

ANALIZA OBIEKTOWA JAKO METODA POPRAWY JAKOŚCI KLASYFIKACJI

OBJECT-BASED ANALYSIS AS A METHOD OF IMPROVING CLASSIFICATION QUALITY

Joanna Adamczyk, Krzysztof Będkowski

Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Słowa kluczowe: klasyfikacja obiektowa, klasyfikacja nadzorowana, teledetekcja, Landsat
Keywords: object-based classification, supervised classification, remote sensing, Landsat

Wstęp

W ostatnich latach rozwinęła się metoda klasyfikacji obrazów – opierająca się na analizie obiektowej. Stanowi ona nową jakość w teledetekcji i GIS, dzięki umożliwieniu analizy natężenia jasności, kształtu, tekstury, powierzchni, tła tematycznego oraz innych informacji pochodzących ze zintegrowanych warstw tematycznych. W metodzie tej wykorzystywana jest baza wiedzy i logika rozmyta. Jest to metoda pozwalająca na pokonanie licznych wad „klasycznych” metod klasyfikacji, opartych na analizie wartości jasności w pikselach. Wyniki osiągnięte przy pomocy metody klasyfikacji obiektowej pozwalają rozważać jej zdolność do konkurencyjności z metodą ręcznej interpretacji obrazów.

Porównanie „klasycznych” metod klasyfikacji z obiektową przeprowadzono w ramach projektu¹ mającego na celu opracowanie sposobu integracji i automatycznego przetwarzania ogólnodostępnych archiwalnych materiałów teledetekcyjnych do celów wieloterminowych analiz przestrzennych. Problem ten został sformułowany na podstawie wstępnych badań (Adamczyk, 2005) poruszających problem adekwatności odwzorowania obiektów przyrodniczych w GIS. Podkreślano w nich między innymi potrzebę określenia sposobu postępowania, prowadzącego do możliwie pełnego wykorzystania zasobu archiwalnych obrazów satelitarnych w powiązaniu z innymi danymi teledetekcyjnymi. Szczególny nacisk położony został na spełnienie warunku możliwie najlepszego odwzorowania zjawisk i obiektów przyrodniczych.

¹ Opracowanie wykonano w ramach grantu wewnętrznego SGGW nr 504 0326 0011, w roku 2005.

Metodyka badań

Do porównania wybrano zasób archiwalnych danych teledetekcyjnych zawartych w bazie Image 2000². Za podjęciem wymienionego problemu, przy użyciu obrazów pochodzących z satelity Landsat, przemawiały następujące ich zalety: najszerszy zakres czasowy z dostępnych danych satelitarnych – ostatnie 30 lat; możliwość uzyskania danych transgranicznych; parametry rejestracji sensorów satelity Landsat najbardziej odpowiadające potrzebom opisu elementów krajobrazu; bezpłatny sposób udostępniania obrazów.

W celu zapewnienia możliwie największej liczby spostrzeżeń o charakterze przestrzennym, jako szczegółowe obiekty badawcze wybrano:

- Poleski Park Narodowy (rys. 1a) – charakterystyczny układ przestrzenny tego obszaru składa się z obszarów zalesionych przeplatanych wodami powierzchniowymi i terenami podmokłymi, znajdujących się w otoczeniu terenów rolnych o strukturze rozproszonej;
- okolice miasta Lublin (rys. 1b) – obszar zurbanizowany o rozróżnialnej strukturze zabudowy zwartej i luźnej, w otoczeniu terenów rolniczych o wysoko heterogenicznej strukturze użytkowania. Ważnymi elementami są występujące wyspowo obszary zalesione oraz szlaki komunikacyjne.

Oba obszary testowe stanowią charakterystyczne przykłady struktury przestrzennej obszaru Polesia, wybranego jako reprezentatywny dla terenów o charakterze nizinnym. Wybór tego terenu był uzasadniony między innymi jego historią, związaną z przejściem od intensywnej gospodarki człowieka do częściowej ochrony tego obszaru. W doświadczeniu wykorzystano obrazy z satelity Landsat z trzech terminów o parametrach podanych w tabeli.

Wykorzystano również inne rodzaje danych, traktowanych jako referencyjne w ocenie jakości wykonanych przetworzeń: warstwy Corine Land Cover 90 i 2000; zdjęcia lotnicze czarno-białe z lat 1992, 2003 w skalach 1:18 000 i 1:25 000 (dodatkowe testowanie możliwości integracji); tematyczne warstwy wektorowe planu ochrony PPN; mapy topograficzne; obrazy porównawcze z terenu Beskidów.

Wybrane obrazy satelitarne zostały poddane przetworzeniom i testom, mającym na celu wypracowanie metodyki ich integracji dla wieloterminowych analiz przyrodniczych. Schemat metodyki przedstawia rysunek 2. Poszukiwania badawcze obejmowały następujące działania na danych: i) poddanie danych wstępnym przetworzeniom obejmującym utworzenie kilku wariantów kompozycji barwnych, korekcje i wzmocnienia treści obrazów; ii) testowanie procedur analizy krajobrazu w celu przeprowadzenia ich klasyfikacji dwiema metodami; iii) testowanie dokładności wykonanych analiz na podstawie warstw i obiektów referencyjnych; iv) wykonanie wieloczasowych zestawień danych testujących prawidłowość wyodrębnienia klas użytkowania terenu; v) wyniki przeprowadzonych testów prowadziły do opracowania ścieżki rekomendowanych przetworzeń, wyselekcjonowanych na podstawie rankingów wykorzystanych metod.

² Image 2000 – ogólnodostępna baza danych z satelity Landsat prowadzona przez *Joint Research Centre* w ramach Infrastruktury Danych Przestrzennych (*SDI – Spatial Data Infrastructure*).

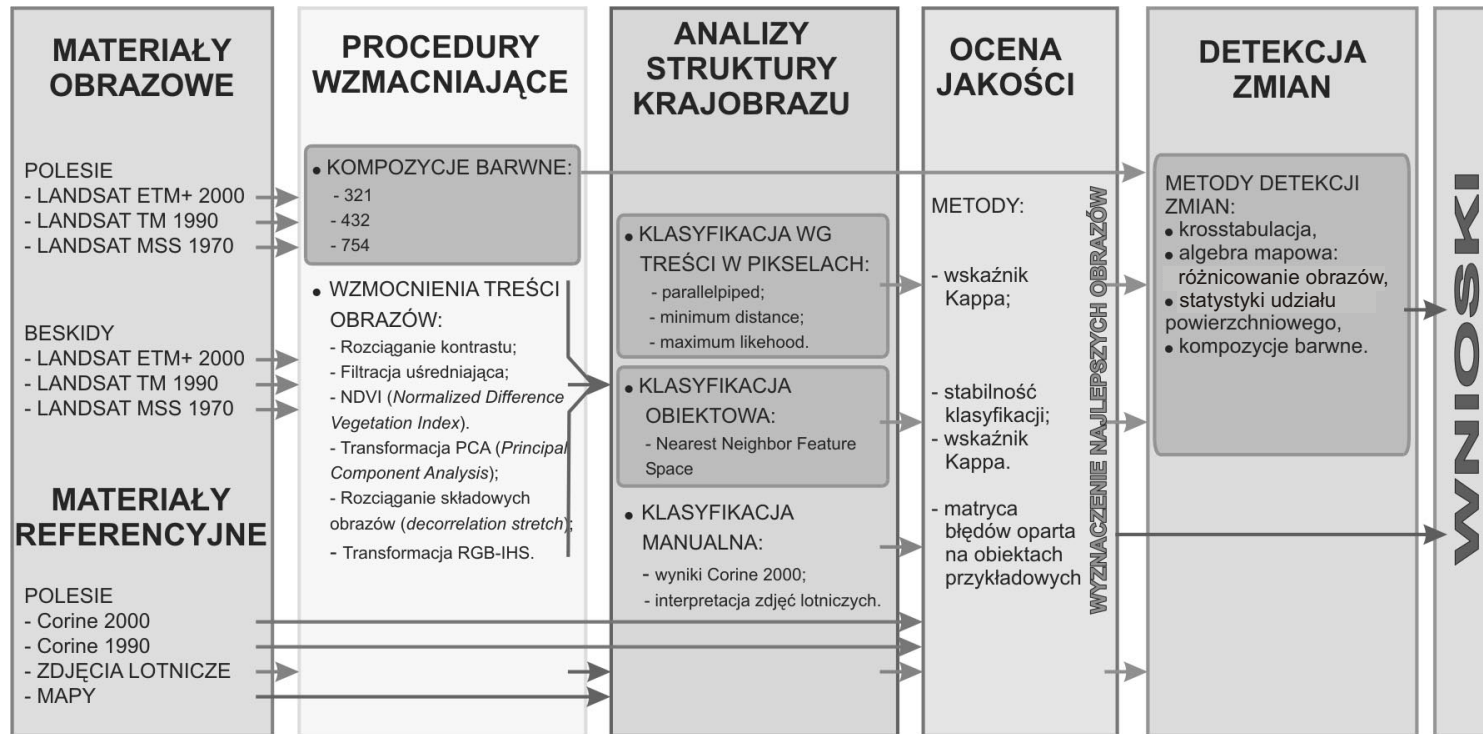


Rys. 1. Warstwy Corine Land Cover z roku 2000 obrazujące strukturę krajobrazu obiektów testowych: a – okolic Lublina, b – fragmentu Poleskiego Parku Narodowego

Tabela. Charakterystyki analizowanych wycinków scen

Typ satelity Landsat	Lata rejestracji obrazów	Analizowane kanały spektralne*	Rozdzielczość przestrzenna [m]
MSS <i>Multispectral Scanner</i>	1972–1978	2, 3, 4, 5	60–80
TM <i>Thematic Mapper</i>	1990 +/- 3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	30 (60)
ETM+ <i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>	2000 +/- 1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	30 (15)

Kolejność kanałów według oryginalnych oznaczeń.



Rys. 2. Schemat metodyki przyjętej w doświadczeniu

Przebieg i wyniki klasyfikacji z wykorzystaniem metod „klasycznych”

Pierwszym etapem testów było przeprowadzenie klasyfikacji z wykorzystaniem metod „klasycznych”. Analizowane obrazy doprowadzono do zunifikowanej formy: jednakowy zasięg i rozdzielczość przestrzenna. Zastosowano różne warianty przetwarzania obrazów oraz klasyfikacji ich treści, w zależności od roku, w którym zarejestrowano obrazy.

Analizy przeprowadzono na wstępnie przetworzonych obrazach, poddanych procedurom:

- wyboru kanałów spektralnych – najczęściej wybierano zestaw 3, 4, 5³. Kanały te (w sekwencji RGB = 5, 4, 3) tworzą kompozycję najlepiej uwidaczniającą lokalne różnice w użytkowaniu (pokryciu) badanego obszaru. Wybierano też zestawy kanałów najmniej ze sobą skorelowanych (np. 5, 3, 2)
- usunięciu zakłóceń przy pomocy procedur: PCA (*Principal Component Analysis* – analiza pierwszych składowych obrazu) – dla małoskalowych zakłóceń oraz *dstripe* – usuwanie zakłóceń liniowych w obrazie z lat 90.

Określono następujący zestaw klas znajdujących się na omawianych obszarach: zabudowa zwarta, zabudowa luźna, grunty orne, łąki, lasy liściaste, lasy iglaste, lasy mieszane, zbiorniki wodne. Na podstawie warstwy referencyjnej określono także zasięgi pól treningowych, wybranych w celu określenia charakterystyk spektralnych (sygnatur) poszczególnych klas obiektów.

Podstawowym, numerycznym kryterium oceny jakości klasyfikacji scen był wskaźnik *Kappa* (*Kappa Index of Agreement – KIA*), który określa stopień podobieństwa uzyskanych warstw z warstwą referencyjną. Generalnie najwyższe wartości wskaźnika *Kappa* uzyskano stosując metodę największego prawdopodobieństwa (*maximum likelihood*), z uwzględnieniem przewidywanych prawdopodobieństw występowania klas obiektów. Przy tym zauważono, że wstępne przetworzenia dają odmienne efekty dla obrazów zarejestrowanych w różnych latach. Dla obrazów z roku 2000 niektóre z procedur wstępnego przetwarzania spowodowały pogorszenie wyników klasyfikacji. Podobny efekt dała procedura MLP dla najlepiej sklasyfikowanej sceny z lat 90. (rys. 3a), którą uzyskano przy zastosowaniu kanałów 3, 4, 5, wstępnie przetworzonych za pomocą PCA. Na podstawie przeprowadzonych analiz trudno było jednoznacznie wskazać najlepszy sposób wstępnego przygotowania obrazów z lat 70. – prawie wszystkie zastosowane metody dały bardzo podobne wyniki. Metoda klasyfikacji za pomocą tzw. równoległocianów (*parallelepiped*) dała najgorsze wyniki we wszystkich wariantach doświadczenia (rys. 3b).

Przebieg i wyniki klasyfikacji z wykorzystaniem metody obiektowej

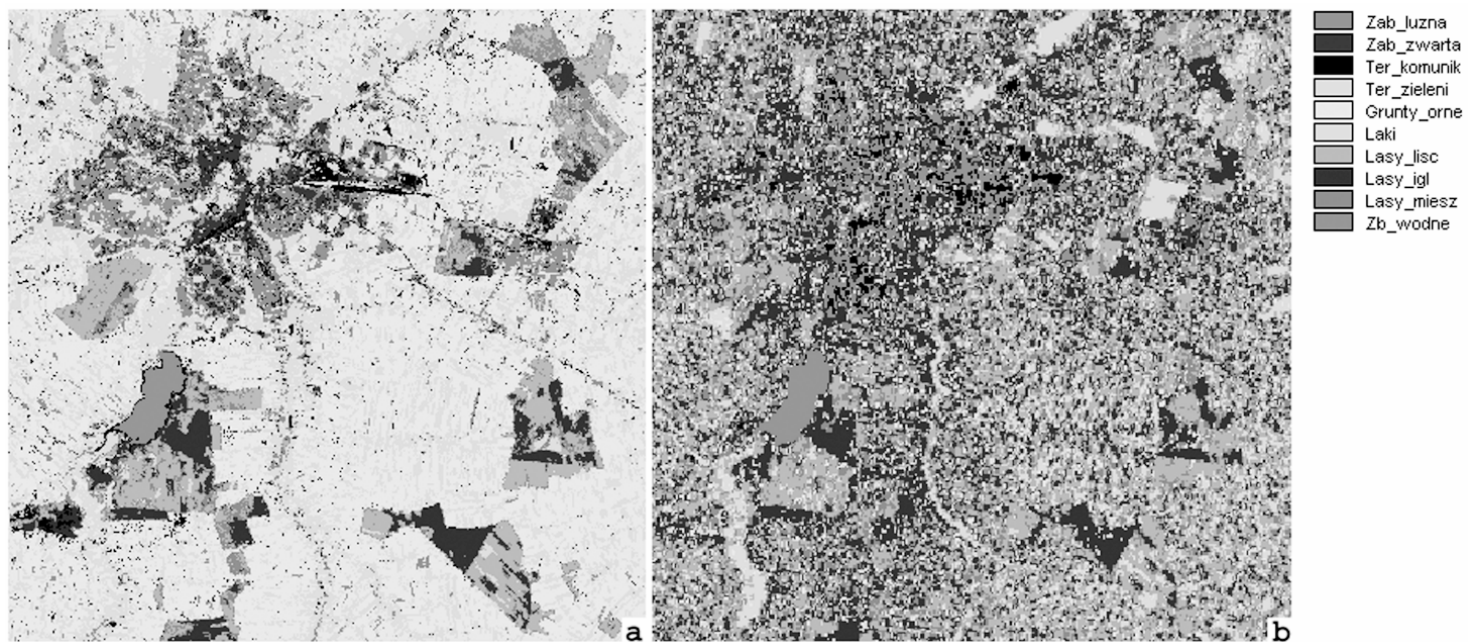
W przeprowadzeniu testów możliwości klasyfikacji obiektowej wykorzystano oprogramowanie eCognition⁴. Podstawowe cele badań były następujące:

- Wyjaśnienie różnic pomiędzy „tradycyjnym” a obiektowym podejściem do integracji danych;
- Rozpoznanie metodyki obiektowej integracji danych;
- Zidentyfikowanie zalet metody obiektowej oraz ograniczeń jej stosowania.

Oprogramowanie eCognition służy do modelowania szczegółowych obiektów przestrzennych na podstawie danych pochodzących z połączonych metod analizy empirycznej i anali-

³ Podano oryginalne oznaczenia kanałów stosowane w latach, z których pochodzą analizowane obrazy.

⁴ Oprogramowanie eCognition jest produkowane przez firmę Definiens Imaging w kilku wersjach – w omawianym doświadczeniu wykorzystano wersję 4 Professional.



Rys. 3. Wyniki klasyfikacji obszaru testowego Lublin (lata 90. XX wieku): a – najlepszy, uzyskany metodą największego prawdopodobieństwa, przy uwzględnieniu spodziewanych prawdopodobieństw wystąpienia klas (MLp); b – najgorszy uzyskany metodą równoległościaków (PP)

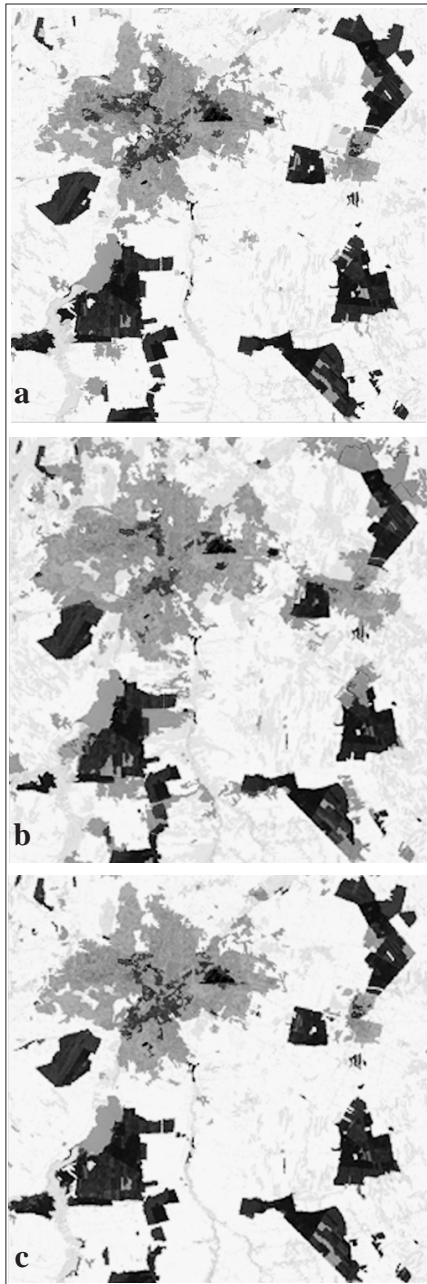
tycznej. Zostało ono opracowane w celu przezwyciężenia trudności, które występują przy integracji i klasyfikacji obrazów satelitarnych i lotniczych przy użyciu metod „klasycznych”.

Istotą metody klasyfikacji obiektowej jest zdolność do rozpoznawania obiektów na podstawie analizy natężenia jasności, kształtu, tekstury, powierzchni, tła tematycznego oraz innych informacji zapisanych w treści obrazów cyfrowych zintegrowanych z innymi warstwami informacyjnymi o charakterze tematycznym. W procedurze rozpoznawania obiektów wykorzystywana jest logika rozmyta i baza wiedzy.

Postępowanie w procedurze klasyfikacji obiektowej podąża za określonym układem struktur przestrzennych w celu stworzenia hierarchii obiektów rozumianych jako płyty pokrycia terenu. Metoda opiera się na opisanym poniżej schemacie postępowania (Adamczyk, Będkowski 2005, zmienione):

1. **Tworzenie projektu** – przez wprowadzenie do systemu danych obrazowych (kanały obrazów cyfrowych) i tematycznych (warstwy wektorowe lub rastrowe zawierające informację uzupełniającą treść danych obrazowych).
2. **Generowanie obiektów** na podstawie treści obrazu (segmentacja) – obrazy są wstępnie klasyfikowane na podstawie różnic w odpowiedzi spektralnej obiektów oraz ich kształtu. W każdym z cykli segmentacji, w procesie iteracyjnym, wybierane jest najlepsze odwzorowanie obiektów obrazu poprzez optymalizację: zestawu kanałów i wstępnych przetworzeń, skali segmentacji; parametrów segmentacji.
3. **Tworzenie hierarchii klas** – stanowiącej bazę dla właściwej klasyfikacji. Może ona zawierać jeden lub wiele poziomów zależności funkcjonalnej obiektów. Hierarchia klas, rozwijana jest drogą iteracji. W omawianym przypadku hierarchię klas utworzono dokonując adaptacji legendy bazy Corine LC przez zamianę klas o charakterze interpretacyjnym na klasy możliwe do wyznaczenia za pomocą analizy obrazu teledetekcyjnego⁵. Na omawianych obrazach testowych zdefiniowano następujące klasy: (i) lasy – iglaste, liściaste i mieszane; (ii) tereny rolnicze – grunty orne, łąki; (iii) zbiorniki wodne; (iv) obiekty hydrogeniczne; (v) zabudowa – luźna, zwarta; strefy przemysłowe i handlowe.
4. **Wybór obiektów wzorcowych** – najbardziej reprezentatywnych pól pokrycia terenu stanowiących przykłady, na podstawie których system „uczony” jest rozróżniania klas pokrycia terenu. Obiekty wybierano tak, żeby były one: i) uniwersalne dla całej sceny obejmującej obszar Polesia; ii) w miarę możliwości porównywalne we wszystkich terminach; iii) reprezentatywne dla danej klasy; iv) odpowiednio duże i liczne – powinno być ich tak dużo jak to konieczne, ale jednocześnie tak mało jak to możliwe (Definiens Imaging, 2004);
5. **Wybór klasyfikatorów** najlepiej rozróżniających wyznaczone wcześniej obiekty wzorcowe, służących później jako podstawa metody klasyfikacji.
6. **Klasyfikacja i jej udoskonalanie** – iteracyjnie przeprowadzane jest polepszanie efektów klasyfikacji poprzez zmiany w: strukturze klas, wyborze obiektów wzorcowych, przestrzeni klasyfikatorów rozróżniających klasy. Została ona przeprowadzona na trzy sposoby:
 - 6.1. Bez udziału obiektów wzorcowych na podstawie klasyfikatorów opisujących charakterystyczne cechy obiektów, bazujących na ich odpowiedzi spektralnej;
 - 6.2. Z udziałem obiektów wzorcowych na podstawie jednolitego zestawu klasyfikatorów dla wszystkich klas;
 - 6.3. W zoptymalizowanej przestrzeni klasyfikatorów, indywidualnej dla każdej z klas (de facto poprawianie wyników metody 2).

⁵ Np. obszary klasyfikowane w Corine LC jako „tereny sportowe i wypoczynkowe” zostały zakwalifikowane w toku klasyfikacji obiektowej do „łąk”, „lasów liściastych”, „lasów iglastych”, „lasów mieszanych” i „gruntów ornych”.



Rys. 4. Wyniki klasyfikacji obrazów Lublin 2000 przy użyciu trzech metod (metoda 6.1 – a, metoda 6.2 – b, metoda 6.3 – c)

7. Ocena dokładności klasyfikacji w celu wyboru obrazów, które mają uczestniczyć w detekcji zmian pokrycia terenu. Przeprowadzono ją przy użyciu trzech metod: (i) ocena stopnia prawdopodobieństwa właściwej przynależności klasy (*Classification Stability*); (ii) najlepszy wynik klasyfikacji (*Best Classification Result*) – obiekt może przynależeć do jednej lub wielu klas w związku z czym najlepszym wynikiem klasyfikacji jest najwyższa wartość przynależności do określonej klasy; (iii) maczyca błędów bazująca na obiektach wzorcowych (*Error Matrix based on Samples*) – przy użyciu obszarów referencyjnych testowych dla wyników klasyfikacji.

Ocena sumaryczna dokładności klasyfikacji odbyła się za pomocą indeksu *Kappa*. Na przykład dla obrazów Lublin z roku 1990 wartości KIA były następujące (odpowiednio w wymienionych w punkcie 6 metodach klasyfikacji: 6.1. – 0,9744; 6.2. – 0,6663; 6.3. – 0,9994. Wyniki testów pozwoliły uznać, że najlepszą w klasyfikacji obiektowej była metoda 6.3. Przy jej pomocy poradzono sobie z najtrudniejszymi testowanymi obrazami. Warunkowo uznano też przydatność metody 6.1, która w mniej złożonych przypadkach może znacznie przyspieszyć proces klasyfikacji, przez jednoznaczne oddzielenie którejś grupy obiektów, przez określenie ich charakterystyk. Wybrane wyniki klasyfikacji obrazów Lublin 2000 przedstawia rysunek 4.

Ostatnim etapem oceny wyników klasyfikacji metodą obiektową była detekcja zmian przeprowadzona dwiema metodami. Zestawienie sklasyfikowanych obrazów posłużyło do utworzenia map zmian w pokryciu terenu dla całego obszaru Rezerwatu Biosfery Polesia Zachodniego. Weryfikacją oceny dokładności klasyfikacji było utworzenie kompozycji barwnych obrazów z dwóch terminów pozwalającej na wizualną ocenę efektów przeprowadzonego doświadczenia. Wykazano duże podobieństwo obu wyników detekcji zmian. Na tej podstawie można dodatkowo potwierdzić prawidłowość postępowania przeprowadzonego w niniejszym opracowaniu.

Wnioski

Na podstawie wyżej opisanego doświadczenia sformułowano szereg wniosków, które są podsumowaniem omawianego porównania metod (Adamczyk, Będkowski, 2005).

Metody obiektowe okazały się generalnie bardziej skuteczne w integracji danych od tzw. metod tradycyjnych. Pozwalają one na wykonywanie standardowych klasyfikacji obrazów, a dodatkowo oferują możliwości znacznego polepszenia efektów klasyfikacji w sytuacjach trudnych, dzięki zdolności systemu do „uczenia się” oraz operowaniu logiką rozmytą. Znacznie bardziej efektywne są również algorytmy klasyfikacyjne, które pozwalają na bardzo dokładne dopasowanie metody klasyfikacji do charakterystyk obiektów. Generalnie wydają się one być również lepsze w praktycznej integracji danych o różnych charakterystykach – rozdzielczości (czasowej, radiometrycznej, spektralnej), jakości i zasięgu.

Warto jednak zauważyć, że metody obiektowe posiadają pewne ograniczenia w stosowaniu. Nie są one dostępne w popularnym oprogramowaniu teledetekcyjnym, co powoduje, że ich stosowanie niesie za sobą wysokie koszty początkowe. Jak wykazało doświadczenie, korzystanie z metod obiektowych wymaga wysokiego poziomu wiedzy teledetekcyjnej. Próby uproszczenia procedur powodowały, że uzyskane efekty były gorsze, niż przy zastosowaniu metod „klasycznych”. Metoda ta jest zależna od subiektywności interpretacji prowadzonej przez człowieka ze względu na dużą liczbę arbitralnie wprowadzanych elementów. Oprócz tradycyjnych (wybór metody, obiektów testowych, odpowiednich kanałów i odpowiednie ich przygotowanie), człowiek ustawia również parametry segmentacji, definiuje hierarchię klas oraz dokonuje wyboru klasyfikatorów. Metoda obiektowa wymaga więc wysokiego poziomu orientacji w zależnościach występujących w strukturze przestrzennej krajobrazu badanego terenu.

Wyniki badań upoważniają do stwierdzenia, że „klasyczne” metody klasyfikacji można stosować w przypadku, gdy na danym obszarze występują obiekty (klasy) o charakterystykach spektralnych wyraźnie zróżnicowanych. Drugim warunkiem jest, aby obiekty te tworzyły duże powierzchnie o ostrych granicach, tj. bez rozległych stref przejściowych lub stref o dużej fragmentacji i mozaikowatości klas pokrycia (użytkowania) terenu. Są one popularne i łatwe w obsłudze – wymagają określenia niewielu parametrów (wybór metody, obiektów testowych, odpowiednio przygotowanych i odpowiednich kanałów). Metody „klasyczne” są stosunkowo mniej uzależnione od subiektywności interpretacji człowieka, co przy prostych obiektach stanowi zaletę.

W tych samych sytuacjach może również zostać zastosowane oprogramowanie eCognition, z podobnym, ale jednak lepszym skutkiem. W przypadku obiektów trudnych oprogramowanie eCognition jest jednak niezastąpione, jako metoda na pokonanie trudności związanych z niejednoznacznością obiektów oraz wydajne narzędzie do poruszania się w wielu różnych typach danych obrazowych.

Literatura

- Adamczyk J., 2005: Koncepcja systemu informacji przestrzennej o rezerwatach biosfery, *Roczniki Geomatyki*, Tom. III, zeszyt 1, PTIP Warszawa.
- Adamczyk J., Będkowski K., 2006: Opracowanie sposobu integracji archiwalnych obrazów teledetekcyjnych do celów wieloterminowych analiz przestrzennych, Sprawozdanie z realizacji grantu wewnętrznego, mat. niepublikowane, KULGiEL, Wydział Leśny, SGGW.
- Definiens Imaging, eCognition Users Guide, 2004 – dokumentacja oprogramowania.

Summary

A new method of object-based image classification is relevant in remote sensing and GIS. This approach allows to surmount several weaknesses of "classical" methods. It is also able to rival manual interpretation methods. The comparison of "classical" classification methods and object-based methods was performed as a part of a project aimed at elaboration of a method of integration of archival remote sensing images for the purposes of multitemporal analyses and possibly effective utilization of images contained in database Image 2000 integrated with other archive data. Different methods of "classical" approach were compared and also some variants of object-based approach were tested. Quality assessment of image classification indicated that object-based approach allows to obtain better results than the per-pixel method. It was also found that this method has some limitations, related, inter alia, to subjectivity of the operator interpretation of satellite images.

dr Joanna Adamczyk
Joanna.Adamczyk@wl.sggw.pl

dr hab. inż. Krzysztof Będkowski
Krzysztof.Bedkowski@wl.sggw.pl