

ZBIGNIEW BOCHENEK
ZENON F. POŁAWSKI

Zastosowanie zdjęć satelitarnych Landsat Thematic Mapper do klasyfikacji terenów miejskich

Zarys treści. Artykuł omawia przydatność obrazów satelitarnych rejestrowanych za pomocą skanera Thematic Mapper do analizy obszarów zurbanizowanych.

Od momentu umieszczenia na orbicie satelity typu Landsat stale wzrasta wykorzystywanie zdjęć satelitarnych w badaniach zasobów naturalnych Ziemi. Spowodowane jest to rozwojem technologicznym, umożliwiającym pozyskiwanie za pomocą satelitów coraz większej ilości informacji o środowisku geograficznym. Wprowadzenie na orbitę 16 lipca 1982 roku satelity drugiej generacji Landsat 4, dzięki zainstalowanym na nim urządzeniom, umożliwiło otrzymywanie zdjęć o zwiększonej rozdzielczości, podwyższonej dokładności radiometrycznej i większej kartometryczności. Dzięki dużej pojemności informacyjnej zdjęcia wykonane za pomocą skanera Thematic Mapper (TM) umieszczonego na pokładzie Landsata znacznie rozszerzyły możliwości badania różnych komponentów środowiska geograficznego.

Jednym z podstawowych problemów współczesności jest przeobrażenie naturalnego środowiska człowieka, co przejawia się między innymi powstawaniem nowych obszarów zurbanizowanych. Dotychczas nie przeprowadzono w Polsce szczegółowych badań krajobrazu osadniczego na podstawie zdjęć satelitarnych, co spowodowane było stosunkowo niską rozdzielczością otrzymywanych do tej pory zdjęć satelitarnych. Pozyskanie zdjęć satelitarnych nowej generacji zarejestrowanych za pomocą skanera TM spowodowało podjęcie próby oceny tego typu zdjęć do klasyfikacji terenów miejskich. Próba została wykonana w ramach prac prowadzonych w podproblemie „Teledetekcja”, koordynowanym przez CBK PAN.

Obiektem analizy była Jelenia Góra – 60-tysięczny ośrodek miejski, leżący u podnóża Karkonoszy. Charakteryzuje się on, podobnie jak wiele miast, złożoną strukturą przestrzenną. Różnorodność obiektów, które tworzą organizm miejski, wpływa na zróżnicowanie jednostki osadniczej tak pod względem morfologicznym, fizjonomicznym, jak i funkcyjnym.

Na zdjęciu satelitarnym elementy tej złożonej struktury przestrzennej miasta przedstawione są za pomocą różnych wartości odbicia spektralnego. Fakt ten sprawia, że analiza zdjęcia satelitarnego polega na znalezieniu i określeniu

ewentualnych związków między formami zagospodarowania przestrzeni zawartej w obrębie obszaru zurbanizowanego a ich odpowiednikami zarejestrowanymi w postaci pikseli na obrazie satelitarnym, czyli przyporządkowaniu każdemu pikselowi lub ich grupie odpowiedniej klasy terenowej.

Biorąc pod uwagę złożoną strukturę miasta analiza taka napotyka wiele trudności i aby ją usprawnić a zarazem uwiarygodnić, przeprowadzono na podstawie analizy fotointerpretacyjnej panchromatycznych zdjęć lotniczych w skali 1:17 000 wykonanych w 1982 r. klasyfikację terenu zurbanizowanego, wyznaczając następujące klasy miejskiego użytkowania ziemi:

1 – tereny zabudowy śródmiejskiej — duża koncentracja zabudowy zarówno niskiej, jak i wysokiej z towarzyszącą bogatą infrastrukturą miejską (parkingi, place, ciągi komunikacyjne),

2 – tereny zabudowy miejskiej i podmiejskiej – mniejsza koncentracja zabudowy, która ma często charakter willowy; budynkom towarzyszą ogrody i inne tereny zielone,

3 – tereny nowych osiedli mieszkaniowych – przewaga zabudowy wysokiej z charakterystyczną infrastrukturą,

4 – tereny przemysłowe,

5 – tereny zdegradowane,

6 – tereny parków i skwerów,

7 – ogrody działkowe.

Sporządzona na podstawie opracowania zdjęć lotniczych mapa zagospodarowania przestrzennego była podstawowym materiałem porównawczym dla analogowo-numerycznej analizy zdjęcia satelitarnego, łączącej wnioski z interpretacji analogowej z procesem klasyfikacji numerycznej.

Pierwszą, wstępną ocenę ilości informacji o terenach zurbanizowanych, jaką zawierają zdjęcia satelitarne nowej generacji, dokonano na podstawie interpretacji wizualnej. Materiałem wyjściowym do analizy były dane wielospektralne zarejestrowane 11 lipca 1984 r. przez satelitę Landsat 5. Na ich podstawie ze zdjęć zarejestrowanych w trzech zakresach spektrum (kanały 2,4 i 5) zostały utworzone kompozycje barwne w skalach 1:100 000 i 1:50 000, z wykorzystaniem wzmocnienia radiometrycznego zdjęć wykonanych w poszczególnych kanałach spektralnych w celu uwypuklenia elementów struktury przestrzennej miasta. Do porównania z mapą zagospodarowania przestrzennego opracowaną w skali 1:10 000 została wybrana kompozycja w skali 1:50 000, gdyż pomimo generalizacji niewielkich powierzchniowo elementów struktury miasta okazała się być wystarczająco dokładna do wykonania analizy porównawczej rozmieszczenia głównych klas miejskiego użytkowania ziemi. Kompozycja w skali 1:100 000 wykazywała zbyt duży stopień zgeneralizowania.

W wyniku analizy kompozycji barwnych wyróżniono następujące kategorie miejskiego użytkowania ziemi:

1 – tereny o dużej koncentracji infrastruktury miejskiej (zabudowa zwarta),

2 – tereny o słabej koncentracji infrastruktury miejskiej (zabudowa rozproszona),

- 3 – tereny zdegradowane,
- 4 – tereny zieleni uporządkowanej (parki, skwery)
- 5 – ogrody działkowe.

Porównanie wyników uzyskanych na podstawie analizy kompozycji barwnej z treścią mapy zagospodarowania przestrzennego wykazało, że tereny przemysłowe i obszary nowych osiedli mieszkaniowych nie zostały wyróżnione na zdjęciu w postaci odrębnych klas. Wynika to przede wszystkim z istoty wizualnej interpretacji zdjęć satelitarnych. W przypadku analizy fotointerpretacyjnej zdjęć lotniczych możemy rozpoznawać obiekty dzięki bezpośrednim i pośrednim cechom rozpoznawczym (np. struktura czy kształt obiektu). Wizualna ocena satelitarnego obrazu skanerowego bazuje natomiast na badaniu fototonu, a w przypadku kompozycji barwnej na analizie barwy. Ze względu na to, że barwa, w jakiej odwzorowują się tereny przemysłowe i obszary nowej zabudowy mieszkaniowej jest bardzo zbliżona do barwy charakterystycznej dla zabudowy zwartej, precyzyjne wydzielenie tych klas na podstawie analizy wizualnej było niemożliwe.

Interpretacja wizualna była pierwszym etapem analogowo-numerycznej analizy obrazu satelitarnego Landsat TM, zmierzającej do oceny jego użyteczności dla klasyfikacji obszarów zabudowanych. Wnioski z interpretacji wizualnej dały ważne wskazówki dotyczące szczegółowości rozpoznawania poszczególnych typów użytkowania ziemi, stanowiąc podstawę dla drugiego etapu analizy. W drugim etapie prac w celu dokonania pełnej, ilościowej oceny zawartości informacyjnej obrazu satelitarnego dla potrzeb klasyfikacji terenów miejskich postanowiono przeprowadzić analizę numeryczną danych wielospektralnych dla badanego obszaru.

W tym celu na mapie zagospodarowania przestrzennego dokonano wyboru pól treningowych reprezentujących siedem kategorii terenów miejskich oraz trzy inne klasy użytkowania ziemi (tereny rolnicze, lasy, wody). Powierzchnie te przeniesiono z mapy na obraz satelitarny stosując program transformacyjny opracowany w OPOLiS. Następnie w sześciu zakresach spektrum wyznaczono parametry statystyczne charakteryzujące poszczególne klasy pokrycia terenu (wartości średnie, odchylenia standardowe). Na ich podstawie dokonano oceny zmienności spektralnej dla danych klas metodą badania istotności różnic odbicia.

W wyniku tej oceny do klasyfikacji wybrano cztery zdjęcia wykonane w następujących zakresach spektrum: 1, 3, 4, 5. Analiza wielkości różnic odbicia dla poszczególnych klas wykazała podobne charakterystyki spektralne dla niektórych kategorii terenów miejskich. Zakłady przemysłowe oraz tereny nowej zabudowy mieszkaniowej charakteryzowały się szerokim pasmem odbicia spektralnego częściowo pokrywającym się z zakresem spektralnym terenów o zabudowie zwartej i rozproszonej.

Wnioski dotyczące nakładania się tych klas, otrzymane na podstawie analizy parametrów statystycznych, są zbieżne ze spostrzeżeniami, które wynikały z wizualnej analizy kompozycji barwnej.

Wyniki wstępnej analizy rozróżnialności klas na podstawie danych statystycznych oraz wyniki interpretacji analogowej obrazu satelitarnego stanowiły podstawę do rozpoczęcia drugiego etapu analizy numerycznej – klasyfikacji nadzorowanej. W tej fazie prac wyznaczono na mapie zagospodarowania przestrzennego pola treningowe, reprezentujące pięć kategorii miejskiego użytkowania ziemi, wyróżnionych w trakcie interpretacji wizualnej kompozycji barwnej, oraz obszary rolnicze, lasy i wody. Pola te zostały przeniesione z mapy na obraz za pomocą programu transformacyjnego. Następnie wyznaczono parametry statystyczne, charakteryzujące poszczególne klasy (wartości średnie, odchylenia standardowe), stanowiące podstawę do wykonania procesu klasyfikacyjnego. W wyniku klasyfikacji, przeprowadzonej metodą największego prawdopodobieństwa, powstał barwny obraz, w którym poszczególne barwy reprezentują osiem kategorii pokrycia terenu.

Finalnym etapem prac było wykonanie kontroli dokładności przeprowadzonej klasyfikacji. W tym celu dla poszczególnych klas wyznaczono zespoły pól testowych, które przeniesiono na obraz klasyfikacyjny. Dla każdego zespołu pól określono procentowe wskaźniki udziału powierzchni poszczególnych klas w granicach tych pól. W wyniku wykonania programu obliczeniowego utworzono tabelę charakteryzującą dokładność klasyfikacji wyznaczanych kategorii miejskiego użytkowania ziemi (tabl. 1).

Tablica 1

Klasyfikacja \ Teren	Zabudowa zwarta	Zabudowa rozproszona	Tereny zdegradowane	Tereny zieleni miejskiej	Ogrody działkowe	Obszary rolnicze	Nieklasyfikowane
Zabudowa zwarta	81%	12%	0%	0%	0%	0%	6%
Zabudowa rozproszona	2%	88%	0%	8%	1%	0%	1%
Tereny zdegradowane	0%	0%	87%	1%	5%	1%	5%
Tereny zieleni miejskiej	0%	7%	0%	83%	1%	3%	3%
Ogrody działkowe	1%	3%	1%	0%	87%	1%	5%
Obszary rolnicze	0%	0%	1%	5%	15%	75%	4%

Analiza tablicy wykazuje dokładność wyznaczenia pięciu miejskich kategorii pokrycia terenu średnio 85%. Szczegółowe przeanalizowanie wiarygodności klasyfikacji poszczególnych klas informuje o charakterze niezgodności z rzeczywistą sytuacją terenową, dając wskazówki do udoskonalenia procesu klasyfikacyjnego.

Zabudowa zwarta została wyznaczona z dokładnością 81%, przy czym, co jest pewną prawidłowością, przenikanie tej klasy następuje przede wszystkim z kategorią „zabudowa rozproszona”. Zwiększenie dokładności wyznaczenia zabudowy zwartej jest w głównej mierze związane z ustaleniem kryterium intensywności pokrycia terenu obiektami antropogenicznymi.

Zabudowa rozproszona oraz tereny zieleni miejskiej są klasami wyznaczonymi z dokładnością dość dużą (88% i 83%), jednakże częściowo nakładającymi się. Dokładność wyznaczenia obszarów zabudowy rozproszonej jest ściśle uzależniona od procentowego wypełnienia ich roślinnością – w przypadku zabudowy o charakterze willowym z dużym udziałem roślinności następuje zmieszanie z klasą terenów zielonych.

Tereny zdegradowane, będące fragmentami nowych osiedli mieszkaniowych lub zakładów przemysłowych z odkrytą glebą, zostały sklasyfikowane z dość dużą dokładnością (87%). Błąd ich wyznaczenia jest w głównej mierze spowodowany występowaniem niewielkich powierzchni o ekstremalnych wartościach odbicia, nie przyporządkowanych do żadnej z istniejących klas. Obszary rolnicze sklasyfikowano z dokładnością 75%, przy czym 15% tych obszarów zostało zaliczonych do klasy „ogrody działkowe”, charakteryzujących się ze względu na podobieństwo przyrodnicze zbliżonymi wartościami odbicia spektralnego.

Przeprowadzone badania wykazały przydatność stosowania obrazów satelitarnych, rejestrowanych za pomocą skanera Thematic Mapper do klasyfikacji obszarów miejskich o czym świadczy dokładność sklasyfikowania podstawowych kategorii miejskiego pokrycia terenu w granicach 80%. Potwierdziły także słuszność stosowania hybrydowej, analogowo-numerycznej analizy obrazu satelitarnego. Umożliwia ona w części analogowej określenie szczegółowości klasyfikacji (liczby wyznaczanych klas), zaś w części numerycznej przeprowadzenie ilościowej oceny rozróżnialności, wykonanie procesu klasyfikacyjnego i ocenę dokładności z wykorzystaniem pól testowych.

Dalsze prace nad udoskonaleniem klasyfikacji obszarów miejskich powinny przebiegać w dwóch kierunkach. Pierwszym z nich jest wykonanie analizy porównawczej szczegółowości i dokładności klasyfikacji tych obszarów na podstawie obrazów satelitarnych pochodzących z różnych terminów rejestracji. Istnieją bowiem przesłanki do wzbogacenia treści klasyfikacyjnej na podstawie analizy zdjęć zarejestrowanych poza okresem wegetacyjnym roślin.

Drugi kierunek prac to udoskonalenie numerycznych metod przetwarzania i klasyfikacji obrazów satelitarnych. Prace metodyczne powinny koncentrować

się na rozszerzeniu wachlarza sposobów przetwarzania danych w celu sporządzenia kompozycji barwnych oraz na wzbogaceniu analizy spektralnej danych analizą struktury i kształtu klasyfikowanych obiektów, co w przypadku obszarów miejskich może mieć niebagatelne znaczenie dla zwiększenia dokładności klasyfikacji.

Recenzował: doc. dr hab. inż. *Wojciech Bychawski*

Przyjęto do opublikowania w dniu 9 czerwca 1987 r.

ZBIGNIEW BOCHENEK

ZENON F. POŁAWSKI

APPLICATION OF LANDSAT THEMATIC MAPPER DATA TO CLASSIFICATION OF BUILT-UP AREAS

Summary

The authors of the presented paper consider the results of estimation the use of satellite photographs of a new generation Landsat Thematic Mapper for classifying the built-up areas. Town Jelenia Góra was the object of the analysis. This analysis has been carried out in two stages: through accomplishment of an interpretation of a visual colour composition, and through supervised classification. Comparison of the results obtained with the terrain investigations and cartographic materials revealed usefulness of the satellite photographs with increased resolution for classification of built-up areas. The accuracy of classification of 5 basic classes of the land cover, within the reach of 80%, evidences it. In the final part of the paper, the results of numerical classification – with giving proposals able to increase its accuracy – have been analyzed thoroughly.

Translation: *Regina Majewska*

ЗБИГНЕВ БОХЕНЕК

ЗЕНОН Ф. ПОЛАВСКИ

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ LANDSAT THEMATIC MAPPER ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Резюме

Статья представляет результаты работ, являющихся попыткой оценки пригодности космических изображений новой генерации Landsat Thematic Mapper для классификации городских территорий. Объектом анализа был город Еленя Гура. Этот анализ был проведен

в двух этапах: путем проведения визуального дешифрирования синтезированных изображений и классификации „с учителем”. Сравнение полученных результатов с полевыми исследованиями и картографическими материалами показало пригодность применения спутниковых изображений с повышенной разрешающей способностью для классификации городских территорий. Свидетельствует об этом точность классифицирования 5 основных классов городского землепользования в границах 80%. В заключительной части статьи проанализированы результаты цифровой классификации с представлением указаний служащих для повышения её точности.

Перевод: *Róża Tolstikowa*

