

WPLYW STRUKTURY ZBRYLENIA POWIERZCHNI GLEB NA ICH OBRAZ NA ZDJĘCIU LOTNICZYM

WSTĘP

Struktura zbrylenia powierzchni gleby jest jednym z najistotniejszych czynników wpływających na zróżnicowanie gęstości optycznej obrazu gleby nie pokrytej roślinnością (Białousz, 1978; Cierniewski, Kijowski, Mizgajski, 1981; Gerbermann, Neher, 1979; *Manual of remote sensing*, 1975). Pojęcie to określa chropowatość powierzchni gleby, spowodowaną występowaniem grudek lub brył o różnej wielkości i zagęszczeniu. Te grudki i bryły oświetlone promieniami słonecznymi powodują częściowe samozacienienie powierzchni gleby. Jest ono tym większe, im niższa jest pozycja słońca i im większe jest zagęszczenie brył. Zagęszczenie brył i ich wielkość zmienia się pod wpływem zabiegów agrotechnicznych i działalności rozmywającej deszczu (Białousz, 1978; *Manual of remote sensing*, 1975).

Zmiany struktury zbrylenia powierzchni gleby czy kąta padania promieni słonecznych powodują wyraźne zmiany gęstości optycznej obrazu gleby na zdjęciu lotniczym. Przez zmianę udziału zacienionych fragmentów gleby zmienia się istotnie sumaryczna ilość energii odbijanej od jej powierzchni. Matematyczne ujęcie wpływu zbrylenia powierzchni gleby na obraz zdjęcia lotniczego czyni coraz realniejszym opracowanie metody cyfrowej analizy obrazu zdjęć lotniczych do kartografii gleboznawczej.

* Dr Jerzy Cierniewski, Zakład Gleboznawstwa Melioracyjnego Akademii Rolniczej, ul. Wojska Polskiego 71 E, 60-625 Poznań

Celem niniejszej pracy jest:

1) ustalenie funkcji pozwalającej na obliczenie współczynnika samozacienienia gleby na podstawie kąta padania promieni słonecznych oraz prostego do oszacowania parametru struktury zbrylenia powierzchni gleby;

2) określenie wielkości wpływu współczynnika samozacienienia gleby na gęstość optyczną zdjęcia lotniczego na przykładzie czarno-białego filmu panchromatycznego.

OBSZAR BADAŃ

Przedstawione w pracy badania przeprowadzono na Wysoczyźnie Kościańskiej, leżącej na Międzynarodowym Poligonie Fotointerpretacyjnym MOSINA w obrębie Kombinatu PGR Manieczki, na powierzchni wzorcowej, na której skoncentrowano wieloletnie badania nad zastosowaniem metod teledetekcji do kartografii gleboznawczej¹. Szczegółowe rozeznanie pokrywy glebowej tej powierzchni pozwoliło wybrać 14 punktów badawczych reprezentujących typowe gleby o możliwie jak największym zróżnicowaniu struktury zbrylenia powierzchni.

METODA BADAŃ

BADANIA TERENOWE

Przeprowadzono je w dniach 4, 5, 12, i 13 maja 1982 roku. Obejmowały wykonanie opisów wierceń glebowych, pobranie próbek z powierzchni gleby (do analiz laboratoryjnych i ogólnej charakterystyki gleb w wybranych punktach) oraz naziemne fotografowanie powierzchni gleby wraz z pomiarem kąta padania promieni słonecznych w celu ustalenia parametrów struktury zbrylenia powierzchni gleby i określenia wielkości jej samozacienienia przy danej wysokości słońca. Powierzchnię gleby fotografowano z wysokości około 2 m aparatem Pentacon Six TL wyposażonym w 80-milimetrowy obiektyw, wykorzystując 60-milimetrowy film panchromatyczny Fotopan FF. W celu dokładnego określenia wymiarów brył gleby na każdym zdjęciu odfotografowano kwadratową ramę o boku 1 m z podziałem decymetrowym, wyznaczającą 1 m² powierzchni. W każdym punkcie badawczym wykonano 6 lub 7 zdjęć przy różnym kącie padania promieni słonecznych (od 18 do 56°), zachowując

¹ Badania wykonano w ramach tematu węzłowego 45/81W, koordynowanego przez Instytut Geodezji i Kartografii.

na każdym zdjęciu danego punktu identyczne położenie wspomnianej ramy. Kąt padania promieni słonecznych określano z długości cienia rzucanego przez pręt specjalnie skonstruowanego do tego celu przyrządu.

ZDJĘCIA LOTNICZE

Realizacja celu sprecyzowanego we wstępie wymagała zsynchronizowania badań terenowych z fotografowaniem ich miejsca na czarno-białych zdjęciach lotniczych w skali 1 : 10000. Zdjęcia te, formatu 18×13 cm, wykonane przez Dowództwo Wojsk Lotniczych 13 maja 1982 roku, zarejestrowano kamerą o ogniskowej 210 mm na filmie Fotopan 10 przenoszącym widmo w zakresie 380—710 nm. W czasie ich rejestracji wysokość słońca wynosiła $53,5^\circ$.

ANALIZY LABORATORYJNE

Próbki gleby analizowano laboratoryjnie w celu dokładnego zdefiniowania ich składu mechanicznego, określenia zawartości materii organicznej, wilgotności i barwy w stanie powietrznie suchym oraz współczynnika jasności spektralnej w zakresie odpowiadającym czułości użytego filmu lotniczego. Skład mechaniczny ustalono metodą areometryczną Pruszyńskiego. Zawartość materii organicznej oznaczono przez straty zarzenia w temperaturze 460°C . Wilgotność określono metodą suszarkowo-wagową w stosunku do masy wysuszonej w 105° . Barwę gleby określano za pomocą tablic Munsella. Pomiary współczynnika jasności spektralnej wykonywano za pomocą spektrofotometru SPEKOL z przystawką na reemisję R45/0 firmy Zeiss Jena w zakresie 380—720 nm co 20 nm na próbkach powietrznie suchych o średnicy 2 cm, których powierzchnię ubito tłoczkiem. Współczynnik ten oznaczano w stosunku do wzorca siarczanu baru.

ANALIZA OBRAZU ZDJĘĆ

Zdjęcia naziemne powierzchni gleby analizowano za pomocą komputera do analizy obrazu Cambridge 720. Obraz zdjęcia, bez fragmentów gleby znajdujących się w cieniu rzucanym przez wspomnianą ramę, przeniesiony na $2,73 \times$ powiększony diapozytyw, dzielono jeszcze na 2, 3 lub 4 części i każdą z nich analizowano oddzielnie. W celu obliczenia parametrów struktury gleby w określonych częściach zdjęcia mierzono oddzielnie w 10 klasach wielkości średnic liczbę wszystkich brył (więk-

szych od 2 mm) oraz łączną długość ich średnic (zarówno w osi x , jak i y). Klasy te obejmowały następujące przedziały wielkości średnic: 0—1, 1—2, 2—3, 3—4, 4—5, 5—6, 6—7, 7—8, 8—9 i > 9 cm. Gęstość optyczną samozacienionych fragmentów gleby ustalano na każdym zdjęciu oddzielnie jako przedział szarości obrazu gleby zacienionej przez ramę.

Gęstość optyczną obrazu gleby w określonych punktach badawczych na zdjęciach lotniczych mierzono na ich negatywach za pomocą mikrofotometru GII Zeiss Jena przy szerokości szczeliny 0,5 mm.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GLEB

Wybrane punkty badawcze zostały zlokalizowane na:

- glebach płowych właściwych wytworzonych z piasku słabogliniastego zalegającego płytko na glinie lekkiej (punkt 5) i glinie lekkiej spiaszczonej w całym profilu (punkt 1);
- zerodowanych fragmentach tych gleb położonych na stokach liniowych form erozyjnych, gdzie został odsłonięty poziom (B) wytworzony z gliny lekkiej spiaszczonej zalegającej płytko na piasku gliniastym lekkim (punkty 2, 3 i 4);
- glebach inicjalnych luźnych denudowanych, usytuowanych u podnóża wspomnianych form erozyjnych stanowiących piasek luźny, zalegający średnio głęboko na glinie lekkiej spiaszczonej (punkt 6 i 7);
- czarnych ziemiach zdegradowanych wytworzonych z piasku słabogliniastego zalegającego średnio głęboko na glinie średniej (punkt 9) i glinie lekkiej pylastej (punkt 10);
- czarnych ziemiach właściwych o składzie gliny lekkiej spiaszczonej zalegającej średnio głęboko na glinie lekkiej pylastej (punkt 8) oraz o składzie gliny lekkiej spiaszczonej w całym profilu (punkty 11, 12, 13 i 14).

Ogólną charakterystykę badanych gleb uzupełniają dane dotyczące zawartości materii organicznej, wilgotności i barwy ich warstw wierzchnich uzyskane w trakcie fotografowania lotniczego (tab. 1).

Gleby płowe i inicjalne leżą w obrębie pola, które 8 dni przed fotografowaniem zbronowano, poddano włókowaniu i powtórnie zbronowano, a następnie obsiano kukurydzą. Czarne ziemie leżą w granicach sąsiedniego pola, które 7 października 1981 roku obsiano pszenicą ozimą. Wymarzła ona w większej części, wiosną 1982 roku dokonano więc powtórnego obsiewu przeważającego areалу pola pszenicą jarą. Bezpośrednio

Tabela 1
Table 1

Niektóre właściwości powierzchni badanych gleb
Certain properties of studied soil surfaces

Nr punktu (Point No)	Skład mechaniczny. Frakcja mechaniczna (Mechanical composition. Mechanical fraction) [mm]						OM	θ	C
	1—0.1	0.1—0.05	0.05—0.02	0.02—0.006	0.006—0.002	0.002			
1	48	16	12	11	6	7	1.98	1.5	10YR5/3
2	51	17	7	8	5	12	2.07	1.8	10YR6/4
3	53	13	9	7	4	14	1.87	1.6	10YR6/6
4	58	13	6	7	4	12	1.71	1.9	10YR6/6
5	66	15	9	5	3	2	1.19	1.4	10YR5/3
6	79	14	4	1	1	1	0.46	1.2	10YR8/2
7	85	9	4	0	1	1	0.41	1.3	10YR7.5/2
8	47	12	11	8	11	11	3.10	3.9	10YR4.5/2
9	78	8	4	6	2	2	1.59	1.6	10YR5/2
10	72	12	11	5	0	0	1.87	1.9	10YR5/2
11	51	8	14	12	7	8	5.02	3.9	10YR3.5/2
12	38	9	19	12	10	12	5.90	3.1	10YR3.5/2
13	60	18	0	9	3	10	3.40	4.9	10YR4/2
14	48	8	13	11	8	12	4.71	3.6	10YR4/2

OM — zawartość materii organicznej [%]
(organic matter content [%])

θ — wilgotność podczas fotografowania lotniczego, % suchej masy
(humidity during aerial photography, % of dry mass)

C — barwa gleby podczas fotografowania lotniczego (wg tabeli Munsella)
(soil colour during aerial photography (Munsell scale))

przed fotografowaniem powierzchni tych gleb w wybranych punktach usunięto rośliny, które osiągnęły już wysokość 7—10 cm.

W czasie wykonywania zdjęć lotniczych wierzchnia warstwa gleb do głębokości około 1—2 cm była tak przesuszona, że odpowiadała barwie gleby powietrznie suchej.

STRUKTURA ZBRYLENIA POWIERZCHNI GLEB

Strukturę zbrylenia powierzchni gleb w danych częściach zdjęcia charakteryzowano za pomocą następujących parametrów: liczby brył w danym przedziale i wielkości ich średnic, przeciętnej średnicy w tych przedziałach, udziału powierzchni brył w rzucie poziomym w określo-

nych przedziałach ich wielkości, całkowitej liczby brył, ich przeciętnej średnicy oraz udziału całkowitej powierzchni brył w rzucie poziomym w danej części zdjęcia. Wszystkie parametry przeliczano w stosunku do powierzchni 1 m², aby porównać części zdjęcia o różnych wymiarach rzeczywistych. Na rys. 1 przedstawiono typowe zbrylenie powierzchni gleb w punktach badawczych uznanych za reprezentatywne dla badanych podtypów glebowych.

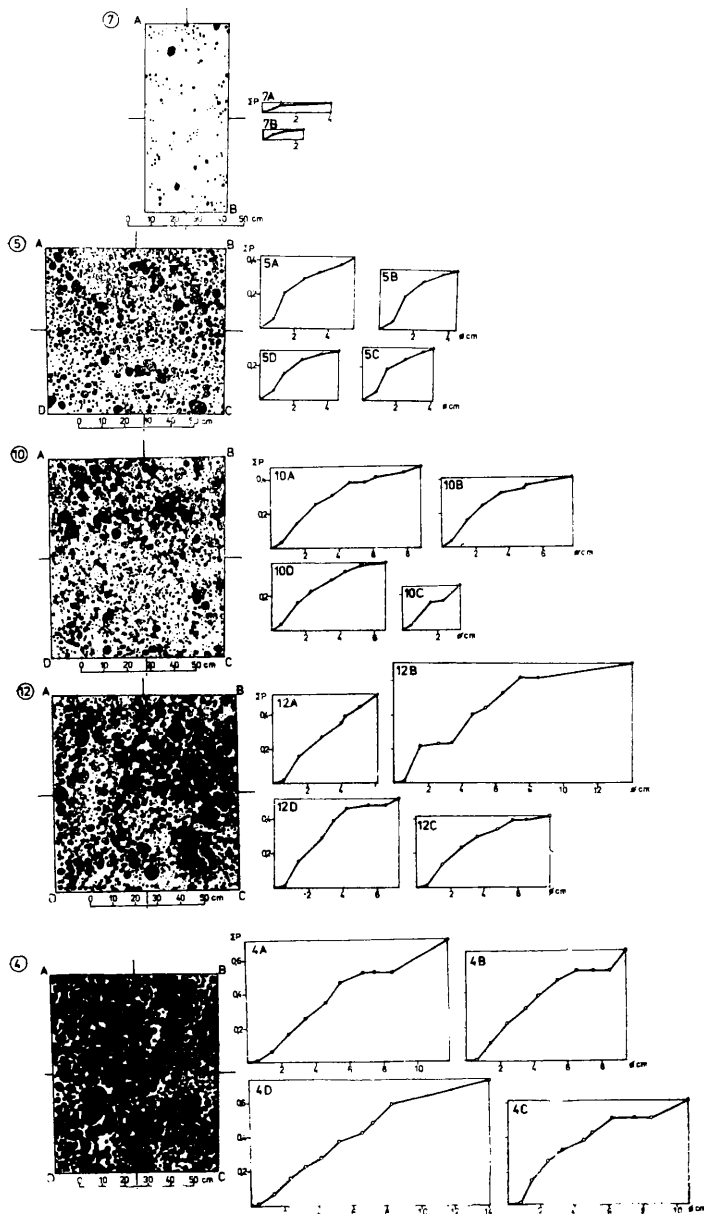
Gleby inicjalne luźne denudowane z piaskiem luźnym na powierzchni (punkty 6 i 7) tworzyły małe bryłki. Nie stwierdzono większych od tych o średnicy 4 cm, a ich przeciętna wielkość była mniejsza od 1 cm. Pomimo ich dużej liczby (od około 1000 do 2800 na 1 m²) udział całkowitej powierzchni bryłek w rzucie poziomym był najmniejszy spośród analizowanych podtypów gleb i wynosił w przypadku świeżo zbronowanej powierzchni (punkt 6) około 0,15, natomiast na powierzchni nie poddanej żadnym zabiegom agrotechnicznym przez blisko 7 miesięcy — był dwukrotnie mniejszy.

Gleby płowe właściwe, zbudowane w warstwie wierzchniej z piasku słabogliniastego i gliny lekkiej spiaszczonej (punkty 1 i 5), nie tworzyły na powierzchni brył większych od 5—7 cm. Ich przeciętna średnica wynosiła 1,3—1,8 cm, a udział sumarycznej powierzchni brył wahał się w granicach 0,3—0,4.

Czarne ziemie zdegradowane (punkty 9 i 10) mające piasek słabogliniasty na powierzchni tworzyły bryły o średnicy nie przekraczającej 9 cm, a ich przeciętna wielkość mieściła się w granicach 1—1,7 cm. Udział sumaryczny powierzchni brył w rzucie poziomym wahał się w zakresie 0,25—0,45.

Wśród czarnych ziem właściwych mających w warstwie wierzchniej glinę lekką spiaszczoną (punkty 8, 11, 12, 13 i 14) stwierdzono bryły o średnicy przekraczającej 15 cm. Ich przeciętna średnica mieściła się w granicach 1,7—2,7 cm, a udział całkowitej powierzchni brył wynosił około 0,3—0,75.

Podobną strukturą zbrylenia jak czarne ziemie właściwe cechowały się gleby płowe zerodowane z gliniastym poziomem (B) na powierzchni (punkty 2, 3 i 4). Przeważały jednak bryły o średnicy nie przekraczającej 8 cm, a ich przeciętna średnica mieściła się w przedziale 1,3—2 cm, natomiast udział całkowitej powierzchni brył wynosił około 0,35—0,55. W jednym punkcie (punkt 4) stwierdzono wśród tych gleb nawet większe zbrylenie aniżeli w czarnych ziemiach właściwych. Przeciętna średnica brył przekraczała 3 cm, natomiast udział całkowitej powierzchni brył wahał się w granicach 0,6—0,75.



Rys. 1. Typowe zbrzylenie powierzchni badanych gleb:

7 — gleba inicjalna, luźna denudowana, 5 — gleba płowa właściwa, 10 — czarna ziemia zdegradowana, 12 — czarna ziemia właściwa, 4 — gleba płowa zerodowana; ΣP — udziały powierzchni brył w rzucie poziomym, ϕ — średnica brył

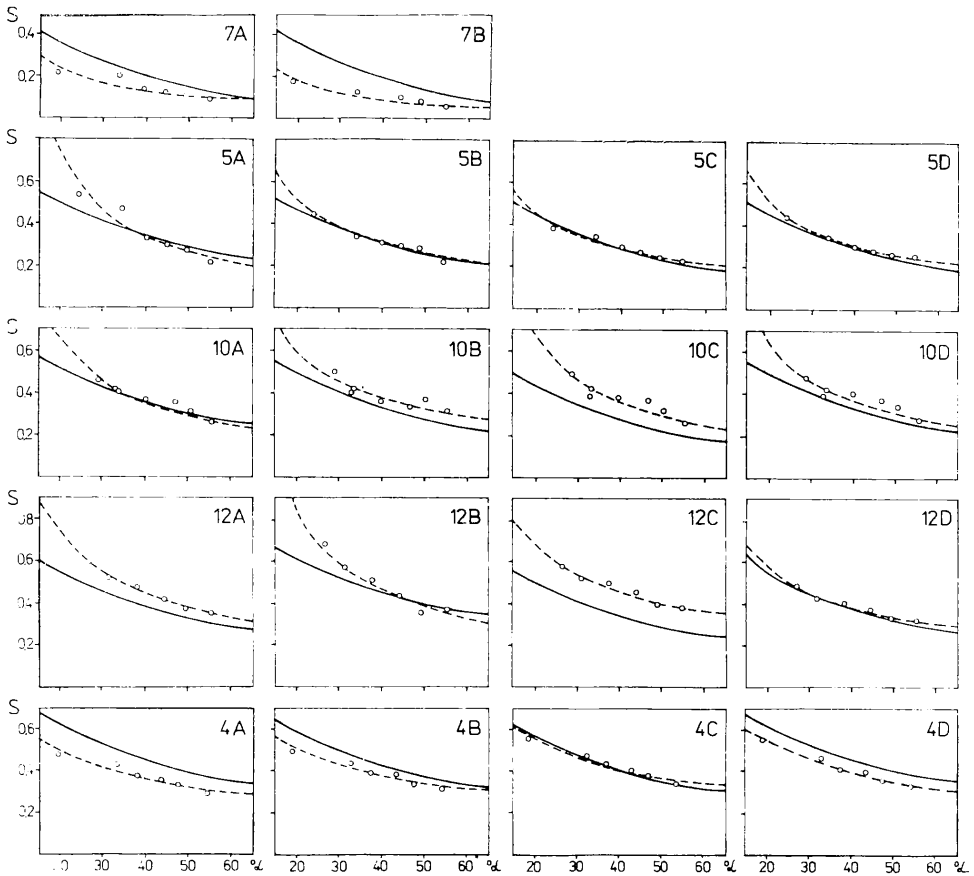
Fig 1. Typical surface cloddiness of studied soil:

7 — initial, loose denudated soil, 5 — true grey-brown podsol soil (lessive), 10 — degraded black earth, 12 — true black earth, 4 — eroded grey-brown podsol soil; ΣP — share of soil clod area in horizontal projection, ϕ — diameter of soil clods

SAMOZACIENIENIE POWIERZCHNI GLEB

Współczynnik samozacienienia gleby (S) wyraża udział zacienionych fragmentów powierzchni gleby w rzucie poziomym w stosunku do całej rozpatrywanej powierzchni.

Analizując przebieg współczynników samozacienienia powierzchni gleby (Sp), w odniesieniu do wysokości słońca (α), obliczonych na podstawie pomiarów na zdjęciach naziemnych, stwierdzono, że w badanym przedziale kątów ($18\text{--}56^\circ$) może on być dokładnie opisany za pomocą funkcji potęgowej. Dla funkcji tej postaci $Sp = ma^p$ uzyskano średni współczynnik korelacji 0,93. Uwzględniając niewielką liczbę punktów pomiaru



Rys. 2. Wskaźniki samozacienienia powierzchni gleby (S) w funkcji wysokości słońca (α):

--- ustalone na podstawie pomiarów, — ustalone na podstawie równania (1)

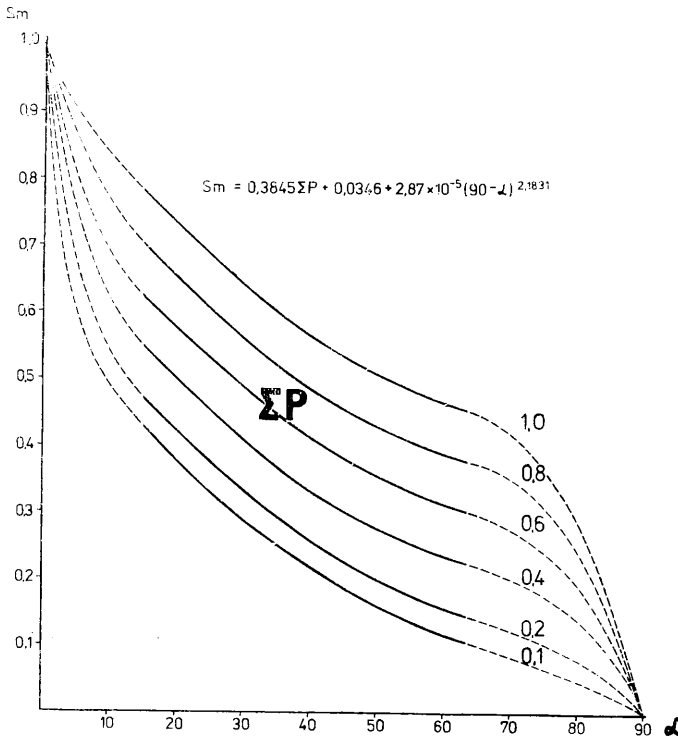
Fig. 2. Self-shading coefficient of soil surface (S) as a function of solar altitude (α):

--- determined from measurements, — determined from equation (1)

rowych w odniesieniu do jednego punktu badawczego (6 lub 7), funkcja ta zapewnia przeciętnie opis niniejszej współzależności na poziomie istotności około 0,05 (Strzałkowski, Śliżyński, 1978). Stosunkowo najniższe przybliżenie tej funkcji na poziomie istotności około 0,10 uzyskano dla danych odnoszących się do gleb o najmniejszym zbryleniu, tj. do gleb inicjalnych luźnych denudowanych, mających w warstwie wierzchniej piasek luźny. Wskaźniki samozacienienia powierzchni gleb w funkcji wysokości słońca w punktach reprezentatywnych dla badanych gleb przedstawiono na rys. 2.

Szukając parametru zbrylenia powierzchni gleby, który byłby łatwy do oszacowania makroskopowego i byłby jednocześnie w ścisłej współzależności z przebiegiem współczynników samozacienienia gleby (S_p) w funkcji α , stwierdzono, że najlepiej te warunki spełnia wskaźnik określający udział całkowitej powierzchni brył w ich rzucie poziomym (ΣP). Równanie pozwalające na obliczenie współczynnika samozacienienia gleby (S_m) przy danej wysokości słońca (α) właśnie za pośrednictwem tego parametru ma postać:

$$S_m = 0,3845\Sigma P + 0,346 + 2,87 \times 10^{-5} (90 - \alpha)^{2,1831} \quad (1)$$



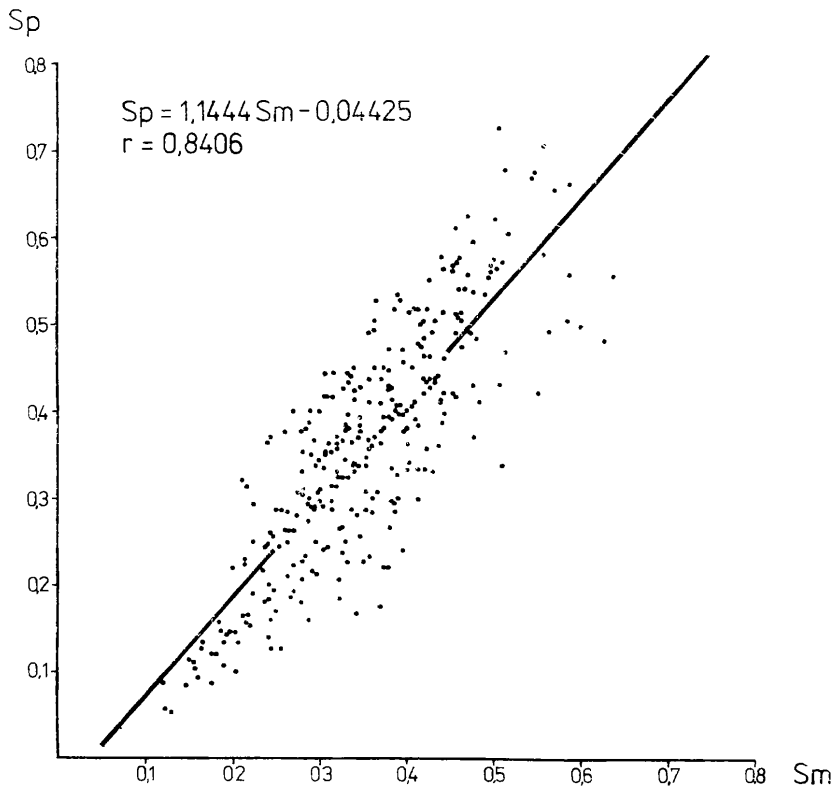
Rys. 3. Przedstawienie graficzne równania opisującego współczynnik samozacienienia powierzchni gleby (S_m) w funkcji wysokości słońca (α) i parametru struktury zbrylenia powierzchni gleby (ΣP):
 — — — przypuszczalny przebieg funkcji

Fig 3. Plot of the equation describing the self-shading coefficient of soil surface (S_m) as a function of solar altitude (α) and the parameter of surface soil clod structure (ΣP):
 — — — hypothetical line

from of the function

Współzależność między danymi z pomiarów na zdjęciach (Sp) a obliczonym według tego równania (Sm) oddzielnie w 51 częściach analizowanych zdjęć wiąże przeciętnie współczynnik korelacji 0,96, pozwalający ocenić je na poziomie istotności mniejszym od 0,05. Te same współzależności, ale rozpatrywane w całej populacji 312 analizowanych par danych, określa współczynnik korelacji 0,84, pozwalający oceniać poprawność równania na jeszcze niższym poziomie istotności (rys. 4).

Funkcja opisana niniejszym równaniem wystarczająco dokładnie przybliża rzeczywisty rozkład współczynników samozacienienia gleby w analizowanym przedziale wysokości słońca (tj. około 15—60°), gdyż dla kątów 0° i 90° nie przyjmuje odpowiednio wartości 1 i 0 takich, jakie wynikają z samej definicji współczynnika samozacienienia powierzchni gleby w funkcji wysokości słońca. Do opisu interesującej nas funkcji w całym przedziale wysokości słońca (0—90°) odpowiednia byłaby prawdopodobnie bardziej złożona funkcja wielomianu n -tego stopnia (rys. 3).



Rys. 4. Współzależność pomiędzy wskaźnikami samozacienienia gleby ustalonymi na podstawie pomiarów (Sp) i obliczonymi według równania (1) (Sm)

Fig. 4. Relation between the self-shading coefficients of soil surface determined from measurements (Sp) and from equation (1) (Sm)

Wielkość wpływu współczynników samozacienienia powierzchni gleby na gęstość optyczną ich obrazu na czarno-białym panchromatycznym filmie lotniczym rozpatrzono w odniesieniu do wzorów poszczególnych punktów badawczych pozbawionych zbrylenia ich powierzchni. Za takie wzorce przyjęto średnie wartości współczynników jasności próbek glebowych w przedziale czułości zastosowanego filmu, tj. 380—710 nm. Ponieważ w czasie rejestracji zdjęć lotniczych przypowierzchniowa warstwa gleby była przesuszona, posłużono się współczynnikami jasności spektralnej odnoszącymi się do próbek powietrznie suchych (R). Aby ilościowo sprecyzować wpływ zacienienia gleby na gęstość optyczną (D) jej obrazu na zdjęciu lotniczym, zastosowano specjalną procedurę (jej wyniki zestawiono w tab. 2). Najpierw obliczono współczynniki samozacienienia gleb (S_m) poszczególnych punktów badawczych dla wysokości słońca, w momencie rejestracji zdjęcia lotniczego ($53,5^\circ$). Następnie ustalono równania liniowe wiążące jasność spektralną gleb z ich gęstością optyczną na filmie w dwóch grupach danych o podobnych wartościach współczynników samozacienienia gleby (nie różniących się więcej niż 0,06). Grupy te obejmowały dane odnoszące się do punktów badawczych o najmniejszych wartościach współczynników samozacienienia gleb (punkty 6, 7 i 9) oraz o największych ich wartościach (punkty 4, 8, 11, 12 i 13). Na podstawie położenia tych dwóch obliczonych prostych w układzie R - D interpretowano i ekstrapolowano dalsze proste odnoszące się do współczynników samozacienienia powierzchni gleb (S_m) od 0 do 0,50. Sporządzono w ten sposób diagram umożliwiający określenie gęstości optycznej gleby na negatywie na podstawie jej współczynnika jasności spektralnej oznaczonego w laboratorium (R) oraz współczynnika samozacienienia jej powierzchni w rozpatrywanych warunkach oświetlenia (rys. 5). Współzależności przedstawione niniejszym diagramem zostały opisane na poziomie istotności około 0,05. Świadczy o tym współczynnik korelacji $r = 0,954$, wiążący odpowiadające sobie wielkości gęstości optycznej obrazu określone z wykresu i pomierzone na negatywach (w punktach, których dane nie wykorzystano do jego sporządzenia).

Na podstawie tak otrzymanego wykresu wykazano ilościowo znaczny wpływ samozacienienia gleby na jej obraz na panchromatycznych zdjęciach lotniczych. W analizowanych warunkach zmiana współczynnika samozacienienia powierzchni gleby o 0,1 wśród czarnych ziem o współ-

Tabela 2

Table 2

Wyniki wpływu samozacienienia powierzchni gleb na ich obraz na zdjęciu lotniczym
Results of soil surface self-shading influence on soil image on the aerial photograph

Nr punktu (Point No)	ΣP	$\bar{R}_{380-710}$ %	$\bar{S}m_{53,5^\circ}$	D	$D_{(R,S,m)}$
1	0.3214	19.3	0.166	1.64	1.67
2	0.4316	21.0	0.227	1.62	1.66
3	0.5357	22.9	0.302	1.61	1.64
4	0.7052*	24.0*	0.339*	1.60*	1.64
5	0.3457	25.3	0.245	1.75	1.72
6	0.1277*	35.3*	0.112*	1.94*	1.99
7	0.0573*	28.8*	0.088*	1.93*	1.89
8	0.4799*	12.7*	0.331*	1.50*	1.46
9	0.2032*	14.6*	0.141	1.62*	1.60
10	0.3855	15.0	0.289	1.49	1.52
11	0.4560*	11.0*	0.344*	1.42*	1.43
12	0.5429*	11.3*	0.357*	1.39*	1.42
13	0.5605*	10.8*	0.380*	1.45*	1.41
14	0.6728	10.8	0.436	1.43	1.38

ΣP — przeciętny udział całkowitej powierzchni brył gleby w rzucie poziomym
(average share of total soil clod area in the horizontal projection)

$\bar{R}_{380-710}$ — średni współczynnik jasności spektralnej gleb oznaczony w przedziale 380—710 nm
(average percentage of soil reflectance determined in the interval from 380—710 nm)

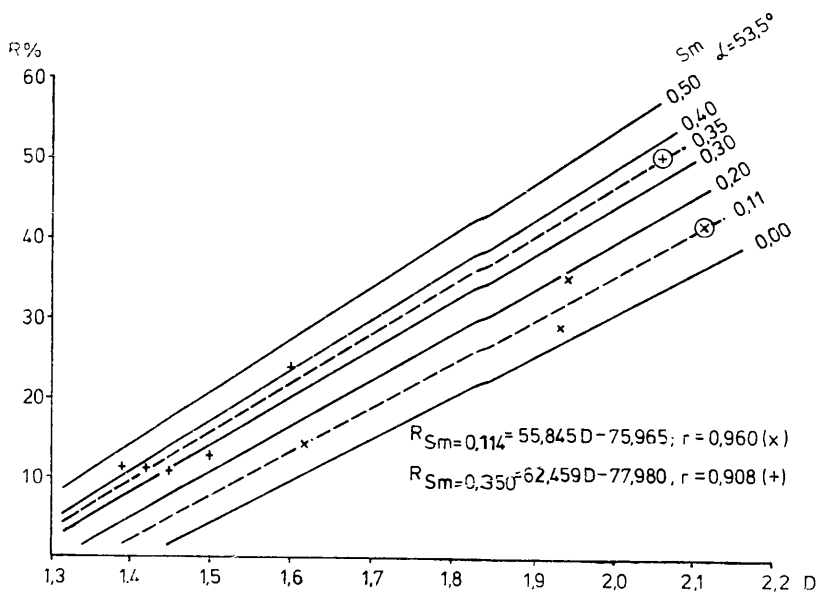
$\bar{S}m$ — średni współczynnik samozacienienia powierzchni gleby obliczony dla $\alpha = 53,5^\circ$
odpowiadający wysokości słońca podczas fotografowania lotniczego
(average self-shading of soil surface calculated for $\alpha = 53,5^\circ$, i.e. for solar altitude during aerial photography)

D — gęstość optyczna gleby na negatywie zdjęcia lotniczego
(optical density of soil on the soil aerial photograph negative)

$D_{(R,S,m)}$ — gęstość optyczna gleby określona dla danych wartości R i S_m za pośrednictwem diagramu na rys. 5
(soil optical density determined for given R and S_m , from diagram in fig. 5)

* — wartości wykorzystane do sporządzenia diagramu na rys. 5
(values used for drawing diagram in fig. 5)

czynnikach jasności spektralnej ich próbek w zakresie 11—15% powoduje zmianę gęstości optycznej negatywu o około $0,06D$, natomiast wśród gleb płowych o współczynnikach jasności spektralnej próbek w przedziale 19—35% o około $0,08D$. Wpływ samozacienienia gleby jest tak duży, że gdybyśmy pozbawili zbrylenia czarne ziemie właściwe o przeciętnej gęstości optycznej $D = 1,43$ i współczynniku samozacienienia $0,37$, to cechowałyby się gęstością optyczną około $1,63$, a więc zbliżoną do gleb płowych właściwych i zerodowanych (punkty 1, 2, 3 i 4).



Rys. 5. Diagram określający współzależność pomiędzy współczynnikiem jasności spektralnej gleby (R), współczynnikiem zacielenia jej powierzchni (Sm) oraz gęstością optyczną jej obrazu na zdjęciu lotniczym (D)

Fig. 5. Diagram showing the relation between soil reflectance (R), self-shading coefficient of soil surface (Sm) and optical density of image on the aerial photograph (D)

DYSKUSJA

Niniejsza praca omawia wpływ struktury zbrzylenia poziomo usytuowanej powierzchni gleby na obraz zdjęcia lotniczego. W przypadku, gdy powierzchnia pola nie jest pozioma albo cechuje ją określony mikrorelief wytworzony specyficznymi zabiegami agrotechnicznymi, zjawisko to jest bardziej złożone. Na przykład przy niskiej pozycji słońca na powierzchni pola z charakterystycznymi dla uprawy ziemniaka redlinami udział zacielenionych fragmentów gleby wynika nie tylko z samego jej zbrzylenia, ale również z istnienia tych mikrowyniosłości.

Zbrzylenia gleb płowych określonego w niniejszej pracy bezpośrednio po bronowaniu nie można porównywać ze zbrzyleniem czarnych ziem formowanym wprawdzie przez ten sam zabieg agrotechniczny, ale w innych warunkach wilgotnościowych i analizowanym po upływie siedmiu miesięcy od tego zabiegu. Przykład dużego zróżnicowania między zbrzyleniem powierzchni gleb płowych odnoszących się do obu przypadków pozwala przypuszczać, że w porównywalnych warunkach rozpiętość

między zbryleniem gleb płowych i czarnych ziem jest większa, niż to dokumentują wyniki niniejszej pracy.

Dotychczasowe próby ujęcia matematycznego wielkości odbicia spektralnego gleb uwzględniały wpływ wielu skomplikowanych parametrów struktury gleby, nie uwzględniały natomiast wpływu wysokości słońca. Dla przykładu D. Orlov w 1966 roku (*Manual of remote sensing*, 1975) precyzuje równanie wykładnicze pozwalające na obliczenie wielkości odbicia spektralnego gleb na podstawie średnicy bryłek, wskaźników określających ich kształt i wzajemne upakowanie wraz z uwzględnieniem poziomu odbicia światła z brył o największych średnicach. Równanie ustalone w wyniku niniejszych badań wykorzystuje natomiast parametr struktury zbrylenia powierzchni gleby, który stosunkowo łatwo można oszacować makroskopowo, wykorzystując do tego celu chociażby diagramy przeznaczone do wzrokowej oceny procentowej zawartości płam w profilu glebowym. Przypuszczalny przebieg wiążącej udział całkowitej powierzchni brył w ich rzucie poziomym (ΣP) ze współczynnikiem samozacienienia gleby (S_m) poza badanym przedziałem wysokości słońca α (od 18 do 56°) wykreślono (rys. 3) na podstawie rozważań tych współzależności na modelu matematycznym, w którym udział cienia wynika z obecności kul o określonej średnicy, rozmieszczonych w ustalonych odstępach od siebie na płaszczyźnie poziomej.

Analiza wykresu obrazującego współzależności między jasnością spektralną gleb a gęstością optyczną ich obrazu na wykonanym zdjęciu lotniczym, z uwzględnieniem współczynnika zbrylenia struktury ich powierzchni (rys. 5), potwierdza spostrzeżenie F. Belongowej i J. Tolchelnikova z 1959 roku (*Manual of remote sensing*, 1975), że gleby pozabawione naturalnej struktury powierzchni odbijają o 15—20% więcej światła niż gleby o dobrze wykształconej strukturze.

Wyniki analizy wpływu zbrylenia powierzchni gleby na gęstość optyczną obrazu panchromatycznego zdjęcia lotniczego dowodzą, że zaproponowana w niniejszej pracy procedura wykorzystania laboratoryjnych danych spektrofotometrycznych gleb czyni te dane stosunkowo wiarygodnymi.

WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Współczynnik samozacienienia poziomej powierzchni gleby (S_m) w funkcji wysokości słońca (α) można obliczyć na podstawie łatwego do oszacowania makroskopowego parametru struktury zbrylenia powierz-

chni gleby, określającego udział całkowitej powierzchni brył w ich rzucie poziomym (ΣP) według równania:

$$S_m = 0,3845\Sigma P + 0,0346 + 2,87 \times 10^{-5} (90 - \alpha)^{2,1831}$$

Równanie to w przedziale około 15—60° opisuje związek między S_m i α na poziomie istotności niższym od 0,05.

2. Na przykładzie czarno-białego panchromatycznego filmu lotniczego stwierdzono, że zmiana współczynnika samozacienienia powierzchni gleby o 0,1 wśród czarnych ziem, o współczynnikach jasności spektralnej w zakresie 11—15%, powoduje zmianę gęstości optycznej negatywu o około 0,06D, natomiast wśród gleb płowych, o współczynnikach jasności spektralnej w przedziale 19—35%, o około 0,08D.

Wpływ samozacienienia powierzchni gleby na obraz zdjęcia lotniczego jest tak duży, że gdybyśmy całkowicie pozbawili zbrylenia czarne ziemie właściwe, to cechowałyby się taką gęstością optyczną, jaką w warunkach naturalnych wykazują gleby płowe właściwe i zerodowane.

LITERATURA

- Białousz S., 1978: *Zastosowanie fotointerpretacji do wykonywania map stosunków wodnych gleb*, [w:] *Prace Kom. Nauk PTG*, V/35, Warszawa.
- Cierniewski J., Kijowski A., Mizgajski A., 1981: *The influence of surface soil moisture on the spectral response soil cover in the sensitive region of infrared film*, [in:] *III^{ème} Colloque, Pédologie-Télédétection-Informatique. Résumés des rapports*, Association Internationale de la Science du Sol-Groupe de Travail „Pédologie et Télédétection”, Société Polonaise de la Science du Sol, Ecole Polytechnique de Varsovie, Warszawa-Jabłonna.
- Gerbermann A. H., Neher D. D., 1979: *Reflectance of varying mixtures of a clay soil and sand*, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 45, n° 8, s. 1145—1151.
- Manual of remote sensing*, American Society of Photogrammetry, 1975, Falls Church, Virginia.
- Strzałkowski A., Śliżyński A., 1978: *Matematyczne metody opracowywania wyników pomiarów*, PWN, Warszawa.

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ СКОМЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ
НА ИХ ИЗОБРАЖЕНИЕ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ**

Резюме

В работе количественно уточняется влияние структуры скомления поверхности почв, лишенных растительности, на их изображение на аэрофотоснимках. В основу взят тезис о том, что это влияние отражается путем самозатенения освещенной поверхности почвы. На основании компьютерного анализа изображения панхроматических фотоснимков почвы с разной структурой скомления поверхности определена величина их самозатенения в функции высоты солнца. Обнаружено, что коэффициент самозатенения поверхности почвы при определенной высоте положения солнца можно вычислить, применяя для макроскопической оценки параметр структуры скомления поверхности почвы, который определяет участие общей поверхности комков почвы горизонтальной проекции. Установленное уравнение степени описывает эту зависимость ниже, чем 0,05 на уровне значимости, в интервале от около 15 до 60°. Величина влияния коэффициента самозатенения поверхности почв на оптическую плотность аэрофотоснимков анализировалась на черно-белой панхроматической пленке в масштабе 1:10 000, заснятой синхронно с наземным фотографированием, при помощи которого определено упомянутое уравнение. Установлено, что изменение коэффициента самозатенения поверхности черных земель на 0,1 вызывает изменение оптической плотности негатива на около 0,06 D, а типичных лессивированных почв — на около 0,08 D. Влияние самозатенения поверхности почв на их изображение на аэрофотоснимке настолько большое, что если бы мы совершенно лишили скомленности черные земли, то они имели бы такую оптическую плотность, какую имеют в обычных условиях типичные и эрозированные лессивированные почвы.

JERZY CIERNIEWSKI

**INFLUENCE OF SOIL SURFACE CLOD STRUCTURE ON ITS AERIAL
PHOTOGRAPH IMAGE**

Summary

The quantitative influence of soil surface clod structure of bare soils on their image an aerial photograph is determined. This study is based on the thesis that this influence is reflected by the self-shading of the illuminated soil surface. Basing on computer analysis of ground level panchromatic shots for soils of various surface clod structures the self-shading coefficient was determined as a function solar altitude. It was found that for a given soil and solar altitude this self-shading coefficient may be calculated from a soil surface clod structure parameter easy to estimate macroscopically, which determines the share of the total clod area in their horizontal projection. An exponential equation was derived

which expresses this relation in the interval from about 15 to 60° with a significance level less than 0,05. The influence of the soil surface self-shading coefficient on optical density of an aerial photograph was analysed on a black-and-white panchromatic film, on a scale 1:10 000, taken at the same time as the ground photography used to derive the given equation. It was found that a change in the soil surface self-shading coefficient of 0.1 for black earths causes a change of optical density on the negative of about 0,06D, and for grey-brown podsol soil of about 0,08D. The influence of self-shading of soil surface on the aerial photograph is so important that if cloddiness of the true black earths was completely eliminated they would exhibit the same optical density as shown for true and eroded grey-brown podsol soils in natural conditions.