

ANDRZEJ CIOŁKOSZ, JACEK KOZAK

ROZWÓJ METOD KARTOWANIA UŻYTKOWANIA ZIEMI W POLSCE

Zarys treści: W artykule przedstawiono historię opracowań map użytkowania ziemi w Polsce, począwszy od mapy *Użycie ziemi* E. Romera. Skoncentrowano się na stale rosnącym znaczeniu zdjęć satelitarnych w opracowywaniu map użytkowania ziemi i pokrycia terenu, omawiając projekt CORINE Land Cover oraz możliwości automatycznej klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych.

Słowa kluczowe: użytkowanie ziemi, pokrycie terenu, teledetekcja

Początek kartowania użytkowania ziemi w Polsce wyznacza mapa *Użycie ziemi* opracowana przez E. Romera i zamieszczona w jego *Geograficzno-statystycznym atlasie Polski* wydanym w 1916 r. Mapa obejmuje obszar Polski w granicach przedrozbiorowych i przedstawia „nie tylko obraz ziemi rolnej w Polsce, ale wskazuje też za pomocą osobnych symbolów obszary szczególnie bogate i obszary szczególnie ubogie w lasy” (Romer 1916). W jej opracowaniu autor wykorzystał dane statystyczne zaczerpnięte z oficjalnych źródeł państw zaborczych (Mościbroda, Sirko 2004).

W okresie międzywojennym podejmowano wiele prób opracowania map użytkowania ziemi. W większości były one zamieszczane w tekście artykułów, choć niekiedy stanowiły oddzielne załączniki. Mapy te z zasady obejmowały niewielkie regiony. Wśród nich można wymienić *Mapę użycia ziemi w Karpatach Wschodnich* opracowaną przez W. Kubijowicza (1924), *Mapę gospodarczo-osadniczą pasterstwa w Tatrach* Z. Hołub-Pacwiczowej (1930), opublikowaną w tym samym roku *Mapę użytkowania ziemi zachodniego Polesia* w skali 1:500 000 E. Rühlego (1930), czy też mapę *Rozmieszczenie użytków rolnych* (na Podhalu) opracowaną przez S. Leszczyckiego (1938). W opracowywaniu tych map autorzy wykorzystywali przede wszystkim materiały statystyczne, topograficzne oraz plany katastralne, a także dane uzyskane podczas prac terenowych.

Po II wojnie światowej kraj stanął w obliczu olbrzymich zadań związanych z odbudową. W procesie odbudowy niezbędna była wielkoskalowa mapa gospodarcza. Utworzony w 1945 r. Główny Urząd Pomiarów Kraju, jako jedno z głównych zadań, ustalił opracowanie mapy gospodarczej. Mapa miała zostać wykonana w skali 1:5 000. Założenia opracowania takiej mapy przekroczyły jednak możliwości techniczne i kadrowe ówczesnej służby geodezyjnej. W ramach planu trzyletniego (1947–1949) wykonano mapy pokrywające zaledwie kilka procent powierzchni kraju.

Zbyt wolne tempo opracowania wspomnianej mapy oraz brak materiałów źródłowych zmusiły Główny Urząd Pomiarów Kraju do zmiany koncepcji mapy gospodarczej i zamiast niej postanowiono opracować mapę użycia powierzchni ziemi w skali 1:10 000. Założono też, że mapa (około 10 000 arkuszy) zostanie opracowana do końca 1955 r. Jednak i nad tą mapą prace przebiegały znacznie wolniej niż pierwotnie zakładano, co było spowodowane brakiem jednolitej osnowy geodezyjnej oraz materiałów źródłowych, którymi w większości miały być zdjęcia lotnicze. W połowie 1953 r., po opracowaniu około 2 000 arkuszy, dalsze prace nad nią zostały ostatecznie przerwane (Dudziński 1980).

Problematyka opracowania mapy użytkowania ziemi została jeszcze raz podjęta przez służbę geodezyjną w 1979 r., kiedy to Centralna Informacja Kartograficzna, analizując zapotrzebowanie na mapy tematyczne, ustaliła zbiory map niezbędne do realizacji podstawowych zadań gospodarki narodowej, a także planowania i zarządzania na różnych szczeblach administracji państwowej (Madzińska 1980). Wśród zestawu map przewidzianych do opracowania dla całego kraju znalazły się mapy użytkowania ziemi w skalach 1:25 000, 1:50 000 lub 1:100 000. Jednak poza opracowaniem wytycznych technicznych dla mapy użytkowania ziemi w skali 1:25 000 nie podjęto innych prac nad planowaną serią map użytkowania ziemi.

Problematyką kartowania użytkowania ziemi zajęli się również geografowie. Podjęli oni prace nad mapą użytkowania ziemi, która pozwoliłaby na oszacowanie strat, a jednocześnie mogłaby być wykorzystana przy odbudowie zniszczeń wojennych. Pierwszy projekt takiej mapy został zainicjowany przez K. Dziewońskiego. Wstępne założenia i metodę opracowania zdjęcia wykonał A. Jahn (1947). Materiałem źródłowym miały być mapy topograficzne w skali 1:25 000 oraz obserwacje terenowe. Jednak poza zrealizowanym stosunkowo niewielkim projektem pilotażowym nie podjęto żadnych prac w tym zakresie.

W połowie lat 50. XX w. K. Bromek dokonał niewielkiej modyfikacji instrukcji zaproponowanej przez A. Jahna w celu pełniejszego przedstawienia specyfiki terenów miejskich i opracował na jej podstawie mapy Krakowa i okolic (Bromek 1955). Próbę opracowania mapy użytkowania ziemi podjął również L. Ratajski (1965), ale mapy opracowane przez wspomnianych autorów nie zostały opublikowane, poza wycinkami zamieszczonymi w kilku artykułach.

W latach 1953–1956 ponownie podjęto próbę opracowania metody szczegółowej mapy użytkowania ziemi. Inicjatorem tej próby był K. Dziewoński we współpracy z J. Kostrowickim. Opracowali oni instrukcję określającą metody pracy terenowej, a także sposób kartograficznego przedstawienia użytkowania ziemi opracowali również kilka arkuszy map w skali 1:25 000 (Kostrowicki 1959). Badania użytkowania ziemi w oparciu o metody wypracowane przez K. Dziewońskiego i J. Kostrowickiego podejmowano między innymi w ośrodku krakowskim, w wybranych powiatach, poszerzając tematykę badań o związki

użytkowania ziemi z warunkami środowiska przyrodniczego (Guzik 1999). W szerszym zakresie badania użytkowania ziemi przeprowadzono w powiecie chrzanowskim (Guzik 1968). W kolejnych latach rozbudowywano instrukcję zdjęcia szczegółowego użytkowania ziemi, wprowadzając pozycje, które mogły być kartowane tylko w oparciu o szczegółowy wywiad terenowy. Odnosiło się to przede wszystkim do takich zagadnień, jak: stosunki własnościowe, struktura agrarna, agrotechnika, kierunki użytkowania gruntów ornych itp. Na podstawie tej instrukcji opracowano i opublikowano tylko jeden próbny arkusz w skali 1:25 000. Do 1970 r. sporządzono mapy dla obszaru 17 000 km², jednak ze względu na zbyt duże koszty nie udało się opracować mapy użytkowania ziemi dla całego kraju (Jankowski 1972). Wypracowane metody kartowania użytkowania ziemi adaptowano również do wielkoskalowych badań rolnictwa w południowej Polsce (Guzik 1999).

Pomimo wielu prób, nie udało się opracować szczegółowej mapy użytkowania ziemi obejmującej obszar całego kraju. Okazało się bowiem, że jest to przedsięwzięcie zbyt kosztowne i trudne do przeprowadzenia, tak od strony technicznej, jak i organizacyjnej. Z innego założenia wyszedł F. Uhorczak, proponując w 1952 r. opracowanie mapy użytkowania ziemi w Polsce metodą kameralną, na podstawie map topograficznych w skali 1:100 000. Posługując się tymi mapami wyznaczono pięć głównych typów użytków, mianowicie: wody, łąki i pastwiska, lasy, ziemię orną i osadnictwo. Kalki z zaznaczonymi formami użytkowania ziemi zostały następnie 10-krotnie zmniejszone fotograficznie. Najmniejszy rozróżnialny na mapie element przedstawiał obszar 1 ha i zajmował powierzchnię 0,1 mm×0,1 mm. Spośród pięciu form pokrycia terenu wszystkie, oprócz osadnictwa, zostały oddane wiernopowierzchniowo. Podczas wydzielania terenów zajętych przez osadnictwo rysowano wokół zabudowy ekwidystantę 50 m, by na finalnej mapie zachować szczegółowość wejściowych map topograficznych. Obraz przestrzennego rozmieszczenia wydzielonych form został opublikowany w postaci mapy w skali 1:1 000 000 obejmującej obszar całego kraju (ryc. 1). Mapa została również opublikowana w wersji przedstawiającej bądź poszczególne użytki, bądź zestawy zawierające 2, 3 lub 4 typy użytków (Uhorczak 1969).

We wszystkich wspomnianych próbach jako podstawowe źródło danych do opracowania map użytkowania ziemi wykorzystywano wielkoskalowe mapy topograficzne i rekonasans terenowy. Wprawdzie podjęto próby wykorzystania innych materiałów źródłowych, takich jak zdjęcia lotnicze, ale z przyczyn pozamerytorycznych nie były one udane.

Sytuacja zmieniła się wraz z otrzymaniem przez Instytut Geodezji i Kartografii pierwszych zdjęć wykonanych przez amerykańskiego satelitę Landsat, na którym był umieszczony skaner MSS. Zdjęcia te miały postać odbitek fotograficznych, na których w barwach nierzeczywistych był odwzorowany obszar Polski. Cały kraj został pokryty 28 zdjęciami w skali 1:250 000. Zdjęcia były wykonane w drugiej połowie lat 70. ubiegłego wieku. Ich rozdzielczość przestrzenna wynosiła 80×80 m. Na ich podstawie w toku wizualnej interpretacji wspomaganej aktualnymi mapami topograficznymi i rekonesansem terenowym wyznaczono 10 form użytkowania ziemi, przy czym najmniejszy wydzielony obszar miał powierzchnię 25 ha. W toku przygotowywania mapy do druku błędnie zostały zgeneralizowane wyniki interpretacji, co pozbawiło mapę wielu szczegółów. Mapa użytkowania ziemi opracowana na podstawie interpretacji zdjęć satelitarnych została wydana w skali 1:500 000 przez Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych

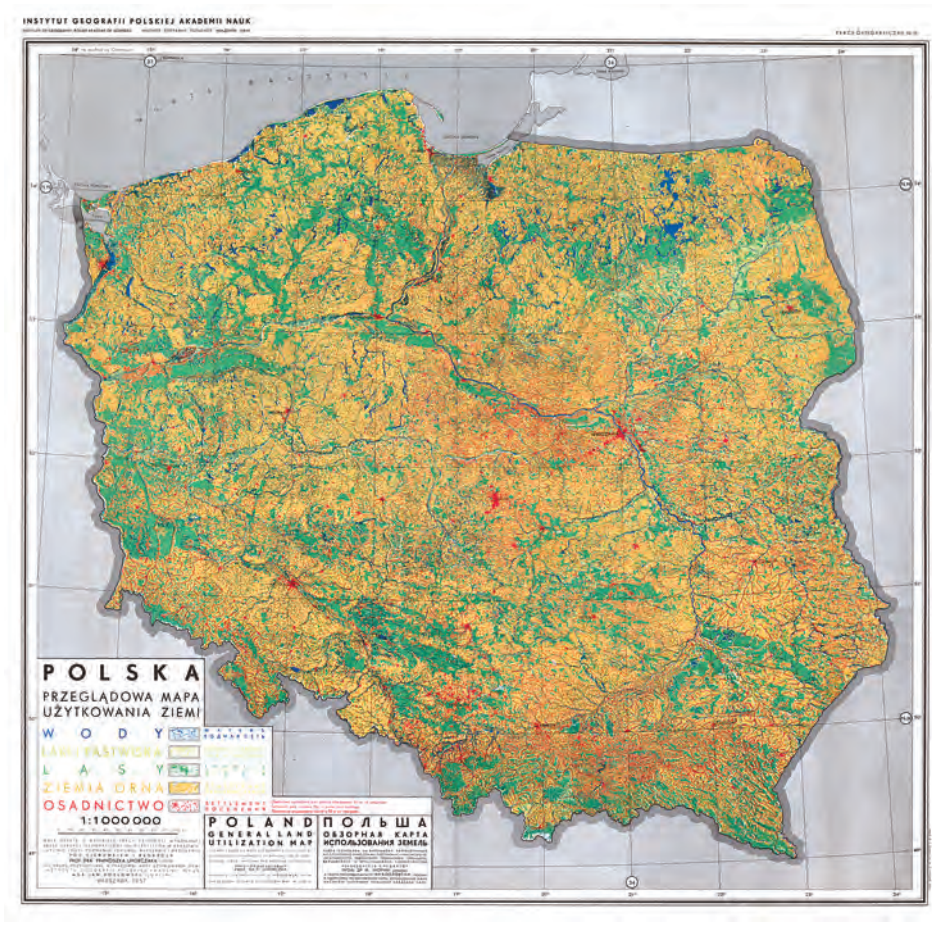
w 1980 r. (*Polska. Mapa użytkowania ziemi*, 1980). Była to druga mapa, w historii polskiej kartografii powojennej, przedstawiająca użytkowanie ziemi na terenie całego kraju (ryc. 2). Mapa ta była kanwą dla wielu innych opracowań obrazujących rozmieszczenie głównych form użytkowania ziemi w Polsce.

W 1991 r. Polska przystąpiła do programu Unii Europejskiej CORINE (Co-ordination of Information on Environment), realizując jeden z projektów tego programu, mianowicie Land Cover. Jego celem było opracowanie bazy danych o pokryciu terenu na obszarze Unii Europejskiej oraz 5 krajów kandydujących wówczas do UE. Źródłem danych, na podstawie których miała być opracowana baza danych, były zdjęcia wykonane z początkiem lat 90. ubiegłego wieku za pomocą skanera TM zainstalowanego na satelicie Landsat. Były to już zdjęcia dużo lepszej jakości pod względem technicznym, niż te wykonywane poprzednio za pomocą skanera MSS. Ich rozdzielczość przestrzenna wynosiła 30×30 m.

Zdjęcia satelitarne zostały doprowadzone do postaci fotomap w odwzorowaniu Gaussa-Krügera, w układzie współrzędnych prostokątnych płaskich 1942. Fotomapy, w postaci barwnych kompozycji, zostały wykonane w skali 1:100 000, w cięciu arkuszowym odpowiadającym mapom topograficznym w tej samej skali. Tak przygotowane materiały zostały poddane wizualnej interpretacji, a wyniki były zaznaczane na kalkach. Zgodnie z założeniami projektu CORINE Land Cover (CLC) interpretatorzy wyróżniali formy pokrycia terenu zgodnie z obowiązującą w projekcie jednolitą, trójstopniową legendą zaproponowaną przez tak zwany Zespół Techniczny. W wyniku uzgodnień ustalono 44 formy pokrycia terenu, z których 31 wystąpiło na obszarze Polski. W założeniach określono jednocześnie wielkość powierzchni najmniejszego wydzielenia na 25 ha, przy czym jego szerokość musiała być większa niż 100 m. Wyniki interpretacji zdjęć satelitarnych były w wielu punktach weryfikowane w terenie i sprawdzane przez dwa niezależne zespoły, których zadaniem było także maksymalne ujednoczenie rezultatów analizy zdjęć prowadzonej przez poszczególnych interpretatorów. Efektem pracy interpretatorów były kalki z ręcznie narysowanymi granicami poszczególnych wydzieleni i oznaczeniami kodowymi. Kalki te zostały następnie zamienione na postać cyfrową i wprowadzone do bazy danych. Efektem tego projektu była więc baza danych „pokrycie terenu” – CLC-90. Zawierała ona dane o pokryciu terenu na obszarze krajów Unii Europejskiej i 5 krajów Europy Środkowo-Wschodniej na przełomie lat 80. i 90. ubiegłego wieku.

Baza danych obejmująca obszar Polski została zwizualizowana i opublikowana w niewielkiej ilości egzemplarzy w skali 1:500 000 (ryc. 3). Wykorzystując tę bazę danych określono wielkość obszarów zajętych przez poszczególne formy pokrycia terenu, jak również ich udział w ogólnej powierzchni kraju. Baza ta po niewielkiej modyfikacji została zwizualizowana i w postaci mapy użytkowania ziemi w skali 1:1 500 000 opublikowana w *Atlasie Rzeczypospolitej* (Baranowski, Ciołkosz 1996).

Baza danych CLC-90 została bezpłatnie udostępniona wielu użytkownikom i wykorzystana, mimo licznych krytycznych uwag dotyczących głównie zbyt dużej powierzchni najmniejszego wydzielenia, do opracowania wielu map pochodnych, obrazujących różne zjawiska zachodzące w środowisku na tle pokrycia terenu.



Ryc. 1. Mapa użytkowania ziemi w Polsce opracowana pod kierunkiem Franciszka Uhorczaka

Figure 1. Land use map of Poland elaborated by Franciszek Uhorczak

Przydatność bazy danych CLC-90 do celów Wspólnej Polityki Rolnej UE oraz Polityki Środowiskowej prowadzonej przez Europejską Agencję Środowiska okazała się tak istotna, że po 10 latach, jakie upłynęły od chwili jej opracowania, przystąpiono do jej aktualizacji w ramach nowego projektu – CORINE Land Cover 2000 (CLC-2000). Chcąc zapewnić porównywalność obu baz danych, zdecydowano wykorzystać nowe zdjęcia wykonane także przez satelitę Landsat, lecz tym razem na przełomie XX i XXI w. Porównywalność baz danych wymagała również przyjęcia tych samych kryteriów wyznaczania form pokrycia terenu, które były stosowane w opracowaniu bazy CLC-90. A zatem zarówno zakres form pokrycia terenu, jak i wielkość minimalnej powierzchni kartowania pozostały niezmiennione.

Rozwój metod przetwarzania zdjęć satelitarnych spowodował, że tym razem w procesie ich analizy wykorzystano inną metodę, mianowicie nie stosowano już fotograficznych odbitek zdjęć, lecz interpretację prowadzono bezpośrednio na ekranie monitora. Ta metoda miała niezaprzeczalne zalety. Po pierwsze, pozwoliła na zmianę skalę analizowanych zdjęć, i to zarówno zwiększać ją, co pozwalało na dokładniejsze wyznaczenie granic poszczególnych form pokrycia terenu, jak też zmniejszać, co skutkowało możliwością analizy danej formy w kontekście innych form i ich wzajemnego powiązania. Po drugie, umożliwiła tworzenie kompozycji barwnych w taki sposób, aby najlepiej była widoczna i rozpoznawalna analizowana forma pokrycia terenu. A zatem można było korzystać ze wszystkich 6 zakresów widma, w których były wykonywane zdjęcia landsatowskie, ponadto zwiększono czytelność zdjęć, poprzez zastosowanie różnych technik radiometrycznego wzmacniania ich treści (np. zwiększanie kontrastu, filtrację cyfrową, wzmocnienie spektralne itp.). Analiza zdjęć na ekranie monitora umożliwiła również łatwe utrzymanie kryterium minimalnej wielkości wydzieleni, gdyż komputer od razu sygnalizował wyznaczenie zbyt małego poligonu.

Specjalnie opracowany program pozwalał na wyświetlanie na ekranie monitora jednocześnie dwóch obrazów. Po jednej stronie ekranu było wyświetlane zdjęcie satelitarne wykorzystane do opracowania bazy danych CLC-90, po drugiej zaś zostało wyświetlone nowe zdjęcie wykonane do celów opracowania nowej bazy danych (CLC-2000). Na oba zdjęcia została nałożona treść starej bazy danych (CLC-90), czyli linie oddzielające poszczególne formy pokrycia terenu oraz kody wydzielonych poligonów. Interpretator wizualnie porównywał przebieg poszczególnych wydzieleni, mając w podkładzie nowe zdjęcie, zaznaczał w bazie danych jedynie zaobserwowane zmiany. Czynił to tylko w przypadku, gdy zaszyły one na obszarze równym lub większym od 25 ha (Bielecka, Ciołkosz 2004a).

Połączenie bazy danych CLC-90 z zaznaczonymi zmianami określonymi na podstawie analizy nowych zdjęć satelitarnych dało w efekcie nową bazę CLC-2000. Ponieważ obie bazy zostały opracowane na podstawie zdjęć wykonanych przez tego samego satelitę, ponadto kryteria opracowania obu baz pozostały niezmiennie, dlatego możliwe stało się porównanie obu baz w celu określenia różnic wynikających ze zmian formy pokrycia terenu spowodowanych zarówno czynnikami naturalnymi, jak i antropogenicznymi w ostatniej dekadzie XX w. Przyjęcie stosunkowo dużego obszaru jako minimalnej powierzchni wyznaczania zmian form pokrycia terenu sprawiło, że porównanie obu baz danych wykazało różnice obejmujące zaledwie 0,81% ogólnej powierzchni kraju. Nowa baza zawierająca dane o pokryciu terenu w Polsce w 2000 r. została zwizualizowana

i opublikowana zaledwie w kilku egzemplarzach w skali 1:1 000 000 (Bielecka, Ciołkosz 2004b). Trzeba jednak zauważyć, że wobec znikomych różnic w pokryciu terenu między 1990 a 2000 r. nowa mapa praktycznie nie różni się niczym od poprzedniej.

Dziesięcioletni okres aktualizacji bazy danych „pokrycie terenu” okazał się jednak zbyt długi, jak na wymagania UE, dlatego postanowiono skrócić go do 5 lat. Ze względu na pewne trudności związane z wyborem satelity, który byłby w stanie zastąpić uszkodzonego Landsata, dopiero w 2006 r. rozpoczęto realizację kolejnego projektu CLC pod nazwą CLC-2006. Technologia opracowania nowej bazy danych w zasadzie nie różniła się od technologii wykorzystanej do opracowania poprzedniej bazy danych. Jedyną różnicę stanowiło źródło pozyskiwania danych. Wprawdzie były to także zdjęcia satelitarne, ale tym razem wykonane przez indyjskiego satelitę IRS oraz francuskiego SPOT-4. Zdjęcia wykonywane przez te satelity różniły się pod wieloma względami od zdjęć wykonywanych przez satelitę Landsat. Przede wszystkim miały większą rozdzielczość przestrzenną (23 m w przypadku zdjęć wykonanych z satelity IRS, i 20 m w przypadku zdjęć z satelity SPOT), inny dobór kanałów spektralnych, co sprawiało, że kompozycje barwne w wielu przypadkach odbiegały kolorystycznie od kompozycji tworzonych ze zdjęć landsatowskich. Aby ułatwić proces analizy zdjęć, a zwłaszcza zwiększyć wiarygodność rozpoznania poszczególnych form pokrycia terenu, postanowiono tym razem wykorzystać zdjęcia tego samego terenu wykonane w dwóch różnych okresach. Z reguły były one wykonane raz na wiosnę lub wczesnym latem, drugi raz na jesieni. Jednak z uwagi na warunki pogodowe dotrzymanie wspomnianych terminów nie zawsze było możliwe.

Podobnie jak poprzednio, podstawą analizy form pokrycia terenu było aktualne zdjęcie satelitarne wyświetlane na ekranie monitora. Na to zdjęcie były nałożone poligony i kody bazy danych CLC-2000. Porównując zdjęcie wykorzystane do opracowania bazy danych CLC-2000 i najnowsze zdjęcia satelitarne, interpretator zaznaczał tylko zmiany, wprowadzając je do „starej” bazy danych. Tym razem zmieniono nieco kryteria wyróżniania zmian. Jeżeli pojawiła się nowa forma pokrycia terenu, która nie graniczyła z inną o tym samym kodzie, to była ona zaznaczana tylko wówczas, gdy jej powierzchnia wynosiła co najmniej 25 ha. Jeżeli natomiast została zwiększona powierzchnia istniejącej formy, to wystarczyło, aby ten wzrost był równy 5 ha (lub oczywiście większy), aby ta zmiana została wprowadzona do nowej bazy danych.

Prace nad bazą CLC-2006 zostały zakończone i wkrótce zostanie ona udostępniona zainteresowanym. Baza danych nie została jeszcze zwizualizowana i wydrukowana w postaci mapy w tej samej skali, co dwie poprzednie, obrazujące pokrycie terenu w Polsce w 1990 i 2000 r. Porównanie bazy danych CLC-2000 i CLC-2006 wykazało jeszcze mniejsze różnice niż w poprzednim przypadku. Osiągnęły one zaledwie nieco większą wartość niż 0,5%. A zatem ewentualna nowa mapa praktycznie nie będzie się różniła od obu poprzednich.

Należy jeszcze raz podkreślić, że program CORINE Land Cover miał za zadanie dostarczyć informacji o pokryciu terenu na poziomie ogólnoeuropejskim, a nie krajowym. Dlatego najmniejsze pole kartowania – 25 ha, okazało się wystarczające na potrzeby UE, ale nie w pełni przydatne, jak na potrzeby poszczególnych krajów.

Zdjęcia satelitarne pozyskiwane za pomocą skanerów wielopasmowych są zapisywane w postaci cyfrowej. To sprawia, że analizę ich treści można przeprowadzać metodami

pozwalającymi na niemal automatyczne wydzielenie poszczególnych form pokrycia terenu. Jest to coraz częstsze podejście do badań pokrycia terenu, wykorzystujące zarówno bezpłatne zdjęcia satelitarne o rozdzielczościach przestrzennych rzędu 1 km (np. zdjęcia wykonane skanerami AVHRR, MODIS, Spot Vegetation), jak i rosnącą dostępność zdjęć satelitarnych o rozdzielczościach przestrzennych rzędu 20–30 m. Na przykład kilka lat temu NASA udostępniła obszerne bezpłatne archiwum skorygowanych geometrycznie zdjęć satelitarnych Landsat pozyskanych w trzech momentach czasowych, o pokryciu globalnym (Tucker i in. 2004).

Wypracowanie metod automatycznej klasyfikacji zdjęć satelitarnych stanowiło od wielu lat jeden z głównych nurtów badawczych teledetekcji, a liczba proponowanych rozwiązań jest imponująca. Do metod stosowanych od dłuższego czasu należą klasyfikacje nadzorowane (wzorcowe) i nienadzorowane (bezwzorcowe) oparte o analizę jaskrawości pikseli zdjęcia satelitarnego, traktowanego jako podstawowe pole klasyfikacji. Z czasem rozwinięto nowe podejścia, wśród których warto wymienić klasyfikacje prowadzone z wykorzystaniem sieci neuronowych, drzew decyzyjnych, podejścia obiektowe wykorzystujące różnorodne metody segmentacji obrazu satelitarnego, a także klasyfikacje rozmyte (Lu, Weng 2007).

Wiele z proponowanych metod ma charakter eksperymentalny. Część z nich została już w Polsce zastosowana do kartowania pokrycia terenu, ale z reguły na niewielkich obszarach i w ramach prac testowych, w czasie których najczęściej korzystano z jednej wybranej sceny satelitarnej. Przykładem takich prób mogą być prace dotyczące przydatności analizy obiektowej w tworzeniu map pokrycia terenu. Ten sposób klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych zastosował S. Lewiński (2007) do opracowania map pokrycia terenu w skali 1:100 000 obejmujących okolice Legionowa i Puław. W odróżnieniu od tradycyjnych metod klasyfikacji pikselowej w klasyfikacji obiektowej nie są analizowane pojedyncze piksele obrazu, lecz tzw. obiekty będące grupami pikseli spełniającymi ustalone warunki jednorodności. Wykonanie klasyfikacji obiektowej poprzedza proces segmentacji, po którym następuje rozpoznanie obiektów. W czasie segmentacji treść zdjęcia dzielona jest na obiekty o przebiegu granic mającym znaczenie dla analizowanego zjawiska. Następnie obiekty są rozpoznawane z zastosowaniem różnorodnych parametrów, które związane są nie tylko z wartościami pikseli tworzącymi poszczególne obiekty, lecz również z wielkością i kształtem obiektów oraz relacjami zachodzącymi między nimi. Stosowane algorytmy postępowania, charakteryzujące się wysokim stopniem złożoności, pozwalają na tworzenie baz danych o pokryciu i użytkowaniu ziemi, które pod względem granic wydzieleni oraz zakresem tematycznym są zbliżone do baz uzyskiwanych w toku tradycyjnej interpretacji wizualnej.

Automatyczne metody klasyfikacji są obecnie rzadko wykorzystywane w postaci czystej, będąc najczęściej łączone w ramach bardziej złożonych podejść klasyfikacyjnych, z reguły uzupełnianych dodatkowymi informacjami pochodzącymi z dostępnych cyfrowych warstw tematycznych, a także wiedzą ekspertów. Wdrożenie metod przetestowanych na niewielkim obszarze do tworzenia map pokrycia terenu rozległych obszarów, np. w skali całego kraju, wymaga również wypracowania sposobów łączenia scen satelitarnych w jedną mozaikę obejmującą większy obszar. Możliwe są tu dwa zasadnicze podejścia: dopasowanie spektralne sąsiednich scen satelitarnych, ich połączenie (zmozaikowanie)

w jeden obraz obejmujący cały badany obszar i następnie klasyfikowanie całego obrazu satelitarnego albo niezależne klasyfikowanie odrębnych scen satelitarnych, a następnie łączenie uzyskanych map tematycznych (Cihlar 2000).

Przykładem złożonej procedury zastosowanej do klasyfikacji zdjęć satelitarnych obejmujących znaczny obszar jest metoda wypracowana do utworzenia mapy lasów Karpat (Kozak i in. 2008). W podejściu tym przyjęto niezależne klasyfikowanie scen satelitarnych Landsat TM oraz ETM+, oparte o segmentację obrazów satelitarnych oraz metody parametryczne. Wzorce do klasyfikacji były pozyskiwane automatycznie z danych CORINE Land Cover. Dla poprawy jakości klasyfikacji obszarów wysokogórskich korzystano także z dodatkowych informacji (model wysokości SRTM). Powstała w ten sposób mapa lasów o minimalnej jednostce kartowania rzędu 1 ha, a więc o znacząco lepszej rozdzielczości przestrzennej niż dostępne dla regionu karpackiego dane CORINE Land Cover.

Skomplikowane podejścia klasyfikacyjne są stosowane także w projektach, których celem jest tworzenie globalnych map pokrycia terenu. Przykładami takich opracowań są Global Land Cover 2000 (*Institute...* 2009) oraz niedawno opublikowana mapa będąca efektem projektu GLOBCOVER w ramach programu GMES (Global Monitoring for Environment and Security) o rozdzielczości przestrzennej 300 m, wykonana na podstawie zdjęć otrzymanych za pomocą sensora MERIS (POSTEL 2009). Mapy obejmujące obszar całego globu są najczęściej dostępne w Internecie bez ograniczeń. Z uwagi na małą rozdzielczość oraz metodykę dostosowaną do skali całego globu nie powinny być stosowane w badaniach lokalnych i regionalnych, mogą natomiast być wykorzystywane do oceny zróżnicowania pokrycia terenu w skali kraju lub kontynentu.

Metody automatyczne, jakkolwiek mają szereg zalet, nie są pozbawione ograniczeń w porównaniu z metodami opartymi o wizualną analizę zdjęć. Po pierwsze, pozwalają one zwykle na wyróżnienie tylko kilku klas pokrycia terenu, o dobrze zaznaczonej odrębności spektralnej. Zwiększanie liczby klas prowadzi do rosnącej niepewności i błędów. Na przykład, dokładność wyznaczenia lasów na mapie Karpat (Kozak i in. 2008) została określona na 93–96%, rozszerzenie tej metody na kilka klas pokrycia terenu prowadzi jednak do spadku dokładności. Po drugie, uzyskanie informacji o użytkowaniu ziemi jest możliwe wyłącznie pośrednio, na podstawie relacji użytkowanie ziemi – pokrycie terenu. Po trzecie, klasyfikacja rozległych obszarów jest ciągle jeszcze poważnym przedsięwzięciem technicznym, z uwagi na objętość danych i wymogi sprzętowe niezbędne do ich przetwarzania. Niemniej, rosnąca ilość danych satelitarnych oraz rozwój technologii komputerowej przyczyni się zapewne do coraz szerszego stosowania tego podejścia w badaniach użytkowania ziemi w różnych skalach przestrzennych.

Literatura

- Baranowski M., Ciołkosz A., 1994, *Mapa Pokrycia Terenu w Polsce opracowana w ramach programu CORINE*, Fotointerpretacja w Geografii. Problemy Telegeoinformacji, 24, 28–37.
- Baranowski M., Ciołkosz A., 1996, *Użytkowanie ziemi 1:1 500 000*, [w:] *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, arkusz 81.1., Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Bielecka E., Ciołkosz A., 2004a, *Metodyczne i realizacyjne aspekty realizacji bazy CORINE Land Cover*. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, 50, 108, 73–96.
- Bielecka E., Ciołkosz A., 2004b, *Mapa pokrycia terenu w Polsce w skali 1:1 000 000 jako wynik wizualizacji bazy danych CLC-2000*. Polski Przegląd Kartograficzny, 36, 4, 276–289 (+ wkładka).
- Bromek K., 1955, *Opracowanie szczegółowej mapy użytkowania ziemi dla Krakowa*, Przegląd Geograficzny 27, 3–4.
- Cihlar J., 2000, *Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities*, International Journal of Remote Sensing 21, 1093–1114.
- Dudziński T., 1980, *Wielkoskalowe mapy gospodarcze – mapa zasadnicza*, [w:] Służba Geodezyjna i Kartograficzna GUGiK 1945–1980. Biuletyn Informacyjny IGIK, 24, 1–2, 88–94.
- Guzik C., 1968, *Użytkowanie ziemi w powiecie chrzanowskim*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 15, 61–94.
- Guzik C., 1999, *Geografia rolnictwa*, [w:] B. Kortus, A. Jackowski, K. Krzemień (red.), *Rozwój i dorobek nauk geograficznych w Uniwersytecie Jagiellońskim*, Instytut Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 359–382.
- Hołub-Pacewiczowa Z., 1930, *Mapa gospodarczo-osadnicza pasterstwa w Tatrach i mapa etnograficzna z zasięgiem wędrowek pasterskich i typów szalaśniczych 1:75 000*, Pamiętnik II Zjazdu Słowiańskich Geografów i Etnografów w Polsce w r. 1927, Kraków, 1.
- Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, 2008, *Global Land Cover 2000*, dostępne na: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/global-land-cover-2000>.
- Jahn A., 1947, *Studia nad użytkowaniem ziemi w Polsce. Stan dotychczasowych badań i projekt instrukcji*, Maszynopis powielany. Główny Urząd Planowania Przestrzennego.
- Jankowski W., 1972, *Mapy użytkowania ziemi w Polsce. Dorobek i perspektywy*. Polski Przegląd Kartograficzny, 4, 1, 14–26.
- Kostrowicki J. (red.), 1959, *Instrukcja szczegółowego zdjęcia użytkowania ziemi*, Dokumentacja Geograficzna, 2, 9–128.
- Kozak J., Estreguil C., Ostapowicz K., 2008, *European forest cover mapping with high resolution satellite data: The Carpathians case study*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10, 44–55.
- Kubijowicz W., 1924, *Rozmieszczenie kultur i ludności we Wschodnich Karpatach*. Krakowskie Odczyty Geograficzne, 7, 24, Kraków.
- Leszczycki S., 1938, *Region Podhala, podstawy geograficzno-gospodarcze planu regionalnego*, Prace Instytutu Geograficznego UJ, 20.
- Lewiński S., 2007, *Obiektowa klasyfikacja zdjęć satelitarnych jako metoda pozyskiwania informacji o pokryciu i użytkowaniu ziemi*, Wyd. Instytutu Geodezji i Kartografii, Seria monograficzna, 12.
- Lu D., Weng Q., 2007, *A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance*, International Journal of Remote Sensing, 28, 823–870.

- Madzińska A., 1980, *Mapy tematyczne dla gospodarki narodowej*, [w:] *Służba Geodezyjna i Kartograficzna GUGiK 1945–1980*, Biuletyn Informacyjny IGiK, 24, 1–2, 95–98.
- Mościbroda J., Sirko M., 2004, *Mapy społeczno-gospodarcze w atlasach Eugeniusza Romera. Eugeniusz Romer geograf i kartograf trzech epok*, [w:] *Studia i materiały z historii kartografii*, 19, 88–94, Biblioteka Narodowa, Warszawa.
- Polska. Mapa użytkowania ziemi. Skala 1:500 000*, 1980, opracowanie pod kierunkiem A. Ciołkosza. Warszawa, PPWK.
- POSTEL, 2009, *GLOBCOVER*, dostępne na: <http://postel.mediasfrance.org/en/PROJECTS/Preoperational-GMES/GLOBCOVER/>
- Ratajski L., 1965, *Polska kartografia ekonomiczna XX wieku*. Prace Geograficzne IG PAN, 49.
- Romer E., 1916, *Geograficzno-statystyczny atlas Polski*. Gebethner i Wolf, Warszawa–Kraków.
- Rühle E., 1930, *Użycie ziemi i rozmieszczenie ludności na zachodnim Polesiu*, *Wiadomości Służby Geograficznej*, 4, 229–263.
- Tucker C.J., Grant D.M., Dykstra J.D., 2004, *NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set*, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 70, 313–322.
- Uhorczak F., 1969, *Polska Przeglądowa Mapa Użytkowania Ziemi 1:1 000 000*. Prace Geograficzne IG PAN, 17, 19 oraz teczka z mapami.

Andrzej Ciołkosz, Jacek Kozak

History of land use and land cover mapping in Poland

Summary

The paper presents the history of land use and land cover mapping in Poland, starting from the early 20th century map *Użycie ziemi* elaborated by E. Romer. Later on, studies carried out for small regions in the inter-war period were briefly presented. The studies carried out after the World War II, especially those which were inspired and led by geographers, were described in detail. Increasing significance of remote sensing data for land use and land cover mapping has been emphasized. The first map of land use in Poland based on Landsat MSS images compiled by the Institute of Geodesy and Cartography has been presented. The information on subsequent editions of CORINE Land Cover databases has also been included in the article. The final part of the paper was dedicated to new methods of remote sensing data classification which allow to map land use and land cover over large areas.