

MAŁGORZATA KOWALSKA

**WYKORZYSTANIE SYSTEMU INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ
W OCENIE ANTROPIZACJI I ZAGROŻENIA
ŚRODOWISKA GEOGRAFICZNEGO
OBSZARU SILNIE UPZEMYSŁOWIONEGO**

ZARYS TREŚCI: W artykule scharakteryzowano możliwości pozyskiwania informacji o środowisku geograficznym obszaru silnie uprzemysłowionego, za pomocą fotograficznych zdjęć satelitarnych oraz wykorzystania tych informacji, jak również informacji pochodzących z innych źródeł, w systemie informacji geograficznej w celu zwaloryzowania przemian dokonanych na obszarze silnie przeobrażonym przez człowieka.

Wstęp

Wzrost tempa zmian dokonujących się w środowisku geograficznym pod wpływem gospodarczej działalności człowieka sprawia, że mapa stanowiąca dotychczas podstawowe źródło informacji, np. w planowaniu, zarządzaniu, ochronie środowiska i wielu innych dziedzinach życia gospodarczego i naukowego, szybko traci na swej aktualności. Z drugiej strony ogromny postęp w rozwoju nauk technicznych, w tym m.in. elektroniki, informatyki, technik komputerowych i satelitarnych, jaki dokonał się w ostatnich latach, sprawił, że znacznie wzrosły możliwości pozyskiwania informacji o środowisku. Jedną z głównych ról w tym procesie dostarczania informacji odgrywa teledetekcja. Duża rozdzielczość przestrzenna, spektralna i czasowa zdjęć satelitarnych spowodowała zalew ogromnej ilości informacji, przysparzając tym samym trudności techniczne i merytoryczne w ich właściwym wykorzystaniu. Powstała więc konieczność opracowania takiego systemu, który umożliwiłby gromadzenie informacji z różnych źródeł, a następnie opracowanie na ich podstawie nowych map różnotematycznych. Systemami, które umożliwiają racjonalne wykorzystanie ogromnych ilości różnotematycznych informacji są tak zwane systemy informacji geograficznej.

Jeden z takich systemów, opracowany w IGiK, został wykorzystany do zgromadzenia danych pozyskanych ze zdjęć satelitarnych, opracowań kartograficznych oraz zdobytych w toku badań terenowych, a następnie do przetworzenia tych danych do postaci nowych informacji.

1. Wybrane aspekty gromadzenia informacji w bazie danych systemu informacji geograficznej

Do badań nad antropizacją środowiska geograficznego Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego wykorzystano wiele informacji pochodzących z różnych źródeł, w różnych skalach, z różnych lat i o różnym stopniu szczegółowości. Ich analiza metodami tradycyjnymi byłaby żmudna i czasochłonna, a niekiedy wręcz niewykonalna, dlatego do powyższych badań zastosowano system informacji geograficznej, opracowany w Instytucie Geodezji i Kartografii (Podlacha K., 1980).

Jako obiekt opracowania wybrano fragment GOP o powierzchni 36.000.ha. Wybór ten podyktowany był z jednej strony rozmiarem przeobrażeń, jakie dokonały się na tym terenie w wyniku gospodarczej działalności człowieka, z drugiej zaś faktem posiadania zdjęć satelitarnych o dużej rozdzielczości terenowej, a także map topograficznych wykonanych w 1883 r. i sto lat później, tj. w 1983 r.

Założenia organizacyjno-techniczne sprawnie działającego systemu informacji geograficznej dotyczą układu odniesień przestrzennych, metod kodowania i klasyfikacji tematycznej, jak również wymagają określenia poziomu szczegółowości przestrzennej, tj. zdefiniowania najmniejszej jednostki przestrzennej, do której będą odnoszone pozyskiwane dane (Baranowski M., Ciołkosz A., 1989).

Dobór wielkości pola podstawowego przyjętego do zapisu informacji o terenie znacznie wpływa na stopień generalizacji nowo opracowanej mapy, a w konsekwencji na jej użyteczność. Przyjęcie zbyt dużego pola może prowadzić do znacznego uogólnienia ilości elementów treści mapy i utraty charakterystycznych cech przedstawianego terenu lub zjawiska. Przyjęcie natomiast zbyt małego pola może spowodować przeciążenie treścią mapy wynikowej, a także znaczny wzrost pracochłonności opracowania i niepotrzebne obciążenie pamięci komputera.

W zastosowanym systemie informacji geograficznej, w którym do identyfikacji obiektów przestrzennych w bazie danych służy układ współrzędnych geograficznych, Polska jest podzielona na bloki, zwane polami P_0 o wymiarach 12 000 m x 18 000 m. Sieć pól niższego rzędu tworzona jest przez podział bloków na 24 równe części wzdłuż północnej i południowej ramki bloku i na 18 równych części wzdłuż wschodniej i zachodniej ramki bloku.

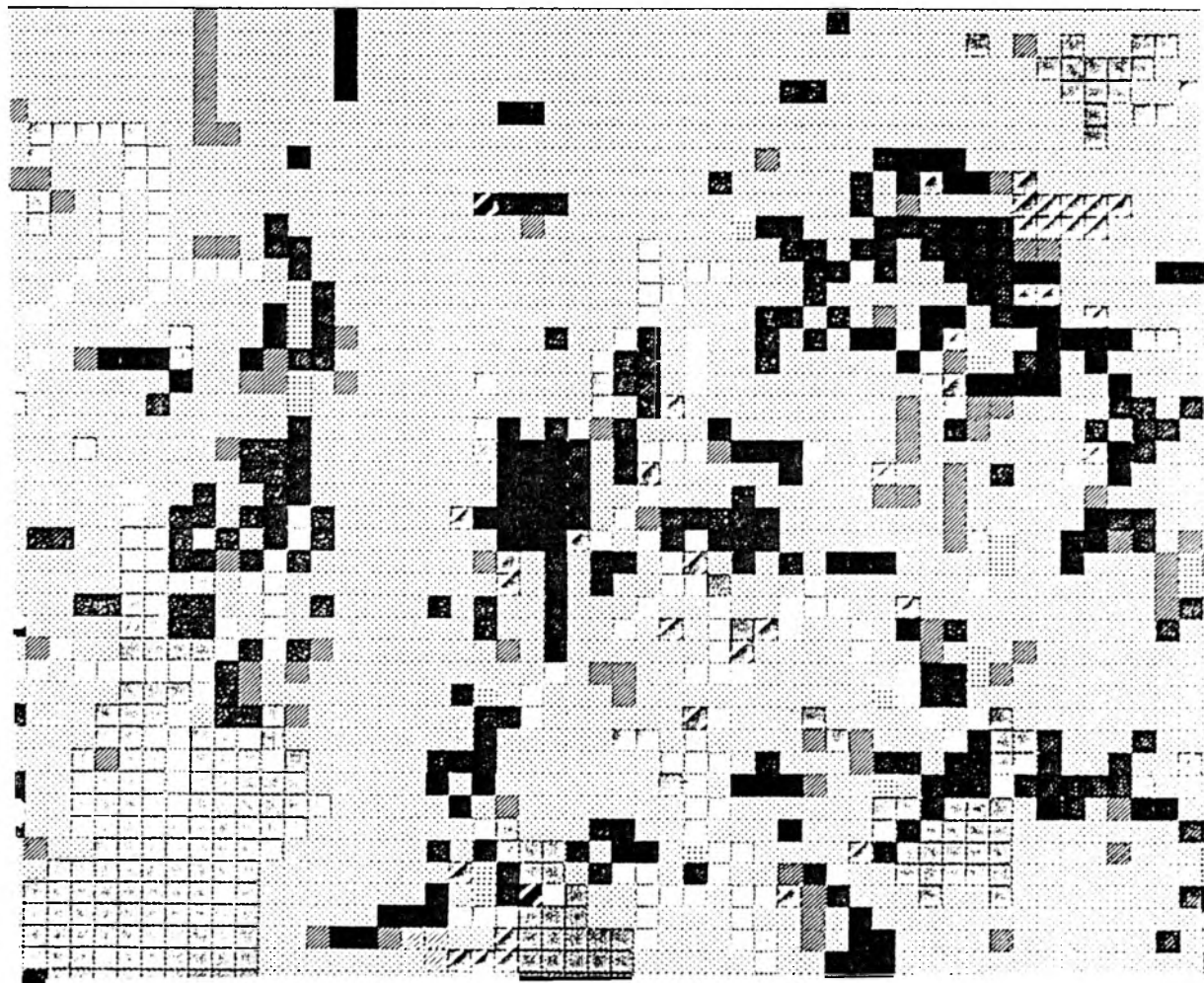
Funkcjonujące w omawianym układzie pola dzielą się na:

pola P_1 (2 000 m x 2 000 m), P_2 (1 000 m x 1000 m), P_3 (500 m x 500 m), P_4 (250 m x 250m), P_5 (125 m x 125 m), P_6 (62.5 m x 62.5 m), P_7 (31.2 m x 31.2 m).

Biorąc pod uwagę wyniki wcześniej przeprowadzonych badań (Poławski Z.F., 1989) nad prawidłowym doborem wielkości pola i wynikającym z tego błędem powierzchni kodowanych elementów treści przyszłego opracowania zdecydowano, że informacje uzyskane w wyniku interpretacji materiałów źródłowych wykorzystanych do badań nad antropizacją środowiska geograficznego GOP będą wpisywane w pola odniesień przestrzennych czwartego rzędu (P_4).

Kodowanie informacji tematycznych polega na ich przypisaniu określonym polom układu odniesień przestrzennych w postaci jednego atrybutu, zwykle w formie liczby. Atrybutami w omawianej pracy były formy użytkowania ziemi, wpisywane według zasady większego procentowego udziału w zajmowanej powierzchni lub też według hierarchii ważności w przypadku, gdy dany element stanowi istotną informację w terenie.

Pierwszymi dwoma warstwami informacyjnymi, jakie utworzono w bazie systemu informacji geograficznej, były dane dotyczące sposobu użytkowania ziemi w roku wyjściowym, tzn. 1883, uzyskane w wyniku analizy mapy topograficznej (rys.1) oraz użytkowania ziemi w 1983 r., opracowane w oparciu o satelitarne zdjęcia spektrostrefowe o podwyższonej rozdzielczości przestrzennej (rys.2). Bazując na tych warstwach informacyjnych oraz zaproponowanej metodzie waloryzacji środowiska geograficznego silnie przekształconego przez człowieka, można było opracować mapę wynikową, prezentującą antropogeniczne zmiany, jakie dokonały się w okresie 100 lat na badanym terenie.

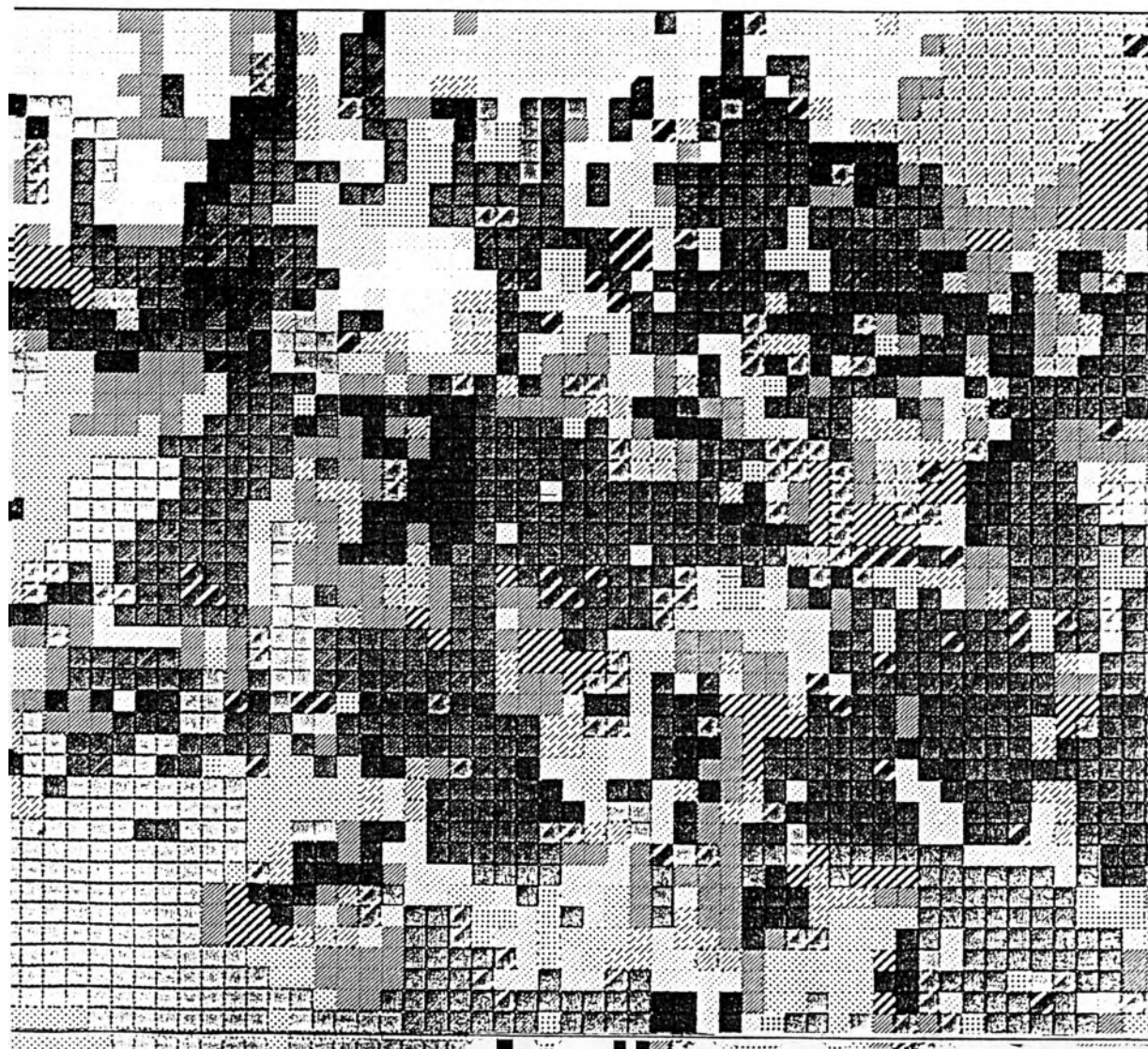


Użytkowanie ziemi
fragmentu obszaru GOP
dane z 1883

Legenda

- obszary eksploatacji powierzchniowej wraz z terenami zdegradowanymi
- zwały górnicze i przemysłowe czynne
- tereny zabudowy przemysłowej wraz z obszarami zdegradowanymi oraz węzłami komunikacji kolejowej
- zbiorniki wodne sztuczne
- zabudowa zwarta
- zabudowa rozproszona z ogrodami i sadami
- tereny sportowe i rekreacyjne, zieleni urządzonej
- grunty orne
- trwale użytki zielone
- nieużytki trawiaste
- sady i ogrody
- skupiska drzew i krzewów
- lasy

Rys. 1. Zmniejszony fragment barwnej mapy pt.:
"Użytkowanie ziemi fragmentu obszaru GOP ..."



Użytkowanie ziemi fragmentu obszaru GOP

dane z 1983

skala 1 : 50 000

Legenda

- obszary eksploatacji powierzchniowej wraz z terenami zdegradowanymi
- zwały górnice
- zwały górnice i przemysłowe wraz z obszarami
- tereny zabudowy przemysłowej wraz z obszarami zdegradowanymi oraz węzłami komunikacji kolejowej
- zbiorniki wodne sztuczne
- zabudowa zwarta
- zabudowa rozproszona z ogrodami i sadami
- nowe osiedla mieszkaniowe
- tereny sportowe i rekreacyjne, zieleni urządzona
- grunty orne
- trwale użytki zielone
- nieużytki trawiaste
- sady i ogrody
- skupiska drzew i krzewów
- lasy

Rys. 2. Zmniejszony fragment barwnej mapy pt. "Użytkowanie ziemi fragmentu obszaru GOP ..."

2. Ocena przydatności zdjęć satelitarnych o dużej rozdzielczości przestrzennej wykonanych kamerą KFA-1000, do analizy użytkowania ziemi w regionach intensywnie zagospodarowanych

W planowym gospodarowaniu środowiskiem geograficznym niezmiernie istotne są informacje dotyczące zasad przestrzennego funkcjonowania społeczeństwa i gospodarki. Realizacja tych zasad wymaga między innymi znajomości sposobów gospodarowania zasobami środowiska geograficznego oraz jego użytkowania. Również skuteczność planowania przestrzennego jest w znacznym stopniu zależna od rozpoznania stanu istniejącego i procesów zachodzących na obszarach objętych planowaniem.

Przez wiele lat jednym z podstawowych źródeł informacji służących problemom planowania i zagospodarowania środowiska była mapa. W dalszym ciągu mapy pełnią funkcję źródła informacji we wszystkich fazach zarządzania środowiskiem. W zależności jednak od etapów prac planistycznych zmienia się ich rola od prostych form materiałów inwentaryzacyjnych do bardziej złożonych charakterystyk badanego terenu.

Gospodarka przestrzenna wymaga ciągłej kontroli i rejestracji dokonujących się w środowisku zmian oraz stwierdzenia prawidłowości wykorzystania przez człowieka różnych elementów środowiska. Jednym ze środków umożliwiających kontrolę właściwego gospodarowania środowiskiem są mapy użytkowania ziemi. Tradycyjne metody sporządzania map nie mogą jednak podołać warunkowi aktualności informacji. Mapy wykonane w oparciu o badania terenowe szybko dezaktualizują się wskutek dynamicznej działalności człowieka, dlatego też coraz częściej źródłem informacji o charakterze analitycznym stają się zdjęcia lotnicze i satelitarne. Analiza informacji zarejestrowanych na zdjęciach satelitarnych pozwala stosunkowo dokładnie określić stan środowiska geograficznego. Cykliczność wykonywanych zdjęć zapewnia możliwość śledzenia zmian zachodzących na powierzchni ziemi. Ta cykliczność pozyskiwania informacji pozwala uchwycić związki funkcjonalno-przestrzenne panujące nie tylko na badanym terenie, ale także pomiędzy danym obszarem a jego otoczeniem.

Zdjęcia satelitarne o zwiększonej rozdzielczości przestrzennej rejestrowane przez satelity III generacji (Landsat TM, SPOT, KOSMOS) stanowią bogate źródło informacji, na podstawie których mogą być sporządzane mapy użytkowania ziemi i pokrycia terenu. Dzięki ogromnemu rozwojowi techniki, nową generację zdjęć satelitarnych cechuje zwiększona rozdzielczość (5-30 m), podwyższona dokładność radiometryczna i większa kartometryczność. Dzięki dużej pojemności informacyjnej tych zdjęć rozszerzyły się możliwości badania zmian zachodzących w różnych komponentach środowiska geograficznego.

Do zdalnej rejestracji powierzchni Ziemi, Związek Radziecki używa satelitów bezzałogowych serii Kosmos. W odróżnieniu od zdjęć z satelitów Landsat TM i SPOT, które charakteryzują się pikselową strukturą obrazu i jego zapisem w postaci numerycznej, zdjęcia radzieckie są fotografiami.

Satelity serii Kosmos pracują na orbitach prawie biegunowych na wysokości 230-240 km nad powierzchnią Ziemi i nachyleniu 82°. Wyposażone są w dwie sprzężone ze sobą kamery fotograficzne typu KFA-1000 o ogniskowej 1 m, których osie optyczne są odchylone od pionu o 9°. Wykonane zdjęcia o formacie 30 x 30 cm zachodzą częściowo na siebie, obejmując łącznie pas terenu o szerokości około 150 km i dają pokrycie stereoskopowe wynoszące 80 %. W chwili obecnej wykonuje się wyłącznie zdjęcia spektrostrefowe na filmie oznaczonym symbolem SN-10. Jest to film negatywowy, dwuwarstwowy, uczulony na promieniowanie o długości 570-680 μm i 680-810 μm. Dzięki temu, że zdjęcia te wykonywane są obiektywem o długiej ogniskowej, są one bardzo szczegółowe i jedynie panchromatyczne zdjęcia rejestrowane przez satelitę SPOT mogą być z nimi porównywalne. Duża szczegółowość radzieckich zdjęć spektrostrefowych wynika z faktu, iż film SN-10 posiada rozdzielczość w granicach 145-160 linii/mm, co w praktyce daje rozdzielczość terenową około 5-10 m. Należy jednak zaznaczyć, że wysoka zdolność rozdzielcza obiektywu wiąże się ze zniekształceniem geometrycznym zdjęcia wynikającym ze słabej korekcji optycznej obiektywu, co w znacznym stopniu utrudnia dokładne lokalizowanie informacji (Bychawski W., 1988;). Na podkreślenie zasługuje fakt, iż bardzo dobra jakość zdjęć, jak również wyżej wspomniana rozdzielczość przestrzenna, umożliwiają wielokrotne ich powiększenie, nawet do skali 1:25 000, bez pogorszenia jakości.

Porównania radzieckich zdjęć spektrostrefowych ze zdjęciami rejestrowanymi przez satelity Landsat TM i SPOT dowodzą, że rozdzielczość spektralna tych pierwszych jest znacznie mniejsza. Wynika to z faktu, że film SN-10 uczulony jest jedynie na dwa zakresy spektrum elektromagnetycznego i mimo dużej rozdzielczości przestrzennej zdjęcia wykonywane na tym filmie mogą być w niektórych przypadkach niewystarczającym źródłem informacji. Użyteczność tych zdjęć jest związana ściśle z rodzajem informacji, jaką chcemy pozyskać oraz specyfiką terenu, na którym prowadzone są badania. Dowodem tego może być porównawcza analiza wizualna radzieckich zdjęć spektrostrefowych oraz zdjęć zarejestrowanych przez satelitę Landsat TM z terenu Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Zdjęcia satelitarne wykonywane przez satelitę Landsat są mało przydatne w przypadku obszarów silnie przeobrażonych, gdzie następuje niespotykane gdzie indziej nagromadzenie przekształconych form użytkowania ziemi oraz ich wzajemne chaotyczne przenikanie się. Przestrzenna zdolność rozdzielcza takich zdjęć ogranicza ich wykorzystanie w analizie terenu.

Analizę taką można wykonać jedynie na zdjęciach satelitarnych, które można bez utraty informacji powiększać do skali wymaganej w tego rodzaju szczegółowych badaniach. Zdjęcia wykonywane z satelitów Kosmos można powiększyć nawet do skali 1:25 000, bez istotnego pogorszenia ich jakości.

Zdjęcia wykonane za pomocą skanerów mają strukturę pikselową i dlatego powiększenie ich w ograniczonym stopniu wpływa na dokładność wydzielonych elementów. Zarysowujący się kształt samych pixeli zaciemniał obraz zarejestrowanych na zdjęciach zjawisk. Zastosowanie wielospektralnych sensorów, rejestrujących aż w 7 kanałach widma właściwości fizyczne obrazowanych obiektów, okazało się niewystarczające w ich rozpoznawaniu, w przypadku tak bardzo intensywnie zagospodarowanego terenu jakim jest GOP.

Na podstawie wyżej opisanych doświadczeń można stwierdzić, że mimo małej rozdzielczości spektralnej, ograniczającej jakościową analizę poszczególnych komponentów środowiska, radzieckie zdjęcia spektrostrefowe będące fotografiami stanowią bogate źródło informacji topograficznej. O ich przewadze w niektórych sytuacjach nad innymi zdjęciami satelitarnymi o dużej rozdzielczości przestrzennej świadczy również możliwość uzyskania obrazu stereoskopowego, który jest szczególnie pomocny w interpretacji terenów silnie przeobrażonych.

Specyfika obszaru GOP, ogromne przeobrażenia, jakie dokonały się na nim w ciągu dziesiątków lat, skomplikowana struktura funkcjonalna aglomeracji miejskiej oraz ogólnie panujący na zdjęciach "chaos przestrzenny" sprawiły, że do identyfikacji niektórych form użytkowania ziemi niezbędne było wykorzystanie także zdjęć lotniczych.

W wyniku wizualnej interpretacji spektrostrefowych zdjęć satelitarnych w skali 1:280 000, powiększonych optycznie do skali 1:50 000, wyróżniono następujące kategorie użytkowania ziemi i pokrycia terenu:

- miejska zabudowa zwarta,
- miejska i wiejska zabudowa rozproszona,
- nowe osiedla mieszkaniowe,
- tereny sportowe i rekreacyjne, zieleń urządzona,
- obszary eksploatacji powierzchniowej wraz z terenami zdegradowanymi,
- zwały górnicze i przemysłowe czynne,
- zwały górnicze i przemysłowe zrehabilitowane,
- zabudowa przemysłowa,
- zbiorniki wodne sztuczne,
- grunty orne,
- trwałe użytki zielone,
- nieużytki naturalne,
- sady i ogrody,

- skupiska drzew i krzewów,
- lasy.

Przeprowadzona analiza zdjęć zarejestrowanych na filmie spektrostrefowym wykazała ich dużą przydatność do badań nad sposobem użytkowania ziemi obszarów intensywnie zagospodarowanych przez człowieka. Duża rozdzielczość przestrzenna tych zdjęć niweluje ich pewną niedoskonałość w odniesieniu do rozdzielczości spektralnej, natomiast fotograficzny zapis informacji wyznacza szeroki zakres możliwych do zastosowania skal.

3. Ocena antropogenicznych zmian środowiska geograficznego wybranego fragmentu Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego

Ocenę zmian, jakie dokonały się w użytkowaniu ziemi na wybranym fragmencie obszaru GOP, oraz określenie stopnia jego antropizacji wykonano w oparciu o dwie mapy. Pierwszą z nich opracowano na podstawie niemieckich map topograficznych Messtischblätter w skali 1:25 000. Druga mapa przedstawiająca również użytkowanie ziemi powstała w wyniku wizualnej interpretacji spektrostrefowych zdjęć satelitarnych wykonanych w skali 1:280 000.

W proponowanej metodzie waloryzacji regionu intensywnie zagospodarowanego przyjęto dwa kryteria oceny stopnia antropizacji.

Pierwszym kryterium oceny poszczególnych form użytkowania ziemi był stopień ich przekształcenia w stosunku do form użytków typu naturalnego, wchodzących w skład środowiska przyrodniczego. Inaczej mówiąc, im więcej elementów "przemysłowo-komunalnych", obcych środowisku naturalnemu wchodzi w skład jakiejś kategorii, tym większy stopień antropizacji był jej przypisany.

Drugie kryterium polegało na rozważeniu problemu negatywnego wpływu poszczególnych form użytkowania ziemi na środowisko przyrodnicze. W przeważającej ilości przypadków wyższemu stopniowi antropizacji towarzyszy silniejszy degradujący wpływ na środowisko.

Do oceny wyróżnionych form użytkowania ziemi posłużono się metodą bonitacji punktowej o rozpiętości skali od 1 do 5. Należy zaznaczyć, że skala ta jest jedynie umowna, gdyż nie istnieje metoda wymiernego określenia stopnia antropizacji. Skala ta służy jedynie za narzędzie klasyfikacji i uszeregowania poszczególnych jednostek powierzchni według przyjętej punktacji (tab. 1). Rezultaty tej oceny, wynikające z zastosowania metody bonitacji punktowej, nie mogą służyć do szczegółowych dalszych badań tego regionu, gdyż badania takie wymagają z reguły zebrania danych liczbowych, charakteryzujących występujące zjawiska. W przypadku oceny stopnia antropizacji poszczególnych form użytkowania ziemi mamy do czynienia z cechami, których nie można opisać żadnymi wartościami bezwzględnymi,

Tablica 1

Stopień antropizacji form użytkowania ziemi wyrażony metodą bonitacji punktowej

Forma użytkowania ziemi	Ilość przypisanych punktów
Obszary eksploatacji powierzchniowej i tereny zdegradowane	5
Zwały górnicze i przemysłowe czynne	5
Zwały górnicze i przemysłowe zrekultywowane	4
Zabudowa przemysłowa wraz z komunikacją kolejową	5
Zbiorniki wodne sztuczne	5
Zabudowa zwarta	5
Zabudowa rozproszona z ogrodami i sadami	3
Nowe osiedla mieszkaniowe	3
Tereny sportowe, rekreacyjne, zieleni urządzona	1
Grunty orne	2
Trwałe użytki zielone	1
Nie użytki naturalne	1
Sady i ogrody	1
Skupiska drzew i krzewów	1
Lasy	1

a jedynie uszeregować względem siebie według wcześniej przyjętych zasad. Stwarza to możliwość wystąpienia subiektywnej oceny badanych zjawisk, dlatego rezultaty jej mogą być wykorzystane jedynie do wytyczenia kierunków pewnych działań typu planowanie regionalne lub do typowania niektórych obszarów do badań szczegółowych.

Na bazie przyjętej zasady waloryzacji środowiska geograficznego podjęto próbę prezentacji zmian, jakie zaszły na wybranym fragmencie obszaru GOP w latach 1883-1983.

Prezentacja tych zmian polegała na nałożeniu na siebie dwóch warstw informacyjnych i porównaniu zmienności poszczególnych elementów treści w każdym polu odniesień przestrzennych. Pierwszą warstwą informacyjną był stopień antropizacji form użytkowania ziemi w 1883 r., drugą natomiast stopień antropizacji w 1983 r. Przyjęto, że jeśli ilość punktów przypisana jakiejś formie użytkowania ziemi na mapie z 1983 roku była wyższa od ilości punktów przypisanej tej samej formie na mapie z 1883 roku oznaczało to, że forma ta uległa przekształceniu w kierunku większej antropizacji i ostatecznie otrzymała ilość punktów z mapy pierwszej ze znakiem minus, oznaczającym niekorzystny kierunek tych zmian.

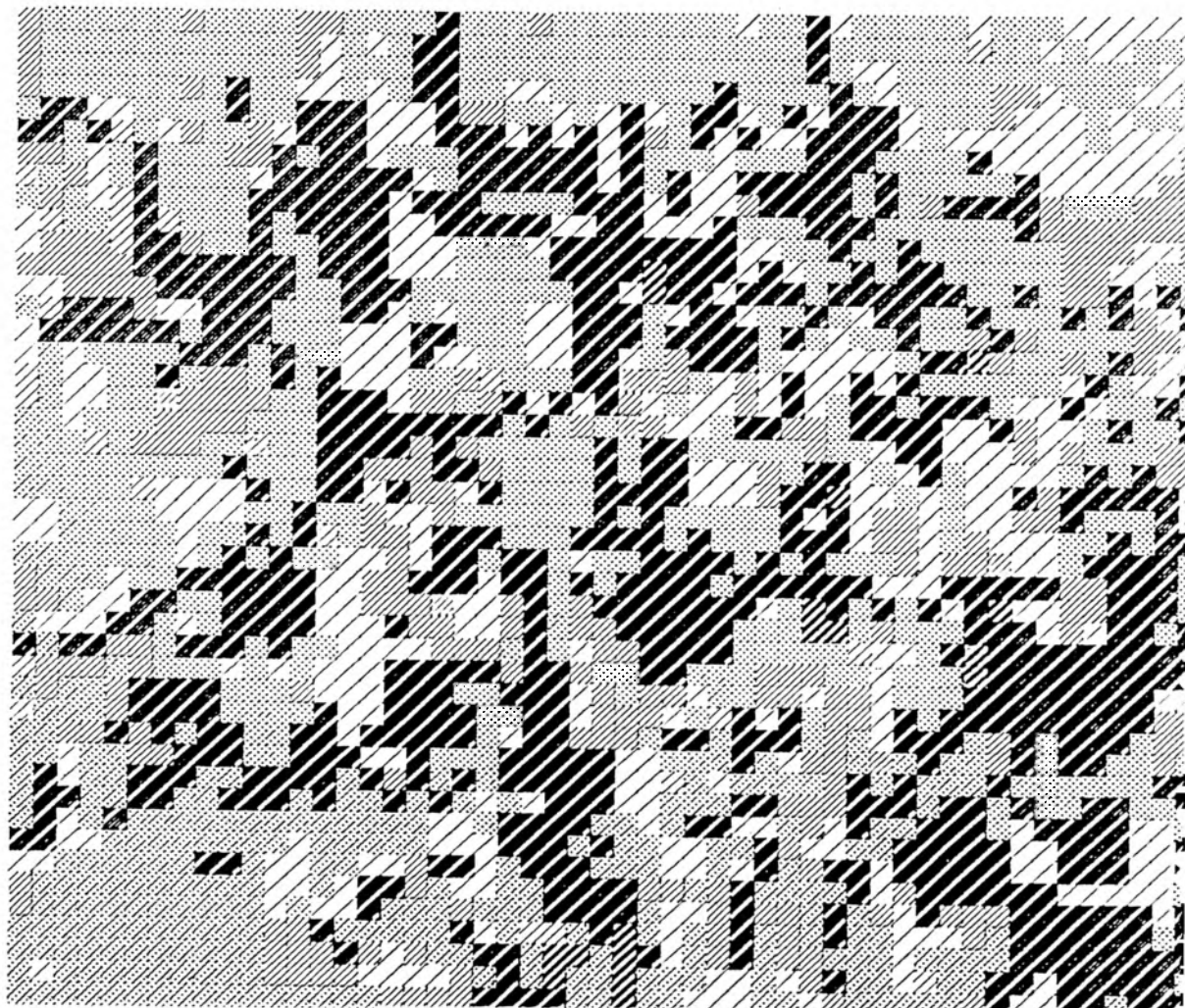
W sytuacji przeciwnej wybrana forma otrzymała znak dodatni i przyjmowała również ilość punktów z mapy pierwszej. Jeśli ilość punktów przypisana tej samej formie użytkowania była taka sama na obu mapach, oznaczało to, że nie dokonały się na tym obszarze żadne zmiany, co zostało oznaczone wartością zerową.

Dla zwiększenia stopnia percepcji mapy poszczególnym wartościom oceny punktowej przypisano graficzną formę prezentacji zjawisk powierzchniowych, jaką jest deseni liniowy o narastającym stopniu gradacji linii, odpowiadającym wzrostowi natężenia zjawiska. Kolorem natomiast oznaczono kierunki zachodzących zmian. Przesunięciu niektórych form użytkowania do grup o wyższym stopniu antropizacji odpowiadał kolor fioletowy, natomiast w odwrotnym kierunku kolor zielony. Brak zmiany wyrażano deseniem kropkowym w kolorze szarym (rys. 3).

Dzięki zastosowaniu tej formy prezentacji graficznej możliwe było wyeksponowanie nie tylko obszarów, na których zaszły zmiany lub nie, ale również zaznaczenie kierunków tych zmian.

Wieloletnie działanie na terenie GOP czynników degradujących doprowadziło do całkowitego przekształcenia istniejących tam kiedyś form terenu, gleb, flory i fauny oraz stosunków wodnych. GOP, stając się ważnym regionem gospodarczym w naszym kraju, stał się jednocześnie strefą występowania najsilniej skażonego powietrza atmosferycznego. Skażenie to głównie powodują emisje przemysłowe, które często wielokrotnie przekraczają dopuszczalne normy.

Zastosowanie w niniejszej pracy systemu informacji geograficznej, umożliwiającego przeprowadzenie analiz informacji zgromadzonych w różnych warstwach informacyjnych bazy danych, pozwoliło nie tylko ocenić powierzchniowe zmiany poszczególnych form użytkowania ziemi i dokonać ich waloryzacji, ale również wydzielić na badanym terenie różne strefy zanieczyszczenia powietrza i związane z tym strefy zagrożenia.



Zmiany w użytkowaniu
w latach 1883-1983
wyrażone stopniem antropizacji
Fragment obszaru GOP

skala 1:50 000

Legenda

-  najniższy stopień antropizacji
-  stopnie pośrednie
-  najwyższy stopień antropizacji
-  zmiany nie wystąpiły
-  zwiększenie stopnia antropizacji
-  zmniejszenie stopnia antropizacji

Rys. 3. Zmniejszony fragment barwnej mapy pt:
"Zmiany w użytkowaniu ziemi ..."

4. Zagrożenie środowiska geograficznego badanego obszaru GOP

Nieodłącznym elementem postępującej antropizacji środowiska geograficznego, będącej efektem gospodarczej działalności człowieka, jest znaczny wzrost zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Szeroko pojęta strategia właściwego kształtowania i ochrony środowiska oraz oceny zachodzących w tym środowisku zmian obejmuje swymi badaniami również powietrze atmosferyczne, bowiem występujące w nim zanieczyszczenia stanowią ogromne zagrożenie dla środowiska, w tym również dla człowieka.

Znajomość rozkładu stężeń poszczególnych zanieczyszczeń, emitowanych przez istniejące zakłady przemysłowe, jest pomocna w ustalaniu lokalizacji przyszłych obiektów przemysłowych, wytyczaniu stref ochronnych oraz właściwej lokalizacji nowych osiedli mieszkaniowych.

Zróznicowany rozkład stężeń zanieczyszczeń sprawia, że różne obszary są mniej lub bardziej narażone na ich negatywne oddziaływanie. Aby wykazać zróżnicowane oddziaływanie różnych stężeń zanieczyszczeń na poszczególne formy użytkowania ziemi, podjęto próbę waloryzacji środowiska geograficznego badanego terenu. Waloryzacji tej dokonano uwzględniając odporność elementów środowiska i rozkład stężeń zanieczyszczeń.

Podstawową wielkością charakterizującą stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego jest stężenie zanieczyszczenia, wyrażające się stosunkiem masy lub objętości zanieczyszczenia do objętości lub masy powietrza.

W kompleksowych badaniach zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, uwzględniających jednocześnie występowanie różnych zanieczyszczeń, stosowane są syntetyczne wskaźniki oceny. Jednym z nich jest stężenie równoważne, zwane też dozą zanieczyszczeń:

$$d_z = \sum_{t=1}^{t=n} S_t \cdot k_t$$

d_z - doza zanieczyszczeń

n - ilość substancji zanieczyszczających powietrze

k_t - współczynnik toksyczności poszczególnych zanieczyszczeń

S_t - stężenie określonego zanieczyszczenia

$$k_t = \frac{\text{dopuszczalne stężenie } SO_2}{\text{dopuszczalne stężenie danego zanieczyszczenia}}$$

$$k_{SO_2} = 1$$

Doza zanieczyszczeń jest bardzo wygodną i praktyczną miarą oceny stopnia zanieczyszczenia atmosferycznego ze względu na następujące właściwości (Juda J., Budziński K., 1961):

- pozwala ocenić łącznie działanie różnych zanieczyszczeń,
- jest wielkością addytywną, tzn. może być obliczona oddzielnie dla każdego źródła energii i obliczona dla dowolnej ilości źródeł jako sumy.

Należy jednak pamiętać, że wartość dozy ma znaczenie jedynie jako wartość względna i jest nieporównywalna z wartościami normowanymi.

Inną ocenę łączną, stosowaną w badaniach stanu zanieczyszczenia powietrza wywołanego różnymi zanieczyszczeniami jest wskaźnik zanieczyszczenia powietrza W_z :

$$W_z = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{S_i}{D_i}$$

- n - ilość substancji zanieczyszczających powietrze,
- S_i - stężenie określonego zanieczyszczenia,
- D_i - najwyższe dopuszczalne stężenie określonego zanieczyszczenia.

Otrzymane w wyniku obliczeń wskaźniki są stosunkowo trudne do oceny, gdyż wskazują jedynie związki relatywne. Tym samym rozkład wartości dozy zanieczyszczeń lub wskaźnika zanieczyszczeń pozwalają określić obszary o mniejszym lub większym zanieczyszczeniu, na zasadzie wzajemnego porównania. Wydaje się, że brak możliwości odniesienia obliczeń do wartości normatywnych utrudnia ocenę skali występującego zjawiska.

Z tego powodu zaproponowano obliczenie wartości wskaźnika zanieczyszczenia powietrza w sposób zmodyfikowany, poprzez wprowadzenie pojęcia wielokrotności przekraczania sumy dopuszczalnych dóz zanieczyszczeń oraz potraktowania współczynnika toksyczności jako wagi każdego z zanieczyszczeń. A więc, za wartość normatywną przyjęto sumę d_n , obliczoną dla wszystkich badanych zanieczyszczeń przy założeniu, że wszystkie przyjmują graniczną, maksymalnie dopuszczalną wartość stężenia.

Zmodyfikowany wskaźnik zanieczyszczeń, który nazwano wskaźnikiem szkodliwości powietrza atmosferycznego W_s , zdefiniowano następująco:

$$W_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{S_i}{D_i} \cdot k_i}{d_n}$$

$$d_n = \sum_{i=1}^{i=n} D_i \cdot k_i$$

- S_i - stężenie określonego zanieczyszczenia,
- D_i - dopuszczalne stężenie określonego zanieczyszczenia,
- k_i - współczynnik toksyczności poszczególnych zanieczyszczeń,
- n - ilość substancji zanieczyszczających powietrze,
- d_n - doza dopuszczalnych stężeń.

Badania nad stopniem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego przeprowadzono na podstawie pomiarów średniorocznego stężenia ośmiu wybranych zanieczyszczeń. Są nimi: SO_2 , N_2O_5 , fenol, fluor, formaldehyd, benzo-a-piren, ołów, pył zawieszony.

Pomiary były wykonane w 1983 roku przez Stację Sanitarno-Epidemiologiczną i opublikowane w biuletynie (*Zanieczyszczenia...*, 1984/1985).

W oparciu o wartości średniorocznych stężeń ośmiu wybranych zanieczyszczeń opracowano dla każdego z nich mapę, na której za pomocą metody izolinii przedstawiono powierzchniowy rozkład zanieczyszczeń. Treść każdej z tych map została wprowadzona do bazy danych Systemu Informacji Geograficznej i stanowiła materiał wyjściowy do opracowania mapy zbiorczej, prezentującej łączną ocenę stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego wyrażoną wskaźnikiem szkodliwości W_s (rys. 4). Obliczenia oraz wyrysy przebiegu poszczególnych izolinii wykonano stosując do tego celu autograf analityczny firmy OPTON wraz z oprogramowaniem PHOCUS.

Trójwymiarowy obraz rozkładu wskaźnika W_s pokazany jest na rys. 5. Do obliczeń i opracowania formy graficznej wykorzystano program HIFI 88, który jest przeznaczony do prezentacji modeli numerycznych.

Biorąc pod uwagę rodzaj form użytkowania ziemi, a także stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, wyróżniono bardziej lub mniej zagrożone obszary. Zagrożenie różnych terenów w dużej mierze związane jest z odpornością poszczególnych użytków na wielkość dostawy zanieczyszczeń. Odporność tę kształtuje również wiele innych czynników, między innymi czas trwania zanieczyszczenia, ogólna kondycja danego użytku poddanego wpływom zanieczyszczonego powietrza, a także warunki fizjograficzne terenu, na którym użytki występują. O wrażliwości w sposób pośredni możemy wnioskować z wielkości dopuszczalnych maksymalnych stężeń.

Posługując się metodą bonitacji punktowej, wyróżniono cztery stopnie odporności, przy czym 4 punkty otrzymały użytki o najwyższym stopniu odporności, a 1 punkt o najniższym (tabl. 2). Bonitacja wydzielonych form użytkowania ziemi i pokrycia terenu pod kątem ich odporności stanowiła kolejną warstwę informacyjną w bazie danych.

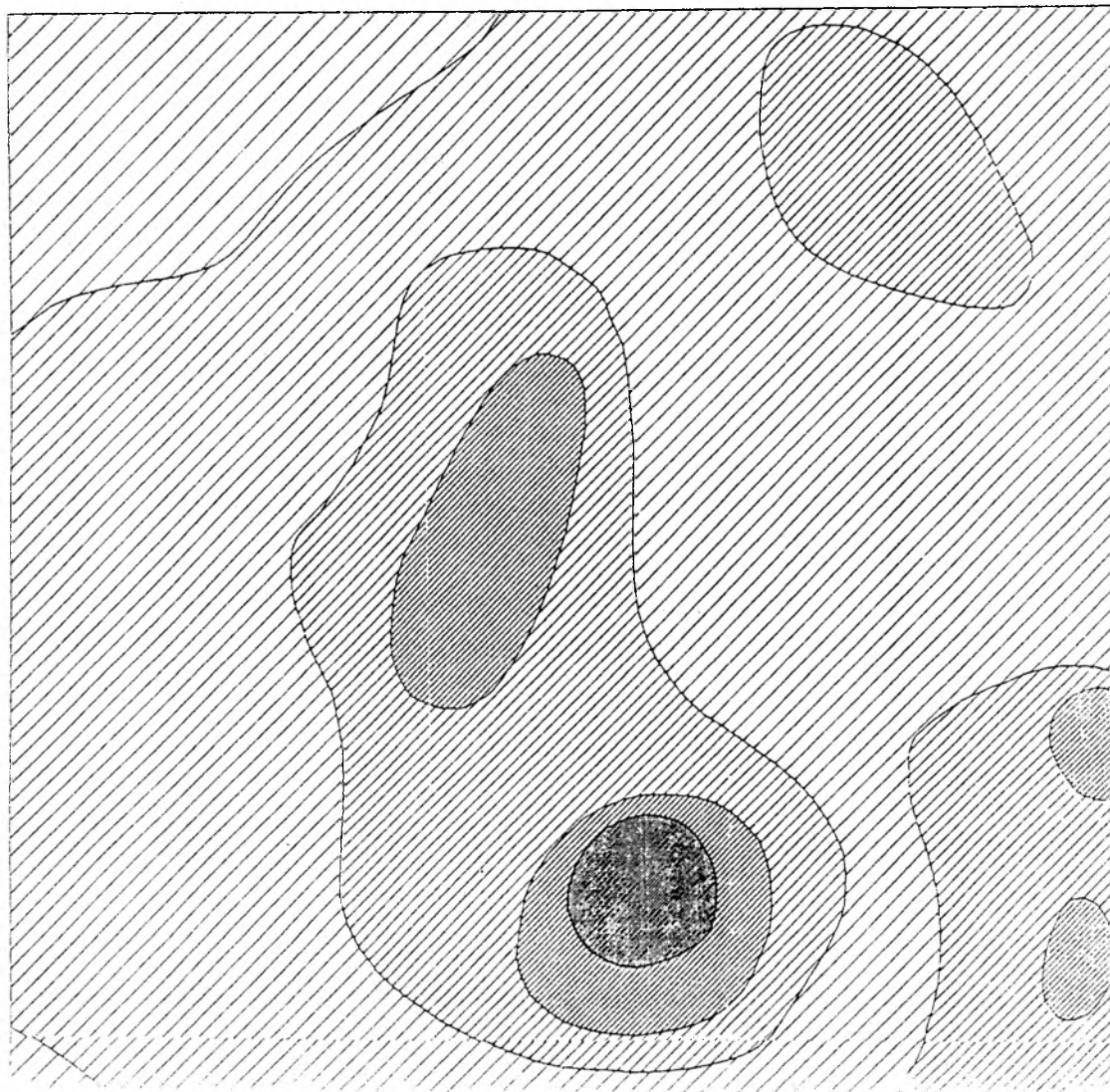
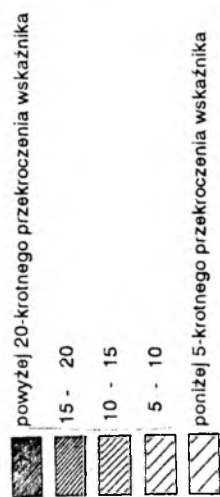
Wydzielenia różnych stref zagrożenia środowiska geograficznego badanego obszaru, jako efektu istniejących zależności pomiędzy odpornością poszczególnych elementów tego środowiska a wielkością dostawy zanieczyszczeń, dokonano poprzez nałożenie na siebie i analizę dwóch warstw informacyjnych, według zasady przedstawionej w tabl. 3.

Pierwszą refleksją, jaka nasuwa się po analizie mapy zmian użytkowania ziemi wyrażonej stopniem antropizacji jest ogrom przekształceń, jakie dokonały się w ciągu 100 lat na badanym terenie. Nastąpiła zasadnicza zmiana proporcji w zajmowanej powierzchni przez poszczególne grupy.

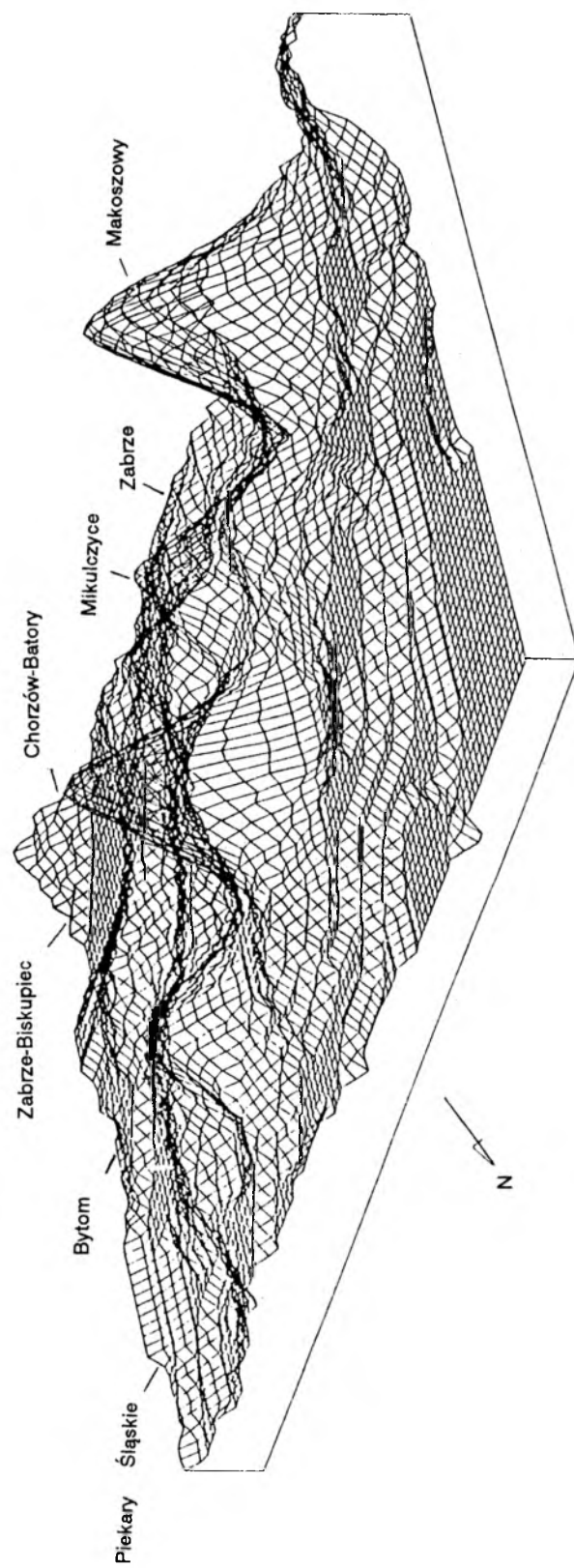
W roku wyjściowym na badanym terenie zdecydowanie dominowały formy zaliczone do pierwszego i drugiego stopnia antropizacji (27.6%, 58.8%), natomiast formy najbardziej zantropizowane i negatywnie wpływające na środowisko zajmowały zaledwie 9.3% powierzchni. W 100 lat

Rozkład częstości przekroczeń sumarycznego wskaźnika
szkodliwości charakterystycznych zanieczyszczeń powietrza
fragmentu obszaru GOP

skala 1:50 000



Rys. 4. Zmniejszony fragment mapy pt.:
"Rozkład częstości przekroczeń ..."



Rys.5. Rozkład krotkości przekroczeń sumarycznego wskaźnika szkodliwości charakterystycznych zanieczyszczeń powietrza fragmentu obszaru GOP

Tablica 2

Bonitacja odporności form użytkowania ziemi

Formy użytkowania ziemi	Stopień odporności
Tereny eksploatacji powierzchniowej i zdegradowane	4
Zwały górnicze i przemysłowe czynne	4
Zabudowa przemysłowa wraz z komunikacją kolejową	4
Tereny sportowe, rekreacyjne, zieleni urządzona	4
Grunty orne	3
Trwałe użytki zielone	3
Nie użytki naturalne	3
Sady i ogrody	3
Skupiska drzew i krzewów	3
Zwały górnicze i przemysłowe zrekultywowane	3
Zabudowa zwarta	2
Zabudowa rozproszona z ogrodami i sadami	2
Nowe osiedla mieszkaniowe	2
Lasy	1

później zaobserwowano znaczne zmniejszenie powierzchni dwóch wymienionych grup, prawie o połowę (42.2%) i jednoczesny czterokrotny wzrost powierzchni form użytkowania ziemi zakwalifikowanych do grupy o najwyższym stopniu antropizacji.

Ogromna koncentracja na stosunkowo niewielkiej przestrzeni uciążliwych dla otoczenia form użytkowania ziemi doprowadziła do bardzo wysokiego zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Okazało się, że w strefie bardzo niebezpiecznej i niebezpiecznej (V, IV) znalazło się 8.9% badanego obszaru, tzn. 3212.7 ha (rys. 6). Największy powierzchniowy udział w omawianych strefach ma zabudowa rozproszona, zajmująca 1137.5 ha, co

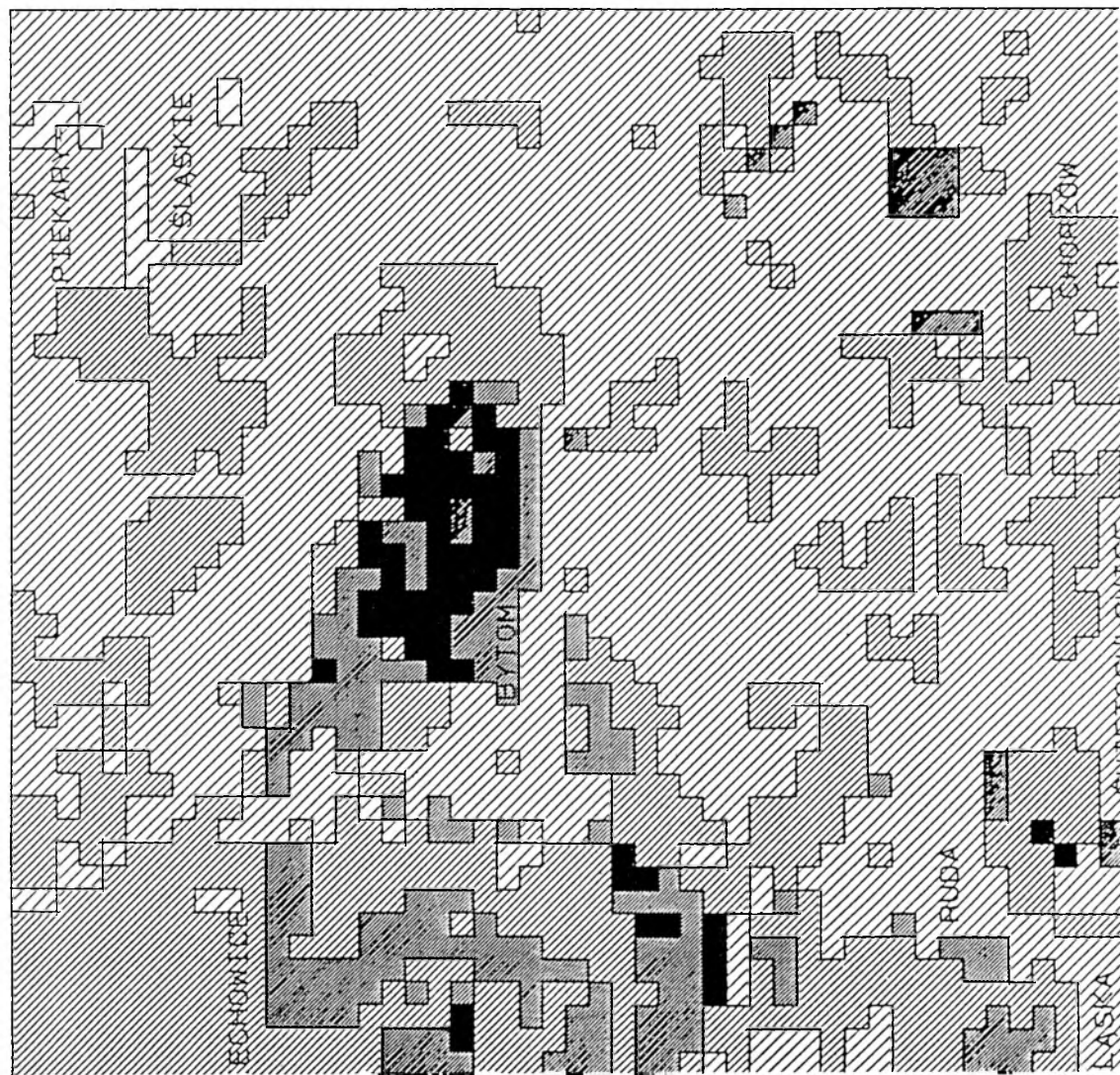
Tablica 3

Zasady bonitacji zagrożenia środowiska geograficznego badanego obszaru

stopień zagrożenia	stopień odporności	zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego (wielokrotność przekroczenia wartości normatywnej)
strefa bardzo niebezpieczna V	1, 2	> 20
	1, 2	16 - 20
strefa niebezpieczna IV	3	> 20
	3	16 - 20
	1, 2	15 - 11
strefa bardzo szkodliwa III	4	> 20
	4	16 - 20
	3	15 - 11
	1, 2	10 - 5
strefa szkodliwa II	1	< 5
	4	15 - 11
	4	10 - 5
	3	10 - 5
	2, 3	< 5
strefa mniej szkodliwa I	4	< 5

stanowi 24.2% całej powierzchni tej formy użytkowania, kolejno lasy zajmujące 668.7 ha (15.3%) oraz zabudowa zwarta o powierzchni 637.4 ha (26.5%). Niepokojącym zjawiskiem jest fakt, że aż 25.6% nowych osiedli mieszkaniowych znalazło się w strefie niebezpiecznej. Pozostałe użytki objęte strefą bardzo niebezpieczną i niebezpieczną są mało znaczące powierzchniowo lub bardziej odporne na zanieczyszczenia.

W obrębie drugiej co do wielkości strefy, określonej jako bardzo szkodliwa, znalazło się 37% badanego terenu. Objęła ona wszystkie wydzielone użytki, a w największym stopniu o najmniejszej lub bardzo małej odporności, do których zaliczono lasy - 3693.7 ha, tj. 84.7% powierzchni zajmowanej przez ten użytek, zabudowę rozproszoną 2537.4 ha (54%), zabudowę zwartą - 1725.1 ha (71.7%) oraz grunty orne - 1243.6 ha (16.3%). Również i w tej, bardzo szkodliwej strefie wydzielono znaczne powierzchnie nowych osiedli mieszkaniowych (64.1%). Spośród form użytkowania odpornych na za-



STOPIEŃ ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA GEOGRAFICZNEGO
Fragment obszaru GOP
skala 1:50 000

Strefy zagrożenia

V	STREFA BARDZO NIEBEZPIECZNA
IV	STREFA NIEBEZPIECZNA
III	STREFA BARDZO SZKODLIWA
II	STREFA SZKODLIWA
I	STREFA MNIEJ SZKODLIWA

Rys. 6. Zmniejszony fragment mapy pt.
"Stoień zagrożenia środowiska geograficznego"

nieczyszczenia największy udział powierzchniowy ma zabudowa przemysłowa, która została objęta tą strefą w 21.4%.

Formy użytkowania o odporności 2 punkty w strefie zanieczyszczeń poniżej 5-krotnego przekroczenia normy, o odporności 3 punkty w strefie 10-5 i 5 oraz odporności 4 punkty w strefie 15-11 i 10-5, stanowią najrozleglejszą strefę, nazwaną szkodliwą (II). Strefa ta objęła 18967 ha, co stanowi 52.7% badanego obszaru. W jej granicach znalazło się aż 82.8% gruntów ornych, 84.6% terenów sportowych i rekreacyjnych, 78.4% zwałów górniczych i przemysłowych zrekultywowanych, 77.9% trwałych użytków zielonych, 72.7% terenów zadrzewionych i zakrzewionych, 68.1% sadów i ogrodów oraz 21.8% zabudowy rozproszonej. Pozostałe użytki wchodzące w skład II strefy związane są w większości z działalnością przemysłową, a więc zaklasyfikowane do grupy użytków odpornych na zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego.

Najmniejszą powierzchnio jest strefa nazwana mniej szkodliwą (I), którą tworzą użytki o największej odporności (4 punkty) i które znalazły się w strefie oddziaływania powietrza atmosferycznego o najmniejszej szkodliwości, tzn. 5 - krotnego przekroczenia wartości normatywnej. W sumie strefa ta obejmuje 487.8 ha, tzn. 1.4% obszaru. Największą powierzchnio formą, jaka znalazła się w granicach tej strefy, jest zabudowa przemysłowa (293.8 ha) i tereny eksploatacji powierzchniowej oraz zdegradowane (131.3 ha).

Przeprowadzona analiza zgromadzonych informacji w pełni potwierdziła wyniki licznych innych badań mówiących, że wybrany fragment GOP w całości stanowi strefę silnego zagrożenia dla mało odpornych na zanieczyszczenia elementy środowiska geograficznego.

W granicach trzech "najgorszych" stref znalazły się wszystkie formy użytkowania ziemi najbardziej wrażliwe na degradacyjny wpływ skażonego powietrza. Łącznie powierzchnia tych użytków wyniosła 11068.7 ha, co stanowi 30.7 % całego badanego obszaru. W skład tej powierzchni wchodzi aż 98.2% całości wydzielonej zwartej zabudowy, 78.2% zabudowy rozproszonej, 91.4% nowych osiedli mieszkaniowych i 100% lasów. Pozostałe formy użytkowania ziemi o średniej (3 punkty) i dużej odporności (4 punkty), również w znacznej mierze zostały objęte strefami najbardziej szkodliwymi.

Zakończenie

Przeobrażenia jakie dokonały się w komponentach środowiska geograficznego wybranego fragmentu GOP, są efektem intensywnego rozwoju gospodarczego tego regionu. Ilościowe i jakościowe zmiany, a także często małe powierzchnio przeobrażenia sprawiły, że w celu dokonania właściwej ich oceny konieczne było przeprowadzenie szczegółowej analizy badanego obszaru. Analizę taką można jedynie wykonać na zdjęciach w

dużych skalach. W przeciwieństwie do zdjęć wykonanych za pomocą skanerów mających strukturę pikselową, ograniczającą dokładność wydzielanych elementów, radzieckie zdjęcia spektrostrefowe są fotografiami i nie stwarzają praktycznie w tym zakresie żadnych ograniczeń. Można je powiększyć do skali 1:25 000, bez utraty jakości.

Metoda bonitacji punktowej zastosowana do oceny stopnia przekształceń środowiska geograficznego obszarów silnie uprzemysłowionych okazała się trafną, gdyż metoda ta jest najczęściej wykorzystywana do badań związków i zależności istniejących pomiędzy nieporównywalnymi ze sobą zjawiskami lub elementami składowymi środowiska geograficznego. Cechy różnych elementów poddawane są ocenie poprzez przypisanie im punktów bonitacyjnych. Dzięki temu zabiegowi sprowadzono do wspólnego mianownika różne wartości, które następnie były porównywane, szeregowane i wartościowane.

W badaniach dotyczących zmian środowiska, ze względu na konieczność porównania ogromnej liczby różnotematycznych danych, niezmiennie przydatne okazują się systemy informacji geograficznej. Zastosowany w niniejszej pracy system, opracowany w IGiK, został przetestowany w trakcie realizacji opisanych badań. Okazał się on skuteczny zarówno w toku gromadzenia danych, ich przetwarzania, a także prezentacji otrzymanych informacji.

Przyjęto do opublikowania w dniu 13 listopada 1992 r.

LITERATURA

- [1] Baranowski M., Ciołkosz A.: *Przewidywany rozwój technologii teledetekcyjnych w kartowaniu tematycznym i monitoringu*. Konferencja naukowo-techniczna nt.: "Technologie geodezyjno-kartograficzne". Poznań-Błażejewo.
- [2] Bychawski W.: *Wielkoobszarowa ocena stanu lasów na podstawie wysoko-rozdzielczych zdjęć satelitarnych*. Dokumentacja naukowa: etap I 1986, etap II 1987, etap III 1988, IGiK-OPOLiS, Warszawa: 1988.
- [3] Juda J., Budziński K.: *Zanieczyszczenia atmosfery*. Warszawa: WNT 1961.
- [4] Marsz A.: *Próba regionalizacji fizyczno-geograficznej wyspy Wolin*. badania fizjograficzne nad Polską zachodnią. 1967 t.18.
- [5] Podlacha K.: *Jednolita sieć pól podstawowych do inwentaryzacji zasobów przyrodniczych*. Prz. Geod. 1980 R. 52 nr 3.
- [6] Poławski Z.F.: *Kartograficzna prezentacja wyników teledetekcyjnego monitoringu środowiska geograficznego Karkonoszy zachodnich*. Praca doktorska. IGiK, Warszawa: 1989.
- [7] Żmuda S.: *Antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego konurbacji śląskiej*. PWN, Warszawa: 1973.

MAŁGORZATA KOWALSKA

APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM
FOR ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC CHANGES OF ENVIRONMENT
AND ENVIRONMENTAL HAZARDS
AT THE HIGHLY INDUSTRIALIZED AREAS

S u m m a r y

Large amount of information about geographic environment, collected through application of remote sensing techniques, implied preparation of systems, which could gather multisource data and process them, in order to produce new thematic maps. These systems are called geographic information systems (GIS). One of them was prepared at the Institute of Geodesy and Cartography and used for assessment of anthropogenic changes and environmental hazards on the 36 000 square km area of the Upper Silesia Industrial Region (GOP). Technical-organizational assumptions of GIS require determination of the smallest spatial unit, which will be used for collecting data. Information about state of geographic environment, acquired from various sources, was entered into reference grid cells, 250x250 m in size (P4 - fourth order).

Two land use maps prepared on the basis of old topographic maps (1883) and on the basis of high-resolution KOSMOS satellite false-colour photographs (1983) were two first information layers, created at the GIS database. These two maps and the method of valorization of geographic environment highly transformed by man's activity, were the basis for preparing resultant map, presenting anthropogenic changes, which occurred during 100 years within the study area.

Evaluation of the study area was done through delineation of zones of environmental hazard; it was based on using relationship between resistance of particular land use type to air pollution and amount of this pollution. Resistance was determined with the use of point classification. Four degrees of resistance were discriminated: from one point for land use types with the lowest degree of resistance till four points for highly resistant areas (Tab. 2). Final score was influenced by admissible sulphur dioxide concentration for particular land use type and by appearance of settlements.

Content of the prepared maps fed GIS database, creating the succeeding information layers.

Maps of distribution of mean annual concentration of eight pollutants, which highly exceeded admissible standards, were prepared on the basis of point measurements conducted in 1982. These are: benzopyrene, lead, sulphur dioxide, phenol, fluorine, formaldehyde, suspended dust, N₂O₂. The mentioned maps were the basis for preparing summary map, presenting global evaluation of the state of air pollution, expressed by index of hazard W_s.

Information on land use, resistance of particular land use type to air pollution and on degree of hazard caused by air pollution, which was entered to the GIS database, allowed to prepare final map. Zones of environmental hazard were delineated on this map; they were the result of relationship between resistance of particular environmental components and amount of pollution, according to the principle presented in Tab. 3.

МАЛГОЖАТА КОВАЛЬСКА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ОЦЕНКЕ АНТРОПИЗАЦИИ И УГРОЗЫ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ ТЕРРИТОРИИ КРУПНОПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Резюме

Огромное количество информации об окружающей среде, которое мы получаем благодаря применению дистанционного зондирования, привело к необходимости разработки такой системы, которая давала бы возможность сбора информации из разных источников, а затем разработки на их основе новых разнотематических карт. Такими системами являются, так называемые, системы географической информации. Одна из таких систем, разработанная в ИГиК, используется для оценки антропогенной и угрозы для географической среды фрагмента Верхнесилезского угольного бассейна площадью 36 000 га.

Организационно-технические принципы системы географической информации требуют, между прочим, определения уровня пространственной детальности, т.е. дефиницирования наименьшей территориальной единицы, к которой будут относиться полученные данные. Информации о состоянии географической среды исследуемой территории, полученные из разных источников, были вписаны в поля пространственных относимостей четвертого порядка (P4) размерами 250 м x 250 м.

Первыми двумя информационными слоями, какие были заложены в базе системы географической информации, были данные относительно способа использования земли в 1883 г., полученные в результате анализа топографических карт, и данные использования земли в 1983 г., разработанные на основе космических спектрально-радиометрических снимков Космос с повышенной пространственной разрешающей способностью. Базируясь на этих информационных слоях и предложенном методе валоризации географической среды сильно преобразованной человеком, была разработана результативная карта, представляющая антропогенные изменения, какие произошли в течение 100 лет на исследуемой территории.

Оценка исследуемой территории, заключающаяся в выделении зон угрозы, была произведена на основе связи, существующей между устойчивостью отдельных элементов землепользования перед загрязнениями воздуха, а величиной этого загрязнения. Эту устойчивость определено, применяя метод точечной бонитировки. Были выделены четыре степени устойчивости, причём 1 пункт получили угодья с самой низкой степенью устойчивости, а 4 пункта - с наивысшей (таб. 2). О распределении количества пунктов решала, между прочим, величина допустимой концентрации SO_2 для данного угодья, а также имеется ли на данной территории большая плотность населения.

Содержание составленных очередно карт пополнило базу данных GIS, создавая следующие информационные слои.

На основе точечных измерений, выполненных в 1982 г., была разработана карта хода среднегодовой концентрации восьми загрязнений, величины которых многократно превышали допустимые нормы. Эти загрязнения следующие : бензоапирен, олово, SO_2 , фенол, флюор, формальдегид, всякая пыль, N_2O_2 . Указанные карты явились исходным материалом для составления обобщённой карты, представляющей совместную оценку состояния загрязнения атмосферного воздуха, выраженную показателем вредности Ws .

Собранные в базе данных информации на тему землепользования исследуемой территории, устойчивости выделенных форм землепользования перед загрязнением воздуха, а также степени вреда воздуха, дали возможность разработать финальную карту. Выделены на ней зоны угрозы для географической среды исследуемой территории, как эффект существующей зависимости между устойчивостью отдельных элементов этой среды, а величиной получаемых загрязнений согласно принципу представленному в таблице 3.

Перевод: Róza Tołstikowa

