ze skanera MSS z 18 maja 1979 r. Interpretacja wizualna pierwsze-

go obrazu odbyła się poprzez nałożenie kalek interpretacyjnych, które następnie zeskanowano, rektyfikowano do układu 1942 oraz poddano digitalizacji ekranowej w programie ArcView. Natomiast ze względu na niską rozdzielczość terenową drugiego zdjęcia zdecydowano się na jego bezpośrednią wektoryzację ekranową z pominięciem kalek.

Klasyfikację cyfrową zdjęcia ze skanera TM wykonano w programie Erdas Imagine. Poprzedziło ją wzmocnienie kontrastu obrazu oraz jego rektyfikacja.

## Interpretacja wizualna zdjęcia satelitarnego wykonanego skanerem TM w 1991 r.

### Opracowanie legendy

Przy wyborze typów i nazewnictwa elementów pokrycia terenu posłużono się jako bazą zmodyfikowaną klasyfikacją Oświta i Pałczyńskiego (Oświt, 1991; Pałczyński, 1972, 1975), uwzględniającą warunki geobotaniczne Działu Północnego i wynikające z nich specyficzne cechy szaty roślinnej. Wyróżniono następujące elementy legendy: granica Basenu Środkowego Biebrzy, rzeki, kanały, drogi bite, koleje, szuwały związku *Phragmition*, torfowiska niskie, zarośla związku *Alnion glutinosae*, lasy liściaste (bez brzozowych), lasy brzozowe związku *Alnion glutinosae*, lasy mieszane brzozowo-olszowe związku *Alnion glutinosae*, bory związku *Dicrano-Pinion*, bory bagienne związku *Dicrano-Pinion*, lasy mieszane sosnowo-olszowe, łąki kośne, grunty orne i zabudowę.

Zbiorowiska szuwarowe związku *Phragmition* występują jedynie w przybrzeżnym nurcie i na brzegach rzek. Torfowiska niskie zajmują płaskie, podmokłe powierzchnie Doliny Biebrzy. Są one bardzo zróżnicowane gatunkowo; w ich skład weszły następujące zbiorowiska roślinne: turzycowiska związku *Magnocaricion*, turzycowiska mszyste związku *Caricion fuscae*, mechowiska związku *Caricion lasiocarpe* oraz zmiennowilgotne łąki związków — *Calthion*, *Molinion*, *Filipendulion* (Okruzsko, 1991). Niestety wymienione zbiorowiska odznaczają się na obrazie landsatowskim jednakową barwą i są od siebie nierozróżnialne.

Zarośla natomiast, wkraczające drogą sukcesji na otwarte tereny torfowisk, obejmują: zarośla wierzbowo-brzozowe, łożowe i borealnej brzozy niskiej. Charakteryzują się one różnym stopniem wysokości (2–10 m) i zwartości (słabo zwarte, bardzo gęste).

Wśród lasów dominują lasy liściaste. Na obszarze Basenu Środkowego Biebrzy są to głównie lasy olszowe związku *Alnion glutinosae* tworzone przez bagienną olszynę. Jednakże ze względu na niewielki udział pośród nich grądów, zdecydowano się na określenie tego wydzielenia ogólnie lasem liściastym (bez brzozowego).

W obrębie lasów liściastych rozróżnialne na zdjęciu satelitarnym są również olsy brzozowe oraz lasy mieszane brzozowo-olszowe związku *Alnion glutinosae*.

Lasy iglaste podzielono na bory obejmujące drzewo-

stany sosnowe i sosnowo-świerkowe, porastające ubogie podłoża piaszczyste oraz na bory bagienne związku *Dicrano-Pinion*. Te ostatnie zaliczane są do torfowiska wysokiego i cechują się składem gatunkowym sosny, świerka i brzozy omszonej. Ich występowanie ograniczone jest praktycznie do rezerwatu Czerwone Bagno.

Na badanym obszarze występują również niewielkie powierzchnie lasów mieszanych sosnowo-olszowych.

Kolejną klasą legendy są łąki kośne, czyli tereny koszone przynajmniej raz w roku. Pierwotnie należały one do związku szuwarów, turzycowisk lub mechowisk. Spotyka się je fragmentami wzdłuż Biebrzy i jej dopływów.

Grunty orne obejmują uprawy zbożowe, okopowe, rośliny pastewne, ugory oraz warzywa w uprawie polowej.

W skład zabudowy weszły budynki mieszkalne oraz gospodarskie.

Wśród wydzieleni liniowych znalazły się kolejno: granica Basenu Środkowego Biebrzy wyznaczająca obszar czynnie chroniony, wody, które podzielono na rzeki, czyli cieki naturalne oraz kanały, czyli cieki sztucznie utworzone przez człowieka.

Do dróg włączono drogi o powierzchni asfaltowej.

#### Pokrycie terenu w Basenie Środkowym Biebrzy w 1991 r.

Tabela 1 przedstawia udział procentowy poszczególnych wydzieleni w całości powierzchni, a rycina 1 mapę pokrycia terenu Basenu Środkowego Biebrzy w roku 1991.

Z przeprowadzonych badań wynika, że dominującą formacją roślinną na tym obszarze są zarośla (21%). Tak znaczny udział zakrzaczeń na obszarze, będącym niegdyś niemal w całości zajęty przez torfowisko ma swoją przyczynę w zaprzestaniu koszenia tych terenów, co stało się bodźcem do swobodnego rozprzestrzeniania się zarośli.

Drugim co do wielkości zbiorowiskiem jest roślinność torfowiska niskiego (21%) porastająca płaskie, podmokłe dno Doliny Biebrzy. Jej charakterystyczną cechą jest zajmowanie rozległych powierzchni.

Kolejna duża powierzchnia (18%) przypada na łąki kośne. Najwięcej ich można spotkać w widłach kanału Augustowskiego i Biebrzy oraz wzdłuż Brzozówki, gdzie skupiają się wokół wsi leżących wewnątrz badanego obszaru. Tereny te zostały zmeliorowane i są obecnie intensywnie użytkowane. Łąki regularnie koszone zajmują duże fragmenty również wzdłuż Jegrzni.

Lasy liściaste (bez brzozowych) zajmują 11% ogólnej powierzchni. Większość tego obszaru porastają olsy typowe z olchą czarną charakterystyczną dla zabagnionych torfowisk. Niewielki odsetek lasów liściastych przypada na grądy, występujące głównie na wydmach — na Grzędach i w Brzezinach Kapickich.

Na lasy brzozowe, zaliczane do rzadkich zbiorowisk roślinnych, przypada 10% powierzchni. Ich warunki

środowiskowe wymagają uwilgotnionych terenów. Największy obszar zajmują one w południowo-wschodniej części rezerwatu Czerwone Bagno.

Tabela 1.

Struktura pokrycia terenu Basenu Środkowego Biebrzy w 1991 r.  
*Structure of the land cover of the Middle Biebrza Basin in 1991*

Forma pokrycia terenu <i>Form of land cover</i>	Powierzchnia w % <i>Area in %</i>
Zarośla <i>Scrub</i>	21
Torfowiska niskie <i>Fen</i>	21
Łąki kośne <i>Mown meadows</i>	18
Lasy liściaste (bez brzozowych) <i>Broadleaved forest (excluding birch)</i>	12
Lasy brzozowe <i>Birch forest</i>	10
Lasy mieszane brzozowo-olszowe <i>Mixed birch-alder forest</i>	9
Bory bagienne <i>Marshy coniferous forest</i>	3
Bory <i>Coniferous forest</i>	3
Szuwary <i>Reeds</i>	2
Lasy mieszane sosnowo-olszowe <i>Mixed pine-alder forest</i>	1
Grunty orne <i>Arable land</i>	0,2

Lasy mieszane brzozowo-olszowe pokrywają 9% terenu. Ich występowanie jest ściśle związane z bagienym podłożem.

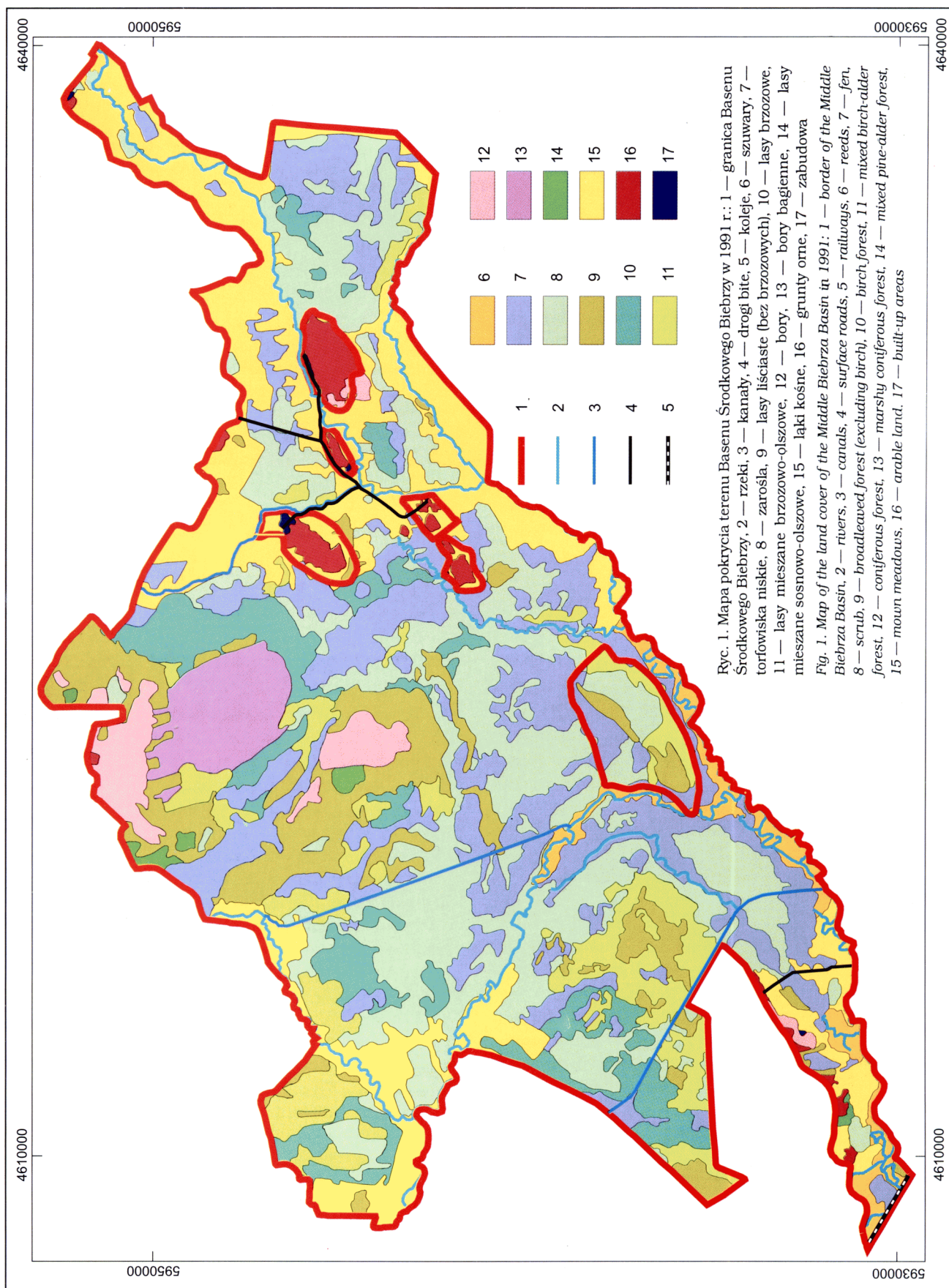
Z enklawą przyrodniczą Czerwonego Bagna są również ściśle związane bory bagienne — 3% ogólnej powierzchni. Właśnie na to miejsce przypada ich największy zwarty kompleks (9,7 km<sup>2</sup>).

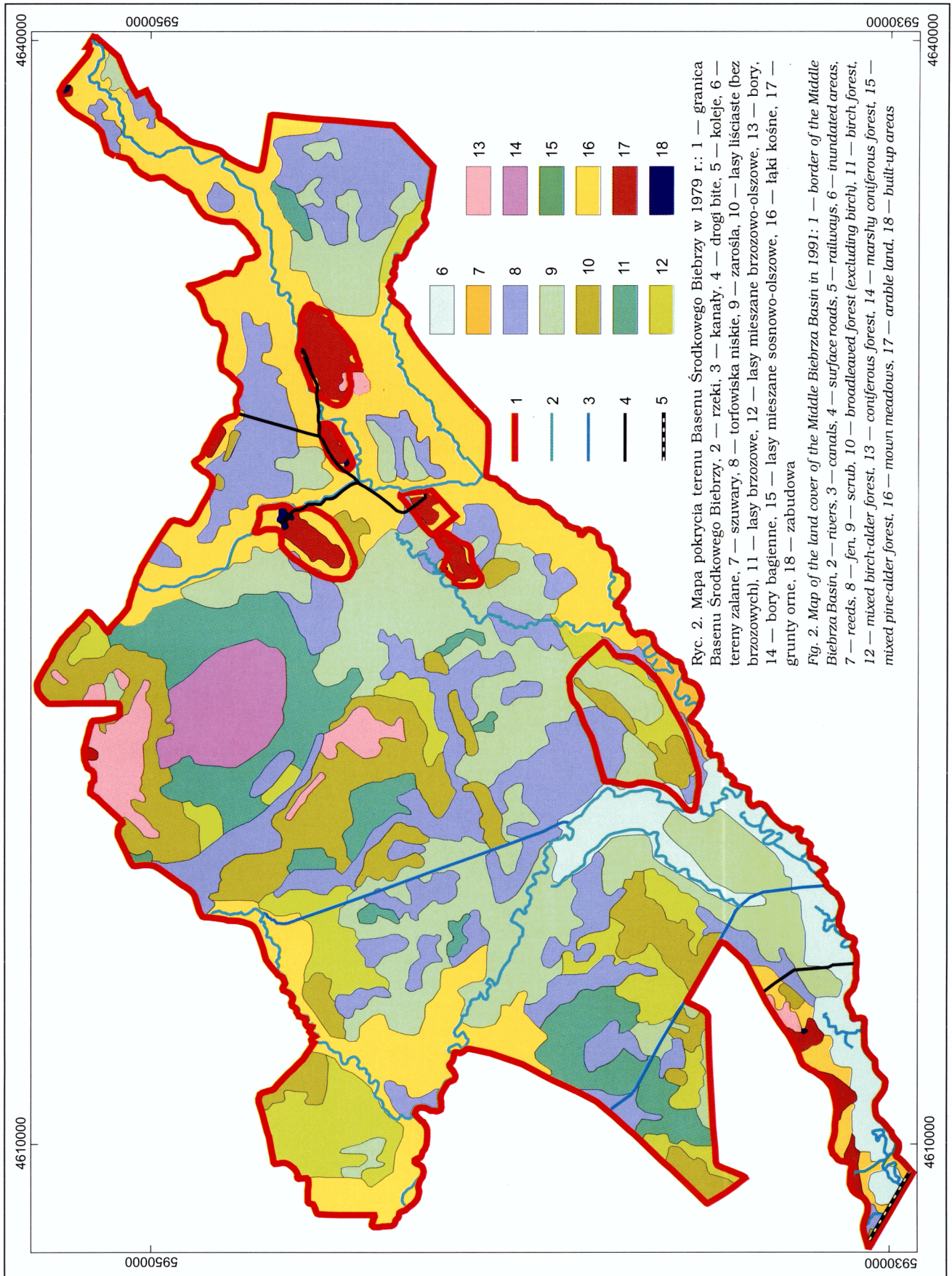
Bory, wśród których dominują bory świeże, zajmują 2% powierzchni. Porastają one głównie pola wydmore tarasu nadzalewowego lub wysoczyzny morenowe, których niewielkie brzeżne fragmenty wchodzą w obręb Basenu Środkowego.

2% powierzchni badanego terenu opanowały szuwary. To zbiorowisko roślinne jest typowe dla przybrzeżnych nurtów.

Niewielki obszar, bo 1%, zajmują lasy mieszane sosnowo-olszowe. Tak mały ich udział można wytłumaczyć skrajnymi wymaganiami środowiskowymi lasów sosnowych i olsowych. Te pierwsze porastają mało urodzajne suche piaski, drugie natomiast są związane z podmokłymi obniżeniami, stąd mało obszarów przejściowych.

Znikomy areal zajmują grunty orne — 0,2 %, a najmniejszy — zabudowa, bo tylko 0,1 %. Na tę ostatnią składa się kilka małych wsi, w których żyje łącznie 98 mieszkańców (dane z roku 1991) i w których obserwuje się zjawisko wyludniania. Największe wioski wraz z gruntami zostały wyłączone z obrębu Parku i ich powierzchnia nie była uwzględniana przy obliczeniach.





### Interpretacja wizualna zdjęcia satelitarnego wykonanego skanerem MSS w 1979 r.

Pomimo mniejszej rozdzielczości spektralnej (tylko 4 kanały) i przestrzennej (79 × 79 m) skanera MSS udało się wydzielić na obrazie takie same formy pokrycia terenu jak na zdjęciu z 1991 r., jakkolwiek ich rozróżnienie sprawiło więcej trudności. Ponadto na mapie z 1979 r. dodano klasę terenów zalanych. Było to związane z majowym terminem wykonania tego zdjęcia. W tym okresie na obszarze Bagien Biebrzańskich utrzymują się rozlewiska, będące skutkiem wiosennych roztopów.

### Pokrycie terenu w Basenie Środkowym Biebrzy w 1979 r.

W tabeli 2 przedstawiono odsetki powierzchni przypadające na poszczególne kategorie pokrycia terenu. Na rycinie 2 zaprezentowano mapę pokrycia terenu Basenu Środkowego Biebrzy w 1979 roku.

Największe pod względem wielkości zbiorowiska roślinne były związane z torfowiskiem niskim. Zajmowały one 21% powierzchni Basenu Środkowego.

Spory areal przypadł również na zarośla — 19% powierzchni. Ich duże płyty można spotkać na obszarze całej Doliny Biebrzy, gdzie silnie wypierają zbiorowiska torfowiskowe.

Trzecim pod względem wielkości użytkiem są łąki kośne, zajmujące 18% ogólnej powierzchni. Ich istnienie wiąże się ściśle z wioskami położonymi wewnątrz terenów bagiennych (np. Polkowo, Jagłowo czy Jasionowo).

11% powierzchni przypada na lasy liściaste (bez brzoźowych). Na badanym terenie znaczne ich fragmenty znajdują się w Brzezinach Kapickich, na Grzędach i na północ od rezerwatu Czerwone Bagno.

Nieco mniejszy obszar, bo 9% porastają lasy brzoźowe oraz lasy mieszane brzoźowo-olszowe (8%) występujące na siedliskach bagiennych. Największe fragmenty pierwszego zbiorowiska można spotkać na obszarze rezerwatu Grzędy, Czerwone Bagno oraz w Brzezinach Kapickich, natomiast drugiego głównie w Brzezinach Ciszewskich i Kapickich oraz między Jegrznią i kanałem Woźnawiejskim.

Wiosenne rozlewiska wód powodziowych (6% powierzchni) ciągną się pasem wzdłuż Biebrzy i jej dopływów w końcowej części Basenu Środkowego, a ich szerokość dochodzi do 1500 m. Bory w Basenie Środkowym zajmują 3% powierzchni i są ściśle związane z mineralnymi siedliskami, natomiast bory bagiennie stanowią 1% badanego terenu i występują jedynie na Czerwonym Bagnie.

Na zbiorowiska szuwarowe przypada tylko 1% powierzchni. Porastają one strefę immersyjną, bezpośrednio przylegającą do cieków. Tak mały ich odsetek jest konsekwencją wylewów wiosennych, które spowodowały, że roślinność ta nie jest widoczna na zdjęciu satelitarnym.

Najmniejszy odsetek powierzchni zajmują kolejno: grunty orne (1%), lasy mieszane sosnowo-olszowe (0,2%) oraz zabudowa (0,1%).

Tabela 2.

Struktura pokrycia terenu Basenu Środkowego Biebrzy w 1979 r.  
*Structure of the land cover of the Middle Biebrza Basin in 1979*

Forma pokrycia terenu <i>Form of land cover</i>	Powierzchnia w % <i>Area in %</i>
Torfowiska niskie <i>Fen</i>	21
Zarośla <i>Scrub</i>	19
Łąki kośne <i>Mown meadows</i>	18
Lasy liściaste (bez brzoźowych) <i>Broadleaved forest (excluding birch)</i>	11
Lasy brzoźowe <i>Birch forest</i>	9
Lasy mieszane brzoźowo-olszowe <i>Mixed birch-alder forest</i>	8
Tereny zalane <i>Inundated areas</i>	6
Bory bagiennie <i>Marshy coniferous forest</i>	3
Bory <i>Coniferous forest</i>	3
Grunty orne <i>Arable land</i>	1
Szuwary <i>Reeds</i>	1
Lasy mieszane sosnowo-olszowe <i>Mixed birch-alder forest</i>	0,2

### Klasyfikacja zdjęcia satelitarnego wykonanego skanerem TM

#### Przetworzenie obrazu

Przetworzenie obrazu składało się z dwóch części — ze wzmocnienia jego kontrastu oraz z rektyfikacji. W celu polepszenia odbioru wizualnego zdjęcia zastosowano liniowe rozciąganie kontrastu. Przy określeniu nowych wartości jasności pikseli posłużono się tablicami przeglądowymi LUT (*Look Up Table*). Uzyskano w ten sposób większe różnice między tonami szarości, niezauważalne na oryginalnym obrazie (Ciołkosz, Kęsik, 1989).

Obraz z Landsata TM zgeometryzowano na podstawie map topograficznych w skali 1:50 000. Współrzędne punktów z mapy zostały przypisane odpowiadającym im pikselom na zdjęciu zgodnie z odwzorowaniem Gaussa-Krugera w układzie 1942. Średni błąd kwadratowy, obliczony na podstawie 30 punktów kontrolnych użytych do transformacji, wyniósł 1,28 piksela.

#### Wybór pól treningowych

Polami treningowymi można określić fragmenty powierzchni, z których każdy jest reprezentatywny dla określonej formy pokrycia terenu. Na zdjęciu satelitar-

nym takie pole odpowiada grupie pikseli, cechujących się dużą jednorodnością pod względem wartości odbicia promieniowania elektromagnetycznego (Sitek, 1997).

Pola testowe zostały wybrane na obrazie satelitar-nym pochodzącym ze skanera Thematic Mapper. Dla każdej klasy wyznaczono przynajmniej dwie próbki, które następnie zweryfikowano w terenie, co pozwoliło na uzyskanie pewności co do trafnego wytypowania klas. Ze względu na niedostępny charakter Biebrzańskiego Parku Narodowego wybór pól treningowych był podyktowany bliskością dróg i szlaków turystycznych.

Kolejnym etapem było utworzenie w środowisku Erdas Imagine zestawu sygnatur. Uzyskano je przez wykreślenie granic poligonów pól treningowych. Dla tak otrzymanych próbek pikseli system dokonał obliczeń statystycznych generując sygnatury parametryczne, z których każda odpowiadała poszczególnej kategorii pokrycia terenu.

Główną metodą sprawdzenia sygnatur była analiza ich histogramów. Za podstawowe cechy świadczące o poprawności tych wzorców uznano ich rozłączność w poszczególnych kanałach oraz niezbyt duże rozpiętości odbicia spektralnego.

Wyróżniono sygnatury dla następujących elementów pokrycia terenu: torfowisk niskich, zarośli, lasów liściastych (bez brzoźowych), lasów brzoźowych, lasów mieszanych brzoźowo-olszowych, borów, borów bagien-nych, łąk kośnych i gruntów ornych.

Należy tu uściślić, że dla torfowisk niskich stworzono aż trzy sygnatury odpowiadające obszarom podsuszonym, umiarkowanie wilgotnym oraz o znacznej wilgotności. Wynikało to z faktu, że na tak bagnistym podłożu na dane o pokryciu terenu nakładają się dodatkowo informacje wilgotnościowe, które wpłynęły na różnorodność odbicia spektralnego od powierzchni torfowisk.

Niestety wygenerowanie sygnatur dla wszystkich klas okazało się mało prawdopodobne. Stwierdzono, że szuwały i łąki kośne charakteryzują się identycznymi histogramami oraz taką samą odpowiedzią spektralną w każdym paśmie. Wizualne ich rozróżnienie było możliwe jedynie ze względu na pasmową strukturę łąk. W związku z tym wykluczono szuwały, jako że zajmują one mniejszą powierzchnię od łąk.

Natomiast histogramy lasów mieszanych sosnowo-olszowych zachodziły w całości bądź na histogramy borów, bądź lasów liściastych, dlatego usunięto tę klasę.

Wygenerowanie sygnatury dla cieków również nie przyniosło spodziewanych rezultatów, gdyż ich zakresy spektralne okazały się zbyt podobne do zakresów borów.

Nie wyodrębniono również sygnatury zabudowy, gdyż na badanym obszarze zajmuje ona znikomą powierzchnię, niedostrzegalną przy rozdzielczości tereno-wej skanera TM równej  $30 \times 30$  m.

### Przeprowadzenie klasyfikacji

Parametry sygnatur wymienionych w poprzednim rozdziale posłużyły jako wzorce do przeprowadzenia

klasyfikacji nadzorowanej. Każdy piksel został przyporządkowany do jakiejś klasy, na podstawie określonych kryteriów zgodnych z regułą decyzyjną największego prawdopodobieństwa, którą uznaje się za najdokładniejszą.

W metodzie tej liczone jest statystyczne prawdopodobieństwo przynależności wartości piksela do określonej kategorii pokrycia terenu (Erdas Field Guide, 1998). Niewątpliwą zaletą jest tu uwzględnienie dużej liczby zmiennych, m.in. wariancji i kowariancji, które są ważne przy klasyfikowaniu heterogenicznych klas, np. torfowisk niskich, charakteryzujących się dużą zmiennością współczynników odbicia, wynikającą z różnego stopnia uwilgotnienia tych powierzchni.

Klasyfikację obrazu przeprowadzono na sześciu kanałach z pominięciem pasma termalnego.

### Opracowanie mapy

Przy opracowywaniu mapy, w pierwszej kolejności przystąpiono do zmniejszenia liczby klas. Aby wyeliminować wydzielenia: torfowiska niskie podsuszone i torfowiska niskie silnie uwilgotnione, wykorzystano funkcję kodowania, polegającą na przypisaniu ww. kategorii takiej wartości i barwy, jakie mają torfowiska niskie umiarkowanie wilgotne. W ten sposób otrzymano jedną wspólną klasę o nazwie torfowiska niskie.

Ponieważ opracowana sygnatura dla wody nie pozwoliła na wyróżnienie cieków, na otrzymany obraz nałożono warstwę wektorową ze zdigitalizowanymi rzekami i kanałami.

W skład kolejnych nakładek wektorowych weszły: granica Basenu Środkowego Biebrzy, zabudowa oraz sieć drogowa i kolejowa, odpowiadająca wydzielonym obiektom w klasyfikacji analogowej.

Na rycinie 3 przedstawiony jest końcowy rezultat opracowania mapy.

### Analiza zmian pokrycia terenu w latach 1979–1991

Prześledzenie zmian w pokryciu teren Basenu Środkowego Biebrzy na przestrzeni 12 lat okazało się możliwe, mimo różnych parametrów technologicznych wykorzystanych do tego celu zdjęć. Obrazy ze skanera MSS, pochodzące jeszcze z pierwszych satelitów, cechują się gorszą rozdzielczością spektralną i terenową.

Duża wielkość piksela obrazów ze skanera MSS ( $79 \times 79$  m) wpłynęła niewątpliwie na zmniejszenie dokładności wydzielanych jednostek i jest odpowiedzialna za nieznaczne zniekształcenia zmian zaobserwowanych na tym obszarze. Niemniej jednak wyodrębnione obiekty charakteryzują się dosyć dużymi powierzchniami, co pozwoliło na określenie ogólnych tendencji przemian w pokryciu terenu.

Jak wspomniano wcześniej, jednym z głównych problemów, z którymi boryka się dyrekcja Parku, jest

Tabela 3.

Struktura pokrycia terenu Basenu Środkowego Biebrzy w latach 1979-1991  
Sture of the land cover of the Middle Biebrza Basin, 1979-1991

1991 \ 1979	Torowiska niskie Fen	Zarośla Scrub	Łąki kośne Mown meadows	Lasy liściaste (bez brzożowych) Broadleaved forest (excluding birch)	Szuwary Reeds	Lasy mieszane brzożowo-olszowe Mixed birch-alder forest	Bory Coniferous forest	Lasy brzożowe Birch forest	Bory bagienne Marshy coniferous forest	Lasy mieszane sosnowo-olszowe Mixed pine-alder forest	Grunty orne Arable alnd
Torowiska niskie Fen	42,0	39,1	11,1	0,9	0,8	3,3	9	2,7	0	0	0,1
Zarośla Scrub	31,5	53,2	5,4	0,6	0,6	3,2	0	5,5	0	0	0
Łąki kośne Mown meadows	7,3	14,3	72,6	1,1	1,0	0,9	0	2,3	0	0,2	0,3
Lasy liściaste (bez brzożowych) Broadleaved forest (excluding birch)	1,3	1,9	1,4	67,6	0	17,7	4,1	1,6	2,0	2,4	0
Szuwary Reeds	18,9	0	0	0	81,1	0	0	0	0	0	0
Lasy mieszane brzożowo-olszowe Mixed birch-alder forest	1,2	10,3	1,7	16,5	0	48,1	0	22,2	0	0	0
Bory Coniferous forest	0	0	1,8	1,2	0	0	97,0	0	0	0	0
Lasy brzożowe Birch forest	7,7	10,0	0	8,2	0	15,0	0	57,5	1,7	0	0
Bory bagienne Marshy coniferous forest	0	0	0	0	0	0,5	0	1,3	98,2	0	0
Lasy mieszane sosnowo-olszowe Mixed pine-alder forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
Grunty orne Arable alnd	0	0	0	27,7	10,9	0	12,0	0	0	0	49,4

„problem zaroślowy”, polegający na ekspansji tych zbiorowisk na otwarte torfowiska. Jednakże przeprowadzona analiza zmian potwierdziła tylko w połowie ten poruszony w wielu opracowaniach wniosek (Pałczyński, Tomaszewska, 1981). Faktem jest, że tereny bagienne ulegają zakrzewianiu, co ukazuje tabela 3 — aż 39% tych obszarów przeszło w różnego rodzaju zarośla (brzożowe, olszowe czy wierzbowe). Główną przyczynę takiego stanu rzeczy stanowi zaprzestanie lub ograniczenie wykaszania bagien. Początek eksploatacji torfowisk niskich datuje się już na XV wiek i polegała ona na koszeniu, wypasie bydła oraz na odkrzaczaniu i odkępieniu tych powierzchni. Zmniejszenie się ekstensywnego rolnictwa wiąże się z II wojną światową oraz z późniejszymi transformacjami państwa i zmianami trendów w rolnictwie (Wiatr, 1989).

Duży wpływ na rozwój zarośli miały również zmiany warunków hydrologicznych mokradeł. Rozwojowi temu

sprzyja przesuszenie podłoża i obniżenie poziomu wód gruntowych, będące rezultatem budowy kanałów i rowów melioracyjnych (Pałczyński, 1986).

W efekcie z roku na rok obserwuje się postępującą sukcesję zarośli. Pojawienie się największych płatów tych zbiorowisk roślinnych zanotowano w pobliżu strefy przykrawędziowej doliny, w sąsiedztwie dużych powierzchni leśnych, między Jęgrznią, Elkiem a kanałem Woźnawiejskim, na południe od Grzęd, a ponadto na wschód od Jagłowa i Kopytkowa.

Z drugiej jednak strony stwierdzono ubytek 31% zakrzaczeń na rzecz torfowisk niskich. Taka zamiana miejscami roślinności torfowiskowej i zaroślowej jest tłumaczona nierównomiernym koszeniem terenów bagiennych. Niewielki spadek powierzchni torfowisk niskich, bo tylko o 8,4% oraz regresja zakrzaczeń ma swoją przyczynę w zimowym wycinaniu krzewów i systematycznym wykaszaniu tych obszarów.



Ponadto uważa się, że czynnikiem utrzymującym mokradła bez ekspansji zarosli są łosie. Zwierzęta te zgryzając krzewy powodują ich zsychanie. Żerowanie tej populacji jest szczególnie intensywne w okolicy rezerwatu Grzędę.

Duże przemiany zaobserwowano również w gruntach ornych (spadek o 39%). Tak znaczne zmniejszenie się tej formy użytkowania ziemi, związanej ściśle z działalnością człowieka, ma swoją przyczynę w zmianie sposobu życia mieszkańców. Przemiany cywilizacyjne są odpowiedzialne za zaprzestanie gospodarowania i emigrację ludzi z tych terenów. Zanikanie gruntów ornych zanotowano w okolicy wszystkich wsi leżących wewnątrz obszarów bagiennych.

Natomiast wśród lasów następuje powolna tendencja do powiększania się ich powierzchni. W sumie obszary leśne zanotowały wzrost o 10%.

Największe przekształcenia zaobserwowano w lasach mieszanych brzoźowo-olszowych, które przekształciły się w głównej mierze w lasy brzoźowe (22,2%) i w lasy liściaste (16,5%). Natomiast najmniejsze zmiany zaobserwowano w borach bagiennych oraz borach.

Zbiorowiska szuwarowe natomiast cechuje tendencja spadkowa (12%). Niestety obliczenia nie mogą być uznane za wiarygodne, gdyż większość ich obszaru znalazła się w zasięgu obszaru wylewowego w 1979 r.

Należy tu zaznaczyć, że granice terenu zalanego zostały przeniesione na mapę z 1991 r. i powierzchnie odpowiadające temu podtopieniu nie były brane pod uwagę przy analizie zmian.

### Porównanie wyników klasyfikacji metodą analogową i cyfrową

Głównym celem tego artykułu było ukazanie zmian w pokryciu terenu Basenu Środkowego Biebrzy z wykorzystaniem analogowych metod interpretacji obrazu. Przeprowadzenie klasyfikacji cyfrowej stanowiło drugorzędny cel tego opracowania i było podyktowane chęcią określenia przydatności tych dwóch metod do tego typu badań.

Głównym narzucającym się spostrzeżeniem, jak również problemem, było duże zróżnicowanie informacji, możliwych do odczytania przy klasyfikacji nadzorowanej. Czułość spektralna wpłynęła na uwidocznienie się różnic w wilgotności podłoża w obrębie tego samego wydzielenia — torfowisk niskich. Nieudane próby usunięcia tych danych z obrazu satelitarnego wymusiły konieczność uwzględnienia ich w procesie klasyfikacyjnym. W efekcie utworzyły się klasy, które nie były potrzebne na mapie pokrycia terenu. Problem udało się rozwiązać poprzez połączenie tych wydzieleni w jedną wspólną klasę. Natomiast w klasyfikacji analogowej tego typu trudności nie wystąpiły, gdyż interpretator może pominąć nadmiar informacji zawartych na zdjęciu.

Ponadto interpretacja wizualna umożliwia rozróżnienie obiektów o jednakowej barwie, ale odmiernej teksturze. Dzięki temu, posługując się dodatkowo mapami

tematycznymi i opisami, udało się oddzielić zbiorowiska szuwarów od łąk kośnych. Klasyfikacja analogowa daje również możliwość wydzielenia obiektów niejednorodnych, np. lasów mieszanych, podczas gdy w przypadku klasyfikacji cyfrowej zbyt duża heterogeniczność klasy nie pozwala na jej wyodrębnienie (stąd brak lasów mieszanych sosnowo-olszowych).

Cecha, przemawiająca na korzyść klasyfikacji cyfrowej, to wierne oddanie treści pokrycia terenu z dokładnością do jednego piksela. Natomiast przy interpretacji wizualnej, generalizacja stanowi nieunikniony problem i zniekształca pewien procent informacji poprzez eliminację drobnych wydzieleni czy łagodzenie konturów. Jednakże takie uogólnianie powierzchni ma duże znaczenie tylko dla map wielkoskalowych, a w przypadku skali przyjętej dla tego opracowania wydaje się nie być aż tak istotne.

Niewątpliwą zaletą klasyfikacji cyfrowej jest jej obiektywność — podczas procesu klasyfikacyjnego piksele są przyporządkowywane do określonej klasy ściśle według zadanych parametrów statystycznych, co wyklucza pomyłki. Natomiast przy interpretacji wizualnej główną rolę odgrywa człowiek, wprowadzając w ten sposób element subiektywizmu. Na błędne decyzje interpretatora ma wpływ wiele czynników, by wymienić tu zmęczenie czy zmienne oświetlenie.

Te wszystkie wyżej wymienione różnice metodologiczne między omawianymi klasyfikacjami, spowodowa-

Tabela 4.

Porównanie powierzchni form pokrycia terenu w klasyfikacji analogowej i cyfrowej  
A comparison of the areas of forms of land cover in the analogue and digital classifications

Forma pokrycia terenu <i>Form of land cover</i>	Powierzchnia w km <sup>2</sup> <i>Area in km<sup>2</sup></i>	
	Klasyfikacja analogowa <i>Analoque classification</i>	Klasyfikacja cyfrowa <i>Digital classification</i>
Zarośla <i>Scrub</i>	62,6	72,8
Torfowiska niskie <i>Fen</i>	61,2	52,5
Łąki kośne <i>Mown meadows</i>	53,7	57,8
Lasy liściaste (bez brzoźowych) <i>Broadleaved forest (excluding birch)</i>	33,8	33,1
Lasy brzoźowe <i>Birch forest</i>	27,9	28,6
Lasy mieszane brzoźowo-olszowe <i>Mixed birch-alder forest</i>	25,2	27,3
Bory bagienne <i>Marshy coniferous forest</i>	9,8	11,8
Bory <i>Coniferous forest</i>	9,0	8,8
Szuwary <i>Reeds</i>	6,8	-
Lasy mieszane sosnowo-olszowe <i>Mixed pine-alder forest</i>	1,4	-
Grunty orne <i>Arable alnd</i>	1,1	0,4

ły znaczne rozbieżności ich wyników. Przedstawia je tabela nr 4. Na niezgodność tych dwóch metod największy wpływ miały klasy szuwarów i lasów mieszanych sosnowo-olszowych, których nie udało się wyodrębnić w klasyfikacji nadzorowanej. Piksele pierwszego zbiorowiska roślinnego zostały zaliczone do kategorii łąk kośnych, a drugiego do lasów liściastych (bez brzoźowych) bądź borów. Duże różnice pod względem zajmowanej powierzchni cechują również klasy torfowisk niskich i zarośli. Największa zgodność wystąpiła w przypadku lasów liściastych i borów.

Na podstawie przeprowadzonej analizy nasuwają się wnioski, że klasyfikacja analogowa dała lepsze wyniki w badaniu pokrycia terenu niż cyfrowa. Wpłynęła na to przede wszystkim jej dokładność — większa liczba wyodrębnionych klas, możliwość wykorzystania tekstury jako czynnika rozróżniającego oraz możliwość selekcji informacji zawartych na zdjęciu satelitarnym.

Należy zaznaczyć, że niebagatelną rolę w procesie interpretacji wizualnej obrazu odgrywają materiały pomocnicze — mapy tematyczne, różne opisy, jak również terenowa weryfikacja analizy. Dopiero wspieranie się nimi umożliwia otrzymanie zadowalających rezultatów.

## Podsumowanie wyników i wnioski

W ciągu ostatnich stuleci, w wyniku naturalnego i przyjaznego środowisku gospodarowania na terenach obecnego Basenu Środkowego Biebrzy, powstały niepowtarzalne i bogate ekosystemy, obejmujące zarówno gatunki roślinne, jak i zwierzęce. Niestety zmiany w gospodarce tych obszarów, zapoczątkowane w latach powojennych, pociągnęły za sobą przekształcenia w otwartych, bagiennych krajobrazach.

Jak potwierdziły badania, problemem, który dotyka Dolinę Biebrzy, jest jej powolne, ale systematyczne zakrzaczanie. Do utrzymania pierwotnego charakteru bagien konieczne są odpowiednie metody czynnej ochrony, dlatego bardzo ważne jest posiadanie map pokrycia terenu. Dysponując archiwalnymi i aktualnymi danymi można określić zmiany oraz prognozować tempo i kierunki dalszych przekształceń. Źródłem informacji, które umożliwia takie rozpoznanie terenu, są niewątpliwie zdjęcia satelitarne. Uchwycenie zmian środowiskowych na tak rozległym obszarze tradycyjnymi metodami obserwacji jest bardzo trudne, a ponadto czasochłonne i kosztowne. W niniejszym artykule podjęto próbę udowodnienia, że teledetekcja i fotointerpretacja mogą być szczególnie przydatne w badaniu przemian pokrycia terenu.

Pomimo różnic technologicznych, przejawiających się w innej rozdzielczości spektralnej i przestrzennej analizowanych zdjęć, udało się wydzielić takie same kategorie pokrycia terenu. Były to: szuwar, torfowiska niskie, zarośla, lasy liściaste (bez brzoźowych), lasy brzoźowe, lasy mieszane brzoźowo-olszowe, bory, bory bagienne, lasy mieszane sosnowo-olszowe, łąki kośne i grunty orne oraz dodatkowo na starszym obrazie wy-

różniono tereny zalane. Jednakże istnienie tej klasy było uwarunkowane terminem wykonania zdjęcia, który przypadł na majowe wylewy Biebrzy.

Zarówno w roku 1979 jak i w 1991, na obszarze Basenu Środkowego Biebrzy dominowały otwarte tereny bagienne, czyli torfowiska niskie. Bardzo duże powierzchnie zajmowały również zarośla i łąki kośne. Jednakże dopiero porównanie map z tych dwóch terminów oddało rzeczywisty obraz sytuacji i wykazało, że w obrębie zbiorowisk torfowiskowych i zaroślowych zaszły duże zmiany. Przejawiły się one w zamianie miejscami znacznych powierzchni owych form pokrycia terenu. Zjawisko to było głównie konsekwencją nierównomiernego wykaszania i odkrzaczania obszarów bagiennych.

Jak wykazały badania, przekształcenia mokradeł idą w kierunku negatywnym, tzn. obserwuje się powolny, ale systematyczny wzrost powierzchni zarośli. Oprócz spadku intensywności koszenia, do tej sytuacji przyczyniło się też w pewnej mierze przesuszenie niektórych obszarów przez drenującą działalność kanałów i rowów melioracyjnych.

Oprócz analogowej interpretacji obrazów, w artykule przedstawiono również cyfrowe metody analizy, obejmujące klasyfikację nadzorowaną.

Porównanie obu metod wykazało mniejszą dokładność klasyfikacji cyfrowej. Przejawiło się to głównie brakiem dwóch klas — szuwarów i lasów mieszanych sosnowo-olszowych. Natomiast czynnikiem przemawiającym na korzyść tej metody jest jej szybkość oraz obiektywność.

Podsumowując można powiedzieć, że materiały teledetekcyjne pozwoliły na stworzenie map pokrycia terenu Basenu Środkowego Biebrzy i na określenie kierunków przemian na nim zachodzących. Jednocześnie stwierdzono większą przydatność analogowych technik interpretacji ze względu na możliwość selekcji informacji zawartych na obrazach i wierniejsze oddanie elementów pokrycia terenu.

## Literatura

- Ciołkosz A., Kęsik A., 1989: *Teledetekcja satelitarna*. PWN, Warszawa.
- ERDAS Field Guide, 1998: GEOSYSTEMS Polska. Warszawa.
- Kondracki J., 1972: *Polska Północno-Wschodnia*. PWN.
- Maciejewski S., 1996: *W krainie Biebrzy*. Wydawnictwo Hańcza, Suwałki.
- Okruszko H., 1991: *Bagna Biebrzańskie*. ZPPNR, 372. PWN, Warszawa.
- Oświt J., 1991: Łąkowe zbiorowiska roślinne bagien biebrzańskich na tle warunków siedliskowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, nr 372. PWN, Warszawa.
- Pałczyński A., 1972: Biologia, paleofitosocjologia i kierunki zagospodarowania Bagien Jaćwieskich (Pradolina Biebrzy). *Zeszyty Naukowe WSR Wroc.*, nr 98, z. 29.
- Pałczyński A., 1975: *Bagna Jaćwieskie (Pradolina Biebrzy)*. *Rocznik Nauk Rolniczych, seria D, t. 145*.
- Pałczyński A., Tomaszewska K., 1981: Próba wykorzystania zdjęć lotniczych do określania dynamiki zbiorowisk zarośli wierzbowo-brzoźowych na bagnach Doliny Biebrzy. *Zesz. Nauk. AR. Wroc.*, 38, 134.
- Pałczyński A., 1986: Natural differentiation of plant communi-

ties in relation to hydrological conditions of the Biebrza valley. *Rol. Ecol. Stud.*, 10, 3–4.

Pałczyński A., 1986: Succession trends in plant communities of Biebrza valley. *Rol. Ecol. Stud.*, 11, 1.

Sitek Z., 1997: *Wprowadzenie do teledetekcji lotniczej i satelitarnej*. Wydawnictwa AGH, Kraków.

Wiatr A., 1999: 5 lat Biebrzańskiego Parku Narodowego. *Parki Narodowe*, 2.

Wyszkowski A., 1974: Biebrzańskie Bagna. *Przyroda Polska*, 4.



Absolwentka Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, specjalizacja Teledetekcja Środowiska. Interesuje się wykorzysta-

niem teledetekcji w ochronie środowiska oraz metodami super-learningu języków obcych.

Kontakt: e-mail: [margo25@poczta.onet.pl](mailto:margo25@poczta.onet.pl)