

PAWEŁ CEBRYKOW
Zakład Kartografii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej
Lublin

Metoda wygładzania kartogramu jako alternatywa dla tradycyjnych sposobów wykonywania map izopletowych

Zarys treści. W artykule opisano propozycję nowego sposobu opracowywania map izopletowych. Metoda oparta jest na kryterium zachowania zgodności mapy z wyjściowymi danymi statystycznymi i pozbawiona niektórych wad dotychczasowych sposobów sporządzania map izopletowych. Autor przedstawia również ocenę metody na przykładzie wykonanych map.

Słowa kluczowe: kartografia, izolinie, izoplety, interpolacja

1. Wprowadzenie

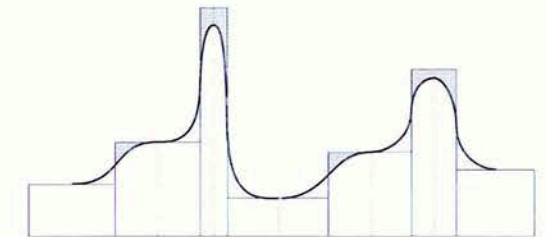
Mapy izopletowe wykonywane w sposób tradycyjny mają kilka wad, co w rezultacie ogranicza ich zastosowanie w praktyce kartograficznej. Wady te w dużej mierze można zredukować i wykorzystać pozytywne cechy izoplekowego sposobu prezentacji. Możliwość jego znacznego udoskonalenia daje zastosowanie sformułowanego przez J. Mościbrodę (1999, 2000) warunku wolumetryczności map izopletowych, czyli zgodności takich map z danymi statystycznymi, które posłużyły do ich wykonania. Niniejszy artykuł zawiera propozycję nowego sposobu opracowania map izopletowych, który został nazwany metodą wygładzania kartogramu.

2. Metoda wygładzania kartogramu

Wykonywanie map izopletowych metodą wygładzania kartogramu polega na przekształceniu skokowej powierzchni statystycznej w postać wygładzoną, z zachowaniem warunku wolumetryczności prezentowanego zjawiska. Punktem wyjścia jest kartogram ciągły. Wygładzanie schodkowej powierzchni kartogramu można sobie wyobrazić jako proces stopniowego ścinania i łagodzenia wszelkich krawędzi i nierówności występujących na granicach pól podstawowych.

Oczywiście wynikiem tego procesu będą przyrosty wolumenu zjawiska w jednym miejscu mapy oraz jego ubytki w drugim. Należy przy tym pamiętać, żeby ubytki i przyrosty wzajemnie się równoważyły. Jest to warunek konieczny, ale ma on charakter ogólny.

Jeżeli oczekujemy od mapy poprawnego pokazania zmienności rozmieszczenia zjawiska, to należy zadbać, aby było ono utrzymane także w trójkątach interpolacyjnych powstałych w wyniku połączenia środków sąsiednich pól. Mówiąc prościej – warunek zachowania wolumenu zostanie spełniony, jeżeli jego ubytki (lub przyrosty) w obrębie jednego pola zostaną zrównoważone przyrostami (lub ubytkami) w polach przyległych. Krzywa przedstawiona na rycinie 1 pokazuje,



Ryc. 1. Krzywa wyznaczona zgodnie z warunkiem kompensowania ubytków i przyrostów wolumenu zjawiska na obszarach sąsiednich pól (na rysunku w granicach oznaczonych przerywanymi liniami)

Fig. 1. The curve following a condition of compensation of loss and gain of phenomenon volume on the areas of neighboring units (within the dotted line)

że wysokie wartości zjawiska na obszarach małych pól zostaną obniżone, natomiast wartości niskie podwyższone. Wygładzenie kartogramu wykonane zgodnie z kryterium wolumetryczności w trójkątach będzie więc przyczyniać się do złagodzenia sztucznych kontrastów statystycznych,

spowodowanych zastosowaniem pól odniesienia o nieporównywalnej wielkości.

W metodzie wygładzania kartogramu można wydzielić cztery główne etapy. Pierwszym jest przygotowanie odpowiedniej bazy danych, poprawnie opisującej zjawisko. Etap drugi polega na wygładzaniu powierzchni statystycznej zjawiska. W etapie trzecim dokonywana jest interpolacja przebiegu izoplei. Ostatni, czwarty etap obejmuje czynności związane z graficznym opracowaniem mapy (zaprojektowanie skali barw, opracowanie legendy itp.) Schemat ideowy metody przedstawia rycina 2.

Najwięcej uwagi wymagają dwa pierwsze etapy. Dysponując danymi statystycznymi i odpowiednią bazą geometryczną (którą jest zwykle podział administracyjny), możemy te dwa rodzaje informacji połączyć, opracowując kartogram ciągły. Na podstawie tego wyjściowego modelu danych należy następnie opracować jego wersję cyfrową. Ze względu na rodzaj dalszych zadań (wygładzanie powierzchni), najdogodniejszy jest model cechujący się regularną strukturą danych. Model taki możemy uzyskać w wyniku dyskretyzacji informacji wyjściowej. Ma on zwykle postać regularnej siatki punktów, którą zwykle się nazywa w piśmiennictwie – w tym również polskim – rastrem, gridem lub macierzą punktów.

Warto zauważyć, że zastosowanie regularnej reprezentacji danych jest równoznaczne z zeraniem z zasadą jednopunktowej reprezentacji pól odniesienia, tradycyjnie stosowanej przy wykonywaniu map izopletowych. Dzięki tej zmianie, zarówno kształt jak i wielkość pól stają się aktywnym czynnikiem procesu wygładzania powierzchni kartogramu, uniemożliwiając tym samym generowanie większych zniekształceń wolumetrycznych. Ponadto takie rozwiązanie uwalnia nas od konieczności trudnego wyboru położenia punktów odniesienia dla nieregularnych pól.

Dysponując modelem danych opracowanym w postaci regularnej siatki, można przystąpić do następnego etapu, którym jest wygładzanie danych lub mówiąc ściślej, do wygładzania powierzchni statystycznej kartogramu. Celem wygładzania danych jest redukcja kontrastów wartości zjawiska, jakie występują na granicach pól podstawowych kartogramu. W rezultacie wygładzona powierzchnia lepiej nadaje się do przedstawienia izopletowych.

Trzecim etapem metody wygładzania kartogramu jest interpolacja, która ma na celu wyznaczenie przebiegu izoplei. Jest to zadanie łatwe do wykonania. Możemy tu posłużyć się prawie każdym programem do interpolacji wchodzącym

w skład standardowego oprogramowania GIS. Powinny to być jednak programy przystosowane do obróbki dużej masy danych i umożliwiające uzyskanie poprawnego, wektorowego rysunku izolinii.

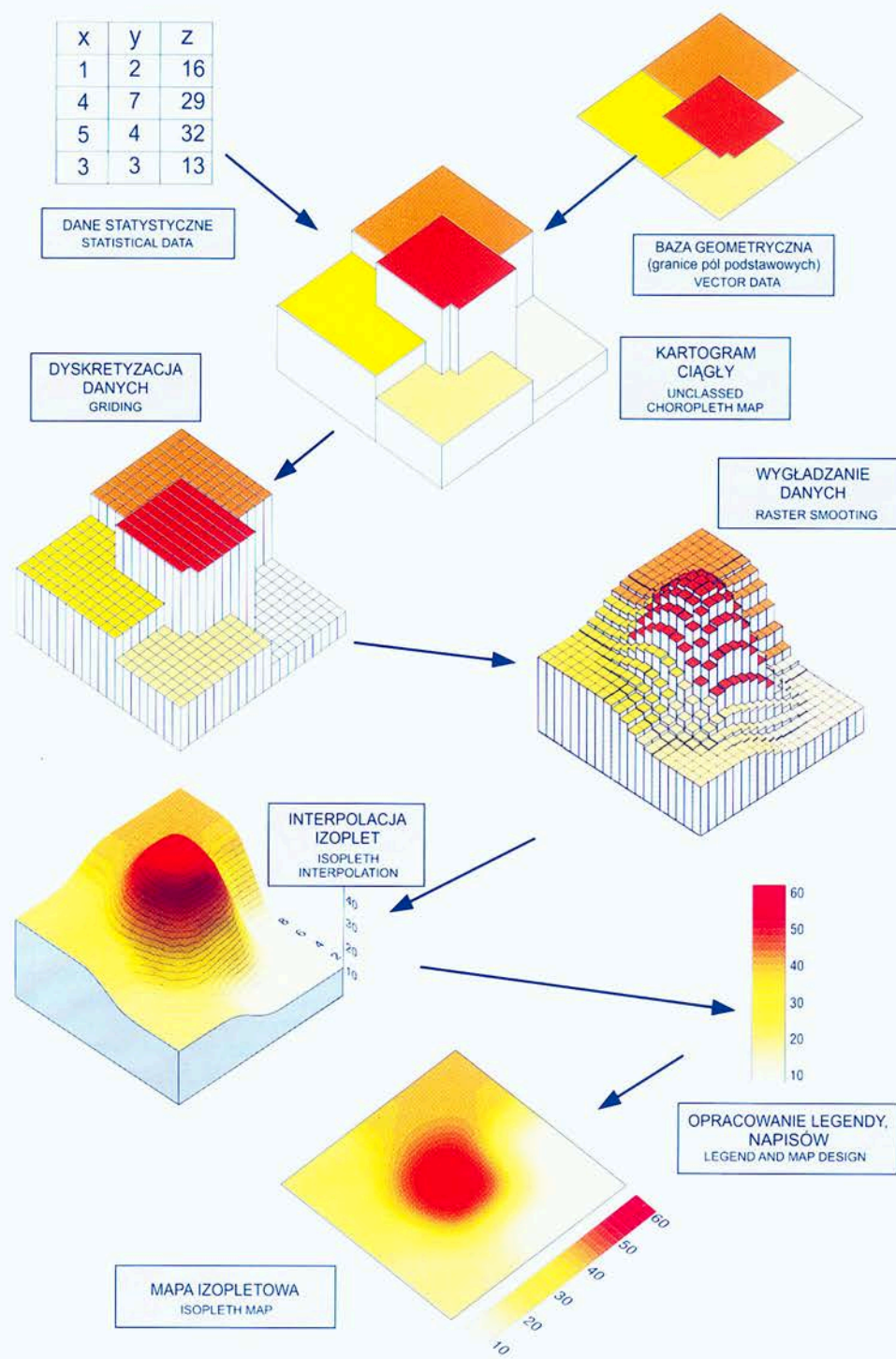
Otrzymaną mapę należy następnie uzupełnić napisami i legendą. W celu podniesienia walorów wizualnych mapy, warto zadbać o właściwe opracowanie skali barw (lub skali szarości), która podkreśli plastykę otrzymanej powierzchni statystycznej.

Przykład praktycznego zastosowania nakreślonej wyżej procedury pokazano na rycinie 3. Zamieszczona mapa przedstawia lesistość Polski. Niewątpliwie jest to mapa logiczna w swojej konstrukcji, łatwa w odbiorze, która w sposób czytelny pozwala określić przestrzenny rozkład zjawiska. Przy tym jest mapą poprawną, bowiem pozostaje w zgodności z pierwotną bazą danych statystycznych. Prezentowany przykład mapy w odczuciu autora stanowi zachętę do szerszego wykorzystania izoplei w prezentacji kartograficznej.

Przedstawione etapy składające się na metodę wygładzania kartogramu dają jej obraz ogólny, jednak w opisie nie poruszano wielu zagadnień, które wymagają obszerniejszego komentarza.

3. Dyskretyzacja danych

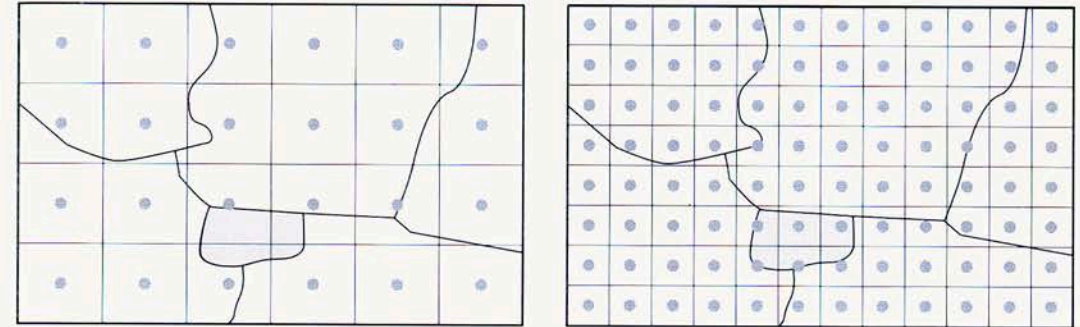
Pierwszym problemem, który napotykamy przy realizacji procedury wygładzania kartogramu, jest dyskretyzacja danych. Sposób rozwiązania tego problemu będzie wpływał na dokładność oddania bazowych danych statystycznych. W przypadku niewłaściwie wykonanej dyskretyzacji muszą pojawić się błędy, co w rezultacie obniży wartość opracowanych map. Prawidłowa dyskretyzacja wymaga przygotowania odpowiedniej informacji źródłowej – bazy geometrycznej oraz danych statystycznych. Dane liczbowe muszą być powiązane z polami podstawowymi. Jest to warunek konieczny, ponieważ bez jego spełnienia niemożliwe jest przypisanie wartości wskaźnika poszczególnym punktom regularnej sieci danych, będącej wynikiem procesu dyskretyzacji. Należy również pamiętać, aby baza geometryczna, która najczęściej jest odbiciem mapy podziału administracyjnego, była opracowana w odwzorowaniu wiernopowierzchniowym. Rysunek granic powinien w miarę dokładnie oddawać ich przebieg. Warunek planimetryczności jest istotny, bowiem w przypadku błędnego odwzorowania powierzchni pól podstawowych nie jest możliwe zachowanie wolumenu zjawiska.



Ryc. 2. Schemat sporządzania mapy izoplekowej metodą wygładzania kartogramu
Fig. 2. General scheme of a choropleth smoothing method

Przystępując do dyskretyzacji danych należy odpowiedzieć na pytanie: jak gęstą sieć należy zastosować, aby wiernie oddać właściwości bazy geometrycznej? Rozwiązanie powinno być

że wolumetryczne, powstałe w następstwie tak przeprowadzonego procesu dyskretyzacji, będą znikome. W praktyce można je pominąć z racji marginalnego wpływu na właściwości



Ryc. 4. Zagęszczenie węzłów sieci pozwala zachować reprezentację najmniejszych poligonów w poddanej dyskretyzacji bazy danych

Fig. 4. Concentration of network nodes preserves the representation of smallest polygons in gridded database

kompromisem między dążeniem do bardzo dużej dokładności i szczegółowości modelu, a koniecznością redukcji liczby danych. Ważne jest aby każda jednostka terytorialna wraz z przypisaną jej wartością zjawiska znalazła swoją reprezentację w tworzonym modelu danych. Teoretycznie wystarczy przyjąć założenie, że rozmiary kwadratowego oczka sieci powinny być mniejsze od najmniejszego pola w pierwotnej bazy geometrycznej. W praktyce rozwiązanie to jest niewystarczające, pomija bowiem problem różnorodności kształtów pól podstawowych. Najtrudniejsze do uchwycenia będą niewielkie jednostki o wydłużonych zarysach. W tym przypadku można uzyskać optymalne parametry sieci, jeżeli odstęp między jej węzłami nie są większe od połowy rozciągłości poziomej i pionowej najmniejszych poligonów o podłużnych kształtach (J. Star, J. Estes 1990). Zaproponowane rozwiązanie (ryc. 4) redukuje możliwość utracenia reprezentacji najmniejszych jednostek, ale ma również negatywne następstwa. Należy bowiem pamiętać, że zwiększenie gęstości sieci powoduje wzrost objętości pliku z danymi w postępie kwadratowym. Większa liczba danych wydłuża czas obliczeń, stawia także wyższe wymagania dla mocy obliczeniowej komputerów i oprogramowania.

Dyskretyzacja oparta na wyżej przedstawionych założeniach powoduje pewną modyfikację danych źródłowych. Jest to niestety nieuniknione, bowiem za pomocą geometrycznych oczek sieci nie jest możliwe wierne odwzorowanie kształtu nieregularnych pól. Jednak błędy, tak-

otrzymywanych map. Natomiast pozytywną stroną jest aktywne włączenie kształtu i wielkości pola do procesu wygładzania powierzchni kartogramu. Warto przy tym podkreślić, iż takie rozwiązanie zrywa z dogmatyczną zasadą jednopunktowej reprezentacji pola podstawowego.

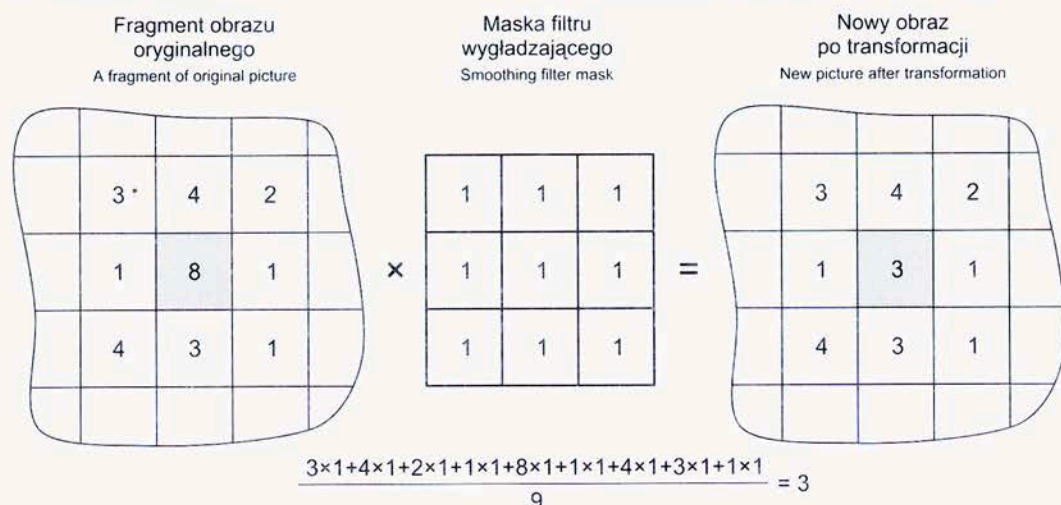
Informację zapisaną w postaci dyskretnej można poddać obróbce w kolejnym etapie metody – wygładzaniu danych. Również to zagadnienie wymaga szerszego omówienia.

4. Wygładzanie danych

Wygładzanie danych, nazywane konwolucją, wymaga zastosowania filtrów cyfrowych, które są zazwyczaj macierzami o nieparzystej liczbie wierszy i kolumn. Podyktowane jest to koniecznością zachowania symetrii filtru względem przetwarzanego elementu macierzy, będącej bazą danych. Filtry wygładzające (*smooth matrix*), zwane także dolnoprzepustowymi, pierwotnie miały zastosowanie w usuwaniu szumów w obrazach rastrowych przez eliminację dużych różnic wartości pikseli. Skutkiem ich zastosowania jest podkreślenie informacji ogólnej, a wszelkie ostre przejścia zostają rozmyte. Zasada działania tych filtrów polega na obliczeniu wartości dla punktu w postaci średniej ważonej, na podstawie sąsiednich komórek macierzy (ryc. 5). Wszystkie współczynniki wagowe w filtrach wygładzających są dodatnie, a ich wartość wpływa na intensywność wygładzenia. Modyfikację pierwotnych danych zaczyna się od skrajnego elementu macierzy, po czym maskę filtru przesuwa się o jeden element

i proces jest powtarzany aż do momentu, w którym wszystkie elementy wygładzanej macierzy otrzymają nową wartość.

Rezultatem jest „spłaszczenie” pionowe powierzchni statystycznej. Innym podejściem do generalizacji kierujemy się przy sporządzaniu



Ryc. 5. Zasada działania filtra wygładzającego (przyciemnione pole oznacza przetwarzany element macierzy)
Fig. 5. Operation mode of a smoothing filter (dark field represents the transformed element of the matrix)

Stopniem wygładzenia można sterować za cztery sposoby: poprzez zmianę wagi środkowego pola macierzy wygładzającej, przez zwiększenie rozmiarów macierzy, przez iteracyjne powtarzanie wygładzania oraz poprzez wprowadzenie zmiennej redukującej wpływ najdalej oddalonych wartości od przetwarzanego punktu. Wymienione sposoby postępowania można łączyć, co w rezultacie ogromnie wzbogaca możliwości uzyskania oczekiwanego efektu wygładzenia.

Zastosowanie filtrów niesie jednak ze sobą pewne komplikacje. Mianowicie do obliczenia nowej wartości komórki konieczne jest sąsiedztwo innych wartości. Ponieważ pola położone na obrzeżach wygładzanej macierzy takiego sąsiedztwa nie posiadają, więc obliczenia nie są wykonywane. Rezultatem jest ich odrzucenie, a rozmiar macierzy wynikowej ulega zmniejszeniu. Aby temu zapobiec, należy rozszerzyć informację poza zasięg opracowania. Można to uczynić korzystając z danych rzeczywistych lub przez ekstrapolację danych położonych w strefie przygranicznej.

Wygładzanie danych z zastosowaniem filtrów jest rodzajem generalizacji kartograficznej, w wyniku czego otrzymujemy obraz zjawiska cechujący się wyższym poziomem uogólnienia.

Zwykle w przypadku map statystycznych generalizacja polega na agregacji danych statystycznych. W efekcie najczęściej wykonuje się mapy oparte na danych odniesionych do różnych poziomów podziału administracyjnego.

np. map poziomicowych. Dochodzi wtedy do uproszczenia przebiegu izolinii.

W przypadku metody wygładzania kartogramu mamy do czynienia z połączeniem cech charakterystycznych dla obu podejść, a uproszczeniu kształtu izoplet towarzyszy zjawisko zmniejszania różnic pionowych powierzchni opisanej izopletami. Na tym etapie problemem staje się jednak określenie miary informującej o stopniu wygładzenia powierzchni statystycznej. Jest to zadanie ważne, dysponując bowiem takim parametrem będziemy mogli w sposób świadomy kierować procesem wygładzania.

Rozwiązaniem może być miara nazwana polem lub zasięgiem oddziaływania wartości. Pole to jest proste do zdefiniowania w przypadku jednokrotnego przebiegu macierzy wygładzającej – jest nią po prostu rozmiar macierzy wyrażony liczbą wierszy i kolumn. Jeżeli proces wygładzania będzie powtarzany, pole można określić za pomocą wzoru:

$$P = [x + (n - 1) \times (x - 1)]^2$$

gdzie: P – pole (zasięg) oddziaływania wartości wyrażonej liczbą komórek macierzy wygładzającej,

x – liczba wierszy (lub kolumn) w kwadratowej macierzy wygładzającej,

n – numer kolejnej iteracji.

Obliczenie zasięgu oddziaływania wartości skomplikuje się nieco, jeśli powtórzenie wygładzania będzie wykonywane z zastosowaniem macierzy o systematycznie malejących lub rosnących rozmiarach. Należy wówczas skorzystać z kolejnego wzoru:

$$P = \left[x_n + \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - 1) \right]^2$$

gdzie: P – pole (zasięg) oddziaływania wartości wyrażone liczbą komórek macierzy wygładzającej,

x – liczba wierszy (lub kolumn) w kwadratowej macierzy wygładzającej,

n – numer kolejnej iteracji,

i – wskaźnik sumowania.

Kształt pola oddziaływania wartości jest bezpośrednio zależny od formy macierzy wygładzającej. Jeśli macierza ma postać kwadratu, to pole oddziaływania będzie również kwadratem.

Znając przestrzenną (terytorialną) rozdzielczość zastosowanego przez nas modelu danych (macierzy), możemy obliczyć rzeczywistą wielkość obszaru objętego zasięgiem oddziaływania wartości. Jeśli rozdzielczość wynosi np. 1 km, a do wygładzania użyto macierzy o wymiarach 3×3 km, to powierzchnia tego obszaru będzie równa 9 km².

Pole oddziaływania wartości informuje nas, na jak dużym obszarze zaznaczył się modyfikujący wpływ wartości położonej w jego centrum. Można więc tak dobrać parametry filtrowania, aby jego wielkość odpowiadała np. obszarowi średniego powiatu. Ma on jednak – jak już wspomniano – jedynie charakter orientacyjny, niewiele bowiem mówi o tym, jak rozkłada się ten wpływ w obrębie rozpatrywanego pola.

Ponadto do oceny stopnia wygładzenia można posłużyć się wskaźnikiem wyrażającym różnicę między maksymalną i minimalną wartością zjawiska w obrębie mapy. Jest to wskaźnik łatwy do odczytania, ale również o ograniczonej wymowie.

5. Interpolacja i opracowanie redakcyjne mapy

Dysponując danymi, które zostały poddane wygładzeniu, można przystąpić do kolejnych etapów zastosowania metody – interpolacji przebiegu izoplet oraz opracowania redakcyjnego mapy. Wymienione końcowe stadia realizacji procedury nie są zbyt trudne. Większość obecnie dostępnych metod interpolacji, wchodzących w skład

standardowego oprogramowania GIS, pozwala na uzyskanie dobrych wyników. Należy jednak pamiętać, aby wybór dotyczył metod, które nie wpłyną na zniekształcenie statystycznego wolumenu. Podobnymi kryteriami należy kierować się również przy ustalaniu parametrów interpolacji. Przykładowo można skorzystać z interpolacji liniowej lub z metody odległościowo-wagowej.

6. Zastosowanie i ocena metody wygładzania kartogramu.

Propozycja nowej metody opracowania map izopletowych została poddana praktycznej weryfikacji. Założono, że próby będą dotyczyły dużego obszaru, a pierwotne dane statystyczne powinny odnosić się do możliwie małych pól podstawowych. W rezultacie wszystkie opracowania przedstawiały Polskę i opierały się na danych odniesionych do gmin. Wykonano zestaw map zjawisk o zróżnicowanej rozpiętości danych liczbowych. W przypadku zjawisk o niewielkich wahaniami przestrzennych próby wypadły zdecydowanie pomyślnie.

Dla oceny metody jest to jednak sprawdzian mało wymagający. O wiele wyższe wymagania stawia np. prezentacja gęstości zaludnienia, obliczonej w małych jednostkach powierzchniowych. Wskaźnik ten wykazuje bardzo silną zmienność natężenia. Obok dużych miast występują obszary o bardzo niskiej gęstości zaludnienia (np. Warszawa, a obok Puszcza Kampinoska). Ponadto statystyczny rozkład danych cechuje się wyjątkową asymetrią, co uniemożliwia stosowanie równych interwałów między izopletami. Niestety, niejednolite interwały pogarszają percepcyjne właściwości map izopletowych. Ta zależność jest silniejsza, niż ma to miejsce w przypadku kartogramu.

Mapy wykonywane były z zastosowaniem różnych parametrów procesu wygładzania powierzchni statystycznej, z wykorzystaniem danych zapisanych w postaci gridu o rozdzielczości terenowej 1×1 km. Kierowano się również przesłanką zachowania jednolitego poziomu wygładzenia przez utrzymanie stałego wskaźnika pola oddziaływania wartości. Jego wartość ustalono na poziomie średniej powierzchni powiatów.

Opracowany zestaw kilku map można podzielić na trzy grupy, które różnią się zastosowanym sposobem rozwiązania procesu wygładzania. Pierwszą grupę stanowią mapy wykonane drogą jednokrotnego wygładzenia powierzchni. Drugą tworzą mapy, gdzie zastosowano wygładzanie iteracyjne macierzą o stałych parametrach. W trzecim zbiorze znalazły się opracowania

Tabela 1. Zniekształcenia objętości statystycznej wybranych map izopletowych przedstawiających gęstość zaludnienia Polski w 1999 roku

Wymiary matrycy wygładzającej i liczba iteracji	Powierzchnia pola oddziaływania wartości (km ²)	Objętość statystyczna mapy	Objętość statyst. mapy względem wolumenu danych bazowych (%)	Błąd (%)
1	2	3	4	5
29×29/1	841	38 650 688	100,502	0,502
11×11/3	961	38 658 043	100,521	0,521
9×9/4	1089	38 651 948	100,505	0,505
7×7/5	961	38 638 759	100,471	0,471
5×5/7	841	38 623 768	100,432	0,432
3×3/14	841	38 502 093	100,115	0,115
3×3>5×5>7×7>9×9>11×11	961	38 539 767	100,213	0,213

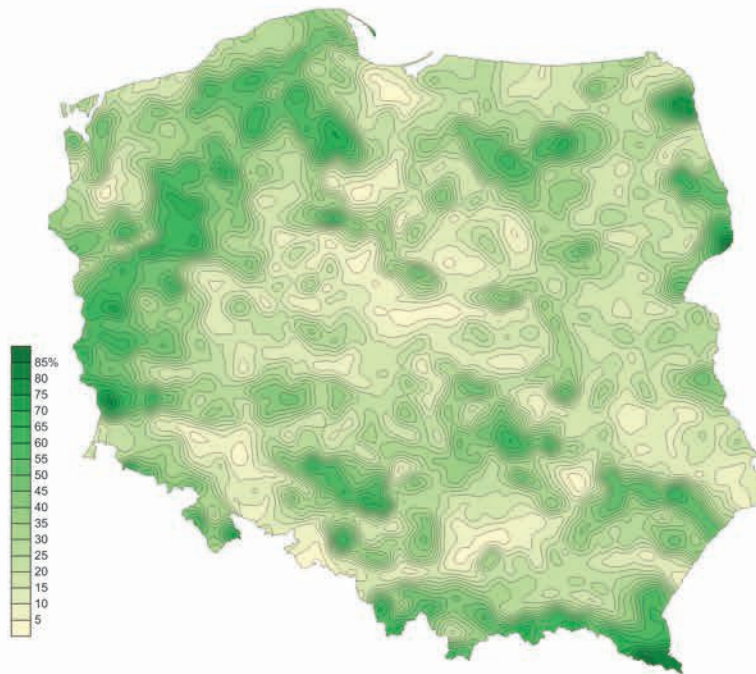
otrzymane w wyniku powtarzanego filtrowania matrycami o stale rosnących lub malejących rozmiarach. We wszystkich przypadkach można przyjąć, że zachowany został statystyczny wolumen zjawiska. Pojawiły się niewielkie odchylenia (do 0,52%), których geneza została już wyjaśniona wcześniej. Niewielkie zróżnicowanie błędów (tab. 1) nie daje także podstaw do określenia najlepszego postępowania przy wygładzaniu.

Szukając optymalnego sposobu wygładzania, można również kierować się zmianami pionowej rozpiętości powierzchni wynikowych. Zmiany te zachodzą w dość dużym zakresie,

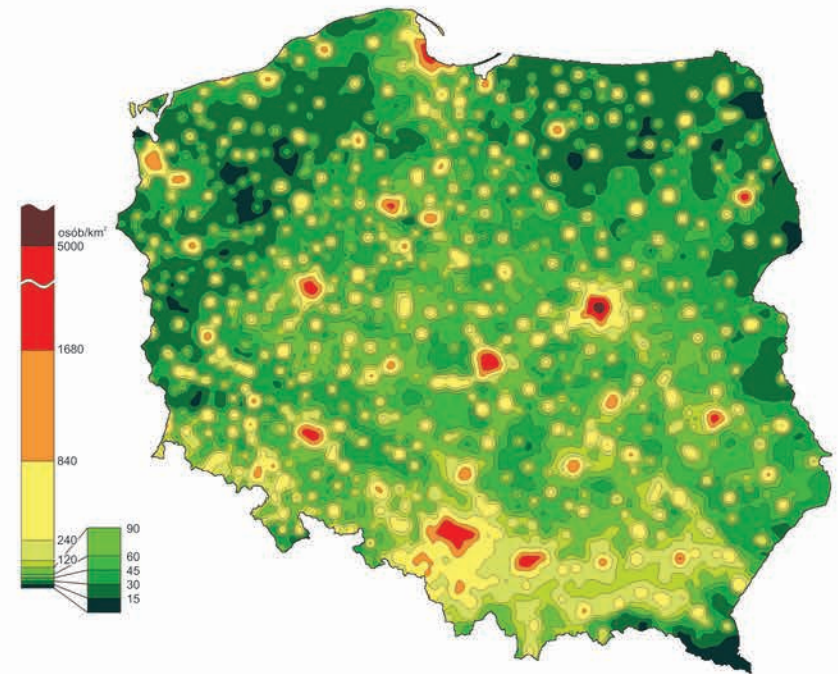
co przedstawia tabela 2. Jak wynika z danych w kolumnie 3, największym modyfikacjom uległy wartości maksymalne. Jest to zrozumiałe i wiąże się z różną wielkością pól podstawowych. Zazwyczaj małym powierzchniowo miastom, otoczonym dużymi powierzchniami gmin wiejskich, towarzyszy wysoka wartość wskaźnika gęstości zaludnienia. W takich przypadkach proces wygładzania przyczynia się do ich szybkiego obniżenia. Natomiast podwyższenie wartości zjawiska w otaczających miasta gminach wiejskich następuje zdecydowanie słabiej. Wynika to stąd, że wszystkie większe jednostki terytorialne

Tabela 2. Spłaszczenie powierzchni statystycznej spowodowane wygładzaniem danych na wybranych mapach izopletowych przedstawiających gęstość zaludnienia Polski w 1999 roku

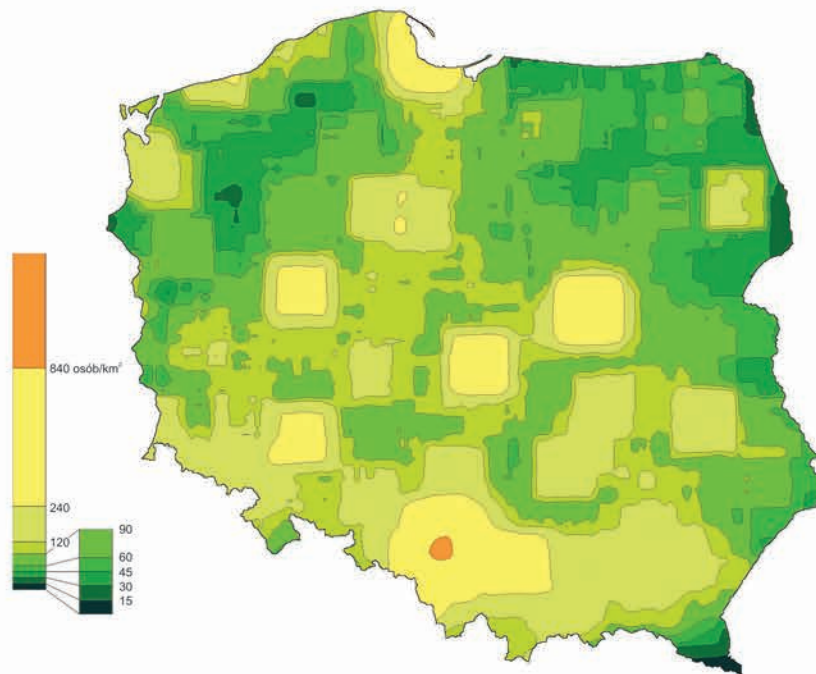
Wymiary matrycy i liczba iteracji	Minimalna wartość zjawiska na mapie	Maksymalna wartość zjawiska na mapie
1	2	3
29×29×1	6,26	910,55
11×11×3	5,00	4462,65
9×9×4	5,00	4766,13
7×7×5	5,00	5431,67
5×5×7	5,00	6172,61
3×3×14	5,00	6839,50
3×3>5×5>7×7>9×9>11×11	5,00	5050,25
Minimalna i maksymalna wartość zjawiska w wyjściowej bazie danych	2,21	7511,93



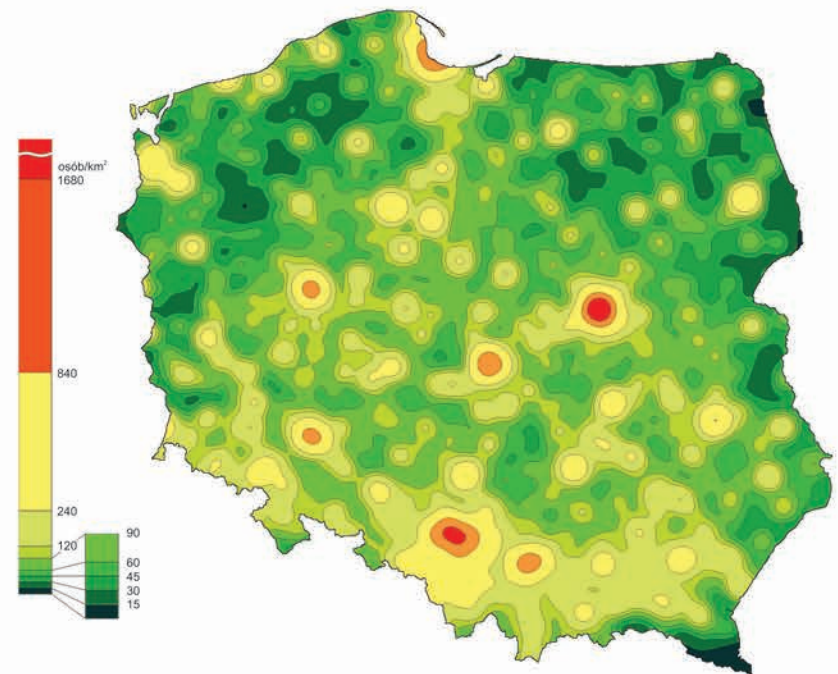
Ryc. 3. Mapa lesistości Polski
Fig. 3. Map of forests in Poland



Ryc. 7. Mapa gęstości zaludnienia wykonana poprzez czteremastokrotne powtórzenie procesu wygładzania powierzchni matrycą o wymiarach 3×3
Fig. 7. Map of population density prepared with a smoothing process using a 3×3 matrix repeated 14 times



Ryc. 6. Mapa gęstości zaludnienia wykonana poprzez jednokrotne wygładzenie powierzchni matrycą o wymiarach 29×29
Fig. 6. Map of population density prepared with a single smoothing using a 29×29 matrix



Ryc. 8. Mapa gęstości zaludnienia wykonana poprzez wygładzanie powierzchni matrycami o rosnących wymiarach jądra: 3×3, 5×5, 7×7, 9×9, 11×11
Fig. 8. Map of population density prepared with a smoothing process using matrices with increasing size: 3×3, 5×5, 7×7, 9×9, 11×11

i odnoszące się do nich wartości natężenia zjawiska (niekoniecznie niskie) są w rastrowej bazie danych reprezentowane przez większą liczbę pikseli, przez co proces wygładzania na ich obszarze przebiega wolniej i z większym oporem. Wielkość obniżenia wartości maksymalnych zależy od rozmiarów użytej matrycy wygładzającej. Zależność ta utrzymuje się również przy iteracyjnym wygładzaniu mniejszymi matrycami, kiedy utrzymana jest porównywalność w zakresie pola oddziaływania wartości. Oznacza to, że wspomniana miara pola zasięgu oddziaływania wartości ma niestety bardzo ograniczoną wartość interpretacyjną.

Ponieważ brakuje bardziej obiektywnych mierników oceny efektów wygładzania, decydujące znaczenie mieć będzie ocena wizualna. Jest zresztą zrozumiałe, że w kartografii wizualna ocena uzyskanych rezultatów z reguły ma znaczenie decydujące.

Jak już wspomniano, pierwsze próby wygładzania danych wykonano stosując jednokrotny przebieg matrycy (ryc. 6). Przykładowa mapa powstała w wyniku zastosowania matrycy wygładzającej o wymiarach 29×29¹. Jest to oczywiście mapa nie do przyjęcia. Przedstawia ona bardzo ogólny obraz gęstości zaludnienia. Uderzający jest charakterystyczny, zgeometryzowany kształt izolinii, będący niewątpliwie skutkiem oddziaływania kwadratowego kształtu matrycy. Jako kulminacje widoczne są tylko największe aglomeracje, natomiast mniejsze ośrodki miejskie całkowicie „rozmyły się” się w poszarpanym rysunku izoplet. Jest zrozumiałe, że jednokrotny przebieg dużej matrycy wygładzającej to rozwiązanie niekorzystne. Ponadto efekt „kwadratowości” izoplet będzie się utrzymywał pomimo stopniowego zmniejszania wielkości matrycy. Zanikać zacznie on dopiero wtedy, gdy rozmiary matrycy staną się mniejsze od powierzchni miast.

Zdecydowanie lepsze efekty daje powtarzanie procesu wygładzania matrycą o niewielkiej liczbie wierszy i kolumn. Wpływ jej kształtu stanie się wtedy niezauważalny, oczywiście pod warunkiem, że wygładzany model danych cechuje się dużą rozdzielczością. Każdy przebieg takiej matrycy przyczyni się do wzrostu stopnia wygładzenia, ale będzie ono postępować bardzo wolno. W rezultacie konieczne jest wykonanie większej liczby powtórzeń. Jednakże nawet wówczas efekt spłaszczenia wszelkich kulminacji jest sto-

sunkowo niewielki, zaś mapa cechuje się dużą szczegółowością obrazu zjawiska (ryc. 7). Jest ona przeciwieństwem mapy z ryciny 6, aczkolwiek w obu przypadkach zasięg oddziaływania wartości jest bardzo zbliżony (tab. 1). Patrząc na tę mapę mamy uczucie przesycenia szczegółami – rozpoznawalne są nawet kilkudziesięcioletnie miasta. Przeszkadza to w czytaniu rysunku izolinii o niskich wartościach zjawiska na obszarach wiejskich, który z kolei mielibyśmy ochotę zaakceptować.

W celu zwiększenia poziomu uogólnienia powierzchni statystycznej możemy oprzeć się również na wielokrotnym wygładzaniu z zastosowaniem filtrów o stopniowo rosnących rozmiarach (ryc. 8). Postępowanie odwrotne, tzn. zastosowanie filtrów o stopniowo zmniejszającej się liczbie wierszy i kolumn, również może dać dobry rezultat, pod warunkiem jednak, że nie rozpoczniemy procesu wygładzania od zastosowania zbyt wielkiej matrycy.

Na podstawie wielu prób autor doszedł do wniosku, że dążąc do uzyskania obrazu ogólniejszego, należy stosować matrycę o możliwie najmniejszych rozmiarach. Zastosowanie małej matrycy ma tę dobrą stronę, że efekt „rozlewania się” kulminacji miast, spowodowany wzrostem stopnia wygładzenia, zostaje spowolniony.

Opracowane mapy dają podstawę do konkluzji. Najbardziej uderzającą ich cechą jest duża szczegółowość obrazu izopletowego. Jest to zjawisko nowe i warte odnotowania, w licznych publikacjach możemy bowiem przeczytać, że mapy izopletowe ze swej natury są ubogie w treść i niosą niewiele informacji o rozmieszczeniu zjawisk (K.A. Saliszczew 1976, E. Imhof 1961, G. Bonatowski i J. Szewczuk 1974, W. Spallek 2002 i wielu innych). Tymczasem w przypadku przedstawionych map, szczególnie tych mniej zgeneralizowanych, mamy do czynienia z sytuacją, która tym opiniom zaprzecza. Można nawet uznać, że są one nadmiernie szczegółowe. Są dwie przyczyny tej szczegółowości. Pierwsza wynika z charakteru zjawiska, jakim jest gęstość zaludnienia, nacechowanego wyjątkowo dużą zmiennością przestrzenną. Widoczne na mapach liczne „kulminacje” miast są w istocie odbiciem rzeczywistości – w nich skupia się 62% ogółu ludności Polski. Drugą przyczyną jest cięcie izoliniowe. Małe interwały w zakresie niskich wartości wydobły z otoczenia nawet niewielkie miasta i wizualnie nadmiernie uwypukliły ich znaczenie. Tę wadę można częściowo złagodzić, zmieniając wielkość niektórych interwałów. Za wadę można także uznać geometryczną kolistość i koncentryczność izolinii. Jest ona również

¹ Wymiary matrycy określają liczbę wierszy i kolumn, jednak znając rozdzielczość terenową gridu poddawanego filtracji możliwe jest podanie wymiarów liniowych matrycy. Np. jeżeli grid ma rozdzielczość 1×1 km, to zastosowana do jego filtrowania matryca o rozmiarach 29 wierszy na 29 kolumn będzie miała wymiar 29×29 km).

spowodowana oddziaływaniem miast – jest następstwem generalizacji ich niewielkich terytoriów, o kształcie często zbliżonym do koła.

Wszystkie wspomniane wyżej mankamenty znikną lub staną się niezauważalne, jeśli przedstawiane na mapie zjawisko będzie cechować się mniejszym stopniem przestrzennego zróżnicowania. Jednocześnie mapy takich zjawisk wcale nie będą monotonne (ryc. 3).

Przeprowadzone badania i analizy potwierdziły słuszność założeń przyjętych w nowej metodzie opracowywania map izopletowych. Pozwoliły także na sformułowanie kilku wniosków natury ogólnej. Można je przedstawić w kilku punktach:

1. Metoda wygładzania kartogramu jest oryginalną propozycją w pełni uporządkowanego i metodycznie poprawnego sposobu wykonywania map izopletowych. Jej fundament stanowi zdefiniowany przez J. Mościbrodę (1999, 2000) warunek wolumetryczności map izopletowych, którego istota sprowadza się do konieczności zachowania zgodności prezentacji z wyjściowymi danymi statystycznymi. Zdefiniowanie tego warunku kładzie kres wytykanej w piśmiennictwie dowolności zasad wykonywania map izopletowych, swoboda w doborze rozwiązań może natomiast dotyczyć tych zagadnień, które nie są powiązane z warunkiem wolumetryczności.

2. Zastosowanie rastrowej reprezentacji danych poddanych wygładzaniu oznacza zerwanie z tradycyjną zasadą jednopunktowej reprezentacji pól odniesienia. Aktywne włączenie kształtu i wielkości powierzchni pól podstawowych redukuje niekorzystny wpływ ich nieregularności. W efekcie możliwe jest wykonanie poprawnych map zjawisk odniesionych do różnego rodzaju jednostek terytorialnych. Ta właściwość otwiera drogę do szerokiego zastosowania metody w licznych dziedzinach badań.

3. Dzięki wymierności statystycznej mapy izopletowe opracowane z zastosowaniem procedury wygładzania kartogramu stają się w pełni wiarygodnym źródłem informacji oraz solidną podstawą badań dotyczących matematycznego modelowania zjawisk i badania ich współzależności. Dzięki neutralizacji skutków niejednorodności układu pól podstawowych możliwe jest np. porównywanie obrazów zjawiska opracowanych na

podstawie zmieniających się w czasie podziałów administracyjnych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku Polski, gdzie – jak wiemy – w ostatnich kilku dziesięcioleciach miało miejsce kilka dużych reform w tym zakresie.

4. Ważną zaletą metody wygładzania kartogramu jest możliwość otrzymania obrazów zjawiska różniących się poziomem generalizacji, ale opracowanych na podstawie jednego wyjściowego zbioru danych źródłowych. Ważną cechą jest również fakt, że pomimo postępującego poziomu wygładzania, uzyskujemy mapy o mniejszym stopniu generalizacji, niż w przypadku zastosowania danych o wyższym poziomie agregacji.

5. Wreszcie warto zwrócić uwagę na łatwość wykonywania rozmaitych transformacji i możliwość porównywania map izopletowych. Powierzchnie statystyczne opisane izoliniowo (lub w postaci modelu rastrowego) funkcjonują w zapisie cyfrowym. Dzięki temu z łatwością można je np. odejmować, otrzymując w rezultacie powierzchnię pokazującą różnice między nimi. Jest to przykład szybkiego sposobu opracowania mapy bilansowej, umożliwiającej przedstawienie dynamicznych zmian zachodzących w czasie i przestrzeni.

6. Ponadto – co należy mocno podkreślić – opisana metoda zachowuje pozytywne właściwości percepcyjne map izoliniowych, wykonywanych w sposób tradycyjny. Dzięki logicznemu następstwu kolejnych przedziałów wartości izoplety są atrakcyjną i efektywną formą przekazu treści zamieszczonych na mapie.

Zaproponowana metoda opracowania map izopletowych zasługuje w przekonaniu autora na pozytywne przyjęcie przez kartografów. Zachowanie warunku pełnej statystycznej wymierności map, w połączeniu z wizualnymi walorami izoplet, powinno stać się zachętą do częstszego wykonywania map izopletowych, a także przyczynić się do wzrostu ich znaczenia w kartografii, zarówno jako metody prezentacji, jak i metody badania zjawisk. Autor ma również nadzieję, że ewentualny wzrost zainteresowania nową metodą opracowania map izopletowych stanie się bodźcem do intensyfikacji prac badawczych, zmierzających do jej dalszego doskonalenia.

Literatura

- Bonатовski G., Szewczuk J., 1974, *Analiza kartograficznych metod prezentacji gęstości zaludnienia*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 6, nr 3, s. 97–107.
 Imhof E., 1961, *Isolinienkarten*. „International Yearbook of Cartography” Vol. 1, s. 64–68.
 Mościbroda J., 1999, *Mapy statystyczne jako nośnik*

- informacji ilościowej*. Lublin: Wydawn. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej.
 Mościbroda J., 2000, *Teoretyczne i praktyczne aspekty modelowania map izopletowych*. W: „Główne problemy współczesnej kartografii, 2000. Złożoność – Modelowanie – Technologia”. Pod red. W. Pawlaka.

- Wrocław: Pracownia Atlasu Dolnego Śląska i Zakład Kartografii, s. 61–73.
 Ratajski L., 1975, *Przykładki skrajne w metodzie izarytm teoretycznych*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 7, nr 3, s. 101–107.
 Saliszczew K.A., 1976, *Kartowiedzenie*. Moskwa: Izdat. Mosk. Univ.

- Spallek W., 2002, *Metody prezentacji gęstości zjawisk rozproszonych na mapach tematycznych*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 34, nr 1, s. 11–21.
 Star J., Estes J., 1990, *Geographical Information Systems: An Introduction*. Englewoods Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.

Recenzował dr hab. Jerzy Mościbroda

Choropleth smoothing method as an alternative to traditional methods of isopleth map preparation

Summary

Keywords: cartography, isopleths, interpolation

In order to prepare an isopleth map by smoothing of a choropleth one has to transform a discontinuous statistical surface into a smoothed version, preserving the volumetric properties of presented phenomena. The starting point is an unclassed choropleth map. Smoothing of the stepped choropleth surface can be described as a process of gradual cutting and smoothing of all edges on boundaries of space units.

The method consists of four stages (fig. 2). In the first the appropriate database is prepared. In the second the statistical surface of phenomena is smoothed. In the third stage the course of isopleths is interpolated. The last, fourth stage covers graphical preparation. The map of forests in Poland is an example of such procedure (fig. 3).

The new method of isopleth map preparation has been verified. A number of maps of population density in Poland were prepared basing on data referring to *gminy* (local administration units). Best results were obtained when the smoothing process was repeated using filters with gradually increasing size of the smoothing matrix

(fig. 8). The results were also positive with iteration smoothing, using a small matrix of a small filter (3×3), but the representation of phenomena was too detailed. (fig. 7). Single smoothing with a large size matrix brought clearly negative results (fig. 6).

The research concluded the following:

- the method of choropleth smoothing is a proposal for a well ordered and methodologically plausible method of isopleth map preparation;
- screen representation of data makes it possible for the shape and area of basic fields to influence the isopleth map, reducing the negative impact of their irregularities;
- as a result of statistic fidelity of this method isopleth maps become a credible source of information;
- the method makes it possible to obtain several representations of the same phenomenon, differently generalized from the same set of data.

In author's opinion the suggested method deserves to be well received among cartographers. Its merits ought to encourage mapmakers to choose the medium of isopleth map more often as well as provoke more research on the method's further development.

Translated by M. Horodyski

Метод сглаживания картограммы как альтернатива для традиционных способов разработки изоплетных карт

Резюме

Разработка изоплетных карт методом сглаживания картограммы заключается в преобразовании ступенчатой статистической поверхности в сглаженный вид, с сохранением волюметрических явлений, изображаемых на картах. Исходным пунктом является непрерывная картограмма. Сглаживание ступенчатой поверхности картограммы можно себе представить как процесс постепенного срезания и смягчения всех граней, выступающих на границах основных полей.

В методе можно выделить четыре главных этапа (рис. 2). Целью первого является подготовка соответствующей базы данных. Вторым этапом является в сглаживании статистической поверхности явления. В третьем этапе интерполируется ход изоплет. Четвёртый, последний этап, охватывает действия, связанные с графическим оформлением

карты. Примером применения поданной процедуры является карта лесистости Польши (рис. 3).

Новый метод разработки изоплетных карт был поддан верификации. Выполнено ряд карт густоты населения Польши, основанных на данных, отнесённых к гминам. Наилучшие результаты достигнуты были путём повторения процесса сглаживания с помощью фильтров с постепенно растущими размерами сглаживающей матрицы (рис. 8). Успешные результаты были получены также в случае итерационного сглаживания небольшой матрицей фильтра небольших размеров (3×3), однако изображение явления характеризовалось слишком большой подробностью (рис. 7). Решительно негативно следует оценить эффекты одноразового сглаживания матрицей большого размера (рис. 6).

Проведённые исследования разрешили сформулировать несколько выводов:

- метод сглаживания картограммы является предложением упорядоченного и методически правильного способа составления изоплетных карт;
- растровое изображение данных даёт возможность влияния формы и величины основных полей на свойства изоплетной карты, редуцируя неблагоприятное воздействие их нерегулярности;
- благодаря статистической верности этого метода изоплетная карта становится достоверным источником информации;

- метод даёт возможность получения изображений явления с разной степенью генерализации на основе одного набора данных.

По мнению автора, предлагаемый метод заслуживает позитивного приёма среди картографов. Его достоинства должны заманивать к чаще разработке изоплетных карт, а также быть стимулом для интенсификации исследований, направленных к дальнейшему совершенствованию предлагаемого метода.

Перевод Р. Толстикова