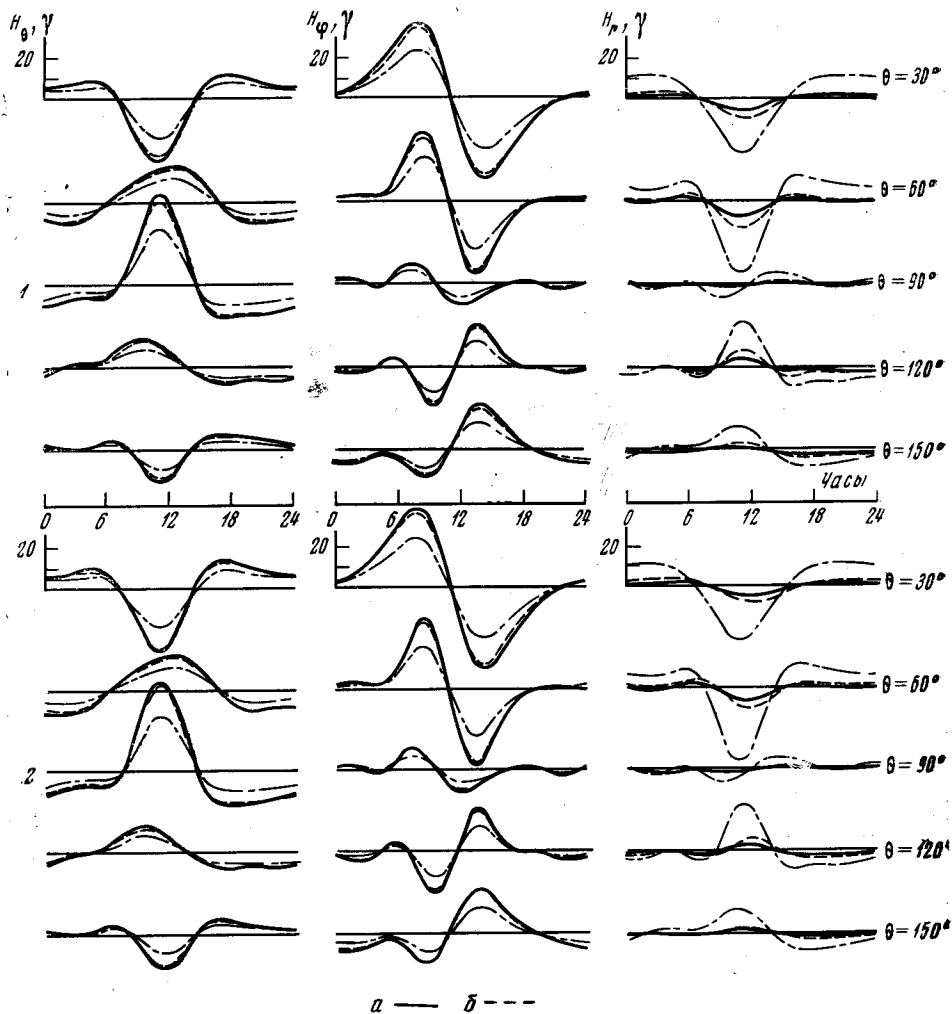


О ВЛИЯНИИ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЗЕМЛИ НА S_q -ВАРИАЦИИ

М. Н. Бердичевский, Л. Л. Ваньян, Э. Б. Файнберг

Спокойные солнечно-суточные S_q -вариации геомагнитного поля зависят от распределения удельного сопротивления ρ Земли. Здесь можно выделить два аспекта: а) влияние радиального распределения ρ , среднего для больших регионов, б) влияние локальных долготных и широтных неоднородностей ρ . В настоящей статье рассмотрен первый аспект.

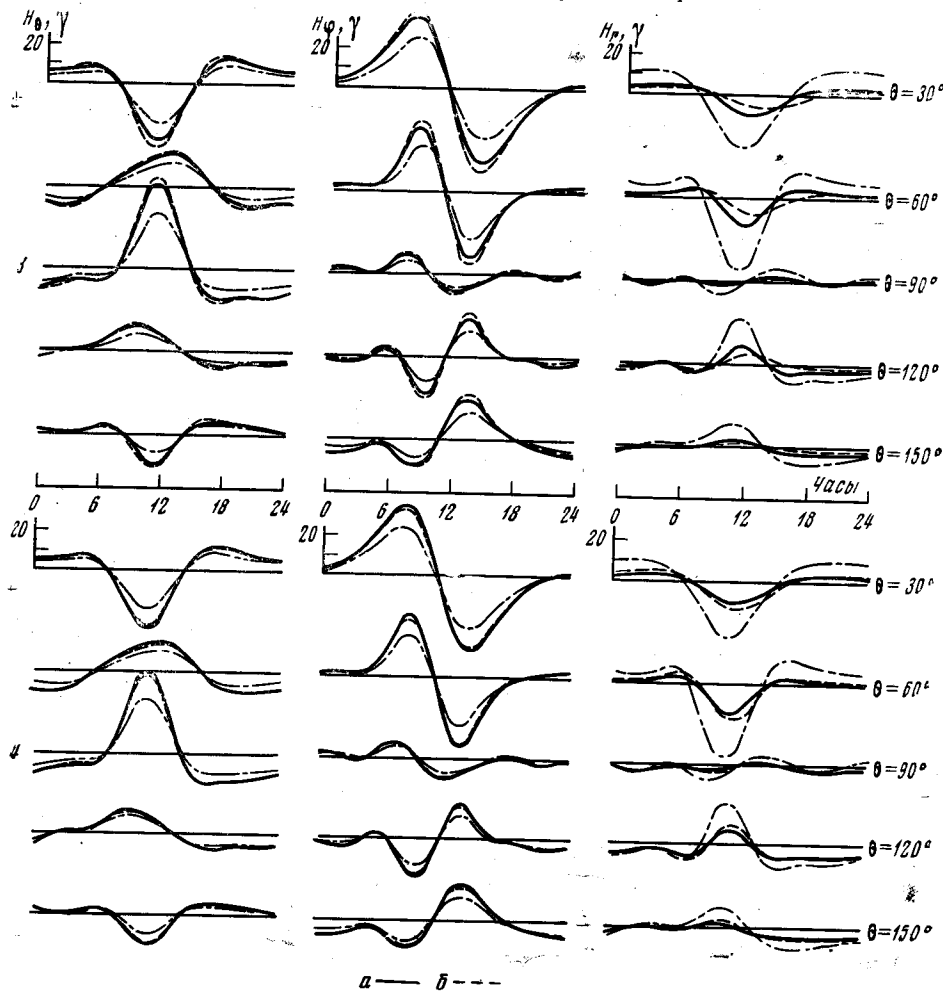


Фиг. 1

Пусть размеры исследуемого региона настолько велики, что его среднее распределение $\rho(r)$ без большой погрешности можно распространить на всю Землю. Для анализа связи между S_q и $\rho(r)$ воспользуемся разложением компонент H_r , H_θ , H_φ , в основе которого лежит упрощение Шустера [1, 2]

$$\begin{aligned} H_r &= - \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n V_n^m \left[n - (n+1) \frac{W_n^m}{V_n^m} \right] e^{-imt} P_n^m(\cos \theta), \\ H_\theta &= - \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n V_n^m \left[1 + \frac{W_n^m}{V_n^m} \right] e^{-imt} \frac{dP_n^m(\cos \theta)}{d\theta}, \\ H_\varphi &= i \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n V_n^m \left[1 + \frac{W_n^m}{V_n^m} \right] \frac{me^{-imt}}{\sin \theta} P_n^m(\cos \theta), \end{aligned} \quad (1)$$

где V_n^m и W_n^m — внешняя и внутренние части магнитного потенциала; θ — полярное расстояние; n — степень сферической гармоники; m — ее порядок, совпадающий с номером временной гармоники; t — местное время в угловой мере.



Фиг. 2

При расчетах ограничимся $n \leq 5$ и $m \leq 4$, что, как известно, обеспечивает вполне удовлетворительную аппроксимацию S_q -вариаций (исключая авроральную и экваториальную зоны). Значения внешнего потенциала V_n^m возьмем по данным [3].

Рассмотрим несколько характерных распределений удельного сопротивления $\rho(r)$:

1. $\rho_1 = 100 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $h_1 = 0,1 \text{ км}$, $\rho_2 = 10^4 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $\rho_3 = 0,1 \text{ ом} \cdot \text{м}$,
 $h_2 = 200 \text{ км}$ (а), $h_2 = 400 \text{ км}$ (б),
2. $\rho_1 = 0,25 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $h_1 = 2,5 \text{ км}$, $\rho_2 = 10^4 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $\rho_3 = 0,1 \text{ ом} \cdot \text{м}$,
 $h_2 = 200 \text{ км}$ (а) и $h_2 = 400 \text{ км}$ (б),
3. $\rho_1 = 1 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $h_1 = 2 \text{ км}$, $\rho_2 = 10^3 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $h_2 = 400 \text{ км}$,
 $\rho_3 = 1 \text{ ом} \cdot \text{м}$ (а),
 $\rho_1 = 1 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $h_1 = 2 \text{ км}$, $\rho_2 = 10^3 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $h_2 = 50 \text{ км}$,
 $h_3 = 20 \text{ км}$, $\rho_4 = 10^3 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $h_4 = 330 \text{ км}$, $\rho_5 = 1 \text{ ом} \cdot \text{м}$
4. $\rho_1 = 10^3 \text{ ом} \cdot \text{м}$, $h_1 = 400 \text{ км}$, $\rho_2 = 1 \text{ ом} \cdot \text{м}$ (а), $\rho_2 = 10 \text{ ом} \cdot \text{м}$ (б).

Распределения 1, 2, 3 могут быть отнесены соответственно к щитам, океанам и платформам. В каждом из этих распределений взяты две модели верхней мантии: в 1, 2 непроводящая часть верхней мантии имеет толщину $h_2 = 200 \text{ км}$ (а) и 400 км (б), в 3 непроводящая часть верхней мантии имеет толщину $h_2 = 400 \text{ км}$ (а) и содержит промежуточный проводящий слой, возникающий в результате частичного плавления (б). Распределение 4 — упрощенная модель Земли с различным удельным сопротивлением проводящей части верхней мантии.

Для всех этих распределений найдем отношения потенциалов W_n^m / V_n^m [2] и путем синтеза по формуле (1) определим временной ход компонент первичного (внешнего) и полного (внешнего и внутреннего) геомагнитного поля на различных полярных расстояниях θ . Синтезированные S_q -вариации, отвечающие распределениям 1—4, показаны на фиг. 1, 2 (штрих-пунктиром изображены вариации внешнего поля). Кривые построены для $\theta = 30, 60, 90, 120, 150^\circ$.

Вследствие индукции в Земле тангенциальные компоненты полного поля по сравнению с внешним возрастают по амплитуде примерно на 40%, а радиальная уменьшается в несколько раз. При этом фазы полного и внешнего полей несущественно отличаются друг от друга (фазовый сдвиг не превышает 1 час).

Интересно посмотреть, в какой мере распределение $\rho(r)$ влияет на S_q -вариации. Анализ показывает следующее.

1. Электропроводность приповерхностного слоя Земли в тангенциально-однородной модели практически не сказывается на S_q -вариациях. Действительно, кривые S_q для щитов и океанов почти совпадают (фиг. 1, кривые 1а — 2а, 1б — 2б).

2. Электропроводность верхней мантии значительно сильнее влияет на радиальную и слабее на тангенциальные компоненты поля. Так, моделям с глубиной до проводящей части мантии 200 и 400 км отвечают кривые H_θ , H_φ , различающиеся по амплитуде на 5—10%, и кривые H_r , амплитуды которых расходятся на 50—80% (фиг. 1, кривые 1а — 1б, 2а — 2б). Примерно такую же картину имеем для упрощенной двухслойной модели Земли с удельным сопротивлением $\rho = 1$ и $10 \text{ ом} \cdot \text{м}$ (фиг. 2, кривые 4а — 4б). Существенно, что увеличение электропроводности глубоких слоев, как и приближение хорошо проводящего слоя к земной поверхности, приводит к уменьшению амплитуды радиальной компоненты H_r .

3. Промежуточный проводящий слой в верхней мантии может заметно повлиять на S_q -вариации (фиг. 2, кривые 3а — 3б). Так, слой с продольной проводимостью $2 \cdot 10^4 \text{ сименс}$, лежащий на глубине 50 км, уменьшает амплитуду H_r на 30% (фиг. 2, кривые 3а — 3б).

Ясно, что, если расхождение между амплитудами наблюдаемых S_q -вариаций существенно больше, чем в рассмотренных моделях, их следует объяснить искажающим действием горизонтальных геоэлектрических неоднородностей.

Авторы благодарны Н. А. Аверочкиной и В. Е. Фирсовой за расчеты синтетических кривых S_q .

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Бенъкова. Тр. НИУГУГМС, 1941, сер. VI, вып. 1.
2. М. Н. Бердичевский, Л. Л. Ваньян, Э. Б. Файнберг. Геомагн. и аэронавигация, 1969, 9, 372.
3. S. Chapman, J. Bartels. Geomagnetism, Oxford Univ. Press., 1940.

Московский государственный университет
 Институт космических исследований АН СССР
 Институт земного магнетизма,
 ионосферы и распространения радиоволн АН СССР
 Институт физики Земли и атмосферы АН ТуркмССР

Статья поступила
 19 октября 1970 г.