

ZASTOSOWANIA TELEDETEKCJI I KARTOGRAFII W BADANIACH OBSZARÓW WIEJSKICH

**Andrzej CIOŁKOSZ¹⁾, Krystyna PODLACHA¹⁾,
Janusz OSTROWSKI²⁾**

¹⁾ Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

²⁾ Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Studiów Regionalnych Rozwoju Obszarów Wiejskich

Słowa kluczowe: mapy rastrowe, systemy informacji przestrzennej, teledetekcja, zdjęcia satelitarne

Streszczenie

W artykule przedstawiono wykorzystywanie informacji pozyskiwanych technikami bezkontaktowymi w kartowaniu użytkowania ziemi, rozpoznawaniu upraw odwzorowanych na zdjęciach satelitarnych, zastosowaniu teledetekcji satelitarnej do oceny stanu rozwoju roślin oraz prognozowaniu głównych upraw w Polsce. Zaprezentowano również zagadnienia związane z opracowywaniem map obrazowych, zdobywaniem informacji przestrzennych o glebach i innych elementach środowiska przyrodniczego oraz ich przedstawianiem w układzie pól odniesień przestrzennych. Omówiono też sporządzanie podkładów sytuacyjnych stanowiących tło do prezentowania treści map tematycznych oraz formy wizualizacji wyników badań kartograficznych wybranych elementów środowiska.

WSTĘP

Rozpoczęte we wczesnych latach sześćdziesiątych XX w. eksperymentalne loty satelitów Ziemi wykazały wielką przydatność zdjęć wykonywanych z wysokości orbitalnych do badania obiektów i zjawisk zachodzących na powierzchni globu ziemskiego. Badania te wymagały jednak większej liczby danych, dłuższego okresu ich gromadzenia oraz większej dostępności do zdjęć, aby przynieść wartościowe wyniki. Wówczas zrodziła się myśl, żeby wprowadzić na orbitę satelitę, który byłby przeznaczony przede wszystkim do badań zasobów naturalnych Ziemi. Wy-

Adres do korespondencji: prof. dr hab. A. Ciołkosz, Instytut Geodezji i Kartografii, ul. Modzelewskiego 27, 02-679 Warszawa; tel. +48 (22) 329-19-00, e-mail: ciołkosz@igik.edu.pl

strzelenie w połowie 1972 r. pierwszego satelity z serii Landsat zapoczątkowało erę operacyjnych satelitów środowiskowych, które od ponad 30 lat nieprzerwanie pozyskują i przesyłają do naziemnych stacji odbiorczych olbrzymią ilość danych, z których tylko część jest przetwarzana do postaci użytecznej w badaniu Ziemi i jej zasobów.

Już wkrótce po rozpoczęciu dystrybucji zdjęć wykonywanych przez satelitę Landsat Instytut Geodezji i Kartografii sprowadził zdjęcia pokrywające obszar całej Polski. Zdjęcia wykonane w skali 1:250 000 miały postać odbitek fotograficznych przedstawiających powierzchnię Ziemi w barwach nierzeczywistych. Przestrzenna rozdzielczość zdjęć umożliwiła odwzorowanie obiektów, których rozmiary wynosiły co najmniej 80×80 m, czyli zajmujących powierzchnię 64 arów. Zdjęcia te wykorzystano do opracowania mapy przedstawiającej stan użytkowania ziemi w Polsce pod koniec lat siedemdziesiątych XX w. Wizualna analiza zdjęć umożliwiła wydzielenie 10 rodzajów użytków, tj.: grunty orne, użytki zielone, lasy iglaste, lasy liściaste, lasy mieszane, tereny zabudowane, tereny przemysłowo-skladowe, nieużytki, zbiorniki wodne oraz wody płynące. Powierzchnia najmniejszego wydzielenia wyniosła 25 ha. Na mapie wydanej drukiem w skali 1:500 000 pokazano również rozmieszczenie obszarów rolniczych z przewagą gospodarki wielkoprzestrzennej [CIOŁKOSZ, POŁAWSKI, 1980].

Zwiększenie przestrzennej rozdzielczości zdjęć wykonywanych przez kolejne serie satelitów, a także rozwój metod i technologii ich przetwarzania i analizy sprawił, że Instytut Geodezji i Kartografii podjął się opracowania nowej mapy użytkowania ziemi w Polsce, na której wydzielono aż 19 sposobów użytkowania. Do opracowania tej mapy wykorzystano zdjęcia satelitarne o rozdzielczości przestrzennej 30×30 m wykonane przez satelitę Landsat skanerem TM. Najmniejsze obiekty widoczne na tych zdjęciach miały powierzchnię 9 arów, czyli ponad 7-krotnie mniejszą niż zdjęcia wykorzystane do opracowania pierwszej mapy. Mapa ta nie została opublikowana, lecz wyniki interpretacji zdjęć satelitarnych zamieniono na postać cyfrową i zgromadzono w bazie danych. Wykorzystano je wielokrotnie do opracowań map małoskalowych, a także do opracowania i opublikowania „Mapy rozmieszczenia lasów w Polsce” w skali 1:500 000 [BARANOWSKI, CIOŁKOSZ, 1994].

Kolejnym projektem, w wyniku którego opracowano mapę użytkowania ziemi w Polsce był projekt Unii Europejskiej CORINE Land Cover. Podobnie jak w poprzednim przypadku, materiałem źródłowym wykorzystanym do opracowania tej mapy były zdjęcia wykonane przez satelitę Landsat, tym razem w latach 1989–1992. Wprawdzie głównym celem projektu nie była mapa, lecz baza danych o pokryciu i użytkowaniu ziemi, niemniej jednak informacje zawarte w bazie danych zostały wykorzystane do opracowania mapy użytkowania ziemi w skali 1:1 500 000. Legenda przyjęta w tym projekcie zawiera 34 formy użytkowania terenu zgrupowane hierarchicznie w trzech poziomach:

- pierwszy, generalny – 5 form,
- drugi – 15 form,
- trzeci, najbardziej szczegółowy – 34 formy.

Sporządzenie bazy danych w zapisie numerycznym stworzyło możliwość określenia powierzchni zajętej przez poszczególne formy użytkowania ziemi, jak też określenie ich udziału w powierzchni całego kraju [BARANOWSKI, CIOŁKOSZ, 1997].

Informacje o przestrzennym rozmieszczeniu rolniczej przestrzeni produkcyjnej zostały wykorzystane w wielu badaniach podejmowanych przez Instytut Geodezji i Kartografii na rzecz rolnictwa. Wykorzystano je przede wszystkim w operacyjnym modelu oceny stanu roślin uprawnych [BOCHENEK, 1999], a także w modelach wyznaczających obszary, o niekorzystnych warunkach dla gospodarki rolniczej w Polsce [BIELECKA, 2002].

Współczesne osiągnięcia teledetekcji satelitarnej, wyrażające się zwiększeniem przestrzennej, spektralnej i radiometrycznej zdolności rozdzielczej zdjęć, a także częstości ich wykonywania, sprawiły, że stała się ona użytecznym narzędziem do pozyskiwania informacji także na potrzeby rolnictwa. Oprócz wyżej wspomnianych cech zdjęć satelitarnych, w przypadku rolnictwa ważna jest jeszcze jedna ich właściwość, tj. stosunkowo duży obszar odwzorowany na jednym zdjęciu. Ta właściwość umożliwia synoptyczne spojrzenie na przedstawioną na zdjęciu powierzchnię Ziemi. Zdjęcia wykonywane z wysokości orbitalnych, a także zdjęcia lotnicze znalazły zastosowanie w:

- rozpoznawaniu upraw i obliczaniu zajętego przez nie arealu,
- ocenie stanu roślin,
- prognozowaniu plonów,
- określaniu zbiorów,
- monitorowaniu susz rolniczych.

ROZPOZNAWANIE UPRAW I OKREŚLANIE AREALU

Właściwości odbicia spektralnego przez różne rośliny w poszczególnych zakresach widma elektromagnetycznego zarejestrowanego na zdjęciach satelitarnych oraz zróżnicowanie tekstury zdjęcia lotniczego odzwierciedlające przestrzenną zmienność szaty roślinnej stanowią podstawę badań nad możliwością rozpoznania upraw roślin rolniczych oraz określania zasięgu ich występowania metodami teledetekcji. Szczególnie przydatna do tego celu okazała się mikrofotometryczna metoda analizy zdjęć lotniczych lub satelitarnych oraz komputerowe metody przetwarzania zapisu cyfrowego.

Pierwsze próby wykorzystania teledetekcji w badaniach z zakresu rozpoznawania upraw w Polsce podjęto z końcem lat sześćdziesiątych XX w., wykorzystując w tym celu specjalnie wykonane zdjęcia lotnicze i ich analizę mikrofotome-

tryczną. Mimo uzyskania zadowalających wyników w rozpoznawaniu ważniejszych upraw odfotografowanych na zdjęciach panchromatycznych, wykonanych w okresie maksymalnego zróżnicowania jasności spektralnej roślin, metoda ta nie znalazła szerszego zastosowania, do czego przyczyniły się przede wszystkim znaczne trudności z dostępem do zdjęć lotniczych [CIOŁKOSZ, 1972].

Niemal dwadzieścia lat później kolejną próbę wykorzystania zdjęć lotniczych do oceny powierzchni upraw odfotografowanych na tych zdjęciach podjął Instytut Geodezji i Kartografii na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej. Badaniami objęto wówczas gminę Mława (woj. ciechanowskie), wykorzystując zdjęcia lotnicze, poddane obróbce mikrofotometrycznej. Wyniki rozpoznania ważniejszych upraw, sprawdzone dodatkowo w terenie, porównano z wynikami opublikowanymi w oficjalnych wydawnictwach, wykazując duże nieścisłości tych ostatnich. Metoda ta, aczkolwiek bardzo dokładna, okazała się jednak zbyt droga i zbyt pracochłonna do operacyjnego stosowania.

Następne prace z podobnego zakresu podjął Instytut Geodezji i Kartografii w ścisłej współpracy z Instytutem Melioracji i Użytków Zielonych w połowie lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Dotyczyły one opracowania zasad metodycznych sporządzania zespołu map fotograficznych w skali 1:5 000. Istota badań sprowadzała się do rozważenia dwóch podstawowych problemów:

- doboru treści nowopowstającej mapy fotograficznej, która umożliwiałaby wykonywanie badań i analiz niezbędnych do charakterystyki środowiska glebowo-przyrodniczego i kształtowania stosunków wodnych na użytkach rolnych;
- opracowania metody i technologii wizualizacji obiektów i zjawisk na mapach fotograficznych wynikających z łączenia dwóch odmiennych grafik pojawiających się w kompozycji treści mapy – obrazu lotniczego i obrazu kreskowego.

Do analiz i charakterystyki środowiska glebowo-przyrodniczego oraz rozpoznania potrzeb melioracji wykorzystywano w praktyce różne materiały źródłowe umożliwiające kojarzenie wzajemnych powiązań między ukształtowaniem terenu, rodzajem i gatunkiem gleb oraz warunkami wodnymi na badanym obszarze. Dużą część prac związanych z rozpoznaniem potrzeb melioracji użytków rolnych bazowała na pracochłonnych i kosztownych pracach terenowych. Wykonawca tych prac nie był w stanie dokładnie spenetrować każdego miejsca badanego obszaru. Dlatego też proponowany nowy typ mapy fotograficznej w założeniu miał na celu zgromadzenie informacji niezbędnych do przeprowadzenia badań terenowych w zakresie rozpoznania potrzeb melioracji gleb i oceny stanu środowiska oraz podania ich użytkownikowi w komunikatywnej formie kartograficznej, umożliwiającej przeprowadzenie studium terenu i ograniczenie prac terenowych do niezbędnego minimum. Kontroli podlegały te miejsca, które ze względu na typ gleby, ukształtowanie terenu, a także stosunki wodne wymagały sprawdzenia w terenie. Efektem badań było opracowanie technologii sporządzania następujących map:

- fotograficznej mapy sytuacyjno-wysokościowej,
- fotograficznej mapy środowiska glebowego,

- fotograficznej mapy gleb i użytkowania terenu,
- fotograficznej mapy urządzeń i wnioskowanych inwestycji melioracyjnych.

Omówione prace stanowiły pierwsze podstawy metodyczne opracowań kartograficznych, umożliwiających rozszerzenie badań nad charakterystyką środowiska glebowo-przyrodniczego, wykorzystujących jako część składową treść mapy, obraz zdjęcia lotniczego, rysunek rzeźby terenu oraz rysunek pokrywy glebowej i jej rolniczej charakterystyki [OSTROWSKI, 1991; PODLACHA, ZWIERZYŃSKI, KAROLAK, 1983].

W latach 1981–1985 Instytut Geodezji i Kartografii, wspólnie z Instytutem Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, przeprowadził badania nad określeniem struktury upraw w granicach dużych jednostek administracyjnych na podstawie zdjęć lotniczych. Jako pilotowy obiekt do badań wybrano województwo wrocławskie. Wyniki czteroletnich prac zaowocowały opracowaniem metody szacowania powierzchni głównych upraw, bazującej na materiałach kartograficznych (mapach glebowo-rolniczych zastosowanych do stratyfikacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej) i na zdjęciach lotniczych (wykorzystanych do identyfikacji roślin odfotografowanych na obszarach testowych). Do oszacowania powierzchni upraw w granicach jednostek administracyjnych wykorzystano zasady statystyki matematycznej. Wyniki oszacowania arealu głównych upraw (cztery zboża, ziemniaki, buraki cukrowe, trawy i rośliny paszowe) okazały się porównywalne z wynikami podanymi przez Główny Urząd Statystyczny [BYCHAWSKI, 1983; 1994].

W latach 1994–1996 Instytut Geodezji i Kartografii, również we współdziałaniu z Instytutem Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, wziął udział w realizacji projektu badawczego – „Regional Inventory”, będącego częścią europejskiego programu wykorzystania metod teledetekcji w rolnictwie – MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing). Jego celem było określenie powierzchni głównych upraw z wykorzystaniem metody opracowanej w krajach Unii Europejskiej bazującej na materiałach teledetekcyjnych. Metoda ta została nieco zmodyfikowana i dostosowana do polskich warunków. Modyfikacje można było stosunkowo łatwo wprowadzić, ponieważ metoda proponowana przez ośrodek naukowy Unii Europejskiej – Joint Research Centre – była koncepcyjnie bardzo zbliżona do opracowanej w naszym kraju niemal 10 lat wcześniej. Nowa metoda zakłada wykorzystanie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych do sporządzania mapy stratyfikacji obszarów rolniczych, utworzenie sieci obszarów testowych według kryterium jednoprocentowej reprezentacji obszarów rolniczych, przeprowadzenie terenowego uczytelnienia zdjęć lotniczych w celu identyfikacji odfotografowanych na nich upraw, wykorzystanie modelu matematycznego do określenia arealu poszczególnych upraw rozpoznanych na obszarach testowych. Do sporządzania mapy stratyfikacyjnej, oprócz aktualnych wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych, wykorzystano także nieco zgeneralizowaną mapę przydatności rolniczej gruntów opracowaną w Instytucie Upraw, Nawożenia i Gleboznawstwa. W wyniku realizacji wspomnianego projektu określono powierzchnię głównych upraw w pięciu woje-

wództwach położonych w centralnej Polsce. Oszacowanie powierzchni głównych typów upraw wyżej wymienioną metodą przeprowadzono w okresie maj–lipiec 1995 r. Wyniki oszacowania, wraz z podaniem dokładności wyznaczeń powierzchni, otrzymano w końcu lipca 1995 r. Zostały one porównane z wynikami uzyskanymi przez Główny Urząd Statystyczny. Stwierdzone różnice były statystycznie nieistotne [BOCHENEK i in., 1997].

OCENA ROZWOJU ROŚLIN W OKRESIE WEGETACYJNYM

Obecnie teledetekcja znajduje największe zastosowanie w badaniach nad oceną stanu i rozwoju roślin rolniczych w ujęciu przestrzennym. Przyczynił się do tego niewątpliwie szeroki dostęp do zdjęć wykonywanych przez satelity meteorologiczne serii NOAA. Mimo stosunkowo małej przestrzennej zdolności rozdzielczej tych zdjęć, wyrażającej się pikselem o wielkości 1000x1000 m, duża częstotliwość ich wykonywania oraz znikomy koszt pozyskiwania wpłynął na powszechność wykorzystania zdjęć satelitarnych serii NOAA do oceny stanu rozwoju roślin uprawnych.

Satelity serii NOAA wykonują zdjęcia za pomocą wielospektralnego radiometru AVHRR w kilku pasmach widma elektromagnetycznego, w tym w promieniowaniu widzialnym, oraz w bliskiej i dalekiej podczerwieni. Zdjęcia wykonane w dwóch pierwszych pasmach, tj. w widmie widzialnym i bliskiej podczerwieni są używane do tworzenia tak zwanych wskaźników zieleni, wykorzystywanych do wyróżniania na zdjęciach obszarów pokrytych roślinnością zieloną i oceniania jej kondycji. W wyniku licznych prac badawczych stwierdzono, że najlepsze wyniki w badaniach roślinności można uzyskać, posługując się tak zwanym prostym wskaźnikiem zieleni, który jest różnicą wartości promieniowania zarejestrowanego przez radiometr AVHRR w kanale podczerwonym i czerwonym, bądź tak zwanym znormalizowanym wskaźnikiem zieleni *NDVI*, który jest stosunkiem różnicy wartości promieniowania zarejestrowanego przez radiometr AVHRR w kanale podczerwonym i czerwonym do sumy wartości promieniowania zarejestrowanego w obu tych kanałach.

Drugi z wymienionych wskaźników jest powszechniej stosowany w badaniach roślinności, ponieważ uwzględniono w nim zmiany warunków oświetlenia, wpływu stoków i ekspozycji, a także inne zewnętrzne czynniki decydujące o wartości odbicia promieniowania przez roślinność. Wartości wskaźnika *NDVI* na obszarach pokrytych roślinnością są większe, ponieważ odbijają one dużo promieniowania podczerwonego i stosunkowo mniej widzialnego niż obszary niepokryte roślinnością. Duże odbicie promieniowania przez roślinność w podczerwonym zakresie widma jest związane z budową tkanki miękkiszowej roślin.

Wskaźnik zieleni *NDVI* znalazł szerokie zastosowanie w ocenie stanu roślin, zwłaszcza w początkowych fazach ich rozwoju. Jego wartość może być analizowana stosunkowo często w okresie wzrostu i rozwoju roślin uprawnych, poczynają

jąc od momentu zaniku pokrywy śnieżnej. Wówczas to duże obszary terenów rolnych są zupełnie pozbawione pokrywy roślinnej (pola przeznaczone pod zboża jare lub rośliny okopowe) bądź pokrycie to jest niewielkie i promienie odbijają się także od gleby. W takich warunkach wartość wskaźnika *NDVI* jest stosunkowo mała. W miarę wzrostu roślin i zasłaniania przez nie coraz większej powierzchni gleby roślinie też wartość wskaźnika *NDVI* aż do momentu przebarwienia roślin w wyniku ich dojrzewania i utraty chlorofilu, co w przypadku zbóż przypada na fazę kłoszenia.

Wartości wskaźników zieleni *NDVI* obliczone dla poszczególnych faz rozwoju roślin są porównywane ze stanem roślin uprawnych określanym w toku bezpośrednich obserwacji w terenie, a także uzyskanymi plonami. Gromadzenie w ciągu kilku-kilkunastu lat wartości wskaźników *NDVI* obliczonych dla danego obszaru umożliwia określenie ich przebiegu w ciągu całego okresu wegetacyjnego w różnych latach: dobrych, złych i przeciętnych z punktu widzenia rolnictwa i uzyskanych plonów. Porównanie wartości aktualnego znormalizowanego wskaźnika zieleni *NDVI* z wartością z wielolecia, określoną dla tego samego terminu obserwacji, daje możliwość jego oceny w wartościach względnych, tj. porównanie, czy aktualny wskaźnik *NDVI* jest mniejszy, równy czy też większy od średniego wskaźnika obliczonego dla lat, w których plony były średnie i ekstremalne. Obserwacja zmian wskaźników zieleni *NDVI* określanych np. co tydzień umożliwia także analizę zróżnicowania przestrzennego rozkładu warunków wzrostu roślin [DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA i in., 1998].

Wskaźnikiem opracowanym na podstawie pomiarów teledetekcyjnych charakteryzującym stan roślin jest wskaźnik wilgotności powierzchni czynnej¹⁾. Można go wyrazić albo stosunkiem ciepła jawnego do utajonego, albo niedoborem wody w warstwie korzeniowej roślin. W obu przypadkach, oprócz danych obliczonych ze zdjęć satelitarnych, niezbędne są także wyniki obserwacji takich parametrów meteorologicznych, jak temperatura powietrza, prędkość wiatru i saldo promieniowania [DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, 1995].

Zdjęcia satelitarne wykonane w dalekiej podczerwieni umożliwiają pomiar temperatury powierzchni czynnej, a więc gleby i pokrywającej ją roślinności. Wyłącznie na podstawie temperatury powierzchni czynnej nie można jednoznacznie określić kondycji roślin, ponieważ temperatura ta jest ściśle związana z warunkami meteorologicznymi, natomiast różnica między temperaturą roślin i temperaturą powietrza umożliwia wnioskowanie o warunkach wilgotnościowych powierzchni czynnej. Im mniejsza różnica, tym lepsze warunki wzrostu roślin, ponieważ mają one swobodny dostęp do wody, a więc mogą optymalnie się rozwijać. Im ta różnica jest większa, tym większy stres roślin wywołany niedoborem wody w glebie [DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, 1995].

Temperatura roślin, określona na podstawie zdjęć satelitarnych, może być także wykorzystana do szacowania wartości ewapotranspiracji. W tym przypadku

¹⁾ Powierzchnia terenu wraz z pokrywającą ją roślinnością rejestrowana przez skaner.

konieczne jest również wykorzystanie wyników pomiaru salda promieniowania na stacjach meteorologicznych. Wartość ewapotranspiracji świadczy również o dostępie roślin do wody, a tym samym o warunkach ich rozwoju. Wartość tę można określić dla każdego piksela reprezentującego roślinność, w związku z czym można też otrzymać informacje o przestrzennym zróżnicowaniu aktualnej ewapotranspiracji. Duża rozdzielczość czasowa zdjęć satelitarnych, czyli duża częstotliwość ich wykonywania, umożliwi analizę zmian ewapotranspiracji w ciągu okresu wzrostu i dojrzewania roślin, co pozwala na wnioskowanie o stanie roślin uprawnych.

Na podstawie zdjęć satelitarnych można opracować jeszcze jeden wskaźnik charakteryzujący stan roślin. Za jego pomocą określa się powierzchnię projekcyjną liści LAI ¹⁾. Wartość tego wskaźnika można obliczyć, znając wartości dwóch poprzednio wymienionych wskaźników – znormalizowanego wskaźnika zieleni $NDVI$ i wskaźnika wilgotności powierzchni czynnej. Analiza przestrzennej i czasowej zmienności wskaźnika LAI dostarcza najwięcej informacji o stanie roślin. W toku prac badawczych przeprowadzonych w Ośrodku Teledetekcji Instytutu Geodezji i Kartografii określono ścisłą zależność między wskaźnikiem powierzchni projekcyjnej liści, określonym ze zdjęć satelitarnych dla traw i pszenicy, a ilością plonów obu tych upraw [DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, 1995].

PROGNOZOWANIE PLONÓW

Prognozowanie plonów jest dotychczas najmniej rozwiniętą dziedziną zastosowań teledetekcji w rolnictwie. Badania realizowane w różnych krajach świata, w tym także w Polsce, dowiodły istnienia relacji między wskaźnikiem powierzchni projekcyjnej liści LAI , określonym w ściśle zdefiniowanej fazie rozwojowej roślin, a plonem niektórych upraw.

Znacznie powszechniej wykorzystuje się informacje pozyskane za pomocą zdjęć satelitarnych w modelach prognostycznych zasilanych do tej pory danymi z innych źródeł, przede wszystkim meteorologicznych. W krajach Unii Europejskiej stosowany jest model, zwany CGMS (Crop Growth Monitoring System). Model ten bazuje głównie na wynikach obserwacji meteorologicznych. Do modelu wprowadza się bieżące dane meteorologiczne, które łącznie z informacjami zgromadzonymi w bazie danych (historyczne dane meteorologiczne, dane z zakresu statystyki rolniczej, dane o glebach, kalendarzu fenologicznym i numerycznym modelu terenu) dają podstawy do wnioskowania o stanie upraw i prognozowania plonu. W najnowszej wersji modelu do uściślenia prognoz plonów wykorzystuje się informacje pozyskane ze zdjęć satelitarnych, przede wszystkim o wartości znormalizowanego wskaźnika zieleni i temperatury powierzchni czynnej.

¹⁾ Stosunek sumy powierzchni wszystkich liści pokrywających powierzchnię terenu do wielkości tej powierzchni.

Znacznie pełniejsze jest wykorzystanie informacji pozyskanych ze zdjęć lotniczych w amerykańskim modelu prognostycznym PROBE [DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, JANKOWSKI, FABER, 1998]. W tym modelu pierwotnie wykorzystywano także tylko dane meteorologiczne, lecz już w jego modyfikacjach zaczęto stosować wartości wskaźnika powierzchni projekcyjnej liści *LAI* i ewapotranspiracji, określanych na podstawie zdjęć satelitarnych. W najbliższym czasie rozpoczną się prace nad adaptacją tego modelu do warunków polskich.

OKREŚLANIE ZBIORÓW

Określenie zbiorów, czyli produkcji, jest proste, gdy znane są aktualny plon danej uprawy i zajęta przez nią powierzchnia. Niestety, teledetekcja, zwłaszcza w odniesieniu do Polski, nie jest w stanie dostarczyć odpowiednich informacji, przynajmniej dla większości upraw. Ogromne rozdrobnienie pól ornych i wielkie zróżnicowanie upraw sprawiają, że zdjęcia satelitarne jeszcze długo nie będą w stanie dostarczyć odpowiednio dokładnych informacji, na podstawie których będzie można oszacować wielkość produkcji danej uprawy. W związku ze znikomymi rozmiarami większości pól ornych w porównaniu z wielkością piksela zdjęcia satelitarnego, wykonanego skanerem AVHRR z satelitów NOAA, wskaźnik zieleni czy inne wskaźniki charakteryzujące stan upraw, są zawsze uśrednione dla większych obszarów – województw, może powiatów, a w najlepszym razie gmin. Jeszcze długo nie będą odnosiły się do poszczególnych pól ornych. W dającej się przewidzieć przyszłości zdjęcia satelitarne nie zastąpią rutynowych metod zbierania informacji w zakresie statystyki rolniczej, ale mogą je znakomicie uzupełnić, ograniczyć prace terenowe, czy je przyspieszyć.

Mimo tych nieco sceptycznych stwierdzeń, trzeba zauważyć, że pod koniec lat osiemdziesiątych XX w. została podjęta w Polsce próba wykorzystania teledetekcji satelitarnej do określenia produkcji pasz z trwałych użytków zielonych. W badaniach nad szacowaniem plonów wykorzystano zdjęcia wykonane przez satelity NOAA, a także satelitę środowiskowego Landsat. Zdjęcia wykonane przez tego ostatniego satelitę posłużyły wyłącznie do rozpoznania występowania trwałych użytków zielonych w Polsce. Ze względu na skalę opracowania przyjęto, że najmniejszym obszarem wyróżnianym na zdjęciu będzie 25 ha. W wyniku interpretacji zdjęć otrzymano mapę rozmieszczenia trwałych użytków zielonych w Polsce i jednocześnie określono ich powierzchnię. W dalszych pracach wykorzystywano już wyłącznie zdjęcia wykonywane przez satelity serii NOAA, a także wyniki obserwacji meteorologicznych, rejestrowanych na stacjach meteorologicznych. We wspomnianej pracy wykorzystano zdjęcia satelitarne wykonane trzy tygodnie przed sianokosami. Na podstawie tych zdjęć określono temperaturę radiacyjną traw i znormalizowany wskaźnik zieleni *NDVI*, łącząc te informacje z wynikami pomiarów temperatury powietrza, prędkości wiatru i salda promieniowania, pozyskano

informacje o wartości wskaźnika powierzchni projekcyjnej liści *LAI* i ewapotranspiracji z użytków zielonych na terenie całej Polski. W toku prac na poligonie testowym, za który przyjęto jedno z wielkich gospodarstw łąkarskich w Wielkopolsce, znaleziono relację między wartością wskaźnika *LAI* i masą zieloną. Ta masa została następnie określona dla każdego piksela zdjęcia satelitarnego, który pokrywał obszar trwałych użytków zielonych. Została zatem oszacowana wielkość produkcji na obszarze łąk odpowiadającym poszczególnym pikselom zdjęcia satelitarnego, znana też była liczba tych pikseli, czyli obszar trwałych użytków zielonych. Można więc było określić wielkość produkcji pasz z tych użytków. Na obszarze wspomnianego gospodarstwa łąkarskiego porównano wielkość produkcji pasz zielonych obliczoną na podstawie zdjęć satelitarnych i uzyskaną w wyniku zważenia traw po sianokosach. Ocena produkcji na podstawie zdjęć satelitarnych przeprowadzona trzy tygodnie przez sianokosami wykazała zbiory mniejsze od rzeczywistych o 300 kg z ha. Natomiast zbiory na terenie całej Polski obliczone na podstawie zdjęć satelitarnych były o 19% większe niż podane w oficjalnych statystykach [CIOŁKOSZ, DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, 1993].

Opracowaną metodę zastosowano operacyjnie w 1999 r. do określenia ilości plonów i zbiorów z użytków zielonych z pierwszego pokosu. Wyjątkowo bezchmurne niebo nad Polską 19 maja 1999 r. umożliwiło wykonanie przez satelitę NOAA zdjęć obejmujących obszar całego kraju. Wykorzystując zgromadzone w bazie danych informacje o rozmieszczeniu łąk oraz dane pozyskane przez satelitę NOAA, określono wskaźnik roślinny dla wszystkich łąk w Polsce, których powierzchnia jednostkowa przekraczała 1 km², a także temperaturę radiacyjną traw. Te informacje, uzupełnione o wyniki obserwacji z naziemnych stacji meteorologicznych, dały podstawy do obliczenia gęstości strumienia ciepła utajonego użytków zielonych, co z kolei umożliwiło określenie wskaźnika uwilgotnienia gleby. Na podstawie wskaźnika roślinnego oraz wskaźnika uwilgotnienia gleby określono inny parametr charakteryzujący roślinność, czyli powierzchnię projekcyjną liści, który wykorzystano do określenia biomasy ogólnej przeliczonej następnie na plon. Plon ten określono dla każdego piksela reprezentującego powierzchnię 1 km², w związku z czym można było określić zbiór zielonej masy z trwałych użytków zielonych. Uwzględniając przyrost zielonej masy w okresie między wykonaniem zdjęcia a sianokosami, oszacowano wielkość produkcji zielonki z pierwszego pokosu na obszarze całego kraju. Otrzymany wynik był o siedem procent większy niż podany w oficjalnych źródłach publikowanych przez GUS. Ten wynik świadczy o przydatności opracowanej metody do operacyjnego stosowania w praktyce [DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA i in., 2000].

KOMPUTERYZACJA PROCESU OPRACOWANIA MAP OBSZARÓW WIEJSKICH

Problem komputeryzacji procesu opracowania map na potrzeby racjonalnego wykorzystania przestrzeni rolniczej pojawił się w pracach badawczych wykonywanych wspólnie przez Instytut Geodezji i Kartografii oraz Instytut Melioracji i Użytków Zielonych już w połowie lat osiemdziesiątych XX w. Pierwszą znaczącą pracą z tego zakresu było opracowanie systemu TEMKART przeznaczonego do komputerowego sporządzania map tematycznych w różnych skalach w ujęciu regionalnym i ogólnokrajowym [PODLACHA, 1986]. System ten umożliwił przetwarzanie informacji pozyskiwanych ze źródeł kartograficznych i pozakartograficznych zakodowanych w sieci pól, stanowiących układ odniesienia przestrzennego, oraz stworzył podstawy do szybkiego dostarczania informacji o środowisku przyrodniczym w formie zobrazowań kartograficznych i ujęć tabelarycznych zawierających informacje o strukturze powierzchniowej prezentowanych elementów. W systemie przewidziano również możliwość dokonywania różnego rodzaju ocen i waloryzacji według założonych modeli oraz prezentowania wyników w formie map tematycznych. System ten został oprogramowany i sprawdzony na przykładzie byłych województw wałbrzyskiego i legnickiego [ZWIERZYŃSKI i in., 1985]. Zastosowano go także do oceny możliwości intensyfikacji produkcji pasz na trwałych użytkach zielonych w ujęciu gminy [FATYGA, OSTROWSKI, 1988]. W ramach regionalnych opracowań urzędniowo-rolnych wykonano 9 komputerowych map tematycznych, prezentujących tereny podatne na intensyfikację produkcji roślinnej, tereny o ograniczonej możliwości intensyfikacji produkcji roślinnej i tereny o warunkach uniemożliwiających intensyfikację produkcji roślinnej.

Kolejną pracą było opracowanie układu pól odniesienia przestrzennego przeznaczonego do gromadzenia, przetwarzania i wyprowadzania danych w formie map komputerowych sporządzanych w różnych systemach informacyjnych [PODLACHA, 1990]. Układ ten, definiowany przez współrzędne geograficzne, stwarza podstawy do komputerowego sporządzania map w dowolnych odwzorowaniach kartograficznych i powiązania ich z systemem map topograficznych. Układ pól odniesienia przestrzennego pomyślany jest jako element osnowy matematycznej map, umożliwiający:

- ścisłą lokalizację przestrzenną danych gromadzonych w bazie danych,
- odnoszenie danych do jednoznacznie określonych pól i dokonywanie na ich podstawie wszechstronnych analiz kartograficznych i wariantowego modelowania struktury obrazu kartograficznego na etapie przetwarzania informacji zawartych w bazie danych,
- odwzorowanie informacji w formie map tematycznych wspomaganych komputerowo.

Powyższe założenie wymagało nowego spojrzenia na funkcję pól odniesienia przestrzennego. Pola te dotychczas uznawano za jeden ze sposobów identyfikacji

przestrzennej informacji i ich zapisu, tymczasem pełnią one również bardzo istotną rolę nośnika informacji i to nośnika o strukturze dającej podstawy do bardzo łatwego przetwarzania informacji i przekazywania ich w formie komputerowych opracowań kartograficznych. Wymusza to dostrzeżenie roli pól odniesienia przestrzennego nie tylko w początkowej fazie zbierania informacji i wprowadzania ich do bazy danych, ale także na etapie badania, przetwarzania i przekazywania informacji kartograficznej z jednoczesną możliwością wzbogacenia jej wskaźnikami i ocenami liczbowymi. Zbudowany na powyższych zasadach układ pól odniesienia przestrzennego został zastosowany w kilku systemach informacyjnych o zasięgu krajowym i regionalnym oraz wprowadzony do tworzenia baz danych towarzyszących komputerowemu opracowaniu map, w tym między innymi:

- w systemie PROMEL-Z o właściwościach i rozmieszczeniu gleb i siedlisk łąkowych na tle użytkowania gruntów z uwzględnieniem występowania melioracji, który służy do uzyskiwania wskaźników oraz określania programowania melioracji i zagospodarowania użytków zielonych;
- w systemie PROMEL-R o właściwościach i rozmieszczeniu gleb ornych, ich przydatności rolniczej i użytkowaniu gruntów z uwzględnieniem występowania melioracji, umożliwiającym uzyskiwanie wskaźników i ocen, niezbędnych do programowania melioracji szczegółowych na gruntach ornych;
- do tworzenia bazy danych „Atlasu mokradeł Polski” [1995] w skali 1:300 000, zawierającego mapy mokradeł naturalnych i przeobrażonych oraz mapy roślinności mokradeł torfowych i nietorfowych; atlas ten – wydany przez Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach – sponsorowany był przez Ministerstwo Rolnictwa, Gospodarowania Środowiskiem i Rybołówstwa, Instytut Leśnictwa i Badań Przyrodniczych Holandii w ramach tematu „Charakterystyka i waloryzacja mokradeł i użytków zielonych w Polsce w aspekcie ochrony środowiska naturalnego” (1994–1995);
- do tworzenia bazy danych o rozmieszczeniu gleb marginalnych (1996–1998).

Wyjątkowa waga omawianego układu odniesienia przestrzennego polega na tym, że informacje topologicznie jednorodne raz zapisane w układzie pól odniesienia przestrzennego mogą być wykorzystywane wielokrotnie w różnych systemach, a baza danych przestrzennych dla terenu Polski może być tworzona drogą zespolenia informacji z różnych fragmentów kraju.

W połowie lat osiemdziesiątych XX w. Instytut Geodezji i Kartografii, wspólnie z Instytutem Melioracji i Użytków Zielonych, podjął badania nad opracowaniem metod i zasad generalizacji i agregacji treści rastrowych map komputerowych [OSTROWSKI, 1986a, b; PODLACHA, 1986]. Jest to najtrudniejszy problem występujący w procesie opracowania map, w tym zwłaszcza w tematycznej kartografii komputerowej.

Cały proces generalizacji ujęto w sztywne reguły i oparto na jednolitych zasadach normujących w sposób klarowny i jednoznaczny tok postępowania, związany z wyborem i uogólnieniem treści rastrowych map komputerowych [ZWIERZYŃSKI,

1992]. Wydzielono dwa odrębne etapy generalizacji – etap I – związany z zakładaniem rastrowej bazy danych opartej o sieć pól odniesienia przestrzennego, etap II – z automatyczną agregacją informacji zawartych w rastrowej bazie danych, dokonywaną przez łączenie rastrów w systemie czwórkowym w celu generowania przetworzonych danych po redukcji skali. Dla każdego etapu generalizacji ustalono odrębne zasady normujące proces wyboru i uogólnienia treści mapy. Dokonano oceny deformacji wynikających z generalizacji informacji zgromadzonych w rastrowej bazie danych. Badaniami objęto dziewięć podstawowych elementów powierzchniowych treści map z byłych województw wałbrzyskiego i legnickiego. Ocenie poddano zarówno powierzchnie poszczególnych elementów, jak i rodzaj ich deformacji w stosunku do rastrowej bazy danych. Powyższe badania umożliwiły określenie najwłaściwszej drogi postępowania w trakcie bezpośredniego zakładania rastrowej bazy danych oraz sposobu agregowania danych zawartych w tej bazie.

W połowie lat dziewięćdziesiątych XX w. Instytut Geodezji i Kartografii opracował model numerycznej mapy Polski w skali 1:200 000 traktowany jako uniwersalna osnowa topograficzna do prezentowania treści tematycznych map komputerowych. Z teoretycznego punktu widzenia treść i forma mapy podkładowej oraz treść i forma mapy tematycznej stanowią wspólną kompozycję obrazu kartograficznego, składającego się z odpowiednio dobranej treści podkładowej i treści tematu głównego, ujętych w odpowiednio spójnej grafice. Wychodząc z tych założeń, opracowano model numerycznej mapy podkładowej Polski, który umożliwia swobodny i szybki dobór treści różnorodnych podkładowych materiałów kartograficznych, służących między innymi do prezentowania treści map komputerowych charakteryzujących obszary wiejskie [WROCHNA, 2002].

W latach 1996–1998 model numerycznej mapy Polski zastosowano w prowadzonych wspólnie przez Instytut Geodezji i Kartografii i Instytut Melioracji i Użytków Zielonych badaniach związanych z tworzeniem bazy danych o rozmieszczeniu gleb marginalnych w skali kraju i regionów na podstawie kryteriów przyrodniczo-rolniczych. Pojęcie gleb marginalnych odnosi się do użytków rolnych, pozostających obecnie w użytkowaniu rolniczym lub w ewidencji gruntów, mających niską produktywność lub ograniczenia w zakresie produkcji zdrowej żywności, i ze względu na niekorzystne uwarunkowania przyrodnicze i antropogeniczne mogą lub powinny być przekwalifikowane na inną formę użytkowania. Udział marginalnych użytków rolnych w wielu regionach kraju jest duży, co rzutuje na strategię gospodarowania rolniczą przestrzenią produkcyjną. Powstał więc problem ich inwentaryzacji w ujęciu regionalnym i krajowym poprzez wykorzystanie istniejącej dokumentacji kartograficznej z zastosowaniem techniki komputerowej. Przyjęto założenie, że do tego celu zostaną wykorzystane istniejące materiały kartograficzne sporządzone w różnych odwzorowaniach, w tym także niekartometryczna mapa glebowo-rolnicza, natomiast mapy wynikowe będą generowane w skali 1:200 000 w układzie współrzędnych „1942”, umożliwiającym transfer danych do układu współrzędnych o międzynarodowym standardzie.

Baza danych o glebach marginalnych została zdefiniowana jako baza służąca do gromadzenia danych przestrzennych według określonego układu pól odniesienia przestrzennego, a także ilościowych i jakościowych charakterystyk przyrodniczych lub użytkowych, niezbędnych do zidentyfikowania i prezentacji rozmieszczenia gleb i siedlisk marginalnych oraz do inwentaryzacji ich struktury powierzchniowej. Badania związane z założeniem bazy danych o rozmieszczeniu gleb marginalnych w skali kraju i regionów stanowiły istotną część projektu zamawianego przez Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej pt. „Racjonalizacja wykorzystania gleb marginalnych” i finansowane były przez Komitet Badań Naukowych. Efektem pracy są zasady tworzenia bazy danych o glebach marginalnych, oprogramowanie systemu przetwarzania danych zgromadzonych w bazie danych, określenie struktury zasobów informacyjnych bazy danych i wykorzystanie jej do tworzenia i generowania tematycznych opracowań kartograficznych z zakresu gleb marginalnych oraz użytkowania i przydatności rolniczej gleb. W dziedzinie kartografii zaprezentowano konkretne rozwiązania graficzne przedstawiania treści map tematycznych ze szczególnym uwzględnieniem tematu wiodącego, dotyczącego marginalizmu użytków rolnych oraz użytkowania i przydatności rolniczej gleb. Praca ma istotne znaczenie poznawcze i praktyczne. Dotyczy ona ważnego problemu związanego z określeniem miejsca, roli i znaczenia kartograficznego przekazu danych dotyczących warunków glebowych w systemie informacji o środowisku oraz tworzeniu podstaw nowoczesnego systemu informacji geograficznej. Wyniki badań zostały sprawdzone praktycznie. Podstawowa warstwa tematyczna zawierająca informacje o pokrywie glebowej i użytkowaniu gruntów została założona dla trzynastu byłych województw, w tym dla czterech z nich założono kompletną bazę danych, umożliwiającą identyfikację i kartograficzną prezentację wszystkich wyróżnionych gleb i siedlisk marginalnych wraz z oszacowaniem powierzchni ich występowania [OSTROWSKI, PODLACHA, 2000].

Rozważa się kontynuację współpracy zmierzającej do opracowania metody przekształcenia rastrowego sposobu zapisu informacji przestrzennych zawartych w bazie danych o glebach marginalnych w system zapisu wektorowego spójnego z zapisem treści sytuacyjnej podkładu kartograficznego. Przekształcenie rastrowego zapisu informacji w powszechnie stosowany zapis wektorowy umożliwi bardzo szybkie wykorzystanie zgromadzonych danych, ułatwi sporządzanie kartograficznych opracowań tematycznych i prezentowanie ich w takiej postaci, do której większość użytkowników jest przyzwyczajona.

PERSPEKTYWY ROZWOJU ZASTOSOWAŃ TELEDETEKCJI I KARTOGRAFII W BADANIACH OBSZARÓW WIEJSKICH

Przedstawione wyżej kierunki zastosowań technik teledetekcyjnych oraz komputerowej kartografii tematycznej stwarzają nowe możliwości badania obszarów

wiejskich oraz dynamiki zjawisk i procesów w nich zachodzących. Dotyczy to zwłaszcza:

- monitorowania zmian jakościowych i strukturalnych przestrzeni rolniczej oraz stanu jej użytkowania i zagospodarowania;
- przejścia od modelowania statycznego do dynamicznego procesów i zjawisk występujących w obszarach wiejskich;
- rozszerzenia zakresu waloryzacji i analiz przestrzennych związanych z przekształceniami użytkowania terenów rolnych;
- nowego podejścia do kształtowania krajobrazu i urządzania obszarów wiejskich za pomocą modelowania przestrzennego z użyciem teledetekcyjnych i kartograficznych technik wirtualnych;
- usprawnienia technik sterowania przestrzenną korektą warunków wodnych w produkcji roślin rolniczych;
- dynamiki rozwoju degradacji gleb spowodowanej czynnikiem wodnym (zmywy powierzchniowe i rozwój erozji);
- inwentaryzowania dewastacji obszarów wiejskich spowodowanej niewłaściwym składowaniem odpadów oraz odkrywkowym pozyskiwaniem kopalin, a także stanu rekultywacji terenów zniszczonych;
- dynamiki przekształceń struktury przestrzennej szaty roślinnej, w tym tempa zarastania odłogowanych gruntów rolnych;
- monitoringu rozprzestrzeniania się chorób roślin rolniczych lub ich uszkodzeń przez szkodniki;
- rejestracji przestrzennych skutków gospodarowania zasobami w obszarach wiejskich.

Podane przykłady nie wyczerpują listy zastosowań teledetekcji i kartografii w badaniach obszarów wiejskich, zważywszy zwłaszcza, że dynamiczny rozwój tych narzędzi badawczych będzie stwarzał nowe możliwości dokumentowania stanu i zmian poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego oraz efektów jego przekształceń, ochrony i użytkowania.

LITERATURA

- Atlas mokradeł Polski, 1995. Falenty: IMUZ ss. 116.
- BARANOWSKI M., CIOŁKOSZ A., 1994. Mapa pokrycia terenu w Polsce opracowana w ramach programu CORINE. Fotointerpretacja w Geografii. Probl. Telegeoinform. nr 24 s. 28–37.
- BARANOWSKI M., CIOŁKOSZ A., 1997. Opracowanie bazy danych „pokrycie terenu Polski”. Pr. IGiK t. 44 z. 95 s. 7–25.
- BIELECKA E., 2002. Metoda wyznaczania obszarów o niekorzystnych warunkach dla gospodarki rolnej z wykorzystaniem systemu informacji przestrzennej. Ser. Monogr. nr 5. Warszawa: IGiK ss. 81.
- BOCHENEK Z., 1999. Operacyjne wykorzystanie zdjęć satelitarnych NOAA AVHRR do oceny warunków rozwoju upraw w Polsce. Fotointerpretacja w geografii. Probl. Telegeoinform. nr 29 s. 3–13.

- BOCHENEK Z., CIOŁKOSZ A., FABER A., FILIPIAK K., 1997. Regional inventory in Poland. Statistics in transition. J. Pol. Statist. Assoc. vol. 3 no 1 s. 109–122.
- BYCHAWSKI W., 1983. Teledetekcyjna metoda oceny struktury zasiewów w granicach dużych jednostek administracyjnych. Pr. IGiK t. 30 z. 2 s. 3–15.
- BYCHAWSKI W., 1994. Polska metoda szacowania struktury upraw. Pr. IGiK t. 41 z. 89 s. 97–112.
- CIOŁKOSZ A., 1972. Analiza struktury zasiewów na podstawie zdjęć lotniczych. Pr. Geogr. nr 91 s. 7–50.
- CIOŁKOSZ A., DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., 1993. Wykorzystanie teledetekcji satelitarnej do szacowania produkcji trwałych użytków zielonych. Pr. IGiK t. 40 z. 1 s. 85–102.
- CIOŁKOSZ A., POŁAWSKI Z., 1980. Mapa użytkowania ziemi w skali 1:250 000 sporządzona za pomocą wizualnej klasyfikacji treści obrazów satelitarnych. W: Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego. Pr. zbior. Red. A. Ciołkosz. Warszawa–Łódź: PWN s. 282–292.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., 1995. Szacowanie ewapotranspiracji, wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarnych NOAA. Pr. Geogr. nr 165 ss. 81.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., JANKOWSKI R., FABER A., 1998. Preparation of MERA agrometeorological databases, test of WOFOST and PROBE models in Poland. EU Proc. PHARE, MARS and MERA Results Conf. Space Applications Inst. Ispra: Join Research Centre s. 291–300.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., KOGAN F., CIOŁKOSZ A., GRUSZCZYŃSKA M., 1998. The results of crop condition assessment and yield prediction in Poland using NOAA polar orbiting satellites. Information for sustainability. Proc. 27th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Tromsø: Norwegian Space Centre s. 814–817.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., OSTROWSKI J., KOZŁOWSKA T., CIOŁKOSZ A., STANKIEWICZ K., BOCHENEK Z., 2000. Szacowanie plonów z użytków zielonych w skali regionalnej z zastosowaniem teledetekcji satelitarnej. Bibl. Wiad. IMUZ nr 95 ss. 111.
- FATYGA J., OSTROWSKI J., 1988. Ocena możliwości intensyfikacji produkcji pasz w ujęciu gminy. Orzecznictwo Ekonomiczne 48/JG/PF/88. Wrocław: Okręg. Ośr. Rzeczozn. i Doradztwa Rol. maszyn. ss. 54.
- OSTROWSKI J., 1986a. Koncepcja automatycznej redakcji map tematycznych w systemie TEMKART. Pr. IGiK t. 33 z. 2. s. 19–31.
- OSTROWSKI J., 1986b. Generalizacja w procesie tworzenia map tematycznych w systemie TEMKART. Pr. IGiK t. 33 z. 2 s. 33–61.
- OSTROWSKI J., 1991. Wykorzystanie fotointerpretacji w opracowaniu koncepcji systemów melioracyjnych. W: Drainage des sols lourds. Pr. zbior. Red. J.C. Farrot. Actes du colloque franco-polonais sur le drainage 16 au 20 décembre 1991, La Rochelle. Montpellier: INRA s. 7–14.
- OSTROWSKI J., PODLACHA K., 2000. Mapy tematyczne generowane z bazy danych o glebach marginalnych. Pr. IGiK t. 47 z. 100 s. 121–152.
- PODLACHA K., 1983. Jednolita sieć pól podstawowych jako układ odniesień przestrzennych do kodowania informacji w systemie PROMEL. Pr. IGiK t. 30 z. 1 s. 61–78.
- PODLACHA K., 1986. Kartograficzny system TEMKART dla komputerowego sporządzania map tematycznych. Pr. IGiK t. 33 z. 2 s. 3–18.
- PODLACHA K., 1990. Kompozycja układu odniesienia przestrzennego w systemie informacji geograficznej na przykładzie systemu SINUS. Pr. IGiK t. 37 z. 1–2 s. 11–48.
- PODLACHA K., ZWIERZYŃSKI J., KAROLAK A., 1983. Technologia opracowania fotograficznej mapy środowiska glebowo-przyrodniczego. Warszawa: IGiK maszyn. ss. 19.
- WROCHNA A., 2002. Cyfrowa mapa podkładowa Polski i jej wykorzystanie do sporządzania map tematycznych obszarów wiejskich. Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 2 z. 2 (5) s. 181–190.
- ZWIERZYŃSKI J., 1992. Generalizacja elementów powierzchniowych w procesie sporządzania rastrowych map komputerowych. Pr. IGiK t. 39 z. 1 s. 101–125.

ZWIERZYŃSKI J., OSTROWSKI J., OSTROWSKA M., MAĆKOWIAK T., 1985. Ekspertyza kodowania danych kartograficznych w systemie TEMKART na przykładzie wybranych gmin woj. legnickiego i wałbrzyskiego. Warszawa: ZG SGP. Zesp. Rzeczozn. ss. 45.

Andrzej CIOŁKOSZ, Krystyna PODLACHA, Janusz OSTROWSKI

**THE APPLICATION OF REMOTE SENSING AND CARTOGRAPHY
IN STUDY OF RURAL AREAS**

Key words: geographical information system, raster map, remote sensing, satellite images

S u m m a r y

Application of remote sensing data in mapping the land use, recognizing crops, assessing crop growth and forecasting cereal yield on the basis of satellite images have been presented in this article. Preparation of aerial photo maps, gaining information on spatial distribution of soils and other elements of natural environment have also been considered in the paper. The authors dealt with the problem of presentation of geographical data in a grid form and with the preparation of basic maps for different types of thematic maps. Forms of visualizing the results of cartographic studies of some geographical elements are also discussed in the paper.

Recenzenci:

prof. dr hab. Stanisław Białousz

prof. dr hab. Stanisław Drupka

Praca wpłynęła do Redakcji 16.01.2004 r.

