

Numeryczna metoda aktualizacji zdjęcia deklinacji magnetycznej obszaru Polski

Elementy pola magnetycznego Ziemi zmieniają się w czasie. Oznacza to, że wykazywane na mapach magnetycznych, topograficznych czy nawigacyjnych wartości elementów pola nie są identyczne z wartościami obserwowanymi. Wartości obserwowane, jako wartości chwilowe zostają odpowiednio przetworzone, zwykle zredukowane do średniej wartości rocznej odpowiadającej epoce opracowania mapy magnetycznej. Odczytane z takiej mapy wartości mogą być przeliczane na inne epoki w zależności od potrzeb użytkowników mapy. Do przeliczeń tych wykorzystuje się podawane na mapie dodatkowe informacje o przewidywanych zmianach pola magnetycznego w czasie oraz ich rozkładzie na określonym obszarze. Badaniom zmian pola służy działalność obserwatoriów magnetycznych, prowadzących ciągle zapisy elementów pola oraz systematyczne pomiary sieci wiekowych punktów magnetycznych.

Już na podstawie powyższych stwierdzeń ogólnych można wyprowadzić wnioski, że aktualność konkretnej mapy magnetycznej jest czasowo ograniczona. Przez okres aktualności mapy magnetycznej należy zatem rozumieć okres, liczony od epoki opracowania (epoki odniesienia), w którym różnica między aktualną wartością elementu pola a odczytaną z mapy nie przekracza błędu charakterystycznego dla tej mapy lub jej fragmentu.

Tak zdefiniowany okres aktualności mapy magnetycznej zależy od:

- a) dokładności mapy, na którą wpływają takie elementy, jak skala, dokładność pomiarów, cięcie izolinii, anomalność pola,
- b) wartości i stopnia znajomości zmiany wiekowej danego elementu pola na obszarze obejmowanym przez mapę w epoce jej opracowania, co warunkuje trafność prognozy tej zmiany.

W dotychczasowej praktyce stosuje się pewne sposoby przedłużania aktualności map magnetycznych przez wprowadzanie do ich treści informacji o zmianie rocznej mapowanego elementu pola. Informację tę podaje się bądź w formie liczby, bądź w formie mapy izopor (w małej skali) umieszczanej w rogu arkusza lub na ramce odpowiedniej mapy. Niekiedy izopory nanosi się razem z izoliniami elementu pola magnetycznego, wy-

różniając je innym kolorem lub linią przerywaną. Aby otrzymać aktualną wartość elementu pola odczytuje się z mapy jego wartość w żądanym punkcie, a następnie do odczytanej wartości dodaje się poprawkę ze względu na zmianę roczną (zmianę wiekową na 1 rok).

Z obserwacji zmian wiekowych pola magnetycznego Ziemi choćby w okresie kilku lat wynika, że pole to nie zmienia się liniowo. Jeśli więc nawet przyjąć założenie, że dla epoki odniesienia jest już znana i zamieszczona na mapie aktualna zmiana roczna (co w praktyce nie zawsze ma miejsce), przeprowadzona w powyższy sposób redukcja odczytanej z mapy wartości elementu pola do innej epoki jest tym mniej dokładna im więcej czasu upłynęło od epoki opracowania mapy. W związku z tym dla warunków polskich okres aktualności podstawowych map magnetycznych kraju został określony [10] na:

5 lat w wypadku mapy deklinacji magnetycznej (mapy izogon),

10 lat w wypadku map pozostałych elementów pola.

Zróżnicowanie wynika stąd, że rozkład deklinacji magnetycznej na obszarze Polski jest lepiej znany, niż rozkład pozostałych elementów, ze względu na 5-krotnie większą gęstość punktów podstawowego zdjęcia deklinacji i mniejszy błąd względny pomiaru. Należy podkreślić, że chodzi tu o zdjęcie podstawowe, wykonane w określonym czasie na całym obszarze kraju przy użyciu jednostki natężenia pola magnetycznego możliwie najbardziej zbliżonej do średniego standardu (poziomu absolutnego) reprezentowanego przez obserwatoria magnetyczne rejonu Europy środkowej i południowo-wschodniej. Na obszarze Polski istnieje bowiem wiele zdjęć magnetycznych obejmujących różne rejony kraju, nieraz bardzo szczegółowych, wykonywanych w różnych okresach wg standardu reprezentowanego współcześnie przez wybrane obserwatorium magnetyczne. Wprowadzenie w ostatnim dziesięcioleciu do powszechnego użytku magnetometru protonowego jest znacznym krokiem naprzód w zakresie ujednolicenia standardów obserwatoriów magnetycznych i podniesienia dokładności polowych pomiarów magnetycznych.

Omawiana redukcja skartowanego elementu pola do innej epoki dotyczy wypadku, gdy użytkownik mapy chce otrzymać jako rezultat średnią wartość roczną w tej epoce. W praktyce jednak częściej występuje zagadnienie określenia na podstawie mapy magnetycznej najprawdopodobniejszej wartości elementu pola w określonym momencie (wartości chwilowej). W tym celu na niektórych mapach, np. francuskich zamieszcza się wykresy lub tabele wartości średnich miesięcznych w roku oraz średni przebieg zmian danego elementu pola zachodzących w cyklu dobowym. Na podstawie tych informacji wyznacza się różnicę między średnią wartością roczną tego elementu a wartością w określonym mo-

mencie odpowiedniego miesiąca, uzyskując w ten sposób dodatkową, szukaną redukcję momentalną.

Wielu wydawców map magnetycznych rezygnuje jednak z zamieszczania na mapach średnich przebiegów miesięcznych i dobowych. Wynika to stąd, że:

a) uśredniony przebieg zmian może się wyraźnie różnić od rzeczywistego, zwłaszcza w okresach zwiększonej aktywności magnetycznej,

b) uśrednione przebiegi obliczane są na podstawie epok, które już minęły, wobec czego obliczanie redukcji do momentu w okresie wykorzystania mapy jest ekstrapolacją przebiegu zmian.

Wydaje się jednak, że większa ilość informacji na mapie, zwiększająca prawdopodobieństwo otrzymania poprawnego wyniku, jest pożyteczna, o ile tylko użytkownik mapy orientuje się w korzyściach i mankamentach wprowadzania omawianej redukcji.

*

Ten krótki przegląd zagadnień związanych z podstawową kartografią magnetyczną może już uzasadniać kierunek badań, mających na celu dostarczanie użytkownikowi poprawnych i aktualnych danych magnetycznych dla żadanego obszaru lub dowolnego punktu tego obszaru. Przez termin „poprawne dane” należy tu rozumieć najprawdopodobniejsze wartości elementu pola magnetycznego na określonej epokę, uzyskane z posiadanego zbioru informacji o jego zmianach i rozkładzie, natomiast aktualność danych oznacza, że epoka ta powinna być możliwie bliska okresowi wykorzystywania tych danych. Spełnienie postawionych wymogów uwarunkowane jest szeregiem czynników. Do najważniejszych należy zaliczyć:

1) dobór odpowiednich metod interpolacji i ekstrapolacji. Chodzi tu zarówno o czasową, jak i przestrzenną interpolację wartości elementów pola magnetycznego. Polska sieć magnetycznych punktów wiekowych, założona dla wyznaczania zmian wiekowych elementów pola, nie jest dotychczas w całości obserwowana każdego roku. Powstaje więc niejednokrotnie konieczność interpolacji lub ekstrapolacji tych wartości w celu obliczenia zmiany elementu pola na punkcie wiekowym w żądanym przedziale czasu. Po wyznaczeniu tej zmiany na wszystkich punktach wiekowych przechodzi się do wyinterpolowania jej wartości dla dowolnego punktu zdjęcia magnetycznego. Interpolacja numeryczna przy nieliniowym charakterze tych zmian względem czasu i współrzędnych geograficznych wymaga wypracowania optymalnych metod, zbadania ich dokładności i przydatności.

2) wprowadzenie nowoczesnej techniki rejestrowania, przetwarzania i kartograficznego opracowania danych magnetycznych. Umożliwiłoby to dostarczanie użytkownikowi tak aktualnych map, aby nie potrzebował on wprowadzać poprawki ze względu na zmianę wiekową danego elementu pola. Jeśli chodzi o mapę izogon Polski, to przy istniejącej obecnie wartości zmiany wiekowej deklinacji magnetycznej okres tak pojętej aktualności wynosiłby 1—2 lata, co oznaczałoby konieczność wydawania aktualnej mapy raz na 2 lata. Niezależnie od istotnego uproszczenia sposobu korzystania z takiej mapy szybkość cyklu produkcyjnego pozwala na uwzględnienie w procesach obliczeniowych danych pomiarowych z ostatniego roku, co zmniejsza okres ekstrapolacji czasowej przy redukowaniu wyników zdjęcia magnetycznego do epoki opracowania mapy. Zakładając obserwację całej sieci punktów wiekowych każdego roku oraz możliwość uzyskania średnich wartości rocznych elementów pola z obserwatorium w I kwartale następnego roku, na żadnym punkcie wiekowym okres ekstrapolacji nie byłby dłuższy niż 1 rok. Niestety taka obserwacja sieci jest obecnie dopiero w fazie starań, praktycznie więc okres ten może dochodzić na niektórych punktach nawet do 4 lat.

3) zasada wykorzystania do obliczeń każdego pomiaru wykonanego na punktach zdjęcia magnetycznego. Opracowane metody redukcji nie mogą pomijać żadnej obserwacji wykonanej na danym punkcie zdjęcia tzn. muszą być przystosowane do wyrównywania w wypadku istnienia obserwacji nadliczbowych. Jest to ważny warunek, ponieważ punkty powtarzane otwierają możliwość wyznaczania błędów obliczonych wartości, a zatem oceny przydatności stosowanych metod. W związku z tym, jednym z pierwszych kroków w nakreślonym kierunku badań jest utworzenie banku danych magnetycznych. Koncepcja tego banku [9] bierze pod uwagę:

— zakres zbioru, obejmujący wszystkie dane uzyskane w drodze bezpośredniego pomiaru elementów pola na punktach zdjęcia magnetycznego i punktach wiekowych,

— rozszerzalność zbioru zarówno w odniesieniu do nowych punktów, jak i nowych pomiarów na istniejących punktach. Oczywiście zgodnie z tym, co zostało powiedziane w p. 2 przewiduje również

— możliwość oprogramowania banku do celów praktycznych jak przede wszystkim projektowanie zdjęć uzupełniających, wykrywanie błędów grubych, aktualizacja zdjęć poprzez czasoprzestrzenną interpolację, automatyzacja prac kartograficznych,

— przydatność do badań naukowych m.in. analizy dokładności zdjęć magnetycznych, oceny poprawności rozkładu punktów zdjęcia, poszukiwania regularności lub anomalności zmian wiekowych pola magnetycznego Ziemi.

Realizację koncepcji rozpoczęto w 1976 roku w kooperacji z Centrum Informatycznym Geodezji i Kartografii, w wyniku której zrealizowano podstawowy etap prac nad systemem informatycznym „bank danych magnetycznych” w skrócie BDM. Uruchomienie tego systemu umożliwiło dokonanie eksperymentalnych zastosowań opracowanej metody redukcji.

*

Doświadczenia uzyskane na podstawie dotychczasowych badań [4], [5], [7] pozwalają postawić tezę, że wielomian 2-go stopnia jest optymalny do aproksymacji rozkładu horyzontalnego zmian wiekowych deklinacji magnetycznej na obszarze Polski. Do wyznaczenia współczynników istnieje stosunkowo duża ilość spostrzeżeń nadliczbowych, standardowy błąd nie zmniejsza się w sposób istotny wraz ze wzrostem stopnia wielomianu, uwzględniona jest możliwość nieliniowego rozkładu zmian względem współrzędnych geograficznych, wreszcie eliminowane są efekty lokalnych anomalii tych zmian i „zawijania się” powierzchni aproksymujących na granicach rozpatrywanego obszaru. Niestety nie dysponujemy poligonem o dostatecznie znanym rozkładzie zmian wiekowych, stąd brak jest możliwości testowania różnych funkcji aproksymujących. Pozostaje w tym wypadku porównywanie wyników konkretnej aproksymacji z wielokrotnie powtarzаныmi obserwacjami w różnych punktach obszaru, i traktowanie wyników tego porównania jako próby statystycznej. W miarę upływu lat i przybywania materiału obserwacyjnego próba taka będzie oczywiście bardziej reprezentatywna.

Jeśli chodzi o zmiany pola zachodzące w czasie, to sytuacja jest znacznie korzystniejsza: można je badać w oparciu o pełne listy średnich rocznych wartości elementów pola publikowanych przez obserwatoria magnetyczne. Wyniki takiego badania, uzyskane przy zastosowaniu czteroparametrowych krakowianów wyrównawczych HAUSBRANDTA [1] do testowania serii dziesięciu kolejnych średnich rocznych wartości D w 3 obserwatoriach środkowoeuropejskich, przedstawiono w tablicy 1.

Błędy standardowe m_0 stanowiące kryterium trafności doboru wielomianu aproksymacyjnego są ogólnie biorąc rzędu błędu pojedynczego wyznaczenia różnicy deklinacji magnetycznej (ΔD) między punktem wiekowym, a obserwatorium odniesienia.

Uhrynowski [6] podaje względem obserwatoriów Świder, Hel i Belsk odpowiednie wartości $m_{\Delta D}$ równe

	0',64	0',50	0',42
lub	0',55	0',48	0',44

Tablica 1

epoka	Świder		Lvov		Rude Skov	
	D	v	D	v	D	v
1962	1°23,2'	-0,04'				
1963	1 26,1	-0,11				
1964	1 28,0	+0,22	2°44,2'	-0,40'		
1965	1 29,7	+0,22	2 45,2	+0,52		
1966	1 21,1	-0,59	2 46,4	+0,36		
1967	1 32,6	-0,16	2 47,2	-0,06	-1°45,4'	+0,43'
1968	1 32,7	+0,33	2 47,7	-0,60	-1 43,7	-0,58
1969	1 32,5	+0,34	2 47,0	-0,14	-1 43,0	-0,26
1970	1 32,6	-0,26	2 46,7	-0,05	-1 41,8	-0,02
1971	1 33,2		2 46,4	+0,30	-1 40,2	+0,35
1972			2 46,8	+0,42	-1 37,8	+0,52
1973			2 48,8	-0,35	-1 34,2	+0,20
1974					-1 29,2	-0,73
1975					-1 24,7	-0,27
1976					-1 19,4	+0,36
		0,01		0,00		0,00
	$m_0 = \sqrt{\frac{0,7799}{6}} = \pm 0,36$		$m_0 = \sqrt{\frac{1,3846}{6}} = \pm 0,47$		$m_0 = \sqrt{\frac{1,7576}{6}} = \pm 0,54$	

w zależności od zastosowanej metody redukcji. Można więc stwierdzić, że aproksymacja wielomianem 3-go stopnia jest wystarczająca z punktu widzenia dokładności wyznaczenia średniej rocznej wartości deklinacji magnetycznej na punkcie wiekowym. Należy bowiem zauważyć, że zwiększenie liczby obserwacji na poszczególnych punktach wiekowych prowadzi oczywiście do formalnego podniesienia dokładności wyznaczenia D , jednak nie przenosi się to wprost na średnią wartość deklinacji magnetycznej w epoce e , jak to wynikałoby ze wzoru

$$D_{\text{pkt}}^e = D_{\text{obs}}^e + \Delta D$$

ponieważ zależność ta wynika z przyjęcia założenia równoległości zmian pola magnetycznego na punkcie i w obserwatorium. Badając to zagadnienie w odniesieniu do deklinacji magnetycznej na obszarze Polski, Uhrynowski [6] publikuje jako przykład wykres różnic przebiegu zmian pomiędzy Belskiem a Kołobrzegiem w dniu 6.VI.1971 r. Wartość tej różnicy waha się w okresie 6 godzin w przedziale 1'.

W celu bliższego zbadania możliwego wpływu nieznaności zjawiska rozkładu horyzontalnego krótkookresowych — przede wszystkim dobo-

wych — zmian deklinacji magnetycznej wykorzystano magnetogramy stacji polowych uruchamianych na okres od 1 do kilku tygodni na obszarze kraju w latach 1963—1966. Dla dni o niezakłóconym przebiegu zmian odczytywano 3 wartości D w okolicy maksimum i 3 w okolicy minimum z magnetogramów danej stacji polowej i obserwatorium w Belsku w tych samych oczywiście momentach. Odpowiednie amplitudy

$$A = D_{\max} - D_{\min}$$

porównywane między każdą stacją polową a obserwatorium stanowiły podstawę badania rozkładu zmian. Ponieważ stacje polowe nie pracowały równocześnie, amplitudy sprowadzono do wartości porównywalnych przyjmując założenie, że dla każdej stacji stosunek odpowiednich amplitud

$$\frac{A_{\text{st}}}{A_{\text{obs}}} = \text{const.}$$

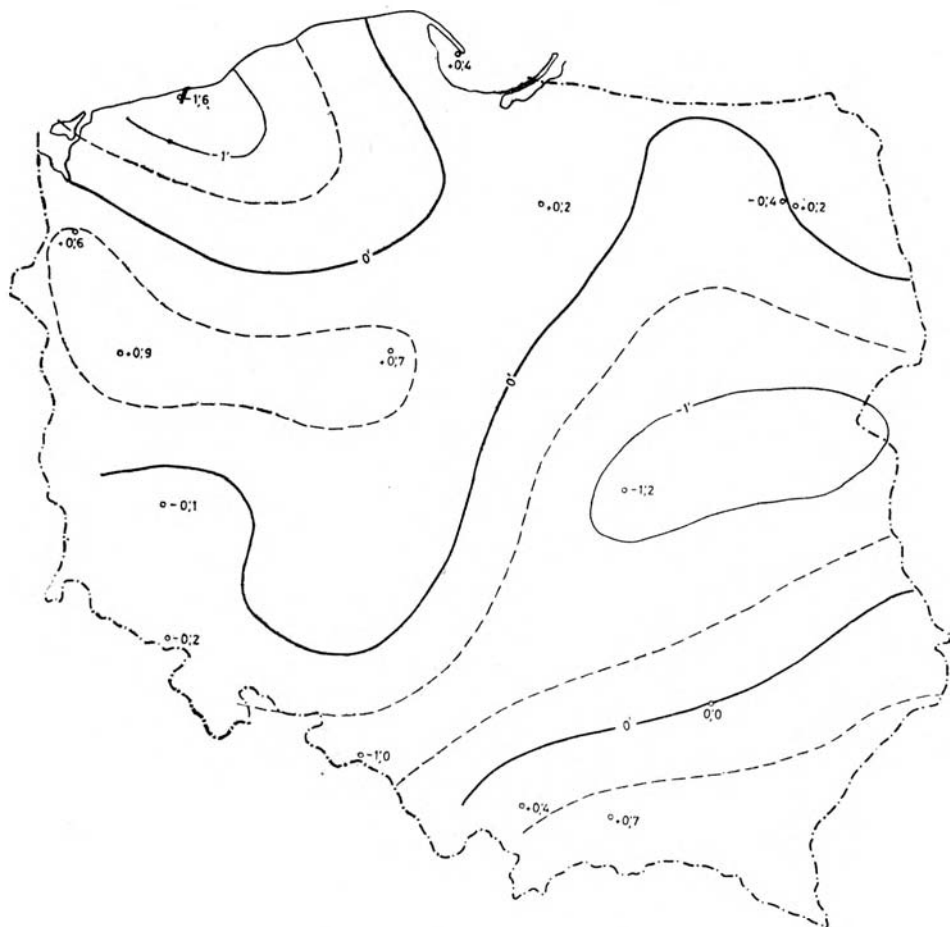
i obliczając na tej podstawie zredukowane wartości $\bar{A}_{\text{st}}$ przy $A_{\text{obs}} = 10'$:

$$\bar{A}_{\text{st}} = 10' \frac{A_{\text{st}}}{A_{\text{obs}}}$$

Średnie wartości $\bar{A}_{\text{st}}$ z każdej stacji wykorzystano do wykreślenia mapy anomalii $\Delta \bar{A}_{\text{st}}$ (rys. 1). Mapa ta ma charakter orientacyjny (przede wszystkim ze względu na liczbę, rozmieszczenie i okres pracy stacji magnetycznych), ale pozwala wnioskować, z jakimi błędami można się liczyć zakładając równoległość krótkookresowych zmian D na obszarze Polski. Widać, że mogą one być większe niż błędy standardowe aproksymacji wielomianem 3-go stopnia pokazane w tablicy 1, co potwierdziłoby przydatność tej aproksymacji do celów badawczych. Tym bardziej cel praktyczny tj. aktualizacja zdjęcia deklinacji magnetycznej może być w ten sposób osiągnięty, ponieważ łączny błąd pomiaru i redukcji na punktach zdjęcia szacowany na $\pm 2'$ jest znacznie większy niż błąd aproksymacji.

*

Prezentowana w niniejszej pracy metoda aproksymacji polega na zastosowaniu funkcji o zasięgu lokalnym, to znaczy obrazujących najprawdopodobniejszy rozkład czasowo-przestrzennego zjawiska przede wszystkim w otoczeniu interesującego nas punktu i epoki. Wyznaczenie współczynników funkcji lokalnej osiąga się poprzez odrzucanie obserwacji odległych i, dodatkowo, odpowiednie zawagowanie pozostałych obserwacji wchodzących w postaci wyrazów wolnych do równań poprawek. Można w ten sposób uzyskać układ równań poprawek, w którym obserwacje bardzo odległe w czasie lub przestrzeni nie będą praktycznie



Rys. 1. Anomalie $\Delta A = \bar{A}_{st} - 11,2'$

wpływały na wyznaczone współczynniki wielomianu, będzie zaś zapewniona dostateczna ilość ważących spostrzeżeń nadliczbowych dla obliczenia średnich błędów wyznaczanych współczynników i uwzględnienia w pewnym stopniu generalnego trendu zmian wiekowych.

Takie postępowanie jest jednocześnie próbą rozwiązania zagadnienia redukcji danych magnetycznych z jednej epoki do drugiej, ponieważ lokalne wielomiany aproksymacyjne trzeba jedynie każdorazowo wyznaczyć dla obu epok oraz wykorzystać je do obliczenia interpolowanych wartości tylko w żądanym punkcie i w tych epokach. Różnica wyinterpolowanych wartości jest szukaną redukcją.

Zmiana wiekowa pola magnetycznego Ziemi zależy od współrzędnych

geograficznych φ , λ i epoki T . Każdy element E tego pola może być więc wyrażony następująco:

$$E^T = E^{T'} + f(\varphi, \lambda, T)$$

lub inaczej

$$qE^T = f(\varphi, \lambda, T),$$

gdzie quasi obserwacja

$$qE^T = E^T - E^{T'}.$$

Biorąc pod uwagę poprzednie rozważania przyjęto dla deklinacji magnetycznej cały wielomian aproksymujący w postaci:

$$f(\varphi, \lambda, T) = a_{10}\varphi^2 + a_9\lambda^2 + a_8\varphi\lambda + a_7\varphi + a_6\lambda + a_5\varphi T + a_4\lambda T + a_3T + a_2T^2 + a_1T^3 + a_0.$$

Najprawdopodobniejsze wartości interpolowane mogą być oczywiście obliczone, kiedy funkcja aproksymująca ma lokalny zasięg. W tym celu najwygodniej jest przyjąć lokalny układ znormalizowanych współrzędnych x , y , t zamiast układu φ , λ (w stopniach) i T w latach)

$$x = \frac{\varphi - \varphi_0}{10^\circ}, \quad y = \frac{\lambda - \lambda_0}{15^\circ}, \quad t = \frac{T - T_0}{10^{\text{lat}}},$$

gdzie λ_0 , φ_0 , T_0 są współrzędnymi, dla których wartość quasi obserwacji qE jest interpolowana. Funkcja $f(\varphi, \lambda, T)$ jest więc teraz zastąpiona przez $F(x, y, t)$.

Ponieważ cała polska sieć magnetycznych punktów wiekowych była zamierzona w 1966 roku można było w miejsce qE podstawić

$$qD = D - D^{1966,5}.$$

Dla uwydatnienia lokalnego charakteru funkcji aproksymującej mogą być wprowadzone wagi p quasi obserwacji wchodzących do równań poprawek. Wagi te nie zależą od błędów obserwacji (w przybliżeniu jednakowo dokładnych), ale od odległości d każdej obserwacji od początku lokalnego układu współrzędnych x , y , t .

Biorąc powyższe pod uwagę każda quasi obserwacja qD^T na magnetycznych punktach wiekowych określa równanie poprawki w postaci

$$\begin{aligned} b_{10}x^2 + b_9y^2 + b_8xy + b_7x + b_6y + b_5xt + b_4yt + b_3t + \\ + b_2t^2 + b_1t^3 + b_0 - qD^T = v \cdot \sqrt{p(x, y, t)} \end{aligned}$$

przy czym równania, dla których $x^2 + y^2 + t^2 > 1$ są odrzucane.

Układ takich równań poprawek umożliwia wyznaczenie metodą najmniejszych kwadratów współczynników $b_0, b_1 \dots b_{10}$ i oczywiście interpolowaną wartość qD^{T_0} w punkcie (φ_0, λ_0) i jej średni błąd, ponieważ w początku lokalnego układu współrzędnych $qD^{(T_0)} = b_0$.

Tablica 2

Nr punktu	Okres redukcji	var D obserw.	var D oblicz. $p = 1/d^2$	Odchyłka	var D oblicz. $p = 1$	Odchyłka
313005	1953—1958	-20,6'	-23,6'	+3,0'	-23,2'	+2,6'
313202	1953—1959	-28,8	-25,9	-2,9	-26,0	-2,8
313307	1954—1959	-22,4	-19,6	-2,8	-20,3	-2,1
322501	1953—1958	-25,0	-24,9	-0,1	-24,8	-0,2
322612	1953—1958	-24,6	-24,9	+0,3	-24,6	0
322904	1953—1958	-21,7	-24,1	+2,4	-23,6	+1,9
323004	1953—1958	-17,1	-23,4	+6,3	-23,2	+6,1
323208	1953—1959	-22,0	-25,8	+3,8	-26,0	+4,0
323602	1954—1959	-21,0	-18,1	-2,9	-19,6	-1,4
	1955—1959	-16,5	-14,9	-1,6	-14,9	-1,6
342301	1953—1957	-20,8	-20,7	-0,1	-21,0	+0,2
	1953—1958	-24,3	-24,4	+0,1	-25,3	+1,0
342705	1953—1958	-23,5	-25,0	+1,5	-25,5	+0,8
343414	1954—1959	-23,1	-19,2	-3,9	-17,9	-2,7
352306	1953—1958	-24,6	-25,4	+0,8	-23,9	+0,9
353002	1954—1958	-17,6	-18,2	+0,6	-19,6	+0,3
362901	1953—1958	-21,8	-24,4	+2,6	-25,2	+2,1
363611	1954—1959	-20,8	-18,6	-2,2	-22,9	-1,2
372402	1953—1958	-25,5	-25,9	+0,4	-17,0	-0,3
373202	1953—1958	-23,5	-22,7	-0,8	-19,4	-0,6
373415	1954—1958	-19,4	-16,2	-3,2	-21,3	-2,4
373711	1954—1959	-20,8	-18,7	-2,1	-25,7	-1,6
382302	1953—1957	-22,7	-22,6	-0,1	-20,4	+0,1
	1953—1958	-25,6	-27,0	+1,4	-24,3	-1,4
382902	1953—1958	-20,7	-24,5	+3,8	-24,0	-1,4
383302	1954—1958	-18,9	-16,9	-2,0	-17,3	+3,3
383709	1954—1958	-17,6	-15,7	-1,9	-16,4	-1,2
392603	1953—1958	-30,8	-26,0	-4,8	-24,8	-6,0
393201	1953—1958	-19,9	-21,1	+3,2	-23,1	+3,2
403109	1953—1958	-20,6	-23,5	+2,9	-23,4	+2,8
413106	1953—1958	-14,7	-23,6	+4,0	-23,6	+4,0
413604	1954—1958	-19,6	-16,8	+2,1	-16,8	+2,1
422103	1953—1958	-27,1	-28,1	+1,0	-26,5	-0,6
422502	1953—1958	-20,4	-25,6	+5,2	-25,2	+4,8
422703	1953—1957	-19,9	-20,1	+0,2	-20,5	+0,6
	1953—1958	-23,8	-24,7	+0,9	-24,7	+0,9
423105	1953—1958	-20,1	-23,8	+3,7	-23,7	+3,6
423504	1954—1958	-15,6	-17,2	+1,6	-16,9	+1,3
432101	1953—1958	-25,6	-28,6	+3,0	-26,5	+0,9
432403	1953—1958	-22,4	-26,7	+4,3	-25,8	+3,4
433406	1954—1957	-15,1	-15,2	+0,1	-13,5	-1,6
442701	1954—1958	-16,8	-17,9	+1,1	-17,2	+0,4
443601	1953—1958	-25,5	-25,0	+0,5	-24,9	+0,4
452402	1954—1958	-18,7	-17,6	-1,1	-16,6	-2,1

Nr punktu	Okres redukcji	var D obserw.	var D oblicz. $p = 1/d^2$	Odchyłka	var D oblicz. $p = 1$	Odchyłka
	1954—1958	-19,5'	-20,3'	+0,8'	-19,8'	+0,3'
453204	1954—1958	-17,8	-18,3		-17,9	+0,1
453604	1954—1958	-18,9	-18,4	-0,5	-16,3	-2,6
462601	1954—1958	-15,6	-19,9	+4,3	-19,4	+3,8
463204	1954—1958	-18,5	-18,3	-0,2	-17,9	-0,6
	1954—1958	-16,4	-20,0	+3,6	-19,4	+3,0
473004	1954—1957	-14,7	-14,8	+0,1	-14,4	-0,3
	1954—1958	-15,4	-18,1	+2,7	-18,4	-3,0
493501	1954—1958	-18,9	-17,9	-1,0	-17,2	-1,7
503002	1954—1958	-18,0	-20,5	+2,5	-18,4	+0,4
503301	1954—1958	-19,0	-18,6	-0,4	-17,7	-1,3
śr. odchyłka $m_{s...}$				+0,74		+0,45
stand. odchylenie..				2,44		2,31

Łatwo zauważyć, że roczna zmiana deklinacji magnetycznej w epoce T_0 będzie

$$\frac{\delta D}{1 \text{ rok}} = \frac{1}{10} b_3,$$

ponieważ

$$\frac{\partial f}{\partial T} = \frac{1}{10} \frac{\partial F}{\partial t}.$$

Praktycznym celem metody jest redukcja zdjęcia magnetycznego z jednej epoki T_1 do drugiej T_2 i sporządzenie map izopor. Trzeba więc najpierw położyć

$$T_0 = T_1$$

a później

$$T_0 = T_2.$$

Rozwiązanie dwóch różnych układów równań poprawek daje

$$\text{var } D^{T_2-T_1} = qD^{T_0=T_2} - qD^{T_0=T_1}.$$

Do sporządzenia map izopor można obliczyć zmiany roczne $\delta D/1$ rok dla dowolnej np. regularnej sieci punktów.

Metoda lokalnych aproksymacji może być użyteczna tylko przy zastosowaniu elektronicznej techniki obliczeniowej. W ten sposób wykonano eksperymentalnie obliczenia var D dla 49 powtarzanych punktów zdjęcia deklinacji magnetycznej Polski. Rezultaty pokazane są w tablicy 2.

Porównanie niewielkich systematycznych błędów m_s wykazuje, że nieco lepszy rezultat otrzymano przy zastosowaniu jednakowych wag $p = 1$ niż $p = \frac{1}{d^2}$. Może to być m.in. symptomem ciągle jeszcze zbyt małej dokładności wyznaczenia średnich wartości rocznych na magnetycznych punktach wiekowych. Rozpatrując ponadto odchylenia standardowe, do aktualizacji zdjęcia deklinacji magnetycznej obszaru Polski dokładność prezentowanej metody należy uznać za wystarczającą wobec błędu pomiaru D szacowanego na $\pm 2'$.

Recenzował: prof. dr Jerzy Bokun

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hausbrandt S.: *Rachunki geodezyjne*. Państw. Przedś. Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa, 1953.
- [2] Jankowski J., Królikowski C.: *O zmianach krótkookresowych ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski*. Acta Geoph. Pol., vol. X, nr 3, Warszawa, 1962.
- [3] Krzemiński W.: *O niektórych problemach opracowania mapy izogon Polski*. Geodezja i Kartografia, tom III, nr 2, Warszawa, 1954.
- [4] Krzemiński W., Uhrynowski A., Żółtowski A.: *Zdjęcie magnetyczne Polski na epokę 1965,0*. IGIK, Warszawa, 1971.
- [5] Małoszewski S.: *O zmianach wiekowych natężenia ziemskiego pola magnetycznego na ziemiach Polski oraz ich zależności od współrzędnych geograficznych i budowy geologicznej*. Zeszyty Naukowe AGH, Rozprawy, nr 44, Kraków, 1965.
- [6] Uhrynowski A.: *Badanie zmian wiekowych magnetycznego pola Ziemi na terenie Polski*. Prace IGIK, tom XXIV, nr 2(56), Warszawa, 1977.
- [7] Uhrynowski A.: *Izopory magnetyczne pola Ziemi w Polsce w okresie 1957—1971*. Prace IGIK, tom XXIV, nr 3(57), Warszawa, 1977.
- [8] Żółtowski A.: *Opracowanie mapy izogon Europy na rok 1972*. Prace IGIK, tom XX, nr 2(47), Warszawa, 1973.
- [9] Żółtowski A.: *Koncepcja banku danych magnetycznych*. IGIK, Warszawa 1973.
- [10] *Pomiary pola magnetycznego Ziemi*. Instrukcja techniczna. GUGiK, Warszawa, 1975.

АНДЖЕЙ М. ЖУЛТОВСКИ

ЦИФРОВОЙ МЕТОД АКТУАЛИЗАЦИИ СЪЕМОК
МАГНИТНОГО СКЛОНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПОЛЬШИ

Резюме

Вековое изменение магнитного поля Земли зависит от географических координат φ , λ и эпохи T . Каждый элемент этого поля E может быть затем выражен следующим образом:

$$ET = ET' + f(\varphi, \lambda, T)$$

или иначе

$$qET = f(\varphi, \lambda, T)$$

где квази — наблюдение

$$qET = ET - ET'$$

Если функция f имеет вид многочлена, следует определить его степень. На основе исследований до сих пор (Малошевски, 1965, Ухрыновски 1977) принято для аппроксимации на территории Польши вторую степень для координат φ , λ . Зато относительно эпохи T степень зависит от элемента магнитного поля и периода аппроксимации. Выполнено экспериментальную аппроксимацию 10-летних серий средних годовых величин магнитного склонения D с помощью многочлена 3 степени относительно T . Для вычислений использовано данные магнитных наблюдений: Львов (СССР), ŚWIDER (Польша), RUDE SKOV (Дания). Результаты представлено в таблице 1. Стардартные ошибки m_0 , являющиеся показателем правильности аппроксимации (Хаусбрандт, 1953), находятся в границах точности измерения. Аппроксимация такая может быть признана удовлетворительной. Многочлен 2-ой степени не принимался во внимание по поводу перегиба кривой D в период 1965—1975 гг. В результате принят для магнитного склонения целый аппроксимирующий многочлен в виде:

$$f(\varphi, \lambda, T) = a_{10}\varphi^3 + a_9\lambda^2 + a_8\varphi\lambda + a_7\varphi + a_6\lambda + a_5\varphi T + a_4\lambda T + a_3T + a_2T^2 + a_1T^3 + a_0$$

Наиболее правдоподобные интерполированные величины могут быть конечно определены, когда аппроксимирующая функция имеет локальный схват. С этой целью более выгодно принять локальную систему нормализованных (стандартных) координат x , y , t , вместо системы φ , λ (в градусах) и T (в годах):

$$x = \frac{\varphi - \varphi_0}{10^\circ}; \quad y = \frac{\lambda - \lambda_0}{15^\circ}; \quad t = \frac{T - T_0}{10\Gamma}$$

где φ_0 , λ_0 , T_0 — координаты, для которых величина квази наблюдения qE интерполирована. Функция $f(\varphi, \lambda, T)$ заменена таким образом функцией $F(x, y, t)$. Так как вся польская магнитная сеть вековых пунктов была измерена в 1966 году, можно было вместо qE подставить:

$$qD = D - D^{1966,5}$$

Для выделения локального характера аппроксимирующей функции могут быть введены веса p квази наблюдений, входящие в уравнения поправок. Веса

эти не зависят от ошибок наблюдений (приблизительно одинаково точных), а от расстояния d каждого наблюдения от начала локальной системы координат x, y, t .

Принимая во внимание вышеуказанное каждое квази наблюдение qDT на магнитных вековых пунктах определяет уравнение поправки в виде:

$$b_{10}x^2 + b_9y^2 + b_8xy + b_7x + b_6y + b_5xt + b_4yt + b_3t + b_2t^2 + b_1t^3 + b_0 - qDT = v \sqrt{p(x, y, t)}$$

при чём уравнения, для которых $x^2 + y^2 + t^2 > 1$, отбрасываются.

Система таких уравнений поправок дает возможность определения методом наименьших квадратов коэффициентов $b_0, b_1, \dots, b_{10}$, а также интерполированную величину qDT_0 в пункте (φ_0, λ_0) и её среднюю квадратическую ошибку, так как в начале локальной системы координат

$$qD(T_0) = b_0$$

Легко заметить, что годовое изменение в эпохе T_0 будет:

$$\frac{\delta D}{1 \text{ год}} = \frac{1}{10} b_3$$

так как

$$\frac{\partial f}{\partial T} = \frac{1}{10} \frac{\partial F}{\partial t}$$

Практической целью метода является редукция магнитной съемки из одной эпохи T_1 в другую T_2 и составление карт изопор. Следует сначала положить:

$$T_0 = T_1$$

а потом

$$T_0 = T_2.$$

Решение двух систем уравнений поправок дает

$$\text{var } D^{T_1-T_1} = qD^{T_0} = T_2 - qD^{T_0} = T_1$$

Для составления карт изопор можно вычислить годовые изменения $\delta D/1$ год для произвольной, например регулярной сети пунктов.

Метод локальных аппроксимаций может быть использован только при применении электронной вычислительной техники. Таким образом выполнено экспериментальные вычисления $\text{var } D$ для 49 повторяемых пунктов съёмки магнитного склонения Польши. Результаты показаны в таблице 2.

Сравнение двух небольших систематических ошибок m_s показывает, что немного лучший результат получено при применении одинаковых весов $p = 1$, чем $p = 1/d^2$. Может это быть, между прочим, симптомом все ещё довольно малой точности определения средних годовых величин на магнитных вековых пунктах.

Рассматривая кроме того стандартные отклонения для актуализации съёмки магнитных склонений территории Польши, точность представленного метода следует признать удовлетворительной относительно ошибки измерения D , оцениваемой на $\pm 2'$.

Перевод: Róża Totstikowa

ANDRZEJ M. ŻÓŁTOWSKI

THE DIGITAL METHOD OF ACTUALIZING OF THE POLAND'S MAGNETIC DECLINATION SURVEY

Summary

The secular variation of geomagnetic field depends on geographic coordinates φ , λ and the epoch T . Thuns any element E of geomagnetic field on the (φ, λ) point can be expressed as follows:

$$ET = ET' + f(\varphi, \lambda, T)$$

or otherwise

$$qET = f(\varphi, \lambda, T)$$

where quasi observation $qET = ET - ET'$.

If the function f has a polynomial form, its degree has to be determined. On the ground of the papers dealing with an approximation of secular variations of geomagnetic field in Polish territory (MAŁOSZEWSKI, 1965; UHRYNOWSKI, 1977) 2nd degree of geographical coordinates φ , λ is assumed. The degree of T depends on the element E and the period of approximation. The 10-year sets of mean annual values of magnetic declination D were experimentally approximated by 3rd degree polynomials. The data were taken from magnetic observatories at Lvov (Soviet Union), Świder (Poland) and Rude Skov (Denmark). The results are shown in table 1.

In any case, standard error m_0 as index of validity of approximation (HAUSBRANDT, 1953) does not exceed the limits of field measurement accuracy. So the approximation can be considered sufficient. The polynomial of 2nd degree of T was not checked due to inflexion of the D -curve in the period 1965—1975. Thus the whole polynomial has the following form:

$$f(\varphi, \lambda, T) = a_{10}\varphi^2 + a_9\lambda^2 + a_8\varphi\lambda + a_7\varphi + a_6\lambda + a_5\varphi T + a_4\lambda T + a_3T + a_2T^2 + a_1T^3 + a_0$$

The most probable interpolated value $f(\varphi_0, \lambda_0, T_0)$ can be obtained when this approximating function has local range. Therefore the x , y , t local coordinates systems are used instead of φ , λ (in degrees) and T (in years) system:

$$x = \frac{\varphi - \varphi_0}{10^\circ}, \quad y = \frac{\lambda - \lambda_0}{15^\circ}, \quad t = \frac{T - T_0}{10^{\text{years}}}$$

So the function $f(\varphi, \lambda, T)$ is replaced by $F(x, y, t)$. As all Polish secular variation stations were measured in 1966, quasi observations of magnetic declination $qD = D - D^{1966,6}$ are substituted for qE . To intensify a local range of the approximating function the weights p of each observation can be included. As all observations D at secular variation stations indicate approximately the same accuracy, the weight p of each quasi observation qD depends only on the distance d from the beginning of x , y , t local coordinates system.

Taking the above statements into consideration, each quasi observation qDT at a secular variation station or in an observatory determines the following observational equation:

$$b_{10}x^2 + b_9y^2 + b_8xy + b_7x + b_6y + b_5xt + b_4yt + b_3t + b_2t^2 + b_1t^3 + b_0 - qDT = v \sqrt{p(x, y, t)}.$$

The observation (observational equation) is rejected when

$$x^2 + y^2 + t^2 > 1.$$

Such an observational equations system enables us, using the least squares method, to calculate the coefficients $b_0, b_1, \dots, b_{10}$ and the interpolated value qDT_0 at the point (φ_0, λ_0) and its mean error, because at the beginning of x, y, t local coordinates system

$$qD(T_0) = b_0$$

The annual change of magnetic declination in T_0 epoch and at the (φ_0, λ_0) point will be:

$$\frac{\delta D}{1 \text{ year}} = b_3$$

because

$$\frac{\partial f}{\partial T} = \frac{1}{10} \frac{\partial F}{\partial t}$$

So this method can be applied to reduce magnetic surveys from one epoch T_1 to another T_2 . At first it ought to be put

$$T_0 = T_1$$

and after

$$T_0 = T_2.$$

The solution of two different observational equations systems give:

$$\text{var } D^{T_2-T_1} = q D^{T_0} = T_1 - q D^{T_0} = T_1$$

The values $\delta D/1 \text{ year}$ in T_1 or T_2 epoch can be calculated for each required, e.g. regular, net of points to interpolate isoporic chart.

The local interpolating polynomials method can be applied only by means of digital computers.

Applying this method, the experimental reductions for 49 repeated points of magnetic declination survey of Poland were done. The results are shown in table 2.

The comparison of two insignificant systematic errors m_s shows that a better result was obtained when the weights $p = 1$ were used, instead of $p = \frac{1}{d^2}$. This may also be a symptom of still too inaccurate determination of mean annual values at secular variation stations.

The values of m_0 and standard deviations show that the accuracy of the here-presented method can be considered sufficient for reducing a magnetic declination survey from one epoch to another on Polish territory.

Tłumaczył: Autor

SPIS TREŚCI

WITOLD MIZERSKI

- Analiza i kryteria wyboru najwłaściwszej metody opracowania analitycznego fotogrametrycznych zdjęć naziemnych 3

BOHDAN BOHONOS

- Niektóre właściwości opracowania map fotograficznych terenów wysokogórskich za pomocą przystawek ortofoto oraz wyniki prac doświadczalno-badawczych 43

ANDRZEJ M. ŻÓŁTOWSKI

- Numeryczna metoda aktualizacji zdjęcia deklinacji magnetycznej obszaru Polski 63

СОДЕРЖАНИЕ

ВИТОЛЬД МИЗЕРСКИ

- Анализ и критерия выбора наиболее подходящего метода аналитической разработки фотограмметрических наземных съёмок 40

БОГДАН БОХОНОС

- Некоторые особенности разработки фотографических карт высокогорных районов с помощью приставок ортофото и результаты опытно-исследовательских работ 59

АНДЖЕЙ М. ЖУЛТОВСКИ

- Цифровой метод актуализации съёмки магнитного склонения территории Польши 75

CONTENTS

WITOLD MIZERSKI

- Analysis and criteria for choice of the most appropriate method of analytical terrestrial photogrammetric elaboration 41

BOHDAN BOHONOS

- Some properties of elaboration of photographic maps for mountain areas using orthophoto equipment and the results of research works 61

ANDRZEJ M. ŻÓŁTOWSKI

- The digital method of actualizing of the Poland's magnetic declination survey 77

