

FOTOINTERPRETACJA W GEOGRAFII 23



WARSZAWA 1993



JAN R. OLĘDZKI*

BADANIA ZRÓŻNICOWANIA WŁASNOŚCI OPTYCZNO-SPEKTRALNYCH ŚRODOWISKA GEOGRAFICZNEGO

STUDIES ON DIFFERENTIATION OF OPTICAL SPECTRAL PROPERTIES
OF GEOGRAPHIC ENVIRONMENT

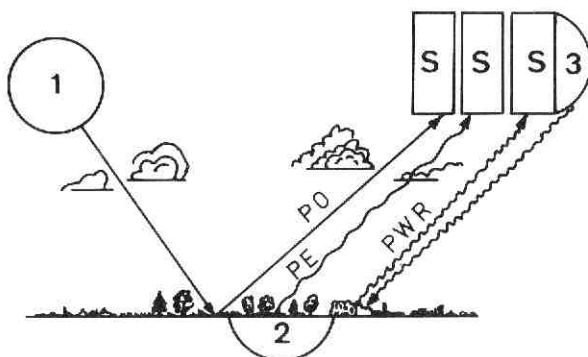
WSTĘP

Badanie zróżnicowania własności fotometrycznych i radiometrycznych środowiska jest jednym z podstawowych celów teledetekcji. Poznanie przyczyn i istoty tego zróżnicowania umożliwia z kolei wnioskowanie zarówno o całym środowisku jak i o jego elementach.

Prostym modelem ilustrującym funkcjonowanie zasady badania własności radiometrycznych, w tym i optyczno-spektralnych, geosśrodowiska jest ryc. 1. Z rysunku tego wynika, że źródłami danych o własnościach optycznych jak i mówiąc ogólniej, własnościach elektromagnetycznych środowiska są źródła promieniowania elektromagnetycznego. Są nimi źródła naturalne takie jak Słońce i Ziemia oraz źródła sztuczne — urządzenia emitujące fale elektromagnetyczne.

Największym i najważniejszym z punktu widzenia teledetekcji, źródłem

* Dr hab. Jan R. Olędzki, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Pracownia Fotointerpretacji Geograficznej, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa

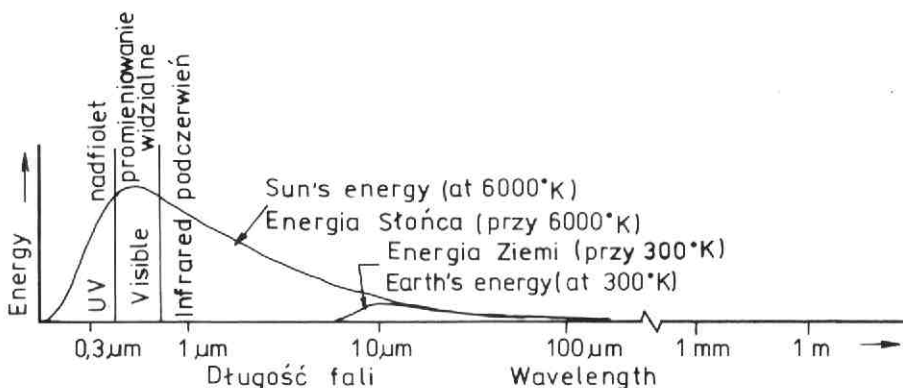


Ryc. 1. System teledetekcji. 1, 2, 3 — źródła promieniowania, PO — promieniowanie odbite, PE — promieniowanie emitowane, PWR — promieniowanie wsteczne rozproszone, S — detektory promieniowania (według Curran, 1985)

Fig. 1. A remote sensing system. 1, 2, 3 — The source of electromagnetic radiation, PO — Reflected radiation, PE — Emitted radiation, PWR — Backscattered radiation, S — sensors. From Curran (1985)

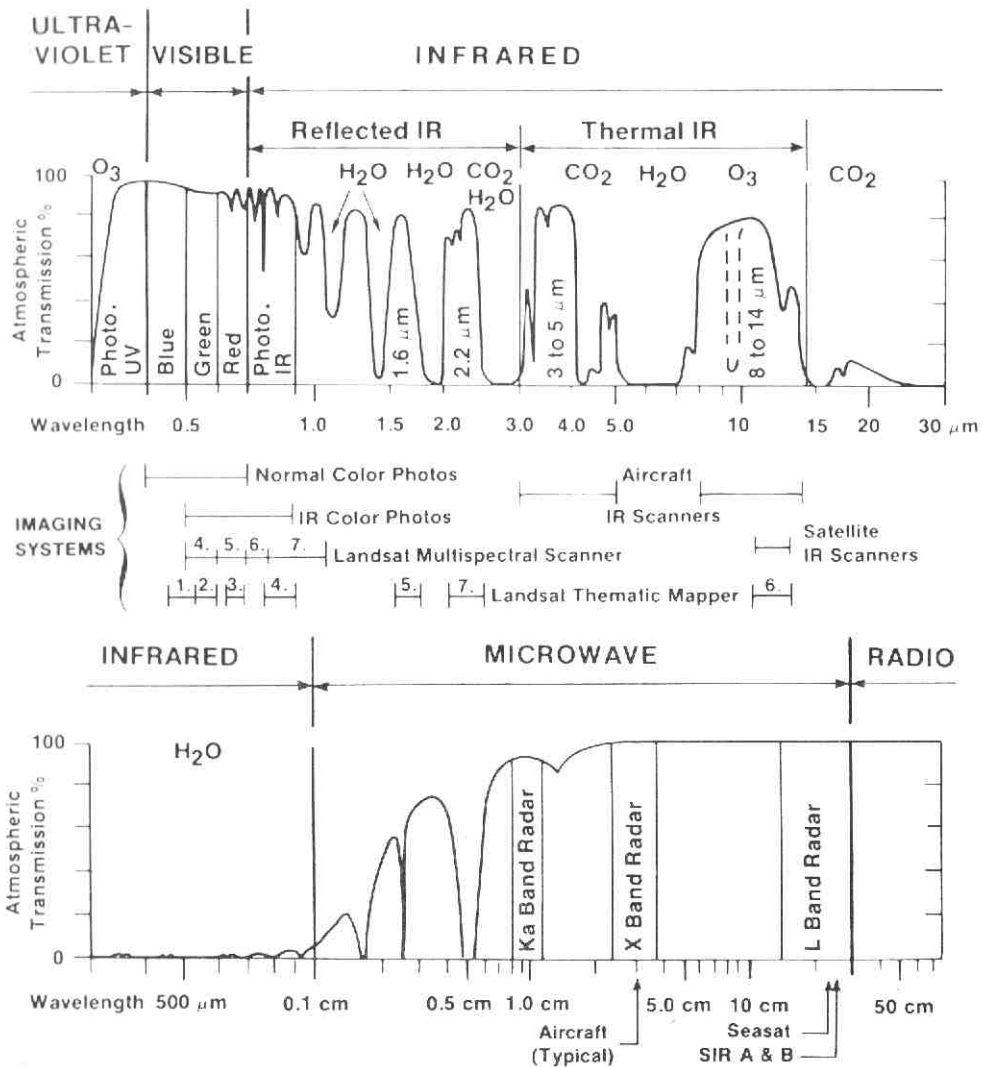
fal elektromagnetycznych jest Słońce. Emituje ono bardzo duży zakres promieniowania elektromagnetycznego, od promieniowania rentgenowskiego, poprzez promieniowanie pozafioletowe, widzialne, podczerwone do fal radiowych. Większość wypromieniowywanej przez Słońce energii, przy temperaturze 6000°K , przypada na widzialny zakres widma. Ono stanowi o istnieniu życia na Ziemi. Ryc. 2, pokazuje zakresy promieniowania Słońca i Ziemi. W porównaniu ze Słońcem, promieniowanie Ziemi jest znikome. Powodem jest znacznie niższa temperatura Ziemi. Przy 300°K Ziemia emituje głównie promieniowanie podczerwone.

Sztuczne źródła promieniowania, aczkolwiek mogą obejmować zakres



Ryc. 2. Charakterystyki spektralne źródeł promieniowania. Dla współrzędnej długości fali zastosowano skalę logarytmiczną (według Lillesand, Kiefer, 1987)

Fig. 2. Spectral characteristics of energy source. Note that wavelength scale is logarithmic. From Lillesand, Kiefer (1987)



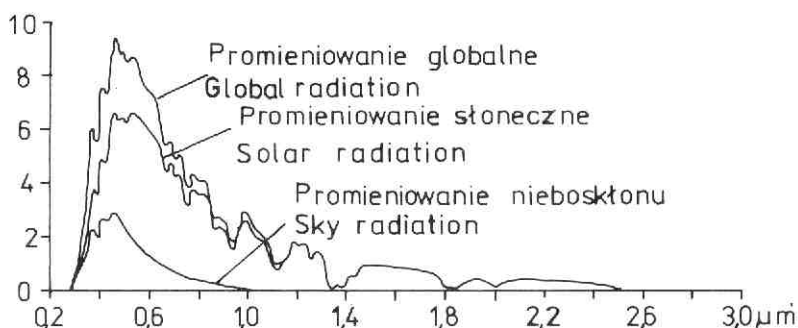
Ryc. 3. Kompleksowy diagram ukazujący poszczególne zakresy widma elektromagnetycznego, od zakresu widzialnego w górnej części rysunku po mikrofałe i fale radiowe w dolnej części. Na wykresach ukazano również okna atmosferyczne ze wskazaniem głównych czynników pochłaniających promieniowanie. Środkowa część diagramu pokazuje poszczególne zakresy widma wykorzystywane przez różne techniki i systemy rejestracji danych (według: Sabins, 1987)

Fig. 3. Expanded diagrams of the visible and infrared regions (upper) and the microwave region (lower) showing atmospheric windows. Wavelength bands of commonly used remote sensing systems are indicated. Gases responsible for atmospheric absorption are shown. From Sabins (1987)

widzialny promieniowania elektromagnetycznego, ograniczają się głównie do promieniowania mikrofalowego i są stosowane w znanych z wielu zastosowań radarach.

Promieniowanie słoneczne zanim dotrze do powierzchni Ziemi musi przejść przez atmosferę, która w znacznym stopniu modyfikuje je, silnie

rozpraszając, częściowo pochłaniając i odbijając, w zależności od długości fali. Ilość energii jaka w końcu dociera do powierzchni Ziemi jest znacznie ograniczona. Dociera ona poprzez okna atmosferyczne. Ryc. 3 przedstawia zarówno charakterystykę liczbową poszczególnych zakresów promieniowania, jak również pozwala spojrzeć na strukturę widma elektromagnetycznego pod kątem możliwości jego rejestracji przez poszczególne systemy teledetekcyjne. Atmosfera rozpraszając promieniowanie słoneczne sama staje się pośrednim źródłem promieniowania, oświetlając powierzchnię Ziemi promieniowaniem rozproszonym, ryc. 4.

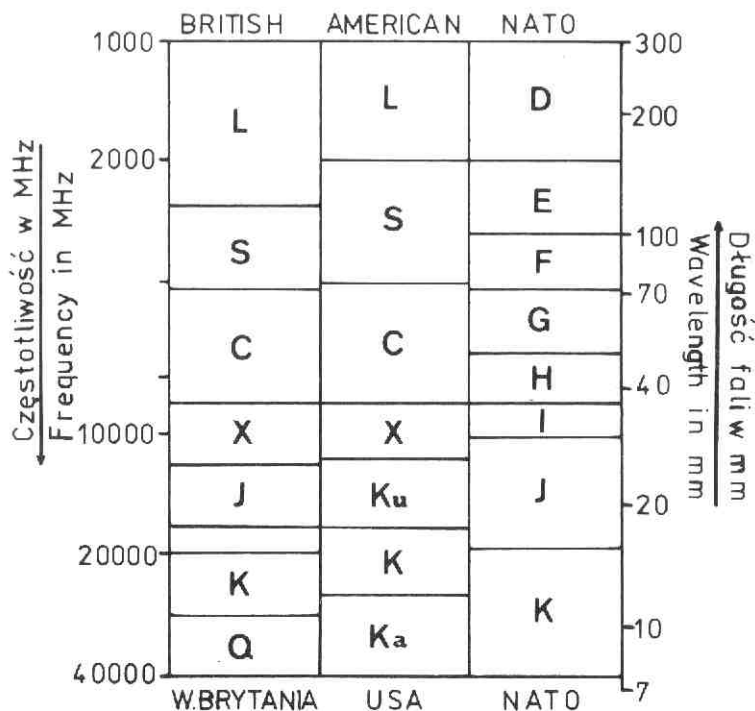


Rac. 4. Względny rozkład spektralny energii na poziomie morza (według: Albertz, Kreiling, 1975)
 Fig. 4. Relative spectral energy distribution at sea level. From Albertz, Kreiling (1975)

Współczesne urządzenia teledetekcyjne pozwalają w zasadzie na rejestrację wszelkich zakresów promieniowania elektromagnetycznego. Jednak w badaniach środowiska geograficznego wykorzystuje się tylko niektóre z nich. Ograniczenie to wynika z faktu nieprzepuszczania przez atmosferę, niektórych zakresów fal elektromagnetycznych. I tak, przez atmosferę nie przenika promieniowanie gamma, rentgenowskie i nadfioletowe o falach krótszych niż $0,3 \mu\text{m}$. Promieniowanie w zakresie $0,3\text{--}0,4 \mu\text{m}$, choć silnie rozpraszane może być rejestrowane na filmach i przez fotodetektory. Kolejny zakres widma elektromagnetycznego, najbardziej nas interesujący, obejmuje zakres widzialny o długości fali od $0,4$ do $0,7 \mu\text{m}$. Rejestrowane ono jest zarówno na filmach fotograficznych jak i przez fotodetektory. Następnym przedziałem, również bardzo ważnym w teledetekcji geosrodowiska, jest promieniowanie podczerwone, o długości fal od $0,7 \mu\text{m}$ do $100 \mu\text{m}$. Dzieli się ono na kilka zakresów, wśród których występują strefy pochłaniania tego promieniowania, głównie przez parę wodną, dwutlenek węgla, a także ozon oraz strefy jego przepuszczania, tak zwane okna atmosferyczne. Najkrótsze fale podczerwone od $0,7$ do $3,0 \mu\text{m}$ zwane promieniowaniem podczerwonym odbitym (słonecznym) nie przekazują nam informacji o właściwościach termalnych obiektów. Jego fragment o większej częstotliwości, krótszych falach — do $0,9 \mu\text{m}$, może być rejestrowany fotograficznie. Stąd też często jest nazy-

wany podczerwienią fotograficzną i jest wykorzystywany w analizach środowiska łącznie z promieniowaniem widzialnym. Dwa główne okna atmosferyczne, w których rejestrowane są dane o własnościach termalnych środowiska to zakresy od 3 do 5 μm i od 8 do 14 μm . Do rejestracji tego promieniowania służą skanery optyczno-mechaniczne, urządzenia elektroniczne, lub specjalne systemy widikonowe, tak zwane kamery termowizyjne.

Kolejny zakres widma od 0,1 do 30 cm to mikrofałe. Mikrofałe o większych wartościach długości charakteryzują się zdolnością do penetracji chmur, mgieł i deszczów. Obrazy mogą być uzyskiwane zarówno w systemie pasywnym jak i aktywnym. Aktywna forma teledetekcji mikrofalowej to systemy radarowe. W teledetekcji wyróżnia się kilka pasm tego rodzaju promieniowania, nieco różnie dzielonych w różnych krajach, ryc. 5. Jest to obecnie najbardziej rozwijany system rejestracji teledetekcyjnej, z którym wiąże się duże nadzieje wynikające z oferowanej przez ten system ciągłości obserwacji, niezależnie od pory dnia i warunków pogodowych.



Ryc. 5. Nazwy poszczególnych zakresów promieniowania radarowego (według: Curran, 1985)
 Fig. 5. Radar waveband designations. From Curran (1985)

Wreszcie ostatni przedział widma elektromagnetycznego, którym interesuje się teledetekcja to fale o długości powyżej 30 cm. W zakresie tym pracują również niektóre systemy radarowe.

Dzięki zróżnicowaniu odbijania i emitowania energii elektromagnetycznej przez poszczególne obiekty możemy wnioskować o ich jakości i rozpoznawać ich istotę.

W teledetekcji środowiska można wyróżnić zarówno jakościową interpretację energii odbijanej, rozpraszanej i pochłanianej przez różnego rodzaju powierzchnie terenu i obiekty na nim występujące jak i badania ilościowe. Z pierwszym przypadkiem mamy najczęściej do czynienia przy każdym odczytaniu — interpretacji obrazów lotniczych, i satelitarnych.

Badania ilościowe polegają na precyzyjnym określeniu, za pomocą przyrządów pomiarowych, ilości energii elektromagnetycznej pochłanianej, rozpraszanej i odbijanej przez poszczególne obiekty przyrodnicze. Poza celem poznawczym, badania te służyły i nadal służą również celom praktycznym. Wiązało się to z doбором odpowiednich parametrów technicznych dla konstrukcji odpowiednich filmów fotograficznych, na których możnaby osiągnąć jak największe kontrasty obrazów, zwłaszcza dla obiektów o zbliżonych charakterystykach optycznych, o zbliżonym wyglądzie. Innym celem, również praktycznym, było wskazanie takich okresów w ciągu roku, w których charakterystyki optyczne obiektów, z punktu widzenia stosowanych filmów, różnią się w jak największym stopniu. Badania te miały zapewnić uzyskanie obrazów o możliwie dużym ich zróżnicowaniu, co niewątpliwie przyczynia się do podniesienia jakości ich interpretacji. Wreszcie w okresie poprzedzającym intensywny rozwój teledetekcji satelitarnej, badania te miały wskazać przedziały widma elektromagnetycznego, które w systemach skanerów wielospektralnych typu MSS i TM oraz innych dawały największe zróżnicowanie optyczne obrazowanych obiektów lub powierzchni terenu. Szczegółowe badanie charakterystyk optycznych i radiometrycznych umożliwia również śledzenie stanu środowiska, a odwołanie się do przetworzeń cyfrowych, opartych na znajomości odpowiedzi spektralnych poszczególnych obiektów, umożliwia na przykład generowanie obrazów w barwach naturalnych, nawet wówczas gdy brak jest jednego z wyciągów w barwach podstawowych.

PODSTAWOWE POJĘCIA FOTOMETRYCZNE

Dział teledetekcji zajmujący się badaniem własności optycznych, a mówiąc ogólniej badaniem interakcji między powierzchnią terenu a promieniowaniem elektromagnetycznym bazuje na podstawach teoretycznych i doświadczeniach jednego z działów fizyki, a mianowicie optyki, a zwłaszcza fotometrii. Fotometria zajmuje się ilościowym opisem światła jako procesu przenoszenia energii. Wielkości fizyczne wprowadzane w tym celu, to znacząco stanowiące język fotometrii (*Słownik fizyczny*, 1984), nazywa się wielkościami fotometrycznymi. W fotometrii wyróżnia się fotometrię energetyczną (zwaną również obiektywną), której zadaniem jest obiektywny, ilościowy opis

światła jako procesu przenoszenia energii, oraz fotometrię wizualną, która traktuje światło jako proces przenoszenia energii z punktu widzenia oka ludzkiego, a nie z punktu widzenia obiektywnych relacji energetycznych. Interesująca nas problematyka jest zbliżona do tej drugiej części fotometrii. Można byłoby ją nazwać, wówczas gdy odnosi się do światła, fotometrią geosrodowiska. W większości, wielkości fotometryczne stosowane w pomiarach teledetekcyjnych opisują relacje bądź to natężenia światła odbitego do padającego, bądź zajmują się stosunkiem natężenia światła odbitego od danego obiektu, względem światła odbitego od powierzchni wzorcowych.

Podstawowymi parametrami fotometrycznymi stosowanymi w fotometrii geosrodowiska są: albedo i albedo spektralne, współczynnik jasności i współczynnik jasności spektralnej, kontrast jasności, interwał jasności i gęstość optyczna (Tołczelnikow, 1974).

Albedo — (A), jest to stosunek natężenia światła odbitego od danej powierzchni we wszystkich kierunkach — (F), do natężenia światła dochodzącego do badanej powierzchni — (F_0). Albedo jest wielkością fotometryczną, charakteryzującą zdolność danej powierzchni do rozpraszania światła. Albedo określane jest wzorem:

$$A = \frac{F}{F_0}.$$

Albedo spektralne jest to wartość mierzona w określonych przedziałach spektrum elektromagnetycznego.

Współczynnik jasności — (r), wyraża stosunek jasności badanej powierzchni — (B) mierzonej w danym kierunku, do jasności powierzchni idealnie rozpraszającej światło — (B_0):

$$r = \frac{B}{B_0}.$$

Powierzchnia idealnie rozpraszająca charakteryzuje się równomiernym kątowym rozkładem jasności związanej z oświetleniem — (E).

Współczynnik jasności spektralnej — ($r\lambda$), charakteryzuje jasność danego obiektu w określonym zakresie widma w stosunku do jasności powierzchni idealnie rozpraszającej światło w tym samym zakresie widma:

$$r\lambda = \frac{B\lambda}{B_0\lambda}.$$

Rzadziej stosowanymi są pozostałe wyżej wymienione wielkości fotometryczne.

Kontrast jasności — (K), jest stosunkiem różnicy jasności dwóch obiektów do większej wartości jasności jednego z tych obiektów:

$$K = \frac{B_1 - B_2}{B_1}$$

Interwał jasności — (I), jest wartością, którą proponuje się używać w badaniach własności optycznych krajobrazu, dla scharakteryzowania zróżnicowania rozpiętości jasności, poszczególnych jednostek typologicznych krajobrazu. Określa ona stosunek jasności fragmentu terenu o największej jasności do jasności fragmentu terenu o najmniejszej jasności:

$$I = \frac{B_{\max}}{B_{\min}}.$$

Czasami daną powierzchnię charakteryzuje się pod względem kąтового rozkładu promieniowania odbitego. Oblicza się wówczas współczynnik jasności dla różnych kierunków i przedstawia graficznie w postaci diagramu biegunowego, w którym długość promieni — wektorów jest proporcjonalna do wielkości współczynników jasności w odpowiednich kierunkach. Diagramy takie nazywa się **indykatrysmami odbicia**. Parametry te mają względny charakter swojej miary, wynikający ze stosunku bezwzględnych wartości w jakich są mierzone. Wartościami tymi są: strumień świetlny — jednostka „*lumen*”, natężenie światła — jednostka „*kandela*”, luminancja — jednostka „*nit*”, natężenie oświetlenia — jednostka „*luks*”. Przykładem bezwzględnych wartości jest na przykład wielkość natężenia oświetlenia poziomej powierzchni terenu w pogodny dzień w południe kiedy to wynosi ona około 100 000 luksów. Natomiast wartość albedo Ziemi wynosi 0,34.

Właściwości optyczne środowiska mogą być również określane na podstawie analizy materiałów fotograficznych, negatywów bądź pozytywów. Bezpośrednią miarą będzie wówczas **gęstość optyczna** — (D):

$$D = \log \left(\frac{1}{T} \right),$$

a wartością względną wartość **transmisji** — (T).

Instrumentami pomiarowymi stosowanymi w fotometrii, w tym i w fotometrii geosrodowiska są różnego rodzaju fotometry, spektrometry, spektroalbedomierze, radiometry lub w przypadku analizowania materiałów fotograficznych densytometry.

PRZYKŁADY BADAŃ WŁASNOŚCI OPTYCZNYCH I RADIOMETRYCZNYCH GEOŚRODOWISKA

Pomiary albedo stosowano początkowo w astronomii mierząc jasność poszczególnych planet. Jak już wyżej wspomniano, albedo ogólne Ziemi wynosi 0,34, Wenus 0,61, a Marsa tylko 0,15. Możliwość pomiaru własności optycznych planet, nasunęła myśl mierzenia własności optycznych elementów pokrycia terenu. Dla przykładu warto odnotować wartości albedo kilku elementów pokrycia terenu:

las:	0,05 — 0,1,
uprawy (zielone):	0,05 — 0,15,
obszary zabudowane, miejskie:	0,05 — 0,2,
piasek:	0,2 — 0,4,
świeży śnieg:	0,75 — 0,9.

Porównanie tych kilku wartości świadczy, że choć można ilościowo scharakteryzować właściwości optyczne, w kategoriach albedo, to jednak w wielu przypadkach wartości albedo ogólnego różnych powierzchni są bardzo podobne. Znacznie lepszą charakterystykę fotometryczną dają pomiary albedo spektralnego, które pozwalają określić zmienność albedo w poszczególnych zakresach spektrum elektromagnetycznego.

Na rycinie 6 przedstawiono zróżnicowanie wartości albedo spektralnego dla kilku różnych materiałów i powierzchni. Poszczególne krzywe dają wyobrażenie o zmienności fotometrycznego i radiometrycznego charakteru poszczególnych materiałów w różnych zakresach promieniowania. W zakresie widzialnym najwyższe wartości albedo posiada śnieg. Wartość albedo

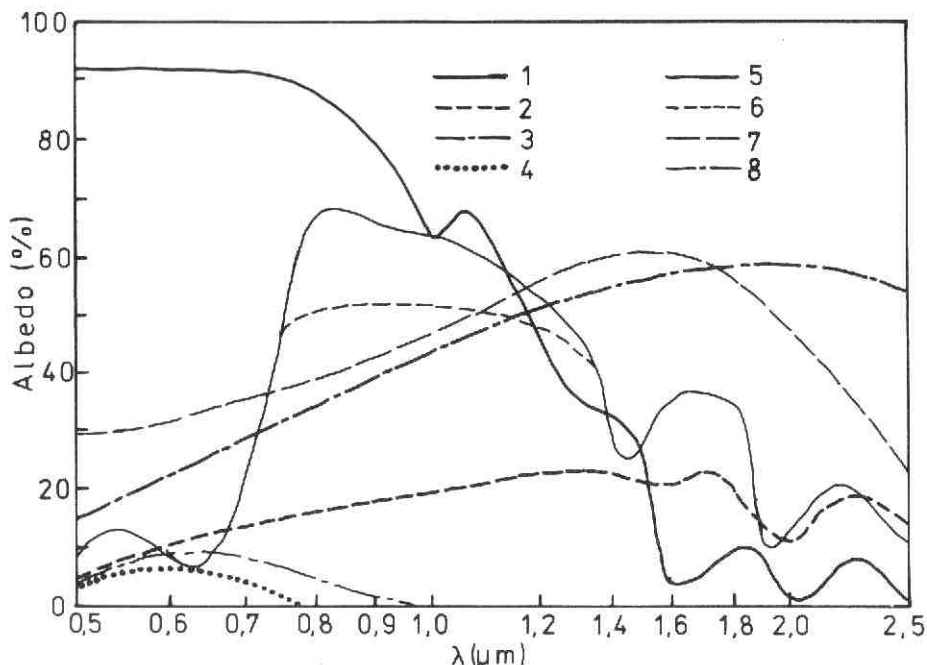


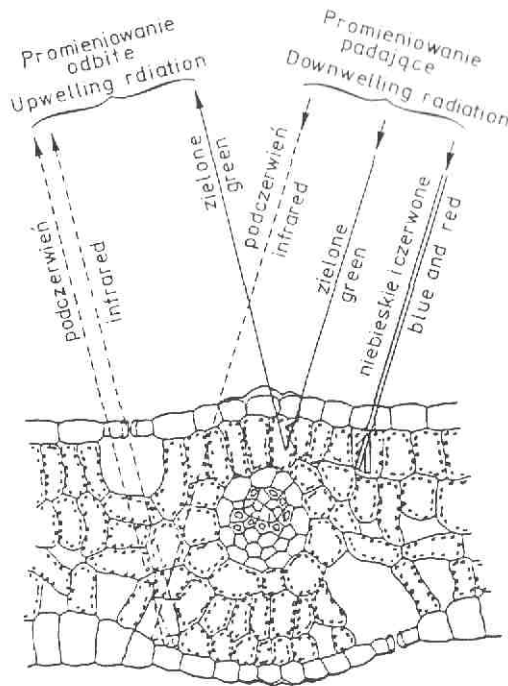
Fig. 6. Przykłady wykresów albedo spektralnego dla różnych materiałów w widzialnym i podczerwonym zakresie promieniowania elektromagnetycznego. 1 — śnieg, 2 — glina wilgotna, 3 — glina sucha, 4 — woda czysta, 5 — pszanica dojrzała, 6 — pszenica niedojrzała, 7 — wapień, 8 — woda mętna (według: Rees, 1990)

Fig. 6. Typical spectral albedos (schematic) of various materials in the visible and near infrared bands. 1 — snow, 2 — moist loam, 3 — dry loam, 4 — clear water, 5 — ripe wheat, 6 — unripe wheat, 7 — limestone, 8 — turbid water. From Rees (1990)

jest tu jednakowa na całej przestrzeni widma widzialnego. Znacznie niższymi wartościami albedo charakteryzują się wapienie, suchy piasek gliniasty oraz wilgotny piasek gliniasty. Wspólną cechą tych materiałów jest wzrost wartości albedo wraz ze wzrostem długości fali elektromagnetycznej. Jeszcze niższymi wartościami albedo charakteryzują się powierzchnie wodne. W tym przypadku jest ono nieznacznie zróżnicowane w poszczególnych zakresach widma, od promieniowania zielonego jego wartość nieznacznie wzrasta w kierunku światła pomarańczowego, po czym ponownie obniża się przy świetle czerwonym. Najbardziej zróżnicowane jest albedo spektralne roślinności zielonej. Na wykresie reprezentuje je owies. Przy promieniowaniu krótkofalowym jest ono niskie, w zakresie zieleni wzrasta, następnie maleje, aby w zakresie czerwieni ponownie wzrosnąć.

Przyczynę takiego zachowania się promieniowania wyjaśnia nam ryc. 7. Uwidoczniono na niej odbijanie światła zielonego przez chlorofil i promieniowania podczerwonego przez wewnętrzną tkankę naskórka oraz pochłanianie przez chlorofil promieniowania niebieskiego i czerwonego.

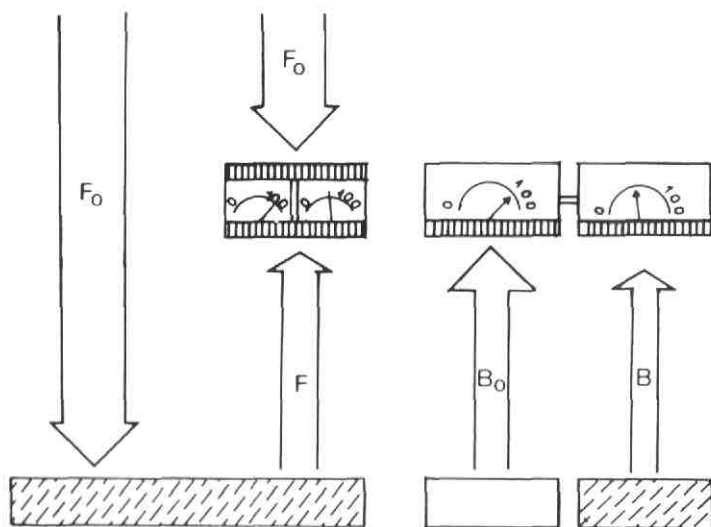
Jak z powyższego wywodu wynika, badanie albedo spektralnego daje o wiele więcej informacji o materiałach i elementach pokrycia terenu niż określenie albedo ogólnego.



Ryc. 7. Pochłanianie i odbijanie światła przez poszczególne elementy zielonego liścia (według: Albertz, 1991, za Colwellem, 1963)

Fig. 7. Absorption and reflexion of light by particular elements of a normal green leaf. From Albertz (1991), after Colwell (1963)

Podobnie rzecz się ma z badaniem współczynnika jasności i współczynnika jasności spektralnej. Różnice między tymi wartościami, a wartościami albedo, w sensie ich wartości i zmienności w zależności od danego zakresu spektrum powinny być w zasadzie niewielkie. Ostrożność tego stwierdzenia wynika z braku danych odnośnie porównania obu rodzajów wartości. Przy ich pomiarze stosowana jest nieco inna metoda. Różnicę wyjaśnia ryc. 8.



Ryc. 8. Zasady pomiaru albedo i współczynnika jasności
Fig. 8. Albedo and coefficient of luminance measurement principles

W zasadzie, w fotometrii geosrodowiska stosuje się obie miary. Często autorzy nie podając metodycznych szczegółów pomiarów, od razu operują względną miarę nazywając ją bądź to współczynnikiem jasności spektralnej bądź współczynnikiem odbicia spektralnego.

Rozpatrując badania charakterystyk fotometrycznych geosrodowiska należy stwierdzić, że najbardziej rozwinęły się one w teledetekcji geologicznej, szaty roślinnej i gleb.

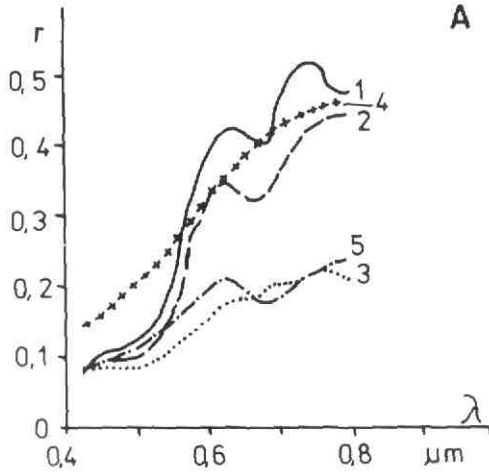
BADANIA FOTOMETRYCZNE W GEOLOGII

Pierwsze systematyczne badania jasności spektralnej skał jak podaje B.E.D. Stokes (1973) przeprowadzono w Stanach Zjednoczonych w latach 1936-1937. Jasność spektralną skał określano fotografując z samolotu formacje skalne na czterech zdjęciach przez cztery różne filtry. W późniejszych

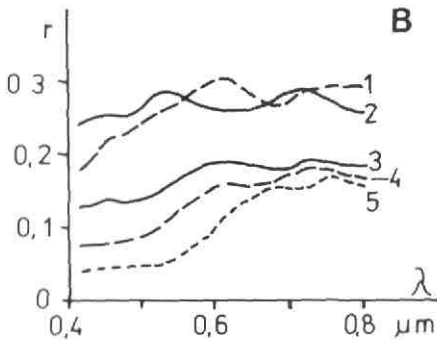
latach badania te były coraz dokładniejsze. Współczynniki jasności spektralnej określano w zależności od rodzaju oświetlenia, składu mineralnego oraz różnego rozdrobnienia skał. Swego rodzaju podsumowaniem tych badań jest monograficzne opracowanie J.A.Zajcewa i Ł.A.Muchiny (1966),

w którym przytoczono szereg danych na temat współczynników odbicia spektralnego poszczególnych minerałów i skał.

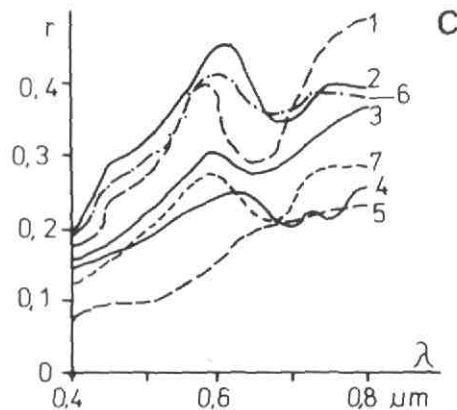
Na zamieszczonych tu rysunku przedstawiono zmienność jasności spektralnej skał osadowych, wylewnych i intruzywnych, ryc. 9. Uwarunkowana jest ona oczywiście składem mineralnym i rodzajem lepszczca. Skały osadowe



A



B



C

Ryc. 9. Krzywe jasności spektralnej różnych typów skał. A — skały osadowe: 1 — ility żółtoczerwone, 2 — ility czerwone, 3 — ility i mulki ciemnoczerwone, 4 — wapienie organogeniczne żółtoszare, 5 — wapienie zielono-ciemnoszare. B — skały wylewne: 1 — różowe porfiry kwarcowe, 2 — porfiry diabazowe zielono-szare, 3 — porfiry ciemnoszare i ciemnozielone, 4 — tufy porfirytów różowoszare, 5 — tufy porfirytów liparytowych różowoszare i fioletooszare. C — skały intruzywne: 1, 2 — granity średnioziarniste, różowo-jasnoszare, 3 — granity średnioziarniste, jasnoszare i różowoszare, 4 — granity średnioziarniste jasnoróżowe, 5 — granity średnioziarniste jasnoszare (według: Zajcew, Muchina, 1966)

Fig. 9. Spectral reflectance curves for different types of rocks. A — sedimentary rocks: 1 — yellow-red loams, 2 — red loams, 3 — dark-red loams and silts, 4 — yellow-grey organic limestones, 5 — green-dark-grey limestones. B — effusive rocks: 1 — pink quartz porphyries, 2 — green-grey diabase porphyries, 3 — dark-grey and dark-green porphyries, 4 — pink-grey tuffs of porphyries, 5 — pink-grey and violet-grey tuffs of porphyries. C — intrusive rocks: 1, 2 — pink-bright-grey medium-grain granites, 3 — bright-grey and pink-grey medium-grain granites, 4 — bright-pink medium-grain granites, 5 — pink medium-grain granites, 6 — pink medium-grain granodiorites. From Zajcew, Muchina (1966)

o zabarwieniu czerwonym, charakteryzują się mniej więcej równomiernie wzrastającymi wartościami współczynników jasności spektralnej w miarę wzrastania długości fali (od światła niebieskiego do czerwonego). Dla skał o zabarwieniu zielonym, charakter krzywych ilustrujących współczynniki jasności spektralnej ma przebieg zróżnicowany. Pierwsze minimum w zakresie światła niebieskiego, drugie w zakresie czerwieni są rozdzielone maksymalnymi wartościami w zakresie barwy pomarańczowej. Przedstawione tu badania, wykonywane w warunkach laboratoryjnych wykazały znaczną reakcję współczynników jasności spektralnej na zmienność składu mineralnego, a także składu chemicznego lepszczą w skałach osadowych. Celem tych badań było opracowanie fotometrycznej metody odczytywania utworów geologicznych oraz określenie najbardziej odpowiednich przedziałów spektrum do fotografowania różnych rodzajów skał; ażeby zapewnić jak najlepszą ich rozróżnialność na obrazach teledetekcyjnych. Ostatnim ogniwem tego rodzaju badań są współczesne przetworzenia obrazów satelitarnych, które posiadają postać mapy geologicznej, ryc. 10. W wielu przypadkach są one znacznie dokładniejsze niż dostępne współczesne mapy geologiczne tego samego terenu, sporządzone, tradycyjnymi metodami, ryc. 11.

FOTOMETRYCZNE BADANIA ROŚLINNOŚCI

W fotometrycznych badaniach roślinności starano się rozwiązać dwa problemy. Jednym z nich było uzyskanie danych o zmienności spektralnego odwzorowania poszczególnych zbiorowisk roślinnych. Prowadzono więc pomiary współczynnika jasności spektralnej lub albedo spektralnego dla różnych roślin. Szczególnie wiele uwagi poświęcono badaniu roślin uprawnych.

Drugim problemem, który starano się rozwiązać było określenie zmienności własności fotometrycznych roślinności w ciągu różnych faz okresu wegetacyjnego. Przykładami zmienności charakterystyk spektralnych w ciągu roku niech będą z jednej strony dane odnośnie albedo spektralnego dla liścia dębu, ryc. 12, oraz trajektoria w dwuwymiarowej przestrzeni spektralnej ukazująca zmienność właściwości radiometrycznych upraw zbożowych, w zakresie podczerwieni i czerwieni, ryc. 13.

Badanie charakterystyk spektralnych roślinności prowadzono również z punktu widzenia kontroli nawożenia azotowego, ryc. 14. Różnice albedo spektralnego (spektralnego współczynnika odbicia) widoczne już przy zakresie dłuższych fal widma widzialnego szczególnie wyraźne są w zakresie podczerwieni. Przy nawożeniu 60 kg na jednostkę powierzchni wartość albedo spektralnego jest w zakresie 740-1000 nm o około 10-15% niższa niż przy nawożeniu wynoszącym 120-180 kg na jednostkę powierzchni. Jednocześnie warto zauważyć, że zwiększenie nawożenia ze 120 kg na 180 kg wywołuje stosunkowo niewielki efekt fotometryczny.

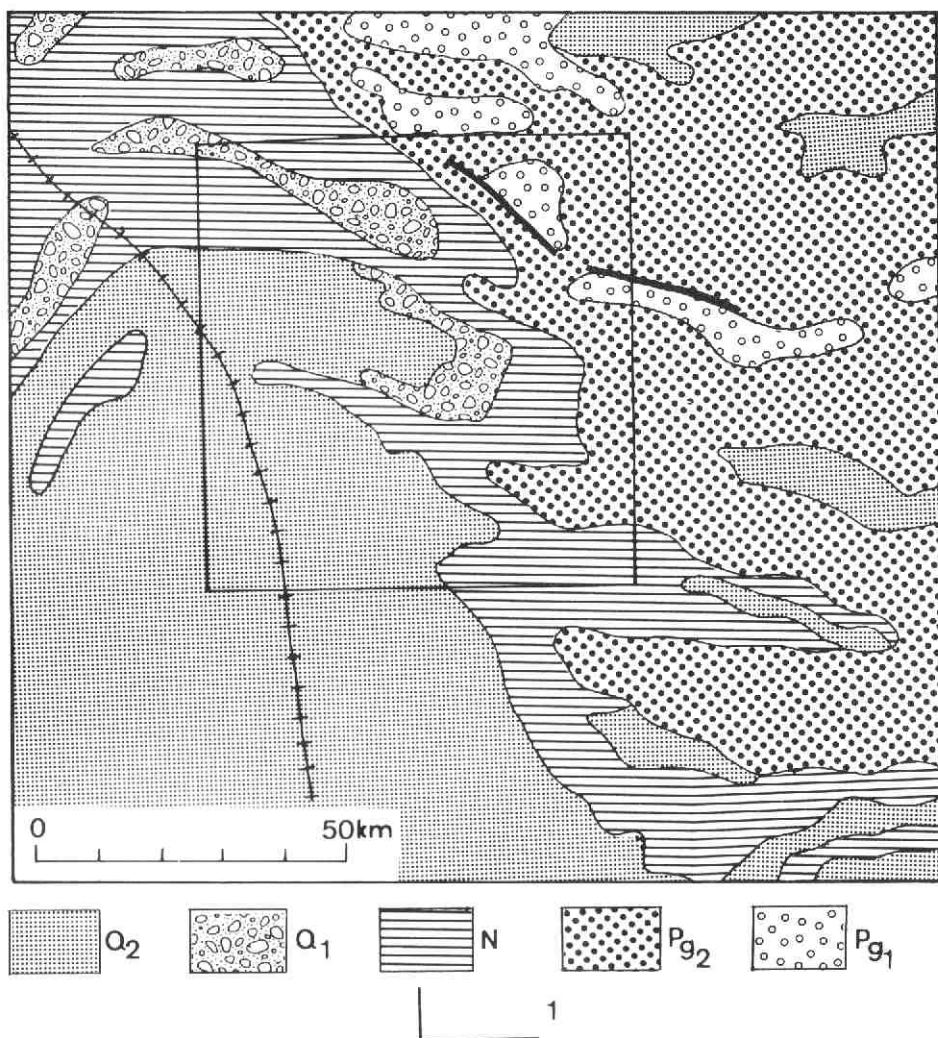


Ryc. 10. Obraz satelitalny TM z Landsata, wykonany 16 października 1989 roku, kompozycja z kanałów 1, 4, 7. Grzbiety górskie zbudowane ze sfaldowanych warstw skalnych otaczają dolinę Sibi w Pakistanie. Młode sfaldowane skały o barwie czerwono-brązowo-żółtej wyraźnie odróżniają się od występujących na północy i wschodzie starszych skał przedstawionych barwą turkusową, ciemnozieloną i purpurową. Miejscowość Sibi przedstawia się jako szachownica brązowych i zielonych pól. Znajduje się ona w południowo-wschodniej części zdjęcia pomiędzy prostą linią drogi i rzeką (reprodukcja z EOSAT, 1991)

Fig. 10. Landsat Thematic Mapper (TM) Bands 1, 4, 7, acquired October 16, 1989. Rugged mountains composed of folded layers of rock surround the Sibi Valley of Pakistan. Thematic Mapper bands 1, 4, 7, contrast rock types — young, folded rock are reddish brown and yellow, while older rock are turquoise, dark green and purple to the north and east. The village of Sibi is the patchwork of brown and green between the right-of-way and the river near to the southwest. From EOSAT (1991)

FOTOMETRYCZNE BADANIA GLEB

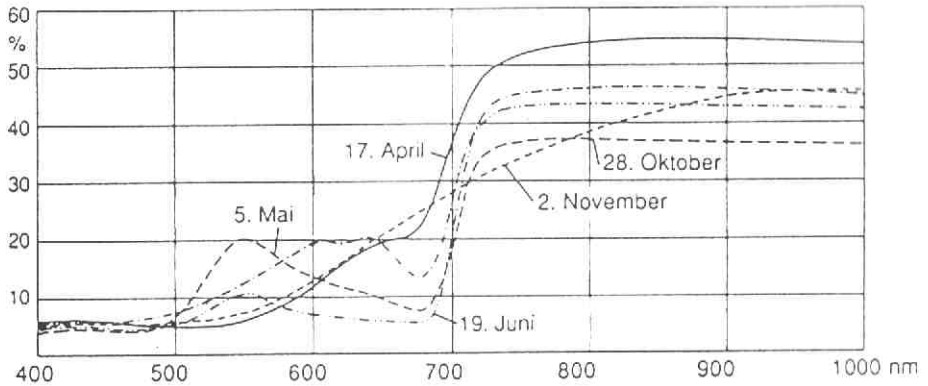
Trzecią dziedziną, w której szczególnie aktywnie rozwijały się badania charakterystyk fotometrycznych była teledetekcja gleb. W trakcie badań



Ryc. 11. Fragment mapy geologicznej okolic Sibi w Pakistanie. Powiększenie z mapy geologicznej Azji i Dalekiego Wschodu. Czwartorzęd: Q₂ — utwory współczesne, Q₁ — utwory plejstocenijskie. Trzeciorzęd: N — utwory neogenu, P_{g2} — utwory eocenu, P_{g1} utwory paleocenu (według: Geological map of Asia and the Far East)

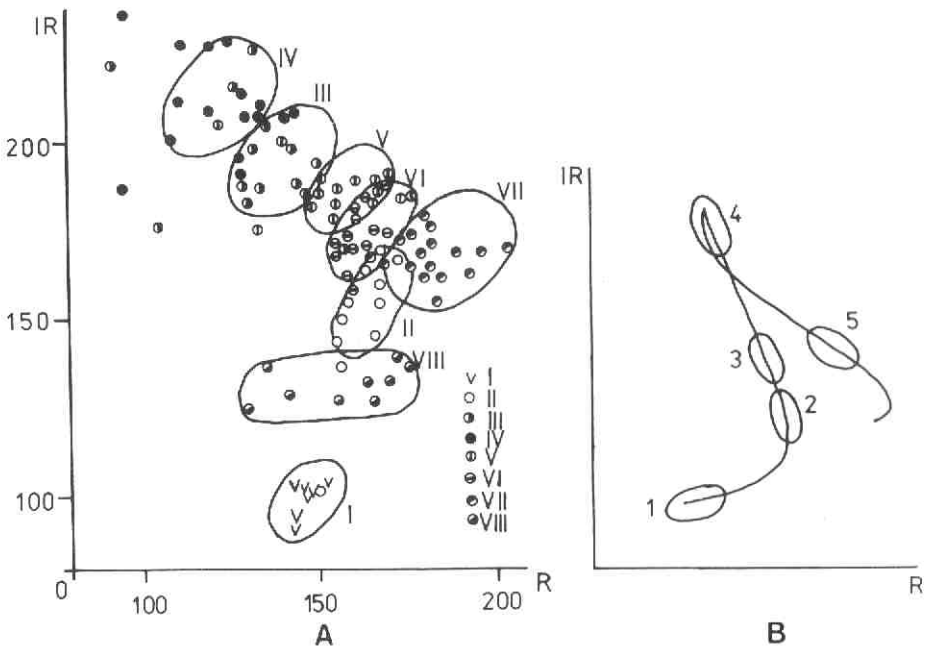
Fig. 11. Fragment of geological map of Sibi region. Enlargement from a Geological map of Asia and the Far East. Quaternary: Q₂ — Recent, Q₁ — Pleistocene. Tertiary: N — Neogene, P_{g2} — Eocene, P_{g1} — Paleocene. From „Geological map of Asia and the Far East”

uzyskano wiele danych o zmienności tych cech w zależności od różnych czynników. Na współczynnik jasności spektralnej gleb wpływają głównie tlenki żelaza, kwasy humusowe i zawartość wilgoci. Ryc. 15, ukazuje zmienność własności optycznych gleb w zależności od zawartości w niej Fe₂O₃. Im większa jest zawartość tlenku żelaza w glebie tym niższe są wartości współczynników jasności spektralnej.



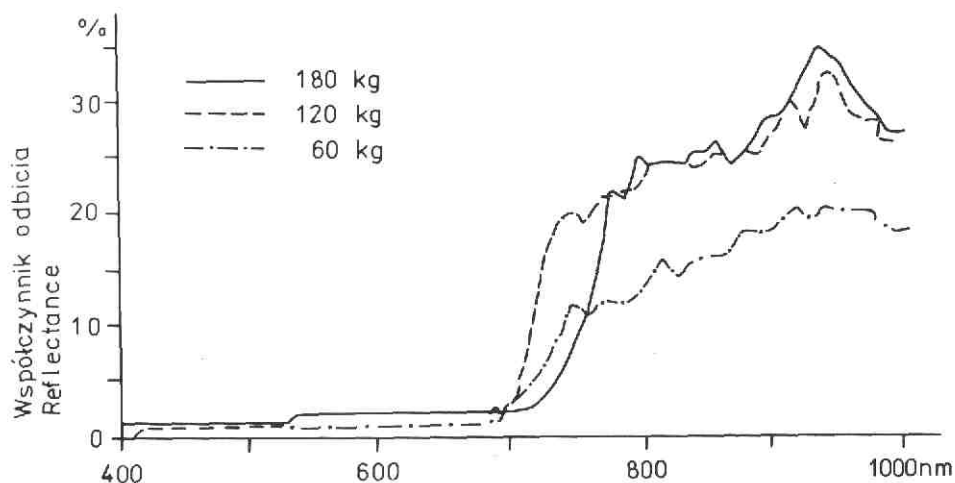
Ryc. 12. Zmienność sezonowa współczynników jasności spektralnej liści dębu (według: Albertz, 1991; za: Gates, 1970)

Fig. 12. Spectral reflectance of oak leaves throughout the season. From Albertz (1991; after Gates (1970)



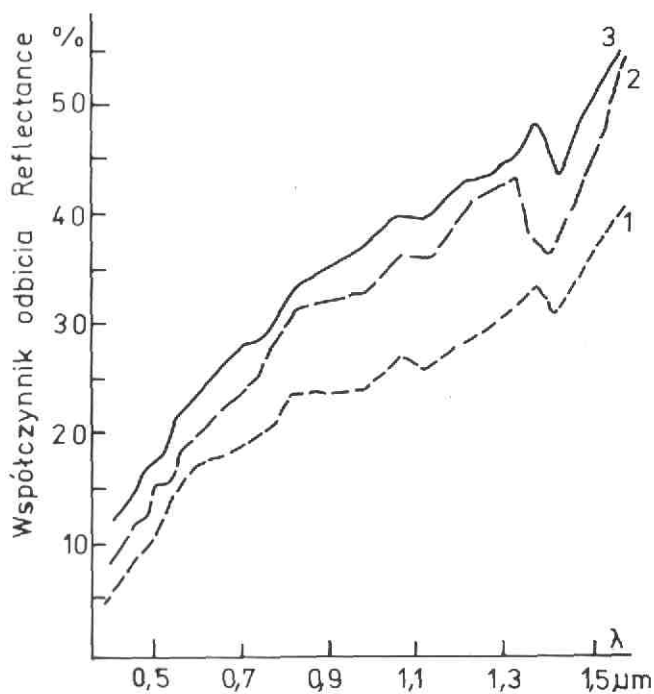
Ryc. 13. A — Kolejne położenia klastrow pszenicy ozimej w poszczególnych fazach wzrostu: I — 14 kwiecień, naga gleba, II — 14 kwiecień - miejscami występuje pszenica ozima, III — 31 maj, IV — 6 czerwiec, V — 23 czerwiec, VI — 24 lipiec, VII — 10 sierpień, VIII — 10 sierpień, ściernisko. B — Jednorazowa trajektoria rozwoju upraw zbożowych. 1 — gleba, 2 — zboża bezpośrednio po wzejściu, 3 — początek kłoszenia się, 4 — dojrzałość mleczna, 5 — dojrzałość woskowa (według: Wasiliew i in., 1990)

Fig. 13. A - distribution of clusters of winter wheat throughout the growing season: I — April 4, bare soil, II — April 14, sparse winter wheat, III — May 31, IV — June 6, V — June 23, VI — July 24, VII — August 10, VIII — August 10, stubble field. B — continuous graph of growth stages of cereals: 1 — soil, 2 — shooting stage, 3 — earing stage, 4 - milk ripeness, 5 — wax ripeness. From Wasiliew and others (1990)



Ryc. 14. Wpływ nawożenia azotowego na kształtowanie się współczynnika jasności spektralnej kukurydzy (według Szász, 1991)

Fig. 14. Impact of nitrogen fertilization on changes of spectral reflectance of corn. From Szász (1991)

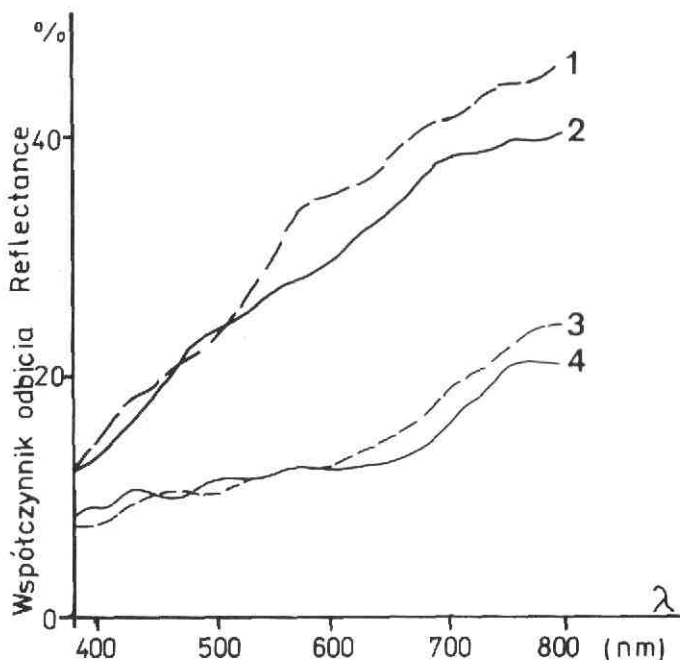


Ryc. 15. Wpływ zawartości Fe_2O_3 w glebie na współczynnik jasności spektralnej. 1 — Fe: 3,3%, 2 — Fe: 1,3%, 3 — Fe: 0,6% (według Białousz, 1979)

Fig. 15. Impact of Fe_2O_3 content in soil on spectral reflectance: 1 — Fe: 3.3%, 2 — Fe: 1.3%, 3 — Fe: 0.6%. From Białousz (1979)

Podobny jest wpływ zawartości próchnicy, ryc. 16, im jest jej więcej tym współczynniki jasności spektralnej są niższe.

Również zwiększenie w glebie zawartości wilgoci powoduje obniżenie współczynników jasności spektralnej, ryc. 17.

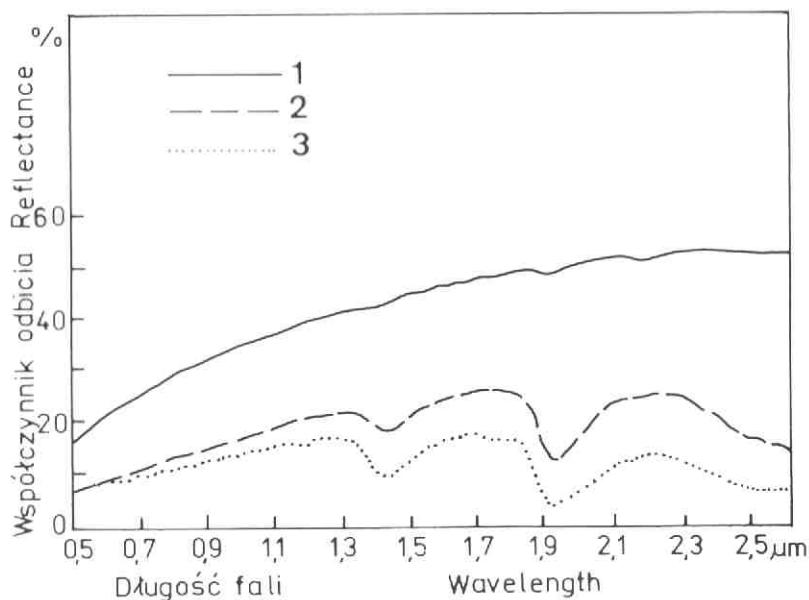


Ryc. 16. Współczynnik jasności spektralnej poziomów próchnicznych, z pomiarów w laboratorium. 1 — gleba płowa o zawartości próchnicy 0,76% (Miechów), 2 — gleba płowa o zawartości próchnicy 1,33% (Mory), 3 — czarnoziem zdegradowany o zawartości próchnicy 3,28% (Proszowice), 4 — czarna ziemia właściwa o zawartości próchnicy 4,14% (Błonie) (według: Białousz, 1979)

Fig. 16. Spectral reflectance for humus levels — laboratory measurements: 1 — fawn soil, humus content 0.76% (Miechów), 2 — fawn soil, humus content 1.33% (Mory), 3 — degraded chernozem, humus content 3.28% (Proszowice), 4 — black soil, humus content 4.14% (Błonie). From Białousz (1979)

FOTOMETRIA W KONTROLI STANU ŚRODOWISKA

Poznanie zmienności własności fotometrycznych i radiometrycznych różnych elementów pokrycia terenu jest obecnie wykorzystywane do kontroli stanu środowiska. Oto dwa przykłady badań, które wyraźnie ukazują, poprzez własności radiometryczne elementów środowiska, reakcję tego środowiska na wprowadzane do niego zanieczyszczenia. Zwiększony wpływ zanieczyszczeń w postaci metali ciężkich powoduje wyraźne zmiany w przebiegu krzywych własności optycznych kłosów jęczmienia, podnosząc wyraźnie wartość współczynnika jasności wraz ze wzrostem zawartości metali ciężkich, ryc. 18.



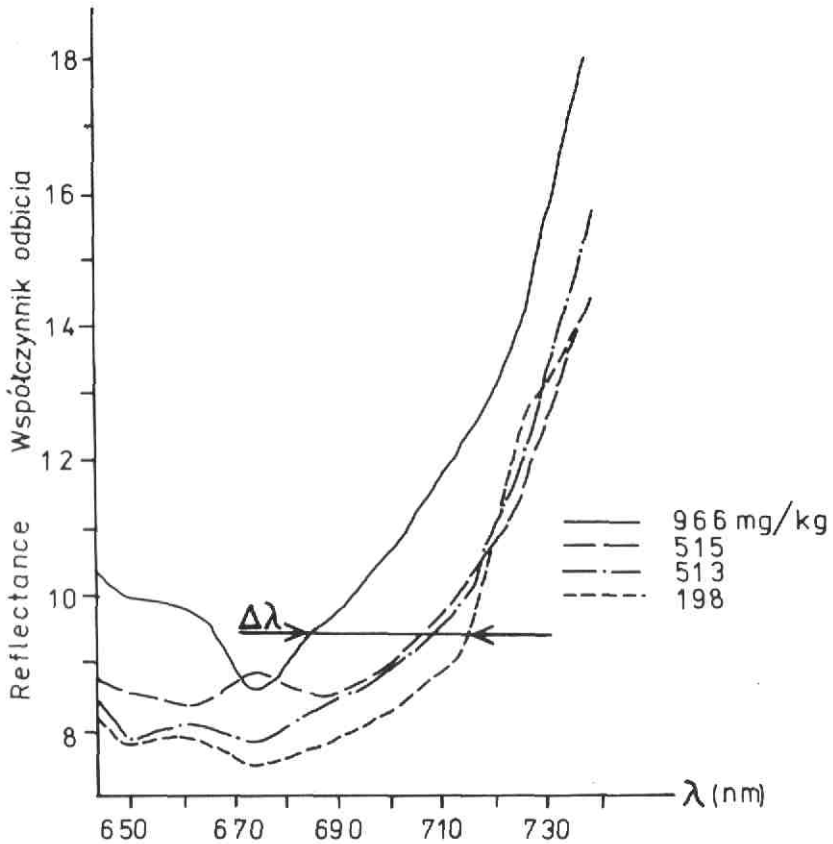
Ryc. 17. Współczynnik jasności spektralnej dla gleby piaszczystej z okolic Chelsea przy trzech różnych stopniach wilgotności: 1 — 0-4%, 2 — 5-12%, 3 — 22-23% (według: Swain i Davis, 1978; za: Hoffer i Johannsen, 1969)

Fig. 17. Spectral reflectance curves for Chelsea sand in three moisture-content groupings: 1 — 0-4%, moisture content, 2 — 5-12% moisture content, 3 — 22-23% moisture content. From Swain and Davis (1978); after Hoffer and Johannsen (1969)

Zmienia się również wyraźnie współczynnik jasności spektralnej liści kukurydzy. W zakresie widma zielonego, obniżając się wraz ze zwiększaniem zawartości trójtlenku azotu, ryc. 19.

W sumie, obecność trójtlenku azotu i metali ciężkich powoduje na kompozycjach barwnych, dla terenów dotkniętych nadmiernymi zanieczyszczeniami, efekt „zaniebieszczenia obrazu”.

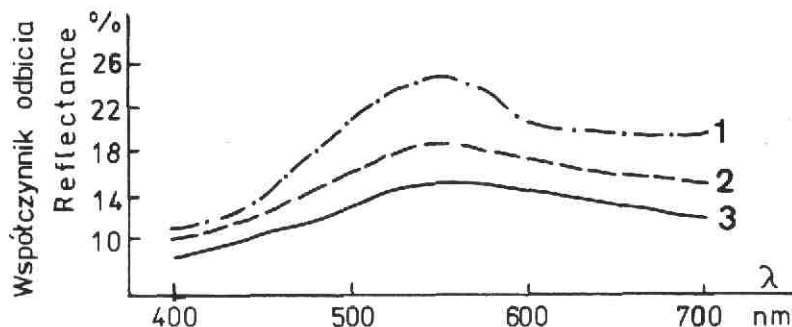
Badania fotometryczne środowiska wodnego również uwidaczniają obecność zanieczyszczonych wód śródlądowych, wpływających do akwenów morskich. Przykładem mogą być wody Odry wpływające do Zatoki Pomorskiej. Są one dwukrotnie bardziej zanieczyszczone w porównaniu z otaczającymi je wodami morskimi. Powoduje to wyraźną zmianę własności optycznych tych wód wyrażającą się podniesieniem wartości współczynnika odbicia spektralnego w zakresie promieniowania od zielonego do czerwonego, ryc. 20.



Ryc. 18. Relacja między zdolnością promieniowania w widzialnym zakresie widma a zawartością metali ciężkich w kłosach jęczmienia na poligonie dniprozańskim na Ukrainie (według: Lyalko, 1991)
 Fig. 18. Relationship of spectral radiancy and heavy metal content for the barley (ear formation) from remote sensing data and synchronous ground sampling within Dneprovsky Test Site. From Lyalko (1991)

FOTOMETRYCZNE BADANIA KRAJOBRAZU

Badania własności fotometrycznych elementów środowiska geograficznego, prowadzone początkowo w warunkach laboratoryjnych, potem przenieszone w teren, nasunęły pomysł zastosowania metod fotometrycznych do badania własności optycznych jednostek krajobrazowych na różnych szczeblach ich generalizacji, poczynając od jednostek typu facji, czy nawet ich części, a kończąc na strefach krajobrazowych. Najpełniejszym monograficznym opracowaniem tej problematyki jest praca Ju.S.Tołczelnikowa (1974). W swojej książce zatytułowanej „Optyka krajobrazu” przedstawił on cel tych badań, metodykę oraz osiągnięte wyniki. Celem badań optyki krajobrazu jest poznanie spektrofotometrycznych charakterystyk poszcze-



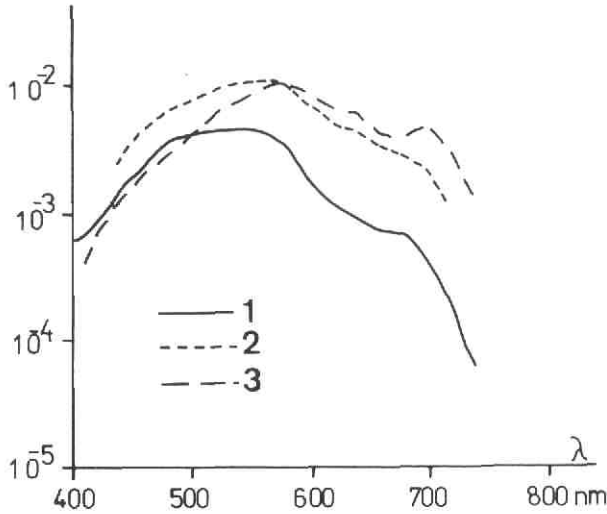
Ryc. 19. Współczynnik jasności spektralnej (współczynnik odbicia) dla liści kukurydzy przy różnej zawartości NO_3^- w Obuchowskim Systemie Irygacyjnym w okolicach Kijowa w czerwcu 1989 roku. 1 — 45,7 mg NO_3^-/kg świeżych liści, 2 — 200 mg NO_3^-/kg świeżych liści, 3 — 380 mg NO_3^-/kg świeżych liści (według: Lyalko, 1991)

Fig. 19. Reflectance spectograms for the corn leaves with different NO_3^- — contents (Obukhov's Irrigation System, Kiev Region, June 1989). 1 — 45,7 mg NO_3^-/kg of fresh matter, 2 — 200 mg NO_3^-/kg of fresh matter, 3—380 mg NO_3^-/kg of fresh matter. From Lyalko (1991)

gólnych obiektów przyrodniczych oraz zbadanie prawidłowości przestrzennego rozkładu jego charakterystyk optycznych. Nowością opracowania Ju.S.Tołczelnikowa było całościowe potraktowanie, z fotometrycznego punktu widzenia całych jednostek strukturalnych krajobrazu. Opracowana przez niego metodyka przewiduje pomiary własności optycznych na poziomie fragmentów facji, całych facji itd., aż do stref krajobrazowych. Przeanalizował on również zmienność charakterystyk optycznych krajobrazów w rytmie wieloletnim, rocznym, sezonowym, dobowym i w zależności od warunków pogodowych. Proponowane badania są bardzo skomplikowane, wymagają wielu pomiarów i znacznie rozbudowanego aparatu statystycznego. Pierwszym etapem badań jest wyznaczenie metodami kompleksowej geografii fizycznej jednostek typologicznych, które następnie poddawane są badaniom fotometrycznym. W efekcie tych badań, poszczególne fragmenty facji, uroczyska, typy terenu i całe krajobrazy są charakteryzowane pod względem ich albedo, współczynników jasności, współczynników jasności spektralnej, kontrastu jasności, interwału jasności, a także różnych kombinacji rozkładu przestrzennego tych wartości.

Przedstawił on również zmienność charakterystyk optycznych jednostek krajobrazowych w różnych rytmach czasowych.

I tak, wieloletnie zmiany własności optycznych jednostek krajobrazowych związane są z dynamiką jego elementów, odkształcanych przez procesy neotektoniczne, wieloletnie cykle klimatyczne, rozwój rzeźby i gleb, a także działalność człowieka. W zależności od przyjętych, dość arbitralnie, stopni dynamiczności krajobrazów (krajobrazy stabilne, krajobrazy stałe, krajobrazy w ruchu, krajobrazy zmieniające się), postuluje on badać je, odpowiednio co 30, 20, 10, 5, 2 lata i 1 rok, celem określenia tendencji zachodzących w nich zmian.



Ryc. 20. Współczynnik odbicia spektralnego dla wód: 1 — bałtyckich, 2 — Zatoki Pomorskiej, 3 — Odry (według: Siegel i in., 1991)

Fig. 20. Spectral reflectance of the water: 1 — Baltic sea, 2 — Zatoka Pomorska, 3 — Odra river. From Siegel and others (1991)

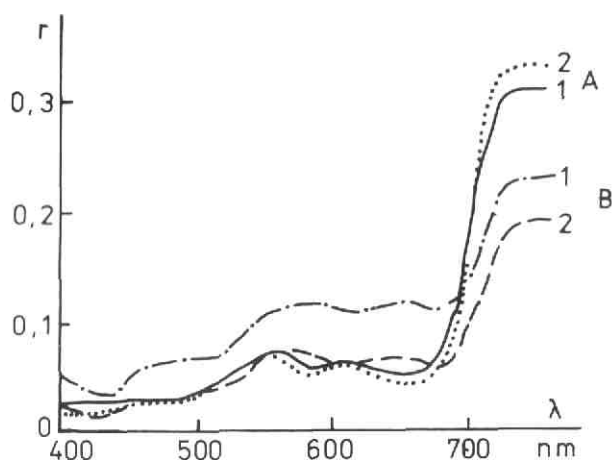
Zmiany cech optycznych krajobrazu, obserwowane w ciągu roku, nawiązują głównie do wahań w kształtowaniu się warunków atmosferycznych zgodnie ze zmianami pór roku i kształtujących się wówczas warunków hydrologicznych i rozwoju roślinności.

Sezonowe zmiany charakterystyk optycznych nawiązują do fenologicznych zmian zachodzących w szacie roślinnej, a także wahań warunków hydrologicznych i co się z tym wiąże fizycznego stanu powierzchni pokrywy glebowej i zabiegów agrotechnicznych na gruntach rolniczych. Największe różnice we własnościach optycznych obserwuje się w okresach przejściowych od jednych warunków fizyczno-biologicznych do drugich, to jest, w okresach maksymalnych różnic w przebiegu procesów przyrodniczych zachodzących w granicach poszczególnych geosystemów. Dla badanej przez Ju.S.Tołczelnikowa strefy borealnej takimi okresami są wczesne lato i środkowa jesień. Autor ten wyróżnia trzy typy geosystemów, różniących się pod względem intensywności sezonowych zmian charakterystyk optycznych. Obiektami o silnych zmianach, wyrażanych na panchromatycznych zdjęciach lotniczych wahaniami gęstości optycznej są: uprawy zbóż jarych i łąki w suchych dolinach z mikrorzeźbą. Średnioziemnymi obiektami są obszary wieloletnich użytków zielonych, uprawy żyta i ugory. Do trzeciej grupy obiektów o najmniejszej optycznej zmienności należą lasy iglaste.

Dzienne zmiany charakterystyk optycznych krajobrazu nawiązują głównie do zmienności warunków oświetlenia, a zwłaszcza zmienności powierzchni terenu objętego cieniem. Z tych też względów — praktyczny wniosek, że realizacja fotografowania lotniczego powinna się odbywać przy takich

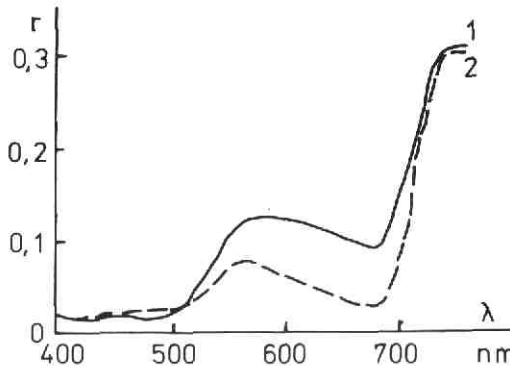
warunkach, w których kontrasty charakterystyk optycznych między poszczególnymi jednostkami typologicznymi krajobrazu będą największe, a strata informacji najmniejsza. Na przykład dla terenów półpustynnych, przy wysokości Słońca nad horyzontem rzędu 15° - 30° , a dla terenów leśnych 40° - 60° . Również warunki pogodowe wpływają na modyfikację charakterystyk optycznych krajobrazu, przyczyniając się bądź to do poprawienia bądź pogorszenia jakości informacyjnej zdjęć lotniczych. Istotną rolę, w tym względzie odgrywają własności optyczne atmosfery, związane głównie z obecnością różnych ilości pary wodnej (od mgiełki do deszczu). Wpływ ten wyraża się bezpośrednim oddziaływaniem warunków pogodowych lub w ich wyniku zmianami własności fizycznych powierzchni terenu. Na przykład w wyniku zroszenia powierzchni przez poprzedzający czas pomiaru deszcz, ryc. 21.

Zmiany własności optycznych mogą być związane także z pracami agrotechnicznymi, ryc. 22.



Ryc. 21. Współczynnik jasności spektralnej łąk w okolicach Moskwy w dniu 19 lipca, przy wysokości Słońca 48° . A — łąka o zróżnicowanym składzie gatunkowym na glebach darniowo-bielicowych, pokrycie projekcyjne 100%; B — łąka o zubożonym składzie gatunkowym na glebach bielicowych, pokrycie projekcyjne 40%; 1 — w warunkach pogodnego dnia o dobrym oświetleniu, 2 — po zroszeniu do pełnej połowej wilgotności gleby (według: Tołczelnikow, 1974)

Fig. 21. Spectral reflectance curves for meadows (Moscow surroundings, July 19, solar elevation 48°). A — meadow with different species, derno-podzolic soils, LAI 100%, B — meadow with reduced number of species, podzolic soils, LAI 40%. 1 — sunny day, good illumination, 2 — after rinsing up to full soil moisture. From Tołczelnikow (1974)



Ryc. 22. Wpływ kwitnienia mniszka lekarskiego (*Taraxacum officinale*) na współczynnik jasności spektralnej ugoru w okolicach Moskwy, w dniu 25 lipca 1970 roku, przy wysokości Słońca 45°. 1 — ugor z kwiatostanem mniszka, przy pokryciu projekcyjnym roślinnością — 70% i kwiatostanem — 30%, 2 — ugor po usunięciu kwiatostanu mniszka (według: Tolczelnikow, 1974)

Fig. 22. Impact of flowering of dandelion (*Taraxacum officinale*) on spectral reflectance of fallow land (Moscow surroundings, July 25, 1970, solar elevation 45°). 1 — fallow with flowers of dandelion, LAI 70%, flower area index 30%, 2 — fallow after disappearing of flowers. From Tolczennikow (1974)

WYKORZYSTANIE BADAŃ FOTOMETRYCZNYCH W ROZWOJU METOD PRZETWARZANIA OBRAZÓW

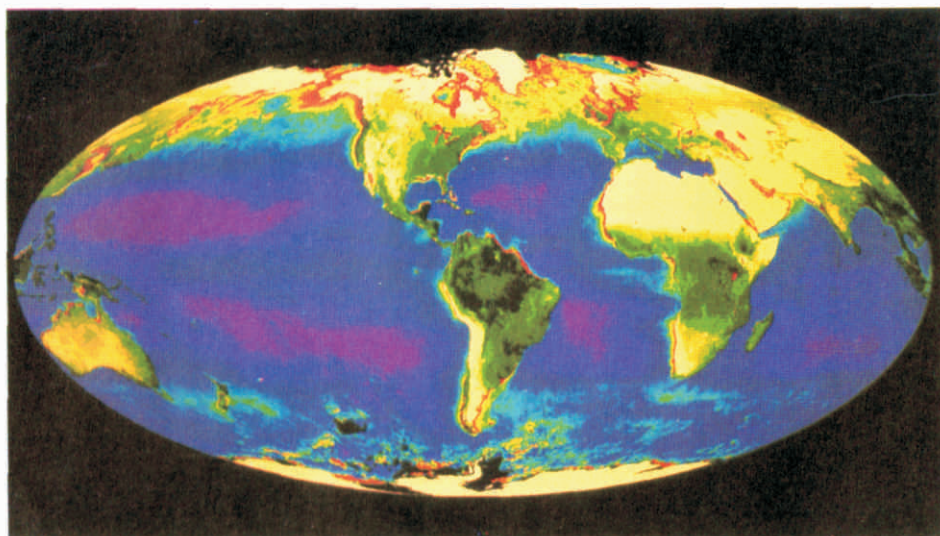
Efektom ilościowych badań własności fotometrycznych i radiometrycznych geosrodowiska i opracowania na ich podstawie doskonałych metod obrazowania wielospektralnego z zastosowaniem metod cyfrowych było stworzenie nowych możliwości komponowania obrazów o specjalnym przeznaczeniu. Miały one udoskonalić obrazowe przedstawianie poszczególnych elementów geosrodowiska, bądź też zjawisk zachodzących w tym środowisku.

Jedną z takich metod jest obliczanie wskaźnika roślinności, opartego na wartościach radiometrycznych z dwóch zakresów promieniowania: promieniowania czerwonego i podczerwonego. Wskaźnik roślinności „VI” ukazuje obszary o żywej roślinności, ryc. 23. Najprostsza metoda jego obliczania realizowana jest według wzoru:

$$VI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

WIELOSPEKTRALNA CHARAKTERYSTYKA ŚRODOWISKA

Przedstawione powyżej rozważania dotyczyły cech optycznych środowiska, badanych w całym zakresie widzialnym widma elektromagnetycznego oraz bliskiej podczerwieni. Badania takie mogą być ograniczone tylko do wybranych najistotniejszych zakresów tej części widma. Rozwinięte one



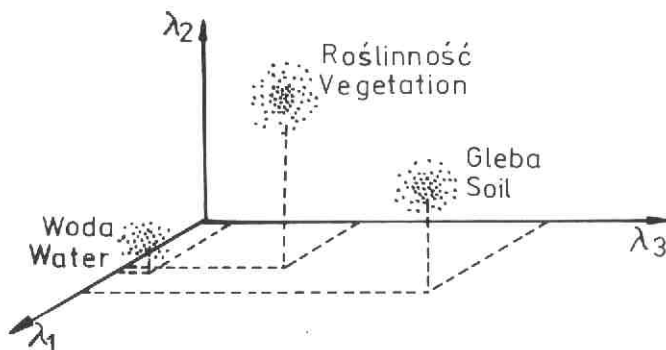
Ryc. 23. W wyniku połączenia danych z CZCS (Nimbus-7) i z AVHRR uzyskano obraz biosfery w skali globalnej. Poszczególne barwy przedstawiają koncentrację fitoplanktonu na obszarach oceanicznych i roślinności na lądach (reprodukcja obrazu udostępnionego przez NASA organizatorom konferencji Earth Observations and Global Change Decision Making: A National Partnership, October 23-24, 1990)

Fig. 23. Data from NASA's Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner and the NOAA-7 Advanced Very High Resolution Radiometer were combined to create this image of the global biosphere. Color codes represent phytoplankton pigment concentrations in the ocean and vegetation patterns on land (Image courtesy of NASA Goddard Space Flight Center for Conference „Earth Observations and Global Change Decision Making: A National Partnership”, October 23-24, 1990)

zostały głównie z okazji opracowywania procedur klasyfikacyjnych zdjęć satelitarnych. Okazało się, że jeśli weźmie się pod uwagę dwa, a jeszcze lepiej trzy przedziały widma, to w wyniku umieszczenia poszczególnych pikseli (jednostkowych elementów obrazu o określonych własnościach radiometrycznych) w dwu- lub trójwymiarowej przestrzeni spektralnej będą one tworzyły zgrupowania punktów — grona, zwane klastrami, ryc. 24. Każdy z tych klastrów charakteryzuje się specyficznymi własnościami spektralnymi i reprezentuje określony typ powierzchni terenu, utworów geologicznych, roślinności itp.

Próbe analizy wielospektralnej środowiska wykonano dla fragmentu „sceny płockiej”, obrazu pozyskanego przez Landsata 1-go w dniu 2-go listopada 1973 roku, O l ę d z k i, 1992. Z uzyskanych danych wynika, że pomimo dużego pola podstawowego przyjętego do tych pomiarów i bardzo słabej jakości zdjęć, a także obniżenia informacyjności tych obrazów w wyniku procesów reprodukcji fotograficznej, przekazują one poprzez swoje cechy optyczne określoną informację geograficzną. Określone formacje geosrodowiska tego terenu posiadają swoje odrębne cechy optyczno- spektralne.

W przypadku utworów geologicznych można na tej podstawie wyróżnić co najmniej trzy grupy utworów powierzchniowych, pięć grup zespołów form



Ryc. 24. Przykładowe rozmieszczenie klastrów wody, roślinności i gleb w trójwymiarowej przestrzeni spektralnej (według: Albertz, 1991)

Fig. 24. Example of distribution of clusters for water, soil and vegetation in three-dimensional spectral space. From Albertz (1991)

rzeźby, sześć typów i rodzajów gleb, pięć typów użytkowania ziemi, oraz dwie klasy związane z warunkami hydrogeologicznymi. W dwuwymiarowej przestrzeni spektralnej scharakteryzowano także jednostki fotomorficzne. Poprzez zespół cech fotointerpretacyjnych, takich jak fototon, fotostruktura, fototekstura odzwierciedlają one specyficzne jednostki przestrzenne, w granicach których występują dość dobrze widoczne powiązania określonych elementów geosrodowiska. Dla przykładu z kilkunastu przeanalizowanych jednostek fotomorficzych wyodrębniono trzy. W dwuwymiarowej przestrzeni spektralnej pokazano zasięgi klastrów samych jednostek oraz zasięgi klastrów, najważniejszych elementów środowiska, zajmujących w tych jednostkach największą powierzchnię. Nałożenie zasięgów tych klastrów ukazuje, w pewnym sensie, stopień powiązania tych elementów między sobą oraz ich rolę w nadaniu danej jednostce fotomorficzej określonego charakteru geograficznego.

WNIOSKI

Źródłem danych o własnościach optycznych geosrodowiska jest energia elektromagnetyczna wypromieniowywana przez Słońce. W wyniku interakcji z powierzchnią terenu następuje jej selektywne pochłanianie, odbijanie i rozpraszanie, w wyniku czego możliwe jest zarejestrowanie na odpowiednich przyrządach i materiałach, zróżnicowanego obrazu środowiska geograficznego.

Optycznymi charakterystykami środowiska są albedo, albedo spektralne, współczynnik jasności, współczynnik jasności spektralnej, indykatory od-

bicia, kontrast jasności, interwał jasności, a w przypadku badania materiałów fotograficznych: gęstość optyczna i transmisja oraz różne modyfikacje tych parametrów.

Najbardziej rozwinięły się badania albedo spektralnego i współczynników jasności spektralnej w zakresie geologii, roślinności i gleb, a ostatnio w zakresie monitorowania zanieczyszczenia środowiska.

Teoretyczne podstawy badania własności optycznych typologicznych elementów krajobrazu rozwinął Ju.S.Tołczelnikow (1974).

Badania własności radiometrycznych dla wybranych zakresów promieniowania zostały rozwinięte w związku z opracowywaniem metodycznych podstaw klasyfikacji treści obrazów satelitarnych. Metoda ta z jednej strony daje wyobrażenie zróżnicowania własności optycznych poszczególnych elementów środowiska, z drugiej — umożliwia wykonywanie map tematycznych na podstawie charakterystyk spektralnych.

Zarysowaną tu problematykę badawczą można nazwać „fotometrią geośrodowiska” lub ogólniej „radiometrią geośrodowiska”.

LITERATURA

- Albertz J., 1991: *Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern: eine Einführung in die Fernerkundung*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Albertz J., Kreiling W., 1975: *Photogrammetrisches Taschenbuch*. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Białousz S., 1979: *Zastosowanie teledetekcji w kartografii gleb*. W: Kuźnicki F., Białousz S., Skłodowski P., *Podstawy gleboznawstwa z elementami kartografii i ochrony gleb*. PWN Warszawa.
- Curran P.J., 1985: *Principles of remote sensing*. Longman, London, New York.
- Colwell R.N., i in., 1963: *Basic Matter and Energy Relationships Involved in Remote Reconnaissance*. Photogrammetric Engineering, vol. 29, str. 761-799.
- EOSAT, 1991: Landsat, Appointment, Calendar.
- Gates D.M., 1970: *Physical and Physiological Properties of Plants. W: Remote Sensing*. National Academy of Sciences, Washington, str. 224-252.
- Geological map of Asia and the Far East*. Second Edition (revised), 1971; Scale 1:5 000 000. Prepared under the sponsorship of the United Nations Economic Commission for Asia and the Far East (ECAFE), Sheet III.
- Hoffer R.M., Johannsen C.J., 1969: *Ecological potentials in spectral signature analysis*. W: Johanson P.L. (red.), *Remote Sensing in Ecology*. University of Georgia Press, Athens, str. 1-16.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1987: *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Lyalko V.I., 1991: *Improvement of the information content of multispectral MOZ-OBZOR data in the project of PRIRODA for recognizing toxicant influences*. W: 6. Konferenz Fernerkundung Stand und Entwicklungstendenzen, Fernerkundung für die Umweltüberwachung. Potsdam, 28-31 Mai 1991, Zentralinstitut für Physik der Erde, Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr 118, Teil 2, Potsdam, str. 329-338.
- Olędzki J.R., 1992: *Wpływ wybranych komponentów geośrodowiska na zróżnicowanie fototonu wielospektralnych obrazów satelitarnych*. Fotointerpretacja w geografii, T. 22, str. 9-55.

- Rees W.G., 1990: *Physical Principles of Remote Sensing*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.
- Sabins F.F., 1987: *Remote sensing Principles and interpretation*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Siegel H., Schmidt Th., Seifert T., 1991: *Nachweis von Küstenabfluß in der Kombination von Schiffsmessungen und Fernerkundungsdaten*. W: 6. Konferenz Fernerkundung Stand und Entwicklungstendenzen, Fernerkundung für die Umweltüberwachung. Potsdam, 28-31 Mai 1991, Zentralinstitut für Physik der Erde, Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr 118, Teil 2, Potsdam, str. 289-301.
- Słownik fizyczny*, 1984: Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Stokes B.E.D., 1937: *Report of A.I.M.E. aviation committee for year 1963-1937*. Am. Inst. Min. Met. Trans., Mining and Mining Geology, vol. 126.
- Swain P.H., Davis S.M., 1978: *Remote sensing: The Quantitative Approach*. Mc Graw Hill, London, New York.
- Szász G., 1991: *Die Anwendung der Spektrophotometrie in der Fernerkundung*. W: 6. Konferenz Fernerkundung Stand und Entwicklungstendenzen, Fernerkundung für die Umweltüberwachung. Potsdam, 28-31 Mai 1991, Zentralinstitut für Physik der Erde, Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr 118, Teil 2, Potsdam, str. 339-352.
- Tołczelnikow Ju.S., 1974: *Opticzeskoje swojstwa landszafta, primienitielno k aerosiomkie*. Nauka, Leningrad.
- Wasiliew L.N., Mazikow W.M., Jermoszkina M.A., Guzienko A.A., 1990: *Kompleksnyje aerokosmiceskije ekspierimienty dlja izuczenija geosistem*. W: *Kosmiceskije metody izuczenija biosfiry*. Praca zbiorowa pod redakcją L.N.Wasiliewa, Akademiya nauk SSSR, Komissija po izuczeniju prirodnich riesursow s pomoszczju kosmiceskich sriedstw, Institut geografii, Nauka, Moskwa, str. 30-36.
- Zajcew J.A., Muchina Ł.A., 1966: *Primienienije cwiethoj i spektralnoj aerofotosjomki w geologiczeskich cielach*. Izdatielstwo MU, Moskwa.

Summary

Basic photometric notions were discussed in the article; they were followed by presentation of photometric and radiometric analysis in geology, vegetation and soil studies, environmental monitoring and analysis of landscape structure. Main points of the article can be summarized in the form of below given conclusions.

Electromagnetic energy emitted by Sun in the main source of optical properties of geographic environment.

As a result of interaction with the earth surface the energy is selectively absorbed, reflected and scattered, hence enabling to record differentiated image of geographic environment with the use of proper materials and instruments.

There are the following optical characteristics of environment: albedo, spectral albedo, brightness coefficient, spectral brightness coefficient, spectral reflectance curves, brightness contrast, brightness range; in case of photographic materials — optical density and transmission, as well as various modifications of these parametres.

Examinations of spectral albedo and reflectance were mainly developed

in geology, vegetation and soil studies and lately in monitoring environmental pollution.

Theoretical basis for analysing optical properties of typological landscape elements were developed by J.S.Tolczelnikov (1974).

Studies of radiometric properties for the selected spectral bands were developed, as soon as methodical basis of classification of satellite images had been prepared. These methods give differentiation of optical properties of particular environmental elements, as well as they allow to prepare thematic maps on the basis of spectral signatures.

Above mentioned research problems can be determined as "photometry of geographic environment" or more generally "radiometry of geographic environment".

Translation: Zbigniew Bochenek

Maszynopis złożono w redakcj: 1992.05.19

Czy już wstąpiłeś do

KLUBU TELEDETEKЦИИ ŚRODOWISKA PTG ?

Członkostwo w Klubie zapewni Ci bezpłatne otrzymywanie czasopisma FOTINTERPRETACJA W GEOGRAFII, a pozostałe wydawnictwa Polskiego Towarzystwa Geograficznego otrzymasz z 20% rabatem. Napisz do nas lub zadzwoń, a przyślemy Ci

DEKLARACJĘ WSTĄPIENIA DO KLUBU TELEDETEKЦИИ ŚRODOWISKA

Nasz adres:

KLUB TELEDETEKЦИИ ŚRODOWISKA PTG
ul. Krakowskie Przedmieście 30,
00-927 Warszawa
tel. 200-381 wew. 654; 26-17-94

