

Andrzej Ciołkosz
/Warszawa/

ZASTOSOWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH W PRACACH ZWIĄZANYCH Z WYKONYWANIEM MAP ROLNICZEGO UŻYTKOWANIA ZIEMI

Wśród wielu dziedzin nauki i techniki, w których znalazły zastosowanie zdjęcia lotnicze, należy wymienić również rolnictwo. Jednak w przeciwieństwie do leśnictwa czy geologii, w których zdjęcia wykonywane z lotu ptaka i ich interpretacja były stosowane od pierwszych lat XX wieku, w rolnictwie znalazły one zastosowanie właściwie dopiero od zakończenia drugiej wojny światowej. Nie mniej zakres zainteresowań zdjęciami lotniczymi w tej dziedzinie jest bardzo rozległy i obejmuje takie zagadnienia jak: układ gruntów, stopień ich rozdrobnienia, warunki zalegania wód podpowierzchniowych, typy gleb, rodzaje upraw, szacunki szkód żywiołowych wyrządzanych w uprawach, zmiany w sposobie użytkowania ziemi jak również ocenę wydajności upraw.

Pierwsze próby wykorzystania obrazu fotograficznego terenu dla potrzeb rolnictwa były przeprowadzone przez The United States Department of Agriculture przy klasyfikacji gruntów. W tym wypadku wskaźnikiem interpretacyjnym były różnice fototonu i stereoskopowy model ukształtowania powierzchni terenu. Na tej podstawie można było wydzielić zasięgi różnych typów gleb

/bez określania ich typu/ oraz zaplanować miejsca, z których należałoby pobrać próbki glebowe czy wykopać odkrywki. W ten sposób eliminowało się przypadkowość lokalizacji badań polowych, a tym samym ściślej ustalało przebieg granicy danego typu gleby. Typy gleb określano metodą tradycyjnych badań terenowych.

Po drugiej wojnie światowej nastąpił znaczny wzrost zainteresowania zdjęciami lotniczymi przez rolników. Rozpoczynają się próby dotyczące szczegółowej interpretacji użytków rolnych. Prace tego typu, obok wspomnianego już Departament of Agriculture, prowadzone są w Kanadzie przez Packmana i Philpotha, którzy w oparciu o zdjęcia lotnicze wykonane w stosunkowo małej skali /1 : 15840/ dokonują kartowania użytków na obszarze Wschodniej Kadany; w Szwajcarii D.Steiner wykonał inventaryzację użytków rolnych na obszarze ponad 700 000 ha w oparciu o zdjęcia w skali 1 : 10000; w Wielkiej Brytanii G.M.Howe wykonuje mapę użytkowania ziemi hrabstwa North - West Cardiganshire z zaznaczeniem głównych rodzajów upraw. Obok prac o charakterze przeglądowym prowadzone są specjalistyczne badania nad możliwością szczegółowej interpretacji upraw ze zdjęć lotniczych. Szczegółowej interpretacji upraw dla części Szwajcarii dokonuje Brunnschweiler w oparciu o zdjęcia w skali 1 : 12500, oraz 1 : 5000, w Wielkiej Brytanii podobną pracę wykonał Bourne, w Niemczech Zachodnich Ruppert i Meienberg. W Stanach Zjednoczonych, gdzie badania nad zastosowaniem zdjęć lotniczych w rolnictwie są najbardziej zaawansowane, Colwell i Stone przeprowadzają udane próby zastosowania zdjęć lotniczych do oceny wydajności upraw. Należy zaznaczyć, że obok prac badawczych w wymienionych krajach zdjęcia lotnicze dla po-

trzeb rolnictwa stosowane są już na skalę produkcyjną.

Dlaczego zdjęcia lotnicze, mimo dostarczania ogromnej ilości faktów, nie znalazły dotychczas szerszego zastosowania w procesie analizy struktury upraw rolnych?

Odpowiedź na to pytanie jest właściwie jedna. W tym wypadku zawiodły stosowane dotychczas kryteria fotointerpretacyjne. Żadna z cech demaskujących nie dawała rezultatu. Nie pomogło nawet wprowadzenie dalszej cechy rozpoznawczej jaką jest barwa na zdjęciu kolorowym - trójwarstwowym. Uprawy odfotografowane na zdjęciu lotniczym pozostały w dalszym ciągu niemożliwe do zidentyfikowania. Dopiero ostatnie lata przyniosły w tym zakresie pewną zmianę. Krótkie rozważania na ten temat rozpoczną od zwrócenia uwagi na właściwości fotografii i fotografowanych przedmiotów.

Wszystkie przedmioty znajdujące się na powierzchni ziemi oświetlone są promieniami słonecznymi bezpośrednio lub też światłem słonecznym rozproszonym w atmosferze. Przedmioty te, w zależności od swojego charakteru pochłaniają częściowo padające na nie światło, pewną natomiast jego część odbijają od swojej powierzchni. Każdy więc przedmiot charakteryzuje się określoną zdolnością pochłaniania i odbijania promieni świetlnych. Charakterystyki te są różne dla różnych obiektów terenu. Jedne z nich więcej pochłaniają światła, inne natomiast mają natomiast większą zdolność odbijania. Dla fotografii najistotniejsza jest zdolność odbijania promieni świetlnych przez obiekty terenowe, ponieważ odbite promienie trafiając do aparatu fotograficznego nasświetlają materiał światłoczuły

i powodują powstanie obrazu fotograficznego. Zdolność odbicia promieni przez obiekty wyraża się współczyn -
nikiem ρ , który równa się stosunkowi światła odbitego "F" do padającego "F₀":

$$\rho = \frac{F}{F_0}$$

Ponieważ każdy obiekt na powierzchni ziemi odbija światło słoneczne, można go wobec tego traktować jako światła o właściwej mu jasności. Ocenę jasności obiektów wyraża się często za pomocą współczynnika jasności, przez który rozumie się stosunek jasności danej powierzchni do jasności powierzchni wzorcowej przy jednakowym stopniu oświetlenia obydwu powierzchni.

Radziecki badacz W.W.Szaronow przeprowadził szereg eksperymentalnych badań zmierzających do ustalenia współczynników jasności niektórych obiektów terenu w widocznej części widma, to jest w zakresie od 450 do 750 nm. Poniższa tabelka przedstawia wielkość współczynników jasności wybranych obiektów:

Tabela 1

Współczynnik jasności obiektów

Nazwa obiektu	r
1. Łąka zielona	0,06
2. Łąka żółta /wypalona słońcem/	0,14
3. Zboże mielone	0,05
4. Zboże dojrzałe /sfot.pod kątem prostym/	0,15
5. Zboże dojrzałe /sfot.pod kątem ostrym/	0,34
6. Ściernisko	0,10
7. Las liściasty w lecie	0,05
8. Piasek żółty, suchy	0,15
9. Świeży śnieg	1,00
10. Dachy blaszane	1,15

Współczynnik jasności obiektów może być większy od jedności. Dzieje się tak dlatego, że część światła odbitego powstaje z przekształcenia energii promieniowania niewidzialnego w energię widzialną.

Z przytoczonej wyżej tablicy widać, że różne obiekty mają różny współczynnik jasności, a zatem ich jasność waha się w znacznych granicach. To z kolei warunkuje różnice fototonu obrazu różnych obiektów na zdjęciu lotniczym, co ma duże znaczenie w procesie odczytywania zdjęć.

Ale wystarczy tylko tych 10 przykładów przytoczonych w tablicy 1 aby przekonać się, że niektóre obiekty, różniące się znacznie między sobą, mają taki sam współczynnik odbicia /np. zboże zielone i las liściasty, czy zboże dojrzałe i suchy piasek/. Należy jeszcze dodać, że współczynniki jasności tego samego obiektu znacznie zmieniają się przy fotografowaniu go pod różnymi kątami. W następstwie tego zjawiska ten sam obiekt przedstawiony na dwóch sąsiednich zdjęciach lotniczych może wystąpić w różnej tonacji, szczególnie przy fotografowaniu z niedużych wysokości. Należy stąd wyciągnąć wniosek, że ton obrazu fotograficznego nie może być uznany za miarodajną i wiarygodną cechę w procesie fotointerpretacji.

Tabela 1 pozwala ponadto na wyciągnięcie wniosku, że na wielkość współczynnika jasności, a zatem i na ton obrazu fotograficznego wpływa także w sposób istotny barwa obiektu. Obiekty oświetlone białym światłem słonecznym różnie reagują na barwy składowe światła słonecznego. Jedne z nich pochłaniają lub odbijają wszystkie padające na nie promienie w jednakowym stopniu /są to tak zwane ciała szare/ inne natomiast od-

bijają bądź pochłaniają selektywnie, w zależności od długości fali /są to ciała kolorowe/. Długość odbitej fali decyduje o jego zabarwieniu, a zatem obiekt odbijający światło słoneczne nie można rozpatrywać jako źródło światła białego. Stąd należy wyprowadzić dalsze pojęcie, mianowicie jasność spektralną, czyli stosunek ilości energii świetlnej odbitej z określoną długością fali do ilości energii światła padającego na ten obiekt. Podobnie jak jasność, tak i jasność spektralną wyraża się przy pomocy współczynnika jasności spektralnej r_λ -, który równa się stosunkowi jasności spektralnej B_λ do jasności powierzchni wzorcowej B_0 :

$$r_\lambda = \frac{B_\lambda}{B_0}$$

Badając jasność spektralną różnych obiektów szaty roślinnej zawierającej w swych zielonych częściach chlorofil, należy stwierdzić silne pochłanianie promieni o długości 680 - 690 nm, tj. promieni czerwonych. Obiekty szaty roślinnej mają dwa maksima odbicia, jedno w przedziale 550 nm - odpowiadające barwie zielonej i drugie znacznie większe w niewidzialnej części widma o długości fali ponad 720 nm. Należy również nadmienić, że różnice pomiędzy poszczególnymi obiektami szaty roślinnej w obrębie widma podczerwonego są znacznie większe niż w zakresie widma widzialnego, co powoduje łatwiejsze odczytanie tych obiektów sfotografowanych na filmie uczulonym na podczerwień.

Dla celów odczytywania zdjęć lotniczych zasadnicze znaczenie ma nie tyle jasność obiektów, ile kontrast jasności między nimi. Jeżeli bowiem w terenie występują obok siebie dwa obiekty, których różnica jasności jest niewielka, to przeprowadzenie granicy

między nimi na zdjęciu lotniczym będzie utrudnione lub wręcz niemożliwe. Natomiast w wypadku sąsiadowania obiektów o zróżnicowanej jasności przeprowadzenie granicy między nimi nie natrafia na trudności.

Zawężając rozważania do upraw rolnych należy stwierdzić, że ich jasność spektralna nie jest stała i zmienia się wraz z dojrzewaniem roślin. A zatem żadnej uprawie nie można przyporządkować stałej wielkości liczbowej wyrażającej jej jasność. Z drugiej strony nawet w tym samym dniu mierzona jasność jakiejś uprawy może wykazywać duże różnice, gdyż dochodzi tu jeszcze wpływ wysokości słońca nad horyzontem, a tym samym zmiana składu spektralnego światła słonecznego, dalej stopień rozproszenia światła w atmosferze, oświetlenie przedmiotu światłem własnym atmosfery, wilgotność gleby itp.

Należy więc stwierdzić, że nie można skonstruować w oparciu o jasność spektralną uniwersalnego klucza wzorcowego przystosowanego do odczytywania upraw ze zdjęć lotniczych. Nie oznacza to jednak zupełnej niemożliwości skonstruowania poprawnego klucza, który w pewnych warunkach i z pewnym przybliżeniem może okazać się bardzo pomocny.

Ponieważ klucze fotointerpretacyjne mają zastosowanie tylko w obrębie niewielkich regionów o podobnych warunkach środowiska geograficznego, w swoich badaniach nie mogłem wykorzystać żadnego z już opracowanych i dostępnych mi kluczy, gdyż odnosiły się one do wyżynnych regionów Szwajcarii, oraz do regionów o zupełnie innych warunkach środowiskowych jakie panują w południowej części Stanów Zjednoczonych.

Badania swoje rozpocząłem od określenia najkerzyst-

niejszej pory dla wykonywania zdjęć lotniczych przeznaczonych dla celów rolnictwa, a więc od określenia takiego okresu, w którym jasność spektralna różnych upraw różni się między sobą jak najbardziej. Dla tego celu należałoby wykonywać zdjęcia z pokładu samolotu tych samych obiektów w ciągu całego okresu wegetacyjnego i poddawać je badaniom. Niestety w ten sposób nie można było przeprowadzić badań z uwagi na ogromny koszt związany z wykorzystaniem samolotu dla całego szeregu obserwacji. Określenie najkorzystniejszej pory fotografowania zostało przeprowadzone inną drogą.

Wychodząc z założenia, że każdy obiekt odbija określoną ilość światła, to w momencie wykonywania zdjęcia ta ilość światła działa na negatyw w aparacie fotograficznym. Oczywiście im jaśniejszy obiekt tym więcej odbija światła, tym silniejsze zaświetenie kliszy fotograficznej i vice versa.

Ażeby zmierzyć ilość światła odbitego przez różne uprawy w ciągu całego okresu wegetacyjnego wykonywałem z wieży triangulacyjnej zdjęcia pochylone różnych upraw. Oczywiście zdjęcia te były obarczone pewnym błędem, o którym poprzednio wspomniałem, mianowicie wskutek pochylenia osi optycznej kamery jasność fotografowanej uprawy była inna niż byłaby ona na pionowym zdjęciu lotniczym. Ale ponieważ był to błąd stały dla wszystkich obserwacji, więc nie rzutował na efekt opracowania.

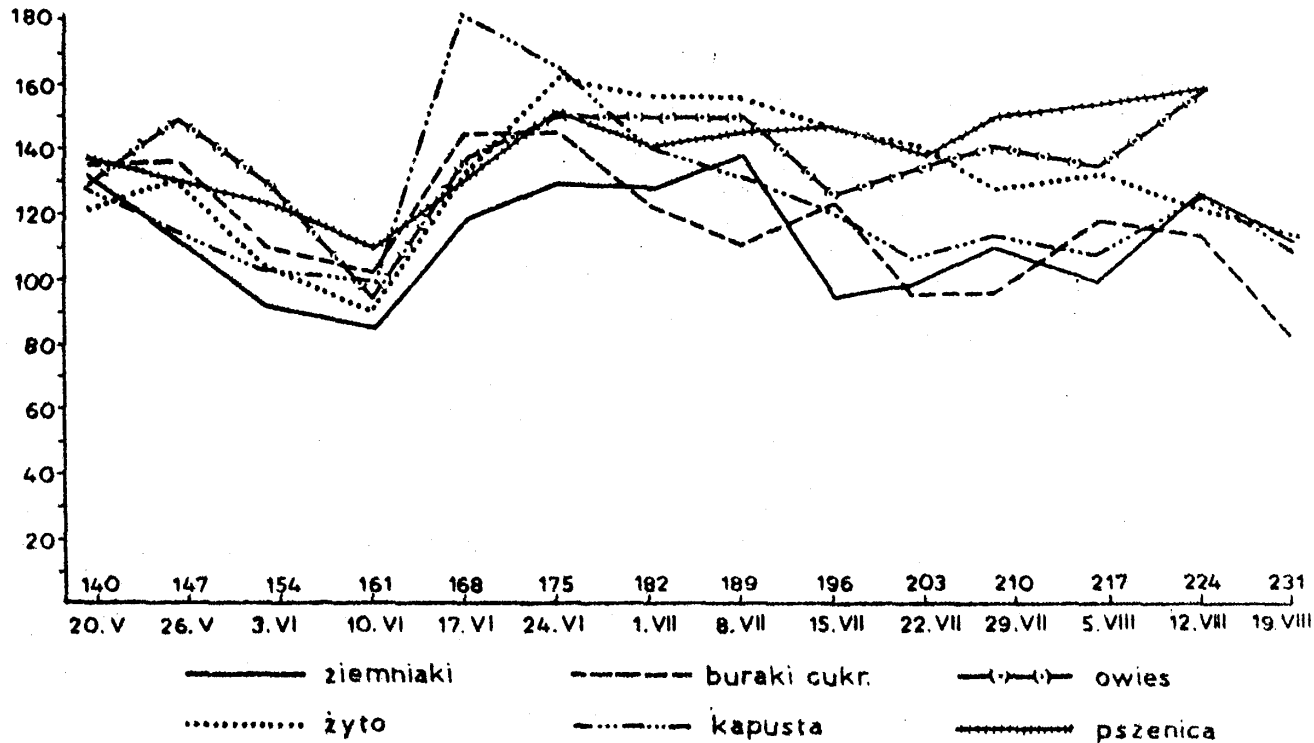
Po wykonaniu szeregu obserwacji począwszy od 140 dnia roku aż do 230, a więc prawie przez cały okres wegetacyjny, naświetlone filmy zostały poddane obróbce fotochemicznej w tych samych ściśle określonych warunkach. Następnie pomierzona została wielkość za-

czernienia negatywu. Odkładając z kolei w przyjętym układzie współrzędnych na osi odciętych dni obserwacji, natomiast na osi rzędnych wartość zaczernienia negatywu i wnosząc wartości zaczernienia dla poszczególnych upraw, otrzymujemy przez połączenie punktów krzywą, której przebieg zależy od jasności spektralnej fotografowanego obiektu.

Z rysunku wynika, że jest taki okres, kiedy krzywe zaczernienia negatywów dla poszczególnych upraw różnią się najbardziej między sobą. Ten okres maksymalnego zróżnicowania jasności spektralnej upraw dla regionu podwarszawskiego, przypada na ostatnią dekadę czerwca i pierwszą dekadę lipca. W tym okresie należy zatem wykonywać zdjęcia przeznaczone dla identyfikacji upraw. Oczywiście różnice w jasności upraw są niewielkie, nie możliwe czasem do uchwycenia gołym okiem. Stąd badania tego typu należy przeprowadzać przy pomocy specjalnego przyrządu zwanego densytometrem i bezpośrednio na negatywie zdjęcia.

Zdjęcia lotnicze wykonane w tym okresie poddaje się z kolei badaniom mikrofotometrycznym, w których uwzględnia się nie tylko jasność /bo ta zgodnie z poprzednio podanym zastrzeżeniem nie może być miarodajną/ ale i strukturę powierzchni fotografowanego przedmiotu. W rezultacie otrzymujemy szereg krzywych mikrofotometrycznych różnych dla poszczególnych upraw. Nie można jednak jeszcze określić jakie uprawy one przedstawiają. Należy więc sprawdzić wyniki kilku pomiarów w terenie i odpowiednie krzywe przypisać odpowiednim uprawom. Prace terenowe ograniczają się zatem tylko do sprawdzenia kilku krzywych w terenie.

Przy pomocy krzywych mikrofotometrycznych, które są



Rys.1. Przebieg krzywych spektralnych w zakresie widma widzialnego dla kilku upraw w ciagu okresu wegetacyjnego

wynikiem dwóch czynników demaskujących: jasności obiektu i struktury jego powierzchni, można bezbłądnie wyróżnić użytki, a z pewnym błędem i rodzaje upraw.

Jest rzeczą zrozumiałą, że najbardziej wnikliwe badania mikrofotometryczne nie dadzą w stu procentach pewnego obrazu rzeczywistego występowania upraw. Jest to niemożliwe z uwagi na cały szereg czynników, które zakłócają prawidłowy ton obrazu fotograficznego. Należy tu przede wszystkim wymienić niewielkie powierzchniowo obszary płytkiego zalegania wód gruntowych /przy większych obszarach następuje silniejsze zaczernienie całego negatywu, stąd wszystkie pomiary będą obarczone tym samym błędem, ale kontrast między nimi nie ulegnie zmniejszeniu/, oraz różnice w ilości i sposobie nawożenia.

Na obszarach o podobnych warunkach glebowych i wodnych oraz na obszarach o podobnym sposobie upraw, dokładność i wiarygodność interpretacji można znacznie zwiększyć i vice versa.

Opierając się na badaniach K.Rupperta, D.Steinerja, P.Meienberga można powiedzieć, że w oparciu o mikrofotometryczną metodę interpretacji użytków rolnych ze zdjęć lotniczych, można uzyskać dokładność około 80 % i wyróżnić 12 rodzajów upraw: pszenicę ozimą, pszenicę jary, żyto ozime, jęczmień ozimy, jęczmień jary, ziemniaki, buraki, kapustę, kukurydzę, koniecinę i roślinność łąkową. Należy również zaznaczyć, że dokładność interpretacji wzrasta wraz ze zwiększeniem skali zdjęcia lotniczego, ale tym samym zwiększa się koszt całego opracowania. Na podstawie dotychczas wykonanych prac można wnioskować, że najekonomiczniejsza skala zdjęć lotniczych przeznaczonych dla rolnictwa wynosi 1:8000.

Badania przeprowadzone w Pracowni Fotointerpretacji Uniwersytetu Warszawskiego nie są jeszcze zakończone, nie mniej dotychczasowe ich zaawansowanie wskazuje na to, że wskutek ogromnego rozdrobnienia pomiarowych dokładność i wiarygodność fotointerpretacji będzie niestety znacznie mniejsza niż się początkowo spodziewano.

Summary

The range of airphotos use at making maps of agricultural land use is fairly large and it covers such problems as segregating the kind of culture, arrangement of grounds, degree of their comminution, types of soils, changes in the way of land use etc.

After a short presentation of development of researches in this field on the world scale the author enters upon discussing the characteristics of photography and of photographed objects in the aspect of possibilities of interpretation of the latter in an airphoto. He gives brightness coefficients of some culture surfaces and explains the notion of spectral brightness of photographed objects and its influence on picture differentiation in tonal respect in the airphoto.

Next he discusses results of his researches in this field.

On the ground of researches he comes to a conclusion that in conditions of central Poland the best period of time for taking pictures for agricultural interpretation is the last decade of June and the first decade of July because it is a period of the greatest differentiation of spectral brightness of cultures for this region.

Further the photointerpretation process itself is discussed, mainly microphotometric researches which give us news as for the brightness and structure of photographed objects.

Researches led by the author in photointerpretation laboratory of Warsaw University have not been finished yet, not the less the former experiences show that great comminution of cultivable fields, which is in Poland, will in a serious way make the airphoto - interpretation of the agricultural territories difficult.