

WSPÓŁCZYNNIKI ODBICIA SPEKTRALNEGO GLEB W PASMACH PRACY SATELITY LANDSAT

WSTĘP

Współczynnik odbicia spektralnego (R — *reflectance*) oblicza się ze stosunku ilości promieniowania słonecznego odbitego przez powierzchnię w określonym przedziale długości fali do ilości promieniowania padającego na tę powierzchnię od Słońca (w tym samym przedziale długości fali):

$$R \text{ ‰} = \frac{E_r}{E_s} \cdot 100$$

Z definicji wynika, że współczynnik ten można mierzyć tylko w terenie, gdyż częścią składową pomiaru jest energia idąca od Słońca. Nie należy mylić go ze współczynnikiem jasności (ogólnej lub spektralnej) i pojęciem „albedo”. W przypadku współczynnika jasności porównanie wykonuje się nie w odniesieniu do Słońca, lecz do jasności powierzchni matowej idealnie rozpraszającej, tak samo oświetlonej jak badana powierzchnia. Natomiast termin „albedo” określa stosunek ilości promieniowania widzialnego (cały zakres) odbitego do ilości promieniowania padającego na dane ciało. Przykładowo albedo dla Ziemi jako planety wynosi 0,34.

W fotointerpretacji ważne są nie tylko wartości współczynników odbicia spektralnego lub współczynników jasności spektralnej i ich obrazy — krzywe spektrofotometryczne; istotne znaczenie mają również różnice „odpowiedzi spektralnej” poszczególnych obiektów. Dlatego oba typy pomiarów znalazły zastosowanie, chociaż z punktu widzenia automatyzacji identyfikowania obiektów najcenniejsze są pomiary współczynników odbicia spektralnego z wysokości, na której wykonuje się rejestrację, i w tym samym czasie co rejestracja.

POMIAR WSPÓŁCZYNNIKÓW ODBICIA RADIOMETREM EXOTECH

Spektroradiometrem Exotech 100 (produkcji USA) mierzy się odpowiedź spektralną bezpośrednio w terenie lub z pokładu samolotu. Cztery filtry umożliwiają pomiar w pasmach: 500 nm—600 nm, 600 nm—700 nm, 700 nm—800 nm i 800 nm—1100 nm, a więc takich jak w systemie wielospektralnym satelity LANDSAT. Można mierzyć energię odbitą od obiektów i energię idącą bezpośrednio od Słońca.

Zależnie od warunków pomiaru stosuje się zróżnicowany kąt otwarcia (kąt „widzenia”) aparatu:

15° — pomiar na gruncie,

1° — pomiar z samolotu,

2 π steradianów — pomiar energii idącej od Słońca.

Pomiar na gruncie można wykonać ze statywu lub z ręki, zbliżając radiometr do wybranego obiektu. Przy pomiarze z samolotu system soczewek sprowadza pole widzenia do kwadratu 80 m \times 80 m na gruncie. Pomiar energii słonecznej wykonuje się, obracając radiometr obiektywem ku Słońcu.

W każdym paśmie istnieją cztery zakresy czułości, pozwalające wykonać odczyt w najkorzystniejszej wartości strumienia energetycznego. Kalibrację radiometru w każdym z kątów rozwarcia przeprowadza się przez porównanie z promieniowaniem równoważnego źródła promieniowania.

Radiometr może pracować w temperaturze od -20°C do +50°C, przy wilgotności względnej 0%/o—95%/o, na wysokościach 0 m—30 km, w środowisku nawet narażonym na wibracje i wstrząsy; ciężar całkowity 2,3 kG (fot. 1, 2).

Ponieważ dysponowano radiometrem zaledwie kilka dni, a tylko dwa z nich charakteryzowało wystarczająco małe pokrycie chmurami, wykonano w pierwszym przybliżeniu pomiar współczynników odbicia tylko dla pięciu gleb:

- gleby płowej właściwej, wytworzonej z pyłu wodnego pochodzenia,
- gleby płowej właściwej, wytworzonej z lessu,
- czarnej ziemi właściwej, wytworzonej z pyłu wodnego pochodzenia,
- czarnoziemiu zdegradowanego wytworzonego z lessu,
- rędziny gipsowej,

oraz w najprostszych kombinacjach czynników wpływających na wielkość współczynników odbicia.

Starano się uwzględnić trzy główne czynniki, od których zależy wygląd powierzchni gleby i zdolność odbijania promieniowania słonecznego:



Fot. 1. Pomiar radiometrem Exotech
Phot. 1. Measurement by Exotech Radiometer

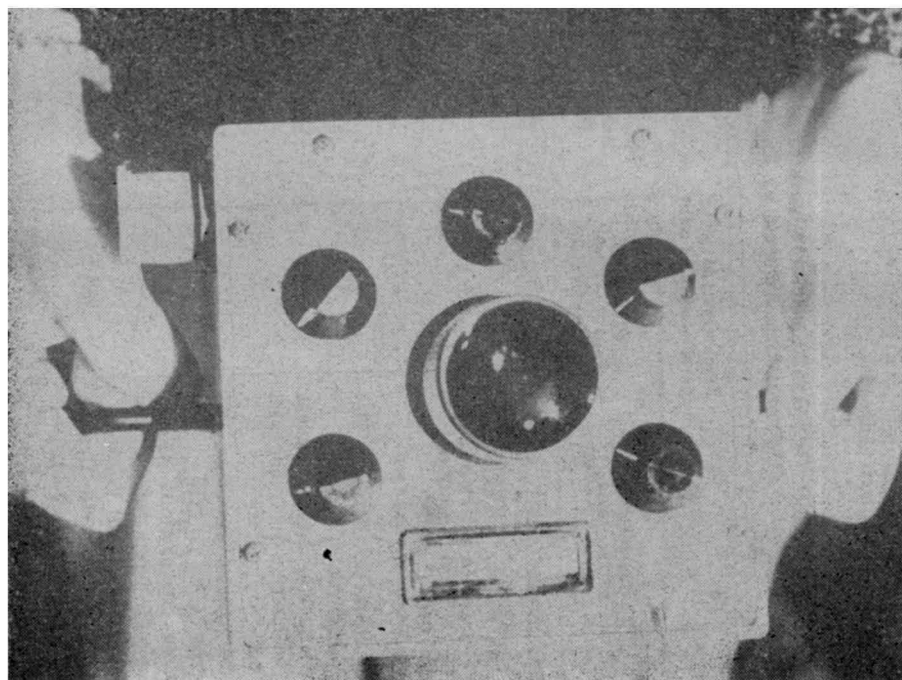
strukturę gleby, wilgotność, zawartość próchnicy. Ze względu na strukturę (zgrużlenie) gleby wyróżniono:

- a) powierzchnię wzruszoną (oraną, bronowaną) co najmniej trzy tygodnie przed pomiarem, o różnym stopniu rozmycia deszczem,
- b) powierzchnię wzruszoną bezpośrednio przed pomiarem, o strukturze jak po świeżej orce, zgrużloną,
- c) powierzchnię gładką, odkrytą na głębokości 5 cm bezpośrednio przed pomiarem.

W przypadku wilgotności zadowolono się rzeczywistymi różnicami występującymi w profilu. Powietrznie sucha, jednocentymetrowa warstwa pokrywowa miała wilgotność 3—5 g H₂O/100 g gleby. Na głębokości 5 cm wilgotność wynosiła już około 15 g H₂O/100 g gleby. Przy szerzej zakrojonym eksperymencie możliwe jest stopniowe nawilżanie gleby do założonej wartości i wykonywanie pomiarów w przedziałach wilgotności masy glebowej znacznie mniejszych.

Gleby płowe mają niewielką ilość próchnicy i tym samym jasnoszarą barwę poziomu wierzchniego. Czarnoziem, czarna ziemia i rędzina gipsowa zawierają ponad 3% próchnicy i wykazują ciemnoszarą lub szarobrunatną barwę poziomu wierzchniego.

Ponieważ na skutek pogłębionej orki oraz erozji odsłaniają się na powierzchni głębsze poziomy glebowe, wykonywano pomiary nie tylko dla poziomu próchnicznego, lecz także dla poziomów głębszych. Wyniki pomiarów zamieszczono w tab. 1 i na rys. 1. Pomiary przeprowadzono w dniach 5—9 września 1976 roku w godzinach południowych. Zachmurzenie typu cumulus wynosiło 2/8—3/8. Jedna seria pomiarów trwała około minuty, można więc było bez pośpiechu wykonać pomiar między przejściem jednej i drugiej chmury.



Fot. 2. Czołowa strona aparatu Exotech
Phot. 2: Frontal part of the Exotech Radiometer

Wyniki pomiarów spektrometrem Exotech i charakterystyka gleb
Spectral Measurements by Exotech Radiometer and the Characteristics of Soil

Charakterystyka gleby (Characteristics of soil)				Współczynniki odbicia (Reflectivities)			
Stan powierzchni (State of the surface)	Wilgotność (Humidity) [G H ₂ O/100 G gleby (of soil)]	Próchnica (Humus) [%]	Barwa według Atlasu Mansella (Colour, acc. to Mansell's Atlas)	500 nm— —600 nm	600 nm— —700 nm	700 nm— —800 nm	800 nm— —1100 nm
1	2	3	4	5	6	7	8
A. GLEBA PŁOWA WŁAŚCIWA WYTWORZONA Z UTWORU PYŁOWEGO POCHODZENIA WODNEGO, MORY KOŁO WARSZAWY							
1. Wyschnięta powierzchnia gle- by zbronowanej	2,6	1,33	2,5Y 7/2	25,0	33,3	37,9	35,7
2. Powierzchnia gładka, świeża po odsłonięciu na głębokości 5 cm	14,2	1,33	10YR 5/3	23,7	30,5	37,9	35,7
3. Gleba świeża, struktura po- wierzchni jak po orce	14,1	1,33	10YR 5/3	12,5	15,2	18,9	18,6
4. Poziom przemywania A ₂ na głębokości 25 cm—35 cm, po- wierzchnia gładka	12,7	0,29	10YR 6/3	28,7	38,1	47,4	39,3
5. Poziom wymywania B _t na głębokości 35 cm—80 cm, po- wierzchnia gładka	17,4	0,27	10YR 5/6	25,0	34,3	36,8	35,7

1	2	3	4	5	6	7	8
6. Poziom próchniczny 5 cm— 25 cm), pomiar na gładkiej pionowej ścianie profilu	14,2	1,33	10YR 5/3	20,0	26,2	31,6	30,4
B. GLEBA PŁOWA WŁAŚCIWA WYTWORZONA Z LESSU (MIECHÓW)							
7. Powierzchnia erodowana, ubita deszczem, wyschnięta, spę- kana	3,4	0,76	10YR 7/3	32,8	41,7	43,2	43,3
8. Powierzchnia odsłonięta na głębokości 5 cm, świeża, zgru- żlona	14,6	0,76	10YR 6/4	11,4	17,6	19,1	20,8
C. CZARNA ZIEMIA WŁAŚCIWA WYTWORZONA Z PYŁU WODNEGO POCHODZENIA (BŁONIE KOŁO WARSZAWY)							
9. Powierzchnia sucha, zgrużlo- na	4,2	4,14	10YR 4/1	6,2	7,6	8,9	9,6
10. Powierzchnia sucha, gładka	4,2	4,14	n.o.	12,5	13,3	18,7	20,0
11. Poziom próchniczny na głę- bokości 20 cm, powierzchnia gładka	16,5	4,10	10YR 2,5/1	5,8	6,7	8,2	9,5
12. Poziom próchniczny na głę- bokości 20 cm, struktura po- wierzchni jak po orce	16,5	4,10	10YR 2,5/1	3,8	5,3	6,6	8,2
13. Poziom A ₁ C na głębokości 60 cm, powierzchnia gładka	6,6	0,31	10YR 7/3	16,4	18,6	18,2	16,6
D. CZARNOZIEM ZDEGRADOWANY WYTWORZO- NY Z LESSU (OPATKOWICE KOŁO KRAKOWA) PROFIL							

1	2	3	4	5	6	7	8
W DOLNEJ CZĘŚCI STOKU, ŚLADY NAMYWANIA							
14. Powierzchnia po podorywce, ubita deszczem, wyschnięta	2,8	3,28	10YR 5/2	14,3	18,4	24,2	25,8
15. Poziom próchniczny na głębokości 5 cm, świeży, powierzchnia gładka	18,3	3,28	10YR 3/2	5,3	7,2	10,5	11,6
16. Poziom próchniczny na głębokości 5 cm, świeży, powierzchnia zgrużłona	18,3	3,28	n.o.	4,2	5,5	7,9	9,5
17. Jak 15, w cieniu	18,3	3,28	n.o.	1,0	2,3	1,4	2,1
E. CZARNOZIEM ZDEGRADOWANY WYTWORZONY Z LESSU (OPATKOWICE KOŁO KRAKOWA. TEREN PŁASKI)							
18. Powierzchnia gładka (ujędzona na zawrotach), sucha	2,8	3,38	10YR 5/2	12,7	16,8	22,3	23,1
19. Poziom próchniczny na głębokości 25 cm, świeży	20,0	2,36	7,5YR 3/1	4,7	6,7	9,5	11,8
20. Poziom próchniczny na głębokości 50 cm, jasne plamy lessu, powierzchnia gładka	12,1	1,53	10YR 3/2	6,2	8,6	12,4	14,4
21. Less ze śladami próchnicy na głębokości 80 cm, powierzchnia gładka	7,8	0,38	10YR 7/6	20,1	31,8	36,3	36,7
F. RĘDZINA GIPSOWA (WIŚLICA)							
22. Poziom próchniczny na głębokości 5 cm, struktura jak po orce	17,4	3,45	10YR 2,5/1	2,6	2,7	3,7	4,1

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Dotychczasowe pomiary współczynników jasności i współczynników odbicia [7, 8] oraz wyniki własne utwierdzały nas w przekonaniu, że w miarę zwiększania się wilgotności gleby maleje ilość energii odbijanej. Z pewnym zaskoczeniem przyjęliśmy więc krzywe 1, 2 i 3 z rys. 1 (gleba płowa wytworzona z pyłu). W przypadku krzywych 1 i 2 wilgotność masy glebowej różni się prawie o 12%, a w przypadku krzywych 2 i 3 wilgotność masy glebowej jest taka sama. Nie ma różnic w zawartości próchnicy, bo jest to ten sam poziom próchniczny.

Wniosek, na razie dość ostrożnie, bo tylko na podstawie pomiaru dla jednego typu gleby, można by sformułować następująco: w glebach o stosunkowo niedużej zawartości próchnicy, mających jasną powierzchnię, zmiana współczynnika odbicia spektralnego w zakresie promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni zależy w większym stopniu od stanu zgrużlenia gleby niż od wilgotności.

Nieco inną zależność obserwuje się w glebach o poziomie próchnicznym ciemnoszarym i czarnym (czarna ziemia, czarnoziem). Powierzchnie suche i gładkie, na przykład ujeżdżone na zawrotach, rozmyte deszczem powierzchnie zbronowane, są wyraźnie jaśniejsze niż suche powierzchnie zgrużlone. Jednakże powierzchnia sucha zgrużlona ma prawie taki sam współczynnik odbicia jak wilgotna powierzchnia gładka i wilgotna powierzchnia zgrużlona.

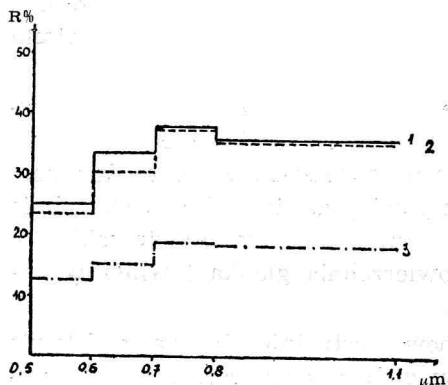
Można więc wysnuć wniosek, znowu ostrożnie, bo na podstawie nielicznych pomiarów, że w przypadku gleb o zawartości próchnicy powyżej 3% współczynniki odbicia spektralnego są jednakowo małe, niezależnie od tego, czy powierzchnia gleby jest sucha zgrużlona, świeża gładka, czy świeża zgrużlona. Głównym czynnikiem decydującym o małej ilości promieniowania odbitego jest znaczna zawartość próchnicy.

Na glebach zgrużlonych znaczną część „pola widzenia” spektroskopu stanowią powierzchnie zacięnione. Różnica w ilości energii dochodzącej do spektroskopu od powierzchni zacięzionych (tab. 1, pozycja 17 i rys. 4, krzywa 17) i oświetlonych jest znacznie większa dla gleb o jasnych powierzchniach niż dla gleb o ciemnych poziomach próchnicznych. Dlatego struktura powierzchni ma istotne znaczenie w glebach małopróchnicznych, natomiast mniejsze w glebach próchnicznych.

Jeszcze parę zdań wyjaśnienia do pozycji 10, 14 i 18 w tab. 1. Przykładki 10 i 18 nie są charakterystyczne dla przeciętnego stanu suchej powierzchni czarnoziemiu i czarnej ziemi. Są to fragmenty pola, gdzie zgrużlenie zniszczone jest kołami pojazdów. W przypadku 14 powierzchnia nie jest tak gładka jak w dwóch poprzednich, lecz mimo to jaśniejsza na skutek rozmycia przez deszcz. Wynika to z faktu, że w glebach o nie wysyconym kompleksie sorpcyjnym (a taką jest już czarnoziem zdegra-

dowany) zachodzi rozmycie gruzełków i selektywne przemieszczanie cząstek glebowych. Frakcje najdrobniejsze, najzasobniejsze w pigmenty spływają po powierzchni i do mikroobniżeń, a na wierzchu pozostają częściowo pozbawione otoczek koloidalnych ziarna kwarcu rozjaśniające powierzchnię.

Powierzchnia gleb na większym obszarze nigdy nie będzie jednorodna ani pod względem wilgotności (powietrznie sucha, świeża, wilgotna), ani zgrużenia (gładka, rozmyta, zgrużona po orce). Dlatego zależnie od kalendarza prac rolniczych i warunków meteorologicznych w momencie rejestracji raz bliższa będzie charakterystyka gleb podana na rys. 6, drugi raz na rys. 8. Zważywszy, że jednocentymetrowa powierzchnio-wa warstwa gleby osiąga wilgotność około 40% po 2—3 dniach od deszczu, większe zastosowanie będą miały krzywe z rys. 6.



Rys. 1. Gleba płowa wytworzona z pyłu pochodzenia wodnego:

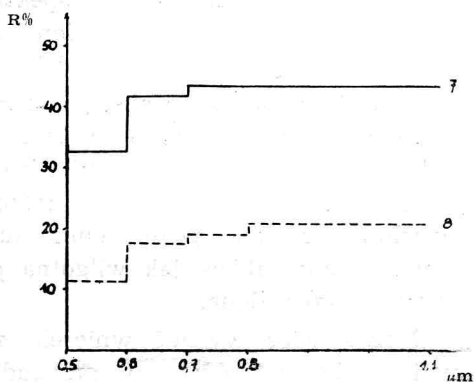
1 — sucha powierzchnia gleby zbronowanej, 2 — powierzchnia świeża, gładka, 3 — powierzchnia świeża, zgrużona

Numeracja wykresów cyframi arabskimi zgodna z numeracją pozycji w tab. 1.

Fig. 1. Lésivé soil formed of silt of water origin:

1 — dry surface of harrowed soil, 2 — fresh, smooth surface, 3 — fresh, rough surface

The numbers from 1 to 22 appearing in Fig. 1 through 5 correspond with the same numbers in Table 1.



Rys. 2. Gleba płowa wytworzona z lesu:

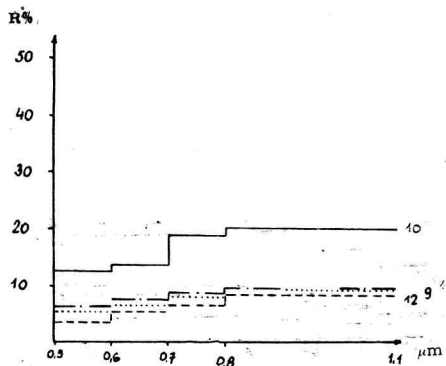
7 — powierzchnia sucha, ubita deszczem, 8 — powierzchnia świeża, zgrużona

Fig. 2. Lésivé loess soil:

7 — dry surface compensated by rainfall, 8 — fresh, rough surface

Za charakterystyczną powierzchnię gleb płowych uważać należy powierzchnię słabo zgrużoną i znacznie rozmytą (pozycje 1 i 7 w tab. 1), dla czarnoziemów zdegradowanych — średnio zgrużoną i częściowo rozmytą (pozycja 14 w tab. 1), dla czarnych ziem właściwych i innych gleb o nasyconym kompleksie sorpcyjnym — powierzchnię zgrużoną o mało widocznym rozmyciu struktury (pozycja 9 w tab. 1).

Skatalogowanie gleb Polski według odpowiedzi spektralnej z uwzględ-

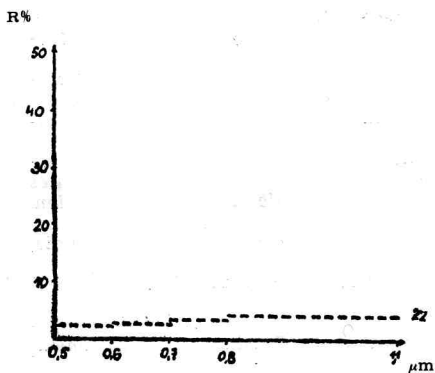


Rys. 3. Czarna ziemia wytworzona z pyłu pochodzenia wodnego:

9 — powierzchnia sucha, zgrużlona, 10 — powierzchnia sucha, gładka, 11 — powierzchnia świeża, gładka, 12 — powierzchnia świeża, zgrużlona

Fig. 3. Black earth formed of silt of water origin:

9 — dry, rough surface, 10 — dry, smooth surface, 11 — fresh, smooth surface, 12 — fresh, rough surface

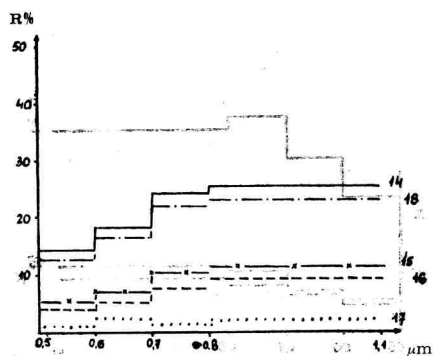


Rys. 5. Rędzina gipsowa:

22 — poziomą prócznicznym, świeży, struktura jak po orce

Fig. 5. Gypsum rendzina:

22 — fresh humus horizon, structure as after ploughing

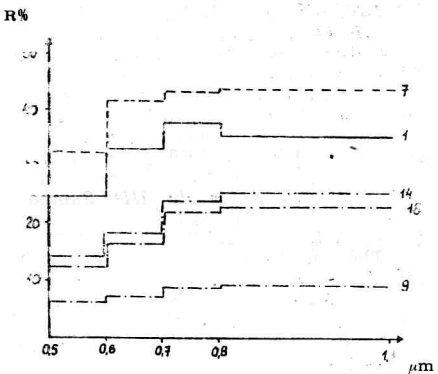


Rys. 4. Czarnoziem zdegradowany, wytworzony z lessu:

14 — powierzchnia po podorywce, sucha, ubita deszczem, 15 — powierzchnia świeża, gładka, 16 — powierzchnia świeża, zgrużlona, 17 — powierzchnia świeża, gładka, w cieniu, 18 — powierzchnia sucha, gładka

Fig. 4. Degraded loess-formed chernozem:

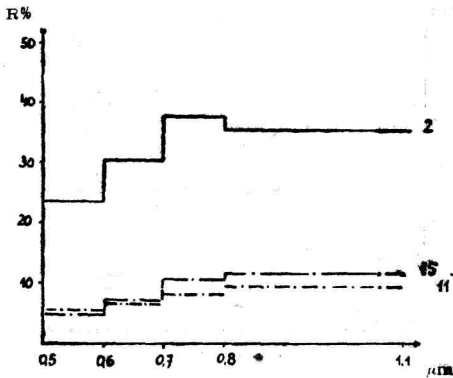
14 — skimmed dry surface compensated by rainfall, 15 — fresh, smooth surface, 16 — fresh, rough surface, 17 — fresh, smooth surface, shadowed, 18 — dry, smooth surface



Rys. 6. Poziomy próczniczne, powierzchni suche

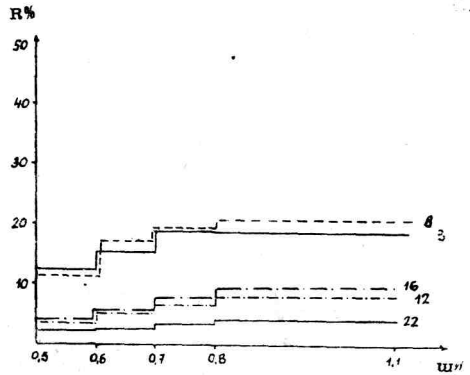
Fig. 6. Humus horizons, dry surfaces

nieniem wszystkich czynników modyfikujących wymaga jeszcze wiele pracy. Komunikat niniejszy przedstawia tylko jedną z możliwości. Porównanie przedstawionych tu pomiarów z rzeczywistą ilością energii zarejestrowaną dla tych samych gleb w poszczególnych pasmach satelity LANDSAT będzie przedmiotem dalszych opracowań.



Rys. 7. Poziomy próchniczne, świeże, powierzchnia gładka

Fig. 7. Fresh humus horizons, smooth surface



Rys. 8. Poziomy próchniczne, świeże, powierzchnia zgrubiona.

Fig. 8. Fresh humus horizons, rough surface

LITERATURA

- [1] BAUMGARDNER M. F., KRISTOF F., JOHANSEN C. J., ZACHARY A., 1969: *Effects of organic matter on the multispectral properties of soils*, LARS Information note 030570, Purdue University.
- [2] BIAŁOUSZ S., OSZMIANŃSKA M., 1977: *Krzywe spektrofotometryczne niektórych gleb Polski*, [w:] *Fotointerpretacja w geografii*, t. 10, s. 75—81, Warszawa.
- [3] CONOLITH H. R., 1970: *The spectral reflectance of American Soils*, „*Photogrammetric Engineering*”, n° 9.
- [4] GIRARD M. C., 1970: *Interprétation de quelques facteurs pédologiques à partir de photographies aériennes, en relation avec différentes saisons et différentes émulsions*. Actes du III^e Symposium International de Photo-Interprétation, Dresden, s. 925—947.
- [5] GANNEAU-GIRARD C. M., 1975: *Utilisation de la télédétection en agronomie*, Thèse à l'Université Paris-Sud.
- [6] KRISTOF J. S., 1971: *Preliminary multispectral studies of soils*, „*Journal of Soil and Water Conservation*”, nr 1—2.
- [7] SHOCKLEY S. i inni, 1962: *Identifying soil parameters with an infrared spectrophotometer*. Proceedings 2nd Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor.

STANISŁAW BIAŁOUSZ, MICHEL C. GIRARD

SOILS SPECTRAL REFLECTANCE IN LANDSAT BANDS

Summary

Measurements of the spectral reflectance of five soils typical leached soil (two measures), black soil, degraded chernozem, rendzine on gypse, have been made with an Exotech radiometer.

This radiometer uses the following channels: 500 nm—600 nm, 600 nm—700 nm, 700 nm—800 nm and 800 nm—1100 nm, which are those of LANDSAT.

Some soils characteristics have been studied, such as the surface roughness, humidity and organic matter content.

For soils containing less than 1,5% of organic matter, surface roughness is more important than humidity.

For soils containing more than 3% of organic matter, the reflectance is low and independent of surface roughness and humidity.

STANISŁAW BIAŁOUSZ, MICHEL C. GIRARD

RÉFLECTANCE SPÉCTRALE DES SOLS DANS LES BANDES DE TRAVAIL DU SATELLITE LANDSAT

R é s u m é

De mesures de réflectance spectrale de cinq sols ont été faites avec un radiomètre Exotech: sol lessivé typique (deux mesures), terre noire, chernozem dégradé, rendzine à gypse.

Le radiomètre travaille dans les bandes: 500 nm—600 nm, 600 nm—700 nm, 700 nm—800 nm et 800 nm—1100 nm qui sont celles du système multispectral du satellite LANDSAT.

Les caractéristiques des sols qui ont été retenues sont: la rugosité de la surface, l'humidité et la teneur en matière organique.

Pour les sols contenant moins de 1,5% de matière organique, l'influence de la rugosité de la surface est plus importante que celle de l'humidité.

Pour les sols contenant plus de 3% de matière organique, la quantité d'énergie réfléchie est faible et indépendante de la rugosité ainsi que de l'humidité.