

ZENON F. POŁAWSKI

**KARTOGRAFICZNA PREZENTACJA WYNIKÓW TELEDETEKCYJNEGO
MONITORINGU ŚRODOWISKA (NA PRZYKŁADZIE SUDETÓW ZACHODNICH)**

ZARYS TREŚCI. W artykule omówiono zagadnienie wykorzystania informacji pozyskiwanych za pomocą teledetekcji w skomputeryzowanym systemie monitoringu o rastrowej bazie danych. Szczególną uwagę zwrócono na problem doboru wielkości rastra (wielkości pola podstawowego), sposób kartograficznej prezentacji wybranych informacji o środowisku i jego zmianach.

1. Teledetekcyjny monitoring środowiska

Dynamika ujemnych zmian środowiska wskazuje stały, niepokojący wzrost. Od wielu lat obserwujemy zjawisko pogłębiania się degradacji środowiska przyrodniczego, a szczególnie powietrza, wody i gleby. Narastające tempo degradacji środowiska, zarówno w skali całego globu, jak i w skalach regionalnych, stworzyło konieczność zorganizowania systemów ciągłej obserwacji działalności człowieka, oceny skutków tej działalności, jak i prognozowania zmian jakie ta działalność może wywołać.

Ten proces obserwacji i pomiarów stanu poszczególnych elementów środowiska, analiza zebranych danych umożliwiająca określenie kierunków zmian, przewidywanie konsekwencji zmian w środowisku, ocena kryteriów wytrzymałości środowiska na substancje zanieczyszczające, wreszcie przedsięwzięcie konkretnych działań skierowanych na zapobieganie dewastacji środowiska oraz wypracowanie najkorzystniejszych sposobów jego zagospodarowania jest dziś zwana monitoringiem środowiska.

W praktyce informacje o stanie środowiska, które zasilają systemy monitoringu, pochodzą z dwóch zasadniczych źródeł. Pierwsze to automatyczne stacje pomiarowe, które wyznaczają parametry i wskaźniki opisujące stan danego elementu środowiska. Informacje ze stacji pomiarowych są przekazywane do centrum regionalnego bądź krajowego, co pozwala na opracowywanie prognoz krótko bądź długoterminowych, lub na natychmiastową interwencję w sytuacjach awaryjnych. Drugim źródłem informacji są badania prowadzone okresowo w terenie. Sprowadzają się one do periodycznego określania wskaźników danego elementu środowiska, najczęściej otrzymywanych po badaniach laboratoryjnych i przekazywaniu wyników jednostkom prowadzącym monitoring.

Instrumentalna odmiana monitoringu jest słabo rozwinięta w naszym kraju, głównie ze względów finansowych. Jednocześnie klasyczne metody obserwacji, biorąc pod uwagę małą częstotliwość przekazywanych informacji i z reguły niewielki zasięg powierzchniowy badań, wielokrotnie nie spełniają oczekiwań jednostek odpowiedzialnych za monitoring. Wynika z tego konieczność poszukiwania innych źródeł pozyskiwania informacji niezbędnych dla potrzeb monitoringu.

Możliwość zbierania informacji o wielu elementach i zjawiskach, które zachodzą w środowisku daje zdalne badanie Ziemi czyli teledetekcja. O przydatności i zasadności wykorzystania tej techniki do monitoringu środowiska decyduje wiele czynników

Jednym z nich jest szybkość pokrywania powierzchni Ziemi zdjęciami satelitarnymi. I tak np. satelity serii Landsat przez pewien czas dostarczały obrazu niemal każdego punktu Ziemi co 9 dni, a funkcjonujący od lutego 1986 roku satelita SPOT 1 co 26 dni, o ile nie przeszkadzają temu niekorzystne warunki meteorologiczne. Taka duża częstotliwość wykonywania zdjęć zezwala na prowadzenie systematycznych badań wielu zjawisk i procesów podlegających stosunkowo szybkim zmianom. Ciągłość obserwacji jest jednym z podstawowych zadań monitoringu. Czas bowiem odgrywa decydującą rolę w środowisku. Według tego bowiem kryterium można wydzielić w środowisku elementy szybko zmieniające się i wolno reagujące na zmiany. Do najszybciej zmieniających

się podsystemów środowiska należy bezwzględnie atmosfera. Do wolniejszych, mierzonych dobowo i miesięcznie należy hydrosfera, następnie biosfera (pory roku), pedosfera (lata) i litosfera (okresy geologiczne).

Zdjęcia lotnicze i satelitarne mogą być wykorzystywane do monitorowania procesów i zjawisk krótkotrwałych np. pożary lasów czy powódzie. Przedmiotem teledetekcyjnego monitoringu może być także analiza procesów przyrodniczych, których skala czasowa obejmuje tygodnie lub miesiące (np. proces ustępowania pokrywy śnieżnej, wzrostu i dojrzewania upraw) bądź kilka lat, na przykład w przypadku procesów urbanizacyjnych i ich skutków ekologicznych.

Istotne znaczenie, oprócz ciągłości obserwacji środowiska, ma wielkość powierzchni poddawanej obserwacji. Dla przykładu, jedno zdjęcie satelitarne wykonane przez satelitę Landsat obejmuje obszar około 34000 km², a zdjęcie satelity SPOT powierzchnię 7000 km². Ta zaleta "wielkoobszarowości" zdjęć satelitarnych jest szczególnie istotna w przypadku prowadzenia monitoringu w skali krajowej lub regionalnej.

Nie bez znaczenia jest także fakt, że teledetekcja umożliwia rejestrowanie wielu zjawisk uzewnętrzniających się w takich zakresach widma elektromagnetycznego, które wykraczają poza zdolności widzenia oka ludzkiego. Dzięki urządzeniom i instrumentom umieszczonym na pokładzie samolotu czy satelity uzyskujemy informacje bogatsze od tych, które obserwujemy za pomocą tradycyjnych pomiarów i obserwacji.

Wykorzystanie metod teledetekcji pociąga za sobą jednak pewne konsekwencje. Jedną z nich jest fakt, że nie wszystkie informacje niezbędne do charakterystyki środowiska geograficznego czy oceny działania człowieka w tym środowisku wyrażają się zmianami odbicia czy emisji promieniowania elektromagnetycznego. A tylko to zjawisko jest, jak dotąd, rejestrowane przez skanery wszystkich systemów teledetekcyjnych. W dalszym ciągu w ogromnej ilości przypadków, wymagane są także informacje pozyskiwane metodami kontaktowymi. Są one także wielokrotnie niezbędne do interpretacji danych pozyskiwanych za pomocą teledetekcji.

Drugą konsekwencją jest zmiana metod odtwarzania przestrzennego rozkładu parametrów charakteryzujących środowisko. W tradycyjnych systemach monitorowania podstawą analizy był z reguły pomiar punktowy, a rozkład przestrzenny uzyskiwano metodą interpolacji. Większy stopień niepewności związany był więc z odtwarzaniem struktury przestrzennej niż z wartością parametrów w punkcie pomiarowym. W przypadku stosowania metod teledetekcyjnych sytuacja jest do pewnego stopnia odwrócona. Zdjęcia lotnicze i satelitarne pozwalają na uzyskanie rozkładu przestrzennego danego elementu, natomiast znacznie trudniej jest określić wartość danego parametru we wskazanym punkcie.

Przeciwstawność cech systemów monitoringu dokonanego metodami pomiarów punktowych i teledetekcyjnych nasuwa myśl o celowości łączenia ich w systemy komplementarne, w których pomiar punktowy służyłby do określania wartości bezwzględnych badanego zjawiska, zaś metody teledetekcyjne pozwoliłyby na określenie przestrzennego rozkładu zjawiska.

Analizę przydatności technik teledetekcji do prowadzenia monitoringu środowiska dokonano na przykładzie Sudetów Zachodnich, które należą do jednego z 27 regionów naszego kraju, gdzie działalność człowieka doprowadziła do alarmującej degradacji środowiska, szczególnie lasów, określanej często mianem klęski ekologicznej.

Spośród różnych technik teledetekcji do analizy wybrano dwie techniki fotografii lotniczej i dwie satelitarnej mianowicie: lotnicze zdjęcia panchromatyczne wykonane w 1975 r. i 1982 r., spektrostrefowe zdjęcia lotnicze z 1984 r., zdjęcia satelitarne Landsat TM z 1984 r. oraz zdjęcia satelitarne SPOT 1 z 1986 r.

Interpretacja materiałów areokosmicznych, bazująca w przypadku zdjęć lotniczych na analizie wizualnej bezpośrednich, pośrednich i kompleksowych cech rozpoznawczych obiektów odfotografowanych na zdjęciach, a w przypadku zdjęć satelitarnych na analizie ich treści metodami analogowo-numerycznymi pozwoliła na opracowanie szkiców fotointerpretacyjnych w skali 1:50000, które przedstawiają użytkowanie ziemi na obszarze Sudetów Zachodnich w latach 1975-1986. W wyniku analizy zdjęć lotniczych i satelitarnych wyznaczono między innymi takie elementy środo-

wiska, jak: lasy świerkowe z określeniem ich stanu sanitarnego (drzewostany osłabione, silnie osłabione, martwe) oraz stopnia zwarcia (pełne, rozluźnione, przerwane), lasy liściaste i mieszane, kosodrzewina, zalesienia i odnowienia, wylesienia, grunty orne, łąki i pastwiska, zabudowa zwarta oraz tereny przemysłowe.

Racjonalne wykorzystanie informacji pozyskiwanych za pomocą teledetekcji do prowadzenia monitoringu środowiska, zależy w dużym stopniu od sprawności systemów informacyjnych, które byłyby w stanie nie tylko przyjmować, ale także przetwarzać dane i wyprowadzać wyniki w odpowiedniej postaci.

Systemami przeznaczonymi do przyjmowania informacji pochodzących z różnych źródeł, w tym także teledetekcji, są systemy informacji geograficznej. Dane pozyskiwane za pomocą techniki teledetekcji mogą być wprowadzone do takich systemów i w połączeniu z innymi danymi jak, np. mapy topograficzne, mapy tematyczne, zestawienia statystyczne, wyniki obserwacji i badań terenowych, mogą stanowić nowy rodzaj informacji. Dzięki umieszczeniu wszystkich tych danych w jednym miejscu powstaje możliwość ich łączenia oraz przekształcania w celu dokonania analiz przestrzennych.

Dlatego też, dane uzyskane w wyniku interpretacji zdjęć lotniczych i satelitarnych wprowadzono w układ pól odniesień przestrzennych Systemu Informacji o Ukształtowaniu Środowiska, który został opracowany w Instytucie Geodezji i Kartografii (Podiacha K. 1980, 1987), [4, 5].

System ten należy do grupy systemów informacji geograficznej o rastrowej organizacji bazy danych. Oznacza to, że informacje przestrzenne gromadzone są w czworokątnych polach jednostkowych w taki sposób, iż dany rodzaj lub dana wartość zjawiska charakteryzuje jednocześnie dane pole. W zależności od potrzeb, rolę nośnika informacji w tym systemie mogą spełniać pola pierwszego ($P_1 \approx 2000 \times 2000$ m), drugiego ($P_2 \approx 1000 \times 1000$ m), trzeciego ($P_3 \approx 500 \times 500$ m), czwartego ($P_4 \approx 250 \times 250$ m) bądź piątego rzędu ($P_5 \approx 125 \times 125$ m) i poprzez nie może dokonywać się wprowadzenie informacji do bazy danych.

2. Dobór wielkości pola podstawowego

Stosowanie, jako podstawy do zbierania informacji z map tematycznych, pól podstawowych pociąga za sobą konieczność określenia wielkości pola podstawowego, w które będą wpisywane informacje.

Dobór wielkości (rzędu) pola podstawowego przyjętego do zbierania danych w sposób istotny decyduje o stopniu generalizacji mapy komputerowej w stosunku do mapy źródłowej. Od przyjętej wielkości pola podstawowego zależy stopień uogólnienia obrazu, w wyniku czego występują uproszczenia i deformacje kształtu konturu, opuszczanie mniejszych konturów, powiększanie i pomniejszanie większych konturów czy też zmiana powierzchni obrazu poszczególnych konturów. Użycie zbyt dużego pola może prowadzić niekiedy do zatarcia informacji o przestrzennym zróżnicowaniu zjawiska na badanym obszarze, przyjęcie zbyt małego pola może wydobyć szczegóły, zbyt drobne, wśród których mogą zagać istotne cechy kartowanego zjawiska.

Z przyjęciem do zapisu informacji małego pola wiąże się także konieczność wykorzystania dużej liczby pól podstawowych co wpływa, szczególnie gdy zapisujemy informacje dla dużych obszarów, na pracochłonność opracowania, a ponadto zbyt silnie będzie obciążona pamięć komputera.

Biorąc pod uwagę to, że wielkość pola odniesienia przestrzennego pełni funkcję "filtra informacji" i decyduje o efektywności pracy, konieczne stało się ustalenie wielkości (rzędu) pola podstawowego jakie należy przyjąć do zbierania danych do monitoringu Sudetów Zachodnich.

W celu ustalenia wielkości pola podstawowego, w jakie wpisane będą informacje z opracowanych map tematycznych, z mapy użytkownika ziemi Sudetów Zachodnich w skali 1:50000 wybrałem fragment o powierzchni 1600 ha, który stanowił jedną dziesiątą całego analizowanego obszaru. Treść wybranej mapy źródłowej została następnie wpisana w pola odniesień przestrzennych trzeciego ($P_3 \approx 25$ ha), czwartego ($P_4 \approx 6,25$ ha) i piątego ($P_5 \approx 1,56$ ha) rzędu.

Następnie obliczyłem i zestawilem w tabeli powierzchnie po-

Powierzchnie wydzielonych elementów użytkowania ziemi
w zależności od wielkości pola podstawowego

Tablica 1

| Klasa użytkowania ziemi | Mapa tematyczna skala 1: 50 000 | | Zapis treści mapy tematycznej w pola podstawowe | | | | | |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | powierzchnia | | powierzchnia | | | | | |
| | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| Drzewostany świerkowe o zwarceniu pełnym | 1268,6 | 79,3 | 1450,0 | 90,6 | 1262,5 | 78,9 | 1244,5 | 77,8 |
| Drzewostany świerkowe o zwarceniu rozluźnionym | 145,5 | 9,1 | 125,0 | 7,8 | 162,5 | 10,2 | 155,2 | 9,7 |
| Drzewostany liściaste i mieszane | 34,3 | 2,1 | - | - | 43,7 | 2,7 | 43,6 | 2,7 |
| Wylesienia | 55,6 | 3,5 | 25,0 | 1,6 | 56,2 | 3,5 | 62,4 | 3,9 |
| Zalesienia i odnowienia | 94,0 | 5,9 | - | - | 75,0 | 4,7 | 91,2 | 5,7 |
| Łąki i pastwiska | 2,0 | 0,1 | - | - | - | - | 3,1 | 0,2 |
| Opółem | 1600,0 | 100,0 | 1600,0 | 100,0 | 1600,0 | 100,0 | 1600,0 | 100,0 |

szczególnych klas użytkowania ziemi na mapie źródłowej oraz powierzchni klas użytkowania ziemi, które otrzymałem w wyniku zakodowania jej treści w sieci pól podstawowych trzeciego, czwartego i piątego rzędu (tabl. 1).

Analiza danych zawartych w tablicy 1 wykazała, że przyjęcie do zbierania danych pól odniesień przestrzennych trzeciego rzędu ($P_3 \approx 25$ ha) prowadzi do znacznych deformacji treści mapy źródłowej. Trzy z sześciu klas użytkowania ziemi nie zostały wydzielone przy tak dobranej wielkości pola podstawowego. Powierzchnie klas użytkowania ziemi, które zostały wyznaczone w wyniku kodowania znacznie różnią się od powierzchni klas użytkowania ziemi na mapie źródłowej. I tak na przykład wylesienia mają na mapie źródłowej powierzchnię 55,8 ha, natomiast klasa ta zapisana w sieci pól podstawowych zajmuje powierzchnię ponad 50 % mniejszą (28 ha), zachwiane są także relacje między powierzchniami dwóch pozostałych klas (drzewostany świerkowe o zwarciu pełnym i rozluźnionym).

Zapis informacji w tak dobranym polu podstawowym jest obciążony dużymi deformacjami zarówno w przypadku małych powierzchni (łaki i pastwiska, drzewostany liściaste i mieszane), których nie udało się wyznaczyć, jak i w wypadku obszarów większych, które choć zapisane są w polach podstawowych, lecz ich powierzchnie zdecydowanie odbiegają od rzeczywistych (mapa źródłowa). Można zatem stwierdzić, że pola odniesień przestrzennych trzeciego rzędu ($P_3 \approx 25$ ha) nie powinny być wykorzystywane do kodowania danych zawartych na mapach tematycznych w skali 1:50000.

W przypadku przyjęcia do zbierania danych pól odniesień przestrzennych czwartego rzędu ($P_4 \approx 6,25$ ha) sytuacja ulega zdecydowanej poprawie, na co wskazują dane zawarte w tablicy 1. Zarówno wydzielania o małych powierzchniach (oprócz klasy: łaki i pastwiska), jak i większych znalazły swoje odbicie w zapisie w tak dobranym polu podstawowym. Różnice między powierzchniami poszczególnych kategorii użytkowania ziemi na mapie źródłowej a powierzchniami klas użytkowania ziemi otrzymanymi w wyniku zapisu w pola odniesień przestrzennych P_4 , wynoszą maksymalnie 19 ha w przypadku zalesień i odnowień, 17 ha dla klasy drzewostanów świerkowych o zwarciu rozluźnionym, a minimalnie w przy-

padku wylesień 0,6 ha. Przy tak dobranym polu do zapisu informacji z mapy źródłowej otrzymujemy znaczny postęp zgodności powierzchni wydzielonych klas z materiałem źródłowym.

Zapis treści mapy tematycznej w pola podstawowe piątego rzędu $P_5 \approx 1,56$ ha nie zmienił w sposób istotny otrzymanych uprzednio wyników (tabl. 1). Wszystkie sześć klas użytkowania ziemi z mapy źródłowej znalazły się na mapie powstałej w wyniku procesu kodowania w tak dobrane pole. Zaobserwować można różnice powierzchni między wydzieleniami na mapie tematycznej a wyznaczonymi klasami kodowanymi w pole podstawowe $P_5 \approx 1,56$ ha. Maksymalnie niezgodność ta wynosi 24,1 ha (klasa: drzewostany świerkowe o zwarciu pełnym) i jest większa niż w drugim omawianym przypadku. Minimalne różnice powierzchni sięgają zaś 1,1 ha (łąki i pastwiska).

Porównując otrzymane wyniki, można zauważyć, że nie ma istotnej różnicy w zgodności powierzchni, w zapisie treści mapy tematycznej w pola podstawowe czwartego i piątego rzędu. Rezultaty są porównywalne, o czym świadczą dane liczbowe zawarte w tabelicy 1. Zróżnicowana jest natomiast, i to zdecydowanie, praco-chłonność, która wiąże się z wykorzystaniem do przeprowadzenia zapisu pól podstawowych P_4 lub P_5 . W przypadku przyjęcia do zbierania danych pól odniesień przestrzennych piątego rzędu $P_5 \approx 1,56$ ha wyraźnie wzrosłaby, w porównaniu z polami odniesień przestrzennych czwartego rzędu $P_4 \approx 6,25$ ha, liczba pól w które należałoby wpisać dane z map źródłowych. Dla analizowanego terenu liczba pól odniesień przestrzennych P_5 wyniosłaby 9000 dla jednej mapy tematycznej (na podstawie analizy zdjęć lotniczych i satelitarnych opracowano 5 map tematycznych, przedstawiających użytkowanie ziemi i stan sanitarny lasów w latach 1975-1986), natomiast dla pól odniesień przestrzennych czwartego rzędu, oczek siatki byłoby 2250. Z tego porównania jasno wynika, że przy zbieraniu danych w pola odniesień przestrzennych piątego rzędu czterokrotnie wzrosłaby praco-chłonność opracowania. Biorąc pod uwagę ten fakt oraz wyniki przeprowadzonej powyżej analizy, zdecydowano się na wybór do kodowania treści szkiców fotointerpretacyjnych przedstawiających w skali 1:50000 użytkowanie ziemi w Sudetach Zachodnich w latach 1975-1986, pól odniesień przestrzennych o wielkości 250×250 m ($P_4 \approx 6,25$ ha).

3. Kartograficzna prezentacja informacji o środowisku i jego zmianach zapisanych w sieci pól odniesień przestrzennych.

Zakodowanie w sieci pól odniesień przestrzennych treści szkiców fotointerpretacyjnych przedstawiających użytkowanie ziemi w Sudetach Zachodnich w latach 1975-1986 pozwoliło na komputerowe opracowanie map o różnym ujęciu treści w różnych skalach. Mapy sporządzone w systemie geometrycznym jednostek przestrzennych mają charakterystyczną formę rastrową (mozaikową). Elementy powierzchniowe są w wersji takich map przedstawione za pomocą elementarnych pól odniesień przestrzennych. Powstałe w ten sposób kontury poszczególnych wydzieleni posiadają charakterystyczny kształt linii łamanej (schodkowej) w przeciwieństwie do map sporządzonych metodą tradycyjną, gdzie te same kontury posiadają z reguły kształt linii krzywych.

Konstruowanie rastrowych map komputerowych, których treść pozwalałaby i ułatwiałaby analizę zachodzących przeobrażeń środowiska wiąże się co najmniej z dwoma problemami (Grygorenko, 1984):

- takim ujęciu treści map, aby była ona pomocna w prowadzeniu analiz zmian środowiska geograficznego,
- przedstawieniem tej treści w takiej formie graficznej, która zapewniałaby czytelność skonstruowanej mapy.

Analizując zmiany środowiska w pierwszym rzędzie wprowadzono mapy ewidencjonujące użytkowanie ziemi w określonym momencie. Mapy te przedstawiają użytkowanie ziemi w Sudetach Zachodnich w chwili wykonania zdjęć lotniczych lub satelitarnych, a więc w 1975, 1982, 1984 i 1986 roku.

W większości przypadków do prowadzenia badań zmienności środowiska niezbędna jest informacja bardziej przetworzona niż zaprezentowana powyżej. Powinna ona wskazywać na związki i zależności między różnymi elementami środowiska, czy też określić dynamikę badanego zjawiska, która można ocenić poprzez porównanie jego stanu w różnych okresach obserwacji. Możliwość nakładania na siebie kilku warstw informacji tematycznej, które zawarte są w bazie danych, pozwala nie tylko na przedstawienie map ewidencjonujących elementy środowiska, ale również na kon-

struowanie map, które przedstawiają dynamikę zachodzących w środowisku geograficznym przeobrażeń. I tak na przykład na dane o użytkowaniu ziemi w Sudetach Zachodnich z 1975 r. zostały "nałożone" dane o użytkowaniu ziemi z 1982 r. Informacje te zostały następnie porównane, w wyniku czego powstała mapa przedstawiająca obszary, na których w latach 1975-1982 wystąpiły zmiany użytkowania ziemi. Podobnie postąpiono z pozostałymi danymi, które były zawarte w bazie danych, w wyniku czego otrzymano sekwencje map tematycznych przedstawiających obszary, na których wystąpiły zmiany użytkowania w Sudetach Zachodnich w latach 1982-1984, 1984-1986. Mapy komputerowe, które przedstawiają obszary zmian środowiska w Sudetach Zachodnich w różnych przedziałach czasowych nie precyzują jednak kierunku tych przeobrażeń. Inaczej mówiąc nie wskazują czy na analizowanym obszarze zmiany środowiska wyrażają się na przykład zmiennością zwarcia drzewostanów świerkowych czy też wylesieniami. Dlatego też postanowiłem skonstruować mapy, których treść wskazywałaby nie tylko na jakich obszarach wystąpiły zmiany środowiska, ale również informowała, jakie elementy użytkowania ziemi te zmiany objęły. Przykładem takiego ujęcia treści jest mapa, która prezentuje zmiany pokrywy leśnej na obszarze Sudetów Zachodnich w latach 1975-1982. Przedstawia ona na tle użytkowania ziemi (stan na 1982 r.) kierunki zmian elementów środowiska, jakie wystąpiły na analizowanym obszarze w ciągu 7 lat. Przeobrażenia wyrażają się w tym przypadku zmianami zwarcia drzewostanów świerkowych z pełnego w rozluźnione, z pełnego w przerwane, z rozluźnionego w przerwane, wylesieniami powstałymi w drzewostanach świerkowych o zwarciu pełnym, w drzewostanach świerkowych o zwarciu rozluźnionym, w odnowieniach.

Innymi przykładami podobnego ujęcia treści są mapy przedstawiające zmiany pokrywy leśnej w latach 1982-1984, 1984-1986.

Nierozłącznym elementem zaprezentowanych map są wskaźniki ilościowe oraz charakterystyki liczbowe, niezbędne do prowadzenia syntez i analiz, dokumentujące zaobserwowane zmiany środowiska w Sudetach Zachodnich.

Są to zarówno tablice, które przedstawiają wielkości powierzchni zajętych przez dany element użytkowania ziemi w poszczególnych latach, jak i zestawienia liczbowe określające powie-

rzchnie różnorodnych zjawisk, np. obszary i kierunki zmian użytkowania ziemi oraz zależności między elementami użytkowania ziemi a wysokością n. p. m.

Drugim postulatem wskazanym przez W. Grygorenkę przy konstruowaniu rastrowych map komputerowych (Grygorenko, 1984) [2], jest konieczność zachowania odpowiedniej formy graficznej mapy zapewniającej jej czytelność. Ta czytelność zależy w dużym stopniu od graficznych możliwości ploterów. Ten fakt sprawia, że autor nie miał tak dużej swobody w doborze formy graficznej, jak w przypadku projektowania treści map obrazujących wyniki teledetekcyjnego monitoringu Sudetów Zachodnich.

W przypadku powyższej pracy dostępnymi urządzeniami była drukarka oraz ploter płaszczyznowy firmy Roland. Wykorzystanie do kartograficznej prezentacji danych o zmianach środowiska Sudetów Zachodnich tak jednego, jak i drugiego urządzenia pociąga za sobą pewne ograniczenia.

Jak wiadomo elementarnym znakiem graficznym drukarek jest znak punktowy. Informacja może być zatem przedstawiona za pomocą stałych znaków graficznych, jakimi dysponuje urządzenie drukujące (znaki alfabetyczne i cyfrowe, proste znaki geometryczne w kształcie kwadratów, kółek, sześcioboków itd.), lub znaków utworzonych specjalnie do prezentacji danego zjawiska.

Jak wykazały moje doświadczenia trudno jest, szczególnie gdy chcemy przedstawić mapę bogatą w treść, tak dobrać znaki graficzne, by zachować czytelność mapy. Ten fakt oraz niski stopień dokładności drukowanych map znacznie ograniczyły wykorzystanie drukarki do kartograficznej prezentacji wyników teledetekcyjnego monitoringu środowiska. Z tego też względu do kartograficznej prezentacji informacji o środowisku Sudetów Zachodnich i jego zmianach zapisanych w sieci pól odniesień przestrzennych, wykorzystano elektroniczne urządzenie rysujące Plotter DXY-880A firmy Roland DG, które pozwoliło na konstruowanie znaków graficznych i rysowanie map o zdecydowanie wyższym poziomie niż drukarka, wykorzystując różne kolory pisaków.

Pamiętać należy, że ten typ plotera jest urządzeniem pracującym znacznie wolniej niż drukarka. Wydłuża to czas kreślenia

jednej mapy. Warto też zaznaczyć, że mimo możliwości przedstawienia treści map w różnych barwach, nie zawsze dostępne są piasaki o pożądanych kolorach.

Konstruowanie symboli graficznych map komputerowych, mozaikowych napotyka na trudności związane nie tylko z ograniczeniami wynikającymi z parametrów technicznych urządzeń drukujących. Dużą barierą w tworzeniu sygnatur, znaków powierzchniowych czy deseni jest wielkość pola podstawowego, które ma być wypełnione znakiem graficznym. Zrozumiałe jest, że im mniejsze pole podstawowe, w które ma być wprowadzona informacja, tym trudniej o umieszczenie w nim skomplikowanej sygnatury lub deseni. I tak na przykład treść map przedstawiających użytkowanie ziemi na obszarze Sudetów Zachodnich w latach 1975-1986 musiała być zaprezentowana za pomocą znaków graficznych, które miały być umieszczone w polu o wymiarach $\approx 2,5 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$.

Na mapach komputerowych rastrowych, elementy treści są reprezentowane, jak wspomniano, przez poszczególne pola lub grupy pól. Forma graficzna najczęściej stosowana w tego rodzaju mapach to: pola barwne, pola wypełnione barwnymi deseniami bądź sygnaturami, pola o różnym natężeniu szarości, pola ograniczone linią konturu obejmującą grupę pól lub pole jednostkowe z umieszczonym wewnątrz konturu symbolem alfanumerycznym.

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej ograniczenia i zależności związane z kartograficzną prezentacją wyników monitoringu oraz wyniki przeprowadzonych prób zdecydowałem, że elementy treści map komputerowych przedstawiających użytkowanie ziemi w Sudetach Zachodnich oraz obszary i kierunki zmian, jakie zaszły w środowisku w latach 1975-1986 zostaną zaprezentowane poprzez:

- wypełnienie pól podstawowych barwami,
- wprowadzenie w pola podstawowe barwnych deseni liniowych skośnych (szrafu),
- wprowadzenie w pola podstawowe barwnych regularnych deseni kropkowych.

Przedstawione rastrowe mapy komputerowe nie wyczerpują rzecz jasna wszystkich możliwości prezentacji zmian środowiska. Prezentacja wyników monitoringu może przyjmować inną postać, co jest uzależnione, głównie od życzenia użytkowników monitoringu.

4. Deterioracja środowiska geograficznego Sudetów Zachodnich w latach 1975-1986

Analiza materiałów zgromadzonych w bazie danych i prezentowanych w postaci map wykazała, że na obszarze Sudetów Zachodnich wystąpiły w latach 1975-1986 istotne zmiany w środowisku geograficznym. Wyrażają się one przeobrażeniami, które objęły głównie lesne klasy użytkowania ziemi. Były to zmiany wielokierunkowe (zmiana zwarcia, stanu zdrowotnego, wylesienia) i zróżnicowane zarówno w czasie, jak i przestrzeni. Przyczyny wielkoobszarowej degradacji drzewostanów świerkowych w Sudetach Zachodnich nie budzą obecnie większych wątpliwości (Capecki Z. 1987) [1]. Stanowią je zarówno niekorzystne warunki naturalne, jak i niekorzystne warunki stworzone przez gospodarkę człowieka.

Systematyczne działanie mas powietrza atmosferycznego, skażonego emisjami przemysłowymi, powoduje, że w Sudetach Zachodnich szybko postępuje obumieranie drzewostanów świerkowych. W ciągu dwóch lat powierzchnia lasów martwych wzrosła z 518,75 ha w 1984 r. do 1500 ha w 1986 r.

Sztucznie wprowadzone, obcego pochodzenia monokultury świerkowe w reghu górnym i dolnym są w wysokim stopniu uszkodzone, a na dużych obszarach martwe (1500 ha, 20 % powierzchni lasów analizowanego obszaru). Całkowicie martwe są drzewostany rozmieszczone głównie w środkowych częściach stoków. Rozszerzają się one stopniowo w postaci wydłużonych gniazd na górne części stoków i na zrownania grzbietowe. Na ekspozycjach południowych, południowo-zachodnich martwe lasy zajmują rozległe fragmenty stoków, od ich wierzchołkowych części do podnóży.

Emisje przemysłowe działają na drzewa bezpośrednio oraz poprzez wodę i glebę. W igłach kumulują się znaczne ilości siarki, azotu, żelaza i fluoru. Zanieczyszczenia wywołują uszkodzenia aparatu asymilacyjnego i korzeni, powodują zakłócenia w procesach fizjologicznych, zmniejszanie przyrostu, osłabienie i usychanie drzew. W trudnych warunkach vegetacyjnych Sudetów działanie nawet słabszych stężeń emisji znacznie zaostrza się wskutek synergicznego działania niskiej temperatury z wiatrem. W osłabionych lasach wzrosła wielkość i częstość wiatrolomów:

dawniej okresowe, stały się obecnie zjawiskiem corocznym. Utrwalił się stały stan zagrożenia przez tzw. szkodniki wtórne, dobijające osłabione drzewa (Capecki Z., 1987) [1].

W rezultacie lasy rzedyły, korony drzew stały się przejrzystsze, zmniejszyła się liczba drzew w drzewostanach, przerwała się ciągłość zwartych kompleksów leśnych. W latach 1975-1984 zmiany zwarcia lasów wystąpiły na obszarze 2375 ha (objęły 30 % powierzchni analizowanych lasów).

Procesy degradacyjne, które występują na obszarze Sudetów Zachodnich spowodowały także postępujące katastrofalne wylesienia. W momencie rozpoczęcia analizy zajmowały one 187,5 ha, by po 11 latach osiągnąć powierzchnię blisko 6 razy większą. Postępujące wylesienia mają swoje przyczyny w długotrwałej chorobie stresowej. Po pierwsze, to biologiczne osłabienie lasów przez gospodarkę człowieka w następstwie lokalne ich zagrożenie przez czynniki biotyczne oraz abiotyczne. Drugie natomiast to wielkoobszarowe uszkodzenia i niszczenie fizjologiczne przez substancje szkodliwe przetransportowane przez powietrze atmosferyczne (Kowalkowski A., 1985) [3].

Analizując rozkład powierzchniowy oraz dynamikę z jaką postępowały w latach 1975-1986 w Sudetach Zachodnich zmiany zwarcia w drzewostanach, stanu sanitarnego czy wylesienia, można na analizowanym obszarze wyróżnić następujące strefy zdrowotności i zagrożenia lasów:

- strefa słabego i średniego zagrożenia - obejmująca dolną część regla dolnego do 700 m n.p.m. W tej strefie nie występują drzewostany martwe, niewielki jest także udział wylesień. Wynika to z dobrych warunków do rozwoju świerka na tym obszarze. Mniejsze są zagrożenia szkodami atmosferycznymi oraz słabsze działanie zanieczyszczeń przemysłowych. Łatwiejsza jest także gospodarka leśna, zwłaszcza usuwanie szkód oraz zwalczanie szkodników.

- strefa silnego zagrożenia - obejmująca górną część regla dolnego do około 900 m n.p.m. Strefę tę cechuje powstawanie szkód od okiści i wiatrów, wzrasta także działanie zanieczyszczeń przemysłowych i występowanie szkodników wtórnych, utrudnione jest porządkowanie drzewostanów i zwalczanie szkodników. Występują w niej lasy martwe, choć zajmują 4,1 % powierzchni ogólnej

tej klasy na analizowanym obszarze. Wzrasta także udział drzewostanów świerkowych silnie osłabionych. O ile w strefie pierwszej stanowiły one 0,9 % ogólnej powierzchni, to w strefie silnego zagrożenia zajmują one 34,8 % obszaru. Wyraźnie wzrastają także powierzchnie wylesione - 293,75 ha.

- strefa bardzo silnego zagrożenia - obejmująca najwyższą część regia dolnego oraz regiel górny. W strefie tej zaobserwowano dwukrotny wzrost wylesień w porównaniu ze strefą drugą. Bardzo wyraźnie wzrasta też udział lasów martwych, które zajmują powierzchnię 1437,5 ha (95,9 % powierzchni ogółu drzewostanów świerkowych martwych). Związane jest to ze zwiększonym szkodliwym działaniem prawie wszystkich czynników wymienionych dla strefy drugiej. Teren jest jeszcze trudniejszy, siedlisko i skład gatunkowy uboższe.

W warunkach nieuchronnego i chronicznego zagrożenia przez stresory przysposabiające, do których należą niekorzystne naturalne lub zdegradowane przez człowieka warunki siedliskowe, klimat, położenie orograficzne, warunki glebowe, genetyczne cechy drzew, niewłaściwy skład gatunkowy drzewostanów oraz brak pielęgnacji oraz krótkotrwałe silnie działające stresory inicjujące (mrozy, susze, wiatry, gradacje owadzie, gazowe zanieczyszczenia atmosfery) przyszłość lasów Sudetów Zachodnich nie jest optymistyczna (Kowalkowski A., 1985) [3]. Tym bardziej, że należy się spodziewać dalszego wzrostu zanieczyszczeń. Według prognoz wielkości samej emisji dwutlenku siarki przemysłu Czechosłowacji, NRD i Polski wzrosnie w roku 2000 w stosunku do roku 1975 trzykrotnie i osiągnie ogromną ilość prawie 30 mln ton na rok (Capecki Z., 1987) [1].

Dla ochrony lasów sudeckich, które są najbardziej zagrożone w Europie, pozostaje działanie gospodarczo-lesne. Wiadomo zaś, że nie ma gatunków drzew w pełni odpornych na emisje. Nie ma również możliwości oddziaływania na zmiany ekologiczne zachodzące w całym środowisku lesnym. Jedynym zadaniem staje się zatem ochrona pozostałych jeszcze lasów, zapewnienie ich odnowienia jeszcze przed całkowitym uschnięciem oraz szybkie zalesienia powstałych już halizn. Może to być na przykład zalesienie selektywne w pierwszej kolejności części stoków najmniej narażonych na bezpośrednie szkodliwe działanie przepływających mas

powietrza. Może to być także podejmowanie technicznych środków zabezpieczających i stabilizujących powierzchnię ziemi oraz gleby przed erozją powierzchniową w miejscach stałego, ostrego działania emisji, w których udatność zalesień jest znikoma. Prace te są jednak trudne i kosztowne, często połączone z dużymi niepowodzeniami.

LITERATURA

- [1] Capecki Z., 1987, *Sprawdziły się ponure prognozy*. Aura, nr 7.
- [2] Grygorenko W., 1984, *Metodyczne problemy kartografii komputerowej*. Materiały Ogólnopolskich Konferencji Kartograficznych. Tom 10, Lublin.
- [3] Kowalkowski A., 1985, *Czy obumieranie lasów w Sudetach jest skutkiem choroby stresowej*. Las Polski nr 21.
- [4] Podlacha K., 1980, *Jednolita sieć pól podstawowych do inwentaryzacji zasobów przyrodniczych*. Prz. Geod. R. 52, nr 3.
- [5] Podlacha K., 1987, *Jednolity dla terenu kraju układ odniesienia przestrzennego systemu informacji o środowisku przyrodniczym* (maszynopis) IGIK - Warszawa.

Skrót pracy doktorskiej.

Przyjęto do opublikowania w dniu 29 marca 1990 r.

ZENON F. POŁAWSKI

CARTOGRAPHIC PRESENTATION OF THE RESULTS OF REMOTE SENSING MONITORING OF ENVIRONMENT (WESTERN SUDETY CASE)

S u m m a r y

Aerial and satellite images, collected between 1975 and 1986, were used for monitoring environment in Western Sudety.

Data obtained in the course of image interpretation were introduced to the spatial reference grid of the environmental information system; it implied determination of the optimum size of unit field, used for coding the obtained information. After coding content of photointerpretation overlays into spatial reference grid it was possible to prepare series of thematic maps at different scales with various information content, using computer methods of their elaboration.

Translation: Zbigniew Bochenek

ЗЕНОН Ф. ПОЛАВСКИ

**КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНЫХ СУДЕТОВ)**

Р е з ю м е

Аэрофотоснимки и космические снимки с 1975 - 1986 годов были использованы для ведения мониторинга окружающей среды Западных Судетов. Данные, полученные в результате интерпретации этих снимков были введены в систему полей пространственных относимостей системы информации о формировании окружающей среды, что требовало определения оптимальной величины основного поля, в которое следует вписывать полученные информации. Кодирование в сеть полей пространственных относимостей содержания фотоинтерпретационных схем разрешило разработывать на компьютере серии тематических карт с разным содержанием и в разных масштабах.

Перевод Róża Toislikowa