

ZBYSZKO CHOJNICKI, TERESA ...

Zastosowania analizy trendu powierzchniowego w geografii*Trend surface analysis in geography*

Zarys treści. Autorzy przedstawiają koncepcję analizy trendu powierzchniowego w geografii oraz dokonują na podstawie przeglądu zastosowań oceny roli i znaczenia analizy trendu powierzchniowego jako metody badawczej w geografii ekonomicznej

Trend powierzchniowy w badaniach geograficznych stanowi generalizację, w której, wychodząc z danych stanowiących zbiór obserwacji uporządkowanych przestrzennie w układzie dwuwymiarowym, opisuje się dany rozkład przez dopasowanie najwłaściwszej postaci funkcji.

Model trendu ma zwykle postać równania regresji wielokrotnej. Jeżeli operuje się mapą rozkładu zmiennej Z dla zbioru punktów o określonej lokalizacji geograficznej, analiza trendu powierzchniowego obejmuje szacowanie regresji tej zmiennej zależnej Z ze względu na dwie zmienne niezależne U i V , które są ortogonalnymi współrzędnymi geograficznymi. Model przybiera więc postać równania:

$$Z_{ij} = T(U_i, V_j) + e_{ij}$$

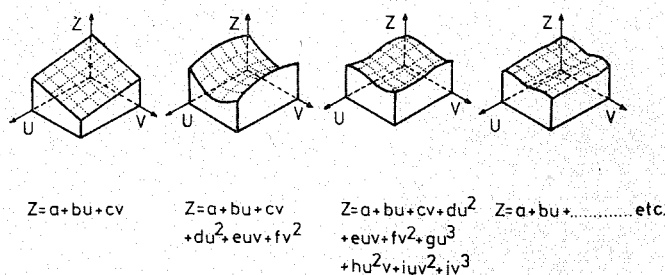
gdzie,

Z_{ij} = obserwowana wartość zmiennej zależnej o lokalizacji (U_i, V_j) ;
 $T(U_i, V_j)$ = trend;
 e_{ij} = pozostałości.

Graficzną interpretację modelu trendu powierzchniowego w postaci wielomianów różnych stopni, a więc w formie liniowej i krzywoliniowej, przedstawiono na ryc. 1.

Model trendu powierzchniowego stanowi jeden z modeli obszernej rodziny, do której należą modele harmoniczne, analizy spektralnej i teorii filtrów. Wszystkie te modele stanowią podstawę generalizacji przestrzennej i opierają się na różnych założeniach oraz posiadają różne właściwości generalizacji.

Trend powierzchniowy stanowi model generalizacji przestrzennej zakładający dekompozycję dwuwymiarowego szeregu na niezależne składniki. Przestrzeń wyjściowa ma charakter złożony i stanowi kombinację pewnych podprzestrzeni, które pozwolą wyjaśnić w różnym (pewnym) stopniu jej zmienność. Geograficzna interpretacja tych składowych podprzestrzeni nasuwa jednak poważne trudności. Nasuwają się tu pewne analogie z trudnościami, jakie zachodzą np. przy zastosowaniu metody składowych głównych (metody czynnikowej). Składowe podprzestrzenie



Ryc. 1 Interpretacja graficzna modelu trendu powierzchniowego w postaci wielomianów różnych stopni. Źródło: R. J. Chorley, P. Haggett (1965)

mogą reprezentować systematyczne własności na różnych poziomach odniesienia, a więc w różnych skalach. Tak więc np. w modelu wielomianowym rozróżnia się składniki reprezentujące własności systematyczne i zmienność w małej skali; w modelu Fouriera natomiast własności różnych skal mogą być reprezentowane przez cykle o różnej długości fal.

Identyfikacja składowych podprzestrzeni ujawniających regularności różnych skal pozwala też na oszacowanie różnych poziomów agregacji na podstawie wielkości straty informacji przestrzennej.

Do najtrudniejszych zagadnień należy określenie miejsca modeli generalizacji przestrzennej typu trendu powierzchniowego w metodologii geografii, a w szczególności ich teoretycznej interpretacji. Dotychczasowe próby nadania im takiej interpretacji nie są jasne. D. Harvey (1969) traktuje je jako modele opisu służące do matematycznej interpretacji układu przestrzennego. Zasadnicza trudność polega jednak na tym, że reprezentujący geometryczny i morfologiczny typ analizy nie pozwalają na jednoczesną interpretację zmienności czasowej, a więc procesu i formy przestrzennej. Wiąże się to z dwoma problemami metodologicznymi.

Pierwszy problem dotyczy apriorycznego charakteru założenia co do formy matematycznej modelu np. wielomianowego lub Fouriera. Brak teoretycznej interpretacji związku między formą modelu a typem uzyskanych podprzestrzeni składowych utrudnia interpretację teoretyczną uzyskanych wyników nadając im charakter opisowy.

Drugi problem dotyczy interpretacji charakteru procesu jaki generuje określony typ przestrzeni. I tutaj zachodzi poważna trudność jak zinterpretować ten związek na skutek jego niesymetrycznego charakteru a więc tego, że określony typ przestrzeni może być generowany przez różne typy procesów. Próby takiej interpretacji wprowadzane w modelach geologicznych w postaci „procesu-reakcji” napotykają na znacznie większe trudności w badaniach geograficzno-ekonomicznych, gdzie złożoność procesów społeczno-ekonomicznych jest daleko większa, a związek zachodzący między tymi procesami a typami podprzestrzeni — niejednoznaczny. Jedną z możliwych dróg wyjaśnienia tego związku jest, jak się wydaje, próba budowy modeli czasoprzestrzennych trendów powierzchni oraz szukanie ich interpretacji teoretycznej przez sformułowanie teorii zmienności układów przestrzennych.

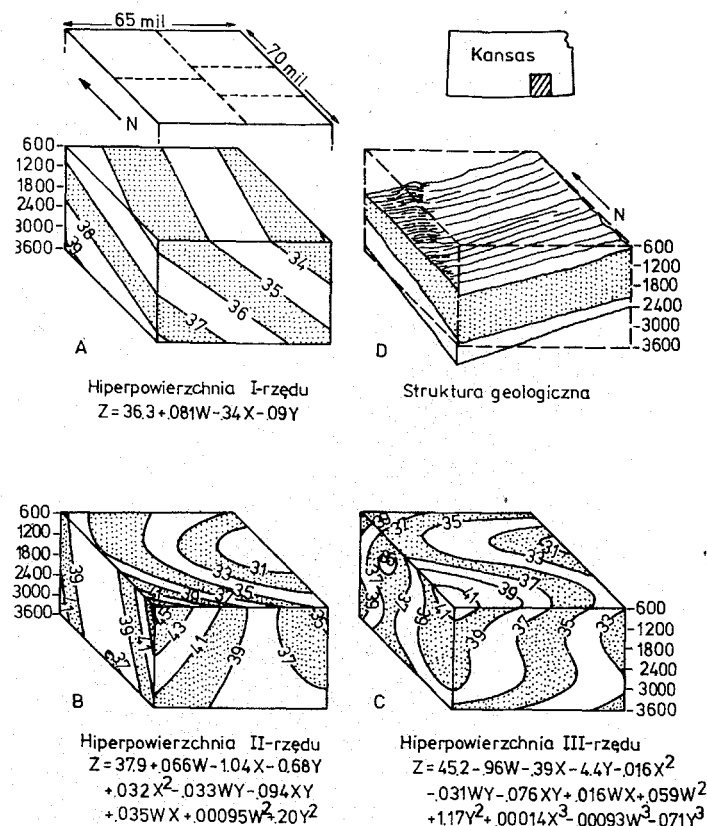
Zastosowanie metody trendu powierzchniowego w geologii

Koncepcja metody trendu powierzchniowego powstała i rozwinęła się najpierw w geologii. Za twórcę tej metody uważa się F. Granta (1957), jednak silny rozwój zastosowań tej metody w geologii jest związany z pracami W. C. Krumbeina (1956, 1959). W pracy W. C. Krumbeina i F. A. Graybilla (1965) zawarty jest szczegółowy opis analizy trendu powierzchniowego w odniesieniu do badań geologicznych. Należy zaznaczyć, że W. C. Krumbein (1956) stosuje ten typ analizy wielozmiennej do badania składników regionalnych i lokalnych facji geologicznych, a także wraz z P. Allenem (1962) do sformułowania modelu „proces-reakcja”, gdy sekwencją stratygraficzną, wykrytą metodą trendu, wyjaśnia proces sedymentacji.

Dla rozwoju zastosowań metody trendu powierzchniowego zasadnicze znaczenie miało rozwiązywanie algorytmów przy pomocy maszyn cyfrowych. Dopiero z rozwojem technik komputerowych powstały możliwości estymacji powierzchni lub hiperpowierzchni w postaci wielomianów wyższych stopni w oparciu o siatkę nieregularną (E. H. T. Whitten, 1963 i inni, 1964).

Wzorcowe zastosowanie metody trendu powierzchniowego w geologii stanowi praca J. W. Harbaugha (1964), w której bada się zmienność ciężaru ropy naftowej w 3-wymiarowym układzie współrzędnych¹. Próba obejmowała 244 pomiary wartości API dla różnych poziomów stratygraficznych w południowo-wschodniej części stanu Kansas. Analiza empirycznego rozkładu wartości API dla 6 poziomów stratygraficznych sugerowała wielkoskalowe zmiany API w kierunku ze wschodu na zachód. Aby zweryfikować zależność API od głębokości i lokalizacji geograficznej dopasowuje się hiperpowierzchnię trendu opartą na modelu regresji z trzema zmiennymi niezależnymi. Estymacja hiperpowierzchni kolejno pierwszego, drugiego i trzeciego stopnia prowadzi do wzrostu wyjaśnionej przez model zmienności API z 32% do 63% (ryc. 2). Interpretacja wyników przedstawia się następująco: (1) API wykazuje tendencję wzrostu wraz z głębokością, (2) zmienność API nie jest uwarunkowana zmianami między poziomami stratygraficznymi, ponieważ płaszczyzny w hiperpowierzchni pierwszego stopnia nachylone są ku wschodowi, podczas gdy warstwy mają upad na zachód, (3) oprócz głębokości zalegania wyraźny wpływ na kształtowanie się wartości API mogą wywierać czynniki środowiska tworzenia się złoża, podobne w różnych poziomach stratygraficznych dla tej samej lokalizacji geograficznej. Agregacja pozostałości powierzchni trzeciego stopnia w wyraźne skupiska sugeruje, że warunki osadzania wpływające na ciężar właściwy ropy w określonym miejscu pozostawały w paleozoiku mniej więcej permanentne. Skupiska pozostałości można również interpretować jako „reakcje” na długotrwałe formy, takie jak linie brzegowe, obszary źródeł sedymentacji, biocenozy, które wpływały na środowiska osadzania się złoża w określonym miejscu przez długi interwał czasu.

¹ Jako miarę ciężaru ropy naftowej przyjęto API (American Petroleum Institute Standard), czyli wartość stosunku wodoru i węgla w ropie naftowej. Im wyższa wartość API, tym mniejszy ciężar właściwy ropy naftowej.



Ryc. 2 Hiperpowierzchnie (A, B, C) dopasowane do rozkładu wartości API ze względu na głębokość i lokalizację geograficzną. Blokdiagram D przedstawia strukturę geologiczną. Źródło: J. W. Harbaugh (1964)

Koncepcja analizy trendu powierzchniowego w geografii

Możliwości stosowania metody trendu powierzchniowego na gruncie geografii szeroko omawiają R. J. Chorley i P. Haggett (1965 s. 47). Stwierdzają oni, że: „ponieważ problemy geograficzne, podobnie jak geologiczne cechują ograniczenia wynikające ze sposobów pobierania prób, różnorodności zmiennych oraz wzajemnego oddziaływania i jednocześnie zmienności wielu zmiennych, nie możemy być pewni jaką część informacji przekazywanej przez mapę można traktować jako „sygnał”, a którą część jako przypadkowe odchylenia i zakłócenia”. W tej sytuacji dla interpretacji rozkładu przestrzennego zjawiska konieczne jest rozplatanie źródeł zmienności. Dokonuje się więc podziału zmienności obserwacji na mapie w trzy części składowe: trend czyli zmiany systematyczne w dużej skali zwane regionalnymi, zmiany niesystematyczne w małej skali zwane lokalnymi fluktuacjami oraz zmiany przypadkowe, tj. zakłócenia. W związku z tym powierzchnie trendu mogą być rozpa-

trywane jako powierzchnie reakcji, z których wyprowadzamy typ procesu. Skartowane powierzchnie trendu stanowią więc próbę budowy zgeneralizowanego obrazu przestrzennej zmienności zjawiska w celu testowania modelu „proces — reakcja”.

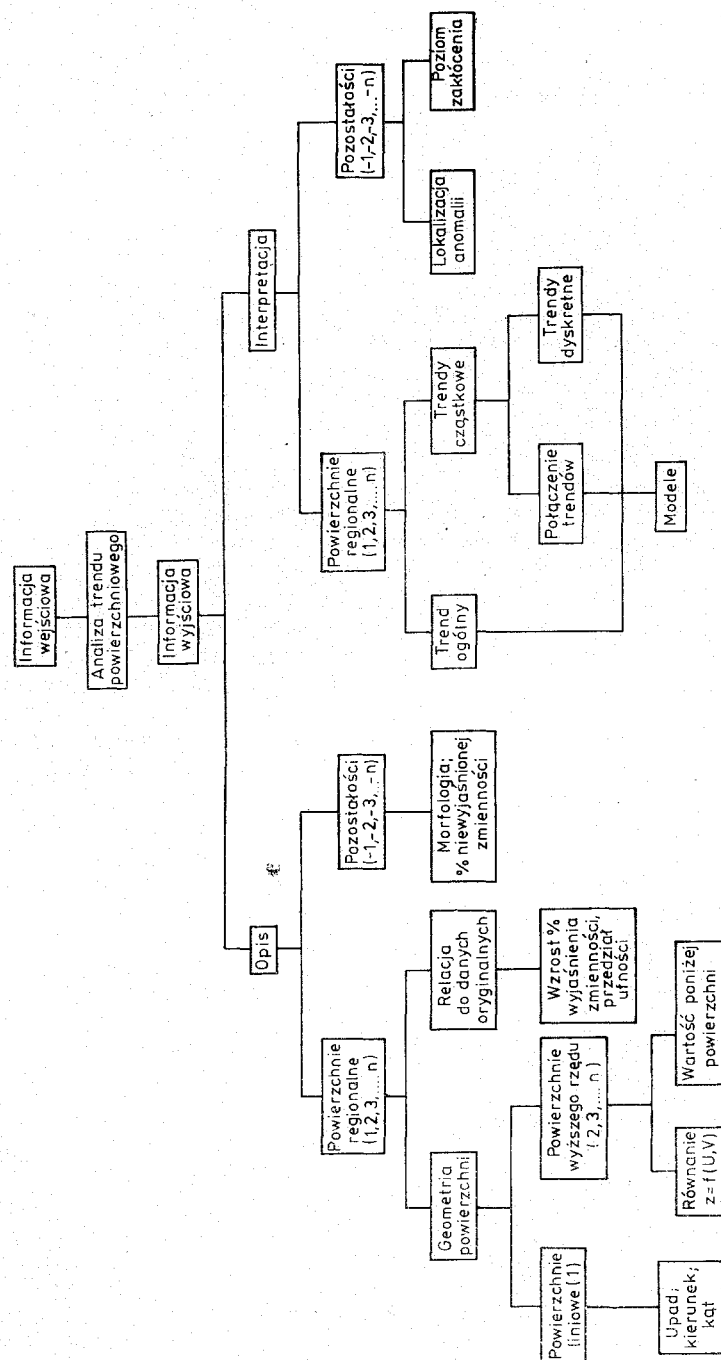
Już A. H. Robinson (1961) stwierdził, że częstotliwość zmian w przestrzeni w przypadku danych społeczno-ekonomicznych może być znacznie większa niż w przypadku danych czysto „fizycznych” a to ze względu na dużą liczbę motywów ludzkiego postępowania oraz cały szereg równocześnie oddziałujących czynników. Sporządzanie map trendu oraz map pozostałości z regresji daje geografii ekonomicznej nowe możliwości w zakresie wyjaśniania przestrzennych układów działalności ludzkiej.

R. J. Chorley i P. Haggett (1965) zwracają uwagę na możliwość szerszego stosowania metody trendu powierzchniowego w analizie problemów społecznych i ekonomicznych stwierdzając, że większość dotychczasowych prac z zakresu analizy trendu powierzchniowego dotyczyła zjawisk fizycznych i powierzchni ciągłych. Równocześnie dowodzą, że np. ludność analogicznie do światła może być rozpatrywana zarówno jako seria nieciągłych kwantów jak i jako continuum. Efektywność metody trendu zależy od typu informacji wstępnej. Źródłem zakłóceń mogą być różne rozmiary jednostek przestrzennych, a stąd i różne rozstawienie punktów kontrolnych na których oparte jest konstruowanie map izarytmicznych. R. J. Chorley i P. Haggett sugerują, że to co w pierwszej analizie może zostać wzięte za zakłócenia, może dać się częściowo wyjaśnić w analizie bardziej szczegółowej przy gęstszej siatce punktów kontrolnych. Systematyzację typów informacji uzyskanej z analizy trendu powierzchniowego rozkładu geograficznego przedstawia schemat (ryc. 3).

Tak więc podstawowymi dziedzinami zastosowania analizy trendu powierzchniowego w studiach geograficznych są: (1) udoskonalenie metody izarytmicznej przez zastąpienie interpolacji liniowej interpolacją opartą o powierzchnię kwadratową; (2) uproszczony opis i porównanie złożonych układów geograficznych w kategoriach podstawowych komponentów powierzchni trendu; (3) wielozmienna analiza przestrzenna w oparciu o korelacje powierzchni trendów; (4) budowa modeli wyjaśniających „proces — reakcja”.

Zastosowanie metody trendu powierzchniowego w geografii fizycznej

W wyniku współpracy geologów z geografami metoda trendu powierzchniowego szybko przeniknęła do geografii fizycznej i znalazła tam szerokie zastosowanie. Już F. K. Hare (1958) proponował zastosowanie matematycznych powierzchni trendów do rozkładów ciśnienia atmosferycznego na obszarach polarnych. R. J. Chorley (1964) zastosował metodę trendu powierzchniowego do filtrowania głównych regionalnych komponentów rozkładu przestrzennego facji glebowych, aby odróżnić glacialne domieszki od facji glebowych in situ w Lower Greensand w środkowo-wschodniej Anglii. R. J. Chorley i inni (1966) badali tą metodą trendy powierzchniowe i dewiacje lokalne mediany wielkości ziarna pokryw piaszczystych ostatniego zlodowacenia w Breckland (wschodnia Anglia). Wysoki procent pozostałości (78,5%) od powierzchni zmian



Ryc. 3 Schemat typów informacji uzyskanej z analizy trendu powierzchniowego rozkładu geograficznego. Źródło: R. J. Chorley, P. Haggett (1965)

systematycznych trzeciego stopnia wskazuje na znaczne lokalne zakłócenia w rozkładzie, które być może reprezentują wariację właściwą procesom peryglacjalnym.

Z dalszych zastosowań koncepcję wykorzystania modelu trendu powierzchniowego w geomorfologii zawierają również prace C. A. M. King i J. C. Rodda, które można traktować jako reprezentatywne dla tej dziedziny badań.

Do badania powierzchni erozyjnej zastosowała metodę trendu powierzchniowego C. A. M. King (1967, 1969). Przedmiot badań stanowiły Masywy Alston i Askrigg w środkowych Penninach, które są wyraźnie zarysowanymi jednostkami strukturalnymi oddzielonymi synkliną. Rzeźbę tego obszaru określono na podstawie 333 punktów wysokościowych. Do skartowanej powierzchni rzeczywistej każdego z masywów dopasowywano powierzchnie trendu od pierwszego do trzeciego rzędu. Na podstawie analizy wartości współczynników determinacji i wartości testu F stwierdzono, że istotną i najlepiej dopasowaną do Masywu Alston jest powierzchnia kwadratowa nachylona w kierunku północnym i północno-wschodnim, a do Masywu Askrigg — powierzchnią sześcienną o nachyleniu z zachodu na wschód (tab. 1). Te dwie powierzchnie trendu łączą się w obniżeniu aproksymującym przebieg depresji Stainmore. Skartowane pozostałości trendu C. A. M. King próbuje interpretować jako monadniki występujące ponad powyginaną powierzchnią szczytową. W ujęciu C. A. M. King analiza trendu powierzchniowego jest równocześnie metodą opisu i rekonstrukcji szczytowej powierzchni erozyjnej oraz narzędziem testowania starych i formułowania nowych hipotez dotyczących postaci tej powierzchni.

Tabela 1

Funkcje powierzchni trendu

	Masyw Askrigg		Masyw Alston	
	% wyjaśnienia zmienności	wartość F	% wyjaśnienia zmienności	wartość F
powierzchnia liniowa	60.0	11.6	62.0	141
powierzchnia kwadratowa	64.0	55	89.0	278
powierzchnia sześcienna	78.5	60	99.0	164

Źródło: C. A. M. King (1969)

J. C. Rodda (1970) stosuje metodę trendu powierzchniowego w procedurze testowania podziału północnego Cardiganshire na trzy płaskowyzę: High, Middle i Coast, proponowanego przez Browna. Powierzchnię statystyczną najlepiej aproksymującą hipsometrię badanego obszaru wyznaczyła funkcja trendu w postaci wielomianu trzeciego stopnia, wyjaśniająca 91,8% zmienności. Jednak w rozkładzie pozostałości z regresji obserwuje się występowanie pewnych systematycznych zmian. To po-

zwala przypuszczać, że estymowana powierzchnia nie odtwarza szczegółów rzeźby terenu. W związku z tym dokonuje się estymacji trendów dla trzech obszarów cząstkowych, których granice pokrywają się z izoliniami zerową na powierzchni pozostałości trendu ogólnego. Cząstkowe powierzchnie trendu sześciennego nie są tak istotne statystycznie jak powierzchnia trendu ogólnego. Jednak po połączeniu trzech powierzchni cząstkowych w kategoriach sum pozostałości wariancji procent wyjaśnionej ogólnej wariancji wzrasta do 96. W ten sposób trzy łączące się powierzchnie cząstkowe traktuje się jako najlepiej dopasowaną formę geometryczną do rzeźby Cardiganshire. Ponieważ powierzchnie cząstkowe w kategoriach cech morfometrycznych i położenia odpowiadają powierzchniom planacji Browna nie ma podstaw do odrzucenia wstępnej hipotezy.

Uwagi krytyczne na temat zastosowania analizy trendu powierzchniowego do badania powierzchni erozyjnych formuluje J. R. Tarrant (1970).

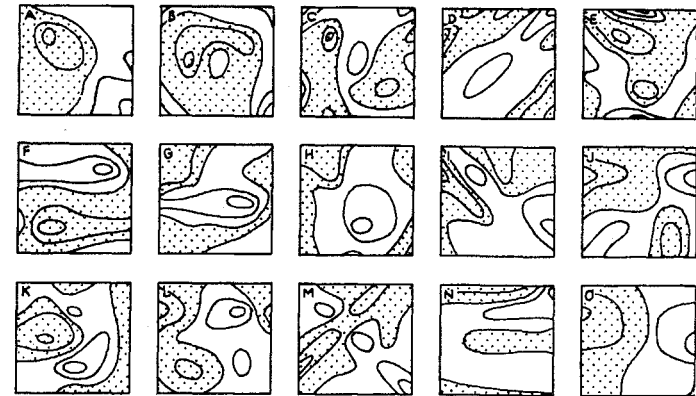
Zastosowanie metody trendu powierzchniowego w geografii ekonomicznej

W geografii ekonomicznej proces adaptacji i rozwoju zastosowań analizy trendu powierzchniowego przebiegał nieco wolniej niż w geografii fizycznej. Zastosowania te dały jednak wartościowe wyniki. Metoda trendu powierzchniowego została zaliczona do tych metod matematyczno-statystycznych, które mogą przynieść na polu geografii ekonomicznej szybszy postęp badawczy (P. Haggett, 1965, P. R. Gould, 1969, W. R. Tobler, 1969, L. J. King, 1969 a, b, E. J. Taaffe, 1970). Metoda ta bowiem nie tylko pozwala na dokonanie uproszczonego opisu układu przestrzennego o wysokiej złożoności drogą oddzielenia systematycznych zmian przestrzennych dużej skali od fluktuacji w małej skali o charakterze lokalnym, ale również umożliwia rozwiązanie w sposób prosty i efektywny zagadnienia łączenia wymiarów przestrzeni geograficznej i społeczno-ekonomicznej.

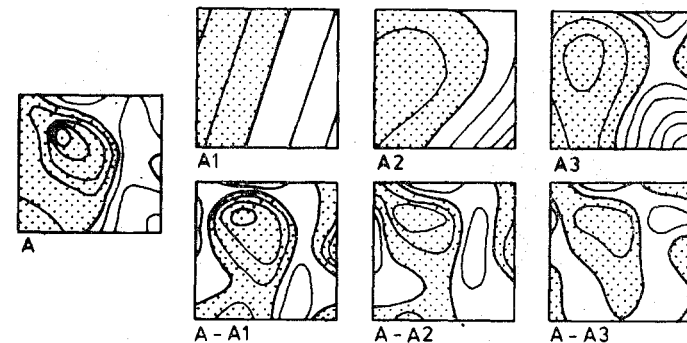
W celu dokonania oceny dorobku geografii ekonomicznej w zakresie zastosowań metody trendu powierzchniowego należy przedstawić szereg najbardziej reprezentatywnych opracowań w oparciu o literaturę światową. Obejmują one zastosowania:

- (1) P. Haggetta i K. A. Bassetta w analizie porównawczej struktur regionalnych,
- (2) K. J. Fairbairna i G. Robinsona w procedurze delimitacji regionów węzłowych,
- (3) P. O. Mullera do weryfikacji modelu Thünera,
- (4) P. R. Goulda i R. J. Johnstona do konstrukcji map preferencji,
- (5) W. Toblera do badania aglomeracji miejskich,
- (6) A. H. Dawsona do badania rozmieszczenia przemysłu.

Zastosowanie metody trendu powierzchniowego w analizie porównawczej struktur wewnętrznych regionów przedstawione przez P. Haggetta (1968) zawiera 15 prób przestrzennych pobranych z regionów o różnej strukturze (R_A do R_O). Struktury, a ściślej ich fragmenty, przed-

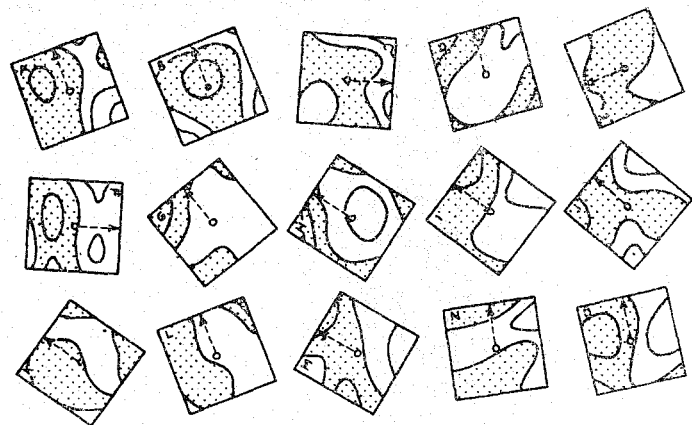


Ryc. 4 Próby przestrzenne (R_A — R_O) pobrane z regionów o różnej strukturze wewnętrznej. Źródło: P. Haggett (1968)



Ryc. 5 Powierzchnie trendu pierwszego (A1), drugiego (A2) i trzeciego (A3) rzędu dopasowane do struktury oryginalnej (A) oraz odpowiadające im pozostałości (A—A1, A—A2, A—A3). Interwał izolinii wynosi 0.5 odchylenia standardowego. Obszary powyżej średniej są szrafowane. Źródło: P. Haggett (1968)

stawia się w formie izarytm wykreślonych na podstawie wartości zmiennej Z w 25 punktach kontrolnych (ryc. 4). Z kolei przestrzenny rozkład zjawiska opisuje się przy pomocy powierzchni trendu określonej modelem matematycznym w postaci liniowej, kwadratowej i sześciennego regresji wielokrotnej. Powierzchnie pierwszego rzędu charakteryzuje się wartościami nachylenia i jego kierunku (ryc. 5 i tab. 2). W celu bardziej adekwatnego opisu urozmaiconej rzeźby szacuje się powierzchnie drugiego i trzeciego stopnia. Zgeneralizowane powierzchnie trzeciego rzędu są bardziej uproszczone i wygładzone niż powierzchnie rzeczywiste, ale



Ryc. 6 Powierzchnia trendu trzeciego rzędu dla regionów R_A — R_O . Orientacja siatki zgodna z nachyleniem powierzchni trendu liniowego. Źródło: P. Haggett (1968)

można na nich rozpoznać główne rysy rzeźby (ryc. 6). Wartości współczynników determinacji, określających stopień dopasowania modeli trendu zawiera tab. 2.

Według P. Haggetta korelacja między oryginalnymi strukturami i modelami trendu powierzchniowego sugeruje, że współczynniki funkcji trendu mogą być stosowane jako parametry opisowe struktur. Stwierdza się, że ze stopniem wielomianu trendu wzrasta procent wyjaśnionej zmienności struktur, jednak ten wzrost nie jest regularny. Tak więc istotne znaczenie dla opisu struktur R_A , R_I , R_O ma płaszczyzna regresji, dla R_B , R_D — powierzchnia kwadratowa, dla R_K — powierzchnia sześcienna. W związku z tym należy wziąć pod uwagę w dalszej analizie opisowej struktur współczynniki funkcji trendów trzech rzędów w postaci ważonej. Wagi wyrażają względny udział współczynnika równania trendu danego rzędu w wyjaśnianiu struktury przez wszystkie trzy powierzchnie teoretyczne. Przykładowo wagę dla współczynników liniowych dla regionu R_A oblicza się w następujący sposób (tab. 2): $\frac{1}{3}[35.57:(35.57+54.02+$

$+72.06)]=0.0733 \cdot 100=7.33$. Modele struktur wewnątrzregionalnych porównuje się w kategoriach 19 współczynników przy zastosowaniu odległości taksonomicznej. Metodą drzewa połączeń dokonuje się grupowania struktur i uzyskaną klasyfikację porównuje się z klasyfikacją powierzchni rzeczywistych.

Jako przykład praktycznego zastosowania procedury P. Haggett podaje estymację powierzchni trendu bezrobocia na obszarze Wielkiej Brytanii.

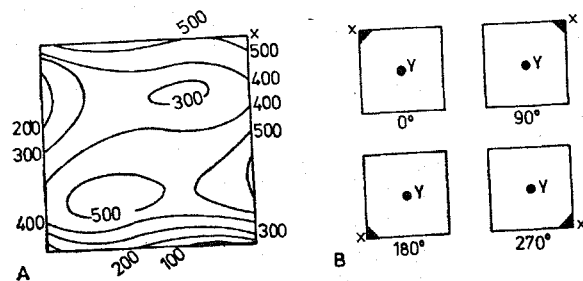
Zastosowanie metody trendu w analizie porównawczej struktury przestrzennej miast przedstawiają P. Haggett i K. A. Bassett (1970). W części metodologicznej tego opracowania przy porównywaniu powierzchni trendów na podstawie wartości współczynników szczegółowo omawia się istotne zagadnienie orientacji siatki współrzędnych. Rozpatruje się zbiór obszarów z siatkami o specyficznych orientacjach. Za-

Tabela 2

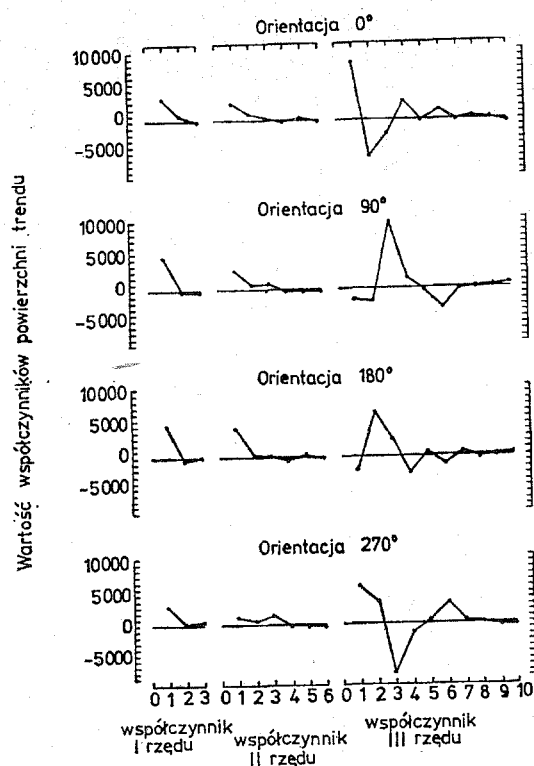
Charakterystyka powierzchni trendów

Region	Płaszczyzna regresji		% wyjaśnienia zmienności — — funkcja trendu			Wagi współczynników — funkcja trendu o postaci		
	nachylenie	azymut	liniowa	kwadratowa	sześcienna	liniowej	kwadratowej	sześcienniej
R _A	.774	109°	35.57	54.02	72.06	7.33	5.57	4.46
R _B	.659	111°	7.39	62.36	70.67	1.75	7.40	5.33
R _C	.391	355°	9.89	20.68	33.55	5.14	5.04	5.24
R _D	.270	105°	5.05	50.44	59.89	1.46	7.30	5.21
R _E	.525	203°	.69	8.78	13.98	.97	6.21	5.95
R _F	.277	355°	19.20	27.18	74.26	5.30	3.75	6.15
R _G	.577	126°	20.72	38.14	49.50	6.37	5.86	4.57
R _H	.391	147°	9.67	72.93	82.58	1.94	7.34	4.99
R _I	.822	143°	35.84	45.11	56.73	9.40	5.46	4.12
R _J	.496	136°	14.63	39.00	55.96	4.44	5.93	5.11
R _K	.246	144°	3.68	6.85	29.73	3.05	2.83	7.38
R _L	.469	110°	12.92	18.21	42.75	6.72	1.74	6.69
R _M	.572	146°	19.91	48.07	59.98	5.67	6.79	5.87
R _N	.347	95°	6.42	34.77	64.05	2.03	5.46	6.09
R _O	1.000	101°	58.60	65.18	86.58	9.30	5.17	4.12

Źródło: P. Haggett (1968)



Ryc. 7 (A) Dane wyjściowe w analizie trendu powierzchniowego. (B) Alternatywne rotacje ortogonalne. Źródło: P. Haggett, K. A. Bassett (1970)



Ryc. 8 Profile współczynników trendu powierzchniowego w systemie rotacji z początkiem układu X. Źródło: P. Haggett, K. A. Bassett (1970)

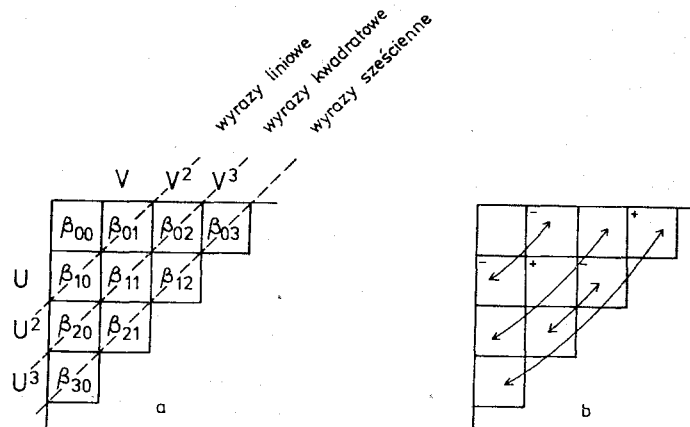
kłada się, że wartość współczynników dopasowanej powierzchni trendu jest również funkcją orientacji siatki współrzędnych i zależność tą prezentuje się dokonując analizy mapy izarytmicznej hipotetycznego miasta (ryc. 7). Następnie szacuje się powierzchnie trendu trzech stopni umieszczając początek układu odniesienia kolejno w każdym z czterech narożników mapy, co jest równoważne z rotowaniem siatki współrzędnych sukcesywnie o 90° . Ryc. 8 przedstawia zmiany, które następują w profilach współczynników pod wpływem rotacji ortogonalnej. Współczynniki, które nie są inwariantnymi parametrami w systemie rotacji nie mogą więc stanowić podstawy klasyfikacji.

Z kolei stwierdzono, że przyjęcie centralnego punktu kwadratu siatki jako początku układu odniesienia wpływa na zmniejszenie zakresu zmienności wartości współczynników powierzchni trendu w serii rotacji ortogonalnych, a nawet umożliwia ustalenie pewnych kombinacji współczynników, których wartości pozostają stałe. Wartości współczynników funkcji trendu β_{ij} można uporządkować w macierzy w ten sposób, że kolejne przekątne reprezentują kolejny stopień powierzchni trendu. Ponieważ ortogonalna rotacja powoduje jedynie przestawienie i zmianę znaku wartości współczynników wzdłuż każdej przekątnej, to sumy kwadratów współczynników każdej przekątnej mogą być traktowane jako parametry inwariantne (ryc. 9). Jednak parametry te nie utrzymują tej właściwości w przypadku rotacji nieortogonalnych.

Ostatecznie proponuje się więc przeprowadzenie klasyfikacji numerycznej powierzchni trendu w oparciu o mniej precyzyjną, ale niezależną od rotacji miarę podobieństwa w postaci procentu zmienności wyjaśnionej przez komponenty liniowe, kwadratowe i sześcienne powierzchni trendu.

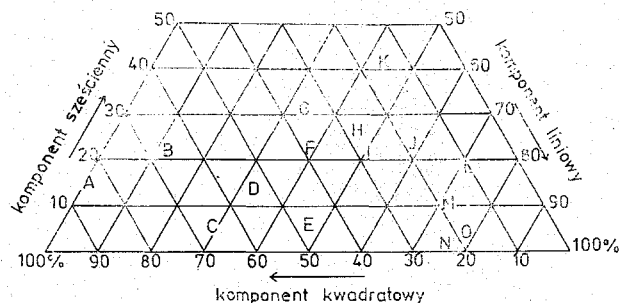
W badaniu empirycznym 15 miast amerykańskich dopasowano do wartości gęstości mieszkaniowej, w układzie kwadratowych subobszarów,

$$Y = \beta_{00} + \beta_{10}U + \beta_{01}V + \beta_{20}U^2 + \beta_{11}UV + \beta_{02}V^2 + \beta_{30}U^3 + \beta_{12}U^2V + \beta_{21}UV^2 + \beta_{03}V^3$$

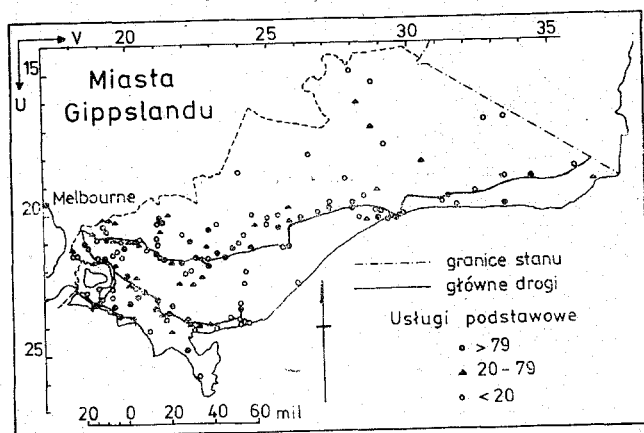


Ryc. 9 (a) Uporządkowanie współczynników wielomianu. (b) Zmiany znaku i pozycji współczynników pod wpływem rotacji ortogonalnej z centralnym początkiem układu. Źródło: P. Haggett, K. A. Bassett (1970)

powierzchnie trendów trzech rzędów. Następnie skonstruowano diagram Ossana, w którym pozycja każdego miasta jest określona na podstawie wartości względnego udziału modelu trendu liniowego, kwadratowego i sześciennego w wyjaśnianiu zmienności ogólnego zjawiska (ryc. 10). Odległości między punktami diagramu są miernikami podobieństwa i stanowią podstawę klasyfikacji w pięć grup.



Ryc. 10. Pozycja 15 miast USA określona na podstawie wartości względnego udziału trendu liniowego, kwadratowego i sześciennego w wyjaśnianiu zmienności zjawiska. Źródło: P. Haggett, K. A. Bassett (1970)

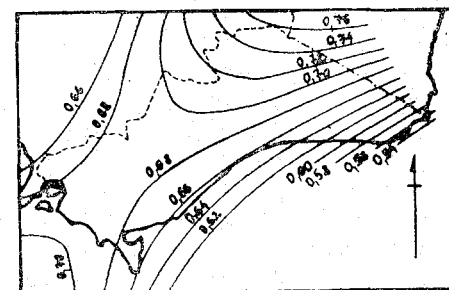


Ryc. 11. Miasta Gippslandu (Australia). Źródło: K. J. Fairbairn, G. Robinson (1967)

Metodę trendu powierzchniowego do wyznaczania subregionów usługowych na obszarze Gippsland (Victoria, Australia) stosują K. J. Fairbairn i G. Robinson (1967). Serię przestrzenną tworzą 154 miasta o współrzędnych U, V określonych na podstawie siatki regularnej (ryc. 11). Zakłada się, że miasto zaspakaja zarówno własne potrzeby w zakresie usług jak i potrzeby zaplecza (które może zawierać również miasta). Wartość określonego dla poszczególnych miast stosunku liczby podstawowych usług do liczby ludności (w postaci zlogarytmowanej) traktuje

się jako miernik funkcjonalnych związków miasta z otaczającym obszarem.

Wykrycie trendów lokalnych i subregionalnych w rozkładzie tego wskaźnika (zmienna zależna X) może prowadzić do określenia skali przestrzennej oddziaływania miast. Jako funkcję najlepiej aproksymującą powierzchnię empiryczną przyjęto funkcję kwadratową. Analiza przebiegu izolinii powierzchni trendu o postaci kwadratowej wykazuje, że wartość wskaźnika wzrasta w kierunku północno-wschodnim i południowo-zachodnim od centrum zachodniego Gippsland, a maleje w kierunku północno-zachodnim i południowo-wschodnim (ryc. 12). Wyróżnia się cztery obszary subregionalne:



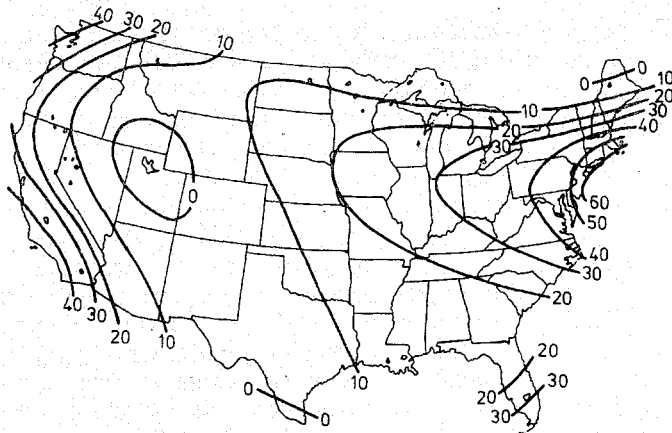
Ryc. 12. Izolinie powierzchni trendu kwadratowego. Źródło: K. J. Fairbairn, G. Robinson (1967)

(1) obszar północno-wschodni, który jest szczytem powierzchni trendu, obejmuje miasta z dużą liczbą usług w stosunku do liczby ludności, jest obszarem słabo zaludnionym położonym w znacznej odległości od Melbourne i niedostępnym komunikacyjnie; (2) obszar wybrzeża i (3) obszar północno-zachodni, położony peryferyjnie w stosunku do obszaru metropolitalnego Melbourne o niskich wartościach wskaźnika; (4) obszar centralny, o małej zmienności wartości wskaźnika, obejmujący miasta Latrobe Valley tworzące przemysłowy rdzeń Gippslandu.

Analiza struktury subregionalnej prowadzi do wniosku, że związki na poziomie subregionalnym znacznie modyfikują trend regionalny związany z odległością od Melbourne. Ponieważ funkcja trendu drugiego stopnia wyjaśnia tylko 7,97% zmienności powierzchni empirycznej dokonuje się szczegółowej analizy mapy pozostałości trendu celem identyfikacji i interpretacji trendów lokalnych. Na przykład stwierdza się, że ogólnie biorąc, miasta z ujemnymi dewiacjami, tj. miasta odznaczające się niedorozwojem usług, zlokalizowane są wzdłuż głównych dróg i w sąsiedztwie ważnych centrów usługowych. Takie położenie gwarantujące mobilność daje ludności możliwość zaspakajania potrzeb na usługi w nawet oddalonych centrach. Natomiast grupa miast w zachodniej części Gippslandu, na peryferiach Melbourne wykazuje ujemne dewiacje, ponieważ rozwój usług w tych miastach hamuje sąsiedztwo metropolii oferującej usługi wyższych rzędów.

Metodę trendu powierzchniowego do testowania zależności z modelu Thünera między odległością od rynku zbytu a rentą gruntową zastosował P. O. Muller (1973). Badania przeprowadzono w makroskali w oparciu o dane statystyczne ze Spisu Rolnego, dotyczące czystego dochodu na jednostkę powierzchni w ujęciu 1376 powiatów USA w 1964 r. W celu

wykrycia systematycznych zmian czystego dochodu wraz ze wzrostem odległości od krajowego rynku zbytu (identyfikowanego z Megalopolis w północno-wschodniej części USA) dokonano estymacji funkcji trendu powierzchniowego w postaci wielomianu drugiego i wyższych stopni. Na podstawie analizy wartości współczynnika determinacji za adekwatne uznano modele trendu postaci wielomianu czwartego, piątego i szóstego stopnia (tab. 3). Ze statystyczno-kartograficznego punktu widzenia za najbardziej istotną dla empirycznej weryfikacji hipotezy Thünera przyjęto powierzchnię w postaci wielomianu czwartego stopnia szacowaną na podstawie próby 500-elementowej. Mapa tej powierzchni trendu wykazuje cztery przewidywane przestrzenne właściwości rozkładu czystego dochodu: (1) Megalopolis jest szczytem powierzchni trendu i pozostaje wyraźnie wyodrębniony od reszty obszaru (granica jest izolinia 50), (2) koncentryczny zarys układu przestrzennego zmian w odniesieniu do Megalopolis dowodzi dominacji rynku krajowego, (3) wydłużenie i wygięcie izolinii w kierunku zachodnim wzdłuż osi kontynentalnego transportu, (4) obserwuje się anomalie lokalne od głównego układu (Kalifornia, obszar zurbanizowany północno-zachodniego wybrzeża Pacyfiku, konurbacja Chicago — Milwaukee, Region Appalachijski, ryc. 13). P. O. Muller konkluduje, że działanie odległości od rynku zbytu kształtuje makrogeograficzny układ rolnictwa amerykańskiego oraz podkreśla wartość modelu Thünera zarówno jako konstrukcji badawczej jak i narzędzia analitycznego.



Ryc. 13 Mapa izarytmiczna powierzchni trendu w postaci wielomianu czwartego stopnia. Źródło: P. O. Muller (1973)

Metodę trendu powierzchniowego przy konstrukcji map preferencji (*mental maps*) w badaniach z zakresu geografii społecznej zastosował P. R. Gould (1966). Badaniu podlegała przestrzeń preferencji przypisanych przez grupę ludzi różnym obszarom ze względu na atrakcyjność zamieszkania. W przypadku badania Ghany wiersze macierzy informacji reprezentowały jednostki przestrzenne, tj. okręgi administracyjne, natomiast kolumny — zbiorowość studentów geografii uniwersytetu w Akrze. Każda kolumna zawierała rangi, które ankietowana osoba nadała

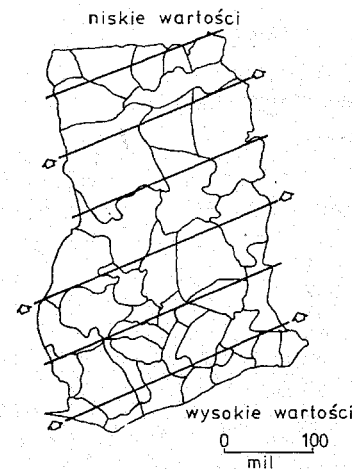
Tabela 3

Dopasowanie powierzchni trendu

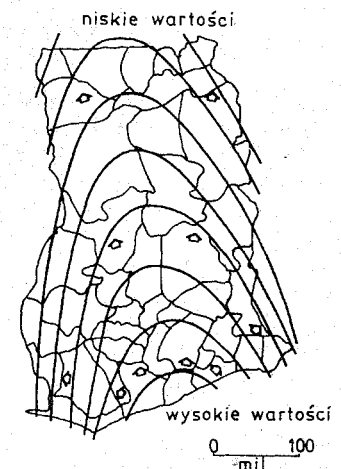
Powierzchnia	Współczynnik determinacji R^2	Odchylenie standardowe
kwadratowa	0.55	13.87 S
sześcienne	0.61	12.81 S
czwartego rzędu	0.71	11.03 S
piątego rzędu	0.76	10.05 S
szóstego rzędu	0.80	9.17 S

Źródło: P. O. Muller (1973)

poszczególnym okręgom biorąc pod uwagę atrakcyjność zamieszkania przy założeniu możliwości podjęcia pracy lub przeniesienia w służbie państwowej. Analiza głównych komponentów pozwoliła wyodrębnić z ogólnej zmienności preferencji tę część zmienności, która reprezentuje wspólne zapatrywania studentów i określić jej strukturę. Przestrzenne prawidłowości w rozkładzie wartości najbardziej istotnego komponentu (wyjaśniającego 68% zmienności preferencji) sugerowały możliwość zastosowania do opisu układu w kategoriach zmian regionalnych i lokalnych metody trendu powierzchniowego. Przy założeniu, że wartość preferencji przypisanych obszarowi jest liniową funkcją jego współrzędnych geograficznych uzyskano powierzchnię trendu zwaną przez P. R. Goulda powierzchnią percepcji, nachyloną w kierunku północno-zachodnim o izoliniami równoległymi do wybrzeża. Jednak za najlepiej dopasowaną uznano powierzchnię trendu drugiego stopnia wyjaśniającą 79% zmienności. Na tej powierzchni percepcji okręgi nadmorskie z głównymi ośrodkami miejskimi zaznaczają się w postaci wyraźnego szczytu (ryc. 14 i 15). Na mapie pozostałości z regresji wartości dodatnie wykazują okręgi zurba-



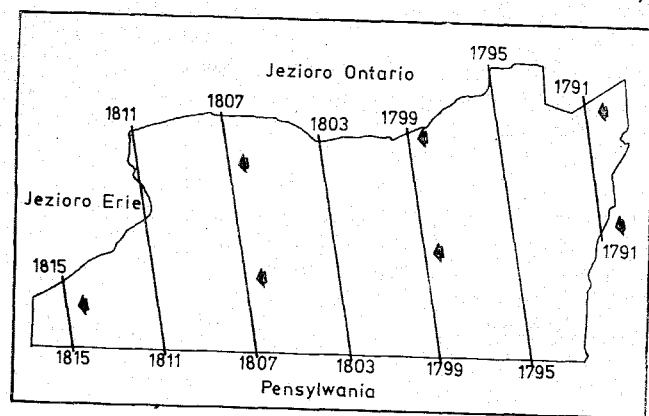
Ryc. 14. Liniowa powierzchnia percepcji. Źródło: P. R. Gould (1966)



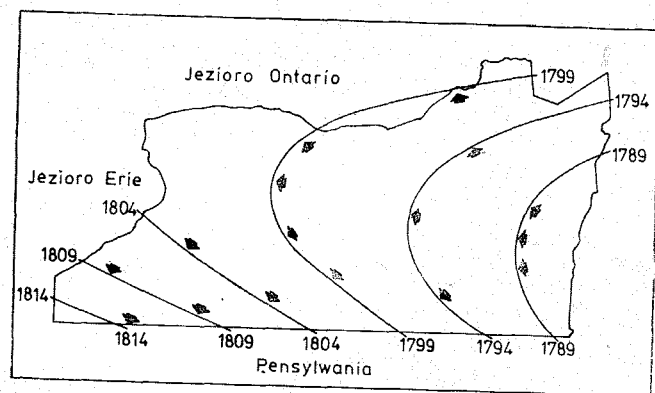
Ryc. 15. Kwadratowa powierzchnia percepcji. Źródło: P. R. Gould (1966)

nizowane i obszary eksplozji ekonomicznej, a wartości ujemne występują przede wszystkim na obszarach o niesprzyjających warunkach klimatycznych.

Na szczególną uwagę zasługuje jednak zastosowanie przez P. R. Goulda (1966) metody trendu do rekonstrukcji powierzchni percepcji. Wiąże on fale pionierskiego osadnictwa w zachodniej części stanu Nowy Jork z gradientami powierzchni percepcji. Dokonuje się estymacji funkcji trendu trzech stopni, w której data pierwszego osadnictwa jest zmienną zależną od lokalizacji geograficznej. Model trendu w tym ujęciu jest więc modelem czasoprzestrzennym. Izochrony liniowej powierzchni trendu w postaci prostych równoległych można rozpatrywać jako reprezentujące fale osadników, które przesuwają się ze wschodu na zachód w izotropowej przestrzeni komunikacji. Na powierzchni kwadratowej, charakteryzującej się wyższym stopniem dopasowania do powierzchni rzeczywistej (procent wyjaśnienia zmienności wzrósł z 39 do 49) obserwuje się już wygięcia izochron i znaczne gradienty czasowe, które można wyjaśnić istnieniem dróg i różnokierunkowym rozchodzeniem się informacji a więc anizotropowymi własnościami przestrzeni (ryc. 16 i 17).



Ryc. 16 Powierzchnia liniowa trendu. Źródło: P. R. Gould (1966)



Ryc. 17 Kwadratowa powierzchnia trendu. Źródło: P. R. Gould (1966)

Należy zaznaczyć, że jako pierwszy w geografii ekonomicznej tego typu model rozwinął P. Haggett (1965). Przedstawił on diachroniczny model liniowy i kwadratowy kolonizacji południowo-wschodniej Brazylii przez Portugalczyków w latach 1500-1850, w którym daty założenia miast są funkcją ich współrzędnych geograficznych.

Przy zastosowaniu metody trendu powierzchniowego R. J. Johnston (1972) bada kształt przestrzeni codziennej działalności człowieka (*activity space*) w relacji do struktury miasta. Badaniem objęto 6 miast australijskich. Ankietowani byli studenci uniwersytetów, którzy są stałymi mieszkańcami tych miast. Respondenci dokonali oceny przedmieść (*suburb*) miast w oparciu o skalę 5-punktową w zakresie: (1) społecznej pozycji przedmieścia oraz (2) ich atrakcyjności mieszkaniowej. Przestrzeń działania (*action space*) została wyprowadzona ze zgodności ocen poszczególnych grup respondentów w zakresie percepcji pozycji społecznej przedmieścia. Aby określić przestrzeń działalności, opisującą codzienne zachowanie się mieszkańca w przestrzeni, ustaloną skalę atrakcyjności zamieszkania skorelowano ze skalą pozycji społecznej przedmieść. Do pozostałości z regresji dopasowano powierzchnię trendu w postaci wielomianu trzeciego stopnia. Obszary pozytywnej pozostałości atrakcyjności mieszkaniowej, a więc te obszary, w których rzeczywiste wartości atrakcyjności zamieszkania były wyższe od estymowanych na podstawie rangi pozycji społecznej utworzyły wyraźne sektory w przestrzeni miasta. Te sektory utożsamia się z przestrzenią działalności mieszkańca miasta i szczegółowo analizuje w kategoriach mapy preferencji (*mental map*).

Należy zwrócić uwagę, że również niektóre modele zmian w gęstości zaludnienia na obszarze aglomeracji miejskiej w miarę odsuwania się od centrum są w zasadzie modelami powierzchni trendu z biegunem określonym *ex ante*. Według B. Kostrubca (1972) miernik taki jak gęstość zaludnienia spełnia warunki stawiane miarom zjawisk badanych metodą trendu powierzchniowego. Jest to ciągle stacjonarne pole skalne rozpostarte na obszarze miasta. Gęstość przedstawić można w każdym punkcie w postaci funkcji $\delta = f(U, V)$, gdzie (U, V) to współrzędne punktów na mapie. W skonstruowanym 3-wymiarowym modelu gęstości zaludnienia rzuty linii przecięcia bryły płaszczyznami pionowymi traktować można jako poziomicę demograficzne.

Pierwszą próbę badania aglomeracji miejskiej metodą trendu powierzchniowego przeprowadził W. R. Tobler (1967), który empirycznym szeregiem przestrzennym gęstości zaludnienia przyporządkował cztery modele opisowe. Środek obrotowej powierzchni trendu stanowi centrum aglomeracji. Często przyjmowany jest środek masy układu elementów, dla którego wartość $\sum r^2 \delta dS$ jest zminimalizowana, gdzie: r = odległość od centrum, S = pole aglomeracji, δ = gęstość zaludnienia obszaru o wielkości dS . Centrum miasta umieszcza się w początku biegunowego układu współrzędnych, co upraszcza wzory powierzchni trendów przez sprowadzenie ich do kanonicznej postaci. Przyjmując przedziały $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ dla kąta i $0 < r < a$ dla promienia wodzącego każdy punkt miasta jednoznacznie określamy współrzędnymi. Gęstość zaludnienia centrum oznaczamy przez $\delta_c = \delta(0, \varphi)$; φ — dowolne, a gęstość w dowolnym punkcie P przez $\delta_p = \delta(r, \varphi)$. Obszar aglomeracji ograniczony jest krzywą zamkniętą o równaniu $a = (a, \varphi)$. Według W. R. Toblera przy założeniu izotropowej powierzchni miejskiej najlepiej dopasowane do powierzchni rzeczywistej są następujące modele:

(1) model cylindryczny

$$\delta = \frac{L}{\pi a^2}$$

gdzie L = całkowita populacja aglomeracji,

(2) model stożkowy

$$\delta = \frac{3L}{\pi a^2} - \frac{3Lr}{a^3}$$

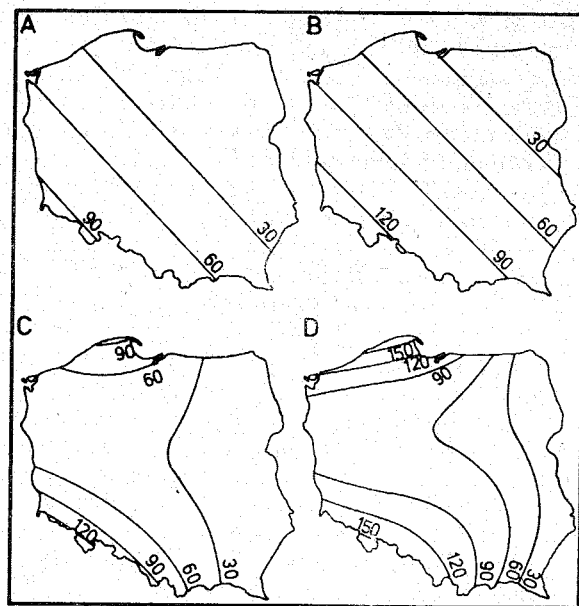
(3) model paraboliczny

$$\delta = \frac{6L}{a^4} (r - a)^2$$

(4) model cosinusowy

$$\delta = \frac{\pi L}{a^2} (\pi^2 - 4) \left(1 - \cos \frac{\pi r}{a} \right)$$

Zastosowanie metody trendu powierzchniowego do badania przestrzennego rozmieszczenia przemysłu, oparte na polskich źródłach statystycznych przedstawił A. H. Dawson (1970). Zastosował on metodę trendu do generalizującego opisu rozkładu wartości wskaźnika industrializacji (liczba zatrudnionych w przemyśle na 1000 mieszkańców) na obszarze Polski w latach 1949 i 1965 według powiatów. Estymowano liniową i sześcienną postać powierzchni trendu dla każdego momentu czasowego (ryc. 18). Analiza powierzchni trendu pozwala wnioskować, że na obsza-



punkt optymalny. Oblicza się odległość tych punktów od każdego elementu serii przestrzennej, następnie koreluje się odległości z wartościami elementów, co prowadzi do macierzy współczynników korelacji typu 15×15 . Identyfikuje się największy współczynnik korelacji i jego współrzędne.

Z kolei wprowadza się siatki coraz bardziej precyzyjne i powtarza się procedurę obliczania współczynników korelacji aż do momentu, w którym zweryfikowany punkt optymalny pokryje się z punktem rzeczywistym serii przestrzennej. Następnie szacuje się funkcję regresji zmiennej wzrostu ludności ze względu na odległość od optymalnego punktu. Oblicza się pozostałości regresji, które tworzą nową przestrzeń serii elementów i wyznacza się nowy punkt optymalny. Iterację kontynuuje się w zasadzie aż do momentu gdy pozostałości regresji mają charakter losowy. W konkretnym badaniu empirycznym określono 5 optymalnych punktów odniesienia, spośród nich dwa miasta były biegunami ujemnymi, a trzy — dodatnimi. Powierzchnie trendu wyjaśniały od 68,8% do 93,7% wariancji zmian ludności.

Trzeba podkreślić, że technika trendu opracowana przez E. Casetti'ego i R. K. Semple'a może znaleźć również zastosowanie jako metoda identyfikacji rdzeni regionów węzłowych i ustalenia ich hierarchii.

Inną propozycję metodologiczną w zakresie rozciągnięcia modelu trendu do badania serii struktur przestrzennych w czasie wysuwa E. G. Moore i D. J. Old (1971). Model trendu obejmuje ciąg stanów układu przestrzennego ludności rozważanego w kategoriach potencjału ludności na skali czasu i jest formułowany oraz szacowany w dwóch postaciach. Pierwsza postać modelu wywodzi się z generalizacji układu przestrzennego wyrażonego w formie powierzchni potencjału, przy zastosowaniu regresji wielokrotnej. Do powierzchni potencjału ludności określonej na podstawie zbioru dyskretnych lokalizacji w systemie współrzędnych prostokątnych (U, V) dopasowuje się powierzchnię trendu o postaci wielomianu n -tego stopnia. Drugą wersją modelu trendu jest model trendu czasoprzestrzennego. Operację opisu układu przestrzennego metodą trendu powierzchniowego o równaniu $X_{ij} = f(U_i, V_j) + e_{ij}$ powtarza się dla n momentów czasowych. Traktuje się sekwencję estymowanych porównywalnych współczynników regresji wielokrotnej jako serie czasowe i bada się trend czasowy trendu przestrzennego w celu dokonania generalizacji układu przestrzennego w czasie. Równanie trendu czasoprzestrzennego przybiera postać:

$$X_{ij} = f(U_i, V_j, t) + e_{ij}$$

W tym przypadku trend jest określony w odniesieniu do 3-wymiarowego układu współrzędnych. Współczynniki trendu powierzchniowego postaci wielomianu są traktowane jako funkcje czasu, a nie jako stałe tj. $\hat{\alpha}_{pgt} = g_{pg}(t)$. Estymowana wartość współczynników $\hat{\alpha}_{pgt}$ w czasie t ($t = 1, 2, 3, \dots, n$) jest określona jako funkcja liniowa czasu: $\hat{\alpha}_{pgt} = k_{pq} + m_{pq}t$, gdzie k_{pq} i m_{pq} są stałymi. Każdy parametr funkcji opisuje określoną formę przestrzenną i zmiany we współczynnikach identyfikują zmiany czasowe w formie przestrzennej rozmieszczenia zjawiska. Badania empiryczne E. G. Moore'a i D. J. Olda dotyczą powierzchni potencjału ludności dla stanu Illinois w układzie 102 powiatów w latach 1840—1960 (w odstępach 10-letnich). Estymowano wartości współczynników dla wielomianów od pierwszego do piątego stopnia dla każdego momentu czasowego. Dla każdej dopasowanej powierzchni obliczono

pozostałości i wykreślono mapy trendu. W oparciu o serię powierzchni trendu piątego stopnia dokonano analizy zmian rozmieszczenia ludności w Illinois, które wiąże się z etapami rozwoju gospodarczego tego stanu. Również w oparciu o powierzchnie piątego stopnia oszacowano wartości k_{pq} i m_{pq} dla każdego $\hat{\alpha}_{pgt}$. Adekwatność modelu trendu czasoprzestrzennego określa wartość wariancji wyjaśnionej w każdym okresie czasu oraz wariancji wyjaśnionej w odniesieniu do całego okresu 1890—1960. W analizie empirycznej model czasoprzestrzenny wyjaśnił stosunkowo niewielką część wariancji całkowitej potencjału ludności (11.60%), co jest zdaniem E. G. Moore'a i D. J. Olda, konsekwencją kumulowania się błędów dla 21 estymowanych wyrazów wielomianu piątego stopnia.

BIBLIOGRAFIA

- Agterberg F. P., 1964. *Methods of trend surface analysis*. Colorado School of Mines Quarterly, 59, 4, 111—130.
- Allen P., Krumbein W. C., 1962. *Secondary trend components in the top Ashdown pebble bed, a case history*. „Journal of Geology”, 70, 607—538.
- Bassett K., 1972. *Numerical methods for map analysis*. „Progress in Geography”, 4, London, 217—254.
- Board C., 1967. *Maps as models*. (W:) Chorley R. J., Haggett P. *Models in geography*. London, 670—725.
- Casetti E., Semple R. K., 1968. *A method for the stepwise separation of spatial trends*. „Discussion Paper” No 11, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers. Ann Arbor.
- Cerny J. W., 1973. *Social data and trend surfaces: a comment*. „Geographical Analysis”, 5(2), 156—159.
- Chojnicki Z., 1971. *Metody matematyczne w geografii fizycznej*. „Przegląd Geograficzny”, XLIII, 3, 297—310.
- Chorley R. J., 1964. *An analysis of the areal distribution of soil size facies on the Lower Greensand rocks of east-central England by the use of trend surface analysis*. „Geological Magazine”, 101(4), 314—321.
- Chorley R. J., Haggett P., 1965. *Trend surface mapping in geographical research*. Transactions, Institute of British Geographers, 37, 47—67.
- Chorley R. J., Stoddart D. R., Haggett P., Slaymaker H. O., 1966. *Regional and local components in the areal distribution of surface sand facies in the Breckland, Eastern England*. „Journal of Sedimentary Petrology”, 36(1), 209—220.
- Cliff A. D., Ord J. K., 1973. *Spatial autocorrelation*. London, 122—127.
- Dawson A. H., 1970. *The changing distribution of Polish industry, 1949—65: a general picture*. „Transactions”, Institute of British Geographers, 50, 177—197.
- Earickson R., Jones R. H., Murton B. J., 1972. *An extension of spatial analysis to social behavior*. Geographical Analysis, 4, 65—80.
- Earickson R., Murton B. J., 1973. *Social data and trend surfaces: a reply*. „Geographical Analysis”, 5, 2, 160—163.
- Fairbairn K. J., Robinson G., 1967. *Towns and Trend surfaces in Gippsland, Victoria*. „Australian Geographical Studies”, 5, 2, 125—134.
- Gould P. R., 1966. *On mental maps*. „Discussion Paper” No 9. Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers Ann Arbor.
- Gould P. R., 1969. *Methodological development since the fifties*. „Progress in Geography”, 1. London.

- Granger C. W. J., 1969. *Spatial data and time series analysis*. (W:) *Studies in Regional Science*. London, 1—24.
- Grant F., 1957. A problem in the analysis of geophysical data. „*Geophysics*”, 22, 309—344.
- Haggett P., 1965. *Locational analysis in human geography*. London.
- Haggett P., 1968. Trend-surface mapping in the interregional comparison of intra-regional structures. „*Papers of the Regional Science Association*”, 20, 19—28.
- Haggett P., Bassett K. A., 1970. The use of trend-surface parameters in inter-urban comparisons. „*Environment and Planning*”, 2, 225—237.
- Harbaugh J. W., 1964. A computer method for four-variable trend analysis illustrated by a study of oil-gravity variations in Southeastern Kansas. State Geological Survey of Kansas, Bulletin 171, The University of Kansas, Lawrence.
- Hare F. K., 1958. *The quantitative representation of the North Polar Pressure Fields*. (W:) *Polar Atmosphere Symposium: Part I. Meteorology*. New York.
- Harvey D., 1969. *Explanation in geography*. London.
- Howarth R. J., 1967. Trend surface fitting to random data an experimental test. „*American Journal of Science*”, 265, 619—625.
- Johnston R. J., 1972. Activity spaces and residential references: some tests of the hypothesis of sectoral mental maps. „*Economic Geography*”, 48, 2, 199—211.
- King C. A. M., 1967. An introduction to trend surface analysis. „*Bulletin of Quantitative Data for Geographers*”, No 12, Department of Geography, Nottingham University.
- King C. A. M., 1969. Trend-surface analysis of Central Pennine erosion surfaces. „*Transactions*”. Institute of British Geographers, No 47, 47—60.
- King L. J., 1969 a. The analysis of spatial form and its relation to geographic theory. „*Annals of the Association of American Geographers*”, 3, 573—595.
- King L. J., 1969 b. *Statistical analysis in geography*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Kostrubiec B., 1972. *Matematyczne metody badania aglomeracji miejskich*. „*Studia nad Ekonomiką Regionu*”, 3, Śląski Instytut Naukowy w Katowicach, Katowice, 79—89.
- Krumbein W. C., 1956. Regional and local components in facies maps. „*Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*”, 40, 2163—2194.
- Krumbein W. C., 1959. Trend surface analysis of contour-type maps with irregular control-point spacing. „*Journal of Geophysical Research*”, 64, 823—834.
- Krumbein W. C., Graybill F. A., 1965. *An introduction to statistical models in geology*. New York.
- Macomber L., 1971. Utility of trend surfaces in interregional map comparisons. „*Journal of Regional Science*”, 11, 87—90.
- Merriam D. F., Lippert R. H., 1966. *Geologic model studies using trend surface analysis*. „*The Journal of Geology*”, 74, 3, 344—357.
- Miesch A. T., Connor J. J., 1968. *Stepwise regression and nonpolynomial models in trend analysis*. University of Kansas, State Geological Survey, Computer Contribution 27.
- Moore E. G., Old D. J., 1971. Some comments on the spatio-temporal characteristics of a population potential surface. „*Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*”, 62, 53—60.
- Muller P. O., 1973. Trend surfaces of American agricultural patterns: a macro-Thünian analysis. „*Economic Geography*”, 49, 3, 228—242.
- Norcliffe G. B., 1969. On the use and limitations of trend surface models. „*Canadian Geographers*”, 13, 4, 338—348.

- Pyle G. H., 1971. *Heart disease, cancer and stroke in Chicago a geographical analysis with facilities, plans for 1980*. „*Research Paper*”, No 134, Department of Geography, University of Chicago, Chicago.
- Robinson A. H., 1961. The cartographic representation of the statistical surface. „*International Yearbook of Cartography*”, 1, 53—63.
- Robinson G., 1970. Some comments on trend surface analysis. „*Area*”, 2, 31—36.
- Robinson G., Fairbairn K. J., 1969. An application of trend surface mapping to the distribution of residuals from a regression. „*Annals of the Association of American Geographers*”, 59, 158—170.
- Rodda J. C., 1970. A trend surface analysis trial for the planation surfaces of north Cardiganshire. „*Transactions*”, Institute of British Geographers, 50, 107—114.
- Smith D. E., Sissons J. B., Cullingford R. A., 1966. Isobases for the main perth raised shoreline in South-East Scotland as determined by trend-surface analysis. „*Transactions*”, Institute of British Geographers, 46, 45—52.
- Taaffe E. J., 1970. *Geography*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Tarrant J. R., 1970. Some comments on the use of trend surface analysis in the study of erosion surfaces. „*Transactions*”, Institute of British Geographers, 51, 221—222.
- Tobler W. R., 1964. A polynomial representation of Michigan population. „*Papers and Proceedings of the Michigan Academy of Science*”, „*Arts and Letters*”, 49, 445—452.
- Tobler W. R., 1967. *The spectrum of U.S. 40*. Department of Geography, University of Michigan, Ann Arbor, mimeo.
- Tobler W. R., 1969. Geographical filters and their inverses. „*Geographical Analysis*”, 1(3), 234—253.
- Tobler W. R., 1970. Per cent RSS in trend surface analysis. „*Area*”, 1, 25—28.
- Whitten E. H. T., 1963. *A surface-fitting program suitable for testing geological models which involve areally distributed data*. U.S. Office of Naval Research, Technical Report No 2, Department of Geology, Northwestern University, Evanston.
- Whitten E. H. T., Krumbein W. C., Wayne I., Beckman W. A., 1964. *A surface-fitting program for areally-distributed data from the earth sciences and remote sensing*. Prepared under Grant No NGR-14-007-027 by Northwestern University, Evanston, for National Aeronautics and Space Administration.

ЗБЫШКО ХОЙНИЦКИ, ТЕРЕСА ЧИЖ

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНДА В ГЕОГРАФИИ

Авторы рассматривают основные предпосылки модели поверхностей тренда (trend surface model) и характеризуют его обобщающую функцию.

Анализ поверхностей тренда представляет собой модель пространственного обобщения, исходящую из декомпозиции двухразмерного ряда на независимые компоненты. Исходное пространство имеет сложный характер и является комбинацией определенных субпространств, которые позволяют, в разной степени, объяснить его изменчивость. Географическая интерпретация этих составных субпространств вызывает, однако, серьезные затруднения. Составные субпространства могут представлять систематические свойства на разных уровнях отнесения.

Подлежит обсуждению вопрос теоретической интерпретации модели поверхностей тренда. Поверхности тренда считаются моделью описания, которая служит математической интерпретацией пространственной системы. Геометрический и мерфологический тип анализа поверхности тренда не позволяет одновременно интерпретировать изменения во времени, т.е. процесс и пространственную форму. Это вяжется с двумя методологическими проблемами. Первая проблема — это априорный характер исходных положений математического представления. Отсутствие теоретической интерпретации связи между формой модели и типом полученных составных субпространств осложняет теоретическую интерпретацию полученных результатов, придавая им описательный характер. Вторая проблема — это интерпретация характера процесса, вызываемого определенный тип пространства. Тут возникает серьезное осложнение в интерпретации этой связи, т.к. определенный тип пространства может создаваться различными типами процессов. Одна из возможностей решения проблемы — это, повидимому, попытка построить времяпространственные модели поверхностей тренда а также пытаться их теоретически интерпретировать путем построения теории изменчивости пространственных систем.

Для оценки роли и значения поверхностей тренда как исследовательского метода в экономической географии, авторы представили ряд наиболее представительных разработок мировой литературы. Особенное внимание они обращают на попытки видоизменения анализа поверхностей тренда в виде метода постепенного отделения поверхностей тренда (the method for the stepwise separation of spatial trends) и времяпространственных поверхностей тренда.

Пер. Б. Миховского

ZBYSZKO CHOJNICKI, TERESA CZYŻ

TREND SURFACE ANALYSIS IN GEOGRAPHY

The authors present the theoretical foundations of the trend surface model and characterize its generalizing function.

The trend surface is a model of surface generalization, which implies a decomposition of the two-dimensional series into independent components. The primary space is a complex notion and constitutes a combination of certain subspaces, which make it possible to explain its changeability. The geographical interpretation of these component subspaces is however very difficult. Component subspaces may represent systematic properties at various reference level.

The theoretical interpretation of the trend surface model is still debatable. Spatial trends should be treated as a descriptive model which can be utilized for a mathematical interpretation of the spatial pattern. The geometrical and morphological types of the analysis of the trend do not make it possible to interpret simultaneously the temporal change, i.e. a spatial process and a spatial form. This is connected with two methodological problems. The first one is concerned with the a-priori character of the assumption of its mathematical form. Lack of theoretical interpretation of the interrelation between the model form and the type of obtained component subspaces make the theoretical interpretation of obtained results a difficult task, as they acquire a descriptive character. The

second problem is connected with the interpretation of the character of the process which generates the type of the space. However, the problem how to interpret such a relationship is again difficult as the defined type of the space can be generated by various types of processes. One of the possible ways how to solve the problem seems to be an attempt at constructing the models of time-space trend surfaces and try to discover how they should be interpreted theoretically by formulating the theory of the changeability of spatial patterns.

In order to evaluate the role and importance of the trend surface model as a research method to be applied in economic geography the authors describe some of the most representative studies in world literature. They draw special attention to the attempts at the modification of the trend surface method by means of that for the stepwise separation of spatial trends and the time-space trend.

Translated by Halina Dzierżanowska