

ZMIENNOŚĆ OBRAZU POWIERZCHNI GLEB W ZAKRESIE WIDZIALNYM I BLISKIEJ PODCZERWIENI

Jerzy Cierniewski

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Streszczenie. Zmienność jasności obrazu gleb omówiona jest w funkcji kąta zenitalnego Słońca oraz stanu atmosfery określonego jej grubością optyczną dla wybranej długości fali 850 nm. Zagadnienie to dyskutowane jest na przykładzie czterech powierzchni: dwóch nieupranych pustyńnych, względnie gładkiej pylastej i bardzo szorstkiej skalistej oraz dwóch gleb uprawnych z agregatami rozrzuconymi losowo i tworzącymi mikrorelief brzdowy. Wykorzystywane są dane wygenerowane za pomocą modelu przewidującego hemisferyczno-kierunkowe odbicie od wybranych powierzchni w postaci rozkładów znormalizowanego ich odbicia we wszystkich możliwych kierunkach ich obserwacji. Odniesiono się także do możliwości praktycznego wykorzystania nielambertowskiego zachowania się powierzchni gleb dla pozyskania dokładniejszych i bardziej wiarygodnych informacji o ich właściwościach za pośrednictwem teledetekcji.

Słowa kluczowe: zmienność obrazu gleb, hemisferyczno-kierunkowe odbicie, albedo gleby

WSTĘP

Widzenie obiektów naturalnych czy antropogenicznych w świetle widzialnym i bliskiej podczerwieni to efekt zdolności postrzegania tej energii falowej jako odbitej od ich powierzchni. Proporcja w jakiej ta energia odbija się od powierzchni rozważanych obiektów w stosunku do całkowitej jej ilości na nią padającej, zależy od długości fal. To odbicie w funkcji długości fal jest inne dla każdego obiektu czy też tego samego obiektu w innym stanie. Jest ono dla niego charakterystyczne, co pozwala na jego rozpoznawanie i oddzielanie od innych obiektów metodami teledetekcji. Odbicie fal elektromagnetycznych od powierzchni gleby zależy w dużej mierze od jej kształtu i wzrasta wraz ze zmniejszaniem się wielkości agregatów glebowych. Mniejsze agregaty mają bardziej

Adres do korespondencji – Corresponding author: Jerzy Cierniewski, Zakład Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań

zaokrąglony kształt, a większe – bardziej nieregularny z licznymi zagłębieniami i szczelinami, gdzie padające promieniowanie wpada jak w pułapkę [Michailova i Orlov 1986]. Im większa nieregularność powierzchni gleb, tym mniejsza ich jasność. Tworząca się na powierzchni gleby specyficzna skorupka zmniejsza jej szorstkość, co powoduje wyraźne zwiększenie ich odbicia [Kondratyev i Fedchenko 1980]. Nieregularności powierzchni gleby, wynikające z ich uziarnienia, zbrylenia, a także mikroreliefu powodowanego zabiegami uprawowymi, jako elementy nieprzezroczyste i najczęściej dużo większe w porównaniu do długości fal w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni, powodują jej zacienienie. Zmieniający się udział zacienionych fragmentów powierzchni gleby w polu widzenia obserwującego ją sensora uważany jest za główną przyczynę jej nierównomiernego odbicia spektralnego we wszystkich kierunkach. To komplikuje ich jednoznaczne rozróżnienie. Zacienione fragmenty gleby odbijają znacznie mniej światła od tych, które są bezpośrednio oświetlone promieniami. Gleby uprawne, nie wykazujące wyraźnych cech odbicia zwierciadlanego, odbijają więcej światła, jeśli źródło bezpośredniego promieniowania, jak Słońce, jest wyżej nad nimi. Zwykle odbijają one więcej światła z kierunków odstępczych zbliżonych do pozycji zenitalnej i azymutalnej Słońca, z których widzimy najmniej ich zacienionych fragmentów. Najmniej natomiast takie gleby odbijają światła z kierunków dostępczych pod możliwie dużym kątem zenitalnym, skąd widzimy najwięcej ich zacienionych fragmentów. Wyniki badań laboratoryjnych przedstawionych przez Caulsona [1966] dowodzą, że materiał gleb pustynnych, takich jak piasek gipsowy czy kwarcowy, cechuje się w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni bardzo dużym odbiciem z maksimum z kierunków dostępczych. Ilość energii odbitej, jaka dociera do sensora obserwującego powierzchnie gleb, zmienia się wraz z kierunkiem ich oświetlenia i obserwacji.

Mierzone promieniowanie – to docierające do danej powierzchni i to, które się od niej odbija, zawarte w dwóch odpowiadających im hemisferycznych przestrzeniach – zostało przez Nicodemusa [1970] zdefiniowane za pomocą dwukierunkowej funkcji odbicia *BRDF* [Bidirectional Reflectance Distribution Function]. Dwukierunkowość oznacza tutaj, że odbicie od rozważanej powierzchni zależy jednocześnie od kierunków opisujących pozycję kątową dwóch elementów, źródła promieniowania oraz obserwującego ją sensora. W warunkach polowych, nawet przy bezchmurnym niebie, nie istnieje tylko jedno punktowe źródło promieniowania, Słońce. Funkcjonuje również promieniowanie nieba o znacznie mniejszym natężeniu niż to słoneczne, ale o charakterze hemisferycznym. Kątowy rozkład radiacji czystego nie zachmurzonego nieba jest nierównomierny. Fraser [1975] relacjonuje, że niebo jest najjaśniejsze wokół Słońca w obrębie tzw. aureoli, jest względnie jasne w pobliżu horyzontu, a najciemniejsze – w odległości kątowej około 90° od Słońca. Gdy kąt zenitalny Słońca maleje, zróżnicowanie natężenia promieniowania nieba zmniejsza się. Kondratyev [1969] uważa, że można je praktycznie zaniedbać dla większej wysokości Słońca niż 60° . Udział światła nieba w stosunku do całkowitego docierającego do powierzchni Ziemi zależy od stanu atmosfery, tj. zachmurzenia i zawartości oraz jakości aerozoli w niej zawartych. Przy całkowitym zachmurzeniu kątowy rozkład natężenia radiacji nieba może być już traktowany jako równomierny. Obserwuje się tylko dość monotoniczny spadek natężenia promieniowania od zenitu do horyzontu. Natężenie światła rozproszonego nieba zależy od grubości optycznej atmosfery τ . Posługując się τ związaną z długością fali rozpatrywanego światła oraz uwzględniając kąt zenitalny Słońca, można określić stosunek bezpośredniego promieniowania słonecznego do całkowitego, a także rozkład kątowy

radiacji nieba [Cierniewski 2003]. Kiedy padające promieniowanie mierzone w warunkach połowych obejmuje bezpośrednio promieniowanie słoneczne, jak i rozproszone nieba, to według Engelsona i in. [1996] dwukierunkowy wskaźnik odbicia *BRF* powinien być nazwany wskaźnikiem hemisferyczno-kierunkowego odbicia *HDRF*.

Celem niniejszej pracy jest scharakteryzowanie zmienności jasności obrazu gleb tworzonego przy udziale fal widzialnych i bliskiej podczerwieni. Zagadnienie to wyjaśniono za pośrednictwem rozkładów jasności gleb obserwowanych ze wszystkich możliwych kierunków w zależności od kąta zenitalnego i azymutalnego Słońca oraz stanu atmosfery wyrażonej jej grubością optyczną. Wykorzystano rozkłady jasności gleb wygenerowane za pomocą hemisferyczno-kierunkowego modelu, odnoszące się do gleb o różnym kształcie: nieuprawnych o losowym rozkładzie nieregularności kształtu ich powierzchni, a także gleb uprawnych z takim rozkładem agregatów glebowych oraz z ich wyraźnym kierunkowym rozłożeniem wzdłuż bruzd wytworzonych przez zabiegi uprawowe. Omówiono także możliwości praktycznego wykorzystania nierównomiernego kierunkowego odbicia spektralnego od gleb dla zyskania dokładniejszych i bardziej wiarygodnych informacji o ich właściwościach za pośrednictwem teledetekcji.

METODYKA PRACY

Do omówienia zmienności jasności obrazu gleb wybrano dane odnoszące się do powierzchni do tej pory najdokładniej scharakteryzowanych pod względem dwukierunkowego odbicia spektralnego w Zakładzie Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb UAM. Dane te pozyskano za pomocą pomiarów połowych przeprowadzonych w Izraelu w:

Sede Boker (30,84°N, 34,78°E) i Makhtesh Ramon (30,36°N, 34,50°E) 12, 19 i 26.07.2001 roku w głównej płaszczyźnie słonecznej (SPP) i 3 płaszczyznach odchylnych od niej o ϕ_s 45°, 90° i 135° na powierzchniach pustynnych, pylastej (SBs) i skalistej (MRr) oraz

- okolicy Beer Sheva (31,33°N, 34,67°E) 14.07.2003 roku w SPP i 5 płaszczyznach odchylnych od niej o ϕ_s 30°, 60°, 90°, 120° i 150° na specjalnie przygotowanym polu doświadczalnym z agregatami rozrzuconymi losowo (BSnh) i z mikroreliefem bruzdowym (BSc).

Łącznie wykonano po 900 pomiarów luminancji dla SBs i MRr oraz 630 dla BSnh i BSh przy kącie zenitalnym Słońca θ_s zmieniającym się w zakresie od 9° do 82° dla SBs i MRr oraz od 34° do 80° dla BSnh i BSh. Pomiarów te wykonano za pomocą radiometru połowego CIMEL-313-21 dla następujących długości fali λ : 450 nm, 550 nm, 650 nm, 850 nm i 1650 nm przy bezchmurnym niebie. W jednej płaszczyźnie pionowej luminancję mierzono w odstępach co 10° pod 15 różnymi kątami zenitalnymi θ_v od -70° (dosłonecznie), poprzez 0° (nadir), do +70° (odsłonecznie).

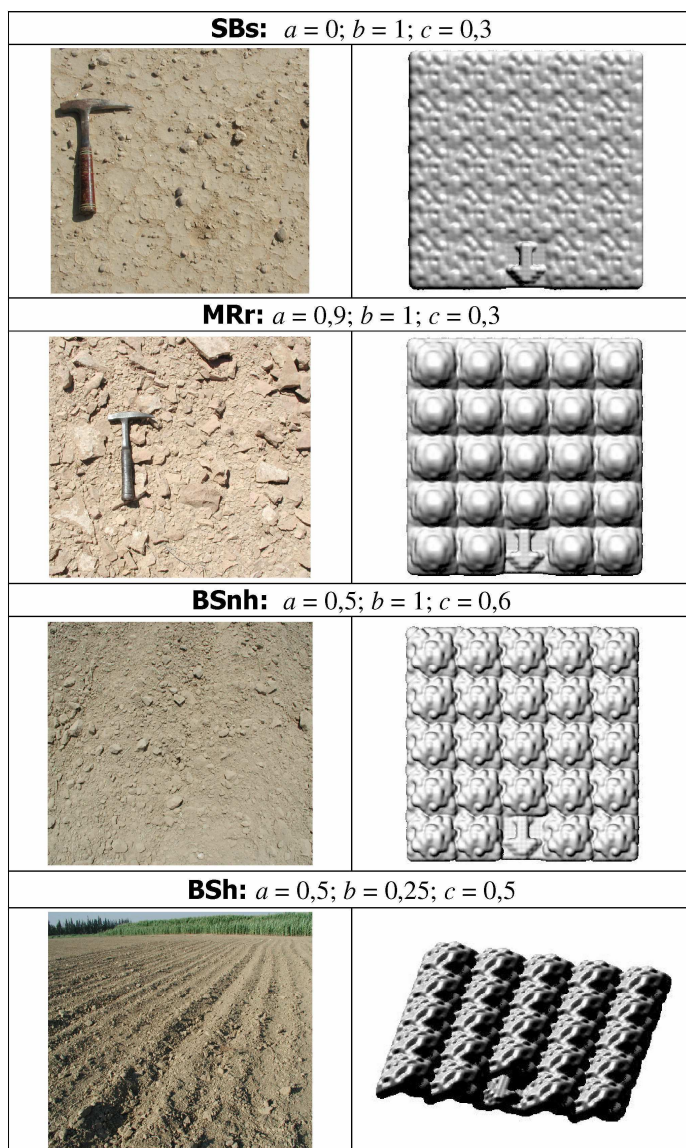
Ponieważ w niniejszej pracy zamierzano przedyskutować zmienność jasności obrazu powyższych powierzchni nie tylko we funkcji pozycji zenitalnej Słońca, ale także stanu atmosfery, nie posłużono się w niej bezpośrednio danymi pomierzonymi, ale wykorzystano dane wygenerowane za pomocą modelu hemisferyczno-kierunkowego [Cierniewski i in. 2004]. Model ten w pierwszym kroku pozwala na ustalenie na podstawie pomiarów luminancji danej powierzchni, dokonywanych z różnych kierunków przy zmieniającej się pozycji Słońca, trzech geometrycznych parametrów: *a*, *b* i *c*, charakteryzujących kształt jej odpowiednika wirtualnego. W drugim kroku, dla tej powierzchni

wirtualnej znajdującej się w określonych warunkach oświetlenia, opisanych kątem zenitalnym Słońca θ_s oraz grubości optyczną atmosfery τ , przewiduje się rozkład hemisferyczno-kierunkowego odbicia we wszystkich możliwych kierunkach jej widzenia, opisanych kątem zenitalnym θ_v i azymutalnym ϕ_v , znormalizowany do wartości w kierunku nadiru. Dla powierzchni z mikroreliefem bruzdowym istotne jest dodatkowe uwzględnienie kąta poziomego oświetlenia bruzd ϕ_{s-c} pomiędzy kierunkiem promieni słonecznych a kierunkiem bruzd. Wykorzystany tu model generował odbicie od wybranych powierzchni we wszystkich wspomnianych wyżej długościach fal ze średnim błędem kwadratowym nie przekraczającym 0,10 dla powierzchni SBs, MRr i BSnh oraz 0,14 dla BSh.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Wygląd wszystkich powierzchni omawianych w niniejszej pracy przedstawiono na rysunku 1. Dla łatwiejszego porównania rzeczywistego wyglądu powierzchni z ich wirtualnymi odpowiednikami oba ich obrazy zaprezentowano obok siebie. Nieuprawna gładka powierzchnia pylasta SBs jest jaśniejsza (7,5YR8/2) od szorstkiej powierzchni skalistej (2,5YR7/3). Gleby uprawne Bsnh i BSh, o zawartości materii organicznej wynoszącej 0,6% i zawartości CaCO_3 około 16%, sklasyfikowane według systematyki FAO jako *Calcic Xerosols*, są najciemniejsze spośród tutaj rozważanych powierzchni (10YR5/3). Powierzchnię BSnh, o losowym rozkładzie agregatów glebowych, przygotowano za pomocą kolczatki, natomiast powierzchnię BSh, z mikroreliefem bruzdowym, uformowano za pomocą kultywatora. Odstęp między bruzdami wynosił 60 cm, a ich wysokość średnio osiągała 10 cm.

Wirtualne powierzchnie opisane są za pomocą parametrów a i b , wyrażających odpowiednio zmienność ich wysokości z wzdłuż osi x i y przy użyciu funkcji sinus, oraz parametru c , określającego zaburzenia w ich wysokości zdefiniowanych za pomocą a i b . Wszystkie przedstawione tu powierzchnie wirtualne przypominają swoim kształtem ich rzeczywiste odpowiedniki. Powierzchnia wirtualna charakteryzująca glebę z mikroreliefem bruzdowym BSh ma wyraźne bruzdy. Kierunkowość opisuje parametr $0 < b < 1$. Pozostałe powierzchnie wirtualne, symulujące rzeczywiste powierzchnie o losowym rozkładzie nieregularności ich kształtu, są niekierunkowe. Ich parametr $b=1$. Im kształt rzeczywistej powierzchni jest bardziej nieregularny, tym również jej wirtualny odpowiednik jest taki. Niewielkie nieregularności gładkiej powierzchni pylastej SBs są symulowane w jej wirtualnej postaci za pomocą parametrów $a=0$ i $b=1$. Tylko parametr $c=0,3$, określający zaburzenia kształtu opisywanej powierzchni, przenosi w tym przypadku informacje o niewielkich nierównościach tej powierzchni. Powierzchnia skalista MRr, zbudowana z większych fragmentów skalnych, bez wyraźnego udziału mniejszych odłamków, w porównaniu z powierzchnią uprawną BSnh, z uformowanymi przez kolczatkę agregatami glebowymi o różnej wielkości, symulowana jest odpowiednio za pomocą parametru a o prawie dwukrotnie wyższej wartości i parametru c o dwukrotnie mniejszej wielkości.



Rys. 1. Rzeczywiste powierzchnie i ich wirtualne odpowiedniki: pustynne względnie gładkie pylaste (SBs) i bardzo szorstkie kamieniste (MRr) oraz uprawne o niekierunkowym rozkładzie agregatów glebowych (BSnh) i o ich kierunkowym rozkładzie z mikroreliefem brzdowym (BSh). Symbole a , b i c są geometrycznymi parametrami kształtu powierzchni wirtualnych. Strzałka na powierzchni wirtualnej wskazuje kierunek północy

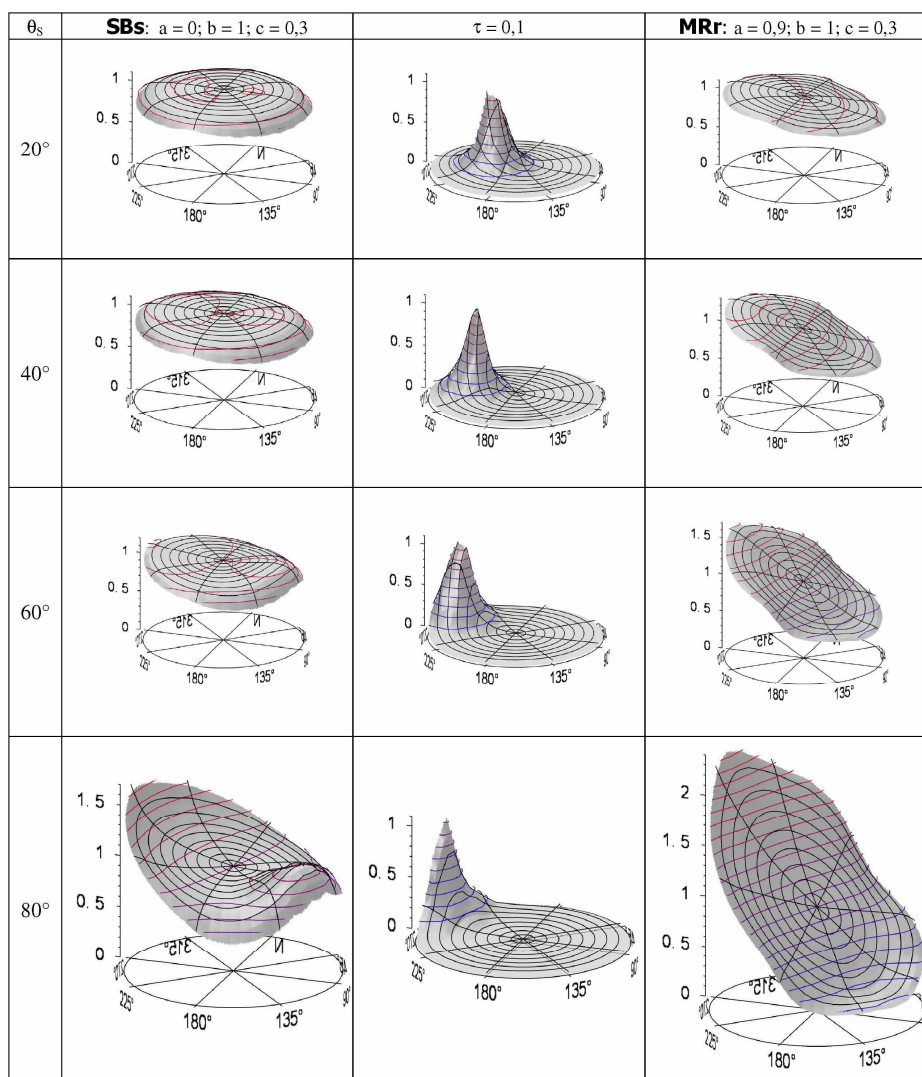
Fig. 1. Real view of surfaces and their virtual equivalents: the desert relatively smooth silty (SBs) and the very rough rocky (MRr) as well as the cultivated with non-directional dispersed soil aggregates (BSnh) and their directional distribution with the furrow microrelief (BSh). The symbols a , b and c are the geometrical parameters of the virtual surfaces. The arrow show the North direction

Rozkłady odbicia spektralnego hemisferyczno-kierunkowego wybranych powierzchni, przedstawione w niniejszej pracy, wygenerowane zostały dla fali podczerwonej $\lambda=850$ nm i kątów zenitalnych Słońca θ_s 20°, 40°, 60° i 80° w warunkach czystego nieba, opisanego grubością optyczną atmosfery $\tau=0,1$ o małym udziale światła dyfuzyjnego (rys. 2 i 4), oraz dla zachmurzonego nieba, charakteryzowanego $\tau=2$ o dużym jego udziale (rys. 3 i 5). W kolumnie środkowej tych rysunków pokazany jest wygenerowany rozkład radiacji nieba, znormalizowany do pozycji Słońca, o bardzo dużej zmienności dla $\tau=0,1$, z wyraźnym pikiem wokół Słońca i niewielkiej zmienności dla $\tau=2$. W warunkach określonych przez niską wartość $\tau=0,1$ istnieje bardzo duży kontrast pomiędzy bardzo jasnymi bezpośrednio oświetlonymi fragmentami badanych powierzchni a ciemnymi zacienionymi fragmentami, oświetlonymi tylko przez światło dyfuzyjne nieba. W warunkach określonych przez wysoką wartość $\tau=2$ ten kontrast jest wyraźnie mniejszy. W warunkach czystego nieba dla krótszej fali, np. niebieskiej ($\lambda=450$ nm), przyjmuje się zwykle $\tau=0,5$, zatem kontrast ten jest mniejszy niż dla omawianej tu fali podczerwonej ($\lambda=850$ nm). Rozkłady odbicia spektralnego od rozważanych powierzchni i radiacji nieba przedstawiane są w funkcji kątów zenitalnych θ_v i azymutalnych ϕ_v ich obserwacji. Zmienność kątów θ_v jest zaznaczana przez linie (okręgi) koncentrycznie otaczające nadir (centralny punkt wykresu) z odstępem co 10°. Najbardziej zewnętrzny okrąg opisuje $\theta_v=80^\circ$. W podstawie wykresów zaznaczone są kąty azymutalne orientujące powyższe rozkłady względem kierunku północy.

Wyraźnie większą zmienność odbicia spektralnego obserwuje się w warunkach czystego nieba (rys. 2 i 4) niż przy zachmurzonym niebie (rys. 3 i 5). Największą zmienność odbicia spektralnego wszystkich badanych powierzchni obserwuje się wzdłuż głównej płaszczyzny słonecznej, a najmniejszą wzdłuż kierunku do niej prostopadłego. Ta zależność staje się wyraźniejsza wraz ze wzrostem kąta zenitalnego Słońca θ_s . Powierzchnie szorstkie, tak jak MRr, wykazują dużo większą zmienność odbicia w funkcji kąta zenitalnego ich obserwacji θ_v niż powierzchnie gładkie, takie jak SBs (rys. 2). W odbiciu od tych ostatnich widoczny jest komponent odbicia zwierciadlanego, tym wyraźniejszy, im pod większym kątem zenitalnym θ_s te powierzchnie są oświetlane.

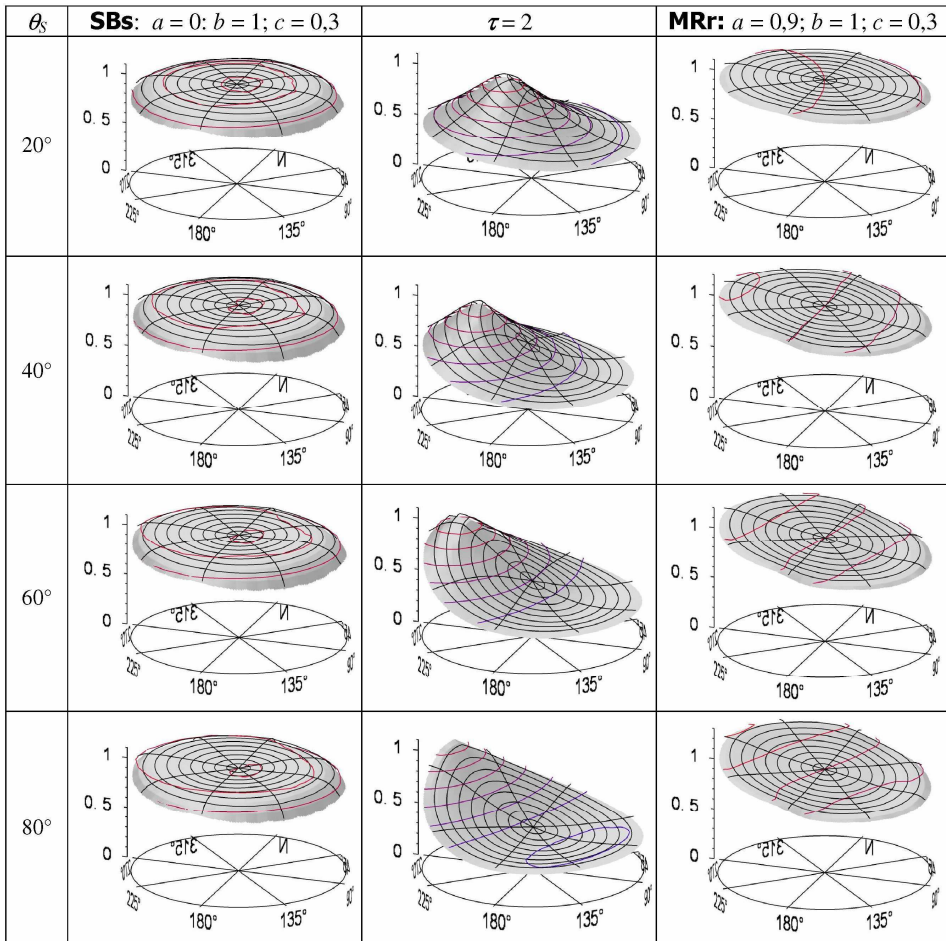
Powierzchnie o podobnej szorstkości, BSh – o niekierunkowym rozkładzie agregatów glebowych i BSh – z mikroreliefem bruzdowym, cechują się bardzo podobną zmiennością odbicia w warunkach czystego nieba (rys. 4) i identyczną zmiennością w warunkach zachmurzonego nieba (rys. 5). Wszystkie rozkłady hemisferyczno-kierunkowego odbicia od powierzchni z bruzdami BSh były generowane przy założeniu, że promienie słoneczne padają pod kątem poziomym $\phi_{s,c}=0^\circ$, a więc równoległe do kierunku przebiegu bruzd.

Wcześniej, pracując nad wykorzystanym tutaj modelem, zauważono [Cierniewski i in. 2004], że w specyficznych warunkach oświetlenia, szczególnie przy czystym niebie i dużym kącie zenitalnym Słońca, gdy bruzdy są oświetlone pod kątem $\phi_{s,c}$ od 25° do 45°, możliwe jest dużo łatwiejsze odróżnienie gleb o kierunkowym rozkładzie agregatów od gleb o ich losowym rozkładzie. Gleby o kierunkowym rozkładzie agregatów cechują się bowiem we wspomnianych warunkach oświetlenia wyraźną niesymetrycznością rozkładu odbicia hemisferyczno-kierunkowego względem głównej płaszczyzny słonecznej (rys. 6).



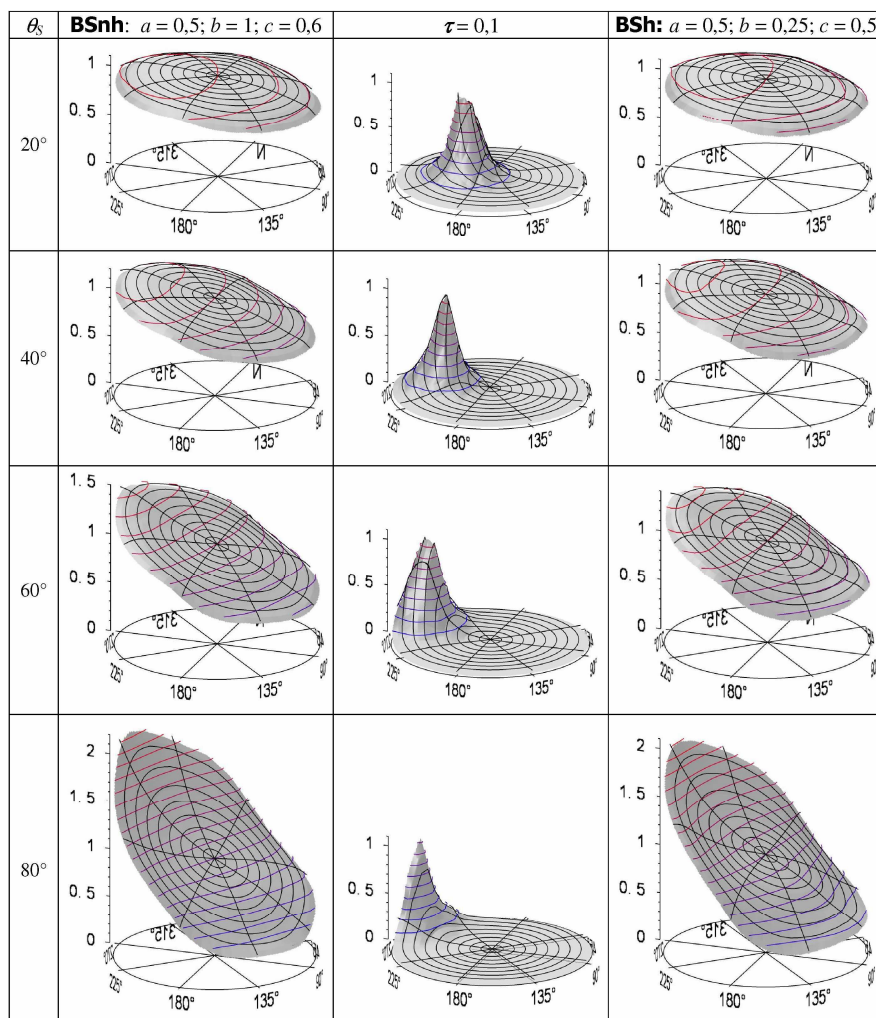
Rys. 2. Rozkłady znormalizowanego hemisferyczno-kierunkowego odbicia i od powierzchni pustynnych, pylastych (SBS) i kamienistych (MRr), wygenerowane dla fali o długości 850 nm i grubości optycznej atmosfery $\tau=0,1$, charakteryzującej całkowicie bezchmurne niebo, dla zmieniających się kątów zenitalnych Słońca θ_s oraz znormalizowane rozkłady radiacji nieba odpowiadające tym warunkom oświetlenia (środkowa kolumna). Symbole a , b i c są geometrycznymi parametrami kształtu powierzchni wirtualnych

Fig. 2. Distributions of the normalised hemispherical-directional reflectance from the desert surfaces, the silty (SBS) and the rocky (MRr), generated for the wavelength of 850 nm and the optical atmosphere thickness $\tau=0.1$, corresponding to clear sky conditions, for chosen solar zenith angles θ_s , as well as distributions of the normalised sky radiation connected with these illumination conditions (middle column). The symbols a , b and c are the geometrical parameters of the virtual surfaces



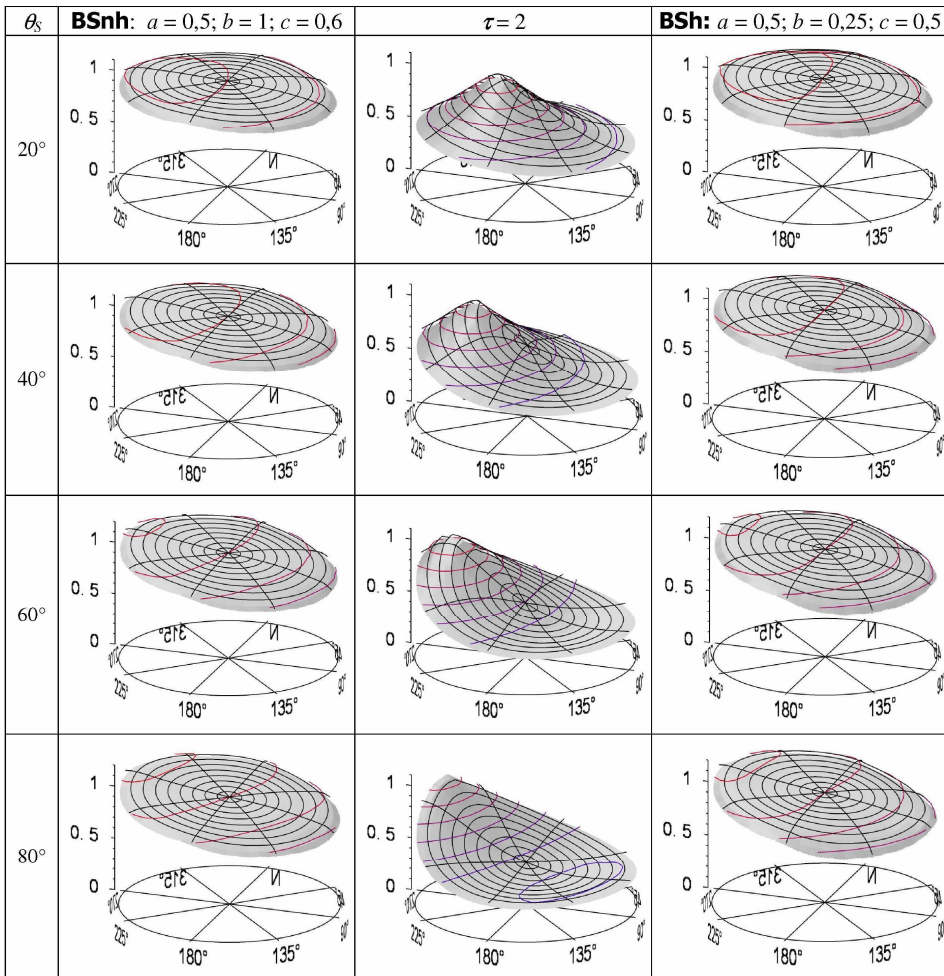
Rys. 3. Rozkłady znormalizowanego hemisferyczno-kierunkowego odbicia i od powierzchni pustynnych, pylastych (SBs) i kamienistych (MRr), wygenerowane dla fali o długości 850 nm i grubości optycznej atmosfery $\tau=2$, charakteryzującej zachmurzone niebo, dla zmieniających się kątów zenitalnych Słońca θ_s oraz znormalizowane rozkłady radiacji nieba odpowiadające tym warunkom oświetlenia (środkowa kolumna). Symbole a , b i c są geometrycznymi parametrami kształtu powierzchni wirtualnych

Fig. 3. Distributions of the normalised hemispherical-directional reflectance from the desert surfaces, the silty (SBs) and the rocky (MRr), generated for the wavelength of 850 nm and the optical atmosphere thickness $\tau=2$, corresponding to clouded sky conditions, for chosen solar zenith angles θ_s , as well as distributions of the normalised sky radiation connected with these illumination conditions (middle column). The symbols a , b and c are the geometrical parameters of the virtual surfaces



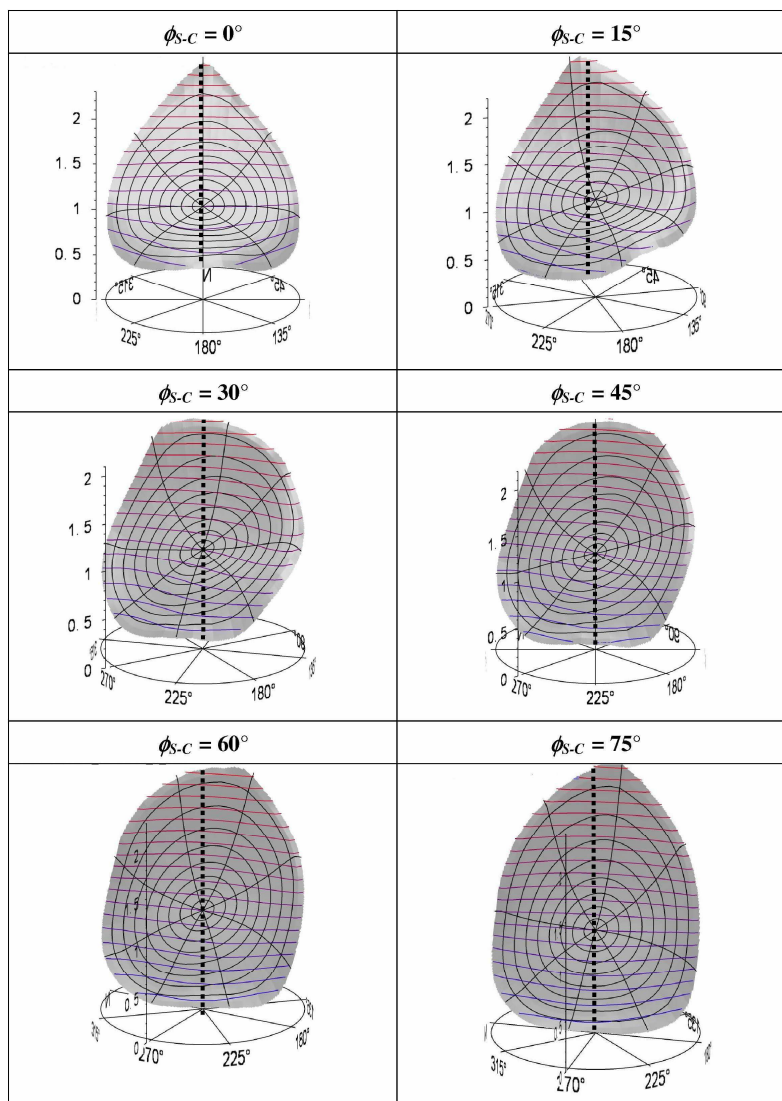
Rys. 4. Rozkłady znormalizowanego hemisferyczno-kierunkowego odbicia od powierzchni glebowych o niekierunkowym rozkładzie agregatów (BSnh) i o ich kierunkowym rozkładzie z mikroreliefem bruzdowym (BSh), wygenerowane dla fali o długości 850 nm i grubości optycznej atmosfery $\tau=0,1$, charakteryzującej całkowicie bezchmurne niebo, dla zmieniających się kątów zenitalnych Słońca θ_s oraz znormalizowane rozkłady radiacji nieba odpowiadające tym warunkom oświetlenia (środkowa kolumna). Symbole a , b i c są geometrycznymi parametrami kształtu powierzchni wirtualnych

Fig. 4. Distributions of the normalised hemispherical-directional reflectance from the cultivated soils with non-directional dispersed soil aggregates (BSnh) and their directional distribution with the furrow microrelief (BSh), generated for the wavelength of 850 nm and the optical atmosphere thickness $\tau=0.1$, corresponding to clear sky conditions, for chosen solar zenith angles θ_s , as well as distributions of the normalised sky radiation connected with these illumination conditions (middle column). The symbols a , b and c are the geometrical parameters of the virtual surfaces



Rys. 5. Rozkłady znormalizowanego hemisferyczno-kierunkowego odbicia od powierzchni glebowych o niekierunkowym rozkładzie agregatów (BSnh) i o ich kierunkowym rozkładzie z mikroreliefem bruzdowym (BSh), wygenerowane dla fali o długości 850 nm i grubości optycznej atmosfery $\tau=2$, charakteryzującej zachmurzone niebo, dla zmieniających się kątów zenitalnych Słońca θ_s oraz znormalizowane rozkłady radiacji nieba odpowiadające tym warunkom oświetlenia (środkowa kolumna). Symbole a , b i c są geometrycznymi parametrami kształtu powierzchni wirtualnych

Fig. 5. Distributions of the normalised hemispherical-directional reflectance from the cultivated soils with non-directional dispersed soil aggregates (BSnh) and their directional distribution with the furrow microrelief (BSh), generated for the wavelength of 850 nm and the optical atmosphere thickness $\tau=2$, corresponding to clouded sky conditions, for chosen solar zenith angles θ_s , as well as distributions of the normalised sky radiation connected with these illumination conditions (middle column). The symbols a , b and c are the geometrical parameters of the virtual surfaces

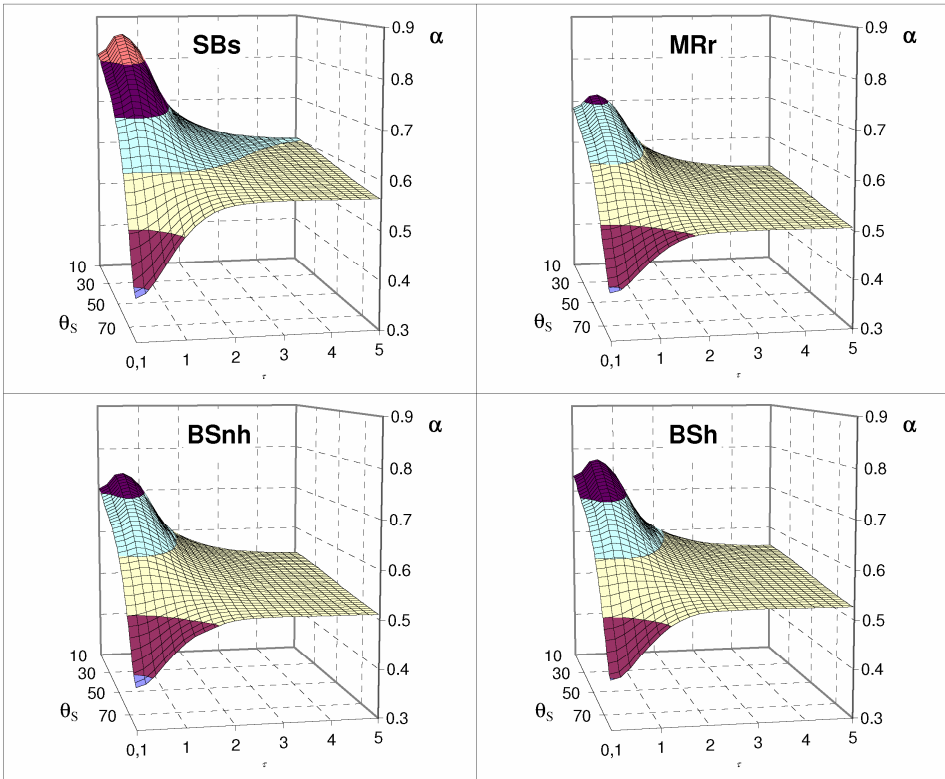


Rys. 6. Asymetryczność znormalizowanego rozkładu hemisferyczno-kierunkowego odbicia względem głównej płaszczyzny słonecznej (gruba linia kropkowana) od powierzchni glebowej z mikroreliefem brzdowym (BSh), wygenerowanego dla fali o długości 850 nm w warunków czystego nieba ($\tau=0,1$) przy kącie zenitalnym Słońca $\theta_s = 80^\circ$ oraz zmieniającym się kącie poziomym oświetlenia brzd ϕ_{s-c}

Fig. 6. Asymmetry of the normalised hemispherical-directional reflectance distribution with respect to the solar principal plane (the bold dotted line) from the soil surface with the furrow microrelief (BSh), generated for the wavelength of 850 nm in the clear sky conditions ($\tau=0,1$) for the solar zenith angles $\theta_s = 80^\circ$ and the chosen horizontal angle of the surface furrow illumination ϕ_{s-c}

WYKORZYSTANIE NIELAMBERTOWSKIEGO ODBICIA OD POWIERZCHNI GLEB

Głębsze rozumienie interakcji zachodzących pomiędzy falami widzialnymi i bliskimi podczerwonymi a powierzchnią gleby o różnej szorstkości, ujawniających się w zmienności jasności tych powierzchni w zmieniających się warunkach ich oświetlenia i obserwacji, jest ważne w doskonaleniu metod teledetekcji.



Rys. 7. Rozkłady albedo analizowanych powierzchni: względnie gładkich pylastych (SBs) i bardzo szorstkich kamienistych (MRr) oraz uprawnych o niekierunkowym rozkładzie agregatów glebowych (BSnh) i z mikroreliefem brzdowym (BSh), we funkcji kąta zenitalnego Słońca θ_s i grubości optycznej atmosfery τ

Fig. 7. The albedo distributions of the discussed surfaces, the uncultivated relatively smooth silty (SBs) and the very rough rocky (MRr) as well as the cultivated with non-directional dispersed soil aggregates (BSnh) and with the furrow microrelief (BSh), in the function of the solar zenith angle θ_s and the optical atmosphere thickness τ

Dysponując modelami umożliwiającymi przewidywanie jasności powierzchni gleb, można uzupełnić glebowe dane spektralne o te wykraczające poza praktycznie możliwe warunki ich rejestracji. Prawdopodobnie w przyszłości za pośrednictwem takich modeli dokonywać się będzie odpowiedniej standardowej korekcji ich obrazów rejestrowanych

w różnym czasie podczas wielu przelotów do wybranych warunków ich oświetlenia i obserwacji. Pozwoli to na uzyskiwanie znacznie dokładniejszych i wiarygodniejszych informacji o właściwościach badanych gleb, przez co klasyfikacja pokrywy glebowej stanie się doskonalsza. Korekcja ta będzie miała znaczenie dla interpretacji obrazów współczesnych satelitów teledetekcyjnych wyposażonych w sensory o szerokim polu widzenia, jak AVHRR satelitów serii NOAA, czy MISR satelity EOS, a także o wąskim polu widzenia, ale obserwujących powierzchnię Ziemi skośnie, jak HRV satelitów SPOT. Można się spodziewać, że szczególnie takiej korekcji wymagać będą dane satelity EOS zarejestrowane przez MISR (Multiangle Imaging Spectroradiometer) jako serie obrazów tych samych powierzchni widzianych pod 9 różnymi kątami zenitalnymi: $-70,5^\circ$, -60° , $-45,6^\circ$, $-26,1^\circ$, 0° , $+26,1^\circ$, $+45,6^\circ$, $+60^\circ$, $+70,5^\circ$. Wykorzystując wspomniane modele do generowania odbicia spektralnego od powierzchni glebowych we wszystkich możliwych kierunkach, tak jak zaprezentowano to w niniejszej pracy, można przeanalizować zmienność albedo spektralnego interesujących nas powierzchni glebowych w funkcji kąta zenitalnego Słońca θ_s oraz gęstości optycznej atmosfery τ (rys. 7). Na podstawie takiej analizy można wybrać najwłaściwszą wartość albedo charakteryzującą jakąś powierzchnię w określonym czasie. Chcąc na przykład wykorzystać albedo do przewidywania przepływu energii pomiędzy glebą, rośliną i atmosferą, trzeba zdawać sobie sprawę, że przyjmując nieodpowiednią jego wartość możemy popełnić duży błąd w tych przewidywaniach. Odwołując się do wykorzystania albedo do badań klimatycznych w skali globalnej (GCM), Sellers [1993] określa niezbędną poprawność albedo dla współczesnych modeli GCM na $\pm 2\%$ ich wartości.

PIŚMIENNICTWO

- Caulson K. L., 1966. Effect of reflection properties of natural surfaces in aerial reconnaissance. *Applied Optics*, 5: 905-917.
- Cierniewski J., Gdala T., 2003. Wpływ rozkładu radiacji nieba na obraz gleb w zakresie optycznym. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 13B: 339-348.
- Cierniewski J., Gdala T., Karnieli A., 2004. A hemispherical-directional reflectance model as a tool for understanding image distinctions between cultivated and uncultivated bare surfaces. *Remote Sensing of Environment*, 90: 505-523.
- Engelsen, O., Pinty, B., Verstraete, M. M. and Martonchik, J. V., 1996. Parametric bidirectional reflectance factor models: evaluation, improvements and applications. Catalogue CL-NA-16426-EN-C, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, ECSC-EC-EAEC Brussels, Luxembourg, pp.114.
- Fraser R. S., 1975. Interaction mechanisms – within the atmosphere (chapter 5). *Manual of Remote Sensing*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA: 181-233.
- Kondratyev K., 1969. Radiacjonnyje charakteristiki atmosfery i zemnoy powerchnosti. *Gidrometeorologičeskoje Izdatelstwo*. Leningrad.
- Michajlova, N. A., Orlov, D. S., 1986. Optičeskie svoystva počv i počvennych komponentov, Nauka, Moskva: 35-38.
- Nicodemus, F. E., 1970. Reflectance nomenclature and directional reflectance and emissivity. *Applied Optics*, 9: 1474-1475.
- Kondratyev K. Y., Fedchenko P. P., 1980. Vlijanije obrabotki na spektralnye otryatelnye svoystva počvy. *Počvovedenije*, 12: 47-53.
- Sellers, P. J., 1993. Sensing of the land surface for studies of global change (International Satellite Land Surface Climatology Project Report). Columbia, MD: NASA/GSFC.

SOIL SURFACE IMAGE VARIATION IN THE VISIBLE AND NEAR-IR RANGES

Abstract. Variation of soil surface image brightness in the function of the solar zenith angle and the atmosphere state, described by its optical thickness for chosen wavelength of 850 nm, is examined in this paper. The issue is discussed on examples of four surfaces: two uncultivated desert, the relatively smooth silty and the very rough rocky, as well as the two cultivated, with randomly dispersed soil aggregates and their directional distribution with the furrow microrelief. Data generated by the model predicting the hemispherical-directional reflectance from the surfaces mentioned above were used in this paper. The data for the surfaces in the given illumination conditions are presented in the form of this reflectance distributions for all the possible directions, normalised to the nadir. Discussion about practical applications of the non-Lambertian behaviour of soil surfaces to obtain more detailed and reliable information of the surface properties using remote sensing finalizes the paper.

Key words: soil image variation, hemispherical-directional reflectance, soil albedo

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.10.2005