

KATARZYNA DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA

Wykorzystanie metod teledetekcyjnych do badania wilgotności gleby na obszarze testowym Sadłowice i Grabów

Zarys treści. W artykule omówiono wyniki badań wilgotności gleby metodami teledetekcji zarówno na polach odsłoniętych, jak również pokrytych roślinnością. Przedstawiono zależność pomiędzy wilgotnością gleby a jej tonem na zdjęciu wielospektralnym oraz jej temperaturą zarejestrowaną na zdjęciu termalnym. Przeprowadzono również badania nad zależnością pomiędzy wilgotnością gleby w strefie korzeniowej a temperaturą radiacyjną roślin zarejestrowaną trzykrotnie w ciągu dnia.

Wilgotność gleby odgrywa znaczną rolę w wielu gałęziach gospodarki. Decyduje ona między innymi o wielkości produkcji rolnej oraz w znacznym stopniu wpływa na przebieg cyklu hydrologicznego mającego duże znaczenie w bilansie wodnym i wymianie energii cieplnej.

Jak dotąd nie istnieje dokładna metoda określenia wilgotności gleby, a powszechnie stosowane metody laboratoryjne lub sondowanie elektrooporowe i neutronowe dają jedynie punktowe wyniki zmuszając do ekstrapolacji pomiarów niekiedy na duże powierzchnie, co daje w rezultacie nie zawsze prawdziwy obraz rozkładu wilgotności gleby. Warto przy tym zaznaczyć, że wilgotność gleby jest zjawiskiem szybkozmiennym, a stosowane metody są zbyt pracochłonne aby za ich pomocą można było badać dynamikę procesów wilgotnościowych zachodzących w glebie.

W tej sytuacji do określenia stanu wilgotności gleby podejmuje się próby zastosowania metod teledetekcji. Z licznych prac przeprowadzonych w różnych ośrodkach badawczych wynika, że najbardziej przydatne do tego celu są metody pasywne wykorzystujące promieniowanie mikrofalowe. Z uwagi na brak możliwości zastosowania tych metod w Polsce, w Ośrodku Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych przy współpracy Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa podjęto prace nad określeniem przydatności techniki termowizyjnej, w połączeniu z fotografią wielospektralną, do oceny wilgotności przypowierzchniowej i korzeniowej warstwy gleby, mających decydujące znaczenie w procesie wzrostu i plonowania roślin uprawnych.

Prace eksperymentalne przeprowadzono na terenie dwóch poligonów

badawczych: Sadłowice i Grabów należących do Zakładów Doświadczalnych Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach.

Założenia badawcze

Podstawowym założeniem przyjętym w pracy było istnienie zależności między wilgotnością gleby a jej termiką i tonem na obrazie fotograficznym.

Uwzględniając dobową zmienność temperatury gleby wynikającą z nagrzewania promieniami słonecznymi, a następnie ochładzania jej powierzchniowej warstwy, przyjęto konieczność obrazowania termalnego w trzech porach doby, a mianowicie: — przed wschodem słońca, w godzinach południowych i po zachodzie w celu uchwycenia inercji termicznej gleby, która to wielkość w dużym stopniu zależy od wilgotności gleby.

Na ton obrazu gleby odfotografowanej na zdjęciu lotniczym w znacznej mierze wpływa wilgotność, jednak jej dobowe zmiany są tak niewielkie, że film fotograficzny nie jest ich w stanie uchwycić, stąd też zdecydowano wykonać zdjęcia raz dziennie, synchronicznie z południowym obrazowaniem termalnym. Spośród istniejących technik fotografii lotniczej wybrano technikę fotografii wielospektralnej, chcąc otrzymać obraz powierzchni gleby w różnych długościach promieniowania elektromagnetycznego, w tym także w promieniowaniu podczerwonym najsilniej pochłanianym przez wodę zawartą w glebie.

Na obu poligonach sprawę badania wilgotności gleby komplikuje fakt, że są one obszarami rolniczymi, gdzie już od początku maja uprawy zakrywają powierzchnię gleby i jest ona niewidoczna do obserwacji prowadzonych z pokładu samolotu. Zdecydowano więc poszukać istnienia zależności pomiędzy temperaturą roślin a zawartością wody w glebie w ich strefie korzeniowej. Jeśliby taką zależność wykryto, można byłoby za pomocą lotniczych obrazów termalnych wnioskować pośrednio o wilgotności gleby.

Biorąc pod uwagę sezonowość pokrycia gleby przez rośliny, zdecydowano pierwsze zdjęcia i obserwacje przeprowadzić w momencie, gdy gleby są jeszcze odsłonięte, co na badanym obszarze przypadło w pierwszej połowie maja. Natomiast kolejne obrazowania postanowiono przeprowadzić w pierwszej połowie lipca w warunkach maksymalnego pokrycia gleby przez roślinność.

Przebieg badań

Obrazy termalne były wykonywane skanerem AGA Thermoprofile THP-1 rejestrującym promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie fal o długości 2,0—5,6 μm . Teren zobrazowano trzykrotnie w ciągu doby,

natomiast zdjęcie lotnicze wykonano kamerą wielospektralną w godzinach południowych. Równocześnie z wykonaniem zdjęć lotniczych i obrazów termalnych prowadzono prace naziemne:

— pobierano próbki gleby w 36 punktach na poligonie Sadłowice i w 25 punktach na poligonie Grabów, a następnie laboratoryjnie określono ich wilgotność,

— określono barwę gleby w każdym z tych punktów według tablic „Revised Standard Soil Color Charts” — M. Oyama, H. Takeharda, a następnie w laboratorium sfotografowano je za pomocą kamery wielospektralnej. Wyciągi spektralne uzyskane w paśmie czerwonym i podczerwonym użyto do pomiarów gęstości optycznych, co pozwoliło w sposób liczbowy oznaczyć barwę i odnieść tę wartość do barwy gleby odfotografowanej na zdjęciu,

— oszacowano chropowatość gleby, wykonując zdjęcia fotograficzne powierzchni gleby, na której położono ramę o wymiarach 1 m × 1 m podzieloną na „oczka” o powierzchni 100 cm².

Również chropowatość gleby, która w znacznym stopniu wpływa na ton jej obrazu fotograficznego postanowiono przedstawić w formie liczbowej, chcąc uwzględnić ją w analizie statystycznej. Jako kryterium wyróżnienia klas o różnym stopniu chropowatości przyjęto liczbę bryłek o wielkości większej od 1 cm, przypadającej na powierzchnię 1 dm². Wyróżniono cztery klasy chropowatości gleby, zaliczając do klasy pierwszej te powierzchnie, na których bryłki zajmowały 1% obszaru, do klasy drugiej — 5% obszaru, do klasy trzeciej — 20% obszaru, a do klasy czwartej — 70% obszaru.

Do opracowania statystycznego wzięto również pod uwagę kompleksy rolniczej przydatności gleb, na której leżą poszczególne punkty pomiarowe. Dane te zostały zaczerpnięte z map glebowo-rolniczych w skali 1 : 5000. Zebrane informacje o glebach przedstawiono również w formie liczbowej, wykorzystując w tym celu dane z „Waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski” (IUNG 1981 r.). Waloryzacja ta w sposób liczbowy charakteryzuje poszczególne klasy bonitacyjne i kompleksy przydatności rolniczej gleb. W skali 100-punktowej glebom najlepszym (klasa 1) przypisano wartość 100 punktów. Punktacja ta jest wprawdzie bardzo ogólna niemniej do obliczeń statystycznych wystarczająca.

Po wykonaniu prac terenowych, a także kameralnej interpretacji lotniczych zdjęć wielospektralnych i termalnych przystąpiono do matematycznej analizy otrzymanych wyników i określenia wzajemnej zależności między parametrami charakteryzującymi glebę a jej obrazem na zdjęciach. Analiza statystyczna obejmowała więc obliczenie współczynników korelacji i równań regresji w celu ustalenia zależności pomiędzy wilgotnością gleby na głębokości 0—5, 5—10 cm przyjętą jako zmienną niezależną Y a gęstością optyczną obrazu gleby w zakresie promieniowania czerwonego (x_1), gęstością optyczną obrazu gleby na zdjęciu w podczer-

wieni (x_2), kompleksem glebowym (x_3), barwą gleby na zdjęciu wykonanym w zakresie promieniowania czerwonego (x_4), barwą gleby na zdjęciu wykonanym w podczerwieni (x_5) i wreszcie chropowatością gleby (x_6). Korelacje te określono według równań

$$Y = A_i + B_j + C_k + D_l + E,$$

$$i = x_{1-2} \quad j = x_3 \quad k = x_{4-5} \quad l = x_6$$

Przeprowadzono także obliczenia istotności poszczególnych współczynników regresji wskazujących na zależność zmiennej Y (wilgotność gleby) od zmiennych X , obliczono również odchylenie standardowe zmiennej Y charakteryzujące błąd wyznaczenia wilgotności pomiędzy wartością wilgotności otrzymaną z pomiarów terenowych a uzyskaną w toku obliczeń. Otrzymane wyniki ilustruje tablica 1, z której wynika, że istnieje korelacja pomiędzy wilgotnością gleby na głębokości 0—5 cm a obrazem gleby na zdjęciu, przy czym istotnie na tę korelację wpływa gęstość optyczna i gleba. Z przytoczonej tablicy wynika także, że inne parametry charakteryzujące glebę, jak barwa i chropowatość nie wpływają w istotny sposób na tę korelację.

Tablica 1

Wilgotność (0—5)				
Zakres spektralny	R	S %	Liczba punktów	Istotność
pasmo czerwone	0,87	3,1	61	D, G
pasmo podczerwone	0,90	2,7	61	D, G

R — współczynnik korelacji,
 S — odchylenie standardowe,
 D — gęstość,
 G — gleba.

Dla warstwy gleby na głębokości 5—10 cm nie uzyskano niestety istotnej zależności pomiędzy jej wilgotnością a obrazem na zdjęciu fotograficznym.

Analizie statystycznej poddano także wyniki otrzymane z interpretacji lotniczych obrazów termalnych. Jak już zaznaczono, obrazowanie termalne wykonano w tym samym czasie co zdjęcie wielospektralne, zaistniała więc możliwość porównania wyników otrzymanych za pomocą obu metod i stwierdzenia, która z nich bardziej nadaje się do badania wilgotności gleby.

Na podstawie obrazów termalnych obliczono temperaturę radiacyjną dla poszczególnych punktów terenowych. Wykorzystując obrazy termalne wykonane w ciągu różnych pór doby, obliczono różnice pomiędzy temperaturą radiacyjną gleby w południe i wieczorem oraz pomiędzy temperaturą radiacyjną gleby w południe i rano. Z otrzymanych danych wynika, że temperatura radiacyjna gleby w okresie prowadzenia badań (maj 1982) była wyrównana na całym obszarze, a jej różnice nie przekraczały 1°C. W tym samym okresie różnica wilgotności gleby była dość znaczna i wynosiła 17%. Z uwagi na zbyt małą różnicę temperatury radiacyjnej gleby w różnych porach dnia, zawartą właściwie w dokładności pomiarów, za pomocą lotniczych obrazów termalnych, nie można było przedstawić wiarygodnej korelacji pomiędzy temperaturą radiacyjną a wilgotnością gleby.

Z przeprowadzonych badań wynika, że dla gleb nie pokrytych roślinnością lepsza do określenia wilgotności okazała się metoda fotografii lotniczej wykorzystująca promieniowanie elektromagnetyczne w paśmie czerwonym i podczerwonym.

Inne zjawiska zachodzą, gdy gleba pokryta jest uprawami. Promieniowanie elektromagnetyczne odbijane od gleby, rejestrowane przez czujniki na pokładach samolotów jest tłumione przez roślinność, a zatem na zdjęciu lotniczym nie widać bezpośredniego obrazu gleby, na podstawie którego można byłoby wnioskować o jej wilgotności. Postanowiono więc zastosować obrazy termalne do pomiaru temperatury radiacyjnej roślin i przez badanie ich transpiracji wnioskować o wilgotności gleb.

W wyniku transpiracji roślina oddaje wodę pobraną przez korzenie z gleby, obniżając swoją temperaturę. W przypadku braku dostatecznej ilości wody dostępnej w glebie, roślina znajduje się w warunkach stresowych objawiających się podniesieniem jej temperatury wskutek braku chłodzenia wynikającego ze zmniejszonego parowania. Zatem zróżnicowanie wilgotności gleby wpływa na temperaturę roślin odwzorowaną w postaci zróżnicowanego tonu jej obrazu na zdjęciu termalnym.

W lipcu, podobnie jak w maju, wykonano trzykrotnie w ciągu doby lotnicze obrazy termalne poligonu Sadłowice, na którego polach występowała w większości kukurydza. Poligon Grabów nie mógł być wzięty pod uwagę, ponieważ w okresie wykonywania zdjęć na jego polach prowadzono już akcję żniwną.

Jednocześnie z wykonywaniem zdjęć termalnych na poligonie Sadłowice pobrano próbki gleby w 25 punktach na głębokości 0—5, 5—10, 15—20 cm, a następnie laboratoryjnie określono ich wilgotność. Następnie przystąpiono do matematycznej analizy danych, która polegała na obliczaniu współczynników korelacji i równań regresji dla ustalenia zależności pomiędzy wilgotnością gleby na głębokości 0—5, 5—10, 15—20 cm przyjętą jako zmienną niezależną Y a gęstością optyczną obrazu wykonanego przed wschodem słońca (x_1), kompleksem glebowym (x_2), tem-

peraturą radiacyjną odwzorowanych na tym obrazie (x_3), różnicą pomiędzy temperaturą radiacyjną roślin zarejestrowaną w południe a temperaturą radiacyjną roślin zarejestrowaną przed wschodem słońca (x_4), różnicą pomiędzy temperaturą radiacyjną roślin odwzorowaną na obrazie wykonanym w południe a temperaturą radiacyjną roślin określoną z obrazu wykonanego wieczorem (x_5), gęstością optyczną obrazu zarejestrowanego wieczorem (x_6) a temperaturą radiacyjną roślin obliczoną na podstawie tego obrazu (x_7), różnicą pomiędzy temperaturą radiacyjną roślin zarejestrowaną wieczorem a temperaturą radiacyjną roślin zarejestrowaną przed wschodem słońca (x_8) oraz gęstością optyczną obrazu zarejestrowanego w południe (x_9) i wreszcie temperaturą radiacyjną roślin określoną na podstawie tego obrazu (x_{10}).

Korelacje określono według równań

$$Y = A_i + B_j + C$$

$$i = x_{1,3-10} \quad j = x_5$$

Podobnie, jak przy analizie danych z miesiąca maja, przeprowadzono również obliczenia istotności poszczególnych współczynników regresji i obliczono odchylenia standardowe zmiennej Y . Rezultaty badań ilustruje tabela 2, w której przedstawiono wyniki korelacji pomiędzy wilgotnością gleby na głębokościach 0—5, 5—10, 15—20 cm a różnicą pomiędzy temperaturą radiacyjną zarejestrowaną na obrazie termalnym dziennym a wieczorowym. Na tę korelację istotnie wpływa jedynie różnica temperatury.

Tablica 2

Parametry	Wilgotność (0—5)				Wilgotność (5—10)			Wilgotność (15—20)		
	R	S	I	Liczba punkt.	R	S	I	R	S	I
ΔT_R (Dzień- -Wieczór)	0,80	3,8	T_R	22	0,76	4,7	T_R	0,76	5,0	T_R
ΔT_R (Dzień- -Rano)	0,70	4,2	T_R	22	0,76	4,7	T_R	0,75	5,8	T_R
ΔT_R Wieczór	0,82	3,7	T_R G	22	0,87	3,6	T_R G	0,81	4,7	T_R G

R — współczynnik korelacji,
 S — odchylenie standardowe,
 I — istotność,
 T_R — temperatura radiacyjna,
 G — gleba.

Korelacja istnieje również pomiędzy wilgotnością gleby na wszystkich trzech głębokościach i różnicą pomiędzy temperaturą radiacyjną roślin zarejestrowaną na obrazie termalnym w ciągu dnia a temperaturą roślin obliczoną na podstawie obrazu rannego, jak również pomiędzy wilgotnością gleby a temperaturą radiacyjną roślin obliczoną na podstawie obrazu wieczornego. Należy podkreślić, że przedział zmienności temperatury radiacyjnej obliczonej z obrazu wieczornego jest zbyt mały w porównaniu z przedziałem zmienności wilgotności gleby. Istotna w tej korelacji jest temperatura radiacyjna i gleba.

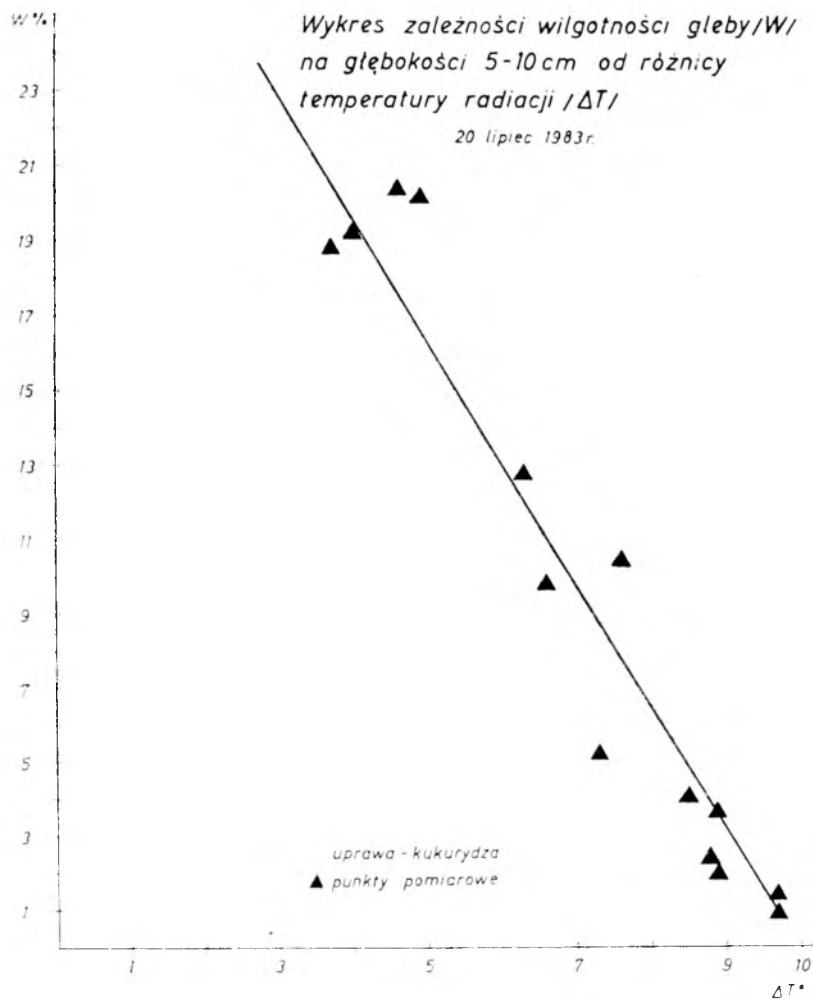
Dla trzech punktów różnica pomiędzy wilgotnością gleby otrzymaną na podstawie pomiarów laboratoryjnych a wilgotnością obliczoną przekraczała dwukrotnie wielkość odchylenia standardowego. Punkty te przy rozważaniach zostały pominięte. Różnica wynika z błędu lokalizacji tych punktów lub z błędu pomiaru wilgotności.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że dla gleb pokrytych roślinnością najlepszym wskaźnikiem wilgotności gleby jest różnica pomiędzy temperaturą radiacyjną obliczoną na podstawie obrazu dziennego a obliczoną na podstawie obrazu wieczornego. Rysunek 1 przedstawia tę zależność. Różnica temperatury radiacyjnej roślin wzrasta wraz ze zmniejszeniem się wilgotności gleby, czyli im większa wilgotność gleby, tym ochłodzenie się (ΔT) pokrywy roślinnej mniejsze.

Z przeprowadzonych badań wynika, że metody teledetekcyjne nie dostarczają wyników dotyczących wilgotności gleby z dokładnością „wagową”. Niemniej jednak za ich pomocą można wnioskować z mniejszą dokładnością o wilgotności gleby lecz na stosunkowo dużym obszarze. Porównując obie zastosowane metody należy zauważyć, że lepsze wyniki to znaczy większą dokładność oszacowania wilgotności gleby uzyskano wykorzystując dwa wyciągi fotografii wielospektralnej — czerwony i podczerwony. Oszacowanie wilgotności gleby na podstawie tego rodzaju materiałów teledetekcyjnych można prowadzić z dokładnością około 3% wilgotności gleby w stosunku do metod laboratoryjnych. Ograniczenia tej techniki są jednak dość poważne, gdyż może być ona wykorzystywana wyłącznie w warunkach, gdy gleby nie są pokryte roślinnością, a zatem tylko w okresie wczesnej wiosny lub późnej jesieni. Można ją więc stosować do oceny stanu wilgotności gleb w momencie rozpoczęcia wiosennego sezonu wegetacyjnego.

Wbrew oczekiwaniom słabsze wyniki osiągnięto w przypadku wykorzystywania obrazów w dalekiej podczerwieni do oceny stanu wilgotności gleb. Ten fakt można tłumaczyć zbyt niskimi temperaturami powietrza i gruntu w czasie obserwacji wiosennych co najprawdopodobniej wpłynęło na wyrównanie kontrastu termicznego między obszarami gleby o różnym stopniu zawilgocenia.

W lecie, gdy wilgotność gruntu szacowano metodą pośrednią przez temperaturę roślin, uzyskano wyniki różne około 5% w stosunku do me-



Rys. 1

toł laboratoryjnych. Jest to dokładność wystarczająca do prowadzenia obserwacji na dużych obszarach, a metoda ta może być uznana jako uzupełniająca obserwacje agrometeorologiczne w skali regionu lub całego kraju. Pozytywne wyniki uzyskane tą metodą pozwalają żywić nadzieję, że satelitarne zdjęcia termalne wykonywane w ciągu dnia i nocy będą mogły być zastosowane do badań wilgotności gleb w skali kraju w okresie całego okresu wegetacyjnego.

L I T E R A T U R A

Dejace J., Mégier J.: *Mapping thermal inertia soil moisture and evaporation from aircraft day and night thermal data*. XIII Symposium on Remote Sensing, Michigan 1979.

Eses J., Jensen J.: *Remote Sensing of agricultural water demand information* — Water Resources Research vol. 14 No 2, 1978.

Meylan P., Musy A.: *Etude de l'humidité du sol et de sa variation par teledetection*. Proceedings — Toulouse 1978.

Recenzował: doc. dr hab. inż. Stanisław Białousz

KATARZYNA DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA

Research on the application of remote sensing for soil moisture analysis

Information on soil moisture is essential for many branches of economic activities. No precise method for the determination of soil moisture has as yet been devised. The commonly applied laboratory tests as well as electric resistance and neutron sounding give values only for the measured points.

Works on the evaluation of applicability of thermovision technique combined with multispectral photography for the estimation of sub-surface and root soil horizons moisture content have been undertaken by the Remote Sensing Centre of the Institute of Geodesy and Cartography in Wasaw and the Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Puławy.

The experiments have been carried out on two test sites: Sadlowice and Grabów.

Assumptions

Interdependence has been assumed between soil moisture and temperature and the tonal rendition of soil on the image. In order to account for the diurnal temperature cycle the acquisition of thermal images has been planned for three terms during a day: before sunrise, at noon and after sunset. This approach should ensure recording of data on soil thermal inertia which depends on soil moisture.

Experiments

The imagery was acquired with the use of thermal camera registering electromagnetic radiation within the range 2.0—5.6 micrometers. Multispectral image of the soil surface was acquired simultaneously with the noon thermal measurement. All the above measurements were performed for bare soil. Ground truth on soil moisture, colour and coarseness was gathered simultaneously with the acquisition of aerial data. Information concerning the genetic type of soil and its capability taxation comple-

mented the data set. Numerical values were assigned to all the collected data. Field works and laboratory interpretation of aerial multispectral and thermal images were followed by mathematical analysis of results. The analysis was to reveal interdependences between various parameters characterizing soil and its rendition on images. Correlation coefficients and regression equations were calculated in order to establish interdependences between soil moisture (Y) at two levels: (0—5 cm and 5—10 cm) and:

X_1 — optical density of soil on image acquired in the red part of the spectrum,

X_2 — optical density of soil on image acquired in the infrared part of the spectrum,

X_3 — soil type,

X_4 — soil colour,

X_5 — soil coarseness.

Soil moisture was calculated according to the following formula:

$$Y = A_i + B_j + C_k + D_l + E,$$

A, B, C, D, E — coefficients of the regression equation,

$$i = X_{1-2}, \quad j = X_3, \quad k = X_4, \quad l = X_5$$

The calculations have confirmed correlations between soil moisture in the layer 0—5 cm and the rendition of soil on the image. Optical density and soil type significantly influence soil moisture, whereas such parameters as soil colour and coarseness are of negligible importance.

Statistical analysis was also performed on the results of interpretation of thermal aerial imagery. Radiation temperature was calculated from these images for individual terrain points. The differences in soil radiation temperatures between noon and evening and between noon and morning were calculated on the basis of multitemporal thermal images. The soil radiation temperatures were uniform for the entire test area during the experiment period (May 1982); the differences did not exceed 1°C.

Large (up to 17%) differences in soil moisture were recorded in the area for the same period. No significant correlation between radiation temperature and soil moisture could be documented because of very small amplitudes of soil radiation temperature.

Our experiments have proven that aerial photography taken in the red and infrared ranges of the spectrum is superior to thermal images for research on soil moisture in case of bare soils.

During summer, when the soil is partially covered by vegetation the electromagnetic radiation reflected by the soil is in part absorbed by vegetation. The sensors installed on the flying platform register the image which carries information on both soil and vegetation.

Radiation temperature of plants has been calculated from thermal images; transpiration data served for the assessment of soil moisture. Aerial thermal images have been acquired during the month of July, three times a day. Corn was then growing on the majority of surveyed plots. Soil moisture has been measured at three levels: 0—5 cm, 5—10 cm, and 15—20 cm, in 25 locations. Correlation coefficients and regression equations have been calculated to assess interdependences between soil moisture at the depths: 0—5 cm, 5—10 cm and 15—20 cm (Y) and:

- X_1 — optical density of the image acquired before sunrise,
- X_2 — soil type,
- X_3 — radiation temperature of plants calculated from the morning image,
- X_4 — difference between radiation temperatures of plants registered at noon and before sunrise,
- X_5 — difference between radiation temperatures of plants registered at noon and after sunset,
- X_6 — optical density of the image acquired in the evening,
- X_7 — radiation temperature of plants calculated from the evening image,
- X_8 — difference between radiation temperatures of plants registered in the evening and before sunrise,
- X_9 — optical density of the image acquired at noon,
- X_{10} — radiation temperature of plants calculated from the noon image.

Soil moisture has been calculated according to the following formula:

$$Y = A_i + B_j + C,$$

A, B, C — coefficients of the regression equation,

$$i = X_{1,3-10}; \quad j = X_5$$

$$Y = A_i + B_j + C_k + D_l + E,$$

The analysis of importance of individual regression coefficients has been carried out and standard deviations of the variable Y have been calculated. High degree of correlation has been established between soil moisture at all three levels and the differences of radiation temperatures between noon and evening; the correlation with the difference of temperatures between noon and morning was much less significant. High proportionality has also been established between soil moisture and the evening radiation temperature of soil. The registered amplitudes of radiation temperatures were, however, too small in comparison with the spread of soil moisture to justify positive conclusions. This research has proven that the difference between radiation temperatures of plants calculated from the noon image and that calculated from the evening image is the best indicator of soil moisture. The amplitudes of the radiation temperature of plants increase with the decreasing soil moisture

content which means that higher soil moisture results in lower heat emission by plants.

Remote sensing methods facilitate conclusions concerning soil moisture content. For bare soils, the best results in the assessment of soil moisture have been achieved on the basis of interpretation of multispectral images taken in the red and infrared ranges of the spectrum. Soil moisture content calculated by this method differs by 3% from that calculated on the basis of laboratory tests. The calculation of soil moisture in summer months has been based on the radiation temperature of plants and the results differ from these of laboratory tests by 5%. The accuracy of the described method is sufficient for large area surveys and can be used to supplement agrometeorological observations on regional and country scale.

Translation: *Wiesława Sujkowska*

КАТАЖИНА ДОМБРОВСКА-ЗЕЛИНЬСКА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ
НА ТЕСТОВОМ ПОЛИГОНЕ САДЛОВИЦЕ И ГРАБУВ

Резюме

В Центре обработки аэрокосмических материалов начата работа по определению пригодности техник дистанционного зондирования для определения влажности почв. Для почв не покрытых растительностью были выполнены многоспектральные снимки и тепловые снимки трехкратно в течение суток. Результаты были обработаны статистически. Были получены корреляции между влажностью почвы и оптической плотностью в диапазоне красного и инфракрасного излучения. Лучшие результаты были получены при применении многоспектральной техники, чем тепловой. Зато для почв покрытых растительностью получена высокая корреляция между влажностью почв и разницей радиационной температуры между зарегистрированной на дневном изображении и зарегистрированной на вечернем изображении. Чем быстрее охлаждение растительного покрова, тем влажность почвы меньше.

Перевод: *Róża Tołstikowa*

