

ZASTOSOWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH W ROLNICTWIE I LEŚNICTWIE

Andrzej Ciołkosz, Maria Iracka

Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

Pola orne i lasy są tymi elementami krajobrazu, które obecnie zajmują około 89% powierzchni naszego kraju. Jednocześnie są one komponentami środowiska geograficznego, które odgrywają dominującą rolę w gospodarce człowieka. Nic też dziwnego, że pozyskiwaniu informacji o stanie szaty roślinnej poświęca się coraz większą uwagę, angażując w to najnowsze osiągnięcia myśli ludzkiej. Jedną z metod pozyskiwania takich informacji, nie najnowszą wprawdzie, ale na którą dopiero od niedawna zwrócono baczniejszą uwagę, jest interpretacja zdjęć lotniczych.

Zdjęcia lotnicze i ich interpretacja znalazły szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i gospodarki, i są z powodzeniem stosowane już od kilkudziesięciu lat. W problematyce rolnej, mimo bezspornych korzyści, jakie te obrazy wykonywane z lotu ptaka mogłyby oddać, długo nie znajdowały jednak zastosowania. Powodem tego są najprawdopodobniej duże trudności, jakie powstają w procesie fotointerpretacji, a które związane są ze zmiennością zjawisk będących obiektem zainteresowania rolnictwa.

W chwili obecnej, w wyniku rozwoju zarówno technik fotografowania, jak i metod ich interpretacji, zdjęcia lotnicze — wykonywane w różnych przedziałach spektrum — zaczęto na szeroką skalę wykorzystywać w rolnictwie. Informacje, których dostarczają w tym przypadku zdjęcia lotnicze, dotyczą: typów gleb, uwilgotnienia gruntów, ich układu i rozdrobnienia, struktury upraw i zasiewów, szacunku wielkości szkód żywiołowych wyrządzonych w uprawach, a nawet prognozowania wielkości zbiorów. Warto przy tym podkreślić, że tego rodzaju informacje otrzymuje się nie tylko ze zdjęć lotniczych, wykonanych z pokładów samolotów z wysokości rzędu kilkuset metrów lub kilku kilometrów, ale

nawet z obrazów satelitarnych, wykonywanych z reguły z wysokości kilkuset kilometrów.

W Polsce interpretacja zdjęć lotniczych nie znalazła jeszcze zastosowania w rolnictwie, mimo ciągle wzrastającego zainteresowania tą problematyką, a nawet już i zapotrzebowania na tego typu prace. W wielu ośrodkach badawczych zaczęto jednak poważniej interesować się fotointerpretacją dla potrzeb rolnictwa i leśnictwa. W niniejszym artykule chcemy zasygnalizować wyniki badań przeprowadzonych w Instytucie Geografii Uniwersytetu Warszawskiego oraz w Zakładzie Interpretacji Zdjęć Lotniczych i Satelitarnych Instytutu Geodezji i Kartografii.

ANALIZA STRUKTURY UPRAWY I ZASIEWÓW NA PODSTAWIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Zdjęcia lotnicze przeznaczone do fotointerpretacji muszą spełniać wiele warunków. Jeden z nich, szczególnie w przypadku zdjęć przeznaczonych do analizy struktury upraw i zasiewów, jest wyjątkowo ważny, mianowicie — odpowiedni dobór okresu fotografowania.

Uprawy rolne są obiektami, które zmieniają swój wygląd w sposób ciągły w okresie całego sezonu wegetacyjnego. Stąd też fotografowanie ich dla celów badania struktury użytkowania ziemi wymaga ustalenia okresu, w którym to różnią się one maksymalnie między sobą. W przypadku badań przeprowadzonych w Instytucie Geografii UW ustalenie okresu największego zróżnicowania jasności poszczególnych upraw zostało dokonane na drodze pomiaru gęstości optycznych negatywów fotograficznych zdjęć skośnych, wykonywanych z wieży triangulacyjnej w ciągu całego okresu wegetacyjnego.

W regionie położonym na południe od Warszawy maksymalne zróżnicowanie kolorytu upraw, a zatem i najkorzystniejszy okres dla wykonywania zdjęć lotniczych, przeznaczonych do analizy struktury upraw i zasiewów, przypada na trzy tygodnie przed rozpoczęciem żniw, a więc na przełom czerwca i lipca.

Po ustaleniu najkorzystniejszej pory fotografowania wykonano panchromatyczne zdjęcia lotnicze w skali 1 : 5000, obejmujące obszar dwóch wsi i jednego państwowego gospodarstwa rolnego. Przed przystąpieniem do prac interpretacyjnych określono właściwości kartometryczne otrzymanych zdjęć lotniczych przez porównanie wielkości powierzchni działek własnościowych, pomierzonych na zdjęciu, z wynikami pomiarów geodezyjnych, przeprowadzonych bezpośrednio w terenie. Niemal zupełnie płaska powierzchnia fotografowanego terenu i prawie pionowe zdjęcia lotnicze wpłynęły na fakt, że pomiary na zdjęciach nie różniły się od pomiarów bezpośrednich więcej niż o $\pm 1\%$ wielkości badanej powierzchni.

Uznano więc całkowitą przydatność stykowych odbitek zdjęć lotniczych do pomiaru wielkości powierzchni upraw i użytków.

Badania fotointerpretacyjne rozpoczęto od stworzenia klucza wzorcowego. W tym celu uczytelniono w terenie jedno zdjęcie wykonane podczas tego samego nalotu z terenu przylegającego bezpośrednio do badanego obszaru. Następnie dla każdej uprawy odfotografowanej na tym zdjęciu wykonano, przy użyciu mikrofotometru samorejestrującego, krzywą mikrofotometryczną. Z kolei pozostałe zdjęcia poddano badaniom mikrofotometrycznym. Otrzymane krzywe porównano z krzywymi przyjętymi za wzorcowe. W przypadku podobieństwa krzywych daną uprawę uznawano za rozpoznaną, w przeciwnym przypadku — za nie rozpoznaną. Wyniki interpretacji zostały następnie dwukrotnie sprawdzone: raz z wynikami kartowania terenowego, drugi raz z wynikami czerwcowego spisu rolnego. W rezultacie otrzymano stopień rozpoznania danego typu uprawy. Stopień ten przedstawia poniższe zestawienie.

Uprawa	Stopień rozpoznania
Żyto	90,54%
Pszenica	85,24%
Owies	91,57%
Jęczmień	80,21%
Buraki cukrowe	88,74%
Ziemniaki	65,12%
Wyka	85,00%
Koniczyna	99,72%

Z zestawienia wynika, że stopień rozpoznania jest różny dla różnych upraw i waha się w szerokim zakresie, od niemal 100% w przypadku koniczyny aż do 65% w przypadku ziemniaków. Na ten stan wpływają dwa zasadnicze czynniki: stopień rozdrobnienia działek uprawnych oraz faza fenologiczna, w której dane uprawy znajdują się. Mozaika drobnych pól uprawnych na badanym obszarze wpłynęła na niski stopień dokładności opracowania. Na obniżenie tego stopnia wpłynęła również niejednakowa faza fenologiczna upraw tego samego gatunku. Jest to szczególnie wyraźnie widoczne w przypadku pól ziemniaczanych. Na badanym obszarze wystąpiły bowiem różne odmiany ziemniaków: od gatunków bardzo wczesnych aż do późnojesiennych. Stąd też w okresie wykonywania zdjęć lotniczych obraz pól ziemniaczanych był bardzo urozmaicony: od nagiej ziemi pozostałej po wykopaniu wczesnych gatunków, poprzez na wpół uschniętą nać ziemniaków właśnie wykopywanych, aż do zwartego, zielonego kobierca gatunków późnojesiennych. Ta mozaika fototonów i struktur obrazów wpłynęła negatywnie na proces fotointerpretacji mikrofotometrycznej, znacznie zmniejszając jej dokładność.

Nieco większą dokładność uzyskano przy interpretacji jęczmienia. Jęczmień, podobnie jak owies, na panchromatycznych zdjęciach lotniczych jest znacznie ciemniejszy niż żyto i pszenica. Stąd też, wydawałoby się, wydzielenie obu tych upraw nie powinno sprawiać większych trudności. Jednak niewielkie powierzchniowo pola z tymi uprawami nie pozwoliły na uzyskanie wystarczających dla interpretacji mikrofotogramów. Bardzo często jęczmień utożsamiano z pszenicą jarą, która na zdjęciu ma ton bardzo zbliżony do fototonu jęczmienia, znacznie ciemniejszy od fototonu pszenicy ozimej. Pola z owsem są w zasadzie dobrze czytelne, gdyż owies jest zbożem o najciemniejszym fototonie. Należy podkreślić, że na zdjęciach lotniczych bardzo wyraźnie widać partie zbóż powalonych przez deszcze lub wiatry. Jest to szczególnie dobrze widoczne na polach owsa, gdyż wówczas tworzy się kędzierzawa struktura, ostro kontrastująca z jednolitą strukturą zboża nie powalonego. Profilowanie mikrofotometryczne przez te właśnie miejsca powoduje zaburzenia w przebiegu krzywej, co sprawia, że jest ona prawie nieczytelna.

Żyto na panchromatycznym zdjęciu lotniczym wychodzi w tonie zupełnie jasnym. Mikrofotogramy pól żytnich wykazały pewne zróżnicowanie w przebiegu fal. Fakt ten wynika z niejednakowej gęstości zasiewu, powodującej występowanie plamistej struktury obrazu fotograficznego uprawy. Nie bez wpływu pozostaje również nierównomierny wzrost żyta w poszczególnych częściach pola, wynikający z różnic glebowych i nawożenia.

Pszenica na zdjęciu panchromatycznym ma ton nieco ciemniejszy od fototonu żyta. Stosunkowo niewielki procent rozpoznawania pól pszenicy wynika z występowania na badanym obszarze różnych odmian pszenicy, charakteryzujących się różnym zabarwieniem.

Buraki cukrowe na zdjęciach lotniczych strukturą swego obrazu przypominają strukturę pól ziemniaczanych. Ich fototon jest jednak nieco jaśniejszy niż fototon ziemniaków późnojesiennych. Pól buraczanych rozpoznano również niewiele, głównie z powodu bardzo wąskich działek uprawnych, dających zbyt krótkie mikrofotogramy.

Kapusta stanowi dość pokaźny procent upraw w badanym rejonie, który z racji położenia w pobliżu Warszawy jest nastawiony na produkcję warzyw. Na zdjęciach lotniczych w skali 1:5000 pola z kapustą można rozpoznać gołym okiem, bez potrzeby uciekania się do badań mikrofotometrycznych, dzięki charakterystycznej pasmowej strukturze obrazu, co bardzo dobrze jest widoczne również na mikrofotogramie,

Najdoskonalszą okazała się metoda mikrofotometryczna w badaniach koniczyny. Wszystkie pola koniczyny, niekiedy nawet niewielkich rozmiarów, zostały bezbłędnie rozpoznane. Trzeba jednak podkreślić, że

dzięki bardzo ciemnemu fotonowi koniczynę można rozpoznać bezpośrednio na zdjęciach również ze 100% dokładnością.

Inne zagadnienie stanowi problem rozpoznawania na zdjęciach lotniczych łąk i pastwisk. Na zdjęciach panchromatycznych można z dość dużym prawdopodobieństwem odczytać je bez używania mikrofotometru. Łąki charakteryzują się powierzchnią amorficzną, co przy niewielkim natężeniu strumienia świetlnego w mikrofotometrze daje łagodny mikrofotogram o niewielkiej amplitudzie fali. Gęstość optyczna negatywu łąk jest zależna od gatunku trawy i od stopnia nawilgocenia gleby.

Pastwiska odznaczają się jaśniejszym fototonem niż łąki, a dzięki charakterystycznej strukturze obrazu, jak również położeniu topograficznemu, są dobrze rozpoznawalne gołym okiem na wielkoskalowych zdjęciach lotniczych. Mikrofotogramy pastwisk są różne, zależnie od przebiegu linii profilowania. Na zmienność ich przebiegu wpływa szereg czynników, spośród których wymienić należy ton trawy wyjeźdzonej przez bydło i trawy odrastającej, występowanie wydeptanych ścieżek, kretowisk itp. Te czynniki czynią mikrofotogramy nieporównywalnymi i wydaje się, że pastwiska nie powinny być interpretowane drogą mikrofotometryczną. Łatwiej bowiem rozpoznaje się je stosując tradycyjne metody rozpoznawcze.

Reasumując powyższe rozważania należy stwierdzić, że metoda mikrofotometrycznej analizy zdjęć lotniczych jest metodą, która w odpowiednich warunkach może oddać duże usługi w analizie struktury upraw i zasiewów. W omawianym regionie metoda ta nie zdała praktycznego egzaminu, gdyż jej średnie wyniki dość znacznie odbiegają od wyników spisu rolnego, jak i od kartowania terenowego. Nie można jednak negować wartości tej metody w przypadku stosowania jej w innych regionach, charakteryzujących się mniejszym rozdrobnieniem pól uprawnych, jak również w obszarach o mniejszym zróżnicowaniu upraw, a więc na terenach położonych z dala od dużych miast.

Interpretacja mikrofotometryczna zdjęć panchromatycznych jest metodą pracochłonną i nie w pełni wiarygodną, i obecnie w krajach Europy Zachodniej oraz w Stanach Zjednoczonych zarzucaną na korzyść doskonalszej, pewniejszej i szybszej ekwitalnej analizy zdjęć wielospektralnych.

WYKORZYSTANIE SPEKTROSTREFOWYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH DO BADAŃ STOPNIA USZKODZENIA DRZEWOSTANÓW SOSNOWYCH

Powierzchnie leśne zobrazowane na zdjęciach lotniczych można stosunkowo łatwo odróżnić od innych formacji roślinnych, gdyż obraz ich charakteryzuje się specyficzną strukturą i określonym tonem. Ta struk-

tura jak również ton nie są cechami stałymi i zmieniają się zależnie od składu gatunkowego drzewostanu, jego wieku, stopnia zwartości, oświetlenia itp. Mimo tej zmienności, która nieco komplikuje proces interpretacji lasów na podstawie ich obrazu fotograficznego, zdjęcia lotnicze znalazły zastosowanie w leśnictwie, przede wszystkim przy sporządzaniu map drzewostanowych, jak i przy pracach urzędniowych prowadzonych w lasach. Dla tych celów często wykorzystuje się specjalne metody interpretacji, które pozwalają zestawić wzorcowe klucze fotointerpretacyjne dla poszczególnych drzewostanów, charakteryzujących się określonym składem gatunkowym, wiekiem, zwartością itp., i za ich pomocą co kilka lat uzupełniać istniejące mapy aktualnymi informacjami.

Szersze możliwości zastosowania zdjęć lotniczych w leśnictwie stwarza fotografia spektrostrefowa. Ułatwia ona z jednej strony interpretację obrazów poszczególnych gatunków drzew, z drugiej zaś zezwala na rozpoznawanie stopnia oraz zasięgu uszkodzeń drzewostanów.

Istota fotografii spektrostrefowej sprowadza się do fotografowania badanych obiektów na filmie, którego warstwy światłoczułej emulsji uczulone są na różne zakresy promieniowania widzialnego oraz na bliską podczerwień. Filmy uczulone na podczerwony zakres promieniowania elektromagnetycznego rejestrują uszkodzenia drzewostanów niewidoczne nawet dla ludzkiego oka. Jest to możliwe dzięki temu, że na podczerwień przypada maksimum odbicia promieniowania przez roślinność. To znaczne zwiększenie odbicia promieniowania w podczerwieni przypisuje się obecności chlorofilu. W miarę spadku zawartości chlorofilu spada wielkość odbicia promieniowania, co wywołuje określone, zauważalne zmiany w emulsji filmu spektrostrefowego. Spadek zawartości chlorofilu w roślinie jest związany z chorobą rośliny. Tak więc pierwsze objawy choroby rośliny są niezauważalne w widmie widzialnym, natomiast bez większego trudu obserwuje się na zdjęciu wykonanym w podczerwieni. Oczywiście wymaga to odpowiedniego przetworzenia sygnałów otrzymywanych w tym zakresie spektrum na obraz widzialny.

Zmiany obrazu drzewostanów, wynikające z utraty chlorofilu, są możliwe do rejestrowania również i na czarno-białym filmie uczulonym na podczerwień. Jednak prawidłowe odczytanie tych zmian nie zawsze jest możliwe. Na tym bowiem filmie informacja dotycząca zmiany zawartości chlorofilu w roślinach zaznaczy się tylko zmianą tonu szarości i zgubi się wśród wielu innych informacji, jakich dostarcza bardzo złożony pod względem struktur i tonów obraz lasu. Wśród tej mozaiki struktur i tonów, na które wpływają takie czynniki, jak skład gatunkowy, wiek i zwarcie drzewostanu, a także kształt koron oraz kąt padania promieni słonecznych, zmiana tonu obrazu spowodowana uszkodzeniem drzew będzie praktycznie niemożliwa do odczytania, chyba

że wystąpi na znacznym obszarze i objawi się jako zjawisko powierzchniowe.

Warto podkreślić, że wskutek znacznej różnicy w odbiciu promieniowania podczerwonego przez drzewa iglaste i liściaste na czarno-białym filmie uczulonym na ten zakres promieniowania bardzo wyraźnie różnicują się obrazy tych drzew, co znacznie ułatwia wydzielenie gatunków liściastych od iglastych. Na filmie panchromatycznym, najpowszechniej w chwili obecnej stosowanym nie tylko w leśnictwie, takie wydzielenie nie zawsze jest możliwe i pewne.

Film spektrostrefowy składa się najczęściej z trzech warstw emulsji, z których jedna jest uczulona na promieniowanie podczerwone, a jednocześnie do każdej z nich jest wprowadzony inny barwnik, przez co zwiększa się zróżnicowanie barwne obiektów o zbliżonej jasności. Obraz terenu na lotniczych zdjęciach spektrostrefowych ma zabarwienie nierzeczywiste, co w pierwszej chwili sprawia wrażenie znacznego utrudnienia procesu fotointerpretacji. Wrażenie to jest tylko pozorne, gdyż okazuje się, że przy pewnym doświadczeniu ze zdjęć spektrostrefowych można wydobyć znacznie więcej informacji niż ze zdjęć wykonanych w technikach czarno-białych, a także ze zdjęć barwnych o barwach naturalnych.

Występujące na zdjęciach spektrostrefowych zróżnicowanie barwne obiektów oraz zmienność odcieni w zakresie poszczególnych barw niosą znacznie więcej informacji dotyczących lasów niż ma to miejsce w przypadku zmienności tonów szarych na zdjęciach czarno-białych. Zdjęcia spektrostrefowe umożliwiają zatem nie tylko rozróżnienie drzew iglastych i liściastych, lecz także identyfikowanie poszczególnych gatunków. Ponadto uczulenie jednej z warstw filmu na podczerwień powoduje zmienność natężenia barwy charakterystycznej dla danego gatunku w przypadku choroby drzewa, aż do całkowitej zmiany barwy w przypadku drzew martwych.

W Polsce po raz pierwszy zdjęcia spektrostrefowe do badań lasów zastosowano w Instytucie Geodezji i Kartografii, gdzie w Zakładzie Interpretacji Zdjęć Lotniczych i Satelitarnych opracowano metodę określania stopnia i zasięgu uszkodzeń drzewostanów, znajdujących się pod wpływem szkodliwych emisji przemysłowych. Jako rejon badań wybrano lasy otaczające obszar budowy Huty Katowice. Zdjęcia tych lasów wykonano na trójwarstwowym filmie spektrostrefowym Kodak Aerochrome IR. Na tym filmie zdrowa roślinność liściasta jest oddana w barwach ciepłych o różnych odcieniach. Obraz zdrowych drzewostanów sosnowych ma natomiast barwę ciemnozieloną, z lekkim nalotem purpury. Inne gatunki iglaste (świerk, modrzew) mają barwę znacznie jaśniejszą od sosny, ze zwiększonym udziałem purpury.

Zastosowanie fotointerpretacji do oceny uszkodzeń drzewostanów wymaga uprzedniego opracowania klucza interpretacyjnego dla danego filmu. Klucz taki został opracowany dla drzewostanów sosnowych, gdyż one dominowały na obszarze prowadzonych badań. Konfrontując zdjęcia drzewostanów, na których była widoczna zmienność natężenia barwy charakterystycznej dla sosny, z rzeczywistym stanem zdrowotnym tych drzewostanów stwierdzono prawidłowość w zmianie odcienia barwy w miarę nasilania się uszkodzeń. Opisowe określenie klucza można zatem wyrazić następująco: zwarte, zdrowe drzewostany sosnowe mają barwę ciemnozieloną z lekkim odcieniem purpury. W miarę nasilania się uszkodzeń zanika zabarwienie purpurowe i następuje rozjaśnienie barwy zielonej aż do jaskrawo zielonej w przypadku obumarłych drzew lub ich części.

Posługując się opracowanym kluczem wyróżniono cztery stopnie nasilenia uszkodzeń, podobnie jak w przypadku przyjętej klasyfikacji dokonywanej metodą bezpośrednią. Określoną kluczem strefę 0, czyli wolną od uszkodzeń charakteryzuje kolor ciemnozielony z nalotem purpury, strefę I — słabych uszkodzeń — obrazuje kolor ciemnozielony bez różowego nalotu, dla strefy II — średnich uszkodzeń — charakterystyczny jest rozjaśniony kolor zielony i wreszcie dla strefy III — silnych uszkodzeń — kolor jasnej, jaskrawej zieleni. Należy tu zaznaczyć, że do momentu wystąpienia martwicy poszczególnych drzew lub ich części, stopień uszkodzenia można na zdjęciu uchwycić tylko jako zjawisko powierzchniowe, objawiające się określonym zabarwieniem pewnej powierzchni. Nie daje się natomiast jednoznacznie uchwycić stopnia uszkodzenia w przypadku pojedynczych drzew. Wydzielanie poszczególnych stref uszkodzeń jest do pewnego stopnia subiektywne, co przy wizualnej metodzie oceny jest zrozumiałe, gdyż granice między tego rodzaju zjawiskami są zbyt subtelne i prawie nie występują tak ostro, aby mogły być jednoznacznie określone.

A. Циолкош, М. Ирацка

ПРИМЕНЕНИЕ АВИАСЪЁМКИ В СЕЛЬСКОМ И ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Резюме

Авиасъёмка имеет в Польше сравнительно небольшую традицию. Независимо от несомненной пользы, которую можно получить с ее помощью, не находит она до сих пор широкого применения. Опыты в этой области проводят отдельные научные центры.

В статье оговорено результаты применения микрофотометрического анализа структуры посевных площадей на основе панхроматических авиасъёмок (1 : 5000). Исследованиями охвачено небольшой район. Полученные результаты сравнено с результатами сельскохозяйственной переписи, а также подробным картированием территории.

Чрезмерное пестрополье повлияло на сравнительно низкую степень распознавания. Однако доказано, что метод микрофотометрического анализа можно применять для анализа структуры посевов. Кроме того оговорено результаты применения цветного фильма с сенсibiliзацией на инфракрасные лучи для определения повреждения растительности. В исследованиях применялась пленка Кодак аэрохром ИР, для которой установлен стандарт к сосновому древостою. С помощью стандарта определено зоны без повреждений и с повреждениями.

A. Ciołkosz, M. Iracka

THE USE OF AIR PHOTOGRAPHY FOR AGRICULTURAL AND FORESTRY PURPOSES

Summary

An interpretation of air photography has not very long tradition in Poland. Despite of the true advantages which could be obtained in various branches of science and economy it is not spread enough. Nevertheless, some attempts to use the interpretation of air photography as a research method are being undertaken at various research centres.

The results of microphotometric analysis of crops and sowing structure obtained on the basis of panchromatic air photographs in the scale of 1 : 5000 were discussed in the paper. The trials were carried out in the small area of agricultural land, southwards from Warsaw. The results obtained by photographs interpretation have been compared with the results of official farm stock-taking and with the detailed field charting. Because of small area of particular fields at high crops differentiation the level of recognition appeared rather low. It has been proved, however, that the microphotometric analysis of air photographs may be successfully used to analyse structure of crops in some regions of the country.

Moreover, the results, obtained by use of infra-red radiation sensitive colour film to find out the deterioration in stands of trees, were presented. For Kodak Aerochrome IR film used in the investigation, a key of photo-interpretation was stated, with regard to the pine-standings. By means of this key the zones free from deterioration were identified as well as the zones of three different deterioration stages in the pine forests surrounding the area of Katowice Stellworks.