

ZBYSZKO CHOJNICKI

Metody matematyczne w geografii fizycznej

Mathematical methods in physical geography

Zarys treści. Artykuł porusza zagadnienie możliwości badawczych, jakie zarysowują się przed badaniami fizycznogeograficznymi w związku z powstaniem nowych tendencji metodologicznych w geografii, a w szczególności metod numerycznych i modeli matematycznych.

1. Matematyzacja nauk empirycznych o typie obserwacyjnym poczyniła w ostatnich latach olbrzymie postępy. Objęła ona także w ostatnim dziesięcioleciu geografie ekonomiczną, w ramach której dokonano krytyki metod subiektywnych opartych na zindywidualizowanym opisie, wysuwając równocześnie na to miejsce nowy program badawczy oparty na nowych założeniach oraz metodach matematycznych.

Nie wchodząc bliżej na tym miejscu w to zagadnienie, należy stwierdzić, że szybki rozwój zastosowań metod matematycznych w geografii ekonomicznej, nazwany niezbyt szczęśliwie „rewolucją ilościową”¹, stanowi tylko podstawowy element szerszego programu metodologicznego, wyrażającego się w trzech tendencjach badawczych²:

- (1) podejściu „systemowym”,
- (2) zastosowaniu metod matematycznych,
- (3) oraz dążeniu do wyjaśniania i przewidywania.

Zagadnienie stosowania metod matematycznych nie może być rozpatrywane w oderwaniu od pozostałych tendencji, gdyż stanowi podstawę tworzenia się nowego wzorca badawczego, co z kolei pozwala na przeformułowanie szeregu podstawowych problemów i umożliwia rozwiązanie nowych zagadnień, dotychczas nie rozpatrywanych, podnosząc prestiż poznawczy geografii ekonomicznej.

Nowe spojrzenie na założenia i metody geografii pojawiło się ostatnio zarówno w geografii radzieckiej, jak i zachodniej. Szczególnie charakterystyczne są te tendencje dla geografii brytyjskiej, gdzie dość śmiało głosi się nowe założenia badawcze (np. podejście systemowe), jak i wprowadza metody matematyczne. Należy przy tym zauważyć, że wielu geografów formułuje nowe postulaty metodologiczne w stosunku do całej geografii³.

¹ Por. I. Burton. *The Quantitative Revolution and Theoretical Geography*. „The Canadian Geographer” 7, 1963, s. 151—162.

² Z. Chojnicki. *Podstawowe tendencje metodologiczne współczesnej geografii ekonomicznej*. „Przegl. Geogr.” t. XLII, z. 1, 1970, s. 199—214.

³ Por. B. J. L. Berry. *Approaches to Regional Analysis: A Synthesis*. „Annals of the Association of American Geographers”, 54, 1964, s. 2—11; B. L. Gurewicz.

Nasuwa się teraz pytanie, w jakim stopniu tendencje te, a w szczególności rozwój zastosowania metod matematycznych mogą dotyczyć geografii fizycznej.

Zanim spróbuję odpowiedzieć na to pytanie, chciałbym zwrócić uwagę na to, że sytuacja badawcza w geografii ekonomicznej, u progu tzw. „rewolucji ilościowej” była niewątpliwie dość krytyczna, czego wyraz stanowiły liczne dyskusje. Zastosowanie metod matematycznych dla wielu geografów stało się więc postulatem odnowy opartej na zmienionych podstawach. Rezultatem zmian było nie tylko ożywienie samych badań, lecz włączenie się w szeroki nurt zastosowań praktycznych, a przez to zwiększenie wartości społecznej tej dyscypliny. Spowodowało to zmianę proporcji, jakie zachodziły między dobrze rozwiniętą metodologią geografii fizycznej, opartej na wzorcach postępowania badawczego ustalonych na gruncie nauk przyrodniczych typu obserwacyjnego a metodologią tradycyjnej geografii ekonomicznej, wzorującą się na naukach humanistycznych, głównie historii z dodatkiem statystyki opisowej.

Śledząc natomiast sytuację w geografii fizycznej, można stwierdzić brak jakiegokolwiek szerszej dyskusji metodologicznej, jakiegoś krytycznego spojrzenia na przyjęte założenia badawcze i stosowane metody. Wynika to, być może, z jednostronnej koncentracji badań na geomorfologii jako dyscyplinie świetnie rozwiniętej o dużych sukcesach, w aspekcie paleogeograficznym, przy równocześnie mniejszym zainteresowaniu dla całościowego spojrzenia na środowisko geograficzne z punktu widzenia człowieka.

Należy w tym miejscu podkreślić, że wśród niektórych geografów zajmujących się problematyką fizycznogeograficzną występuje pogląd, że różnicę pomiędzy problematyką geografii fizycznej a problematyką nauk o ziemi należy upatrywać właśnie w tym, że geografia fizyczna winna realizować również antropocentryczny i całościowy punkt widzenia⁴. Można chyba zaryzykować twierdzenie, że sukcesy, jakie odnosi się na polu geomorfologii, stanowiącej jeden z filarów nauk o Ziemi, przesłoniły ten punkt widzenia.

Należy tu dodać, że wśród wielu geografów zorientowanych matematycznie spotyka się pogląd o potrzebie wspólnego wysiłku w celu odbudowania jedności geografii w oparciu o metody i zasady matematyczne.

Koncepcje te znalazły również swój wyraz na forum spotkań międzynarodowych m.in. na obradach Komisji Metod Ilościowych MUG w Londynie w sierpniu 1969 r., a następnie w Poznaniu we wrześniu 1970 r., gdzie w szeregu referatów rozważano zagadnienie zastosowania

J. G. Sauszkin. *Matematicheskiy metod w geografii*. „Wiśnik Moskowskiego Uniwersitetu” 1966, 1, s. 3—27; P. Haggett, R. J. Chorley. *Models, Paradigms and the New Geography* (w:) *Models in Geography*. London 1967, s. 19—41; W. M. Gochman, B. L. Gurewicz, J. G. Sauszkin. *Problemy metageografii*. „Woprosy Geografii” 77, 1968, s. 3—13; Z. Chojnicki. *Metody matematyczne w badaniach geograficznych*. „Czasopismo Geograficzne” 40, 1969, 2, s. 175—188 oraz P. R. Gould. *Methodological Developments since the Fifties*. „Progress in Geography” 1, 1969, s. 3—49.

⁴ Pogląd ten sformułowali: R. J. Chorley i R. W. Kates. *Water, Earth and Man*. London 1969, s. 2.

metod matematycznych w geografii w obu jej działach⁵. Być może też, że podobnie jak w geografii ekonomicznej zastosowanie metod matematycznych może zmienić w geografii fizycznej pewne założenia badawcze i wykryć możliwości rozwiązywania nowych problemów.

Nie wchodząc bliżej w zagadnienia merytoryczne i nie przesądzając ważności problemów naukowych geografii fizycznej chciałbym przede wszystkim zwrócić uwagę na te koncepcje i metody, których zastosowanie w badaniach ekonomicznogeograficznych dało już wartościowe wyniki badawcze. Wydaje się też, że tworzą one istotne i wiodące tendencje badawcze całej geografii. Oczywiście, oprócz elementów wspólnych są tu też istotne różnice.

Zasadnicze podobieństwa wynikają z geometrii przestrzeni, gdyż badanie stosunków przestrzennych i wzajemnego oddziaływania każdego z podstawowych układów, tj. środowiska geograficznego i społeczeństwa, stanowi ogniwo łączące geografę. Równocześnie jednak każdy z tych układów różni się pod względem złożoności i stabilności, co wyraża się w odmiennych własnościach statystycznych. W wyniku tego układ społeczno-kulturowy cechuje większa wariantność i szybciej rosnąca złożoność organizacji przestrzennej aniżeli środowisko geograficzne.

2. Postęp w zakresie zastosowań metod matematycznych jest ściśle związany z podejściem „systemowym”. Nie będę tu poruszał szerzej podstaw teoretycznych tej koncepcji, zawartych w tzw. ogólnej teorii systemów L. von Bertalanffy⁶. Zasady tej teorii, operujące takimi pojęciami jak system, środowisko, sprzężenia, organizacja i informacja, odnoszą się do badania sytuacji o dużej liczbie zmiennych i złożonej strukturze wzajemnych oddziaływań⁷. Zasady te powstały głównie w naukach biologicznych, gdzie podstawowe problemy mają charakter wielozmienny i gdzie niewystarczający okazał się klasyczny model poznawczy oparty bądź na badaniu liniowych związków przyczynowych, bądź ten na badaniu nieorganizowanych całości. Dotyczy to też geografii, w której jedną z podstawowych przeszkód w badaniach łańcuchów przyczynowych w warunkach nieeksperymentalnych jest trudność izolacji związku przyczynowego od komplikującego wpływu środowiska, a więc od pewnych elementów zewnętrznych. Oczywiście, ujęcie takie nie jest w geografii czymś nowym, a idee te w pewnym stopniu konkretyzują zasady dialektyki marksistowskiej⁸.

W badaniach ekonomicznogeograficznych pełny obraz tych nowych założeń badawczych pojawia się w pracy P. Haggetta⁹, który przy-

⁵ Referaty wygłoszone na posiedzeniu Komisji Metod Ilościowych Międzynarodowej Unii Geograficznej w Londynie, opublikowane w: „Economic Geography” 46, 1970, 2 (Supplement), *Proceedings International Geographical Union, Commission on Quantitative Methods*.

⁶ L. von Bertalanffy. *An Outline of General Systems Theory*. „British Journal of Philosophy of Science” 1, 1951, s. 134—165 oraz tego autora *General Systems Theory: A Critical Review*. „General Systems” 7, 1962, s. 1—20. Wybór wcześniejszych artykułów na temat ogólnej teorii systemów L. von Bertalanffy’ego, C. G. Hempla, R. E. Bassa oraz H. Jonasa wraz z wprowadzeniem A. Bednarczyka zamieszczony jest w „Przeglądzie Zagranicznej Literatury Geograficznej” 1966, 2.

⁷ Zasadnicze znaczenie dla analizy systemów ma teoria informacji. Patrz: J. Klir, M. Walach. *Cybernetic Modelling*. London 1967 oraz N. Abramson. *Teoria informacji i kodowania*. Warszawa 1969.

⁸ Patrz O. Lange. *Całość i rozwój w świetle cybernetyki*. Warszawa 1962. Por. też J. Kmita. *Uwagi o holizmie marksowskim jako koncepcji metodologicznej* (w:) *Założenia metodologiczne „Kapitału” Marksa*. Warszawa 1970.

⁹ P. Haggett. *Locational Analysis in Human Geography*. London 1965.

mując jako podstawowe takie elementy, jak ruch, sieci, węzły osadnicze, hierarchię osadniczą i powierzchnie, połączył je w jednolity schemat pojęciowy. U podstaw tego schematu, wyprowadzonego z teorii systemów, leży założenie, że regionalna organizacja społeczno-ekonomiczna wymaga dla utrzymania się stałego przepływu ludzi, dóbr, pieniędzy i informacji. Ruch ten interpretuje się jako przepływ energii potrzebnej do utrzymania systemu otwartego i twierdzi się, że system ten utrzymuje raczej swą organizację aniżeli zmierza ku maksimum entropii, czego dowodem są pewne stałe struktury przestrzenne.

Na znaczenie teorii systemów dla geografii fizycznej zwrócił uwagę R. Chorley¹⁰, wysuwając postulat przyjęcia systemu otwartego jako koncepcji organizującej w badaniach geomorfologicznych¹¹. Wartość tych koncepcji polega według R. Chorley'a m.in. na: 1) koncentracji na badaniach relacji między formą a procesem, 2) uznaniu wielozmiennego charakteru zjawisk geomorfologicznych, 3) przyjęcia bardziej liberalnego poglądu na badanie rozwoju form oraz 4) skierowanie uwagi na badanie całościowe krajobrazu¹².

Dalsze próby rozwinięcia podstaw teoretycznych tej problematyki wykazały możliwość przeformułowania i rozwiązania w ujęciu systemowym zagadnień dotyczących teorii rozwoju dorzecza i rozwoju krajobrazu w dużej skali. Kiedy bada się elementy krajobrazu w dużej skali, niemożliwe jest szczegółowe badanie każdego składnika systemu, gdyż poszczególne zjawiska są tak złożone, że praktycznie nie jest to możliwe. Postęp w tych warunkach jest tylko możliwy przez rozważenie przeciętnych własności systemu przy pomocy koncepcji probabilistycznych¹³. W szczególności tam, gdzie czynniki zewnętrzne i wewnętrzne w sposób przybliżony określają stan systemu i środowiska i powiązane są relacjami statystycznymi, wprowadzenie pojęć i miar systemowych opartych o zasady termodynamiki pozwala na budowę modeli służących przewidywaniu. Przykładem może być tu zastosowanie pojęcia entropii i stanu stacjonarnego do badania systemów fluwialnych przez L. B. Leopolda, M. G. Wolmana i J. P. Millera oraz miar z zakresu teorii informacji do badania struktury kompleksów przyrodniczych przez K. I. Gerenczuka i A. G. Topczewia¹⁴.

Nie warto w sposób skrótowy i wyrywkowy przedstawiać szeregu twierdzeń i hipotez, jakie przeformulowano lub sformulowano pod wpływem teorii systemów w geografii. Trzeba natomiast zwrócić uwa-

¹⁰ R. J. Chorley. *Geomorphology and General Systems Theory*. Geological Survey Professional Paper 500-B. 1962. Por. również A. D. Howard. *Geomorphological Systems*. „American Journal of Science” 263, 1965, s. 302—312.

¹¹ L. von Bertalanffy (*An Outline...*, op. cit.) stwierdza, że system otwarty charakteryzuje: (1) stały dopływ i odpływ energii i materii dla utrzymania i przemian systemu, (2) możliwość osiągnięcia stanu stacjonarności w którym dopływ i odpływ energii i materii jest zrównoważony przez przystosowanie formy lub geometrii systemu, (3) samoregulacja przez homeostazę, (4) utrzymanie optymalnych wielkości w czasie, (5) możliwość utrzymania lub wzrostu organizacji (negentropii) w czasie oraz (6) zachowanie ekwifinalne, tj. osiąganie stanów stacjonarnych niezależnie od warunków początkowych.

¹² R. J. Chorley. *Geomorphology...*, op. cit.

¹³ Por. A. E. Scheidegger. *Theoretical Geomorphology*. Second, Revised Edition, London 1970, s. 243.

¹⁴ L. B. Leopold, M. G. Wolman, J. P. Miller. *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco 1964 oraz K. I. Gerenczuk, A. G. Topczew. Informacyjny analiz struktury przyrodnych kompleksów. „Izvestia Akademii Nauk SSSR”, Seria Geograficzeskaja 6, 1970, s. 132—140.

gę na dalsze możliwości, jakie przedstawia podejście „systemowe” do badania zależności „środowisko geograficzne — społeczeństwo” jako złożonego metasystemu. Problem ten nie tylko realizuje zasadę jedności geografii, lecz stanowi równocześnie podstawowe zagadnienie współczesnej cywilizacji.

Analiza badawcza tego systemu może być oparta na różnych założeniach i metodach, jednak dopiero „systemowe” ujęcie pozwala na zrozumienie podstawowych zależności, jakie są związane ze zmianami wywołanymi przez działalność gospodarczą człowieka w ekosystemach środowiska naturalnego, a następnie poprzez poznanie mechanizmu sprzężeń ich powrotnego oddziaływania na system społeczny i uchwycenie tych zależności, które obejmują zakłócenia samoregulacji środowiska. O ile bowiem w systemie społecznym występują w wielkiej skali procesy np. urbanizacyjne o dodatnim sprzężeniu zwrotnym, prowadzące do wzrostu i przekształcenia struktury przestrzenno-ekonomicznej, to w odniesieniu do ekosystemu środowiska, ich oddziaływanie ma charakter o wiele bardziej złożony¹⁵.

Częstkowe rozpatrywanie zależności pozwalało jedynie na diagnozy, natomiast zbyt słabo posuwało naprzód sprawę mechanizmu determinującego równowagę ekologiczną. Dzieje się tak, gdyż jak zwraca na to uwagę A. S. Kostrowicki¹⁶, w obu tych systemach wzrost organizacji (negentropii) następuje kosztem wniesienia dezorganizacji do systemów niżej zorganizowanych. Ujęcie takie zaczyna sobie torować drogę i zarysowują się możliwości opracowania podstaw teoretycznych i modeli obejmujących w różnorodnych aspektach podstawowe relacje i zależności między środowiskiem geograficznym i społeczeństwem jako systemem¹⁷.

Praktyczna realizacja tych pojęć i dyrektyw w odniesieniu do geografii wymaga prawidłowej ich interpretacji w języku geografii, a następnie empirycznego testowania hipotez i wyraża się przede wszystkim w badaniu środowiska geograficznego i społeczeństwa w postaci różnych modeli matematycznych systemów otwartych.

3. Z tendencją systemową ściśle związane jest zagadnienie zastosowania matematyki. Należy tu przypomnieć, że obok roli obliczeniowej pełni ona bardzo istotną rolę języka nauki, w którym wyrażone są modele różnych fragmentów rzeczywistości nie tylko w wyniku pomiarów ilościowych, lecz także porządkowania kolejnościowego, a nawet prostej klasyfikacji dwudzielnej (skala nominalna). Obok tradycyjnej już roli geometrii jako języka form przestrzennych geografii, znacznie zresztą rozwiniętej przez topologię algebraiczną, istotną rolę pełni tu probabilistyka jako teoria zdarzeń losowych, będąca podstawą opisu statystycznego procesów zachodzących w systemach. Bogactwo różnych zastosowań jest olbrzymie. Sądę jednak, że do tych metod lub działów matematyki stosowanej, które mogą przynieść na polu geografii najszybszy postęp badawczy, realizując założenia systemowe, należą: pro-

¹⁵ Por. D. R. Stoddart. *Organism and Ecosystems as Geographical Models* (w:) R. J. Chorley, P. Haggett (eds.) *Models in Geography*. London 1967, s. 511—548.

¹⁶ A. S. Kostrowicki. Z problematyki badawczej systemu człowiek — środowisko. „Przegl. Geogr.” 42, 1970, 1, s. 3—18.

¹⁷ Por. Z. Chojnicki. Model wzajemnych zależności między systemem społeczno-ekonomicznym a środowiskiem geograficznym. „Poznańskie Roczniki Ekonomiczne”, 1971 (w druku).

babilistyczna metoda pobierania próby, analiza wielozmienna, topologia algebraiczna oraz teoria procesów stochastycznych.

I. Probabilistyczna metoda pobierania próby stanowi podstawowe narzędzie obserwacji niezupełnej. Przeprowadzenie takiej obserwacji jest konieczne ze względu na nieograniczoną wielkość zbiorowości bądź ze względów ekonomii badania. W przeciwieństwie do celowego sposobu wyboru próby metoda probabilistyczna pozwala uniknąć jednostronności wyboru i zapewnić obserwacji reprezentatywny charakter. Metoda ta powstała na gruncie nauk eksperymentalnych i wymaga w zastosowaniu do badań geograficznych adaptacji, polegającej na opracowaniu właściwych schematów losowego poboru, uwzględniających własności rozkładu przestrzennego zjawisk geograficznych. Podstawowe trudności adaptacji są związane z wieloraką autoregresją przestrzenną szeregu zjawisk geograficznych oraz zależnością reprezentatywności próby od wielkości i kształtu podstawowej jednostki przestrzennej badania. Jak stwierdza J. H. Holmes¹⁸, seryjne pobieranie losowe próby może być efektywnie zastosowane w badaniach geograficznych tylko wtedy, gdy błędy współczynników autokorelacji najbliższych pozycji rozpatrywanych zjawisk mogą być określane na wysokim poziomie ufności. Szczególną uwagę należy tu zwrócić na tę sytuację, gdy każdy punkt pobierania próby jest traktowany jako oddzielny element badawczy i wykorzystany do reprezentowania przyległych punktów w związku z zastosowaniem techniki izarytmicznej. Przypadek taki może być uzasadniony tylko wtedy, gdy istnieje wysoki stopień przestrzennej autokorelacji zjawiska, przewidywany w pewnych granicach błędu dla wszystkich możliwych punktów poboru próby. Zachodzi to w przypadku pewnych rozkładów wykazujących brak wyraźnych przestrzennych nieciągłości lub ostrych zmienności. Rozkłady takie obejmują formy terenu, elementy klimatyczne i pewne inne własności fizyczne powierzchni Ziemi.

Realizacja losowego pobierania próby jest konieczna nie tylko z punktu widzenia ekonomii wysiłku, lecz przede wszystkim jest podstawą dla dalszych faz postępowania badawczego, tj. oceny przestrzennych parametrów procesów stochastycznych, przestrzennej kowariancji oraz przestrzennej zmienności dla celów filtrowania przestrzennego. Należy też zauważyć, że w zasadzie szacowanie parametrów modeli opisowych metodą regresji wymaga realizacji założenia losowego poboru próby. Dotychczasowe doświadczenia badawcze oparte na schematach przestrzennych opracowanych na gruncie ekologii roślin¹⁹, geologii²⁰, a przede wszystkim geografii ekonomicznej²¹ pozwalają rokować szero-

¹⁸ J. H. Holmes. *The Theory of Plan Sampling and its Applications in Geographic Research*. „Economic Geography” 46, 1970, 2 (Supplement). Proceedings International Geographical Union, Commission on Quantitative Methods, s. 391. Por. również: B. J. L. Berry, A. M. Baker. *Geographical Sampling* (w:) B. J. L. Berry, D. F. Marble (eds.). *Spatial Analysis: a Reader in Statistical Geography*. Englewood Cliffs 1968, s. 91—100.

¹⁹ P. Greig-Smith. *Quantitative Plant Ecology*. London 1957.

²⁰ Omówienie tego zagadnienia oraz obszerną literaturę podają: W. C. Krumbein, F. A. Graybill. *An Introduction to Statistical Models in Geology*. New York 1965.

²¹ Por. E. Wood. *Use of Stratified Random Samples in a Land Use Study*. „Annals of the Association of American Geographers” 45, 1955, s. 355—367; B. J. Berry. *Sampling, Coding and Storing Flood Plain Data*. Agriculture Handbook 1962, 237; P. Haggett. *Regional and Local Components in Land Use*

kie możliwości ich zastosowania w badaniach fizycznogeograficznych, a w szczególności w badaniach kompleksowych środowiska geograficznego. Wymaga to jednak badań doświadczalnych, które pozwolą na znalezienie schematów najefektywniejszych.

II. Analiza wielozmienna obejmuje szeroki zespół metod i technik statystyki matematycznej, takich jak: korelacja i regresja wielokrotna, analiza wielokrotnej wariancji i kowariancji, analiza czynnikowa, analiza grupowania, analiza dyskryminacyjna, analiza komponentów i korelacja kanoniczna²². Metody te łączą trzy własności: 1) opierają się na dużej liczbie zmiennych dla pewnej liczby jednostek, 2) każda jednostka może być rozpatrywana w wielowymiarowej przestrzeni cech oraz 3) zmienne wykazują pewien stopień asocjacji między sobą, przy czym nie można izolować jednej zmiennej od innych, gdyż tworzy kombinację jako system. Szczegółową charakterystykę własności statystycznych różnych technik analizy wielozmiennej przedstawia tab. 1 opracowana przez D. Thompsona²³.

Tabela 1

Własności technik statystycznych analizy wielozmiennej

Techniki	Własności						
	A	B	C	D	E	F	G
Korelacja wielokrotna	1	1	0	1		0	1
Regresja wielokrotna	0	0	0	1		0	0
Wielokrotna analiza wariancji	0		0	0	0	0	0
Wielokrotna analiza kowariancji	0	01	0	0		0	0
Analiza czynnikowa	1	1	1	1	*	1	01
Analiza komponentów	1	1	1	1	*	1	01
Analiza grupowania	1	1	1	1		1	1
Analiza kanoniczna	01	1	1	1		1	01
Analiza dyskryminacyjna				0	0	0	0
T ² , D ² i inne miary odległości				0	01	0	0

Objaśnienia: 0 lub 1 oznacza, że technika charakteryzuje się jedną z dwóch przeciwstawnych własności poszczególnych kategorii.

A₀ technika dotyczy zależności

A₁ technika dotyczy współzależności

B₀ dotyczy istoty wzajemnych związków

B₁ dotyczy siły wzajemnych związków

C₀ dotyczy zmiennych jako oddzielnych jednostek

C₁ dotyczy układów zmiennych

D₀ ujmuje różnice gruntowe

D₁ zajmuje się wzajemnymi związkami w układzie zmiennych

E₀ dotyczy testowania istniejących klas

E₁ dotyczy tworzenia klas

F₀ zwykle dotyczy małego zbioru zmiennych (2—20)

F₁ zwykle dotyczy dużego zbioru zmiennych (20—100)

G₀ zwykle stosowane dla testowania hipotez

G₁ zwykle stosowane dla formułowania hipotez

* wartości czynnikowe i wartości komponentu mogą być stosowane w klasyfikacji, ale techniki czynnikowe nie są przeznaczone dla tych celów.

Sampling: A Case Study from the Brazilian Triangulo. „Erdkunde” 17, 1963, s. 108—115 oraz H. B. Rodgers. *Random Sampling Techniques in Social Geography*. „Geographia Polonica” 18, 1970, s. 139—156.

²² M. G. Kendall. *A Course in Multivariate analysis*. London 1957, s. 6.

²³ D. Thompson. *Some Comments on the Relevance of Multivariate Analysis to Geography: A Methodological Review*. „Geographia Polonica” 18, 1970, s. 157—175.

Wobec dużej różnorodności istniejących i możliwych zastosowań analizy wielozmiennej w geografii trudno jest choćby w skrócie przedstawić wszystkie zasadnicze rozwiązania, ograniczając się jedynie do ujęć pozwalających rozstrzygnąć nowe problemy.

W odniesieniu do metod regresji wielokrotnej należy zwrócić uwagę na zastosowanie ich do analizy map reszt z regresji oraz analizy trendów powierzchni, pomijając natomiast dość szeroko znane na gruncie geografii metody szacowania parametrów modeli opisowych przy użyciu regresji liniowej²⁴.

Metoda map reszt z regresji opracowana przez E. W. Thomasa²⁵ pozwala na podstawie obliczenia różnic między wielkościami szacowanymi z równania regresji a wielkościami rzeczywistymi opisującymi zmienność przestrzenną zjawiska sporządzić mapę wielkości resztowych. Mapa taka z kolei może stanowić punkt wyjścia dla oszacowania nowego równania regresji, a więc wprowadzenia nowej zmiennej wyjaśniającej. Takie postępowanie sekwencyjne pozwala na dokonanie rewizji pierwotnej hipotezy lub jej uzupełnienie, tak aby przedstawić łączne oddziaływanie zmiennych w układzie przestrzennym. Analiza ta stanowi przypadek badania przestrzennej autokorelacji służącej do testowania zgodności różnego typu zmienności rozkładów przestrzennych²⁶.

Analiza trendów powierzchni stanowi procedurę, przy pomocy której obserwacje przedstawione na mapie izarytmicznej dzieli się na dwie lub więcej części: jedną związaną ze systematycznymi zmianami w dużej skali oraz inne obejmujące zmiany niesystematyczne w małej skali, o lokalnym charakterze, nałożone na pierwsze. Trend taki ma postać wielomianu złożonego co najmniej ze składnika pierwszego stopnia (liniowego) i drugiego stopnia (kwadratowego). Większość metod tego typu polega na dopasowaniu powierzchni wielomianów do kartowanych obserwacji przy zastosowaniu modeli liniowych²⁷. Ten typ analizy wprowadzony przez W. C. Krumbeina²⁸ do badania składników regionalnych i lokalnych facji geologicznych został m.in. następnie zastosowany przez R. Chorleya²⁹ do filtrowania głównych regionalnych składników rozkładu przestrzennego facji glebowych. Liczne dalsze prace oparte na zastosowaniu analizy trendów powierzchni wykazują przydatność tej analizy do testowania modeli pojęciowych, predykcji oraz typu zmienności przestrzennej.

Dalsze rozszerzenie analizy trendów powierzchni nastąpiło poprzez zastosowanie szeregów Fouriera do badania zmian cyklicznych. Po-

²⁴ Por. L. J. King. *Statistical Analysis in Geography*. Englewood Cliffs 1969, rozdz. 4.3, 6.1–6.3.

²⁵ E. N. Thomas. *Maps of Residual from Regression* (w:) B. J. L. Berry, D. F. Marble (eds.). *Spatial Analysis...*, op. cit. s. 326–352.

²⁶ A. D. Cliff, K. Ord. *Spatial Autocorrelation: A Review of Existing and New Measures with Application*. „Economic Geography” 46, 1970, 2, s. 269–292.

²⁷ Szczegółowy opis analizy trendów powierzchni w odniesieniu do badań geologicznych zawarty jest w: W. C. Krumbein, F. A. Graybill. *An Introduction...*, op. cit. s. 319–357, a w odniesieniu do badań geograficznych w: R. J. Chorley, P. Haggett. *Trend Surface Mapping in Geographical Research*. „Transactions and Papers of the Institute of British Geographers”, 37, 1965, s. 47–67.

²⁸ W. C. Krumbein. *Regional and Local Components in Facies Map*. „Bulletin of American Association of Petroleum Geologists” 40, 1956, s. 2163–2194.

²⁹ R. J. Chorley. *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, 1964, s. 314–321.

dobnie jak w analizie wielomianów oszacowane współczynniki funkcji periodycznej pozwalają wydzielić zmienność cykliczną w dużej i małej skali³⁰. Z analizą Fouriera jest związana analiza spektralna, której celem jest oszacowanie częstości i amplitud poszczególnych cykli, które składają się na zjawisko periodyczności lub oscylacji. Zapoczątkowana przez L. H. Horna i R. Brysona³¹ w badaniach klimatologicznych, a przez R. Ajo³² w geografii ludności, przyjęta została przez L. B. Leopolda, M. G. Wolmana i J. P. Millera³³ w badaniach geomorfologicznych.

Szczególną rolę w badaniach kompleksowych środowiska geograficznego oraz jego typologii przestrzennej i regionalizacji odgrywa analiza czynnikowa wraz z analizą grupowania i dyskryminacyjną.

Analiza czynnikowa służy do wyodrębnienia pewnych nieobserwowalnych wymiarów lub składników zwanych czynnikami, które leżą u podstaw korelacji w danych zbiorach zaobserwowanych zmiennych. Pozwala to na zastąpienie wyjściowego zbioru cech, które charakteryzują opisane obiekty lub zjawiska jakimś mniejszym zbiorem hipotetycznych zmiennych, tj. czynników. Czynniki te zawierają podstawową informację zawartą w pierwotnych zmiennych. Model czynnikowy jest modelem pomiaru ukrytej struktury. Czynniki należą do kategorii zmiennych ukrytych, tj. bezpośrednio nieobserwowalnych, których istnienie jest niezbędne do wyjaśnienia zależności między obserwowalnymi zjawiskami³⁴.

Analiza czynnikowa jako metoda badania w geografii układów wielozmiennych, zapoczątkowana przez M. G. Kendalla³⁵ i B. J. L. Berry'ego³⁶, może się wykazać szerokim zakresem zastosowania. Poza licznymi przykładami z zakresu geografii ekonomicznej istnieją także próby zastosowań w badaniach geologicznych³⁷ oraz geomorfologicznych³⁸.

Interesującym przykładem zastosowania analizy czynnikowej przez

³⁰ Por. J. W. Harbaugh, F. W. Preston. *Fourier Series Analysis in Geology* (w:) B. J. L. Berry, D. F. Marble (eds.). *Spatial Analysis...*, op. cit.

³¹ L. H. Horn, R. Bryson. *Harmonic Analysis of the Annual March of Precipitation, over the United States*. „Annals of the Association of American Geographers” 50, 1960, 2, s. 157–171.

³² R. Ajo. *An Approach to Demographical System Analysis*. „Economic Geography” 38, 1962, 4, s. 359–371. Por. również: W. Tobler. *Spectral Analysis of Spatial Series*. Conference on Urban Planning, Information Systems and Programs. Berkeley 1966; L. Curry. *Central Places in the Random Spatial Economy*. „Journal of Regional Science” 7, 1967, 2 (Supplement), s. 217–238.

³³ L. B. Leopold, M. G. Wolman, J. P. Miller. *Fluvial Processes...*, op. cit.

³⁴ Podstawy i problematyka analizy czynnikowej w badaniach geograficznych zawarta jest w pracach T. Czyż: *The Application of Multifactor Analysis in Economic Regionalization*. „Geographia Polonica” 15, 1968, s. 115–135; *Zastosowanie metody czynnikowej w badaniach przestrzenno-ekonomicznych*. „Przegl. Geogr.” t. XLII, 1970, 3, s. 467–486.

³⁵ M. G. Kendall. *The Geographical Distribution of Crop Productivity in England*. „Journal of Royal Statistical Society” A 102, 1939, s. 21–62.

³⁶ B. J. L. Berry. *A Method for Deriving Multi-Factor Uniform Regions*. „Przegl. Geogr.” t. XXXIII, 1961, s. 263–282.

³⁷ Literatura zastosowań w geologii podana jest w: R. L. Miller, J. S. Kahn. *Statistical Analysis in the Geological Science*. New York 1962 oraz W. C. Krumbein, P. A. Graybill. *An Introduction...*, op. cit.

³⁸ P. M. Mather, J. C. Doornkamp. *Multivariate Analysis in Geography with Particular Reference to Drainage-Basin Morphometry*. „Transactions. The Institute of British Geographers” 51, 1970, s. 163–187.

L. J. Kinga³⁹ w badaniach kompleksowych środowiska geograficznego jest określenie różnic i podobieństw między regionami fizycznogeograficznymi Północnej Anglii.

Duże znaczenie analizy czynnikowej w badaniach kompleksowych środowiska geograficznego oraz jego regionalizacji wynika z faktu, że metoda ta służy rozwiązaniu kilku zasadniczych problemów poznawczych⁴⁰.

(1) Redukcji masy informacji zawartej w wielkich zbiorach danych statystycznych, co pozwala na zastąpienie zaobserwowanego zbioru cech mniejszym zbiorem czynników. Stanowi to zwykle pierwszy etap procedury typologii przestrzennej i regionalizacji; dalszy etap to analiza grupowania oparta przede wszystkim na współczynnikach odległości i algorytmach grupowania przestrzennego.

(2) Klasyfikacji przy użyciu techniki Q jako metody grupowania jednostek obserwacji w typy według największego podobieństwa cech.

(3) Rozplątaniu kompleksu zjawisk przez wykrycie różnych odrębnych źródeł zmienności oraz ich redukcji do prostych czynników (przyczyn głównych).

Metody grupowania obejmują numeryczne techniki klasyfikacji obiektów geograficznych w podzbiory oparte na koncepcji odległości w ujęciu geometrii analitycznej między punktami w n -wymiarowej przestrzeni euklidesowej własności⁴¹. Metody te dzielą się na dwie zasadnicze grupy. Pierwsza grupa dotyczy estymacji wielowymiarowego podobieństwa jednostek przy pomocy współczynników odległości, korelacji i asocjacji. Drugi zespół metod obejmuje procedury porządkowania liniowego lub hierarchicznego w ujęciu przestrzennym. Procedury te ze względu na charakter grupowania lub podziału jednostek (jak zasada centroidu, minimalna lub maksymalna wartość odległości) ulegają dalszemu zróżnicowaniu. W dziedzinie tej istnieje bogactwo metod. Podstawowa trudność polega jednak na rozstrzygnięciu, która z tych metod zapewnia otrzymanie „najlepszego” grupowania w kategoriach minimalizacji straty informacji i liczby klas⁴². Obszerna literatura w tym zakresie zawarta jest w pracach dotyczących zastosowania analizy czynnikowej oraz regionalizacji, głównie w zakresie geografii ekonomicznej⁴³. Wydaje się, że te poważne osiągnięcia mogą być wykorzystane

³⁹ C. A. M. King. *An Introduction to Factor Analysis with a Geomorphological Example from Northern England*. „Bulletin Quantitative Data Geography”, University of Nottingham 6, 1966.

⁴⁰ T. Czyż. *Zastosowanie metody czynnikowej*, op. cit.

⁴¹ Metody te wyczerpująco przedstawia R. R. Sokal, P. H. A. Sneath. *Principles of Numerical Taxonomy*. San Francisco 1963. Por. również: Z. Wysocki. *Zagadnienie taksonomii geograficznej*. „Przegl. Geogr.” t. XXXVII, 1965, 2, s. 313—339; R. Domański. *Procedura typologiczna w badaniach ekonomiczno-geograficznych*. „Przegl. Geogr.” t. XXXVI, 1964, 4, s. 627—655; Z. Chojnicki. *Podstawy teoretyczne zastosowania metod matematycznych w badaniach przestrzennych rolnictwa*. Biuletyn KPZK PAN 61, Warszawa, s. 12—29.

⁴² Por. R. J. Johnston. *Choice in Classification, the Subjectivity of Objective Methods*. „Annals of the Association of American Geographers” 58, 1968, 3, s. 575—589.

⁴³ Por.: *Economic Regionalization and Numerical Methods*. „Geographia Polonica” 15, 1968; L. J. King. *Statistical Analysis...*, op. cit.; T. Czyż. *Zastosowanie metody analizy czynnikowej do badania ekonomicznej struktury regionalnej Polski*. Instytut Geografii PAN, Prace Geograficzne (w druku); Z. Wysocki. *Próba typologii i systematyki geograficznej struktur gospodarstwa narodowego na przykładzie Polski*. „Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego”, B, 126, Wrocław 1966.

w kompleksowej typologii przestrzennej i regionalizacji środowiska geograficznego. Stwarza to nie tylko nowe możliwości poznawcze, ale i bazę integracyjną i porównawczą dla badania problemu człowiek — środowisko geograficzne.

Istotne znaczenie w zakresie testowania hipotez w typologii przestrzennej i regionalizacji ma analiza dyskryminacyjna. Służy ona określeniu stopnia istotności hipotez klasyfikacji przestrzennej oraz określeniu źródeł głównych różnic między grupami⁴⁴.

III. Zastosowanie modeli topologii algebraicznej, a zwłaszcza teorii grafów⁴⁵, stanowi konsekwentną realizację postulatów analizy systemowej oraz kontynuacji tradycji geografii w zakresie analizy morfometrycznej. Opracowana przez P. Haggetta i R. J. Chorley'a⁴⁶ synteza dotychczasowych osiągnięć teorii grafów zarówno w geografii ekonomicznej, jak i fizycznej wykazuje duże bogactwo tych zastosowań i świadczy o znacznych możliwościach rozwoju badań układów geograficznych w interpretacji topologicznej. Z licznych przykładów tych zastosowań w geografii ekonomicznej należy tu wymienić pracę K. J. Kanský'ego⁴⁷ dotyczącą topologicznej analizy struktury sieci transportowej, a w geomorfologii prace morfometryczne A. E. Scheideggera⁴⁸ i R. L. Shreve'a⁴⁹. Pojęcia topologiczne takie jak sieci gałęziowe, obwodowe i bariery oraz geometryczne i fizyczne pozwalają nie tylko sprowadzić różne zjawiska geograficzne do tej samej klasy⁵⁰ (np. system rzeczny i układ dróg), lecz również przekształcać jedne układy w inne, jak np. liniowe w powierzchniowe.

Oprócz roli integracyjnej koncepcje topologiczne mają duże znaczenie dla dalszego rozwoju różnych pojęć przestrzeni w geografii (przestrzeń geodezyjna, geograficzna, społeczno-ekonomiczna) i rozwiązywania zagadnienia ich transformacji⁵¹. Rozwiązanie tego zagadnienia może rzucić nowe światło na strukturalne zależności różnych układów w badaniu systemu człowiek — środowisko geograficzne.

IV. Budowa modeli stochastycznych w geografii stanowi istotny czynnik postępu w dziedzinie badania złożonych układów czasoprzestrzennych. Jedną z podstawowych przeszkód stosowania zaawansowanych metod w zakresie poznania wielozmiennych układów geograficz-

⁴⁴ Por. L. J. King. *Discriminatory Analysis of Urban Growth Patterns in Ontario and Quebec 1951—1960*. „Annals of the Association of American Geographers” 57, 1967, s. 566—578 oraz tego autora *Discriminant Analysis: A Review of Recent Theoretical Contributions and Applications*. „Economic Geography” 46, 1970, 2 (Supplement), s. 367—378.

⁴⁵ Podstawy teorii grafów zawiera praca C. Berge. *Théorie des graphes et ses applications*. Paris 1958, a elementy teorii grafów w: O. Ore. *Wstęp do teorii grafów*. Warszawa 1966 oraz W. Pulczyn. *Elementy teorii grafów*. Warszawa 1963.

⁴⁶ P. Haggett, R. J. Chorley. *Network Analysis in Geography*. London 1969.

⁴⁷ K. J. Kanský. *Structure of Transport Networks: Relationships between Network Geometry and Regional Characteristics*. University of Chicago. Department of Geography, Research Paper 84.

⁴⁸ A. E. Scheidegger. *On the Topology of River Nets*. „Water Resources Research” 3, 1967, s. 103—106.

⁴⁹ R. L. Shreve. *Infinite Topologically Random Channel Networks*. „Journal of Geology” 75, 1967, s. 178—186.

⁵⁰ M. J. Woldenberg, B. J. L. Berry. *Rivers and Central Places: Analogous Systems?* „Journal of Regional Science” 7, 1967, 2, s. 129—139.

⁵¹ K. Dziewoński. *Zagadnienie integracji analizy kartograficznej ze statystyczną w badaniach geograficznych*. „Przegl. Geogr.” t. XXXVII, 1965, s. 585—597.

nych, szczególnie w geomorfologii, było — jak się wydaje — nadmierne przywiązanie do koncepcji deterministycznych, które w warunkach skomplikowanej złożoności środowiska geograficznego musiały stanowić zbyt odległe od rzeczywistości idealizacje⁵².

Modele stochastyczne są bardziej elastyczne niż modele deterministyczne i znacznie bardziej realistyczne. Odnosi się to w geografii przede wszystkim do badania ewolucji układów przestrzennych⁵³. Deterministyczne ujęcie zmian w czasie i przestrzeni w obrębie tego samego modelu nasuwa zasadnicze trudności związane z niemożliwością rozwikłania wzajemnych związków przyczynowo-skutkowych. Trudności te w pewnym stopniu rozwiązuje zastosowanie modeli stochastycznych, których budowa opiera się na teorii procesów stochastycznych. Dzieje się tak, gdyż proces stochastyczny nie przebiega według pewnych niezmiennych praw, lecz jest zależny częściowo od czynników losowych⁵⁴. I tak np. próby L. B. Leopolda i W. B. Langbeina wykazały, że przyjęcie składnika losowego w modelu pozwoliło lepiej uchwycić proces transportu w rozwoju podłużnego profilu rzeki⁵⁵.

Na szczególną uwagę w badaniach geograficznych zasługują dwa typy modeli procesów stochastycznych: procesy Markowa, stanowiące modele dla opisu pewnych typów zmian w czasie, które pojawiają się w pewnej sekwencji następujących po sobie zbiorów stanów oraz modele symulacyjne, stanowiące imitację eksperymentu przez zastąpienie go zbiorem liczb losowych o pewnym określonym rozkładzie prawdopodobieństwa (technika Monte Carlo).

W modelu typu procesu Markowa zdarzenie jest zależne częściowo lub całkowicie od wcześniejszego stanu tego samego zjawiska, podczas gdy w modelu Monte Carlo nie jest zależne.

Modele procesów Markowa znalazły uznanie w badaniach geograficzno-ekonomicznych, gdyż pozwalają opisać ewolucję układów przestrzennych, zapełniając lukę między geografiami historyczną a postulatem badań dynamicznych⁵⁶ oraz w badaniach geomorfologicznych, gdzie według W. C. Krumbeina i F. A. Graybilla⁵⁷ pozwalają realizować postulaty dynamicznego i systemowego ujmowania procesów w ujęciu przestrzennym.

Modele symulacyjne dały nowe, interesujące rezultaty w geografii ekonomicznej, gdzie na ich podstawie T. Hägerstrand⁵⁸ sformuło-

⁵² Próby zastosowań niektórych modeli deterministycznych w geomorfologii przedstawia M. Dorywalski. *Matematyczno-statystyczne metody w geomorfologii*. „Przegl. Geogr.” t. XXV, 1953, 2, s. 61—74.

⁵³ Por. D. Harvey. *Models of the Evaluation of the Spatial Patterns in Human Geography*. (w:) R. J. Chorley, P. Haggett. *Models...*, op. cit., s. 549—608. Praca ta zawiera również obszerną literaturę dotyczącą modeli stochastycznych w badaniach geograficznych.

⁵⁴ Por. M. Rosenblatt. *Procesy stochastyczne*. Warszawa 1967.

⁵⁵ L. B. Leopold, W. B. Langbein. *The Concept of Entropy in Landscape Evolution*. US Geological Survey Professional Paper 500 A. 1962.

⁵⁶ Por. Z. Chojnicki. *Podstawowe tendencje...*, op. cit.

⁵⁷ Por. W. C. Krumbein, F. A. Graybill. *An Introduction...*, op. cit. s. 375; oraz L. B. Leopold, M. G. Wolman, J. P. Miller. *Fluvial Processes...*, op. cit.

⁵⁸ T. Hägerstrand. *Innovationsförloppet ur Korologisk Synpunkt*. Lund: Gleerup 1953. Translated by A. Pred, as *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. University of Chicago Press 1968. Por. również L. A. Brown, E. G. Moore. *Diffusion Research in Geography: A Perspective* (w:) „Progress in Geography” 1, 1969, s. 151—157, którzy prezentują obszerną literaturę.

wał podstawy dyfuzji przestrzennej, a więc rozprzestrzeniania się form kulturowych. Należy podkreślić, że badania te stanowią jeden z najważniejszych wkładów geografii ekonomicznej do współczesnej nauki. W geografii fizycznej natomiast modele symulacyjne pozostają ciągle w fazie badań przykładowych, chociaż budzą one pewne nadzieje związane z tym, że pozwalają one zastąpić eksperymenty. Przykładem mogą tu być próby zastosowania tej metody do wyjaśniania ewolucji krajobrazu przedstawione przez A. E. Scheideggera⁵⁹. Możliwości, jakie zarysowują się w tym zakresie, przez analogię do niektórych badań geograficzno-ekonomicznych otwierają nowe perspektywy w odniesieniu do symulacji ewolucji środowiska geograficznego, szczególnie w warunkach wpływu czynników antropogenicznych.

Należy także stwierdzić, że w badaniach geograficznych zostały opracowane lub rozwinięte specyficzne dla badań przestrzennych metody matematyczne, takie jak metody najbliższego sąsiada opracowane przez M. E. Dacey'a⁶⁰, metody pomiaru kształtu, potencjału i inne. Stanowią one wkład geografii do metodologii nauk obserwacyjnych w ujęciu przestrzennym (nawet takich jak astronomia) i przyczyniły się do podniesienia znaczenia geografii tradycyjnie opartej na metodzie analizy kartograficznej.

Dalszy rozwój tych metod wykazuje już nowe pole zainteresowań związanych m.in. z pojęciem różnych typów przestrzeni geograficznej oraz zastosowaniem geometrii nieeuklidesowych.

Szybki postęp w zakresie metod matematycznych stanowi istotny czynnik przemiany geografii z nauki genetycznej w wyjaśniającą i prognostyczną⁶¹. Tendencje te są udziałem całej współczesnej nauki i geografia nie może ich ignorować. Stają się one równocześnie czynnikiem integrującym i wysuwającym na pierwszy plan badania obustronnych zależności „człowiek — środowisko geograficzne”.

ЗБЫШКО ХОЙНИЦКИ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ

Автор представляет анализ исследовательских возможностей физической географии в связи с возникновением новых методологических тенденций в географии, опирающихся на применении математики. Успехи в экономической географии, достигнутые благодаря математическим методам, ведут к заключению, что применение этих методов может стать основой изменения имеющихся в физической географии образцов.

В последние годы, методологические изменения в географии вызвали возникновение ряда вопросов территориального, структурного и динамического характера. На базе географических традиций обращается особое внимание на вве-

⁵⁹ A. E. Scheidegger. *Theoretical...*, op. cit., s. 269.

⁶⁰ M. F. Dacey. *A Note on the Derivation of Nearest Neighbour Distances*. „Journal of Regional Science” 2, 1960, s. 81—87; Z. Chojnicki. *Identyfikacja rozkładu losowego punktów na podstawie relacji do najbliższego sąsiada*. Sprawozdania PTPN za II półr. 1968, 2, Poznań 1968, s. 329—331.

⁶¹ Z. Chojnicki. *Prediction in Economic Geography*. „Economic Geography” 46, 1970, 2 (Supplement), s. 213—222; T. Bartkowski. *Prognozowanie zmian w środowisku geograficznym — nowy etap rozwoju geografii*. „Przegl. Geogr. t. XLII, 1970, 4, s. 611—629.

дение в географию основ общей теории систем. Это позволяет применять ряд математических моделей из других дисциплин. К наиболее обещающим методам и моделям принадлежат: выборочный метод сбора проб в территориальном аспекте, стохастические и симуляционные модели, факторный анализ и спектральный метод. Применение этих методов является предпосылкой к тому, чтобы физическая география вместо генетической стала прогностической дисциплиной.

Пер. Б. Миховского.

ZBYSZKO CHOJNICKI

MATHEMATICAL METHODS IN PHYSICAL GEOGRAPHY

The author presents an analysis of the possibilities in the field of physical geography connected with the emergence of new trends of methodological changes in geography based on the application of mathematics. The achievements gained so far in economic geography by mathematical methods imply that they are liable to become the basis for modification of a paradigm in physical geography.

The last years of methodological changes in geography have raised a number of problems that are peculiarly spatial, structural and dynamic in nature. Arising from the geographers traditional concern for regional synthesis, some attention has been given to general systems approaches. This kind concept makes possible to adapt a number of mathematical methods and models from other disciplines. The most promising have come from the application of areal sampling, stochastic and simulation models, multivariate and spectral analysis. The application of these methods and models in assumption for changing the position of physical geography from genetic to predictive discipline.

English by *the author*