

ZBIGNIEW BOCHENEK

WYKORZYSTANIE ZDJĘĆ SATELITARNYCH AVHRR NOAA DO OKREŚLANIA
STANU UŻYTKÓW ZIELONYCH

Praca została wykonana w ramach
realizacji programu POL/88/002
sponsorowanego przez UNDP/FAO
i Polską Akademię Nauk.

ZARYS TREŚCI. W artykule została przedstawiona metoda szacowania wielkości wskaźników przyrodniczych charakteryzujących stan zbiorowisk roślinnych, tzn. biomasy i wskaźnika pokrycia roślinnością LAI. Metoda ta zakłada wykorzystanie zdjęć satelitarnych, rejestrowanych za pomocą radiometru AVHRR NOAA w widzialnym i podczerwonym zakresie spektrum, oraz zdjęć lotniczych i pomiarów naziemnych wykonywanych na reprezentatywnych powierzchniach testowych. Przedstawione w artykule prace metodyczne wykazały silne związki pomiędzy wyznaczanymi wielkościami wskaźników przyrodniczych i wartościami odbicia spektralnego, rejestrowanymi z pułapu lotniczego i satelitarnego.

1. Wstęp

Radiometr o wysokiej zdolności rozdzielczej - AVHRR, zainstalowany na pokładach satelitów serii NOAA jest instrumentem pięciokanałowym. Poza detektorami rejestrującymi promieniowanie w zakresie podczerwieni termalnej 3.55-3.93 μm (kanał 3), 10.3-11.3 μm (kanał 4) i 11.5-12.5 μm (kanał 5) radiometr ten rejestruje także promieniowanie w zakresie widzialnym 0.58-0.68 μm (kanał 1) oraz w zakresie bliskiej podczerwieni 0.72-

1.1 μm (kanał 2). Z chwilą jego uruchomienia w wielu ośrodkach naukowych rozpoczęto prace badawcze zmierzające do określenia stopnia przydatności zdjęć rejestrowanych w kanałach 1 i 2 dla śledzenia stanu zbiorowisk roślinnych. Wyniki tych prac [Holben 1986, Justice, 1986, Townshend, 1986, Pinter, 1987] wykazują użyteczność przetworzonych danych rejestrowanych w wyżej wymienionych kanałach dla wielkopowierzchniowego określania stopnia pokrycia gleby roślinnością i szacowania wielkości biomasy. Prace te były z reguły prowadzone w odmiennych od naszej strefy warunkach klimatycznych, dla zbiorowisk roślinnych strefy półpustynnej i tropikalnej. Dlatego też postanowiono przebadac w warunkach Polski użyteczność zdjęć satelitarnych rejestrowanych w kanałach 1 i 2 radiometru AVHRR dla wielkopowierzchniowej oceny stanu rozwoju roślinności na obszarach użytków zielonych.

2. Metodyka prac badawczych

Aby móc właściwie określić zależności pomiędzy parametrami agrometeorologicznymi i satelitarnymi danymi teledetekcyjnymi postanowiono zorganizować prace badawcze w taki sposób, aby przeanalizować zmienność odbicia spektralnego łąk w zakresie promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni, rejestrowanego za pomocą spektrometru w toku badań naziemnych oraz fotograficznie z pułapu lotniczego. Do badań naziemnych wykorzystano spektrometr SPZ-03, skonstruowany w Centrum Badań Kosmicznych PAN, będący w posiadaniu Instytutu Ochrony Roślin w Poznaniu. Instrument ten rejestruje promieniowanie elektromagnetyczne w 7 wąskich przedziałach spektrum widzialnego i bliskiej podczerwieni, a mianowicie: 440 nm, 540 nm, 555 nm, 640 nm, 740 nm, 860 nm i 960 nm.

Oprócz wartości odbicia w wyżej wymienionych zakresach spektrum instrument rejestruje także za pomocą specjalnych czujników temperaturę kontaktową gleby, roślin i powietrza. Wyniki pomiarów terenowych są zapisywane w postaci cyfrowej i po przetworzeniu, za pomocą programu realizowanego przez mikrokomputer, prezentowane w formie wydruku.

Pomiary terenowe wartości odbicia spektralnego zostały wyko-

nane na 10 stanowiskach zróżnicowanych pod względem stanu roślinności i wilgotności gleby, w porze dnia zsynchronizowanej z czasem przelotu satelity NOAA nad poligonem badawczym.

Równocześnie z pomiarami naziemnymi była prowadzona rejestracja fotograficzna wybranego obszaru badań. Zdjęcia fotograficzne z pokładu smigłowca wykonano z trzech pułapów: z wysokości 1800 m, 400 m i 100 m. Zdjęcia były wykonywane za pomocą kamery Hasselblad na błonach fotograficznych rejestrujących promieniowanie w dwóch zakresach spektrum: czerwonym i podczerwonym. Na podstawie zdjęć wykonanych z wysokości 1800 m został sporządzony fotoszkic w skali 1:10000 obejmujący cały obszar badań. Umożliwił on szczegółową lokalizację naziemnych punktów pomiarowych oraz powierzchniową ocenę zmienności obrazu zbiorowisk roślinnych.

Na negatywach zdjęć w skali 1:20000 dokonano pomiaru gęstości optycznej w punktach badań terenowych. Pomiar został przeprowadzony za pomocą densytometru punktowego Meodenzi, z wykorzystaniem dwóch szczelin pomiarowych o średnicach odpowiednio 3 mm i 1 mm.

Równoległe z pomiarami teledetekcyjnymi na obszarze poligonu badawczego prowadzone były przez pracowników Akademii Rolniczej w Poznaniu pomiary parametrów meteorologicznych: temperatury i wilgotności powietrza, prędkości wiatru, radiacji słonecznej i strumienia różnicowego. Wyznaczano także następujące parametry charakteryzujące stan badanych zbiorowisk:

- wskaźnik pokrycia roślinnością - LAI,
- wielkość biomasy,
- wilgotność gleby na 4 poziomach głębokości.

Dzięki równoczesnej akcji wykonywania naziemnych pomiarów spektralnych i agrometeorologicznych, zsynchronizowanej z rejestracją z pułapu lotniczego i satelitarnego otrzymano zespół danych umożliwiający porównawcze przebadanie zależności przyrodniczo-teledetekcyjnych dla trzech poziomów szczegółowości.

3. Analiza wyników pomiarów spektralnych

W pierwszym etapie prac szczegółowej analizie poddano zespół naziemnych pomiarów spektralnych i agrometeorologicznych. Do

analizy statystycznej wszystkich wyków pomiarów wykorzystano program STATGRAF działający na komputerze IBM PC, umożliwiający m.in. określenie korelacji zbiorów danych, wyznaczenie równań regresji oraz prezentację graficzną wyznaczonych zależności.

W pierwszej kolejności postanowiono przebadać zależność pomiędzy wartościami odbicia rejestrowanymi przez spektrometr i parametrami przyrodniczymi: wskaźnikiem pokrycia roślinnością -LAI, wielkością biomasy i wilgotnością gleby. Z siedmiokanałowego zbioru danych charakteryzujących odbicie spektralne łąk wybrano dane określające wielkość odbicia w dwóch zakresach spektrum: czerwonym i podczerwonym, odpowiadającym zakresom promieniowania rejestrowanym w trakcie fotografowania lotniczego oraz w kanałach 1 i 2 radiometru AVHRR. Na podstawie tych wielkości obliczono znormalizowane wskaźniki roślinności - NDVI określone w wyniku badań w wielu ośrodkach naukowych jako najbardziej efektywne do korelowania z parametrami agrometeorologicznymi, stosując wzór

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{RED}) / (\text{IR} + \text{RED}) \quad (1)$$

gdzie

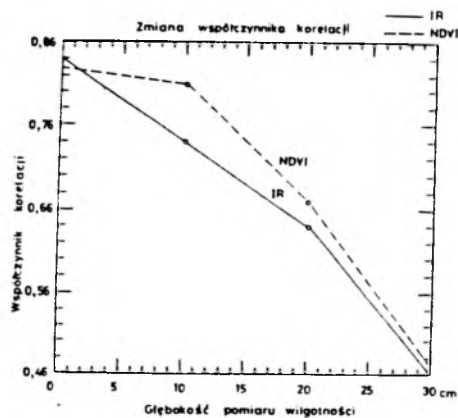
IR - wielkość odbicia w zakresie podczerwonym
RED - wielkość odbicia w zakresie czerwonym.

Analizy statystyczne przeprowadzono w sposób systematyczny, dokonując kolejno badania regresji i korelacji pomiędzy:

- wielkością odbicia w zakresie podczerwonym i wskaźnikiem pokrycia roślinnością LAI,
- wielkością odbicia w zakresie czerwonym i wskaźnikiem LAI,
- znormalizowanym wskaźnikiem roślinności NDVI i wskaźnikiem LAI,
- wielkością odbicia w zakresie podczerwonym i ilością suchej biomasy,
- znormalizowanym wskaźnikiem roślinności NDVI i ilością suchej biomasy,
- wielkością odbicia w zakresie podczerwonym i wilgotnością gleby,

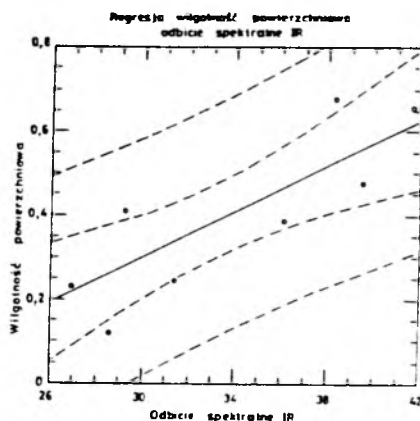
- znormalizowanym wskaźnikiem roślinności NDVI i wilgotnością gleby.

Przed rozpoczęciem głównej serii analiz przeprowadzono wstępną analizę związaną z badaniem korelacji pomiędzy wielkością odbicia w zakresie podczerwonym i wilgotnością gleby. Wskaźnik wilgotności gleby, definiowany jako stosunek masy wody do masy gleby w określonej jednostce objętości, był zwykle wyznaczany w trakcie prac terenowych dla 4 poziomów głębokości: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm i 30-40 cm. Celem wstępnej analizy było zbadanie, jak kształtuje się zależność pomiędzy wielkościami odbicia w zakresie podczerwonym a wskaźnikiem wilgotności gleby na różnych poziomach głębokości. Analogiczną analizę przeprowadzono dla zbadania zależności pomiędzy znormalizowanym wskaźnikiem roślinności NDVI i wilgotnością gleby. Podsumowanie wyników tych analiz przedstawia rysunek 1, obrazujący zmienność współczynnika korelacji dla kolejnych poziomów głębokości.



Rys. 1.

Z wykresu przedstawionego na rysunku 1 wynika, iż stosunkowo najwyższy współczynnik korelacji pomiędzy wielkością odbicia w zakresie podczerwonym i wilgotnością gleby występuje dla warstwy powierzchniowej 0-10 cm ($r=0.84$; $n=9$). Zależność ta w postaci graficznej została przedstawiona na rysunku 2.



Rys. 2.

Analogiczny wniosek wynika dla korelacji wskaźnik NDVI - wilgotność gleby ($r=0.83$). Przebadano również siłę związku pomiędzy wielkością odbicia w zakresie podczerwonym a wilgotnością średnią, obliczoną z całego profilu glebowego 0-40 cm. Stwierdzono istnienie nieco słabszej zależności, niż w przypadku wilgotności warstwy powierzchniowej ($r=0.77$).

Przebadano także różne funkcje określające zależności między badanymi parametrami. Okazało się, iż badane związki najlepiej opisuje funkcja liniowa typu $y = a + b \cdot x$. W trakcie tej analizy stwierdzono również nieco niższą korelację powierzchniowej wilgotności gleby ze znormalizowanym wskaźnikiem roślinności NDVI, niż z wielkością odbicia w zakresie podczerwonym. Po szczegółowym przebadaniu statystycznym okazało się, iż ten stan rzeczy wywołuje słaba zależność pomiędzy wilgotnością gleby a wielkością odbicia w zakresie czerwonym, będąca składową wskaźnika NDVI.

Podobny charakter zależności między wilgotnością gleby a odbiciem spektralnym zaobserwowano w dwóch seriach pomiarowych, wykonanych w maju i lipcu br.

Na podstawie serii lipcowej, charakteryzującej się większym zróżnicowaniem wilgotnościowym i wyższym współczynnikiem korelacji wyznaczono równanie regresji

$$W = -0.512 + 0.027 \cdot IR \quad (2)$$

gdzie

W - wilgotność gleby w warstwie powierzchniowej
IR - wielkość odbicia w zakresie podczerwonym.

Błąd średni wyznaczenia wilgotności wyniósł $m = 0.11$.

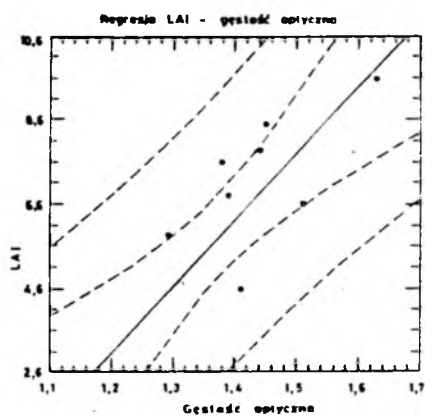
Następnym etapem prac było badanie związków pomiędzy odbiciem spektralnym traw a parametrami przyrodniczymi, charakteryzującymi lepiej niż wilgotność gleb produktywność użytków zielonych tzn. wskaźnikiem pokrycia roślinnością LAI i wielkością suchej biomasy. Przeprowadzono analizę regresji pomiędzy tymi dwoma parametrami a wielkością odbicia w zakresie podczerwonym oraz wskaźnikiem NDVI. Wyniki tej analizy wykazały brak silnego związku pomiędzy wskaźnikiem LAI a wielkością odbicia w zakresie podczerwonym ($r = 0.40$) oraz wielkością znormalizowanego wskaźnika roślinności NDVI. Analogiczny stopień zależności występuje pomiędzy wielkością biomasy a odbiciem spektralnym w podczerwieni ($r = 0.51$).

Uzyskane wyniki analizy skłoniły do wyciągnięcia wniosku, iż brak korelacji pomiędzy parametrami przyrodniczymi a wielkościami odbicia spektralnego określonymi za pomocą spektrometru może wynikać z punktowego charakteru pomiarów spektrometrycznych. W przypadku pomiarów naziemnych wykonywanych spektrometrem SPZ-03 pole widzenia ma bowiem średnicę ok. 40 cm. Postawiono zatem zbadac, czy istnieje związek pomiędzy parametrami przyrodniczymi a wielkością odbicia w zakresie podczerwonym określona za pomocą pomiarów densytometrycznych, wykonanych na negatywach zdjęć lotniczych pokrywających badany poligon. W przypadku zdjęć lotniczych w skali 1:20000 pomiar gęstości optycznej jest dokonywany na stosunkowo dużej powierzchni, pozwalającej na uśrednienie warunków przyrodniczych. W tej pracy pomiary densytometryczne były wykonywane przy wykorzystaniu szczeliny roboczej densytometru, umożliwiającej określenie wielkości odbicia z obszaru o średnicy 60 m.

Wyniki analizy regresji potwierdziły słuszność przyjętych założeń. Stwierdzono silny związek pomiędzy wskaźnikiem pokrycia roślinnością LAI i gęstością optyczną w zakresie podczerwonym, charakteryzujący się współczynnikiem korelacji

$r = 0.83$ (dla $n=11$).

W przypadku zależności pomiędzy wielkością suchej biomasy a gęstością optyczną w zakresie podczerwonym współczynnik korelacji wyniósł $r = 0.85$. Rezultaty tej analizy dla wskaźnika LAI są przedstawione na rysunku 3.



Rys. 3.

W wyniku powyższej analizy wyznaczono równania regresji opisujące badane zależności:

$$\text{LAI} = -15.91 + 15.820 \cdot \text{DIR} \quad (3)$$

gdzie

LAI - wskaźnik pokrycia roślinnością,
DIR - gęstość optyczna w zakresie podczerwonym

oraz

$$B = -216.06 + 215.761 \cdot \text{DIR} \quad (4)$$

gdzie

B - wielkość suchej biomasy,
DIR - gęstość optyczna w zakresie podczerwonym.

Przeprowadzono także analizę regresji pomiędzy wilgotnością gleby w warstwie powierzchniowej a gęstością optyczną w zakresie podczerwonym. Analiza ta wykazała brak korelacji między badanymi wielkościami ($r=0.35$); wynik ów wskazuje na małą powierzchnię reprezentatywność punktów pomiaru wilgotności gleby.

Otrzymanie silnego związku pomiędzy gęstością optyczną obrazu łąk mierzona na zdjęciach lotniczych a parametrami przyrodniczymi (LAI i biomasa) umożliwiło zagęszczenie punktów określania tych parametrów, poprzez wykonanie pomiarów densytometrycznych dla charakterystycznych fragmentów łąk i wykorzystanie wyznaczonych równań regresji. Zwiększenie liczby tych punktów miało zasadnicze znaczenie dla realizacji następnego etapu prac - zbadania zależności pomiędzy wielkością odbicia spektralnego rejestrowanego w kanałach 1 i 2 radiometru AVHRR a parametrami przyrodniczymi badanych łąk.

W pierwszej fazie tego etapu prac na obszarze badanego poligonu łąkowego wyznaczono 6 powierzchni o wymiarach 1100×1100 m tzn. odpowiadających wymiarom piksela radiometru AVHRR. W ramach każdej powierzchni znajdowały się punkty o zróżnicowanej wilgotności gleby, określonej w trakcie prac terenowych. Dla tych punktów pomierzono na zdjęciach lotniczych gęstość optyczną oraz wykorzystując wyznaczone równania regresji obliczono wielkości wskaźnika LAI i suchej biomasy. Następnie dla każdej z sześciu powierzchni reprezentujących piksele AVHRR na podstawie punktów w nich zawartych wyznaczono uśrednione wartości wskaźnika LAI i suchej biomasy. Wartości tych parametrów przyrodniczych utworzyły zbiór danych terenowych do zbadania związku z wielkością odbicia spektralnego rejestrowanego przez radiometr AVHRR zainstalowany na satelitach NOAA.

Kolejnym etapem prac było określenie wielkości odbicia w kanałach 1 i 2 radiometru AVHRR dla wyznaczonych sześciu powierzchni terenowych. W pierwszej fazie określono współrzędne geograficzne środków tych powierzchni na podstawie map w skali 1:50000. Następnie wykorzystując program transformacyjny opracowany w OPOLIS na zdjęciu satelitarnym zlokalizowano piksele odpowiadające powierzchniom terenowym. Dla tych pikseli określono wielkości odbicia w zakresie widzialnym i podczerwonym (kanał 1 i 2 AVHRR) oraz obliczono wielkości znormalizowanego

wskaznika roślinności NDVI. W ten sposób utworzono pełen zbiór danych do zbadania zależności pomiędzy parametrami przyrodniczymi las a ich charakterystyka spektralna rejestrowana za pomocą zdjęć satelitarnych NOAA/AVHRR.

W finalnej części prac wykonano analizę korelacji pomiędzy:

- znormalizowanym wskaźnikiem roślinności NDVI i wskaźnikiem pokrycia roślinnością LAI
- wskaźnikiem NDVI i wielkością suchej biomasy.

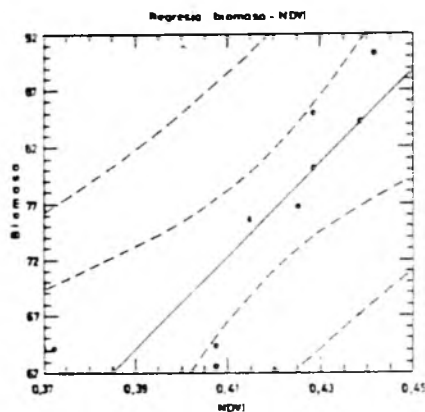
Wyniki analizy wykazały korelację obu badanych zbiorów danych. Otrzymane zależności charakteryzują następujące współczynniki korelacji:

$r = 0.82$ dla regresji LAI - NDVI,

$r = 0.85$ dla regresji BIOMASA - NDVI.

Oba współczynniki są istotne przy zastosowaniu kryterium istotności dla poziomu ufności równego 0.05 ($n = 8$).

Rezultaty analizy dla regresji biomasa - NDVI zostały przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4.

W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej wyznaczono równania regresji, opisujące matematyczne związki pomiędzy wskaźnikiem roślinności NDVI określanym na podstawie zdjęć satelitarnych AVHRR a parametrami przyrodniczymi: wskaźnikiem LAI i wielkością suchej biomasy. Należy podkreślić, iż wyznaczone zależności są słabsze dla analizowanego zestawu zdjęć satelita-

rnych NOAA AVHRR. Aby miały one charakter uniwersalny, tzn. mogły być stosowane dla wielu zestawów zdjęć, należy uprzednio zredukować wielkości odbicia tworzące wskaźnik NDVI do wspólnego poziomu odniesienia, poprzez wykorzystanie elementów treści zdjęcia, charakteryzujących się względną stałością odbicia promieniowania widzialnego i podczerwonego, np. akwenów wodnych.

4. Podsumowanie

Wyniki prac przeprowadzonych w 1989 roku wykazały, iż zaproponowana metodyka określania wielkości biomasy i wskaźnika pokrycia roślinnością LAI na podstawie zdjęć satelitarnych AVHRR NOAA rejestrowanych w widzialnym i podczerwonym zakresie spektrum może być efektywnym narzędziem szacowania tych parametrów przyrodniczych, które są estymatorami produktywności użytków zielonych. Metodyka ta bazuje na informacjach pochodzących z pomiarów naziemnych wyżej wymienionych parametrów, wykonywanych na reprezentatywnych powierzchniach testowych. Pomiarów te są następnie zagęszczane poprzez zastosowanie zdjęć lotniczych wykonanych w podczerwonym zakresie spektrum i wykorzystanie zależności funkcyjnych pomiędzy wielkością biomasy i LAI a gęstością optyczną obrazu łąk. Kończącym etapem przedstawionej metodyki jest wyznaczenie na podstawie reprezentatywnych pikseli zdjęć satelitarnych AVHRR NOAA równań opisujących zależności pomiędzy szacowanymi parametrami przyrodniczymi i wskaźnikiem charakteryzującym odbicie spektralne łąk. Zależności te, ze względu na statystycznie niewielką liczebność pomiarów w 1989 r wymagają potwierdzenia przy zastosowaniu większej liczby obserwacji. W 1990 roku przewiduje się rozszerzenie programu badań, uściślając opracowaną metodykę, z wykorzystaniem w miejsce drobnoskalowych zdjęć lotniczych wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych III generacji. Uściślenie statystycznych zależności, przy uwzględnieniu dużej zmienności warunków przyrodniczych, pozwoli na efektywne stosowanie teledetekcyjnej metody szacowania biomasy roślinności łąkowej, umożliwiając prognozowanie wielkości zbiorów na obszarach użytków zielonych.

LITERATURA

Frouin R., Gautier C., 1987. Calibration of NOAA-7 AVHRR, GOES5 and GOES6 VISSR/VAS solar channels. Remote Sensing Environ. 22,73.

Gallo K. P., Flesch T. K., 1989. Large-area crop monitoring with the NOAA AVHRR: estimating the silking stage of corn development. Remote Sensing Environ. Vol. 27, No.1,1.

Henricksen B. L., Durki J. W., 1986. Lag period and drought early warning in Africa using satellite data. Int. J. Remote Sensing. Vol. 7, No. 11,1583.

Holben B. N., 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. Int. J. Remote Sensing, Vol.7, No. 11,1417.

Huele A. R., 1988. A soil-adjusted vegetation index. Remote Sensing Environ. 25,295.

Huele A. R., Jackson R. D., 1987. Suitability of spectral indices for evaluating vegetation characteristics on arid rangelands. Remote Sensing Environ. 23,213.

Justice C. O., Hiernaux P. H. Y., 1986. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR in Niger 1983. Int. J. Remote Sensing, Vol. 7, No. 11,1475.

Pinter P. J., Kelly H. L., Schnell S., 1987. Spectral estimation of alfalfa biomass under conditions of variable cloud cover. Proceedings of the 18th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, September 1987.

Rasmussen K., Folving S., Holm J., Sogaard H., 1987. Microcom-

puter technologies for deriving agroclimatological parameters and vegetation indicators from satellite data. Final Report, Copenhagen, December 1987.

Townshend J. R. G., Justice C. D., 1986. *Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. Int. J. Remote Sensing, Vol. 7, No. 11, 1435.*

Recenzował: doc. dr hab. inż. Wojciech Bychawski
Przyjęto do opublikowania w dniu 11 kwietnia 1990 r.

ZBIGNIEW BOCHENEK

APPLICATION OF NOAA AVHRR SATELLITE DATA FOR GRASSLAND STUDIES

S u m m a r y

Method used for assessment of the parameters characterizing productivity of grassland areas, i.e. leaf area index (LAI) and biomass were presented in the article. The assumed approach was based on three-level sampling and data collection, using NOAA AVHRR satellite images as the main source of remotely sensed information, while aerial and ground data were used as supporting information.

The results of regression analyses concerning remotely sensed data and ground parameters revealed good correlations between NDVI indices derived from NOAA AVHRR images and LAI/biomass values. These values can be used as input parameters for large-area estimating yield of grass.

Translation: Author

ЗБИГНЕВ БОХЕНЕК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ NOAA AVHRR
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПАСТБИЩНЫХ УГОДИЙ

Р е з ю м е

В статье представлен метод оценки величины параметров, характеризующих продуктивность пастбищных угодий, так называемого показателя покрытия растительностью (LAI) и биомассы. Этот метод опирается на использовании данных дистанционного зондирования, собираемых с трех уровней, т.е. спутниковых снимков NOAA AVHRR, как главного источника дистанционной информации, а также наземных и самолетных спектральных данных, как дополнительной информации.

Результаты анализов регрессий, охватывающих дистанционные данные и наземные параметры, доказывают хорошие корреляции между показателями зелени NDVI, определенными со спутниковых снимков NOAA AVHRR, а величинами LAI и биомассы, являющимися главными параметрами для оценки урожая на больших пространствах пастбищных угодий.

Перевод: Róża Tołstikowa