

WOJCIECH BYCHAWSKI

Teledetekcyjna metoda szacowania struktury upraw w granicach dużych jednostek administracyjnych

Zarys treści. W artykule jest opisana metoda szacowania powierzchni upraw z wykorzystaniem zdjęć lotniczych. Metoda może znaleźć zastosowanie w odniesieniu do rozdrobnionych gospodarstw w granicach dużych jednostek administracyjnych. Ze względu na stosunkowo niskie koszty i zupełną niezależność od spisu rolnego, metoda może być traktowana jako pomoc w jego weryfikowaniu.

1. Wprowadzenie

Jak dotąd podstawowym źródłem informacji o wielkości powierzchni upraw jest spis rolny wykonywany corocznie przez Główny Urząd Statystyczny.

O spisach rolnych mówi się różnie: zwykle z uznaniem, gdy mowa o wysiłku organizacyjnym, najczęściej z rezerwą, gdy mowa o wiarygodności wyników.

Przyczyna powściągliwego traktowania spisu rolnego tkwi zapewne w jego istocie. Chodzi bowiem o to, że wiedza o wielkości powierzchni upraw pochodzi z oświadczeń gospodarzy a nie z pomiaru. Jest to niestety niemożliwa do ominięcia ułomność spisu, wynikająca z jego rozmiarów. Nie do pomyślenia jest bowiem utrzymanie aż tak licznej służby geodezyjnej, aby była ona zdolna rokrocznie pomierzyć cały kraj, mając do dyspozycji tylko okres od siewu do żniw. Spis musi więc polegać jedynie na oświadczeniach, które powinny być w zgodzie z prawdą. Rzecz jednak w tym, że każdy właściciel indywidualnego gospodarstwa rolnego — a jest ich w Polsce ponad trzy miliony — składa oświadczenie mając wolną wolę mówienia prawdy lub mijania się z nią, a wybór z reguły nie jest zdarzeniem losowym. Raczej należy liczyć się z tym, że na zbiorową prawdomówność uczestników spisu będą miały wpływ zarówno sytuacja społeczno-ekonomiczna wsi, jak i polityka rolna państwa. Łatwo jest taką tezę wypowiedzieć, natomiast znacznie trudniej, chociaż w przybliżeniu, oszacować rozmiary lub przynajmniej tendencje spodziewanych przeinaczeń. Na ogół nie udaje się w tych sprawach wyjść z kręgu hipotez.

Użycie teledetekcji do określania struktury upraw ma na celu przede wszystkim dostarczenie, na przykład Głównemu Urzędowi Statystycznemu, wiedzy o aktualnym sposobie użytkowania gruntów ornych wolnej od ewentualnych deformacji wywołanych przez niekontrolowany, zbiorowy subiektywizm, o który łatwo posądzić spis rolny. Propagując teledetekcję należy podkreślić, że nie chodzi o zastąpienie nią spisu rolnego. Jest to poza możliwościami teledetekcji i nie należy dawać wiary temu, kto twierdzi inaczej. Spis rolny bowiem, to znacznie więcej niż określenie powierzchni zasiewów. Spisem obejmuje się także wiele innych elementów, których rozeznanie z natury rzeczy nie leży w zasięgu możliwości teledetekcji. Przykładem może być pogłowie bydła albo też ogół kwestii związanych z tytułem władania. Natomiast powierzchnia zasiewów jest tym elementem spisu, który jest szczególnie narażony na zniekształcenia spisowe.

Metodę teledetekcji pragnie się ukształtować tak, aby za jej pomocą można było stosunkowo łatwo, szybko i tanio określić strukturę upraw w granicach dużych jednostek administracyjnych. Mówiąc o tym ma się na myśli zamiar określania struktury upraw gospodarstw rozdrobnionych, bilansowanie w granicach województw, dostarczanie wyników w połowie sierpnia każdego roku za kwotę około półtora miliona złotych za województwo (według cen z I połowy 1983 roku).

Cechą charakterystyczną metody teledetekcji jest też i to, że określa się dokładność, z jaką jest wyznaczana powierzchnia poszczególnych upraw. Jest to cecha, której z natury rzeczy brakuje spisowi rolnemu.

Prace nad zastosowaniem teledetekcji do określania struktury upraw w granicach dużych jednostek administracyjnych rozpoczęto w Polsce w 1981 roku. Istotnym założeniem tworzonej metody jest przeświadczenie, że istnieje możliwość do wykorzystania związków między sposobem użytkowania ziemi i waloryzacją rolniczej przestrzeni produkcyjnej. W myśl tego wstępnie postanowiono, że sposób rolniczego użytkowania ziemi dobrze będą opisywały wskaźniki struktury (y), czyli udział powierzchni określonych upraw w powierzchni gruntów ornych. Zdecydowano także, że waloryzację dogodnie będzie wyrażać wskaźnikiem przydatności rolniczej gruntów ornych (x). Strukturę upraw, w takiej sytuacji, będzie wyrażać zbiór równań typu:

$$y = f(x). \quad (1)$$

Równań (1) będzie tyle, dla ilu rodzajów upraw będzie się określać ich udział w powierzchni gruntów ornych.

Wskaźnik przydatności rolniczej gruntów ornych (x) wywodzi się z pojęcia kompleksów glebowo-rolniczych. Został on zdefiniowany i określony w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach jako jeden z parametrów waloryzujących rolniczą przestrzeń produkcyjną w granicach gmin i województw. Jest on liczony jako średnia ważona

z liczby punktów przyporządkowanych poszczególnym kompleksom glebowo-rolniczym. Wagami są pola powierzchni kompleksów mierzone w granicach obszaru, dla którego określa się wskaźnik. Z definicji wynika, że wskaźnik przydatności rolniczej gruntów ornych może być określony nie tylko dla obszarów zamkniętych granicami administracyjnymi lecz także dla każdego fragmentu terenu, dla którego jest dostępna mapa glebowo-rolnicza w odpowiedniej skali. Tę właściwość można wykorzystać do zwaloryzowania pewnej liczby powierzchni rozpoznawczych, na podstawie których będzie można określić parametry funkcji opisujących związku między wskaźnikami struktury a wskaźnikami przydatności gruntów ornych.

Po dokonaniu wyboru takich powierzchni i określeniu parametrów równań, o czym będzie mowa, jest się w sytuacji, w której każdemu obszarowi o znanym wskaźniku x można przyporządkować, na podstawie równań (1), wskaźniki struktury upraw. Od tej chwili staje się ważne operowanie obszarami o znanej powierzchni gruntów ornych (P). Znając już bowiem wskaźnik struktury i -tej uprawy $y_i = f_i(x)$ można obliczyć powierzchnię P_i zajętą przez tę uprawę, tzn.

$$P_i = y_i P. \quad (2)$$

Tak oto w największym skrócie przedstawia się istota teledetekcyjnej metody określania struktury upraw.

Aczkolwiek nie wynika to z przedstawionego opisu, to jednak teledetekcja pełni w tej metodzie zasadniczą rolę. Za jej to bowiem pomocą uzyskuje się informacje o strukturze upraw powierzchni rozpoznawczych, skąd następnie czerpie się źródłowe dane do dalszego opracowania. Dokłada się starań, aby pozostać przy prostych środkach wykorzystania teledetekcji. Zdjęcia lotnicze są traktowane jako mapy powierzchni rozpoznawczych, których treść jest wzbogacana uczytelnieniem terenowym. Ponieważ cały czas operuje się pojęciem struktury, a więc stosunkiem dwóch wielkości powierzchni, obie mogą być pomierzone na zdjęciu bez potrzeby dokładnej znajomości jego skali. Zwalnia to od obowiązku wykonywania pomiarów w terenie.

W następnych rozdziałach przedstawia się bardziej szczegółowo dotychczas ustanowione zasady metody, jak też wyniki jej eksperymentalnego zastosowania na obszarze województwa wrocławskiego.

W pierwszej kolejności należy omówić rolę, jaką pełnią w opracowaniu powierzchni rozpoznawcze.

2. Określanie struktury upraw powierzchni rozpoznawczych

Potrzeba posiadania powierzchni rozpoznawczych, tj. takich, o których wie się wystarczająco dużo na temat sposobu użytkowania w tym przypadku zwłaszcza gruntów ornych, wynika z istoty badania metodą

reprezentacji. Patrząc bowiem z tego punktu widzenia powierzchnie rozpoznawcze powinny pełnić rolę prób pobieranych z populacji.

Ponieważ przyjęto, że zmienność wskaźników struktury jest zapewne — przynajmniej w części — kształtowana zmiennością waloryzacji gruntów ornych, to pobieranie prób powinno się odbywać metodą losowania warstwowego. W tym przypadku „warstwę” tworzy zbiór wskaźników struktury charakteryzujących sposób użytkowania gruntów ornych należących do określonego kompleksu przydatności rolniczej gleb.

Liczba powierzchni rozpoznawczych usytuowanych w każdej z warstw powinna być proporcjonalna do wielkości pola swojego kompleksu przydatności rolniczej gleb, w przyjętych granicach.

Wcześniejsze sprecyzowanie liczby i wielkości powierzchni rozpoznawczych, w gruncie rzeczy, nie jest możliwe. Istnieją tylko pewne przesłanki, których praktyczne znaczenie jest jednak niewielkie. Wiadomo, że znajomość populacji będzie tym lepsza, im ma się więcej powierzchni rozpoznawczych. Ponadto można się spodziewać, że ich użyteczność zależy nie tylko od wielkości wskaźnika struktury, ale także od rozdrobnienia działek w granicach powierzchni rozpoznawczej. W takiej sytuacji potrzebną liczbę i wielkość powierzchni rozpoznawczych określa się raczej na podstawie przesłanek wynikających z istniejących możliwości wykonawczych. Natomiast sprawdzenie skuteczności dokonanego wyboru następuje po fakcie, tj. po ich wykorzystaniu.

Uwzględniając wypowiedziane uwagi zdecydowano, że na poligonie doświadczalnym — jakim jest województwo wrocławskie — zostaną rozlokowane 73 powierzchnie rozpoznawcze, każda o powierzchni około 100 hektarów. Liczebność powierzchni w poszczególnych warstwach została określona zgodnie z wcześniej wypowiedzianą zasadą o proporcjonalności tych liczb do wielkości powierzchni kompleksów przydatności rolniczej gleb. Zasadę tę uzupełniono warunkiem, aby w żadnej z warstw nie było mniej niż dwie powierzchnie rozpoznawcze. Wstępną, przybliżoną lokalizację powierzchni wykonano na podstawie mapy glebowo-rolniczej.

Zdjęcia lotnicze w skali 1 : 25 000 wykonano 18 maja 1982 r. a więc w takim terminie, w jakim mozaika pól jest już dobrze widoczna. Następnie wykonano powiększenia tych zdjęć do skali 1:10 000 i na nich wyznaczono granice powierzchni rozpoznawczych. Granice starano się prowadzić tak, aby powierzchnie były zlokalizowane na obszarach, których mozaika pól nie odbiega od przeciętnej dla gruntów ornych gospodarstw indywidualnych w tym rejonie.

W okresie od 10 do 20 czerwca 1982 r. uczytelniono w terenie powiększenia zdjęć lotniczych powierzchni rozpoznawczych. Do końca lipca 1982 r. zakończono kameralne opracowanie wyników prac terenowych.

Przyjęto, że strukturę użytkowania gruntów ornych województwa wrocławskiego będą opisywać wskaźniki struktury: pszenicy (y_1), jęcz-

mienia (y_2), żyta (y_3), owsa (y_4), ziemniaków (y_5), buraków (y_6), mieszanek zbożowych (y_7), traw z wyłączeniem trwałych użytków zielonych (y_8), oraz innych roślin paszowych (y_9). Wskaźniki struktury tych właśnie upraw określono dla wszystkich powierzchni rozpoznawczych, wykorzystując ucyfelnione w terenie zdjęcia lotnicze.

Jak wspomniano, za właściwy sposób waloryzowania rolniczej przestrzeni produkcyjnej uznano, w tym przypadku, wskaźnik przydatności rolniczej gruntów ornych (x). Aby go określić dla gruntów wchodzących w skład powierzchni rozpoznawczych sporządzono wyrisy z mapy glebowo-rolniczej w skali 1 : 25 000 ilustrujące podział powierzchni rozpoznawczych na kompleksy. Po splanimetrowaniu wspomnianych wyrysów uzyskano dane do określania osobno dla każdej powierzchni rozpoznawczej, wskaźnika przydatności rolniczej gruntów ornych na podstawie wzoru

$$x = \frac{\sum N_i S_i}{\sum S_i}, \quad (3)$$

gdzie N_i — liczba punktów i -tego kompleksu określona przez Autorów metody waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej,

S_i — pole obszaru zajętego przez i -ty kompleks w granicach powierzchni rozpoznawczej, pomierzone na mapie glebowo — rolniczej.

Po określeniu wskaźników struktury poszczególnych upraw (y) na zwaloryzowanych już powierzchniach rozpoznawczych powstały warunki do określenia wskaźników struktury dla całego województwa, co — jak wiadomo — zamierza się uczynić, wykorzystując związki między wskaźnikami struktury poszczególnych upraw a wskaźnikiem przydatności rolniczej gruntów ornych. Zanim to jednak nastąpi powinno się zbadać, czy i jak bardzo można liczyć na istnienie takiego związku.

3. Analiza zależności między strukturą użytkowania gruntów ornych a waloryzacją rolniczej przestrzeni produkcyjnej

Relacjonowana metoda zakłada, że wskaźniki struktury (y) będą określone dla gmin na podstawie znanego wskaźnika przydatności gruntów ornych (x) z wykorzystaniem matematycznego modelu struktury upraw określonego zbiorem równań typu $y = f(x)$. Postać funkcji oraz parametry równań postanowiono aproksymować na podstawie powierzchni rozpoznawczych. Zanim jednak do tego dojdzie trzeba zbadać, czy taki sposób postępowania jest uzasadniony nie tylko intuicyjnie. Jest to ważne zwłaszcza wobec nie rozstrzygniętej kwestii wielkości powierzchni, dla której wskaźnik waloryzacyjny ma jeszcze sens. Ogłoszona w 1974 r. metoda waloryzacji była bowiem pomyślana przez jej Auto-

rów jako sposób oceny jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej większych obszarów. Wówczas za podstawową jednostkę terytorialną, dla której były określane wskaźniki waloryzacyjne, był powiat. Nie brano wtedy pod uwagę możliwości stosowania tej metody do oceny mniejszych obszarów. W miarę upływu czasu potrzeby sprawiły, że zaczęto waloryzować mniejsze jednostki; gminy, a nawet obręby.

W sensie formalnym nic nie stoi na przeszkodzie, aby waloryzować powierzchnie dowolnie małe. Towarzyszy temu jednak obawa, że zmniejszając obszar można, w pewnym momencie, zagubić sens takiego to bonitowania przestrzeni rolniczej. Znaczenie obawy wzrasta, gdy przedmiotem rozważań staje się ewentualna zależność między waloryzacją a strukturą użytkowania. Wtedy jeszcze bardziej czuje się, że niewątpliwie istnieje taka granica, po przekroczeniu której nie powinno się dalej zmniejszać obszaru.

Wyobrażenie o położeniu tej granicy jest ważne, gdyż chcąc badać zjawiska metodą reprezentacji trzeba sobie poradzić z jej głównym dylematem. Mowa jest o znanych, niestety sprzecznych postulatach tej metody: dążenie do zwiększenia pobieranych prób dla podniesienia wiarygodności wnioskowania przy nacisku w przeciwnym kierunku wywieranym przez argumenty ekonomiczne. Nie można, jak się wydaje, inaczej niż empirycznie uzasadnić bądź zaprzeczyć słuszności twierdzeń o sensownej wielkości powierzchni elementarnej. To właśnie skłoniło do zbadania, jak dalece struktura użytkowania gruntów ornych akceptuje w swej zmienności, zmienność waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

Mając do dyspozycji wskaźniki struktury (y) różnych upraw oraz odpowiadające im wskaźniki przydatności gruntów ornych (x) można zbadać, jak silne jest wzajemne oddziaływanie tych elementów. Taki cel można osiągnąć budując model matematyczny opisany równaniem typu:

$$x = F(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n). \quad (4)$$

Analizując taki model można ocenić, w jakim stopniu zmienność struktury użytkowania, w całej swej złożoności, we wzajemnym oddziaływaniu swoich elementów, poddaje się zmienności jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Z analizy wyniknie także ocena słuszności operowania taką a nie inną wielkością powierzchni elementarnych, tj. takich, dla których określono wskaźniki waloryzacji (x) i struktury (y). Jeżeli ocena nie wypadnie zadowalająco, może to znaczyć także, że została przekroczona dopuszczalna granica zmniejszania powierzchni rozpoznawczych.

W tym przypadku tworząc model uznano, że funkcja F jest liniowa i że ma się do czynienia z zależnością wieloraką. Przyjęto także, że strukturę użytkowania gruntów ornych wystarczająco dobrze opisuje zbiór wskaźników struktury: pszenicy (y_1), jęczmienia (y_2), żyta (y_3),

stawie można traktować jako niezależną od waloryzacji. Podkreśla się to dlatego, że łatwo jest dać się zwieść i opacznie zinterpretować fakt wyeliminowania zmiennej z układu równań, podczas gdy w tym przypadku jest to zapewne oznaka przejmowania przez jedne zmienne roli innych. Przekonać się o tym będzie można badając zależność typu $y_3=f(x)$.

Usunięcie współczynników nieistotnie różnych od zera zobowiązuje do zestawienia nowego układu równań (5). Ponownie obliczony współczynnik korelacji wielorakiej nie uległ znaczącej zmianie ($R = 0,89$), natomiast wszystkie nowe niewiadome teraz już uczestniczą w tworzeniu zmiennej zależnej.

Przeprowadzona analiza dostarczyła mocnego, udokumentowanego argumentu przemawiającego za ideą wykorzystywania waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej do uściślenia szacowania struktury upraw na podstawie zdjęć lotniczych.

Tak mozolnie skonstruowany model, oprócz tego że posłużył do udokumentowania oczekiwanego związku, potwierdził także zasadność operowania wskaźnikami waloryzacyjnymi małych powierzchni.

Wyniki przeprowadzonej analizy upoważniają do podjęcia prac zmierzających, już teraz wprost, do osiągnięcia celu, tj. do zbudowania modelu struktury upraw.

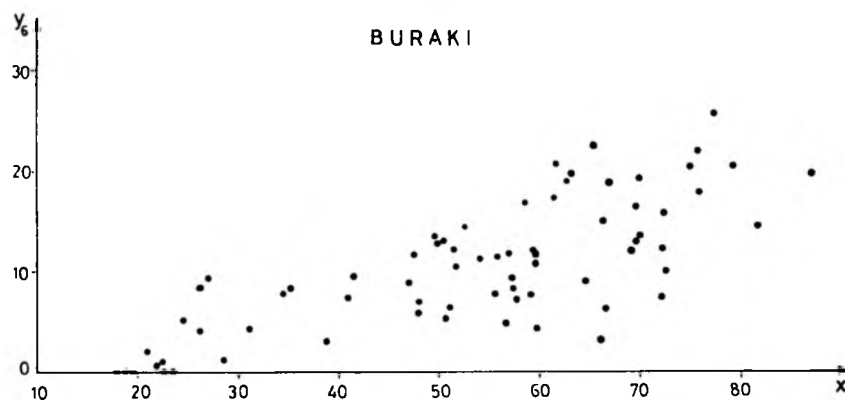
4. Określenie matematycznego modelu struktury upraw

Pod pojęciem matematycznego modelu struktury upraw kryje się zbiór równań typu $y = f(x)$, z których każde opisuje związek między wskaźnikiem przydatności rolniczej gruntów ornych (x), a wskaźnikiem struktury (y), tj. stosunkiem powierzchni określonej uprawy do powierzchni gruntów ornych gospodarstw nieuspołeczniionych. Równań w zbiorze będzie tyle, ile upraw zdecydowano poddać badaniom. W tym przypadku zdecydowano — jak wiadomo — że jest ich dziewięć.

Przystępując do tworzenia modelu w pierwszej kolejności należy symbolicznie zapisanym równaniom $y = f(x)$ nadać konkretną postać. Są tu dwa kroki do zrobienia: w pierwszym trzeba zdecydować, jaką postać będzie miała funkcja $f(x)$, a w drugim określić wielkość jej parametrów. Pierwszy krok jest dokonywany często na poły intuicyjnie, drugi natomiast jest już z reguły tylko zabiegiem rachunkowym.

Z analizy przeprowadzonej w poprzednim rozdziale wynikało, że wskaźniki struktury upraw razem wzięte wykazują silny związek korelacyjny opisany liniową funkcją wielu zmiennych. Nie oznacza to wprawdzie, że każda z tych zmiennych brana osobno jest w dostatecznie silnym związku ze wskaźnikiem przydatności rolniczej gruntów ornych, ale skłania, by równań opisujących ten związek poszukiwać w rodzinie funkcji liniowych.

Mimo tej sugestii dobrze jest sporządzić tzw. wykres rozrzutu punktów empirycznych z próby. Na rysunku 1 przedstawia się przykładowo taki wykres. Dotyczy on rozrzutu wskaźnika struktury buraków (y_6).



Rys. 1

Łatwo — jak się wydaje — na tej podstawie nabrać przekonania, że można tu mówić o linii prostej, a więc opisanej równaniem:

$$\hat{y} = ax + b. \quad (7)$$

Parametry tego równania, tj. wielkości współczynników regresji a i b można obliczyć metodą najmniejszych kwadratów, po rozwiązaniu układu równań dostarczonego przez powierzchnie rozpoznawcze.

Prosta $\hat{y} = ax + b$ jest estymatorem nieznannej prostej regresji $Y = Ax + B$ opisującej poszukiwany związek w populacji generalnej wskaźników struktury określonej uprawy. Obszar ufności dla prostej ograniczony tzw. krzywymi ufności, wyznacza się według wzoru

$$\hat{y} - t_\alpha S_{\hat{y}} < Y < \hat{y} + t_\alpha S_{\hat{y}}, \quad (8)$$

gdzie

t_α — zmienna o rozkładzie t-Studenta wyznaczona dla poziomu istotności α i dla $n-2$ stopni swobody

$$S_{\hat{y}} = S_{\hat{y}_0} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}} \quad (9)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$S_{\hat{y}_0} = \sqrt{\frac{(y - \hat{y})^2}{n - 2}}$$

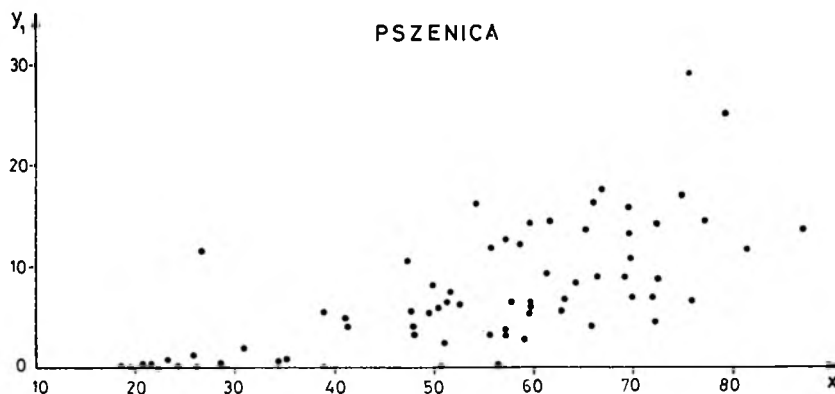
Szczególną uwagę warto poświęcić wyrażeniu $\pm t_\alpha S_{\hat{y}}$ występującemu we wzorze (8). Ponieważ określony za pomocą tego wyrażenia obszar ufności, z prawdopodobieństwem $(1 - \alpha)$ pokrywa prawdziwą funkcję re-

regresji $Y = Ax + B$, przeto wskaźnik struktury \hat{y} obliczony z (7) może być traktowany jako określony z błędem

$$m = \pm t_\alpha S_{\hat{y}}. \quad (10)$$

Operując pojęciem błędu, z jakim równanie regresji opisuje badany związek zyskuje się to, że dysponuje się charakterystyką dokładności odnoszącą się do każdego punktu na osi odciętych tzn. do punktów o współrzędnych $P(x, f(x))$.

Posługując się wykresami rozrzutu punktów empirycznych z próby można łatwo w porę zdecydować o ewentualnej konieczności aproksymowania funkcji innej niż liniowa. Przykładem jest rysunek 2 przedstawiający rozrzut wskaźnika struktury pszenicy (y_1). Patrząc na ten ry-



Rys. 2

sunek przychodzi zapewne na myśl, iż charakter związku $y_1 = f_1(x)$ lepiej od linii prostej opisze wielomian drugiego stopnia, np.

$$\hat{y}_1 = ax^2 + bx + c. \quad (11)$$

Może być tak, że wykresy rozrzutu nie wskażą dostatecznie jasno, jaki typ funkcji powinien być brany pod uwagę podczas aproksymowania równania regresji. Wtedy pozostaje metoda prób i błędów. Do zadowalającego wyniku dochodzi się wówczas kolejnymi przybliżeniami.

Kiedy ma się do dyspozycji właściwie oprogramowany komputer, słusznie będzie postępować inaczej. Wtedy, poszukując stosownej postaci funkcji regresji, rozpoczyna się od aproksymowania współczynników wielomianu wysokiego stopnia, byle tylko znacznie mniejszego od liczby powierzchni rozpoznawczych. Postacią wyjściową może być np. funkcja:

$$\hat{y} = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_kx^k + a_{k+1}. \quad (12)$$

Po rozwiązaniu układu takich równań względem a należy zweryfikować na określonym poziomie istotności, dla $i = 1, 2, \dots, (k+1)$, hipotezę H_0 ; $a_i \neq 0$ wobec alternatywnej H_1 ; $a_i = 0$. W wyniku weryfikacji usuwa się

te wyrazy, które — jak się okazało — nie biorą udziału w układzie równań, to znaczy nie kształtują zmiennej zależnej (\hat{y}). Powstaje wówczas nowy układ, o mniejszej liczbie niewiadomych, z którym postępuje się podobnie. W ten sposób dochodzi się do właściwej postaci wielomianu aproksymującego.

Korzystając z danych pochodzących z powierzchni rozpoznawczych określono model matematyczny struktury upraw województwa wrocławskiego w 1982 r. który w postaci algebraicznej przedstawia się następująco:

— wskaźnik struktury powierzchni pszenicy:
 $\hat{y}_1 = 0,0291x + 0,002396x^2 - 1,90;$ (13)

— wskaźnik struktury powierzchni jęczmienia:
 $\hat{y}_2 = 0,293x - 4,72;$ (14)

— wskaźnik struktury powierzchni żyta:
 $\hat{y}_3 = -0,725x + 70,36;$ (15)

— wskaźnik struktury powierzchni owsa:
 $\hat{y}_4 = -0,044x + 5,76;$ (16)

— wskaźnik struktury powierzchni ziemniaków:
 $\hat{y}_5 = -0,147x + 21,74;$ (17)

— wskaźnik struktury powierzchni buraków:
 $\hat{y}_6 = 0,274x - 4,16;$ (18)

— wskaźnik struktury powierzchni mieszanek zbożowych:
 $\hat{y}_7 = 0,082x + 0,75;$ (19)

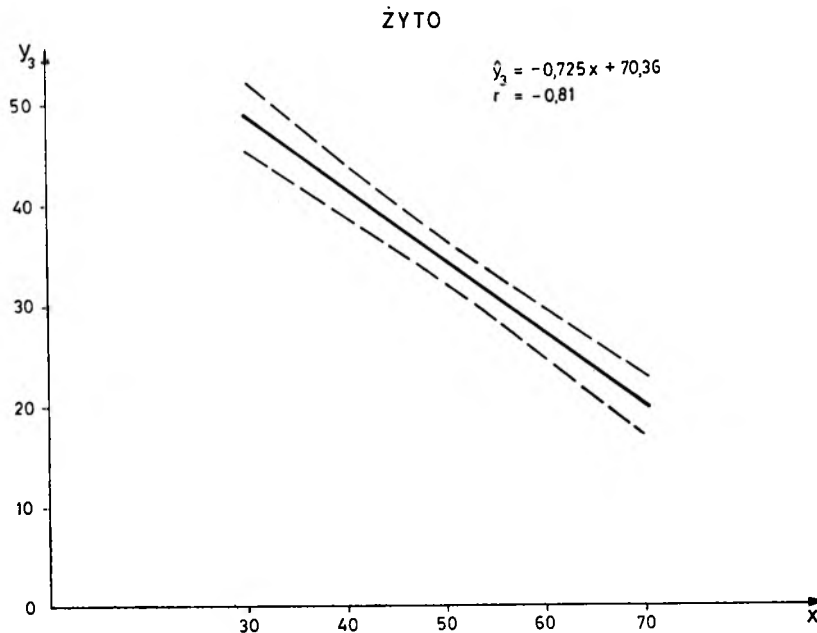
— wskaźnik struktury powierzchni traw:
 $\hat{y}_8 = 0,132x + 3,21;$ (20)

— wskaźnik struktury powierzchni innych roślin paszowych:
 $\hat{y}_9 = -0,161x + 12,35.$ (21)

Model struktury upraw może być także przedstawiony w postaci geometrycznej. Na rysunku 3 przedstawia się przykładowo wykres opisujący związek między wskaźnikiem struktury powierzchni żyta (y_3) i wskaźnikiem przydatności gruntów ornych. Do dalszego wykorzystania jest przewidziana, w zasadzie, postać algebraiczna. Postać geometryczną natomiast sporządzono z myślą o komunikatywnym przedstawieniu zwłaszcza kwestii dokładności, z jaką regresja modeluje w tym przypadku zjawisko zmienności struktury upraw. Temu to właśnie służą pokazane na rysunku 3 oprócz linii regresji również obszary ufności pokrywające z prawdopodobieństwem 95% prawdziwe linie regresji.

Jeżeli ma się do dyspozycji równanie modelu struktury upraw (wzory od 13 do 21), to dla każdego obszaru zwaloryzowanego wskaźnikiem przydatności rolniczej gruntów ornych (x) można obliczyć wskaźniki struktury (\hat{y}). Takimi obszarami powinny być jednostki administracyjne o znanej powierzchni gruntów ornych. W tym przypadku przyjęto, że będą nimi gminy.

Potrzebna do obliczeń powierzchnia gruntów ornych została wzięta z ewidencji wojewódzkiej służby geodezyjnej wg stanu na 1 stycznia 1982 r. Powierzchnię poszczególnych upraw oblicza się według wzoru 2 tzn. mnożąc powierzchnię gruntów ornych przez odpowiednie wskaźniki struktury. Po pomnożeniu natomiast tej powierzchni przez błędy wskaźnika struktury (10) otrzymuje się błędy powierzchni upraw (δP).



Rys. 3

Powierzchnię upraw województwa oblicza się sumując powierzchnię upraw w gminach. Błąd określenia powierzchni upraw w województwie oblicza się tak, jak się oblicza błąd sumy powierzchni elementarnych tzn.

$$m_p = \sqrt{\sum \delta_p^2} \quad (22)$$

5. Podsumowanie i wnioski

Doświadczenia nabyte w trakcie dwóch kolejnych lat stosowania metody, mimo iż nie upoważniają jeszcze do stanowczych stwierdzeń i wniosków, to jednak są na tyle bogate, że upoważniają do optymizmu.

Postęp, jaki nastąpił, ocenia się jako znaczny. Wyraża się on zwłaszcza wyraźnym wzrostem dokładności. W przypadku pięciu upraw na siedem dokładność opracowania 1982 r. jest prawie 50% wyższa od dokładności opracowania 1981 r.

Sądzi się, że wzrost dokładności ma dwa źródła: pierwszym jest zwiększenie pola powierzchni rozpoznawczych z 1,6% w 1981 r. do 2,6% po-

wierzchni gruntów ornyc województwa wrocławskiego w 1982 r. Drugim, nie mniej ważnym, jest opisany w rozdziale 2 sposób waloryzowania powierzchni rozpoznawczych, znacząco wpływający na precyzję oszacowania aproksymowanych współczynników regresji.

Należy sądzić, że są także i inne możliwości podniesienia dokładności opracowania. Rzecz w tym, że wskaźnik waloryzacyjny w obecnej postaci, z punktu widzenia takiego jak tu opisywania struktury upraw, wydaje się być nazbyt zagregowany. Punktacja kompleksów przydatności rolniczej gleb, będąca tworzycem wskaźnika, jest bowiem ustanowiona nie z myślą o strukturze upraw, lecz raczej nawiązuje do wielkości plonu zbóż. To, że wskaźnik przydatności rolniczej gruntów ornyc tak bardzo nawiązuje także do struktury upraw (rozdział 3) jest dodatkowym sukcesem twórców metody waloryzacji oraz wyrazem zbiorowej mądrości rolników. Nie zmienia to jednak faktu, że jeżeli strukturę upraw będzie się określać zbiorem izolowanych od siebie równań — a inaczej nie można — to waloryzując warunki przyrodnicze należałoby starać się uniknąć istniejącej wieloznaczności. W ramach dalszych prac zamierza się poświęcić tym kwestiom baczną uwagę licząc, nie bez podstaw, na dalszy wzrost dokładności opracowania.

Notuje się także liczący się postęp w zakresie próbnego stosowania metody. Dość wspomnieć, że w 1981 r. od wykonania zdjęć do uzyskania ostatecznego wyniku upłynęło prawie 10 miesięcy. Natomiast w 1982 r. ten okres wynosił już tylko 3 miesiące i komunikat o strukturze upraw województwa wrocławskiego w 1982 r. był sporządzony 20 sierpnia 1982 r. Na podstawie zdobytych doświadczeń wiadomo, co należy robić, jak należy zorganizować pracę, aby czas ten skrócić jeszcze około 2 tygodni.

Recenzował: prof. dr. hab. inż. *Bogdan Ney*

WOJCIECH BYCHAWSKI

Remote sensing method for crop structure estimation within the boundaries of large administrative units

In Poland an agricultural stock-taking, carried out annually, is the basic source of information on the size of cultivated areas.

Since the data on the size of cultivated areas are given by means of the land owners' pronouncements — and these data are not (then) subjected to a survey — sometimes arises the need of checking the results of that stock-taking. Keeping in mind this question (i.e. the need of obtaining a more exact information on the crop structure), the decision has been taken that remote sensing should help in that matter.

Small acreage of cultivated areas belonging to individual farms causes that the attempts of distinguishing the particular crop species with utilizing remote sensing methods are rather ineffective. The other reason, for which one should treat with a certain reserve the utilization of remote sensing methods, in their classic understanding, is high differentiation of farming cultivation, (sometimes appearing in a considerable weedy state of crop fields), what exerts an essential influence on the spectral response of fields. These and many other reasons were a basis for taking a decision — propagating also remote sensing methods — that for crop structure estimation on the large areas it will be a more reliable and cheaper method to apply mathematical statistics with joint action of remote sensing. Therefore, it has been determined to work out a method, based on the assumption that there is a relation between the way of agricultural land use and the valorization of agricultural production area.

Valorization of agricultural use is derived from agricultural-soil complexes, covering the whole territory of Poland. The valorization method has been elaborated by the Institute of Soil Cultivation, Fertilizing and Pedology in Puławy.

Preparing the statistical/remote sensing method of crop acreage estimation, it has been assumed that an average farmer, working on the relatively small area, in order to run his farm profitably, will show a natural tendency to adjust the crop structure to soil-agricultural conditions of his arable land. Possibility of ignoring by the farmer these

conditions is less probable, though it may happen sometimes. On account of a great number of small farms, adjustment of the crop structure to environmental conditions can be treated as a random event with tendency to normal probability distribution. This assumption entitles to apply mathematical statistics and representation method.

The works on the statistical/remote sensing method started at the Remote Sensing Centre in 1981. The experimental work has been carried out within the territory of Włocławek voivodship, comprising approx. 250 000 hectares of arable land, cultivated by over 40 000 farmers. So it is population just enough large that it can be analysed according to the rules of mathematical statistics.

In this voivodship 73 sampling units, as distinctive areas, each of size approx. 100 ha, were taken randomly. In the course of choosing sample units the requirements of stratified random selection were taken into consideration. In this case, a homogeneous area determined by valorization index was understood as a stratum. The boundaries of sampling units were chosen on the basis of the photomap in such a way, in order to obtain a mosaic of fields which would be representative for the surrounding areas.

Further, panchromatic aerial photographs of sampling units were taken. They were acquired in the scale of 1 : 25 000 in mid May, i.e. in such a term when the field mosaic is already well visible. These aerial photographs enlarged to the scale of 1 : 10 000 were then interpreted in the field in the first mid June, when the crops can be distinguished most certainly, without recourse to technical agricultural knowledge.

On the basis of the interpreted aerial photographs of sampling units, the structure indices for the basic crops were determined, namely for wheat, barley, rye, oat, potatoes, beets, cereal compositions as well as for fodder crops. Structure indices (y) for each of just quoted crops were calculated as a ratio of crop acreage to the acreage of arable land. Moreover, each sampling unit (distinctive area) was valorized through the index of agricultural usefulness of arable land (x). In this way the conditions for constructing mathematical model of arable land use of that voivodship were created.

The model is formed by the set of equations of $y = f(x)$ type. Number of equations is determined by the number of crops, subjected to the estimation of crop structure. Form and parameters of each equation were calculated by composing and solving, separately for each crop, the set of 73 equations with two or more unknowns. Decision about the character of the searched relations has been taken on the basis of scatterplots for empirical sampling points. The examples of such scatterplots were given in Figs. 1 and 2. It was found that there are no reasons for searching non-linear parameters of equations, with exception of wheat structu-

re model. In each case besides parameters of equations of the model, the accuracy of determination of crop structure was computed as well as confidence intervals of the real regression equations were defined.

The equations of mathematical model of crop structure for the area of Włocławek voivodship in 1982 are represented by the formulas (13) to (21). An example of geometric interpretation of the regression equation with confidence interval was illustrated in Fig. 3.

Having the model of crop structure, the most probable quantities of structure indices (y) can be determined for any area with the known valorizing index (x) and with the known arable land acreage. In this elaboration village-communes are such areas. For each of these village-communes the structure indices were calculated, which on multiplying by the arable land acreage gave the acreage for each examined crop. Summing up these quantities, acreages within the boundaries of the voivodship are obtained, and at the same time the goal of the work is achieved.

The described statistical/remote sensing method has now the form that can be utilized. The accuracy obtained is estimated as reaching about 3% of crop acreage. However, the research works have not been completed yet, because the gained experience suggests that this accuracy may be increased.

Translation: *Zbigniew Bochenek*

ВОЙЦЕХ БЫХАВСКИ

ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ КУЛЬТУР В ГРАНИЦАХ БОЛЬШИХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЕДИНИЦ

Резюме

В статье описан метод определения поверхности возделываемых культур, разработанный в Центре обработки аэрокосмической информации Института геодезии и картографии в Варшаве. Заключается он в том, что на основе полевого дешифрирования аэроснимков небольшого количества опознавательных площадей определяется соотношение поверхности данной культуры относительно всей возделываемой площади. Затем создается математическая модель в виде множества уравнений, из которых каждое представляет зависимость между этим соотношением и количественными показателями валоризирующими сельскохозяйственное производственное пространство. Способ валоризации позаимствован из метода, разработанного Институтом сельскохозяйственных культур, удобрений и почвоведения в Пулавах и связанного понятиями с почвенно-сельскохозяйственными условиями, какие существуют в отдельных районах страны. Математическая модель, определенная на основе опознавательных площадей,

используется затем для определения соотношения поверхности данной культуры относительно всей возделываемой площади для территории гмин, из которых складывается воеводство. Эти показатели умноженные на известные площади возделываемых земель дают площади отдельных культур.

Перевод: Róża Tołstikowa

