

WOJCIECH BYCHAWSKI

## **Application of aerial photographs for determination of crop acreage within the borders of large administrative units**

**Abstract.** The paper presents the first experiment carried out in Poland concerning estimation of crop acreage within a voivodship with utilization of aerial photographs, valorization of agricultural production area and mathematical statistics.

Aerial photographs are used for determining the land use structure of sampling areas. On such a basis, knowing indices of agricultural valorization of these areas, mathematical parameters of agricultural land use within assumed borders are determined.

This method was applied in 1981 for determining acreages of wheat, barley, rye, oat, beet-roots and potatoes within the borders of the Włocławek voivodship. The mean error of determination of the acreage of each crop was less than 1% of the acreage of arable land of this voivodship.

### **1. Methodology**

The method of estimating the acreage of crops presented in this paper is considered to be the first, still under verification attempt, to create a method, subordinate to the following general principles:

— the source of information about the ways of using the agricultural production areas are aerial photographs of randomly situated sampling areas,

— the size of arable fields within the borders of large administrative units is determined by means of valorization of the agricultural production area, mathematic statistics and mathematical modelling of land use.

Talking about the first of these principles, forecasted is the use of aerial photographs in two ways:

— aerial photographs, after field interpretation of their content are applied in determining the volume of particular crops in the total area of for e.g., arable land. Such source data can play an independent role i.e., they can be treated as direct attempt for statistical estimation of the population.

— aerial multispectral photographs after laboratory interpretation, i.e. after the classification of their contents, serve in determining the

crop area, and then in estimating its percent volume in the for e.g., total arable land. In this case, only a small fragment of the sampling area is interpreted in the field, which is then considered as a model pattern for laboratory interpretation of multispectral photographs. This way of applying aerial photographs is in every aspect better than the previous one, since it facilitates field works, and at the same time increases the acreage of the sampling area.

The second general principle of the created method refers to valorization of agricultural production area, which is in close relation to the idea of applying mathematic statistic rules and mathematical modelling of the way of using this area. This relation results from the assumption, that the distribution of probability of the crop structure refers to the quality class of the agricultural production area. It is assumed, that the way of land use is most frequently subordinated to this class. Cases of its full disregard as well as of the subtle utilization of the site possibilities are in a considerable minority, so they are approximately in agreement with the normal probability distribution. This assumption authorizes utilization of the possibility of mathematical description of variability in the crop structure, dependent on the variability of quality class of the agricultural production area. Also, what is extremely important, possibilities are created for estimating the accuracy of such a description of phenomenon.

The valorization of the agricultural production area, as the result of the complex conception of agricultural usefulness of soils and chiefly dependent on it, does not express its opinion on the matter of utilizing the habitation potential in case of types of crops, which equally well adapt to particular conditions. Thus there is no general (common) relation between the quality class of the agricultural production area, precisely between the complex type of the agricultural usefulness of arable soils and the structure of crops. However, there can occur the inverse relation, i.e., knowing the structure of crops it is possible to forecast the complex type of agricultural usefulness of arable soils. If it happens, one can investigate correlative relations describing only in strictly determined conditions the relation between the valorization of the agricultural production area and its use, expressed in the form of for e.g., the structure of crops.

After describing the general assumptions of the created remote sensing method of estimating the acreage of crops, its scheme can be outlined, as follows:

1. The investigated area, for example voivodship, is randomly covered with a net of the sampling areas.
2. Aerial photographs of the sampling areas are taken.
3. Photographs of the test areas, located within the borders of each sampling area, are interpreted in the field.

4. On the basis of patterns obtained from test areas, aerial photographs of sampling areas are interpreted in the laboratory.

5. For each sampling area a file record of the fields acreage is prepared on the basis of aerial photographs, while for the investigated types of plants their percent volume in the area is determined, for example the arable areas (structure of crops).

6. The index valorizing the agricultural production area is assigned to the sampling areas within such borders, where the sampling area can represent a particular production area. A reverse activity is also possible, i.e., to the agricultural production area valorized in certain borders (e.g. village or village-commune), such sampling areas are assigned, which describe the land use within those borders.

7. Correlative relations are determined, preparing equations of regression in such a way, that the independent variable ( $x$ ) is the index valorizing the agricultural production area, while the dependent variable ( $y$ ) is the percent volume of particular crop within the area of, for example, arable fields. The number of such equations will be equal to the number of crops under investigation. This set of equations becomes a mathematical model of the structure of crops on the area represented by sampling areas. It enables the determination of the most probable indices of the crop structure for a voivodship or its part, together with the estimation of accuracy of their determination.

8. Areas of particular crops are determined by multiplying appropriate indices of the structure of crops by the acreage e.g., of arable fields in a voivodship or its part, which is dependent on the subject of elaboration.

The scheme described above is more of a programme for creating a method than a technological description. Almost every point of this scheme requires further development and specification. It is partially intended due to clarity of presentation and partially compelled by the situation typical for the research works being carried out.

Due to utilization problems, research works on the remote sensing method for estimating the acreage of the crops are carried out in such a way, as to quickly evaluate their effects.

## 2. Results and discussion

During the first stage of the works, the process and the results of which are the subject of the presented paper, research works were carried out on experimental testing ground, covering the area of the Włocławek voivodship.

In this voivodship, 58 sampling areas of the average size of 90 hectares

were created. These areas totally include 5200 hectares, which is approximately 1.6% of the voivodship's arable land.

Panchromatic aerial photographs at the scale of 1 : 25 000 were taken over the sampling areas; photographs enlarged to the scale of 1 : 10 000 were interpreted in the field. Since multispectral photographs were not utilized in this stage, the results of the field interpretation are treated as direct estimators of the structure of crops.

Treating the photographs as the map, the acreage of arable areas and the acreage of particular crops were measured within the borders of interpretation. Then, for each sampling area a record of acreages was elaborated, separately for wheat, barley, rye, oat, beet-roots and potatoes. Then, according to the presented scheme, within each sampling area the volume of particular crops in the arable fields was calculated. This data was considered as the basis for estimating the acreage covered by wheat, barley, rye, oat, beet-roots and potatoes in the entire voivodship. It was possible to assign appropriate valorization indices of the agricultural production area to the information obtained from the sampling areas. This problem requires a further more thorough discussion.

It was assumed, that unit areas for which further elaborations would be carried out were areas included in the administrative borders of village-communes.

The Włocławek voivodship consists of 35 village-communes and for each of them the Institute of Soil Cultivation, Fertilizing and Pedology in Puławy has elaborated synthetic valorization indices for the agricultural production areas. It is an open matter, whether in this way one can obtain the optimum aggregated level of the agricultural area estimation. At first glance, it seems, that it would be better to apply the valorization of agricultural areas within smaller territorial units. The authors of the valorization method should here decide upon that matter. Since the problem of choosing the optimum size of the acreage unit, within the framework of which one could only operate on the synthesis of valorization, is mainly of practical meaning (it influences the result), while remaining indifferent towards the method, thus it was decided to assume, that the valorization within the village-communes borders is enough precise. In result the village-communes were assigned characteristics of the land use, on the basis of the location of the sampling areas.

The sampling areas were located randomly, considering roughly the range of agricultural usefulness of soils. Thus, the location of these areas did not refer to the administrative borders of the village-communes. In this situation, in order to determine the village-communes average percent volume of the crop acreage in arable land, it was decided to abandon the usually used mean value for areas included within the borders of village-communes in favour of the general mean value (weighted mean).

It was assumed, that the acreage area could be the weight characterized by a constant and determined magnitude of the weighted value. In order to determine the value of weights, for each crop isolines were drawn representing the volume acreage covered by this crop. Mean values of percent volume of each crop in the arable area were calculated after measuring within each village-commune the areas between the isolines. The weighted values were not the data resulting directly from the sampling areas, but the mean features of the neighbouring isolines.

Such procedure of determining crop structure could be performed only in areas where the sampling areas were territorially grouped i.e., where it could be predicted, that the sampling areas represent also the areas between each other. Two blocks could be distinguished in this way, which gave characteristic features for 15 village-communes, the arable area of which is 52% of the arable acreage of the voivodship.

For these 15 village-communes, the relations were investigated, which exist between the index of agricultural usefulness of arable areas ( $x$ ) and percent volume of wheat ( $y_1$ ), barley ( $y_2$ ), rye ( $y_3$ ), oat ( $y_4$ ), beet-roots ( $y_5$ ) and potatoes ( $y_6$ ). The following results were obtained:

$$\begin{aligned} \text{wheat} \quad y_1 &= 1.0431 x - 0.00887 x^2 - 21.54; R_1 = 0.59 \\ m_{y_1} &= \pm 0.8\% \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{barley} \quad y_2 &= 0.243 x - 1.88; r_2 = 0.72 \\ m_{y_2} &= \pm 0.6\% \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{rye} \quad y_3 &= -6.927 x + 0.0651 x^2 + 209.89; R_3 = 0.89 \\ m_{y_3} &= \pm 1.4\% \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{oat} \quad y_4 &= -0.0096 x + 4.67; r_4 = -0.08 \\ m_{y_4} &= \pm 0.3\% \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{beet-roots} \quad y_5 &= 0.282 x - 4.83; r_5 = 0.66 \\ m_{y_5} &= \pm 0.8\% \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{potatoes} \quad y_6 &= -0.260 x + 28.25; r_6 = 0.80 \\ m_{y_6} &= \pm 0.5\% \end{aligned} \quad (6)$$

Excluding the structure of oat, which does not depend on the index of agricultural usefulness of arable areas ( $r_4 = -0.08$ ), the remaining types are cultivated in the Włocławek voivodship in a fairly close relation with the valorization of the agricultural production area. Upon the utilization in the estimation of this phenomenon the determination factor ( $r^2$ ), which states, to what extent the variability of the dependent variable ( $y$ ) is explained by the changeability of the independent variable ( $x$ ), it can be assumed, that:

— plants, for which worse soils are sufficient (rye, potatoes) are in approx. 70% cultivated, fully utilizing the agricultural usefulness of arable areas,

— the structure of crops requiring better soils (wheat, barley, oat, beet-roots) in a less degree refers to the valorization of the agricultural production area. It is estimated, that approximately 45% of the crop structure is fully adjusted to optimum conditions resulting from the agricultural usefulness of arable areas.

The equations from (1) till (6) are a mathematical model of the structure of crops in the Włocławek voivodship as of 1981. This means, that the volume of wheat, barley, rye, oat, beet-roots and potatoes in the acreage of arable area can be determined for any unrestrictedly located area within the Włocławek voivodship, to which a synthetic index of the agricultural usefulness of arable areas ( $x$ ) is assigned. Another important feature of the mathematical model is the possibility of estimating the accuracy of determining the characteristics of the crop structure ( $m_y$ ).

Using the data obtained at the Institute of Soil Cultivation, Fertilizing and Pedology in Puławy, the mean index of the agricultural usefulness of arable areas for the Włocławek voivodship can be determined:

$$x = 52.96 \quad (7)$$

The acreage of arable areas in the Włocławek voivodship, according to the same source is:

$$S = 281\,429 \text{ hectares} \quad (8)$$

These two values and the earlier determined mathematical model allow to estimate the acreage of wheat, barley, rye, oat, beet-roots and potatoes in the Włocławek voivodship as of 1981.

The obtained result and its comparison with the data of the Chief Statistical Office indicates, that for such a small investigated area the general population was described properly. The forecasted modifications of the method being under elaboration should considerably increase the accuracy of estimating the acreage of crops within the borders of large administrative units.

Translation: Jacek Domański

ВОЙЦЕХ БЫХАВСКИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ КУЛЬТУР В ПРЕДЕЛАХ  
БОЛЬШИХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЕДИНИЦ

Резюме

В данной работе представлена первая в Польше попытка оценки величины поверхности возделываемых культур в границах воеводства с использованием аэроснимков и методов математической статистики.

Попытка рассматривается как первая часть разрабатываемого в IGiK OPOLiS метода, подчинённого следующим общим принципам:

— источником информации о способе пользования сельскохозяйственной производственной поверхностью являются аэроснимки опознавательных поверхностей, размещённых по случайной выборке.

— величина поверхности возделываемых культур в границах больших административных единиц определяется с использованием валоризации сельскохозяйственной производственной поверхности, математической статистики и математического моделирования способа землепользования.

Аэроснимки, после полевого дешифрирования их содержания, пока используются прямо как пробы взятые для статистической оценки популяции. В будущем предвидится, что основой для характеристики способа использования земли будут многозональные аэроснимки. Тогда в поле будет дешифрироваться только фрагмент опознавательной поверхности, рассматриваемый как образец для камерального дешифрирования многозональных снимков. Уменьшит это и облегчит таким образом полевые работы, увеличивая одновременно территорию опознавательных поверхностей, а следовательно их способность представлять собой способ землепользования.

Второй принцип создаваемого метода обращается к валоризации сельскохозяйственной производственной поверхности, что тесно связано с использованием математической статистики и с математическим моделированием способа использования этой поверхности.

Обоснование такого взгляда заключается в предпосылке, согласно которой способ ведения хозяйства единоличниками чаще всего подчинён бонитировке сельскохозяйственной производственной поверхности. Случаи её игнорирования целиком, или особенно изощрённого использования возможностей территории, встречаются в меньшинстве, а следовательно — приблизительно — способ использования земли согласен с нормальным распределением вероятностей.

Так задуманное моделирование способа землепользования имеет дополнительное достоинство — создаёт возможность оценки точности разработки. Это является преимуществом, которое отсутствует при методе переписи с натуры, зависящего от добросовестного заявления владельцев, опрашиваемых о способе использования своих земель.

В 1981 г. была сделана попытка оценки структуры посевов на опытном полигоне, каким было Вроцлавское воеводство. На территории этого воеводства было заложено 58 опознавательных участков со средней поверхностью 90 гектаров каждый. Участки эти охватывают территорию около 5 200 гектаров, что составляет около 1,6% поверхности пахотных земель воеводства.

Опознавательные участки были покрыты панхроматическими аэроснимками в масштабе 1 : 25 000, а увеличения этих снимков к масштабу 1 : 10 000 были дешифрированы в поле.

На основе дешифрированных снимков были определены площади опознаваемых участков, а внутри каждого из них — поверхности культур. Затем был вычислен процентный удел поверхности занятой разными культурами в поверхности пахотных земель.

Кроме того к каждому опознавательному участку, в зависимости от его размещения, был соотнесён коэффициент валоризации сельскохозяйственной производственной поверхности.

Таким образом появились условия для определения зависимости между коэффициентом валоризации ( $x$ ) и коэффициентами структуры землепользования ( $y$ ), т.е. процентным уделом поверхности очередно: пшеницы, ячменя, ржи,

овса, свёклы и картофеля в поверхности пахотных земель. Эти зависимости представлены формулами от (1) до (6).

Стоит обратить внимание на величину ошибок определения структуры культур ( $m_y$ ). За одним только исключением они значительно меньше 1% поверхности пахотных земель. Это указывает на то, что генеральная популяция описана достаточно хорошо, как на такую небольшую полевую пробу. Предусматриваемое совершенствование описываемого метода должно значительно повысить точность оценки поверхности культур в границах больших административных единиц.

Величины коэффициентов корреляции ( $r$ ,  $R$ ) подтверждают правильность принятого принципа, что способ ведения хозяйства единоличниками чаще всего подчинен бонитировке сельскохозяйственной производственной поверхности. Экстенсивное хозяйство, как и хищническое, находятся в меньшинстве. Касается это, главным образом, возделывания растений с меньшими почвенными требованиями (рожь, картофель). Структура возделывания растений, требующих лучших почв (пшеница, ячмень, свёкла), в несколько меньшей степени относится к валоризации сельскохозяйственной поверхности. Имеются основания предполагать, что структура возделывания этих культур полностью приспособлена к сельскохозяйственной пригодности пахотных земель в 45%. В остальных случаях земледельцы менее считают с возможностями территорий, стараясь, или войти с возделыванием этих культур на более слабые почвы, или не используют земли, возделывая растения с меньшими почвенными требованиями.

Полученные результаты оправдывают продолжение исследований, которые будут проводиться в 1982 году на том же самом опытном полигоне.

Перевод: Róża Tołstikowa

WOJCIECH BYCHAWSKI

## WYKORZYSTANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH DO OKREŚLANIA POWIERZCHNI UPRAW W GRANICACH DUŻYCH JEDNOSTEK ADMINISTRACYJNYCH

### Streszczenie

W niniejszym opracowaniu prezentuje się pierwszą w Polsce próbę oszacowania wielkości powierzchni upraw w granicach województwa, z wykorzystaniem zdjęć lotniczych oraz metod statystyki matematycznej. Próbę traktuje się jako pierwszą część, tworzonej w IGIK-OPOLIS, metody podporządkowanej następującym, ogólnym zasadom:

— źródłem informacji o sposobie użytkowania rolniczej przestrzeni produkcyjnej są zdjęcia lotnicze losowo rozmieszczonych powierzchni rozpoznawczych,

— wielkość powierzchni upraw w granicach dużych jednostek administracyjnych jest określana z wykorzystaniem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej, statystyki matematycznej oraz matematycznego modelowania sposobu użytkowania ziemi.

Zdjęcia lotnicze, po terenowym uczytelnieniu ich treści, na razie wykorzystuje się wprost jako próby pobrane do statystycznego oszacowania populacji. W przy



szości przewiduje się, że podstawą do charakteryzowania sposobu użytkowania ziemi będą lotnicze zdjęcia wielospektralne. Wówczas w terenie będzie się uczytelniać zaledwie fragment powierzchni rozpoznawczej, traktowany jako wzorzec do kameralnego uczytelnienia zdjęć wielospektralnych. Zmniejszy i ułatwi się w ten sposób prace terenowe, zwiększając jednocześnie terytorium powierzchni rozpoznawczych, a więc ich zdolność do reprezentowania sposobu użytkowania ziemi.

Druga zasada tworzonej metody nawiązuje do waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej, co jest w ścisłym związku ze stosowaniem statystyki matematycznej i z matematycznym modelowaniem sposobu użytkowania tej przestrzeni.

Uzasadnienie takiego poglądu zawiera się w założeniu, w myśl którego sposób gospodarowania rolników indywidualnych jest najczęściej podporządkowany bonitacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Przypadki całkowitego jej ignorowania, jak też szczególnie wyrafinowanego wykorzystywania możliwości siedliska są w mniejszości, a zatem — przynajmniej w przybliżeniu — zgodne z normalnym rozkładem prawdopodobieństw.

Tak pomyślane modelowanie sposobu użytkowania ziemi ma dodatkowy walor — stwarza możliwość oceny dokładności opracowania. Jest to zaleta, której brak metodzie spisu z natury, bardzo uzależnionej od rzetelności oświadczeń właścicieli pytanych o sposób zagospodarowania swoich gruntów.

W 1981 r. została wykonana próba oszacowania struktury zasiewów na poligonie doświadczalnym, którym było województwo wrocławskie. Na obszarze tego województwa założono 58 powierzchni rozpoznawczych o przeciętnej wielkości 90 hektarów każda. Powierzchnie te zajmują łącznie obszar ok. 5200 hektarów, co stanowi ok. 1,6% powierzchni gruntów ornych województwa.

Powierzchnie rozpoznawcze pokryto panchromatycznymi zdjęciami lotniczymi w skali 1 : 25 000, a powiększenia tych zdjęć do skali 1 : 10 000 zostały uczytelnione w terenie.

Na podstawie uczytelnionych zdjęć zostały określone wielkości powierzchni rozpoznawczych, a wewnątrz każdej z nich, powierzchnie upraw. Następnie został obliczony procentowy udział powierzchni zajętej przez różne uprawy w powierzchni gruntów ornych.

Oprócz tego każdej powierzchni rozpoznawczej, w zależności od jej usytuowania, został przyporządkowany wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

W ten sposób powstały warunki do określenia zależności między wskaźnikiem waloryzacji ( $x$ ) a wskaźnikami struktury użytkowania ( $y$ ), tj. procentowym udziałem powierzchni kolejno: pszenicy, jęczmienia, żyta, owsa, buraków i ziemniaków w powierzchni gruntów ornych. Zależności te są zapisane wzorami od (1) do (6).

Warto zwrócić uwagę na wielkości błędów określenia struktury upraw ( $m_{ij}$ ). Z jednym tylko wyjątkiem są one znacznie mniejsze niż 1% powierzchni gruntów ornych. Wskazuje to, że populacja generalna została opisana dość dobrze jak na tak niewielką próbę terenową. Przewidywana modyfikacja opracowywanej metody powinna znacznie podnieść dokładność szacowania powierzchni upraw w granicach dużych jednostek administracyjnych.

Wielkości współczynników korelacji ( $r$ ,  $R$ ) potwierdzają słuszność przyjętej zasady, iż sposób gospodarowania rolników indywidualnych najczęściej jest podporządkowany bonitacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Gospodarowanie ekstenzywne, jak i rabunkowe jest w mniejszości. Dotyczy to zwłaszcza upraw roślin o mniejszych wymaganiach glebowych (żyto, ziemniaki). Struktura upraw roślin wymagających gleb lepszych (pszenica, jęczmień, buraki) w nieco mniejszym stopniu nawiązuje do waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Są podstawy do

przypuszczeń, że struktura uprawy tych roślin jest w pełni dostosowana do przydatności rolniczej gruntów ornych w 45%. W pozostałych przypadkach rolnicy mniej respektują zdolność siedliska, starając się bądź wkroczyć z uprawami tych roślin na gleby słabsze, bądź też nie wykorzystują siedliska, uprawiając rośliny o mniejszych wymaganiach glebowych.

Uzyskane wyniki upoważniają do kontynuowania badań, które będą prowadzone w 1982 r. na tym samym poligonie doświadczalnym.

JACEK DOMAŃSKI

### **The digital method for presentation of the classification results in specified colours**

**Abstract.** A classification file is characterized by different values for each class. Such a file can be registered on the data-base of the computer system and printed on a line printer or exposed on photographic film or paper by means of a graphic-to-digital converter. This paper presents a new method of obtaining colourful images resulting from the digital image analysis also characterized by the possibility of specifying colours for each class. This method allows to acquire an image in colours which are in agreement with obligatory instructions. This method also allows to obtain the final image in various forms, for example as a diapositive, colour print, black and white colour extraction or colour composite on the additive colour viewer.

This paper also presents the method of digital image rastering enabling the acquisition of classification imageries which can be printed, without special optical processing.

#### **1. Introduction**

The digital image analysis usually aims at obtaining a classification file in which each distinguished class has a different meaning. One of the possibilities of registering such a file is to expose it on photo-sensitive material — black and white or colour. This paper presents a method, which allows to transform the classification file in such a way as to specify colours for particular classes of objects and then to insert them into specially prepared for this purpose legend of colours. Thus it is possible to obtain a classification image where particular classes are marked by various, chosen by the user colours.

#### **2. Operations performed by a graphic-to-digital converter**

One of the devices of the digital image analysis system is the graphic-to-digital converter. It is used to change the image exposed on photo-sensitive material to an image registered on a magnetic tape in the digital form and vice versa, to change the image from the digital