

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ГЕОМАГНЕТИЗМ  
И  
АЭРОНОМИЯ

Том XIII

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

5

---

МОСКВА · 1973

**УЧЕТ ВЛИЯНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА И ПОВЕРХНОСТНОЙ  
НЕОДНОРОДНОСТИ КОНТИНЕНТОВ НА ПЕРЕМЕННОЕ  
ГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ**

*М. С. Жданов, М. Н. Бердичевский*

Методы, изложенные в [1, 2], позволяют подойти к решению задачи об учете влияния мирового океана и приповерхностной неоднородности континентов на переменное магнитное поле Земли. Задачу можно разделить на две части: 1) определение нормального импеданса Земли, 2) определение нормального переменного геомагнитного поля.

Рассмотрим сферическую модель Земли радиуса  $R$ , окруженную непроводящей атмосферой и состоящую из неоднородной пленки  $S$ , ограниченной сферами  $r = R + 0$ ,  $r = R - 0$  и сферически-однородного ядра, наружный слой которого ( $R_1 \leq r \leq R - 0$ ) имеет нулевую проводимость. При этом нормальный геоэлектрический разрез модели определяется функцией

$$\sigma_n(r) = \begin{cases} 0, & R_1 \leq r \leq R - 0, \\ \sigma(r), & r < R_1. \end{cases} \quad (1)$$

Модель возбуждается ионосферными сторонними токами, меняющимися по закону  $\exp(-i\omega t)$ . Колебания поля предполагаются столь медленными, что повсюду можно пренебречь токами смещения. Поверхностная проводимость пленки  $S$  известна.

Первая задача формулируется следующим образом: по магнитному полю  $\mathbf{H}$ , наблюдаемому на земной поверхности, требуется определить нормальный импеданс Земли, т. е. импеданс, зависящий только от  $\sigma_n$ .

Для решения задачи воспользуемся результатами работы [2]. В этой работе получены выражения для коэффициентов Фурье  $h_{r^a}$  и  $h_{r^s}$  разложения радиальных составляющих аномального геомагнитного поля и его  $S$ -компоненты

$$h_{r^a} = \frac{i\omega\mu_0 R h_r + (l+1) Z_n(\omega, l) l h_\varphi}{i\omega\mu_0 R - l Z_n(\omega, l)}, \quad (2)$$

$$h_{r^s} = \frac{l(l+1)\psi}{i\omega\mu_0 R - l Z_n(\omega, l)} \frac{Z_n}{R}, \quad (3)$$

где  $h_r$ ,  $h_\varphi$  — коэффициенты Фурье разложения радиальной и широтной составляющих наблюдаемого поля;  $\omega$  — круговая частота;  $\mu_0$  — магнитная проницаемость вакуума;  $l$  — степень сферической гармоники;  $Z_n$  — нормальный импеданс;  $\psi = \psi_l^m$  — коэффициенты Фурье разложения токовой функции, определяемые из системы уравнений

$$i\omega\mu_0 R^2 h_r = \frac{2l+1}{4\pi} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=-k}^k \psi_k^n \alpha_k^n, \quad (4)$$

где

$$\alpha_k^n = \alpha_k^n(l, m) = \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \left\{ P_k^n(\cos \theta) \left[ -\frac{k(k+1)}{S} - \frac{in}{\sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{1}{S} \right) + n \operatorname{ctg} \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{1}{S} \right) \right] - P_k^{n+1}(\cos \theta) \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{1}{S} \right) \right\} e^{-i(n-m)\varphi} P_l^m(\cos \theta) \sin \theta \, d\varphi \, d\theta.$$

В рассматриваемой модели аномальное поле представлено только  $S$ -компонентой. Приравняв  $h_{rn}$  и  $h_r^S$  находим нормальный импеданс

$$Z_n(\omega, l) = \frac{i\omega\mu_0 R h_r}{[\psi/R - h_\varphi](l+1)l}. \quad (5)$$

Этот результат удобно записать следующим образом:

$$Z_n(\omega, l) = KZ(\omega, l), \quad (6)$$

где  $Z(\omega, l)$  — импеданс, определяемый по  $h_r, h_\varphi$  с помощью известных формул [3], полученных для сферически-однородной модели (т. е. модели без неоднородной пленки  $S$ )

$$Z(\omega, l) = \frac{-i\omega\mu_0 R h_r}{l(l+1)h_\varphi} = \frac{-i\omega\mu_0 R h_r}{l(l+1)h_\theta}, \quad (7)$$

$K$  — поправочный множитель, учитывающий влияние неоднородной пленки  $S$

$$K = \left( 1 - \frac{\psi}{R h_\varphi} \right)^{-1}. \quad (8)$$

Очевидно, что влияние неоднородной пленки  $S$  существенно, когда

$$|\psi| \geq 0,1R|h_\varphi|.$$

Вторая задача заключается в определении нормального переменного магнитного поля, т. е. поля с исключенной  $S$ -компонентой. Коэффициенты Фурье этого поля запишем

$$h_{rn} = h_r - h_r^S, \quad h_{\varphi n} = h_\varphi - h_\varphi^S. \quad (9)$$

Значения  $h_r^S$  и  $h_\varphi^S$  получим, воспользовавшись формулами (3), (5) и соотношением

$$h_\varphi^S = h_\theta^S = -\frac{1}{(l+1)} h_r^S$$

вытекающим из потенциальности и соленоидальности  $S$ -компоненты геомагнитного поля в атмосфере.

Таким образом, опуская промежуточные выкладки, находим

$$h_{rn} = KMh_r, \quad h_{\varphi n} = Mh_\varphi, \quad h_{\theta n} = Mh_\theta, \quad (10)$$

где

$$M = \frac{i\omega\mu_0 R - lZ(\omega, l)}{i\omega\mu_0 R - lKZ(\omega, l)}.$$

Полученные формулы удобны как для теоретических, так и для экспериментальных оценок влияния мирового океана и неоднородностей континентов на переменное геомагнитное поле.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. С. Жданов, М. Н. Бердичевский, О. Н. Жданова. Геомагн. и аэронавигация, 1973 (в печати).
2. М. Н. Бердичевский, М. С. Жданов. Геомагн. и аэронавигация, 1974 (в печати).
3. М. Н. Бердичевский, Л. Л. Ваньян, Э. Г. Файнберг, Геомагн. и аэронавигация, 1969, 9, 372.

Московский институт нефтехимической и газовой промышленности  
Московский государственный университет

Статья поступила  
21 декабря 1972 г.