Wyznaczanie zmian wiekowych pola geomagnetycznego

MODEL DIPOLOWY



Naukowcy z IGiK w Warszawie i oddziału IZMIRAN w Petersburgu podjęli próbę wyznaczenia dipolowego modelu globalnego pola magnetycznego i jego ekstrapolowanych zmian wiekowych na 10-20 lat naprzód. Opisanie dipoli magnetycznych będących wynikiem istnienia pętli prądowych we wnętrzu Ziemi zostało w 2005 roku wyróżnione nagrodą ministra transportu i budownictwa.

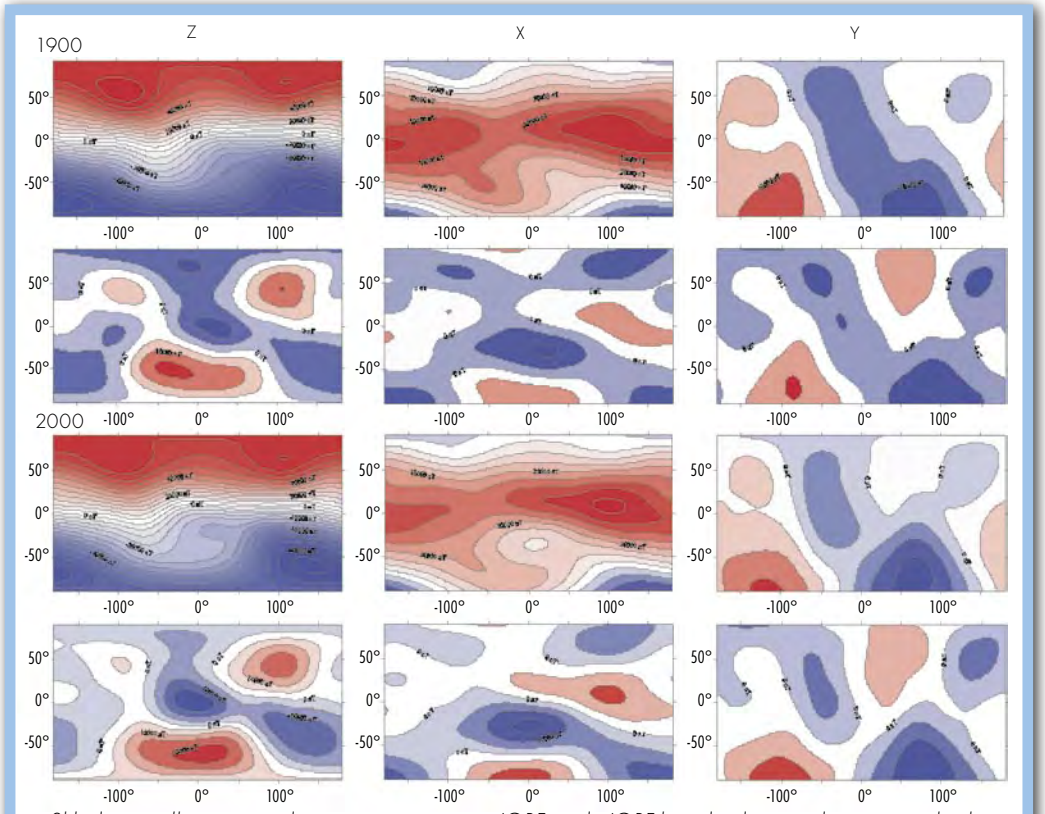
ANDRZEJ SAS-UHRYNOWSKI, ELŻBIETA WELKER

Obserwowany na powierzchni Ziemi przestrzenny rozkład składowych głównego pola magnetycznego Ziemi nie jest regularny. Charakteryzuje się on obecnością globalnych, regionalnych i lokalnych anomalii. Niejednorodność ta przejawia się także w zmianach rozkładu przestrzennego pola w czasie, czyli w przebiegu zmian wiekowych.

MODEL IGRF

Przestrzenna struktura rozkładu pola i przebieg jego zmian wiekowych związane są z procesami zachodzącymi wewnątrz Ziemi. Anomalie globalne są wynikiem istnienia pętli prądowych na granicy ciekłego jądra, a anomalie regionalne i lokalne mają swoje źródła w skorupie ziemskiej. Hipotezy wyjaśniające te związki ciągle nie mają potwierdzenia. W ramach badań nad ziemskim magnetyzmem uczeni tworzą bardziej lub mniej skomplikowane modele tego pola.

Jednym z takich modeli, najbardziej rozpowszechnionym, jest International Geomagnetic Reference Field (IGRF) wykorzystywany do prac naukowych i do niektórych zadań praktycznych. Wynikiem opracowywania tego modelu na podstawie wszystkich dostępnych danych z magnetycznych pomiarów naziemnych, morskich i satelitarnych są publikowane co 5 lat współczynniki rozwinięcia harmonicznego, pozwalające na wyznaczenie wartości pola na aktualną epokę i na ekstrapolację modelu do 5 lat. Model ten przyjmuje się do określenia tzw. pola normalnego. Na rysunku 1 pokazano składowe X, Y i Z całkowitego pola IGRF i pola bez dipola centralnego w epokach 1900 i 2000. Wyraźnie widać, zwłaszcza w składowych X i Z, że po usunięciu wpływu dipola centralnego ujawniają się anomalie magnetyczne, które obrazują rozkład i wielkość pozostałych źródeł pola. Przedstawiony rozkład pola magnetycznego pochodzący od tych dipoli w dwóch epokach XX w. ilustruje zmiany wiekowe, jakie zaszły w tym okresie.



Składowe całkowitego pola geomagnetycznego IGRF i pola IGRF bez dipola centralnego w epokach 1900 i 2000

1

DIPOLE MAGNETYCZNE

Kilka lat temu pracownicy Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie we współpracy z oddziałem petersburskim Insty-

tutu Ziemskiego Magnetyzmu, Jonosfery i Propagacji Fal Radiowych Rosyjskiej Akademii Nauk (IZMIRAN) podjęli próbę wyznaczenia modelu dipolowego pola globalnego i jego ekstrapolowanych zmian wiekowych na 10-20 lat naprzód poprzez odnalezienie i oznaczenie jego źródeł, tzn. opisanie dipoli magnetycznych będących wynikiem istnienia pętli prądowych we wnętrzu Ziemi. Obecność takiego dipola przejawia się na powierzchni Ziemi w postaci anomalii magnetycznej. Skomplikowany obraz skartowanego pola geomagnetycznego świadczy o istnieniu wielu źródeł anomalii, czyli dipoli, które mogą być opisane za pomocą sześciu parametrów. Są to:

r – odległość dipola od środka Ziemi;

$\theta_o = 90 - \varphi_o$, gdzie φ_o – szerokość geograficzna punktu, w którym dipol jest zlokalizowany;

λ_o – długość geograficzna tego punktu;

M – wielkość dipola, czyli jego moment magnetyczny;

ψ – kąt pomiędzy rzutem wektora momentu magnetycznego dipola na płaszczyznę południka λ_o a płaszczyzną styczną do sfery koncentrycznej z powierzchnią Ziemi i przechodzącej przez punkt φ_o i λ_o;

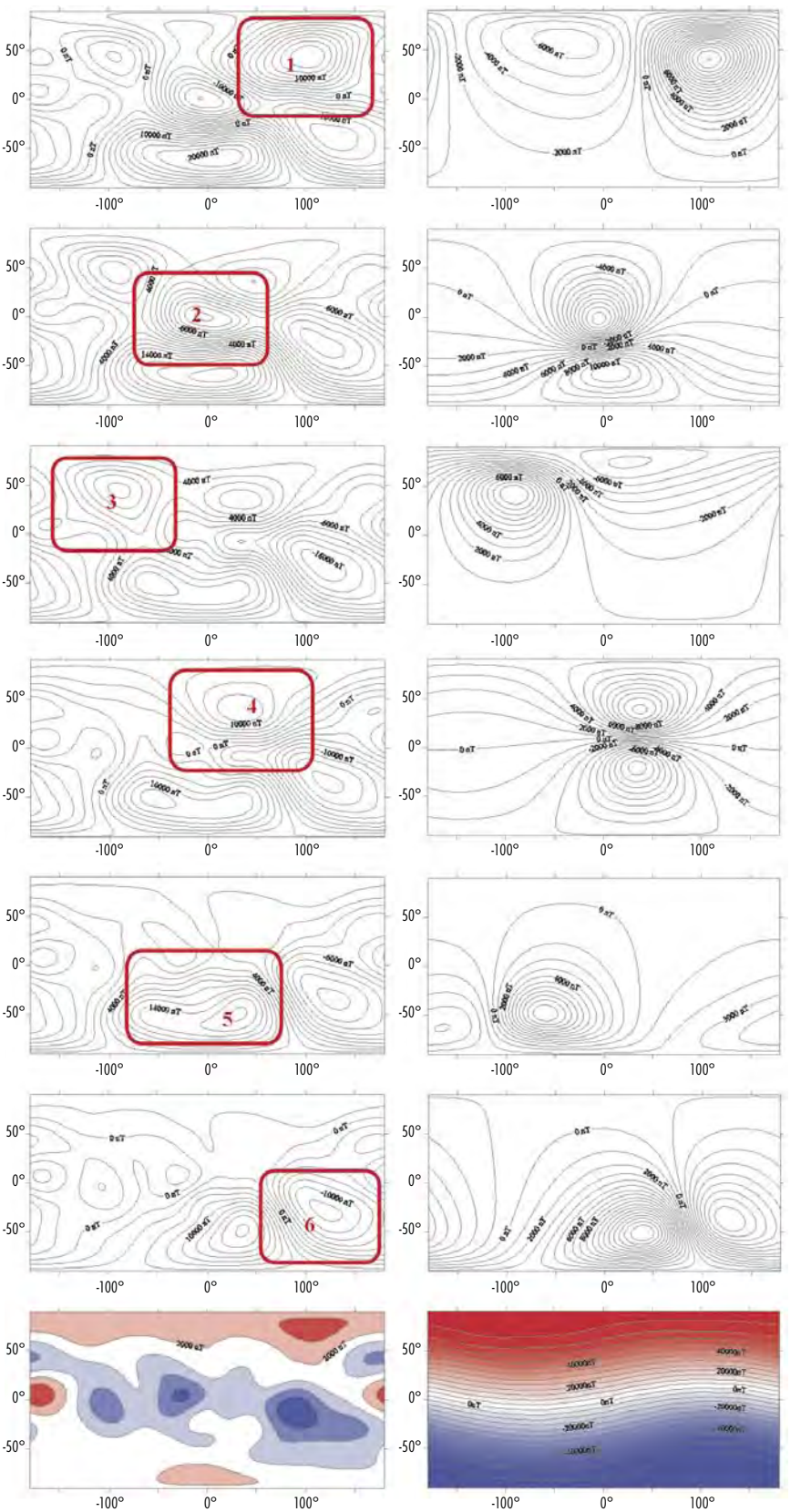
ω – kąt pomiędzy rzutem momentu magnetycznego dipola na płaszczyznę styczną do sfery a płaszczyzną styczną do stożka środkowego opartego na równoleżniku $\varphi = \varphi_o$ w punkcie o współrzędnych φ_o i λ_o.

WYODRĘBNIANIE DIPOLI

Cały proces obliczeniowy przeprowadzono jednocześnie dla wszystkich składowych wektora pola (X, Y, Z, T). Okres objęty opracowaniem to lata 1900-2000. Parametry dipoli obliczono z pięcioletnim interwałem, otrzymując na skali czasu 21 punktów z wyznaczonymi wartościami parametrów. Wybór dipoli wykonywany był na podstawie modelu IGRF zredukowanego o wpływ dipola centralnego przy przyjęciu reguły wyboru od najsilniejszego do najsłabszego. Parametry każdego dipola obliczane były w procesie kolejnych iteracji do momentu ,kiedy błąd standardowy wyznaczany na węzłach siatki IGRF był mniejszy niż 500 nT. Wpływ wyznaczonego dipola odejmowano od pola IGRF i przystępowano do wyznaczenia kolejnego dipola (rys. 2). Prace kontynuowano do momentu, kiedy pozostały obraz pola magnetycznego pokazywał anomalie o wartościach bezwzględnych do 1000 nT (przyjęto je jako „szumy"). Parametry dipola central-

2

Schemat wyboru dipoli i ich eliminacji z modelu IGRF



pole „szumów" po usunięciu wyznaczonych dipoli

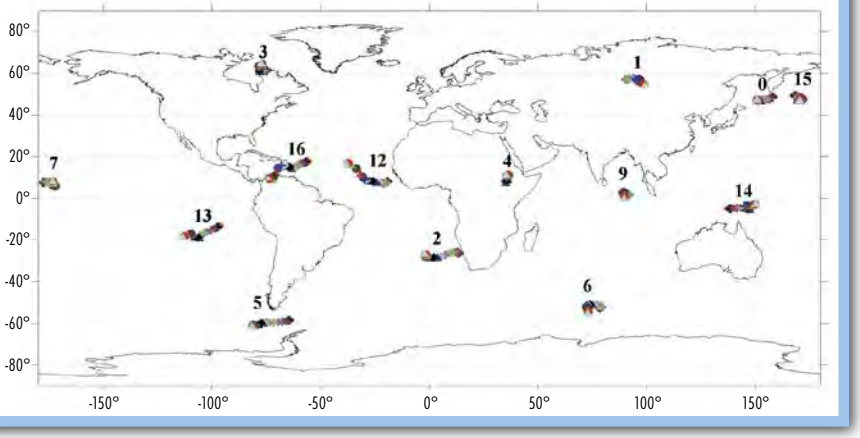
rozkład pola dipola centralnego po usunięciu wpływu wyznaczonych dipoli

nego wyznaczane były na końcu procesu obliczeniowego. Proces ten należało powtarzać tysiące razy, aby wykluczyć ewentualną niejednoznaczność funkcji i uzyskać satysfakcjonujące rezultaty.

W wyniku końcowego procesu iteracyjnego spośród około 40 dipoli wybrano 12 generujących główne pole geomagnetyczne. Można je podzielić na dwie grupy w zależności od wielkości natężenia ich momentu magnetycznego i odległości od środka Ziemi. Razem z dipolem centralnym tworzą one teoretyczny, dipolowy model globalny. Rozmieszczenie tych dipoli i zmiany ich lokalizacji przedstawia rys. 3.

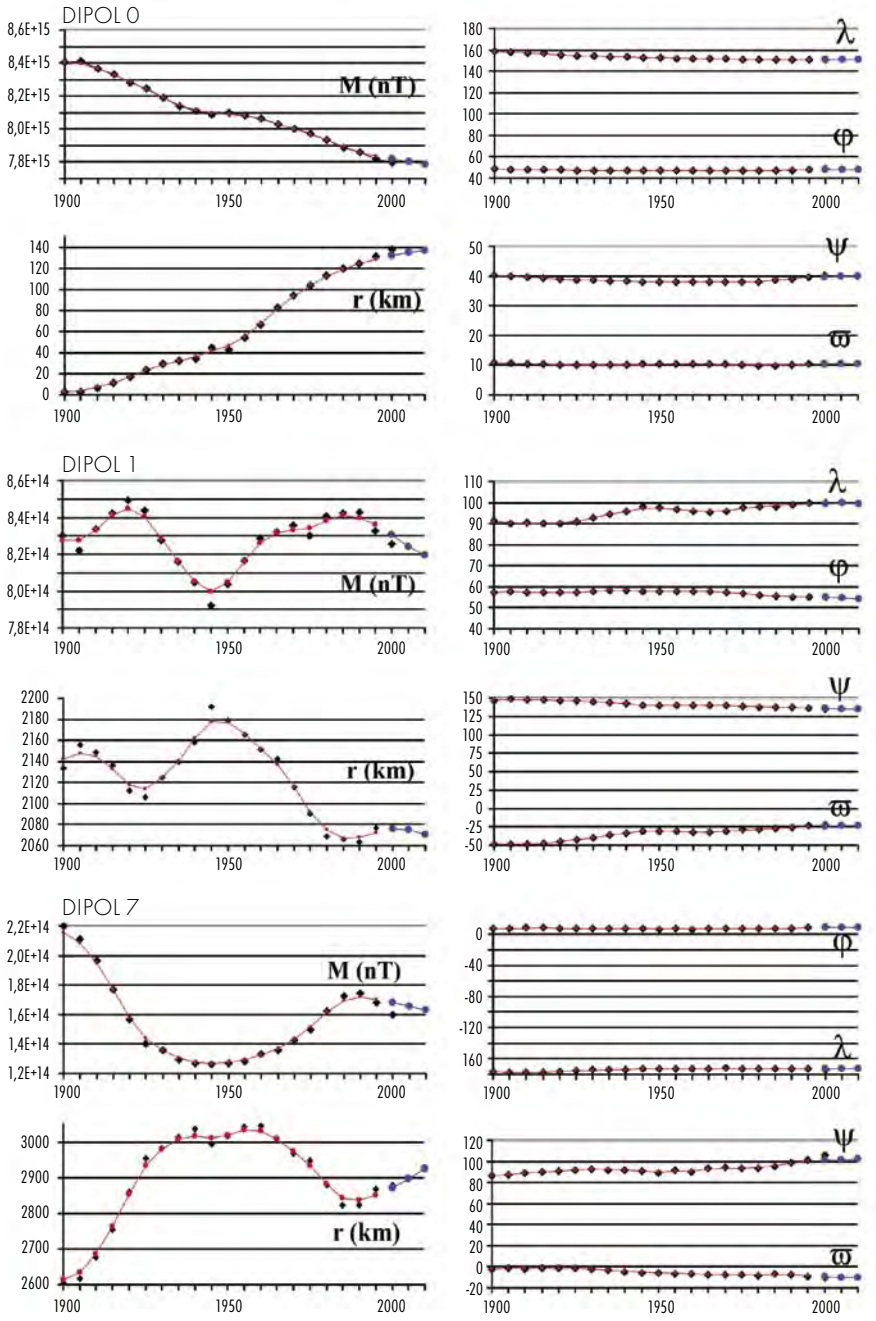
3

Obraz radialnych rzutów dipoli na powierzchnię Ziemi i ich ruch w badanym 100-leciu



4

Sześć parametrów dipola zerowego, dipola pierwszej (1) i drugiej grupy (7)



Na wykresach (rys. 4) przedstawiono jako przykład parametry dipola centralnego (dipol 0) oraz dipoli z grupy pierwszej (dipol 1) i grupy drugiej (dipol 7).

DIPOLE W EUROPIE

Dokładną analizę pola dipolowego przeprowadzono dla obszaru Europy będącego bezpośrednio rejonem naszego zainteresowania i pozwalającego na dobrą weryfikację danych ze względu na gęstą sieć obserwatoriów geomagnetycznych. Rys. 5 pokazuje obrazy składowych X, Y, Z pola geomagnetycznego Europy w wybranej epoce 1985.5 opracowane na podstawie pola IGRF, model dipolowy oraz ich różnice. Jak można zauważyć różnice modelu IGRF i modelu dipolowego dochodzą do 400 nT. Jest to bardzo dobry wynik przy założeniu poziomu „szumów" 1000 nT.

Weryfikację poprawności obliczeń wykonano nie tylko na podstawie modelu IGRF, ale głównie rzeczywistych danych z obserwatoriów europejskich.

PRZEWIDYWANIE POLA MAGNETYCZNEGO

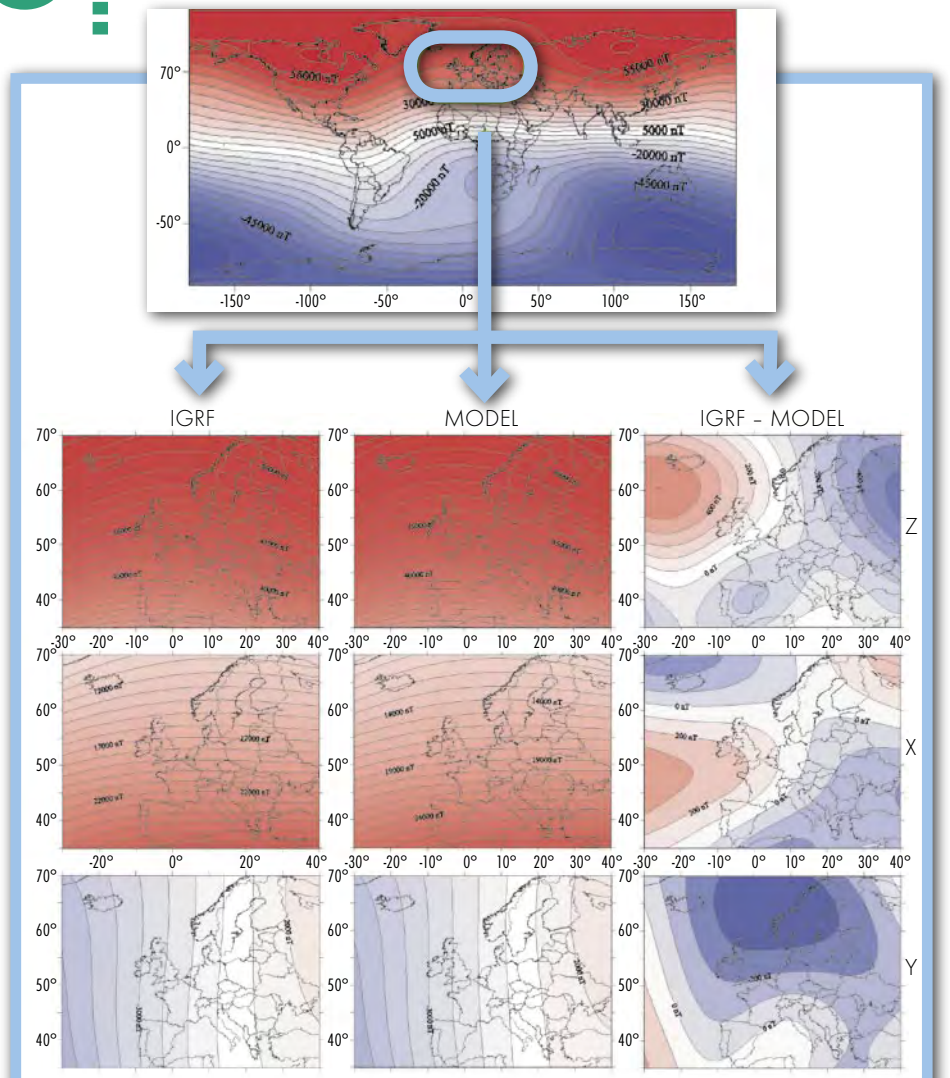
Głównym celem pracy nie było opracowanie modelu dipolowego na aktualne epoki, gdyż to zadanie spełnia dobrze model IGRF, ale ekstrapolowanie zmian pola globalnego na podstawie modelu dipolowego na co najmniej 10-20 lat. Wyznaczone w procesie iteracji parametry 12 głównych dipoli zostały wygładzone (aproksymowane) metodą liniowej predykcji, LPC [5], a następnie ekstrapolowane do epoki 2015 w stałych 5-letnich interwałach. Różnice wynikające z danych ekstrapolowanych i danych IGRF na epokę 2000.5 zawiera tabela na s. obok. Również na wykresach (rys. 4) naniesiono kolorem niebieskim wartości ekstrapolowane opracowywanych parametrów.

Dalsze analizy i opracowania wykazały, że dołączenie do grupy opracowanych 12 głównych dipoli tylko dwóch dipoli „europejskich" – słabszych, ale mających wpływ na pole Europy – znacznie przybliża model dipolowy do modelu rzeczywistego otrzymanego na podstawie rejestracji obserwatoryjnych. Różnice między modelem rzeczywistym i modelem z dołączonymi dwoma dipolami „europejskimi" nie przekraczają ±300 nT. Dla uzyskania lepszych wyników należałoby wybrać z pola „szumów" kilka mniejszych dipoli wpływających na pole europejskie i dołączyć je do modelu globalnego. Można też zastosować inną metodę ekstrapolacji parametrów.

Niewątpliwym sukcesem tej pracy jest pierwsze przedstawienie globalnego pola geomagnetycznego (wszystkich jego składowych) jako wyniku oddziaływania konkretnych źródeł magnetycznych we wnętrzu Ziemi.

ANDRZEJ SAS-UHRYNOWSKI, ELŻBIETA WELKER

Literatura
- 1. Alldreddge L.R., Streams C.O., 1969: Dipole model of the sources of the Earth's magnetic field and secular change. J. Geophys. Res., Tom 69;
- 2. Diomina I.M., Kasyanenko L.G., Sas-Uhrynowski A., 1998: On vector representation of secular variation of the geomagnetic field. Prace IGiK, vol. XLV, nr 96;
- 3. Demina I., Farafonova Yu., Sas-Uhrynowski A., Welker E., 2002: Modeling the main geomagnetic field by set of optimal dipoles. Proceedings of the 4'th Oersted International Science Team (OIST-4) Conference, Kopenhaga;
- 4. Kasyanenko L.G., Demina I.M., Sas-Uhrynowski A., 2002: Przedstawlenie glavnovo magnitnovo polia Ziemli sistemoi optimalnyh po orietacii i miestopolojheniiu dipoliei. Geomagnetism i Aeronomia, Tom 42.



Obraz składowych wektora pola globalnego 1985 wyznaczony z modelu IGRF, modelu dipolowego i ich różnice

5

RÓŻNICE WYNIKAJĄCE Z DANYCH EKSTRAPOLOWANYCH I DANYCH IGRF NA EPOKĘ 2000.5

M/R^3 [nT]	Δ [%]	R [km]	Δ [%]	Współrzędne położenia dipola				Kąty orientacji wektora momentu magnetycznego dipola				Nr
				Φ [°]	Δ [°]	Λ [°]	Δ [°]	Ω [°]	Δ [°]	Ψ [°]	Δ [°]	
30 060	0,3	138	4,5	48,66	0,63	151,07	0,07	10,47	0,17	40,27	0,66	0
3182	0,6	2077	0,0	55,04	0,17	99,68	0,16	-22,22	1,90	134,22	1,48	1
2595	0,4	2542	0,3	-25,71	0,51	-3,56	2,08	-12,90	0,62	187,42	1,22	2
1737	1,9	2581	0,4	66,48	0,95	-78,29	0,53	24,62	1,43	172,31	1,61	3
2541	2,9	2502	1,4	10,83	0,46	34,45	0,21	4,00	0,84	3,68	0,69	4
1328	4,3	2728	0,9	-61,10	0,01	-81,20	1,38	48,23	0,75	27,90	0,95	5
2928	1,7	2444	1,1	-57,47	1,12	71,98	0,95	88,74	1,72	159,00	0,10	6
	2,0		0,7		0,54		0,89		1,21		1,01	F
615	5,2	2878	0,2	9,58	1,19	-174,44	1,44	-10,39	0,81	105,97	4,67	7
392	12,4	3401	1,4	-3,05	1,30	88,15	1,85	5,57	3,73	-33,06	2,03	9
128	1,0	3571	0,7	-17,00	0,35	-114,99	1,19	56,97	2,40	-157,24	0,06	13
208	11,4	3354	1,2	-2,93	0,35	151,84	1,96	-8,59	2,19	31,01	0,14	14
565	2,7	2860	1,0	47,80	0,38	170,49	0,79	-26,42	1,71	-46,41	0,51	15
142	2,0	3270	0,2	12,06	0,52	-79,65	3,26	41,97	0,38	98,15	0,03	16
	8,1		1,6		1,31		2,78		3,28		2,42	S

Oznaczenia: M – moment magnetyczny dipola, R – promień Ziemi, r – odległość dipola od środka Ziemi, Δ – błąd prognozowania, F – średnia wielkość błędu prognozowania według dipoli pierwszej grupy, S – średnia wielkość błędu prognozowania według dipoli drugiej grupy