



Grey Scale #13



DANES PICTA .COM

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

INSTYTUT BADAŃ STRATEGICZNO-OBRONNYCH
ZAKŁAD GEOGRAFII WOJENNEJ

ASG WP wewn. 4215/89

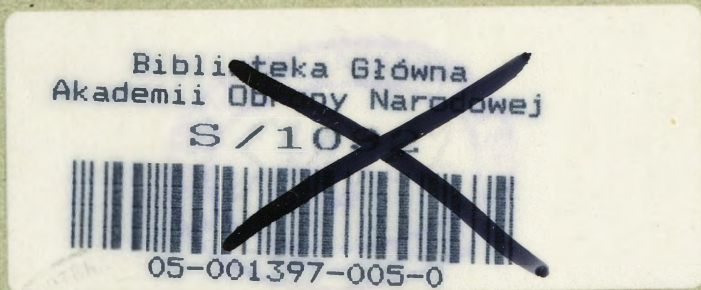
~~Do użytku wewnętrznego~~

Egz. nr 5

Stanisław WÓJCIK

WYKORZYSTANIE ZOBRAZOWAŃ SATELITARNYCH I LOTNICZYCH W OCENIE WOJSKOWOGEOGRAFICZNEJ OBSZARÓW PRZYSZŁYCH TEATRÓW DZIAŁAŃ WOJENNYCH

SKRYPT
dla słuchaczy studiów podyplomowych



WARSZAWA

61238



DANES PICTA .COM

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

INSTYTUT BADAŃ STRATEGICZNO-OBRONNYCH
ZAKŁAD GEOGRAFII WOJENNEJ

ASG WP wewn. 4215/89

~~Do użytku wewnętrznego~~

Egz. nr 5

Stanisław WÓJCIK

WYKORZYSTANIE ZOBRAZOWAŃ SATELITARNYCH I LOTNICZYCH W OCENIE WOJSKOWOGEOGRAFICZNEJ OBSZARÓW PRZYSZŁYCH TEATRÓW DZIAŁAŃ WOJENNYCH

SKRYPT

dla słuchaczy studiów podyplomowych

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/10



05-001397-005-0

WARSZAWA

1989

61238

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

INSTITUT BADAŃ STRATEGICZNO-OBRONNYCH -
Zakład Geografii Wojskowej

ASG WP wewn. 4215/89

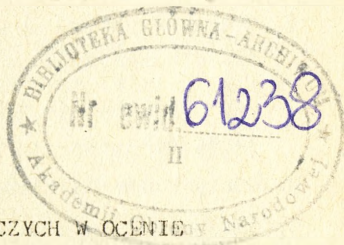
~~do użytku wewnętrznego~~

Egz. nr

5

Stanisław WÓJCIK

WYKORZYSTANIE ZOBRAZOWAŃ SATELITARNYCH I LOTNICZYCH W OCENIE
WOJSKOWOGEOGRAFICZNEJ OBSZARÓW PRZYSZŁYCH TEATRÓW DZIAŁAŃ
WOJENNYCH



Skrypt
dla słuchaczy studiów poddyplomowych

~~5/1092~~



WARSZAWA

1988 r.

Spis treści

	str.
Wstęp	3
1. Geografia wojenna, jej przedmiot badań, cele i zadania. Elementy składowe geografii wojennej	4
2. Charakterystyka aparatury fotograficznej i obrazowej satelitów rozpoznawczych	6
3. Ocena potencjału informacyjnego zobrazowań lotniczych i satel- itarnych	12
4. Cechy rozpoznawcze obiektów. Metody fotointerpretacji	16
5. Charakterystyka wojskowych i cywilnych programów satelitarnych przydatnych w badaniach wojskogeograficznych	29
6. Ocena skuteczności metod teledetekcyjnych w badaniach wojskowo- geograficznych	33

WSTĘP

Znajomość geografii wojennej i jej składowych, zwanych ogólnie warunkami wojskogeograficznymi, odgrywała i dalej odgrywa istotną rolę w przygotowaniach i prowadzeniu wojen. Od zarania historii sztuki wojennej zbierano i wykorzystywano informacje geograficzne w celach wojskowych. Różne były sposoby pozyskiwania tych informacji na przestrzeni dziejów. Zbierali je kupcy, wywiadowcy, geografowie, kartografowie, grupy rozpoznawcze i inni wysłannicy. Stosowano różne sposoby opracowania danych i wnioskowania, tak aby były one użyteczne dla wojsk oraz dla ekspansji politycznej państwa. W XX wieku, głównie w jego środkowym okresie, niezwykle popularne stały się zdjęcia lotnicze, gdyż zawierały one szczególnie bogate informacje wojskogeograficzne oraz inne dane, użyteczne również w rozpoznaniu wojskowym.

Eksplozja techniki, jaką obserwujemy co najmniej od dwudziestu lat i w czasie której obecnie się znajdujemy, spowodowała szeroki rozwój metod fotograficznych. Pojawiły się również nowe techniki, niefotograficzne, zwane teledetekcyjnymi, które stanowią rewolucję w zakresie środków zbierania informacji obrazowej o terenie. Jest to rewolucja zarówno w stosunku do zakresu treści, jak i pojemności informacyjnej obrazowań, ich dokładności, szczegółowości i obiektywności. Zmiany te dotyczą w jednakowej mierze zdjęć fotograficznych, jak i niefotograficznych, zwanych właśnie zobrazowaniami.

Pojawiły się również nowe środki wynoszenia aparatury fotograficznej i teledetekcyjnej nad powierzchnię Ziemi, w tym przypadku środki kosmiczne. Powstały więc możliwości prowadzenia badań wojskogeograficznych w skali globu ziemskiego, zarówno badań terenów dostępnych, jak i niedostępnych dla własnych wojsk, bez naruszenia obowiązujących norm prawa międzynarodowego.

W niniejszym opracowaniu charakteryzuje się i ocenia przydatność, dla geografii wojennej, współczesnych technik fotograficznych i teledetekcyjnych, stosowanych w zwiadzie lotniczym i kosmicznym.

Wstępnie, przed przejściem do tych problemów, celem lepszego zrozumienia potrzeb wojskogeograficznych krótko omawia się przedmiot, cele i zadania geografii wojennej.

1. GEOGRAFIA WOJENNA, JEJ PRZEDMIOT BADAŃ, CELE I ZADANIA.

Elementy składowe geografii wojennej

Geografia wojenna jest jedną z nauk geograficznych; wchodzi w skład geografii stosowanej stanowiąc jednocześnie jeden z działów nauki wojennej. Jej przedmiotem badań jest wprawdzie środowisko geograficzne oraz relacje i zależności zachodzące między jego elementami, jak również ogół stosunków społeczno-politycznych, demograficznych, gospodarczych i innych panujących na danym obszarze, lecz są one badane ze specyficznego punktu widzenia, mianowicie pod kątem możliwości prowadzenia wojny i walki zbrojnej.

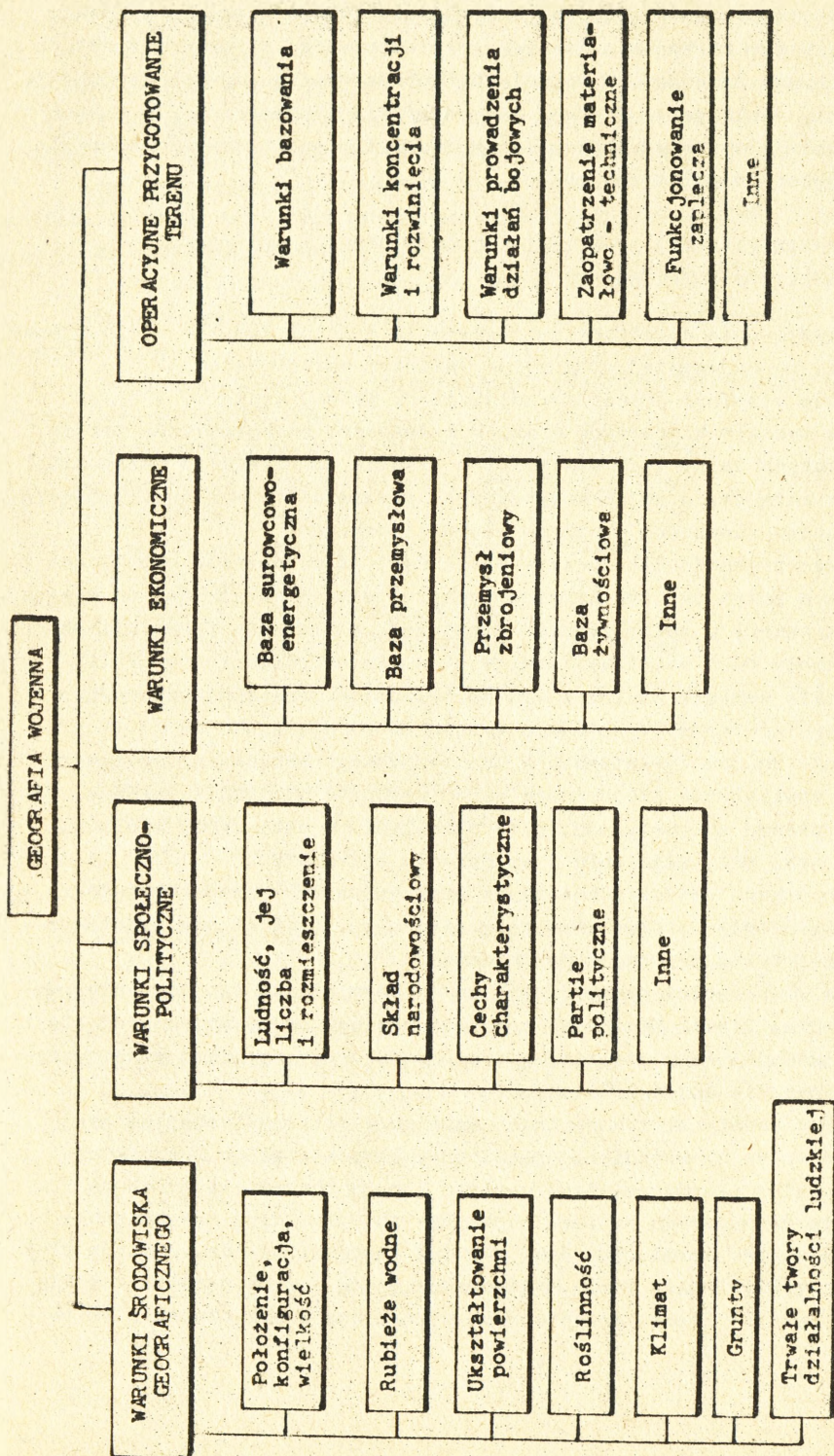
Geografia wojenna zajmuje się badaniami na określonych obszarach stanowiących terytorium jednego państwa lub grupy państw. W zależności od wielkości i znaczenia obszary te traktuje się jako teatry wojny, teatry działań wojennych, rejonny strategiczne względnie inne mniejsze obszary o znaczeniu strategicznym lub operacyjnym. Mogą one obejmować zarówno terytorium własnego kraju, jak również państw /koalicji/ sąsiednich, a nawet przeciwstawnych. Celem tych badań jest poznanie zespołu warunków, nazywanych warunkami wojskogeograficznymi, jakie panują na określonych obszarach lub kierunkach działań, oraz ocena ich znaczenia w przyszłych działaniach zarówno z punktu widzenia sztabów wojskowych, jak i organów administracji państwowej.

Zakres problemów badań wojskogeograficznych określonego obszaru leżącego na danym teatrze działań wojennych zazwyczaj obejmuje następujące zagadnienia:

- środowisko geograficzne;
- warunki społeczno-polityczne;
- bazę gospodarczą;
- operacyjne przygotowanie terenu.

Bardziej szczegółowy zakres poszczególnych zagadnień przedstawia schemat /rys. 1/.

Geografia wojenna szczególną uwagę zwraca na dwa działy: środowisko geograficzne oraz operacyjne przygotowanie terenu. Bada się je szczególnie i wszechstronnie. Spośród dwu pozostałych działów nieco więcej uwagi udziela się bazie gospodarczej, a w jej ramach surowcom, potencjałowi przemysłowemu i przemysłowi zbrojeniowemu. W ramach problemów spo -



Rys.1.1. Elementy składowe przedmiotu "Geografia Wojenna"

łeczno-politycznych geografia wojenna głównie zwraca uwagę na elementy demografii, w tym na badania liczby, rozmieszczenia, struktury i składu narodowościowego ludności. W badaniach tych geografię wojenną wspomagała ponadto także nauki geograficzne, jak geografia ekonomiczna / w ramach studiów potencjału gospodarczego/ oraz geografia polityczna /w zakresie studiów społeczno-politycznych/.

2. CHARAKTERYSTYKA APARATURY FOTOGRAFICZNEJ I OBRAZOWEJ SATELITÓW ROZPOZNAWCZYCH

Fotografowanie kosmiczne, w porównaniu z lotniczym, ma wiele nowych właściwości. Do najważniejszych można zaliczyć następujące:

1. Duża wysokość fotografowania, rzędu setek, tysięcy, a nawet dziesiątków tysięcy kilometrów oraz, w zależności od parametrów orbity, możliwość dużych zmian tych wysokości w trakcie pojedynczego okrążenia. Powoduje to małą skalę zdjęć kosmicznych, równocześnie możliwość objęcia jednym zdjęciem znacznych obszarów globu ziemskiego.

2. Duża prędkość lotu oraz w zależności od parametrów orbity możliwość dużych zmian tej prędkości w trakcie jednego okrążenia, co wymaga wyposażenia kamery w automatyczną kompensację rozmazania fotograficznego.

3. Ciągły ruch obrotowy Ziemi w stosunku do płaszczyzny orbity również będzie wymagał zastosowania odpowiednich urządzeń kompensacyjnych, szczególnie przy obrazowaniu terenu za pomocą skanerów.

4. Duże zmiany oświetlenia w czasie jednego okrążenia, począwszy od pełnego oświetlenia słonecznego aż do warunków nocnych, wymagają zastosowania pełnej automatyzacji przy określaniu i ustawianiu wielkości ekspozycji oraz przy włączaniu i wyłączaniu aparatury.

5. Na jakość geometryczną zdjęć oraz na warunki optyczne fotografowania wpływa cała warstwa atmosfery ziemskiej, podczas gdy w fotografii lotniczej tylko jej część przyziemna.

6. Na właściwości geometryczne zdjęć kosmicznych istotny wpływ wywiera krzywizna Ziemi. Wynika to z dużego zasięgu pojedynczego zdjęcia i utrudnia zastosowanie klasycznej aparatury fotogrametrycznej wykorzystywanej do opracowania zdjęć lotniczych.

7. Przy konstrukcji kosmicznej aparatury fotograficznej należy uwzględnić wpływ nieważkości, próżni oraz bardzo niskich temperatur.

8. Z wyżej przedstawionych wymagań i cech charakterystycznych fotografowania kosmicznego wynika, że kamera fotograficzna przeznaczona do pracy na statku kosmicznym jest w pełni zautomatyzowana, posiada blok sterowania umożliwiający zdalne kierowanie pracą kamery zarówno z pokładu statku, jak i z Ziemi. Ponadto jest wyposażona w urządzenia elektro -

niczne do rejestracji danych pomocniczych ułatwiających późniejsze do-
wiązania zdjęć. Jak i ich korekcję geometryczną i radiometryczną.

Wymienione cechy wywierają odpowiedni wpływ na konstrukcję aparatu-
ry, na metodykę fotografowania i obrazowania kosmicznego, na sposoby
dostarczania zdjęć i obrazów na Ziemię oraz na metody ich wykorzystania.

Współczesne statki kosmiczne mogą posiadać następującą aparaturę
służącą do fotografowania lub obrazowania powierzchni Ziemi i innych ciał
niebieskich Układu Słonecznego.

1/ aparaturę fotograficzną, w tym:

- pomiarowe kamery fotograficzne /kadrowe, panoramiczne, wielo-
spektralne/;
- rozpoznawcze kamery fotograficzne /kadrowe, panoramiczne, szcze-
linowe, wielospektralne/;
- specjalne kamery fotograficzne /np. gwiazdne/;

2/ aparaturę obrazową /teledetekcyjną/, w tym:

- aparaturę telewizyjną;
- aparaturę termalną /skanery podczerwieni/;
- skanery wielospektralne;
- aparaturę radiotermolokacyjną;
- radiolokacyjną aparaturę obrazową /radarową/.

Kamery fotograficzne. Na współczesnych satelitach i statkach kos-
micznych umieszcza się następującą aparaturę fotograficzną:

- rozpoznawcze kamery fotograficzne;
- kamery pomiarowe /topograficzne/;
- kamery panoramiczne;
- kamery wielospektralne.

Kamery rozpoznawcze - mają na celu wykonanie zdjęć fotograficznych.
Zdjęcia takie zazwyczaj mają dobrą jakość fotograficzną, lecz mogą je
cechować gorsze właściwości pomiarowe. Przy fotografowaniu dla celów
ogólnogeograficznych i geologicznych stosuje się kamery o ogniskowych
nie większych od $f = 500$ mm, natomiast przy rozpoznaniu wojskowym dąży
się do otrzymania kamer o możliwie najdłuższej ogniskowej. Już dzisiaj
znane są kamery lotnicze o ogniskowych 3,6 m i 6,1 m; prawdopodobnie
również używa się kamer o ogniskowych jeszcze większych.

Kamery pomiarowe - charakteryzują się dobrą jakością fotograficzną
zdjęć i wysokimi właściwościami geometrycznymi. Parametry techniczne tych
kamer są zbliżone do sprzętu używanego przy pomiarowym fotografowaniu z
samolotu. Przedział wykorzystywanych ogniskowych - od 70 mm do 610 mm.

formaty wykonywanych zdjęć od małoobrazkowych do 230 x 365 mm.

Kamery panoramiczne - w zależności od właściwości geometrycznych systemu optycznego oraz od sposobu fotografowania mogą mieć przeznaczenie rozpoznawcze lub pomiarowe. Najczęściej mają zastosowanie dwa rodzaje kamer panoramicznych, oparte na następujących zasadach:

1/ obraz terenu jest rzutowany przez obracające się obiekty i szczelinę na film przylegający do ramki tłowej o powierzchni walcowej; szczelina jest ustawiona równoległe do kierunku ruchu aparatu kosmicznego, zaś obiektyw obraca się w płaszczyźnie poprzecznej do kierunku lotu;

2/ obraz terenu jest rzutowany na błonę fotograficzną przez obiektyw i szczelinę; przed obiektywem jest pryzmat, który wiruje i wybiera teren znajdujący się pod aparatem kosmicznym w kierunku poprzecznym do kierunku lotu; równocześnie z obrotem pryzmatu w płaszczyźnie ramki tłowej kamery przesuwają się błony filmowe.

Wprawdzie powyższe kamery różnią się między sobą zasadami realizacji procesów naświetlania, to jednak geometryczne zasady utworzenia obrazu panoramicznego w obu przypadkach są identyczne.

Kamery panoramiczne stosuje się do fotografowania pionowego, gdy płaszczyzna obrotu obiektywu lub pryzmatu jest prostopadła do płaszczyzny terenu, do fotografowania ukośnego /lub perspektywicznego/, a nawet do fotografowania ze zmiennym kątem nachylenia, np. jedno zdjęcie wykonuje się pionowe, a następne nachylone na określony kąt. Metodę tę często się wykorzystuje celem otrzymania panoramicznych zdjęć stereoskopowych.

Obecnie używane kamery panoramiczne mają następujące parametry techniczne: ogniskowe w przedziale od 76 mm do kilku metrów, szerokości filmu do 130 mm, maksymalne wymiary zdjęcia 115 x 1270 mm.

Kamery wielospektralne służą do równoczesnego fotografowania w kilku wybranych wąskich pasmach widma. Można je podzielić na dwa rodzaje:

- 1/ kamery wieloobiektywowe;
- 2/ aparatura wielokamerowa.

Kamery wieloobiektywowe umożliwiają równoległe stosowanie wielu kombinacji "filtr - obiektyw - błona filmowa", w wyniku których otrzymuje się różnorodne materiały fotograficzne tego samego obszaru. Współczesne kamery mają od 4 do 9 obiektów o takich samych charakterystykach /ogniskowej i dystorsji/ i migawki synchroniczne. Fotografują w przedziale od ultrafioletu do bliskiej podczerwieni.

Wielospektralna aparatura wielokamerowa stanowi zespół kamer umieszczonych na wspólnej platformie. Osie optyczne kamer są wzajemnie

równoległe z wysoką dokładnością. Zespół taki umożliwia zastosowanie wielu kombinacji "filtr - kamera - błona filmowa". W fotografii kosmicznej zazwyczaj używa się urządzeń cztero- lub sześciokamerowych, przystosowanych do fotografowania w pasmie fal widzialnych i w bliskiej podczerwieni.

Wielospektralne metody fotograficzne charakteryzują się dużą pojemnością informacyjną, natomiast ich stroną ujemną jest ścisła zależność fotografii od pory doby i warunków pogodowych. Celem uniezależnienia się od takich przypadków stosuje się elektroniczną aparaturę wielopasmową.

Aparatura na podczerwień. Wszystkie ciała materialne o temperaturze wyższej od $0\text{K} (-273^{\circ}\text{C})$, oprócz odbijania promieniowania zewnętrznego wysyłają własne promieniowanie cieplne. Intensywność promieniowania zależy od temperatury ciała, długości emitowanych fal i zdolności emisyjnej ciała. Ponieważ promieniowanie podczerwone obejmuje fale od $0,72$ aż do $1000\ \mu\text{m}$, to obrazy otrzymywane w tej części widma znacznie się różnią od normalnej fotografii. Ze względu na brak materiałów fotograficznych uczulonych na fale dłuższe od $1,0 - 1,2\ \mu\text{m}$, do zarejestrowania promieniowania podczerwonego wykorzystuje się różnego typu czujniki, przeważnie typu bolometrów i detektorów opartych na elementach antymonku Indu lub innych półprzewodnikach.

System optyczny /soczewki i zwierciadła/ przyjmuje energię podczerwieni i ogniskuje ją na powierzchni czujnika, który różnice temperaturowe zamienia w różnice napięcia elektrycznego. Impulsy elektryczne następnie ulegają wzmocnieniu i przetworzeniu metodą elektronooptyczną w obraz widzialny, względnie są zapisywane na taśmie magnetycznej. Ze względu na mały kąt pola widzenia optycznych systemów podczerwonych, stosuje się metodą analizowania /wybierania/ obrazu w kierunku poprzecznym do kierunku lotu.

Obecnie istnieje wiele urządzeń do odbierania promieniowania podczerwonego, często są to rozwiązania prototypowe. Współczesne urządzenia są zdolne do odróżnienia temperatur z dokładnością $0,01^{\circ}$, natomiast zdolność rozdzielcza otrzymywanych obrazów cieplnych jest jeszcze gorsza od fotografii tradycyjnej.

Aparatura wielopasmowa^{x/} Oparta jest na podobnej zasadzie, jak aparatura wielospektralna, tylko realizacja zadania /otrzymania obrazów w wielu pasmach widma/ odbywa się metodami elektronooptycznymi oraz roz-

x/ W niektórych wydawnictwach nazywana wielospektralną aparaturą skanerową.

ciąga się na przedział widma promieniowania elektromagnetycznego począwszy od ultrafioletu /poniżej $0,3 \mu\text{m}$ /, aż do dalekiej podczerwieni / $1000 \mu\text{m}$ /. Obecnie stosowane urządzenia wielopasmowe mają po kilkanaście a nawet do 24 kanałów, z których każdy przyjmuje i rejestruje promieniowanie o innych długościach fali.

Dla przykładu można przytoczyć charakterystyki urządzenia wielopasmowego firmy Bendix, wyprodukowanego na zlecenie amerykańskiej organizacji NASA. Urządzenie posiada zdolność rozdzielczą 2 miliradiany, kąt wybierania 80° i przyjmuje promieniowanie w pasmach od $0,34$ do $13 \mu\text{m}$ poprzez kanały. W paśmie od $0,34$ do $0,5$ promieniowanie przyjmują fotopowielacze pracujące w trzech kanałach; w przedziale $0,53 - 1,05 \mu\text{m}$ jest siedem kanałów wyposażonych w detektory krzemowe, w paśmie od $1,18$ do $1,73 \mu\text{m}$ są dwa kanały, w których promieniowanie przyjmują detektory germanowe; trzy kanały z detektorami z antymonku indu pracują w przedziale od $2,1$ do $4,74 \mu\text{m}$; w paśmie $6,0 - 13,0 \mu\text{m}$ jest siedem kanałów z detektorami rtęciowo-germanowymi, ponadto dwa wąskie kanały w bliskiej podczerwieni są przeznaczone do określania zawartości pary wodnej w przestrzeni pomiędzy aparaturą a badanym obiektem.

Aparatura telewizyjna. Sztuczne satelity i statki kosmiczne w zależności od czułości warstwy fotoprzewodzącej mogą mieć następujące dwa rodzaje aparatury telewizyjnej o przeznaczeniu pomiarowym:

- aparaturę pracującą w paśmie fal widzialnych;
- aparaturę telewizyjną pracującą w podczerwieni bliskiej i średniej.

Urządzenia telewizyjne przeważnie oparte są na przetwornikach obrazu typu widikon. W porównaniu z klasyczną fotografią telewizja daje obrazy o wiele gorsze zarówno pod względem zdolności rozdzielczej, jak i właściwości geometrycznych. Celem zwiększenia dokładności pomiaru obrazy telewizyjne posiadają specjalny układ znaczków /fragmenty siatki/ przekazywany równocześnie z obrazem telewizyjnym, względnie nadawany niezależnie co określony czas, który służy do usuwania zniekształceń obrazu wprowadzonych przez system telewizyjny.

Radiolokacyjna /radarowa/ aparatura obrazowa

Obecnie istnieje już wiele metod otrzymywania i rejestracji obrazów radiolokacyjnych.

W zależności od sposobu przeglądania terenu radiolokacyjną aparaturę obrazową można podzielić na dwie grupy:

- radiolokację panoramiczną;
- radiolokację z bocznym wybieraniem obrazu.

Ze względu na rodzaj fali i sposób jej emitowania można wyróżnić sześć następujących typów radarów:

1/ jednoczęstotliwościowy, spolaryzowany w jednej płaszczyźnie, zazwyczaj horyzontalnej H;

2/ wielospolaryzowany, wysyłający zazwyczaj fale spolaryzowane horyzontalne, ale mogący przyjmować oddzielnie fale spolaryzowane pionowo V i poziomo H;

3/ polaryzacji kołowej, wysyłający i przyjmujący fale spolaryzowane kołowo;

4/ wieloczęstotliwościowy, który wysyła dwa lub więcej pakietów zmodulowanych fal, znacznie różniących się między sobą długością; umożliwia to badanie różnic głębokości przenikania fal oraz różnic w ich rozpraszaniu przy odbiciu od powierzchni różnych przedmiotów;

5/ panchromatyczny, który emituje szerokopasowy pakiet fal w celu minimalizacji zjawiska dyfrakcji;

6/ polichromatyczny, będący połączeniem zasad radaru wieloczęstotliwościowego i panchromatycznego.

W zależności od polaryzacji systemy radarowe bocznego wybierania mogą pracować w czterech następujących kombinacjach:

1/ emisja i odbiór sygnałów odbywa się w tych samych płaszczyznach poziomych HH;

2/ emisja i odbiór odbywają się w tych samych płaszczyznach pionowych VV;

3/ emisja energii odbywa się w płaszczyźnie poziomej, a jej odbiór w płaszczyźnie pionowej HV;

4/ emisja energii odbywa się w płaszczyźnie pionowej, a jej odbiór w płaszczyźnie poziomej VH;

Wybór odpowiednich płaszczyzn polaryzacji zależy od tego, które z obrazowanych obiektów na zdjęciu radarowym należy uwypuklić lub zróżnicować.

W radiolokacji bocznego wybierania istnieje kilka sposobów otrzymywania obrazów terenu, które na ogólniej można podzielić na dwie grupy:

1/ radiolokacja /radar/ bocznego wybierania z anteną realną;

2/ radiolokacja bocznego wybierania z anteną syntetyczną /lub syntetyzowaną/.

Oddzielną grupę stanowią radary pracujące w promieniowaniu rozpoznawczym, tzw. skatterometry. Służą do badania dalekich planów Układu Słonecznego.

Aparatura radiotermolokacyjna. Radiotermolokacja, zwana również radiolokacja pasywną, znajduje jeszcze zbyt wąskie zastosowanie do zobrazowania powierzchni Ziemi. Głównym niedostatkim jest jeszcze mała rozróżnialość obrazów w porównaniu z innymi technikami obrazowymi. Obecnie jest wykorzystywana głównie na satelitach meteorologicznych /np. "Nimbus-6"/, zaś na satelitach wojskowych służy do wykrywania startów rakiet śledzenia tras przelotu lotnictwa strategicznego, śledzenia ruchu okrętów wojennych oraz okrętów podwodnych z napędem jądrowym.

3. OCENA POTENCJAŁU INFORMACYJNEGO ZOBRAZOWAŃ LOTNICZYCH I SATELITARNYCH

Potencjał informacyjny zobrazowania lotniczego zależy od wielu czynników. Wymienię tylko najważniejsze. Są to:

- zdolność rozdzielcza nośników informacji obrazowej;
- rodzaj i typ aparatury obrazowej /głównie rodzaj pola zbierania informacji oraz wykorzystywane pasmo promieniowania/;
- metody opracowania informacji;
- parametry lotu.

Niewątpliwie czynnikiem wiodącym jest zdolność rozdzielcza nośników informacji. Zależy ona ściśle od rodzaju i typu aparatury obrazowej. Natomiast metody opracowania informacji oraz parametry lotu wywierają wpływ na polepszenie lub pogorszenie jakości otrzymywanej informacji o terenie i jej szczegółowości.

Niżej zastanowimy się nad trzema miernikami potencjału informacyjnego zdjęcia /zobrazowania/. Są to:

1. Pojemność informacyjna; służy ona do teoretycznych ocen porównawczych układów obrazujących.
2. Entropia - jako kryterium oceny pojemności realnego układu obrazującego.
3. Rozdzielczość obrazu - praktyczny wskaźnik, umożliwiający względnie szybką ocenę przydatności obrazów do badań wojskowo-geograficznych.

Potencjał informacyjny zobrazowania lotniczego można wyrazić za pomocą pojemności informacyjnej. Dla idealnego układu obrazującego określa to wzór:

$$C = n \log_2 m$$

gdzie n jest liczbą elementarnych komórek informacyjnych,

m liczbą trwałych stanów tych komórek.

Dla układów fotograficznych liczbę n dla powierzchni S określa się ze zdolności rozdzielczej R :

$$n = /2R/{}^2S.$$

Dla obiektów małokontrastowych o różnicy gęstości optycznych D wzór ten przyjmuje postać:

$$n = /2R \Delta D/{}^2S.$$

W przypadku zobrazowań niefotograficznych pojemność informacyjną mierzy się liczbą linii zawartych w obrazie $/N/$ oraz liczbą elementów w każdej linii $/M/$, a więc zależy ona od wymiarów elementarnego pola widzenia $/Instantaneous Field of View - IFOV/$. Wówczas:

$$n = MN.$$

Z kolei liczba m zależy od możliwości zarejestrowania przez układ obrazujący poziomów energetycznych i od dokładności tej informacji. Dla realnego układu obrazującego wyraża się to wzorem:

$$m = /1 + \frac{V_0^2}{V_s^2} / \frac{1}{2}$$

gdzie przez V_0 oznaczono możliwą amplitudę impulsu wizyjnego $/dla fotografii będzie to gęstość optyczna obrazu/$, a przez V_s - amplitudę szumu $/uia fotografii - gęstość optyczną tła/$.

Można teraz napisać wzory dla pojemności informacyjnej:

- dla jednokanałowych układów fotografujących

$$C_f = 4 R^2 S \Delta D \log_2 / 1 + \frac{V_0^2}{V_s^2} / \frac{1}{2}$$

- dla układów obrazujących

$$C_z = MN \log_2 / 1 + \frac{V_0^2}{V_s^2} / \frac{1}{2}$$

Przy informacjach wielokanałowych wprowadza się współczynnik K , odpowiednio do liczby kanałów.

Jak wspomiano, pojemność informacyjna służy do teoretycznych ocen porównawczych różnych układów obrazowych, natomiast jako kryterium służące do oceny realnego układu obrazującego przyjmuje się pojemność $/względnie objętość/$ informacji. Charakteryzuje się ją za pomocą entropii, która wyraża średnią pojemność informacji $/I_s/$ zawartą w jednym niesącym informację sygnale:

$$I_s = - \sum_{i=1}^m P_i \log_2 P_i$$

gdzie P_1 - jest częstością zmiany poziomów sygnałów na l -tym poziomie kwantowania informacji, zaś m - liczbą poziomów kwantowania jaka daje określony układ obrazujący. Entropia służy do eksperymentalnego porównywania różnych układów obrazujących. Przy logarytmie o podstawie 2 wartość entropii otrzymuje się w bitach.

Uwzględniając parametry lotu do praktycznej oceny możliwości interpretacyjnych zdjęć i zobrażeń lotniczych wykorzystuje się wartości terenowe odpowiadające wymienionym kryteriom. W tym przypadku zamiast zdolności rozdzielczej używa się terminu "rozdzielczość"^{x/} - która wyraża, jakie najmniejsze obiekty w terenie można będzie odczytać ze zdjęcia. W przypadku zobrażeń niefotograficznych zamiast pojęcia "elementarnego pola obrazu" używa się terminu "pixel", który wskazuje na minimalną wielkość pola w terenie rozróżnianego na zobrażowaniu.

Jaka więc rozdzielczość charakteryzuje współczesne zdjęcia i zobrażenia?

Zdjęcia fotograficzne na ogół otrzymuje się ze zdolnością rozdzielczą rzędu kilkudziesięciu linii /mm. Jednak do celów specjalnych stosuje się materiały fotograficzne o zdolności rozdzielczej znacznie przekraczające 100 linii / mm. Duże możliwości wyboru aparatury fotograficznej /ogniskowej kamery f_k / oraz manewru wysokością $/h_f$ / sprawiają, że rozdzielczość zdjęć może być dowolnie wysoka, na ogół zgodna z potrzebami.

Przy takich samych warunkach fotografowania największą zdolność rozdzielczą mają zdjęcia panchromatyczne. Można to udowodnić wychodząc z dyfrakcyjnej zdolności rozdzielczej.

Odległość między dwoma punktami rozróżniana przez oko wynosi:

$$r = z \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{f}{d}$$

gdzie z - jest współczynnikiem /dla średniego kontrastu $z = 3,3$ /,

d - jest średnica źrenicy wejściowej obiektywu, λ - długością fali.

Dla średniej długości fali widzialnej części spektra $/\lambda = 560 \mu\text{m}/$ otrzymuje się:

$$r = 0,000588 \frac{f}{d}$$

skąd

$$R_0 = \frac{1}{r} = 1700 \frac{d}{f}$$

Dla innych długości fal możliwych do zarejestrowania metodami fotograficznymi otrzymuje się następujące wartości:

x/ Równolegle do rozdzielczości używa się terminu "rozróżnialność".

$$R_o / \lambda = 0,8 \mu\text{m}/ = 1200 \frac{d}{f}$$

$$R_o / \lambda = 1,2 \mu\text{m}/ = 800 \frac{d}{f}$$

Rozdzielczość tych zdjęć będzie więc 1,4 oraz 2,1 razy gorsza od rozdzielczości zdjęć panchromatycznych.

Dla okien atmosferycznych, w których wykorzystuje się aparaturę termalną podobne rozważania dają następujące wyniki:

$$R_o / \lambda = 2,2 \mu\text{m}/ = 430 \frac{d}{f}$$

$$R_o / \lambda = 3,7 \mu\text{m}/ = 260 \frac{d}{f}$$

$$R_o / \lambda = 4,8 \mu\text{m}/ = 200 \frac{d}{f}$$

$$R_o / \lambda = 10 \mu\text{m}/ = 95 \frac{d}{f}$$

Wynika więc, że dla aparatury termalnej, w zależności od wykorzystywanego pasma wyniki będą odpowiednio 4, 6,5, 8,5, a nawet 18 razy gorsze w porównaniu z fotografowaniem w paśmie fal widzialnych. Jednak zaletą tej aparatury jest możliwość otrzymywania informacji w gorszych warunkach optycznych /np. przy zamgleniu, zachmurzeniu, w porze nocnej/.

Zdolność rozdzielcza obrazów radiolokacyjnych otrzymywanych za pomocą aparatury z bocznym wybieraniem obrazu zależy od długości fali oraz długości anteny d_s . Rozdzielczość kątowna będzie więc równa:

$$\xi_s = \frac{\lambda}{2d_s}$$

a rozdzielczość wzdłuż odległości nachylonej D będzie wynosiła

$$\delta_x = \frac{D\lambda}{2d_s}$$

Większość znanych typów aparatury radiolokacyjnej z bocznym wybieraniem obrazu umożliwia otrzymanie zobrazowań, na których odróżnia się obiekty o wymiarach kilku lub kilkunastu metrów.

Niewątpliwą zaletą tego rodzaju aparatury jest duża niezależność od warunków atmosferycznych, pory doby i pokrycia roślinnego. Aparatura ta umożliwia /w zależności od długości impulsu sondującego/ wgląd w teren przez pokrycie roślinne, a nawet w górne warstwy korw ziemskiej.

Jak wspomniałem w przypadku zwiadu lotniczego rozdzielczość zdjęć czy obrazowań może być dowolnie wysoka, gdyż istnieje możliwość manewru wysokością i prędkością lotu, a więc wyboru takich warunków, w których osiągnie się wymaganą szczegółowość.

W geografii wojennej mniej uwagi poświęca się szczegółowości obrazów lotniczych, natomiast w ogóle chodzi o możliwość odfotografowania się określonych obiektów, o celowość zastosowania różnego rodzaju aparatury obrazującej do pozyskiwania informacji wojskogeograficznej. Na schemacie /rys.2/ przedstawiono możliwości pozyskiwania informacji o elementach środowiska geograficznego, bazy gospodarczej i operacyjnego przygotowania terenu za pomocą aparatury fotograficznej, obrazowej i niektórych typów innej. Ze schematu wynika, że spośród wielu najnowocześniejszych sposobów obrazowania terenu metody fotograficzne są w dalszym ciągu najbardziej uniwersalne i charakteryzują się największą skutecznością. Dla wybranych przykładów przedstawionych na schemacie wynosi ona:

- dla kamer wielospektralnych - prawie 95%;
- dla skanerów szerokopasmowych - 72%;
- dla aparatury radiolokacyjnej - ponad 60%.

Na uwagę zasługują również inne czujniki dające często wręcz uniwersalne informacje /np. spektrometry absorpcyjne/.

4. CECHY ROZPOZNAWCZE OBIEKTÓW.METODY FOTointerpretacji

4.1. Cechy rozpoznawcze obiektów na zdjęciach

Sposoby badania terenu oraz obiektów lub przedmiotów terenowych na podstawie zdjęć lotniczych i satelitarnych, nazwano interpretacją /lub fotointerpretacją/. W skład procesu interpretacji wchodzi czynności związane z odszukaniem obiektu, odczytaniem go i zinterpretowaniem odczytanej treści.

W zależności od przeznaczenia i celu odróżnia się dwa rodzaje interpretacji: ogólnogeograficzną i specjalną /resortową/. W interpretacji ogólnogeograficznej ważne są dwa następujące jej kierunki: interpretacja krajobrazowa oraz interpretacja topograficzna. Oba kierunki odgrywają istotną rolę w badaniach wojskogeograficznych. Natomiast interpretacja specjalna w zastosowaniu do zadań geografii wojennej ma umożliwić odczytanie elementów składowych operacyjnego przygotowania terenu oraz ważnych, z wojskowego punktu widzenia, składowych bazy przemysłowej, osadnictwa, demografii i innych.

Interpretacja jest dość złożonym i trudnym procesem poznawczym, w którym oprócz treści zawartej na zdjęciu, istotną rolę odgrywają zdolności

ci i wiedza interpretatora. Można to przedstawić w postaci funkcji:

$$Z \sim \varphi / m_z, t_f, E_z, B_q, I_f /$$

gdzie: m_z - jest skalą zdjęcia, t_f - czasem /datą/ fotografowania, E_z - czułością spektralną błony fotograficznej /detektora promieniowania/, B_q - jakością obrazu fotograficznego oraz I_f - kwalifikacjami fotointerpretatora.

W procesie interpretacji wykorzystuje się tzw. cechy rozpoznawcze obiektów. Można je podzielić na bezpośrednie, więc te, które odzwierciedlają charakterystyki ilościowe, jakościowe i właściwości obiektów, które odfotografowały się na zdjęciu oraz na cechy pośrednie, będące związkami logicznymi między obiektem i otoczeniem lub wynikające z tych związków. Do cech bezpośrednich należą: wymiary obrazu na zdjęciu, jego kształt, fototon, barwa, cienie i struktura. Do cech pośrednich zaliczane są cechy krajobrazowe, socjalno-geograficzne oraz pośrednie wskaźniki /indykatory/ rozpoznania, wynikające np. z wzajemnego położenia obiektów w terenie, z śladów działalności oraz innych. W niektórych podrozdziałach fotointerpretacji wyróżnia się jeszcze cechy kompleksowe.

Cechy bezpośrednie

Wymiary obiektu na zdjęciu są jedną z ważniejszych cech bezpośrednich, umożliwiających określić obiekt na podstawie jego długości, szerokości i wysokości /mierzonej stereoskopowo/, które mierzy się na zdjęciu. Wymiary można również określać szacunkowo, na podstawie porównania z sąsiednimi obiektami o znanych wielkościach. Np. obiekty punktowe można odczytywać ze zdjęć jeśli średnica punktu jest nie mniejsza od 0,05 mm.

Kształt obiektu na zdjęciu charakteryzuje się jego ogólnym zarysem /w rzucie prostokątnym/, objętością oraz charakterem granic. W zależności od rodzaju obiektu /np. pochodzenia naturalnego lub sztucznego/ odróżnia się kształty: geometryczne, liniowe, płaskie, przestrzenne, zwarte i in. Kształt obiektu nie zmienia się przy zmianie skali.

Fototon obiektu jest niezwykle ważną, lecz równocześnie dość zmienną cechą rozpoznawczą. Zależy zarówno od właściwości obiektu /zdolności odbijające promieniowanie, charakter powierzchni/, jak i od oświetlenia, pory roku oraz warunków obróbki fotograficznej filmu.

Barwa obiektu na zdjęciu, wykonanym zarówno w barwach naturalnych, jak i przy świadomości skażonej skali barw, należy do najbardziej istotnych cech rozpoznawczych. Wszak oko ludzkie może odróżnić około miliona barwnych plam różniących się między sobą kolorem, odcieniem, jasnością

cią i nasyceniem barwy. Wpływ na barwę obrazu obiektu mają: grubość warstwy atmosfery, pewne niezbalansowanie barwne materiału negatywowego i pozytywowego oraz czas fotografowania /pora doby i pora roku/.

Cienie obiektów na zdjęciu dzielią się na własne i padające. Cienie własne stwarzają możliwości plastycznej obserwacji terenu na pojedynczym zdjęciu. Na ogół utrudniają odczytanie tej części obiektu, która znajduje się w cieniu.

Cienie padające są cieniami rzucanymi przez obiekt na powierzchnię ziemi lub inne przedmioty. Umożliwiają odczytanie kształtu przedmiotu; często są jedyną cechą umożliwiającą identyfikację obiektu /np. w przypadku wysokich obiektów punktowych, jak słupy linii elektrycznej, kominy fabryczne, pojedyncze drzewa, wieże itp./ Na podstawie długości padającego cienia można obliczyć wysokość przedmiotu terenowego. Można tego dokonać na podstawie znanej wysokości Słońca i skali zdjęcia /1:M_Z/:

$$h = \frac{d}{k} \cdot M_Z$$

gdzie d - jest długością cienia pomierzoną na zdjęciu, a k - współczynnikiem uzależnionym od wysokości słońca nad horyzontem /współczynnik k można określić ze specjalnego nomogramu, podanego w podręcznikach fotointerpretacji, a zależnego od godziny i daty zdjęcia oraz od szerokości geograficznej położenia obiektu/. Wysokość obiektu można również obliczyć przez porównanie ze znaną wysokością innego obiektu odfotografowanego na zdjęciu /h_o/:

$$h = h_o \frac{d}{d_o}$$

gdzie d_o - jest długością cienia obiektu o znanej wysokości.

Struktura obrazu na zdjęciu należy do cech złożonych, łączących w sobie szereg innych cech bezpośrednich. Na ogół odzwierciedla takie cechy charakterystyczne elementów obiektu, jak ich wzajemne rozmieszczenie, charakter i wielkość odstępów pomiędzy poszczególnymi elementami, a także ich własności geometryczne i optyczne. Do najczęściej spotykanych należą struktury: jednorodne, ziarniste, mozaikowe, pasmowe i siatkowe. Pod względem geometrycznym rozróżnia się struktury o geometrii prawidłowej i nieregularnej.

Cechy pośrednie

Cechy pośrednie umożliwiają odczytanie przedmiotów lub obiektów, które nie odfotografowały się bezpośrednio na zdjęciu, względnie których

nie można odczytać za pomocą cech bezpośrednich lub gdy cechy bezpośrednie nie dają jednoznacznej odpowiedzi. Cechy te na ogół wykorzystują istniejące w przyrodzie prawidłowości wzajemnego przestrzennego rozmieszczenia obiektów, względnie prawidłowości zachodzące pomiędzy obiektami przyrody a wynikami działalności gospodarczej człowieka. Przejawia się to w dwóch następujących grupach czynników: wzajemnej zależności w rozmieszczeniu obiektów w terenie oraz we wzajemnym wpływie jednych obiektów na drugie. Takie obiekty, które umożliwiają odczytanie innych obiektów, są nazywane wskaźnikami interpretacji. Wskaźnikami interpretacji mogą być elementy rzeźby terenu, roślinności, hydrografii, gruntów i inne.

Na podstawie wzajemnej zależności można odczytywać następujące grupy obiektów:

- obiekty, których cechy bezpośrednio nie pozwalają na pełne zinterpretowanie charakteru obiektu /np. rozpoznanie brodu lub promu po drogach dochodzących do rzeki; określenie przeznaczenia budynków według ich rozmieszczenia w zagrodzie; obecność statków na redzie, która wskazuje na istnienie portu itp./;

- obiekty, które na zdjęciu odfotografowały się w jednym tonie /np. piasek i śnieg/;

- obiekty zasłonięte /lub zamaskowane/ innymi obiektami;

- obiekty, które nie funkcjonowały w momencie fotografowania.

Na podstawie zmian zachodzących w jednych obiektach w wyniku wpływu na nie innych nieinterpretowanych obiektów można rozpoznać:

- obiekty podziemne, które oddziałują na obiekty rozmieszczone na powierzchni;

- obiekty zakryte innymi obiektami.

Do ważnych cech pośrednich należą również ślady działalności lub funkcjonowania obiektu.

Cechy kompleksowe

Kompleksowe cechy interpretacyjne odzwierciedlają strukturę naturalnych terytorialnych kompleksów. Struktura tonalna obrazu składa się z następujących elementów: kształtu, powierzchni i tonu. Wprawdzie ton jest wielkością zmienną, lecz forma jest bardziej trwała i nawet przy zmianie tonu może być wiarygodną cechą rozpoznawczą. Struktury tonalne odgrywają bardzo istotną rolę przy odczytywaniu rodzaju terenu i jego charakterystyk, tym samym mogą dostarczać wiele informacji na temat operacyjno-taktycznych właściwości terenu. Struktury jednorodne charakteryzują obszary bazylenne, stepowe, pustynie gliniaste i in.

Struktury ziarniste są właściwe dla krajobrazów leśnych. Struktury kwadratowe występują przy niektórych typach leśnych bazienu tundrowych.

APARATURA (URZĄDZENIA)	ŚRODOWISKO GEOGRAFICZNE			BAZA GOSPODARCZA				OPERACYJNE PRZYGO- TOWANIE TERENU					INNE				
	Ukształtowanie powierzchni	Hydrografia	Zalesienie	Elementy klimatu	Struktury geologiczne	Grunty	Oświadczenie i ruchy ludn.	Zasoby minerałów	Wykorzystanie ziem	Stan upraw rolnych	Zakłady przemysłowe	Bazy lotnicze	Bazy morskie	Stac. linii komunikacyjnych	Magazyny i składy	Struktury podziemne	Zjawiska biologiczne
KAMERA PONIAROWA/ROZPOZNAWCZA film panchromatyczny film infrachromatyczny film spektrostrefowy	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
KAMERA PANORAMICZNA	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
KAMERA WIELOSPEKTRALNA	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SKANERY SZEROKOPASMOWE /0,38 - 14,0 μm/	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
RADIOMETRY PODCZERWIENI	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ZOBRAZOWANIA MIKROFALOWE	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
RADIOMETRY MIKROFALOWE	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
RADAR OBRAZOWY	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SPEKTROMETRY: absorpcyjny ultrafioletowy podczerwienni	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SKATTEROMETRY radarowy laserowy	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
MAGNETOMETR	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Rys. 2. Możliwości zastosowania aparatury fotograficznej i obrazowej w badaniach wojskowo-geograficznych

Struktury pasmowe są charakterystyczne dla niektórych typów bagien, pustyni piaszczystej i in.

Struktury drzewokształtne występują na obszarach tundrowych i górskich w połączeniu z obszarami lodowcowymi i wiecznych śniegów.

Struktury strumieniowe również są charakterystyczne dla obszarów tundrowych oraz górskich i uwarunkowane są zjawiskami lodowcowymi.

Struktury poligonowe występują w wielu miejscach teras dolin rzecznych, we wgłębieniach jeziornych i in.

Struktury plamiste są charakterystyczne dla wielu rodzajów krajobrazu. Występują w rejonach tundrowych, pustynnych, lesistych i in.

Struktury pierzaste są charakterystyczne dla rejonów o suchym klimacie, występujących na przedgórzach.

Struktury klinowe spotyka się na zdjęciach pustyni piaszczystych pozbawionych roślinności.

Struktury mozaikowe występują jako zbiory nieuporządkowanych plam różnego tonu, różnych wymiarów i kształtu. Spotyka się je w wielu typach krajobrazów.

Cechy kompleksowe można klasyfikować według właściwości geometrycznych, optycznych i genetycznych.

4.2. Metody wizualne

Studia terenu z lotu ptaka są jednym z najdawniejszych sposobów stosowanych w badaniach wojskogeograficznych. Dzisiaj również przypisuje się im ważne znaczenie. Mają zastosowanie w badaniach ogólnogeograficznych powierzchni Ziemi, jak i w przewidywaniu opracowań kartograficznych. Służą do studiowania poszczególnych składowych krajobrazu, w tym budowy geologicznej, gruntów i gleb, upraw rolnych oraz szaty roślinnej. Podobnie wykorzystuje się je w studiach elementów operacyjnego przygotowania terenu, bazy ekonomicznej, stanu gospodarki rolnej i innych. Metody wizualne są szczególnie przydatne w badaniach zjawisk dynamicznych, zarówno o charakterze fizyczno-geograficznym, jak i militarnym.

Duże korzyści daje obserwacja wizualna prowadzona ze statków kosmicznych. Z wysokości orbity pojazdu kosmicznego można zauważyć wiele zjawisk i obiektów niewidocznych z Ziemi. Wynika to z naturalnej generalizacji małych szczegółów i skupieniu się na dużych elementach, do czego przywykł ludzki wzrok, jak również z tak zwanego "efektu prześwitania", polegającego na tym, że przy obserwacji powierzchni Ziemi z dużej wysokości obrazy starych struktur geologicznych, pokrytych warstwą sypkich naniesień z wcześniejszych wieków, niejako prześwitują z głębi.

Możliwości obserwacji wzrokowej zależą od kilku czynników, a prze-

de wszystkim od ostrości i czułości wzroku, charakteru obiektu, wysokości Słońca, przez zroczystości atmosfery oraz kontrastu obiektu na tle terenu.

Na ogół przyjmuje się, że przy obserwacji monokularnej kat, pod którym wzrok ludzki odróżnia dwa leżące obok siebie punkty, wynosi $45''$ natomiast kat, pod którym obserwuje się oddzielnie dwie równoległe linie jest mniejszy i wynosi $20''$. Uwzględniając różnice gęstości optycznej między obiektem a tłem $/\delta /$ oraz pasy rozmytości $/l/$ obrazu optycznego, jakie występują na brzegach obserwowanych obiektów powierzchniowego d_k można określić z wzoru:

$$d_k \geq 1,4 l \delta^{\frac{1}{2}}$$

zaś obiektu liniowego d_l z zależności:

$$d_l \geq 0,6 l \delta^{\frac{1}{2}}$$

Jeśli uwzględnić odległość obserwacji, to okazuje się, że z orbity sztucznego satelity Ziemi o wysokości 200 km można odróżnić obiekty powierzchniowe o wysokim kontraście mające wymiary 60 m, średniokontrastowe o wymiarach 600 m i małokontrastowe o wymiarach 1200 m. Natomiast przy bardzo wysokim kontraście odróżnia się obiekty liniowe o szerokości 20 - 40 m.

Najdogodniejsze warunki obserwacji występują w punktach podsatelitarnych, względnie przy odchyleniu linii obserwacji od pionu o kat nie przekraczający 45° . Z orbity o wysokości 250 - 300 km można wzrokowo przeglądać pas terenu o szerokości 300-400 km.

Np. do ciekawych odkryć uzyskanych z obserwacji wzrokowej należy znalezienie ogromnego zbiornika słodkiej wody pod piaskami Kazakałpacji /ZSRR/, wykrycie pól naftowo-gazowych w rejonie Dniepropietrowska i Doniecka, potwierdzenie obecności pokładów ropy naftowej na półwyspie Mangyszłak i szereg innych.

Obecnie, oprócz metod wizualnych bezpośrednich oraz metod wizualnych z wykorzystaniem przyrządów optycznych, coraz częściej wykorzystuje się komputery i automatyczne metody interpretacji obrazów.

4.3. Ogólne zasady automatyzacji procesu odczytywania zobrażeń

Ogólna charakterystyka aparatury

Automatyczne systemy interpretacyjne, jakie obecnie wykorzystuje się w procesach obróbki zobrażeń lotniczych i satelitarnych, charakteryzują dużą szybkość działania oraz możliwość obróbki i zapamiętywania olbrzymiej ilości informacji. Systemy te według przeznaczenia można po-

dzielić na uniwersalne i specjalistyczne, natomiast według metod informacji obrazowej na cyfrowe, analogowe, hybrydowe.

Urządzenia cyfrowe przetwarzają zobrażenia zapisane w formie cyfrowej, względnie zobrażenia półtonowe, które za pomocą aparatury wchodzącej w skład systemu są wstępnie przetwarzane w postać cyfrową. Wówczas do obróbki można wykorzystywać istniejące seryjne EMC. W zasadzie są to systemy uniwersalne.

Urządzenia analogowe bezpośrednio przetwarzają obrazy półtonowe względnie ich odmiany przedstawione w postaci innego analogowego zapisu. Przetwarzają również zobrażenia skanerowe zapisane w postaci analogowej. W skład takiego systemu wchodzi urządzenia typu analizatorów laserowych lub elektronowych maszyn analogowych. Obróbkę informacji obrazowej w systemach analogowych wykonuje się szybciej i taniej niż w urządzeniach cyfrowych. Systemy analogowe należą do grupy urządzeń specjalistycznych.

Urządzenia hybrydowe łączą w sobie zalety maszyn cyfrowych i analogowych. Np. obróbkę wstępną zobrażeń można prowadzić w postaci analogowej, a następnie dalsze opracowania dokonywać w postaci cyfrowej.

Aparatura do interpretacji cyfrowej

W skład kompletu aparatury do obróbki cyfrowej zobrażeń wchodzi: elektroniczna maszyna cyfrowa o wysokiej liczbie operacji na sekundę i dużej pamięci operacyjnej, urządzenia wejścia i wyjścia oraz urządzenia umożliwiające operatorowi dialog z maszyną.

Jeśli system kodowania informacji i struktura kodowania maszyny elektronicznej odpowiada sposobowi zapisu obrazu, to takie zobrażenie wprowadza się bezpośrednio do EMC. W przypadku zapisu wierszowego obrazu podlega on wstępnemu analogowo-cyfrowemu przetworzeniu. Natomiast zdjęcia fotograficzne wstępnie podlegają dyskretyzacji, podczas której dzielą się je na wiersze, a te na elementy. Dokonuje się tego na urządzeniach elektromechanicznych lub elektronicznych.

Do elektronicznych przyrządów należy m.in. mikrodensytometr, wchodzący w skład kompletu aparatury "P-1700 Fotomation" /USA/. Umożliwia on wydzielenie 256 gradacji półtonów /gęstości optycznych/. Zdolność rozdzielcza procesu dyskretyzacji dokonywanego na tym mikrodensytometrze wynosi 100 linii/mm, zaś błąd położenia elementów wiersza nie przekracza 1 μ m.

W urządzeniach elektronicznych dyskretyzacji dokonuje się za pomocą aparatury telewizyjnej, która charakteryzuje się większą prędkością

wybierania obrazu, lecz mniejszą dokładnością fotometryczną. Rozróżnia ona do 32 gradacji półtonów, błąd położenia elementów wynosi 20-30 μm , a zdolność rozdzielcza do 15-20 linii/mm. Tego rodzaju urządzenia wchodzi w skład kompletu aparatury francuskiej typu "Pericolor" oraz amerykańskiej "ISI-130".

Do obróbki informacji wykorzystuje się seryjne komputery, natomiast do wykonania wielu operacji pomocniczych stosuje się również mini-komputery. Po obróbce informacji do wyprowadzenia wyników służą urządzenia typu fototelewizyjnego lub różnego rodzaju drukarki.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat blokowy aparatury do cyfrowej obróbki informacji.

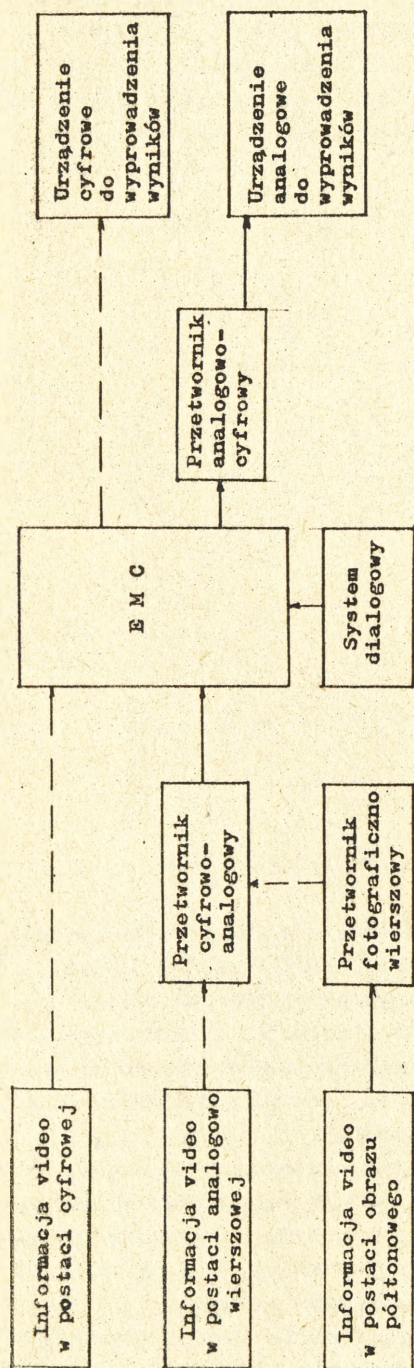
Cechy demaskujące stosowane przy obróbce cyfrowej

Przy cyfrowej obróbce informacji obrazowej cechy demaskujące obiektów powinny odzwierciedlać stosunki ilościowe. Wybiera się więc takie właściwości przedmiotów lub obiektów, które dają się łatwo opisać ilościowo. Najłatwiej sformalizować jasność /jaskrawość/ obiektu, która w przypadku obrazu jest wyrażona w postaci gęstości optycznej. Gęstość optyczna jest więc funkcją jaskrawości i łatwo można ją przetworzyć w postać cyfrową, jednak informatywność takiej cechy jest zbyt mała.

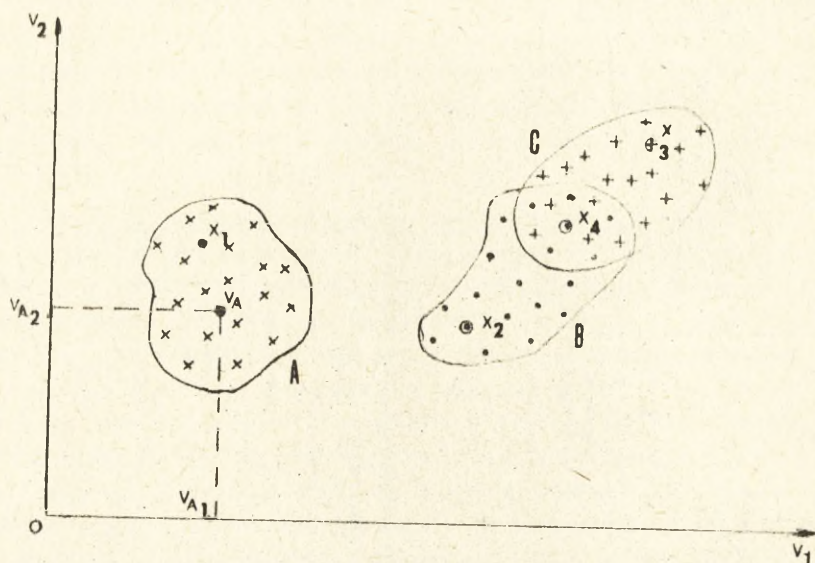
Kształt i wymiary obiektów są względnie wartościowym cechami obiektów sztucznych, lecz mało przydatne do interpretacji kultur rolnych. Do najbardziej informatywnych cech bezpośrednich, przydatnych w automatycznej interpretacji obrazów, należą barwa i tekstura. Ich informatywność wzrasta w przypadku wykorzystania zobrazowań wielospektralnych.

Zbiór strefowych jasności /jaskrawości/ jakiegoś obiektu /A/, lub funkcji tych jasności, jest cechą spektralną danego obiektu. W najprostszych przypadkach może to być cecha jednowymiarowa, którą można wyrazić cyfrowo w postaci wektora V_1 .

Jeśli wykorzystać drugi obraz, zarejestrowany w innej strefie widma, to dla tego samego obiektu można otrzymać drugi wektor V_2 , zaś sumując wektory V_1 i V_2 otrzymuje się wektor dwuwymiarowy V będący wyrazem cechy spektralnej na płaszczyźnie. Zazwyczaj powierzchnie tych samych obiektów różnią się nieco między sobą, dlatego końce tych wektorów w przestrzeni dwuwymiarowej tworzą zbiór punktów rozszaniach na pewnym obszarze /rys. 4/. W podobny sposób można uzyskać cechy spektralne innych obiektów /B i C/. Następnie cechy te mogą być wykorzystane jako wzorce przy rozpoznaniu nieznanymi obiektów. Przestrzenie cech spektralnych mogą się nie pokrywać /np. klasy obiektów A i B, A i C/, lub częściowo się pokrywać /np. B i C/.



Rys. 3. Schemat blokowy aparatury do automatycznej interpretacji zdjęć i zobrażeń

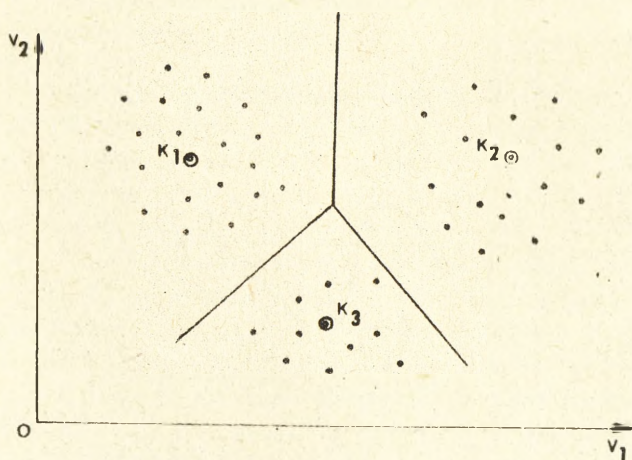


Rys. 4 . Rozpoznanie w dwuwymiarowej przestrzeni cech

Wówczas dla określenia przynależności obiektu do danej klasy wykorzystuje się kolejne obrazy strefowe, względnie określa się przynależność obiektu do danej klasy stosując teorię prawdopodobieństwa. Praktycznie okazało się, że w pełni wiarygodne wyniki uzyskuje się przy wykorzystaniu wektorów trójwymiarowych, lub czterowymiarowych. Dalsze zwiększenie liczby wymiarów znacznie zwiększa zakres prac obliczeniowych nie wpływając istotnie na wiarygodność interpretacji.

Przy niepełnej informacji, lub nawet braku wzorcowych cech spektralnych, interpretację można prowadzić przez wstępny podział cech wielowymiarowych nieznanych obiektów na pewne niepokrywające się przestrzenie. Taki proces nazywa się "klasteryzacją" /clustering/, zaś określone w ten sposób zbiory cech jeszcze nieznanych obiektów - klastery. Klasteryzacji dokonuje się na EMC w sposób analityczny. Proces klasteryzacji można uprościć, jeśli znane są pewne informacje o występujących

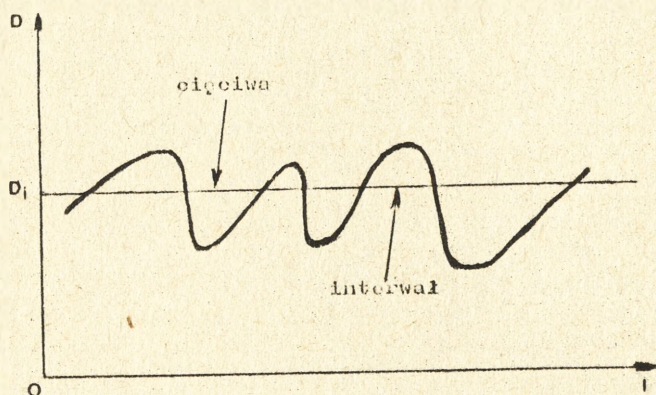
obiektach, lub o liczbie ich klas. Po otrzymaniu klasterów porównuje się je z wcześniej posiadanymi informacjami o danym obiekcie /np. na podstawie wcześniej odczytanych zdjęć, na podstawie mapy topograficznej, względnie odczytuje się je bezpośrednio w terenie. Zasadę klasteryzacji przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Klasteryzacja w dwuwymiarowej przestrzeni cech

Czasem, w przypadku informacji wielospektralnej, dla uproszczenia obliczeń dokonuje się wstępnej obróbki informacji. Przy interpretacji szaty roślinnej najbardziej informacyjne są pasma zieleni $/V_z/$, czerwieni $/V_c/$ i podczerwieni $/V_{pc}/$. Na przykład stosunki $V_{pc} : V_c$ oraz $/V_{pc} - V_z/ : /V_{pc} + V_z/$ są doskonałą cechą charakteryzującą rozwój roślinności, jej strukturę, masy drzewne; stosunki V_c/V_z oraz $V_z V_{pc} : V_c$ charakteryzują zwartość koron drzew, zaś $/V_{pc} - V_c/ : /V_{pc} + V_c/$ stosuje się przy ocenie rozwoju szaty roślinnej i objętości masy drzewnej w warunkach słabego nawilgocenia gleby. W takim przypadku późniejsza identyfikacja obiektów lub ich charakterystyka sprowadza się do obliczeń wektorów jednowymiarowych, co znacznie upraszcza i przyspiesza proces interpretacji.

W przypadku wykorzystania tekstury jako cechy rozpoznawczej idzie o takie jej sformalizowanie, aby przekazać jej specyfikę możliwe związane i przy małym nakładzie prac obliczeniowych. Obecnie najczęściej wykorzystuje się cechy progowe. Otrzymuje się je w taki sposób, że krzywą opisującą gęstości optyczne mikrofilmu odczytywanego obiektu przecina się prostą będącą pewnym poziomem pogranicznym D_1 /rys. 6/



Rys. 6. Formalizacja tekstury obrazu z wykorzystaniem cechy progowej.

Fragmety krzywej położone powyżej tej prostej /ekstrema/ są połączone odcinkami nazwanymi interwałami, zaś położone poniżej /minima/ - cięciami. Długości interwałów i cięciw mierzy się liczbą elementów dyskretnych.

Jako cechy charakteryzujące teksturę można wybrać na przykład zwartość S_2 krzywej na i -tym poziomie, którą można wyrazić wzorem :

$$S_1 = \frac{L_1}{L} \cdot 100\%$$

gdzie L_1 jest sumą cięciw, a L - długością wiersza.

Inną cechą rozpoznawczą tekstury może być częstotliwość przestrzenna D występowania ekstremów i minimów.

$$D = N_1/L$$

gdzie N_1 - jest liczbą występowania minimów.

Podobnych charakterystyk tekstury można wybrać więcej. Cechy teksturalne mają najczęstsze zastosowanie przy interpretacji obszarów leśnych.

5. CHARAKTERYSTYKA WOJSKOWYCH I CYWILNYCH PROGRAMÓW SATELITARNYCH PRZYDATNYCH W BADANIACH WOJSKOWOGEOGRAFICZNYCH

W badaniach wojskowogeograficznych największe zastosowanie mają materiały fotograficzne i obrazowe otrzymywane w wyniku działalności satelitów rozpoznawczych. Zawierają one najbardziej pełną i w miarę dokładną informację o terenie. Ponadto użyteczne są programy satelitarne przeznaczone do badania Ziemi i zasobów ziemskich. W niektórych przypadkach można również wykorzystywać informacje uzyskiwane z satelitów oceanograficznych, meteorologicznych i innych.

Rozpoznanie satelitarne prowadzi już kilka państw. Najdłużej, gdyż od początku lat 60-ych, zajmują się nim Stany Zjednoczone i Związek Radziecki. Od 1986 r. na stałe włączyła się Francja, sporadyczne informacje obrazowe o terenie otrzymują Chiny, a w najbliższym czasie do tych państw dołączy Kanada i Japonia.

Stany Zjednoczone do prowadzenia rozpoznania obrazowego wykorzystują cztery programy /rys.7/.

1. Program "Big Bird", zwany również programem "467" lub LASP /Low Altitude Space Program/, posiada dwa rodzaje kamer:

- kamerę firmy Itek o ogniskowej 61 cm i zdolności rozdzielczej 180 linii/mm; rozdzielczość otrzymywanych zdjęć wynosi 1 m. Zdjęcia te za pomocą aparatury fototelewizyjnej są przetwarzane w postać cyfrową i przesyłane drogą radiową do ośrodka naziemnego;

- kamerę firmy Perkin-Elmer o ogniskowej 244 cm; rozdzielczość zdjęć w stosunku do terenu wynosi 30-50 cm /stosuje się błony fotograficzne o zdolności 400 linii/mm/. Naświetlone filmy są zrzucane z pokładu satelity i przechwytywane na morzu w rejonie Hawajów. Na pokładzie satelity znajdują się co najmniej cztery zasobniki.

Prawdopodobnie satelita "Big Bird" posiada jęczcze skaner podczerwieni z liniowym wybieraniem obrazu, który umożliwi zbieranie informacji o powierzchni Ziemi w porze nocnej i zdalne jej przesyłanie do ośrodków naziemnych w realnej skali czasu. Rozdzielczość tych obrazów jest co najmniej kilkakrotnie mniejsza niż aparatury fotograficznej.

2. Satellite Key Hole - 9 /KH-9/ są kontynuacją programu satelitar- nego SAMOS /czasem oznacza się je również jako Samos-M lub R-6/. Posiada- ją kamery wielospektralne umożliwiające otrzymanie obrazów o rozdziel- czości rzędu 15 cm. Naświetlone materiały fotograficzne są dostarczane na Ziemię w zasobnikach zrzuconych z pokładu i przechwytywanych również w rejonie Hawajów. Satelity te wykonują główne zadania strategicznego rozpoznania szczegółowego.

3. Satellite KH-11 prowadzą rozpoznanie obrazowe za pomocą aparatu- ry wyposażonej w czujniki elektrooptyczne CCD /Charge Coupled Device/. Obrazy rejestrowane w postaci impulsów elektrycznych są przesyłane drogą radiową do ośrodków naziemnych w czasie prawie rzeczywistym bezpośrednio z pokładu satelity, lub za pomocą systemu SDS /Satellite Data System/. Rozdzielczość otrzymywanych obrazów wynosi 1,5-3,0 m. Za pomocą promu kosmicznego satelita KH-11 może być ładowany na orbicie i sprowadza- ny na Ziemię dla załadunku. Ten program satelitar- ny jest na usługach Centralnej Agencji Wywiadowczej USA /CIA/. Nową generację tych satelitów o zwiększonej rozdzielczości nazwano KH-12.

4. Satellite "Landsat" są satelitami cywilnymi i prowadzą rozpo- znanie obrazowe powierzchni Ziemi za pomocą dwóch rodzajów aparatury. Mają - aparaturę telewizyjną RBV /Return Beam Vidicon/, pracującą w trzech pasmach i dającą rozdzielczość rzędu 80 m/w satelicie "Landsat" - 3 zastosowano aparaturę o rozdzielczości 40 m/; - aparaturę wielospektralną MSS /Multi Spektral Scanner/ pracującą w czterech pasmach widma i dającą obrazy o rozdzielczości 70 m. Obrazy są przesyłane na Ziemię kanałami radiotelemetrycznymi.

W kolejnych wariantach satelitów "Landsat" zwiększono liczbę ka- nałów skanera MSS, a w satelitach "Landsat" 4 i 5 aparaturę RBV zamie- niono aparaturą TM /Thematic Mapper/ posiadającą teleskop o ogniskowej 2,4 m, który umożliwi otrzymanie obrazów o rozdzielczości rzędu 25-30m.

W przypadku zagrożenia lub wojny przewiduje się umieszczanie sa- telitów "Landsat" na niskich orbitach, jakie zajmują wojskowe satelity rozpoznawcze. Umożliwi to otrzymanie obrazów terenu o rozdzielczości rzędu 6 m.

Nazwa programu	Parametry orbity		Okres aktywne- go dzialania	Rodzaj aparatury	Rozdzielczość w terenie
	Perigeum km	Apogeum km			
SAMOS	140	200	4 - 5 tygodni	Foto / 0,5-3,6 m/	0,26-1,8 m
KH-9	125-140	330-415	do 160 dni	Foto	0,15 m
Big Bird LASP	140-180	270-310	250 dni	Foto / itek 0,61 m/ Foto / P-E 244 cm/ Radar TV	1 m 0,3-0,5 m
KH-11	250-300	500-570	2 - 3 lata	Obrazowa, czujni- ki CCD	1,5 - 3,0 m
Landsat 1	920		kilka lat	RBV MSS	90 m 120 m
Landsat 4	760		kilka lat	TM	30 m
SPOT-1	832		kilka lat	2 x HRV	10 m 20 m

Rys. 7. Ważniejsze programy satelitarne Stanów Zjednoczonych i Francji

W 1986 r. Francja umieściła na orbicie wokółziemskiej satelitę SPOT /Satellite Probatoire d'Observation de la Terre/. Posiada on aperturę obrazową HRV /Haute Resclution Visible/ umożliwiającą otrzymanie obrazów o rozdzielczości 20 m w wariancie wielospektralnym i 10 m w wariancie panchromatycznym. Elektrooptyczny układ detektorów składa się z czujników typu CCD ze sprzężeniem ładunkowym. Obraz zapisywany elektronicznie jest przesyłany do ośrodka naziemnego w czasie prawie rzeczywistym. Przewiduje się wojskowy wariant tego satelity; obrazy będą miały rozdzielczość rzędu 5 m.

Radzieckie programy rozpoznawcze są realizowane przez niektóre z satelitów serii "Kosmos" oraz przez laboratoria satelitarne "Sojuz - Salut", zaś aktualnie - "Mir".

Główny potencjał informacyjny i kartograficzny tworzy zespół następującej aparatury:

- kamera wielospektralna MKF-6 pracująca w sześciu pasmach widma; obiektywy kamery mają ogniskową rzędu 125 mm - rozdzielczość obrazów 15-40 m;

- kamera topograficzna KATE-140 o ogniskowej rzędu 1 m - rozdzielczość obrazów rzędu 5-10 m;

- prawdopodobnie inne kamery o ogniskowej rzędu kilku metrów i rozdzielczości obrazu około 30 cm.

Zadania podobne do tych jakie są wykonywane w ramach programów "Landsat" i SPOT w Związku Radzieckim wykonują satelity eksperymentalne "Meteor".

Np. skaner wielospektralny MSU-S wchodzący w skład wyposażenia standardowego tych satelitów obrazuje teren w dwóch pasmach; obrazy mają rozdzielczość 280 m.

Prawie każdy z satelitów serii eksperymentalnej ma inny zestaw aparatury dodatkowej. Np. na satelicie "Meteor"-30 oprócz standardowej znajdowała się następująca aparatura dodatkowa;

- skaner wielospektralny MSU-E o wysokiej zdolności rozdzielczej /60 m/ pracujący w trzech pasmach widma;

- skaner wielospektralny MSU-SE o średniej zdolności rozdzielczej /170 m/ pracujący w czterech pasmach widma;

- skaner wielospektralny "Fragment" o wysokiej zdolności rozdzielczej /80 m/ pracujący w ośmiu pasmach; informacje obrazowe z tego skanera są przesyłane na Ziemię w postaci cyfrowej.

Oprócz sztucznych satelitów informację obrazową o powierzchni Ziemi pozyskuje się za pomocą promów kosmicznych. W dotychczas wykonanych lotach amerykańskich promów kosmicznych serii "Shuttle" wielokrotnie

wykorzystywano aparaturę umożliwiającą obrazowanie terenu. Między innymi w drugim locie wahadłowca na jego pokładzie znajdował się radar z anteną syntetyczną SIR /Shuttle Inaging Radar/. Udoskonalony wariant tej aparatury /SIR-B/ wykorzystano również w trzynastym locie. Z wysokości 250 km otrzymano obrazy radarowe o rozdzielczości rzędu 38 m. Przewiduje się stałe wyposażenie promów kosmicznych w tego rodzaju aparaturę.

Na pokładzie promu montowano również szerokoformatową kamerę fotograficzną LFC /Large Format Camera/ przeznaczoną do fotografowania pomiarowego. Z wysokości 268 km otrzymano zdjęcia o rozdzielczości 18 m. Również ta kamera jest przewidywana jako stałe wyposażenie promów kosmicznych.

6. OCENA SKUTECZNOŚCI METOD TELEDETEKCYJNYCH W BADANIACH WOJSKOWOGEOGRAFICZNYCH

Rozróżnialność zdjęć czy, wymiary piksela wskazują na wymiary małych elementów /punktów/. Jednak obrazy obiektów składają się z wielu punktów. Im mniejsze będą te punkty i im więcej będzie ich wchodziło w skład obrazu, tym dokładniejsze będzie odczytanie obiektu. Tę zasadę przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

Dla oceny możliwości odczytania obiektów przyjąłem pięć stopni szczegółowości. Jeśli założymy, że stopień rozdzielczości obiektu /SR/ będzie wynikał z rozdzielczości obrazu /r/, dostosowanej do wymiaru obiektu, to poszczególne stopnie można opisać następująco:

Stopień I - możliwość wykrycia obiektu

$$SR = r$$

Stopień II możliwość rozpoznania ogólnego obiektu

$$r < SR \leq 3r$$

Stopień III możliwość szczegółowej identyfikacji obiektu

$$4r < SR \leq 5r$$

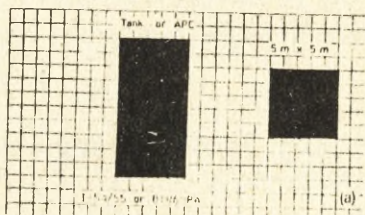
Stopień IV - możliwość szczegółowego opisu obiektu

$$15r < SR \leq 30r$$

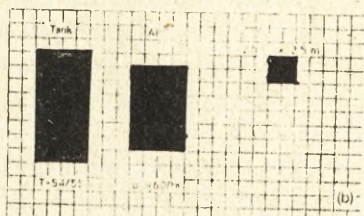
Stopień V - możliwość bardzo szczegółowego opisu i analizy stanu obiektu

$$SR > 30r$$

Można jeszcze wprowadzić stopień "zerowy", przy którym obiekt będzie odwzorowany w postaci punktu, kreski lub plamki bez jakiegokolwiek możliwości interpretacji.



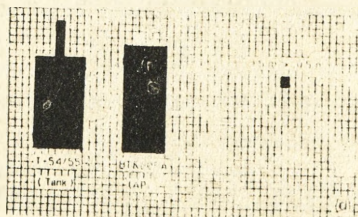
5 m x 5 m



2,5 m x 2,5 m

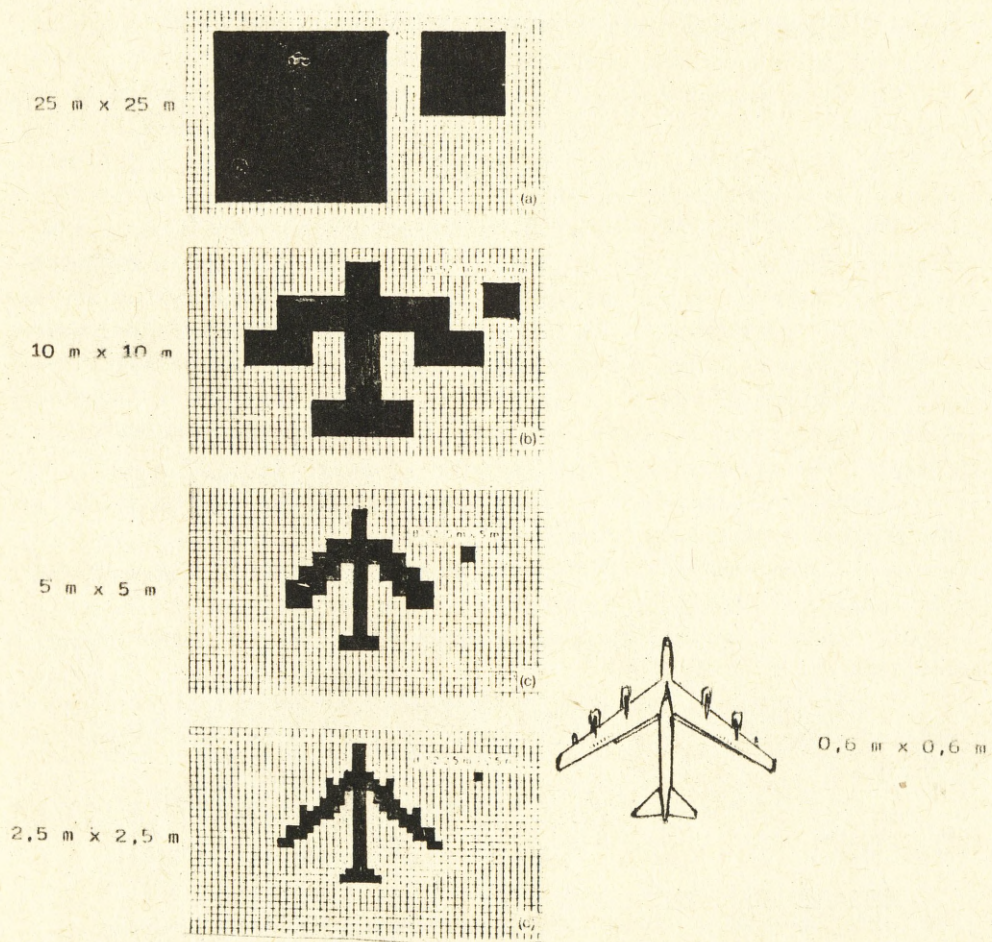


1 m x 1 m



0,5 m x 0,5 m

Rys. 8. Zasady rozpoznania ozołgu i transportera opancerzonego



Rys. 9. Zasady rozpoznania ciężkiego bombowca B-52

Do oceny szczegółowości rozpoznania można również wyjść z bezwzględnej wartości rozdzielczości.

Na podstawie szeregu badań, w tym również badań własnych, stwierdzono, że dla obserwacji terenu i dużych obiektów terenowych /obektów powierzchniowych/ wystarczy rozdzielczość rzędu 10-60 m. Mniejsze obiekty powierzchniowe można badać przy rozdzielczości 3-5 m, zaś ich ocena szczegółowa jest możliwa przy 0,5-2 m. Dla bardzo szczegółowych analiz wojskowych potrzebna jest rozdzielczość 0,15-0,30 m.

Dla badań wojskogeograficznych wystarczą trzy początkowe stopnie rozróżnialności, zaś liczbowo rozdzielczość rzędu od 3 do 80 m.

Wyżej wymienione zasady opracowano w formie nomogramu i przedstawiono na rysunkach 10-12. Rozpoznawane obiekty zgrupowano w lewej części, w poszczególnych działach odpowiadających działom studiów wojskogeograficznych, natomiast w prawej części nomogramu podano, jakie rozdzielczości są potrzebne do rozpoznania obiektu, uwzględniając wymienione wyżej stopnie szczegółowości. Na tak przygotowany nomogram wystarczy wkreślić linie pionowe, które będą charakteryzowały rozdzielczość aparatury obrazowej różnych satelitów. Następnie można już odczytywać z jakich satelitów, jakie grupy obiektów będą rozpoznawane oraz jaka będzie szczegółowość tego rozpoznania.

Dla dalszego opisu wszystkie satelity obrazujące teren można podzielić umownie na cztery grupy:

1. Wojskowe satelity rozpoznawcze: wykonują one zdjęcia i zobrazowania o rozdzielczości 3 m i mniej.
2. Satelity kartograficzne: wykonują one zdjęcia i zobrazowania o rozdzielczości od 3 do 20 m.
3. Satelity radiolokacyjne /radarowe/: zobrazowania przesyłane na Ziemię przez te satelity w najlepszym przypadku mają rozdzielczość od 25 do 38 m.
4. Satelity ekologiczne /do badania zasobów ziemskich/: przesyłają zobrazowania o rozdzielczości od 40 do 170 m.

Ocena warunków terenowych

Do oceny terenu i jego właściwości operacyjno-taktycznych można wykorzystywać zdjęcia i zobrazowania wykonywane w ramach wszystkich wyżej wymienionych grup satelitów. Natomiast wystarczająco dokładną i pełną charakterystykę terenu, zarówno środowiska naturalnego, jak i obszarów zurbanizowanych, w pełni zadowalającą potrzeby wojskogeograficzne, można uzyskać z satelitów kartograficznych. Obrazy radiolokacyjne mogą uzupełniać te informacje danymi o rzeźbie terenu, strukturach geologicznych

i charakterze zabudowy obszarów zurbanizowanych. Jednak do bardziej szczegółowej analizy terenu /np. do wyboru odcinków plaży do desantowania morskiego, wyboru lądowisk dla desantu powietrznego i in. / trzeba wykorzystywać materiały wojskowego rozpoznania satelitarnego. Obecnie już na tyle są znane warunki terenowe, że zwiad satelitarny jest wykorzystywany do wnoszenia zaistniałych zmian dobowych czy sezonowych, jak również zmian powodowanych działalnością człowieka /w tym jego działalnością niszczącą/.

Ocena elementów operacyjnego przygotowania terenu

Bazy lądowe, obiekty koszarowe, magazyny i składy wojskowe oraz stanowiska rakiet balistycznych można lokalizować i rozpoznawać na podstawie obrazów otrzymywanych z satelitów kartograficznych /w tym z laboratoriów i ze stacji orbitalnych/. Jednak szczegółowe rozpoznanie, w tym odczytanie rodzaju i typu sprzętu wojskowego, techniki bojowej, uzbrojenia znajdującego się na placach ćwiczeń, na składowiskach i w magazynach wojskowych, rakiet i artylerii na stanowiskach ogniowych, odczytanie kolumn wojskowych w marszu i in., jest możliwe dopiero z wojskowych satelitów rozpoznawczych.

Bazy lotnicze i morskie już są rozpoznawane przez satelity ekologiczne i radiolokacyjne. Względnie dokładną ich charakterystykę, wystarczającą szczegółową dla potrzeb wojskogeograficznych, otrzymuje się za pomocą satelitów kartograficznych. Jednak dopiero wojskowe satelity rozpoznawcze dostarczają szczegółów dotyczących rodzaju i typu sprzętu lotniczego, rodzaju i typu okrętu oraz elementów jego uzbrojenia i wyposażenia.

Elementy komunikacji lądowej, w tym linie kolejowe, drogi samochodowe oraz obiekty im towarzyszące są rozpoznawane już na obrazach satelitów ekologicznych. Natomiast dokładną charakterystykę węzłów kolejowych i drogowych, mostów, wiaduktów i innych obiektów przydrożnych uzyskuje się z satelitów kartograficznych, niekiedy uzupełniając te dane materiałami z rozpoznania.

Przy rozpoznaniu transportu rurociągowego, szczególnie odcinków biegnących pod ziemią, konieczne jest uzupełnienie informacji obrazami wykonywanymi w podczerwieni bliskiej i średniej.

Elementy dowodzenia, w tym sztaby wojskowe i stanowiska dowodzenia, stacje łączności radiowej, stacje radiolokacyjne itp. są rozpoznawane jedynie na podstawie zdjęć i zobrażeń wykonywanych przez wojskowe satelity rozpoznawcze. W tym przypadku ważne jest uzupełnianie informacji

obrazowej danyimi z satelitów prowadzących rozpoznanie radioelektroniczne /ELINT/.

Ocena bazy gospodarczej

Bazę przemysłową można rozpoznawać na zobrażowaniach satelitów ekologicznych. Duże obiekty przemysłowe rozpoznaje się według ich kształtu, wyglądu, struktury wewnętrznej, sieci komunikacji zakładowej, śladów działalności i in. Szczegóły można uzyskać z satelitów kartograficznych i wojskowo rozpoznawczych. Cenne uzupełnienia wnoszą do rozpoznania techniki termalne i radiolokacyjne oraz spektrometry absorpcyjne.

Bazę surowcową można rozpoznawać na podstawie istniejących źródeł wydobywania surowców /kopalń, pól naftowych, odkrywek/, obiektów przemysłu mineralnego oraz badań zasobów surowcowych kraju. Lokalizowanie dużych odkrywek, jak również dużych zakładów przemysłu mineralnego jest możliwe za pomocą satelitów ekologicznych. Natomiast mniejsze zakłady, pola naftowe, szyby kopalniane można odczytywać ze zdjęć i obrazów otrzymanych z satelitów kartograficznych i rozpoznawczych.

Przy rozpoznaniu nowych złóż wykorzystuje się zdjęcia wielospektralne, zobrażenia radiolokacyjne oraz aparaturę spektrometryczną. Spektrometry absorpcyjne badają ślady parujących gazów w powietrzu przyziemnej /wydzielanych przez podziemne pokłady minerałów/ i na tej podstawie można określać prawdopodobne miejsca występowania wielu złóż minerałów /np. arsenu, cynku, kadmu, rtęci, sodu i in./.

Pokłady gazu ziemnego i ropy naftowej można wykrywać na podstawie śladów wyparowującego NH_3 /amoniaku/. W podobny sposób można wykryć pokłady rudy żelaza.

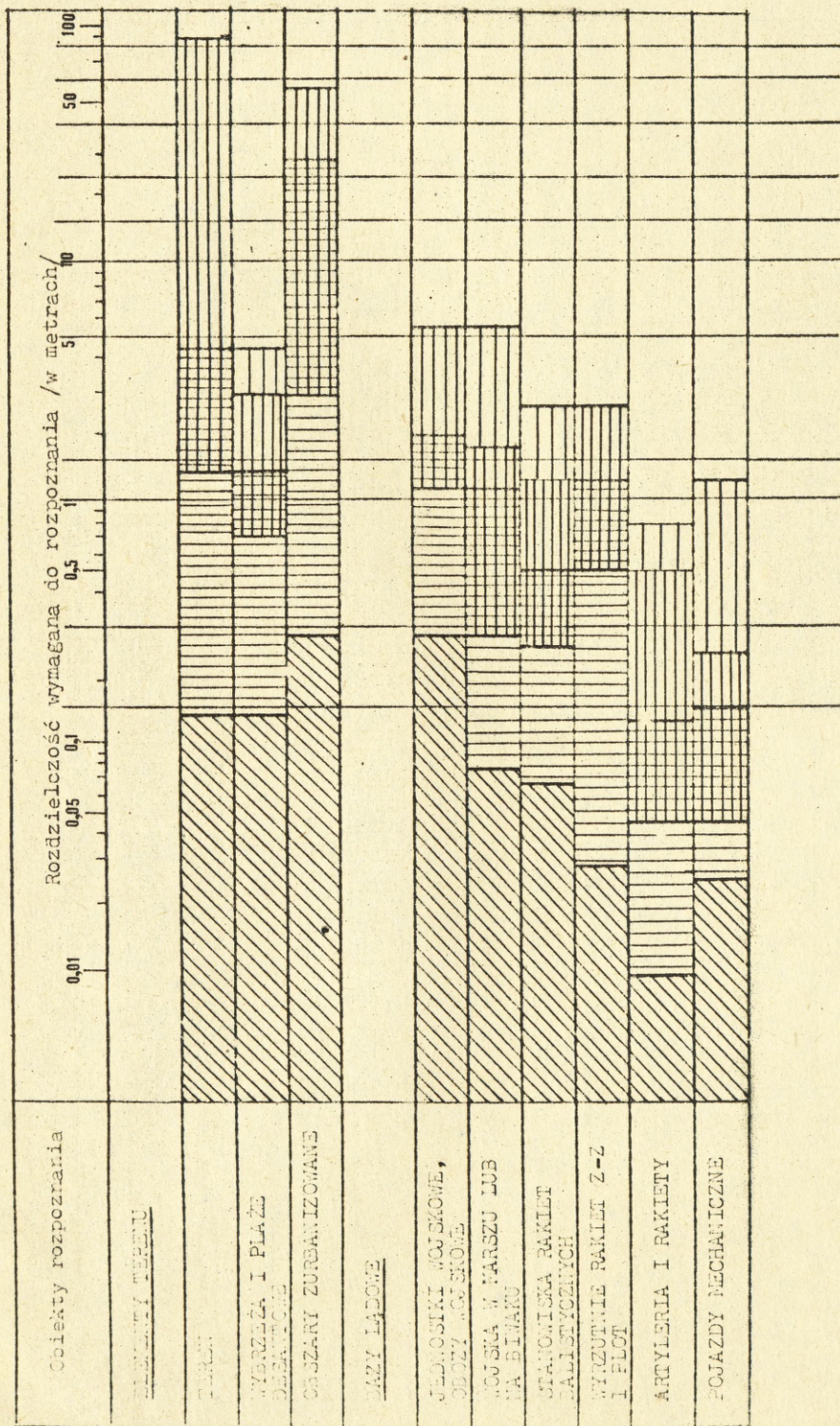
Np. wykrycie dużych koncentracji jodu w wodzie morskiej może świadczyć o występowaniu pokładów ropy naftowej na dnie, zaś mniejsze koncentracje jodu - o obecności organizmów żywych /np. dużych ławic ryb/.

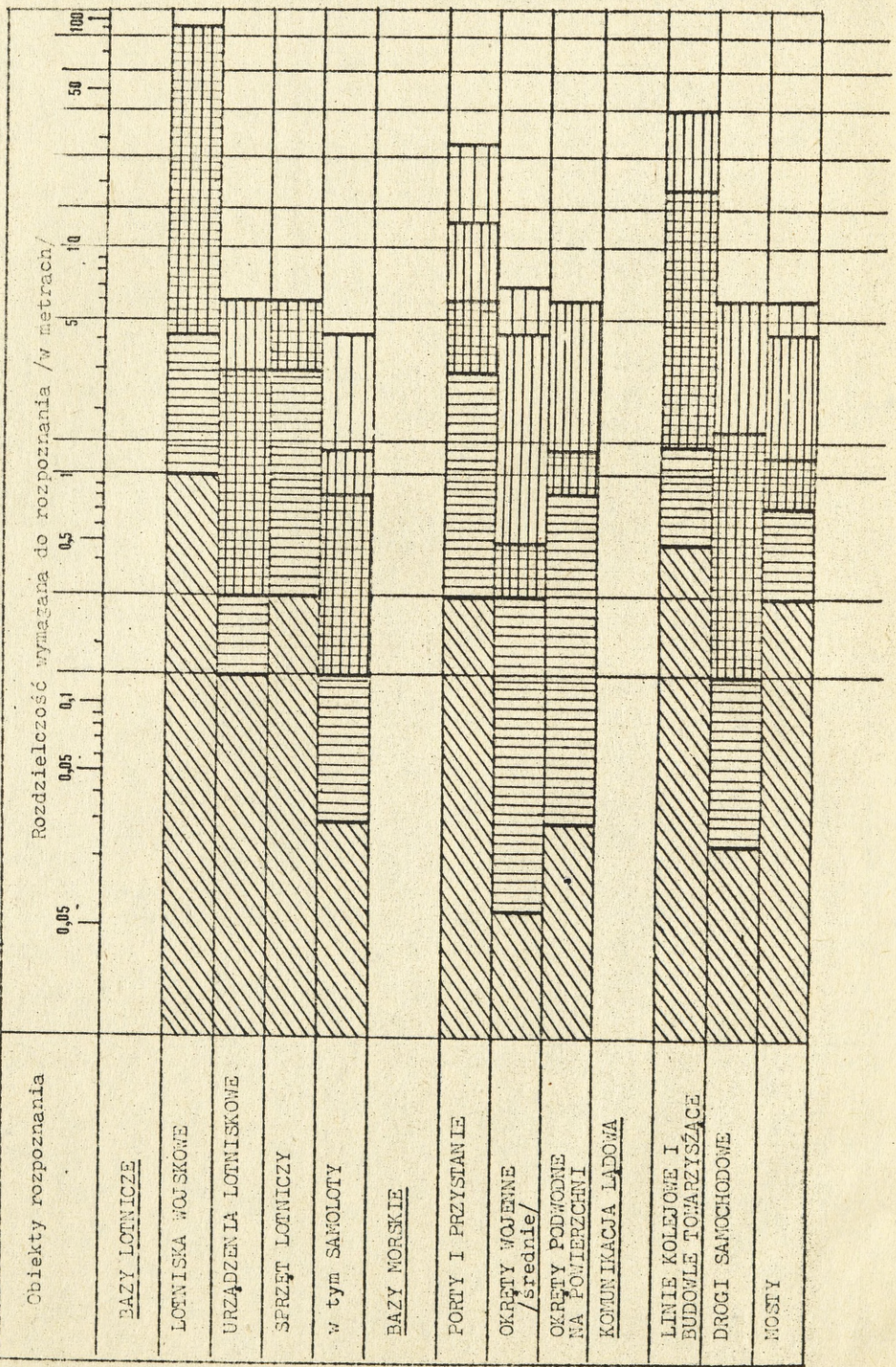
Bazę żywnościową można badać w zakresie oceny aktualnego stanu upraw. Wykorzystuje się w tym celu zdjęcia i zobrażenia wielospektralne. Można określić areal upraw, rodzaj upraw, występowanie chorób roślin, wpływ długotrwałej suszy na wielkość zbiorów w kraju, stan gospodarki leśnej i in.

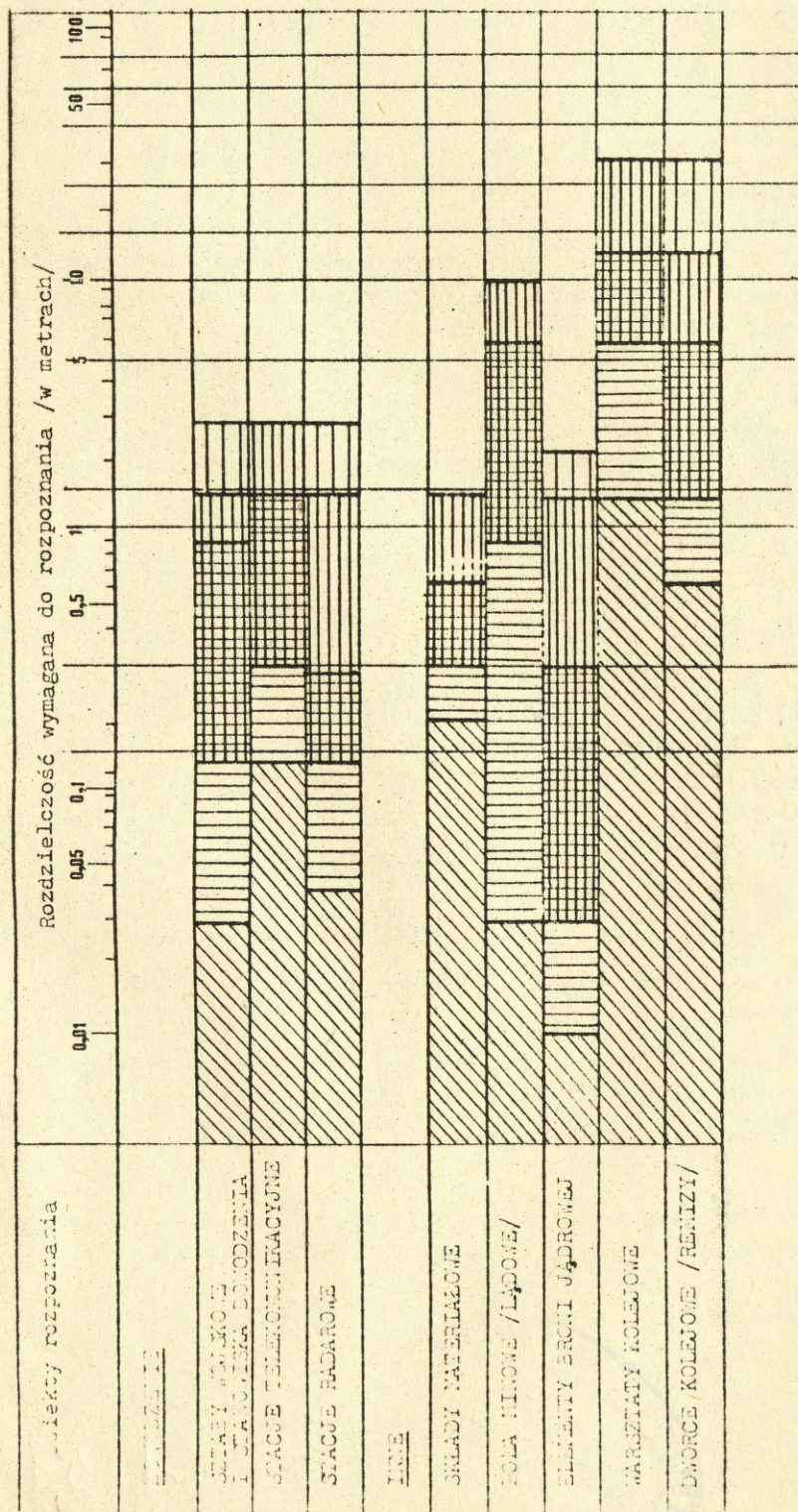
W sposób pośredni można oceniać i inne elementy bazy żywnościowej /np. stan trzody chlewnej i bydła, stan zwierzyny leśnej/.

Wnioski

Rozwój fotografii i teledetekcji, jak również środków przenoszenia aparatury fotograficznej i obrazowej, głównie zaś pojazdów kosmicznych,







stworzył nowe możliwości przed studiami wojskogeograficznymi. Dał geografom wojennym nowe instrumenty i materiały badawcze.

Obrazy lotnicze i satelitarne, pozyskiwane prawie w całym zakresie widma elektromagnetycznego, umożliwiają zdalne badanie powierzchni Ziemi, stan tej powierzchni, obiektów znajdujących się na niej, a nawet w bliskiej warstwie podpowierzchniowej.

Zdjęcia i zobrazowania satelitarne umożliwiają otrzymanie prawie pełnej informacji o elementach operacyjnego przygotowania terenu, a wiele informacji znacznie przekracza zakres potrzebny dla studiów wojskogeograficznych. Materiały te umożliwiają również ocenę wielu elementów bazy gospodarczej, ocenę ważnych gałęzi przemysłu, w tym przemysłu zbrojeniowego.

Kolejną ciekawą stroną jest fakt, że satelity fotograficzne docierają do wszystkich zakątków globu ziemskiego, nie naruszając przy tym norm ustanowionych przez prawa międzynarodowe.

Spis literatury

1. E.C.Barret, L.F.Curtis: Introduction to Environmental Remote Sensing. N.York 1976.
2. N.D.Ilinskij i in.: Fotogrammetrija i deszifrirowanije snimkow. Wyd. "Niedra" Moskwa 1986.
3. Manual of Photographic Interpretation. Wyd. ASP, Washington.
4. B.N.Radionow: Dinamiczeskaja fotogrammetrija. Wyd. "Niedra", Moskwa 1983.
5. W.M.Serdiukow i in.: Aerokosmiceskije metody geograficeskich issledowanij. Wyd. "Wyższa Szkoła", Kijów 1987.
6. S.Wójcik: Zdjęcia lotnicze - Monografia. Wyd. ASG WP, Warszawa 1984.
7. S.Wójcik: Zobrazowania lotnicze i satelitarne w badaniach wojskogeograficznych. "Myśl Wojskowa" nr 1/1988.

Druk ASG WP 311/N-XXIV-115 z dn. 20.02.1995.

