

MÉTODY WYZNACZANIA ROZKŁADU REGIONALNEGO POLA MAGNETYCZNEGO ORAZ REGIONALNYCH ANOMALII MAGNETYCZNYCH W POLSCE

UKD 556.838.2).3.04.(438)

Nateżenie pola magnetycznego na powierzchni Ziemi, po wyeliminowaniu jego części zmiennych, można uważać za sumę nateżeń pól magnetycznych pochodzących od ziemskiego dipola magnetycznego, zaburzeń występujących na dużych obszarach tzw. anomalii kontynentalnych oraz zaburzeń związanych z geologiczną budową badanego obszaru. Aby z pomierzonych wartości nateżenia pola magnetycznego wydzielić anomalie magnetyczne związane ze strukturą geologiczną, należy od pomierzonych wartości nateżenia pola magnetycznego odjąć składowe pochodzące od dwu pierwszych źródeł, czyli tzw. pole normalne. W ten sposób otrzymuje się magnetyczne anomalie związane z regionalną i lokalną budową geologiczną.

Normalne pole magnetyczne ma w porównaniu z normalnym polem grawimetrycznym bardziej skomplikowaną strukturę i nie da się przybliżyć dla powierzchni Ziemi wzorami wyprowadzonymi teoretycznie. Początkowo przy opracowywaniu mapy anomalii magnetycznych na terenie Polski (A. Dąbrowski, 1) używano wzoru:

$$\Delta Z(\varphi) = Z(\varphi) - 43541 - 556(f - 50^\circ 45') \dots \quad [1]$$

gdzie: φ — szerokość geograficzna

Pole normalne w tym wzorze nie jest zależne od długości geograficznej. Wydaje się, że jedynie pierwsze przybliżenie magnetycznego pola normalnego odpowiada temu warunkowi. Z geologicznego punktu widzenia interesujące jest wykorzystanie pomiarów magnetycznych do tworzenia ogólnego modelu geologicznego Polski. Należy więc szukać metod matematycznych, pozwalających na wydzielenie tej części pola magnetycznego, która nie jest związana z

geologiczną budową regionalną Polski oraz metod, dzięki którym można budować regionalne modele geologiczne na podstawie pomiarów magnetycznych. Doświadczenie uzyskane podczas interpretacji geologicznej wyników pomiarów magnetycznych na znacznie mniejszych obszarach niż teren Polski wskazuje na skuteczność takiej drogi poszukiwań.

Do analizy można wyzyskać wyniki pomiarów S. Małoszewskiego (5). Zarówno ilość tych pomiarów, jak również ich rozmieszczenie nie pozwalają na dokładne przybliżenie pola magnetycznego i jego analizę. Wystarczają one jednak na to, by ocenić metody określania regionalnego pola magnetycznego na terenie Polski.

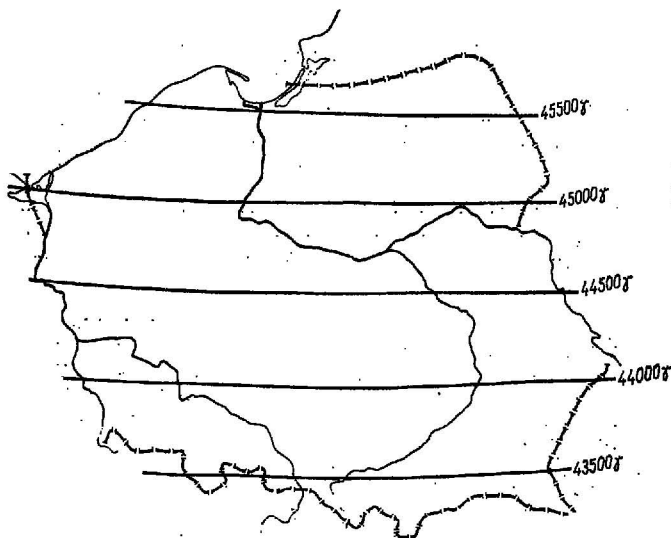
PRZYBLIŻANIE ROZKŁADU POLA MAGNETYCZNEGO NA TERENIE POLSKI ZA POMOCĄ SZEREGÓW POTĘGOWYCH

Obliczenie tego przybliżenia wykonał S. Małoszewski (5). Przy założeniu, że każda ze składowych pola magnetycznego jest opisana równaniem:

$$N = N_0 + AAf + B\Delta\lambda + C(\Delta f)^2 + D\Delta f\Delta\lambda + E(\Delta\lambda)^2 \quad [2]$$

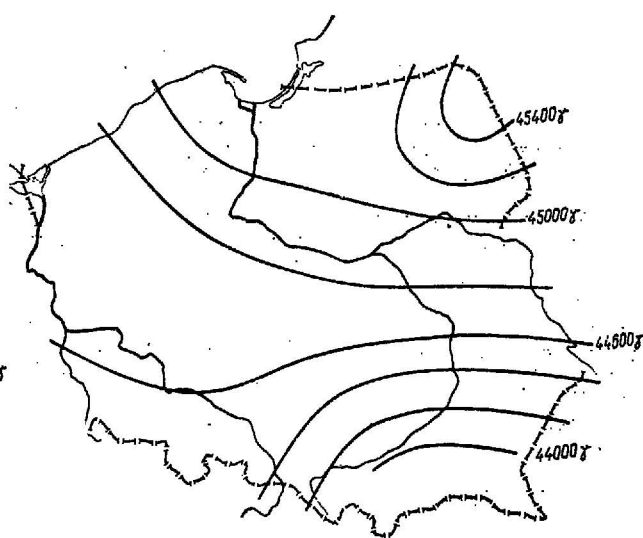
można wyznaczyć współczynniki A, B, C, D, E — dla szeregu obserwacji metodą najmniejszych kwadratów. Z wyników obliczeń przeprowadzonych dla wykonanych przez tego autora pomiarów uśrednionych na epokę 1958,5 wynika, że pole normalne jest najlepiej przybliżane wielomianami pierwszego rzędu (ryc. 1) Wielomiany wyższych rzędów uwzględniają regionalną budowę geologiczną Polski.

Przy obliczaniu pola normalnego składowej Z dla epoki 1957,5, zgodnie ze wzorem [2], K. Kara-



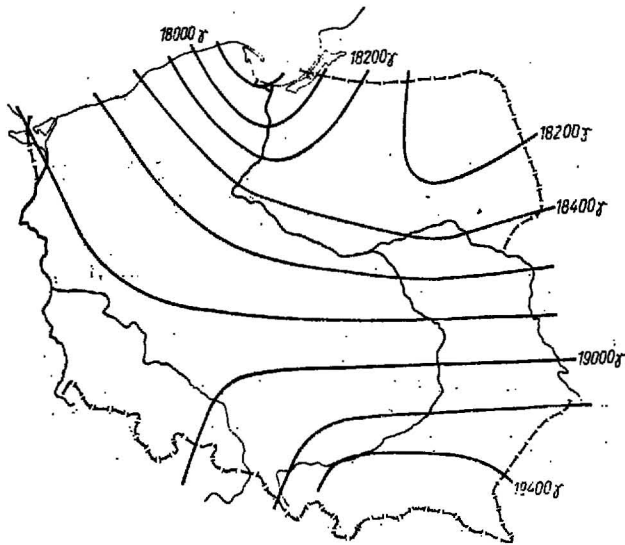
Ryc. 1. Przybliżenie składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski za pomocą wielomianu pierwszego rzędu.

Fig. 1. Approximation of vertical component of Earth magnetic field of Poland using first order polynomial.



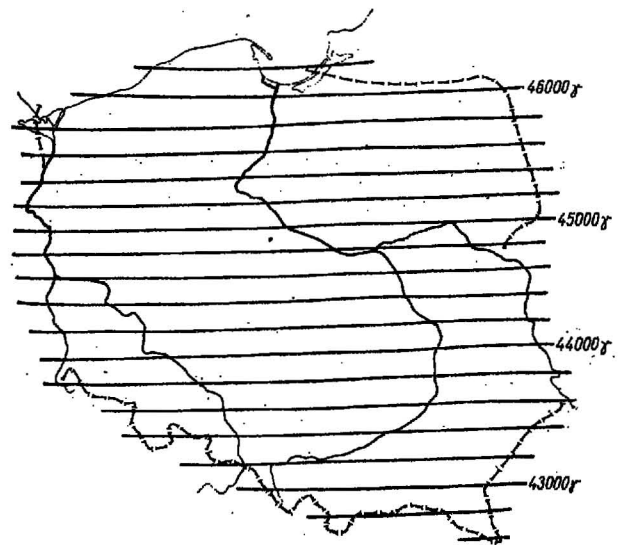
Ryc. 2. Przybliżenie składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski za pomocą funkcji harmonicznych.

Fig. 2. Approximation of vertical component of Earth magnetic field of Poland using harmonic functions.



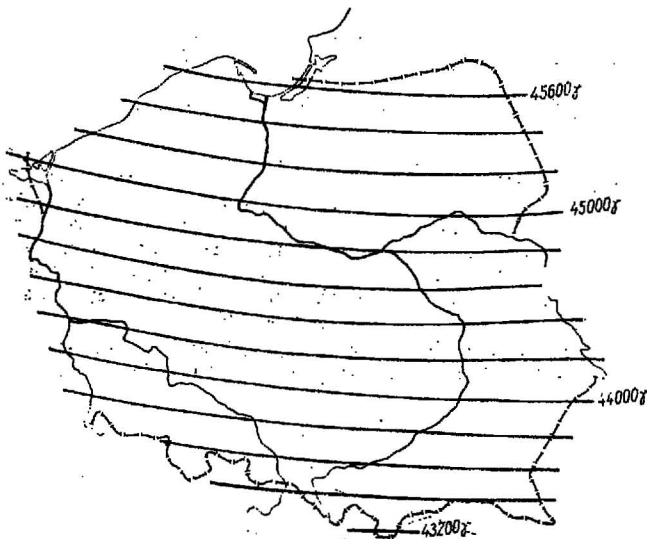
Ryc. 3. Przybliżenie składowej poziomej ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski za pomocą funkcji harmonicznych.

Fig. 3. Approximation of vertical component of Earth magnetic field of Poland using harmonic functions.



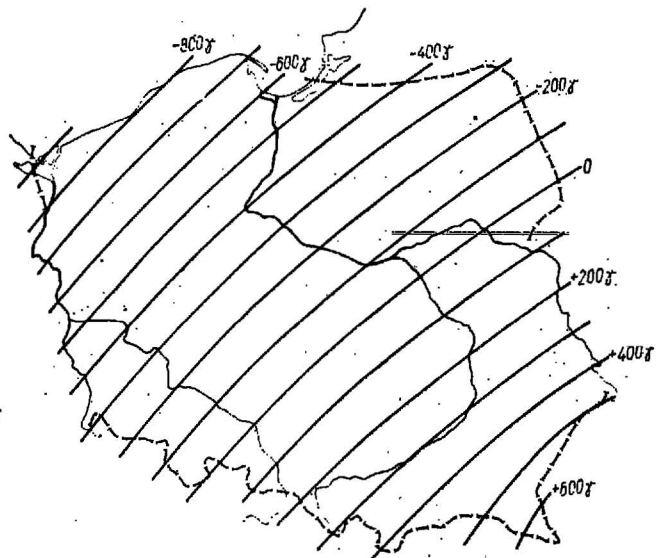
Ryc. 4. Przybliżenie składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski za pomocą pierwszego wyrazu szeregu Gaussa.

Fig. 4. Approximation of vertical component of Earth magnetic field of Poland using the first expression of Gauss series.



Ryc. 5. Przybliżenie składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski za pomocą dwóch wyrazów szeregu Gaussa.

Fig. 5. Approximation of vertical component of Earth magnetic field of Poland using two expressions of Gauss series.



Ryc. 6. Różnica przybliżeń składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski za pomocą jednego i dwóch wyrazów szeregu Gaussa.

Fig. 6. Differences in approximations of vertical component of Earth magnetic field of Poland made using one and two expressions of Gauss series, respectively.

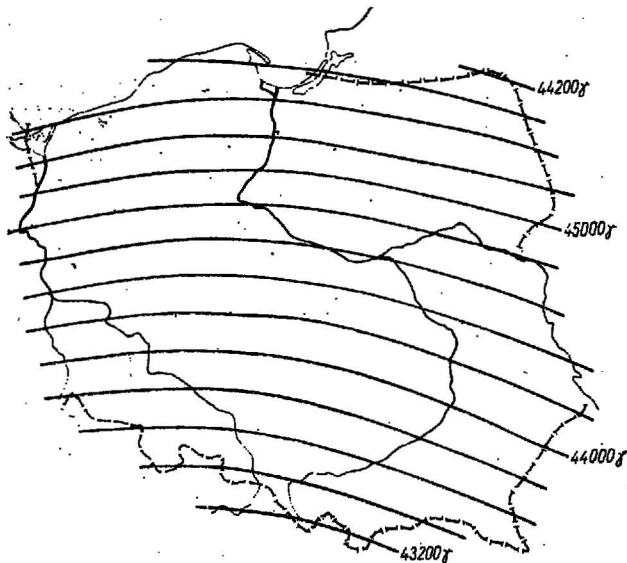
czym użył innych danych pomiarowych. Skorzystał on z wyników uzyskanych w kilkudziesięciu obserwatoriach zagranicznych oraz wielu punktach pomiarowych na terenie Polski. Dane krajowe zgrupowano, a następnie wyznaczono wartości liczbowe reprezentujące grupę oraz wagę statystyczną, którą się tym wartościom przypisuje. Składniki związane z krzywizną izolacji są w tym przybliżeniu bardzo małe i otrzymany rezultat jest zbliżony do wyników z przybliżeń wielomianem pierwszego rzędu.

PRZYBLIŻANIE POLA MAGNETYCZNEGO ZA POMOCĄ FUNKCJI HARMONICZNYCH

W celu wydzielenia regionalnego trendu z powierzchni pomiarowej przybliża się ją powierzchnią

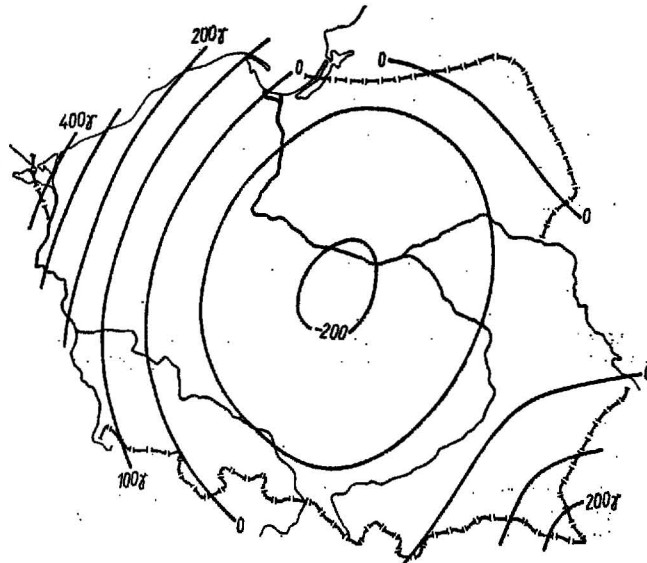
utworzoną z kilku wyrazów szeregu potęgowego lub ortogonalnego. Dopasowanie powierzchni odbywa się na podstawie kryterium najmniejszych kwadratów. Tutaj zostanie przedstawiony inny sposób obliczania przybliżeń pola regionalnego. Wiadomo, że zarówno potencjał pola magnetycznego, jak i jego składowe spełniają równanie Laplace'a, czyli są funkcjami harmonicznymi. Funkcji dopasowania będzie się szukać za pomocą iteracyjnego algorytmu Gaussa-Seidlera. Wartości dopasowania $U(x, y)$ będziemy obliczać za pomocą algorytmu:

$$U(x, y) = \frac{1}{h^2} [U(x+h, y) + U(x-h, y) + U(x, y+h) + U(x, y-h) - 4U(x, y)] \dots \quad [3]$$



Ryc. 7. Przybliżenie składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski za pomocą trzech wyrazów szeregu Gaussa.

Fig. 7. Approximation of vertical component of Earth magnetic field of Poland using three expressions of Gauss series.



Ryc. 8. Różnica przybliżeń składowej pionowej ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski za pomocą dwóch i trzech wyrazów szeregu Gaussa.

Fig. 8. Difference in approximations of vertical component of Earth magnetic field of Poland made using two and three expressions of Gauss series, respectively.

dla kwadratowej sieci pomiarowej z oczkiem h . Sieć konstruujemy w ten sposób, aby w jej oczkach znalazły się również wartości pomiarowe. Kryterium dopasowania określa się ze związku:

$$\sum_x \sum_y |U^{k+1}(x, y) - U^k(x, y)| < \epsilon \dots \quad [4]$$

gdzie: k — wskaźnik określający ilość literacji.

Zakłada się, że konieczne w procesie obliczeniowym wartości brzegowe, są równe średnim wartościom w punktach pomiarowych. Przy prawidłowej interpolacji, wyników obliczeniowych i wystarczającej gęstości punktów pomiarowych, wartości brzegowe wpływają na wyniki obliczeniowe w sposób nieznaczny. Dokładność przybliżenia zależy od gęstości punktów pomiarowych i ich rozmieszczenia. Z danych pomiarowych należy wykluczyć wartości ekstremalne i wyraźnie zaburzone. Wyniki obliczeń przedstawiono na ryc. 2 i 3. Widać z nich, że omówiona metoda może znaleźć zastosowanie w tworzeniu regionalnych modeli geologicznych na podstawie pomiarów magnetycznych.

ROZWIJANIE SKŁADOWYCH NATEŻENIA POLA MAGNETYCZNEGO W SZEREG GAUSSA

Przy założeniu, że przyczyny pola magnetycznego na Ziemi tkwią we wnętrzu kuli ziemskiej, K. F. Gauss (3) wyprowadził wzory pozwalające przybliżyć składowe natężenia pola magnetycznego. Składowe te: północną X , wschodnią Y , pionową Z można napisać jako:

$$\begin{aligned} X &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \frac{\partial P_n^m(\cos \theta)}{\partial \theta} \\ Y &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (mg_n^m \sin m\lambda - h_n^m \cos m\lambda) \frac{P_n^m(\cos \theta)}{\sin \theta} \\ Z &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n [(n+1)g_n^m \cos m\lambda + (n+1)h_n^m \sin m\lambda] P_n^m(\cos \theta) \end{aligned} \quad [5]$$

Powyższe wzory zastosowano do przybliżania natężenia pola magnetycznego całej Ziemi. Zagadnienie zbliżności szeregów [5] dotychczas nie jest rozwiązane. Badanie dalszych jego wyrazów jest uciążliwe, ze względu na szybki wzrost ilości współczynników g_n^m i h_n^m . Dlatego przy obliczaniu rozkładów składowych natężenia pola magnetycznego na Ziemi ograniczono się do kilku współczynników. Zastosowano wzory [5] do przybliżania rozkładów pola magnetycznego na terenie Polski. Obliczenia prowadzono dla wartości n równych 1, 2 i 3. Dla każdej z tych wartości n obliczono współczynniki g_n^m i h_n^m metodą najmniejszych kwadratów. Dla $n=1$ i 2 wyniki obliczeń uzyskane dla Polski są porównywalne z wynikami uzyskanymi dla kuli ziemskiej.

Na podstawie uzyskanych współczynników przeprowadzono obliczenia rozkładu składowych pola magnetycznego na terenie Polski. W celu wyznaczenia wartości n , przy którym pole nie jest jeszcze związane z budową geologiczną, prowadzono dodatkowo badania różnic między rozkładami przybliżonymi szeregami Gaussa o n i $n-1$ wyrazach. Obliczony obraz składowej pionowej pola magnetycznego uzyskanej dla $n=1, 2$ i 3 oraz różnic między tymi dopasowaniami podano na mapach 4—8.

Izolinie składowej pionowej natężenia ziemskiego pola magnetycznego uzyskane z obliczenia szeregu Gaussa dla n równego jeden są równoległe do równoleżników. Można więc powiedzieć, że uzyskane rozkłady nie zależą od długości geograficznej. Widać tutaj analogię do założeń poczynionych przy obliczaniu anomalii magnetycznych wzorem [2]. Przy obliczaniu rozkładów pionowej składowej pola magnetycznego na terenie Polski, za pomocą dwóch wyrazów szeregu Gaussa, otrzymane izolinie są równoległe i nachylone w kierunku zachodnim. Różnica między rozkładami uzyskanymi dla $n=1$ i $n=2$ nie jest związana z żadnymi formami geologicznymi. Istnieje bardzo duża zbliżność między rozkładem pola magnetycznego na terenie Polski, uzyskanym za pomocą szeregu potęgowego pierwszego stopnia, a rozkładem uzyskanym z przybliżania wyników pomiarów natężenia pola magnetycznego dwoma wyrazami szeregu Gaussa. Wreszcie rozkłady uzyskane w wyniku przybliżenia pomiarów magnetycznych trzema wy-

razami szeregu Gaussa są niestabilne, tzn. dla obliczeń prowadzonych za pomocą wyników uzyskanych w różnych latach otrzymuje się różne wyniki. Powodem tych rozbieżności jest zbyt mała ilość danych pomiarowych w obliczeniach.

Można jednak stwierdzić, że różnice między uzyskanymi przybliżeniami za pomocą dwóch i trzech wyrazów szeregu Gaussa wykazują wpływ regionalnej budowy geologicznej kraju na rezultaty obliczeń.

Przy interpretacji geologicznej wyników pomiarów magnetycznych należy od wyników pomiarowych odjąć wartości przybliżenia uzyskanego wielomianem potęgowym pierwszego rzędu lub szeregiem Gaussa dla $n = 2$. W ten sposób wyeliminuje się tę część pola

magnetycznego, która nie jest związana z regionalną budową geologiczną. Współczynniki w wielomianie i w szeregu Gaussa należałoby obliczyć z użyciem znacznie większej ilości punktów pomiarowych rozłożonych w sposób regularny. Wyniki obliczeń można stabilizować lub sporządzić monogramy dla obliczenia przybliżenia w dowolnym punkcie Polski. Przybliżanie pola magnetycznego za pomocą szeregów harmonicznych daje bardzo dobre rezultaty przy tworzeniu regionalnych modeli geologicznych na terenie Polski.

Dr Henryk Marcak
Akademia Górniczo-Hutnicza
Międzyresortowy Instytut Geofizyki Stosowanej i Geologii
Naftowej
30-059 Kraków
al. Mickiewicza 30

LITERATURA

1. Dąbrowski A., Karaczun K. — Mapa magnetyczna Polski 1:1 000 000, (Atlas Geologiczny Polski, tablica 9), 1956.
2. Dąbrowski A., Karaczun K. — Mapa magnetyczna Polski 1:2 000 000, Biul. Inst. Geol. 1958, nr 137.
3. Gauss K. F. — Izbrannyje trudy po ziemnomu magnetizmu. Izdat. AN SSSR, 1952.

4. Karaczun K. — Pole normalne składowej pionowej z magnetyzmu ziemskiego z obszaru Polski dla epoki 1957,5. Kwart. geol. 1965, nr 2.
5. Małoszewski S. — O zmianach wiekowych natężenia ziemskiego pola magnetycznego na ziemiach Polski oraz ich zależności od współrzędnych geograficznych i budowy geologicznej. Zesz. nauk. AGH, Kraków, 1965.
6. Paul K. K. — A method of computing residual anomalies from Bouguer gravity map by applying relation technique. Geophysics. vol. 32, 1967, no. 4.

SUMMARY

The methods of establishing regional structure of magnetic field of Poland are analysed and the technique of elimination of the part of that field not related to regional geological structure of the country is given. The methods of iterative adjustment of harmonic functions to measurement data are introduced for the first time to the magnetic studies. The results obtained have shown that these methods of interpretation are better than the older ones for building reliable regional geological models. The results obtained may be used in reinterpretation of magnetic data.

РЕЗЮМЕ

В статье дан анализ методов определения региональной структуры магнитного поля на территории Польши. Рассмотрены способы исключения той части поля, которая не связана с региональным геологическим строением страны. Применены не используемые до сих пор в магнитных работах методы итерационного согласования гармонических функций с данными измерений. Полученные результаты разрешают строить более совершенные модели регионального геологического строения в сравнении с применяющимися до сих пор методами интерпретации. Эти результаты можно использовать для новой интерпретации магнитных данных.