

Instytut Geografii
Uniwersytetu Gdańskiego
Gdańsk

Tadeusz Gacki

ZASTOSOWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH W BADANIACH GEOEKOLOGICZNYCH

Autorzy materiałów na II Kongres Nauki Polskiej omawiając osiągnięcia i perspektywy nauk geograficznych i przestrzennego zagospodarowania kraju stwierdzili, że w związku z dotychczasowym niedostatkiem badań w zakresie geografii fizycznej kompleksowej istnieje potrzeba ich intensyfikacji, gdyż kierunek ten ma do spełnienia zadania ważne zarówno z teoretycznego jak i praktycznego punktu widzenia /7/.

Intensyfikacja badań geoeekologicznych¹ możliwa jest poprzez większe wykorzystanie zdjęć lotniczych. A. C i o ł k o s z , J. M i s s a l s k i , K. T r a f a s /1/ stwierdzili, że zdjęcia lotnicze stanowią materiał wyjątkowo przydatny w badaniach kompleksowych, pozwalają bowiem w sposób rzeczywisty i obiektywny ujawnić cały kompleks elementów środowiska geograficznego, jak też każdy z nich osobno na tle innych komponentów. Prekursor kompleksowych badań krajobrazu metodami klasycznymi w Polsce J. Kondracki zauważył, że interpretacja zdjęć lotniczych znacznie zmniejsza zakres prac terenowych, ponieważ pozwala na zrezygnowanie z wyznaczania w terenie geokompleksów /4/.

Mimo tak optymistycznych spostrzeżeń fotointerpretacja krajobrazu jest dziedziną prawie w ogóle nie uprawianą w Polsce. Ciekawe, a zarazem jednostkowe próby kompleksowej interpretacji przestrzeni geograficznej poczyniono we wrocławskim ośrodku fotointerpretacyjnym /5/.Pra-

¹ Terminem "badania geoeekologiczne" można określić kompleksowe studia krajobrazu, tj. poznanie powiązań i uwarunkowań pomiędzy biotycznymi oraz abiotycznymi /w tym antropogenicznymi/ komponentami krajobrazu, określenie morfologii i sposobu funkcjonowania kompleksów krajobrazowych /geokompleksów/ oraz przestrzennej struktury krajobrazu jako ekosystemu otwartego.

ce nad tym zagadnieniem podjęto w Instytucie Geografii Uniwersytetu Gdańskiego [2]. Zdjęcia lotnicze w kompleksowych badaniach krajobrazu wykorzystywane są w wielu krajach, z największym natężeniem w ZSRR [3].

Jednym z czynników decydujących o przydatności zdjęć lotniczych do badań krajobrazu jest ich skala. Z przeglądu dostępnych materiałów dla centralnej części Pojezierza Kaszubskiego wynika, że zdjęcia w skali mniejszej niż 1:10 000 są nośnikami informacji o strukturze i dynamice krajobrazu, zaś zdjęcia w skali 1:10 000 i większej pozwalają na wstępne określenie morfologii i charakteru funkcjonowania podstawowych energetycznych i geochemicznych komórek krajobrazu – geokompleksów elementarnych zwanych w literaturze geograficznej także facjami, ekotopami, krajobrazami elementarnymi.

Wstępna kameralna interpretacja krajobrazu na zdjęciach lotniczych wielkoskalowych może być przeprowadzona według następującego schematu [rys. 1]:

1. przegląd zdjęć pod stereoskopem oraz analiza rysunku zdjęcia w celu wstępnego zapoznania się z właściwościami geoeekologicznymi krajobrazu. Można przyjąć, że interpretację zdjęć lotniczych w aspekcie geoeekologicznym na pierwszym etapie analizy prowadzi się od ogółu do szczegółu w przeciwieństwie do badań krajobrazu metodami klasycznymi gdzie analizę rozpoczyna się od szczegółów przechodząc dopiero w końcowym etapie do uogólnień.

2. interpretacja zasięgu geokompleksów elementarnych oraz zespołów geokompleksów elementarnych o wyraźnych granicach t.z. sąsiadujących ze sobą kompleksów krajobrazowych o wyraznie odmiennych właściwościach optycznych wynikających z odmiennej jakości geoeekologicznej, np.: akwalne geokompleksy elementarne /a/, technogeokompleksy elementarne /b/, zespoły leśnych geokompleksów elementarnych /c/ itp.,

3. wyznaczenie wycinków kluczowych w celu szczegółowej interpretacji właściwości materialno-energetycznych geokompleksów elementarnych $[c_1, c_2, d_1...]$. Ten etap analizy geoeekologicznej prowadzi się interpretując model stereoskopowy terenu oraz strukturę obrazu fotograficznego danego terenu. Analiza modelu stereoskopowego terenu umożliwia wyznaczenie wycinków kluczowych na fragmentach przestrzeni krajobrazowej o odmiennych warunkach i natężeniu ruchu substancji stałej i płynnej, zaś analiza struktury obrazu pozwala na wskazanie wycinków kluczowych w obrębie kompleksów krajobrazowych o specyficznym dla siebie charakterze budowy materialnej. Na tym etapie analizy pomija się

kwestię zasięgu geokompleksów, a więc charakter i przebieg granic.

4. interpretacja komponentów współtworzących geokompleks w miejscu uprzednio wyznaczonych wycinków kluczowych. Analizę morfologii geokompleksów przeważnie najlepiej jest rozpocząć od interpretacji fitotopu /1/ tzn. górnego piętra kompleksu krajobrazowego, gdyż ten podsystem geokompleksu jest stosunkowo najłatwiejszy do rozpoznania na zdjęciach lotniczych. Interpretację fizjotopu prowadzić można w dwóch fazach. W pierwszej fazie określa się typ morfo-hydrotopu/2/, a następnie lito-pedotop/3/. W trakcie interpretacji morfologii geokompleksów w wycinkach kluczowych należy także określić sposób funkcjonowania danego kompleksu krajobrazowego tzn. wskazać kierunek i natężenie przepływu materii stałej i płynnej,

5. typologia geokompleksów elementarnych w oparciu o zinterpretowaną budowę materialną i sposób funkcjonowania kompleksu w analizowanym wycinku kluczowym oraz wyznaczenie zasięgu poszczególnych typów geokompleksów elementarnych /C₁, C₂, D₁.../,

6. określenie właściwości obrazu fotograficznego poszczególnych typów geokompleksów elementarnych /np. metodą mikrofotometryczną/ oraz stworzenie klucza fotointerpretacyjnego.

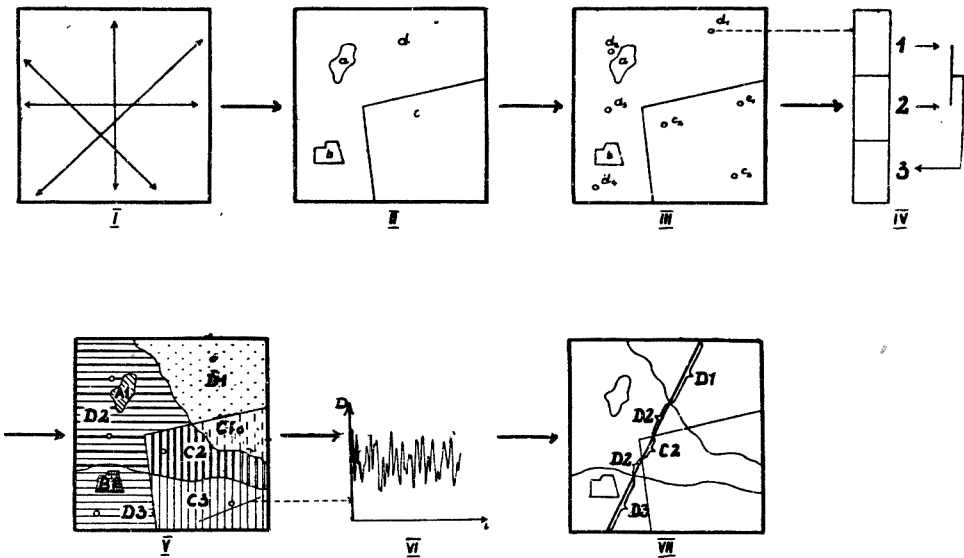
▼ VII-analiza struktury przestrzennej krajobrazu tzn. rozmieszczenia, udziału, sąsiedztwa geokompleksów elementarnych oraz sposobu funkcjonowania krajobrazu jako systemu otwartego.

Powyższy schemat analizy geokologicznej terenu w oparciu o lotnicze wielkoskalowe zdjęcia jest bardzo ogólny a zarazem dyskusyjny. Możliwość interpretacji krajobrazu wg przedstawionego schematu wymaga dużej ilości badań nad właściwościami obrazu charakterystycznych dla pewnych stref krajobrazowych geokompleksów elementarnych. Stworzenie dokładnego klucza fotointerpretacyjnego uwzględniającego właściwości optyczne i budowę materialno-energetyczną poszczególnych typów geokompleksów elementarnych pozwoliłoby na większą automatyzację interpretacji krajobrazu. Prace nad stworzeniem klucza fotointerpretacyjnego charakterystycznych dla Pojezierza Kaszubskiego geokompleksów elementarnych podjęto w Instytucie Geografii Uniwersytetu Gdańskiego.

Jak wyżej wspomniano zdjęcia lotnicze w skali mniejszej niż 1:10 000 są nośnikami informacji o dyferencjacji geokologicznej terenu tzn. o morfostrukturze krajobrazu. Jak stwierdza L.J. S m i r n o w /6/ w strukturze obrazu fotograficznego odzwierciedlają się wewnętrzne związki między komponentami krajobrazu, procesy zachodzące w danym kompleksie, a także przestrzenne rozmieszczenie elementów krajobrazu.

Należy jednakże zauważyć, że struktura obrazu fotograficznego kształtowana jest przez takie czynniki jak pora roku i dnia wykonywania zdjęć lotniczych, sposób obróbki materiałów fotograficznych, właściwości spektralne i rozłożenie w przestrzeni okresowo występujących zbiorowisk roślinnych /agrocenozy/ itp. Można jednakże przyjąć, że czynniki te mają określony zasięg wpływu na strukturę obrazu fotograficznego i uznać je za szum w informacji odnoszącej się do struktury obrazu właściwej dla danego typu krajobrazu.

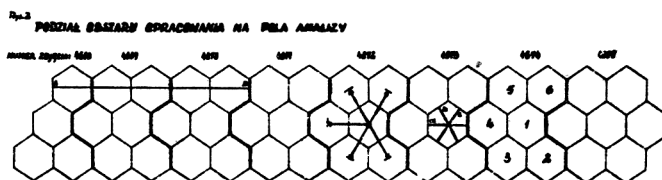
Rys. 1 ETAPY INTERPRETACJI KRAJOBRAZU NA ZDJĘCIACH WIELKOSKALOWYCH



Rys. 1. Etapy interpretacji krajobrazu na zdjęciach wielkoskalowych
Fig. 1. The stages of the photo-interpretation of landscape on large - scale air photos

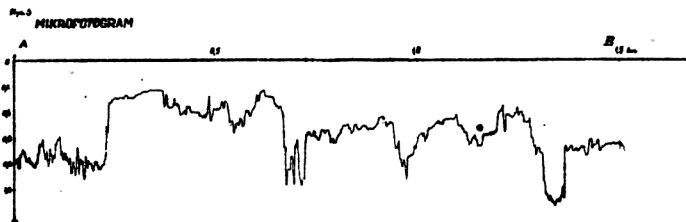
Kierując się dążnością do uchwycenia współzależności między zróżnicowaniem geoeologicznym terenu a strukturą jego obrazu fotograficznego podjęto badania na obszarze około 14,65 km², położonym na Wysoczyźnie Brodnicko - Stężyckiej, rozciągającym się od Jeziora Radańskiego Dolnego po Jezioro Brodno Duże. Wybrany teren cechuje się znaczną dyferencjacją struktury krajobrazu wynikającą z dużych deniwelacji terenu, zróżnicowania pokrycia powierzchni morfologicznej zmienności pokrywy litologiczno-głębowej. Do analizy rysunku obrazu fotogra-

ficznego terenu wzięto osiem zdjęć /4668 - 4675 Gdański Polygon Fotointerpretacyjny/ z szeregu 3 o pokryciu podłużnym 80% w skali 1:16 240 wykonanych w dniu 22.10.68 r. Analizę rozkładu gęstości optycznej przeprowadzono w sześciu sześciobokach obejmujących środkowe części zdjęć w celu uniknięcia deformacji w rozkładzie gęstości optycznej /rys. 2/. Wielkość pól analizy uwarunkowana była stopniem pokrycia sąsiadujących zdjęć. Obliczono, że aby pola analizy na sąsiadujących zdjęciach były styczne średnica kół wpisanych w sześcioboki wynosić powinna 18,5 mm, co odpowiada w terenie 300 m. W każdym sześcioboku dokonano pomiaru rozkładu gęstości optycznej wzdłuż 3 symetrycznych boków o długości równej średnicy koła wpisanego /a, b, c/ - rys. 2. Analizy rozkładu gęstości optycznej dokonano na diapozytywach mikrofotometrem samorejestrującym IFO-451 o szczelinie równej /1,48 x 2,96 mm/ x 20, co odpowiada w terenie prostokątowi o wymiarach 1m x 2m. Skala pozioma otrzymanych mikrofotogramów była pięciokrotnie powiększona w stosunku do skali zdjęć. Jako, że analizowano strukturę obrazu w 47 polach analizy, a w każdym polu mikrofotometriowanie przeprowadzono wzdłuż 3 linii uzyskano łącznie 141 mikrofotogramów o łącznej długości odniesionej do terenu: około 42,3 km. Rysunek 3 przedstawia połączone mikrofotogramy 5a,6a ze zdjęć 4668, 4669, 4670 wzdłuż linii A - B.



Rys. 2. Podział obszaru opracowania na pola analizy

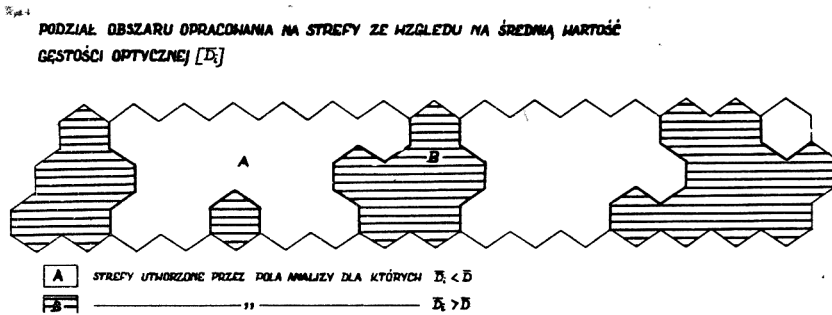
Fig. 2. Division of the area into fields of analysis



Rys. 3. Mikrofotogram

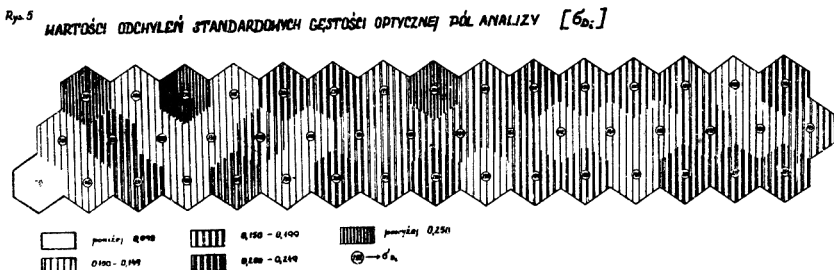
Fig. 3. Densitometrical traverse A - B

W celu wymiernego uchwycenia rozkładu gęstości optycznej na badanym obszarze wszystkie mikrofotogramy poddano analizie statystyczno-matematycznej. W pierwszym etapie obliczono średnią gęstość optyczną dla 47 pól analizy $[D_i]^2$. Wartości te uzyskano z pomiaru gęstości optycznej 57 punktów w każdym polu analizy $[3 \times 19 \text{ punktów}]$ z każdego mikrofotogramu przy Δl na zdjęciu równym 1 mm co odpowiada w terenie około 16 m/. Rys. 4 obrazuje podział obszaru opracowania na strefy ze względu na średnią gęstość optyczną pól analizy. Powierzchnie zaszafrowane obejmują pola, dla których $D_i > D$, zaś powierzchnie niezaszafrowane pola, dla których $D_i < D$. Wartościami powyżej średniej dla całego obszaru opracowania cechują się pola obejmujące fragmenty wschodniej, centralnej i zachodniej części analizowanego terenu. Profile mikrofotometryczne w tych polach przecinały większe kompleksy leśne, łąki, a w przypadku centralnej części obszaru opracowania także powierzchnie wodne. Niższą w stosunku do przeciętnej dla całego obszaru cechują się pola obejmujące kompleksy gruntów



Rys. 4. Podział obszaru opracowania na strefy ze względu na średnią wartość gęstości optycznej $[D_i]$

Fig. 4. Division of the area into zones on the basis of the average image density



Rys. 5. Wartości odchyień standardowych gęstości optycznej pól analizy $[S_{D_i}]$

²⁾ Podane w niniejszym opracowaniu wartości nie są odniesione do współczynnika kontrastowości wykorzystanych materiałów fotograficznych.

ornych, powierzchnie o niewielkich deniwelacjach, tereny o małym udziale powierzchni wodnych. Nasuwa się więc wniosek, że D_i uzależniona jest od udziału i charakteru zbiorowisk roślinnych, procentu powierzchni wodnej, a także od wilgotności gleby, głębokości zalegania zwierciadła pierwszego poziomu wód gruntowych.

Wyliczone wartości D_i pozwalają na analizę porównawczą rozkładu gęstości optycznej na całym badanym obszarze, ale nie wskazują na zróżnicowanie rysunku obrazu fotograficznego w poszczególnych polach. W związku z tym dla każdego pola analizy obliczono odchylenie standardowe gęstości optycznej wg wzoru:

$$\sigma_{D_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_p^2}{n} - D_i^2}$$

gdzie: D_p - gęstość optyczna w danym punkcie, D_i - średnia gęstość optyczna dla i -tego pola, n - liczba analizowanych punktów w i -tem polu.

Odchylenie standardowe σ_{D_i} / wskazuje na średnie odchylenie gęstości optycznej w badanych punktach od przeciętnej dla pola analizy i może służyć jako wskaźnik kontrastu obrazu. Rysunek 5 obrazuje rozkład wartości σ_{D_i} pól analizy. Maksymalnymi wartościami tego parametru cechują się pola, w których profile mikrofotometryczne obejmowały kompleksy krajobrazowe o odmiennych właściwościach optycznych wynikających z odmiennej jakości geoeekologicznej, zaś minimalne wartości zanotowano w polach obejmujących względnie homogeniczne pod względem geoeekologicznym fragmenty terenu /grunty orne na glebach wytworzonych z piasków luźnych, względnie jednorodne zbiorowiska leśne/.

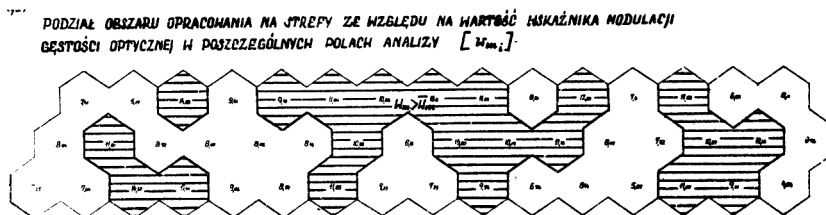
Przedstawione powyżej charakterystyki zmienności gęstości optycznej na badanym obszarze nie można uznać za dostateczne wskaźniki struktury obrazu. Pewnym uzupełnieniem do kartodiagramów rozkładu D_i i σ_{D_i} może być kartodiagram obrazujący maksymalne wartości gęstości optycznej oraz azymut mikrofotogramu, na którym została ona zarejestrowana - rys.6. Kartodiagram ten wskazuje, że geokompleksy o odmiennych właściwościach optycznych w centralnej części opracowanego obszaru rozłożone są chaotycznie, zaś w brzeżnych partiach Wysoczyzny Brodnicko-Stężyckiej w sposób względnie uporządk -

kowany, co wiązać można z paralelnością przestrzenną geokompleksów. Przedstawiany kartodiagram wskazuje także, że maksymalne różnice gęstości optycznej zarejestrowane zostały w polach obejmujących centralną część wysoczyzny oraz strefę kontaktową poziomu wysoczyznowego i krawędzi rynien jeziornych, co wynika z dużej kontrastowości geoeekologicznej kompleksów krajobrazowych położonych w tych strefach, najmniejsze zaś różnice gęstości optycznej stwierdzono w polach obejmujących tereny względnie homogeniczne położone pomiędzy wyżej wymienionymi strefami.



Rys.6. Wartość maksymalnej różnicy gęstości oraz kierunek linii profilu mikrofotometrycznego, na którym została ona zarejestrowana w poszczególnych polach analizy $[D_{max_i} - D_{min_i}]$

Fig. 6. The maximum difference of the image density and the densitometrical traverse direction on which this maximum difference has been noticed in the particular fields of analysis



kys.7. Podział obszaru opracowania na strefy ze względu na wartość wskaźnika modulacji gęstości optycznej w poszczególnych polach analizy $[W_{m_i}]$

Fig. 7. Division of the area into zones on the basis of the density image modulation in the particular fields of analysis

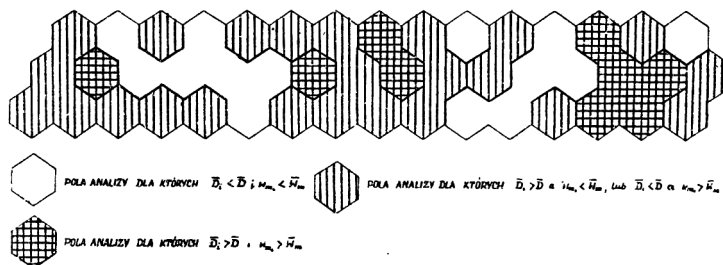
Kierując się dążnością do wskazania w sposób jeszcze bardziej wymierny zmienności przestrzennej rysunku obrazu fotograficznego, co jak już wyżej wspomniano wiąże się ze zróżnicowaniem geoeekologicznym terenu, dla każdego pola analizy obliczono wskaźnik modulacji gęstości optycznej wg poniższego wzoru:

$$Wm_i = \frac{\sum_{k=1}^k |D_p - D_{p+1}|}{k}$$

gdzie: $|D_p - D_{p+1}|$ - bezwzględna różnica gęstości optycznej między punktami na profilu mikrofotometrycznym oddalonymi o $\Delta 1$,
 k - suma odcinków $\Delta 1$, i - numer pola analizy.

Powyższy parametr wskazuje na przestrzenną zmienność gęstości optycznej w poszczególnych polach analizy i nie jest zależny od średniej gęstości optycznej. Na rys.7 zaznaczono położenie pól dla których $Wm_i > Wm$ - powierzchnie zasraflowane. Jak wynika z powyższego rysunku wskaźnikiem modulacji gęstości optycznej większym od przeciętnego dla całego obszaru cechują się pola analizy obejmujące część centralną oraz wschodnie i zachodnie fragmenty obszaru opracowania. Rozmieszczenie tych pól nawiązuje do stref o barziej zróżnicowanej strukturze krajobrazu, tzn. z obszarami występowania niewielkich powierzchniowo ale zmiennych jakościowo geokompleksów elementarnych.

Rys. 8. TYPY PÓL ANALIZY ZE WZGLĘDU NA ŚREDNIĄ WARTOŚĆ GĘSTOŚCI OPTYCZNEJ ORAZ WSKAŹNIK MODULACJI GĘSTOŚCI OPTYCZNEJ



Rys. 8. Typy pól analizy ze względu na średnią wartość gęstości optycznej oraz wskaźnik modulacji gęstości optycznej

Fig. 8. Types of Fields of analysis on the basis of the average image density and the modulation index

W celu syntetycznego zobrazowania rozkładu gęstości optycznej na badanym obszarze dokonano typizacji poszczególnych pól analizy ze względu na \bar{D}_i oraz Wm_i /rys.8/. Do pierwszego typu zaklasyfiko-

wano te pola, dla których zarówno średnia gęstość optyczna jak i wskaźnik modulacji były mniejsze od przeciętnych dla całego obszaru / $D_i < D$; $Wm_i < Wm$ /, do trzeciego typu włączono pola dla których gęstość optyczna i wskaźnik modulacji były większe od przeciętnych / $D_i > D$; $Wm_i > Wm$ /, zaś do drugiego typu pozostało pola tzn. te, w których $D_i > D$ a $Wm_i < Wm$ lub $D_i < D$ a $Wm_i > Wm$. Okazało się, że pola zaklasyfikowane do określonego typu układają się w strefy wyraźnie nawiązujące do stref o odmiennej morfostrukturze krajobrazu.

Przedstawione powyżej spostrzeżenia, niewątpliwie dyskusyjne, wskazują, że analiza obrazu terenu na zdjęciach lotniczych w skali mniejszej niż 1:10 000 metodą mikrofotometryczną może być jedną z metod określania dyferencjacji geoeekologicznej terenu. Celowe wydają się być poszukiwania zależności korelacyjnej w postaci wymiernej pomiędzy zmiennością przestrzenną i jakościową krajobrazu a rysunkiem obrazu fotograficznego terenu na zdjęciach lotniczych. Znajomość zależności korelacyjnej pomiędzy tymi elementami pozwoliłaby na znaczną automatyzację interpretacji zdjęć lotniczych. Prace nad przedstawionymi powyżej zagadnieniami wydają się być praktycznie-użyteczne, gdyż ocena zróżnicowania geoeekologicznego terenu w oparciu o zdjęcia lotnicze mogłaby znaleźć zastosowanie w planowaniu przestrzennym, w pracach nad stworzeniem optymalnych struktur krajobrazu jak również w tworzeniu "banku informacji" o środowisku geograficznym.

L I T E R A T U R A

1. C i o ł k o s z A., M i s z a ł s k i J., T r a f a s K., 1970, Stan, rozwój i potrzeby fotointerpretacji w Polsce, Fotointerpretacja w geografii, z.8.
2. G a c k i T., 1975, Uwagi o krajobrazie poligonu fotointerpretacyjnego "Gdańsk", Fotointerpretacja w geografii, z. 9.
3. Kompleksnoje desifrirovanije aerosnimkov, 1964, Izd. "Nauka".
4. K o n d r a c k i J., 1969, Podstawy regionalizacji fizycznogeograficznej, Warszawa.

5. II Kōngres Nauki Polskiej, 1964, Warszawa.
6. R u s z c z y c k a - M i z e r a M., 1968, Wstępne fotointerpretacyjne kartowanie krajobrazu geograficznego, Fotointerpretacja w geografii, z.6.
7. S m i r n o w L.J., 1970. Teoretyczne podstawy fotointerpretacji, Warszawa.

Tadeusz Gacki

THE USE OF AERIAL PHOTOGRAPHY IN GEOFCOLOGICAL
EXPLORATION

S u m m a r y

Analysis of the available air photos of the Cassubian Lakeland indicates that photos on a scale smoller than 1:10 000 contain the information about the landscape's structure and dynamics, whereas the large-scale photos enable the tentative photo-interpretation of morphological and land facet functions. The geo-ecological analysis of the terrain on the air photos on the scale lager than 1:10 000, should lead from the more general to the more specific. The article shows the scheme of land-scape photo-interpretation consisted of six stages. Geo-ecological diversity of the terrain is mirrored in the complete assemblage of photographs. The investigations show that the photographic structure analysis, when supported with the densitometrical studies and mathematical statistics, enables the detailed identification of the various geo-ecological elements in the landscape.