

09;12

Особенности частотной зависимости горизонтальных компонент магнитного поля в ультра- и сверхнизкочастотном диапазонах

© *Е.Д. Терещенко, А.Е. Сидоренко, В.Ф. Григорьев,
А.Н. Васильев, Л.А. Собчаков, А.В. Васильев*

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Мурманск
E-mail: general@pgi.ru
Российский институт мощного радиостроения, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 27 сентября 2004 г.

С помощью искусственного источника излучения экспериментально исследована частотная зависимость горизонтальных компонент магнитного поля в ультра- и сверхнизкочастотном диапазонах. Обнаружено существенное отличие полученных результатов от расчетных значений, соответствующих однородной по глубине подстилающей поверхности.

Искусственные электромагнитные поля ультра- и сверхнизкочастотного диапазонов (УНЧ и СНЧ) можно эффективно использовать как для оценки состояния ионосферы [1], так и для глубинной электроразведки земной коры [2].

В настоящем сообщении впервые представлены результаты экспериментов по генерации и измерению полей в диапазоне 1–130 Hz. Целью экспериментов являлось изучение частотной зависимости амплитуды горизонтальных компонент магнитного поля.

Эксперименты проводились на Кольском полуострове. Генерация поля производилась последовательно на 8 частотах в диапазоне 1–130 Hz. Время работы на каждой частоте составляло 10–15 min. Электромагнитное поле, излучаемое горизонтальной антенной протяженностью 56.5 km, принималось на удалении 80 km специально изготовленным индукционным магнитометром, имеющим две горизонтальные ортогональные антенны, ориентированные относительно магнитного меридиана (H -компонента в направлении магнитного севера, D -компонента — в западном направлении, магнитное склонение восточное — 11°).

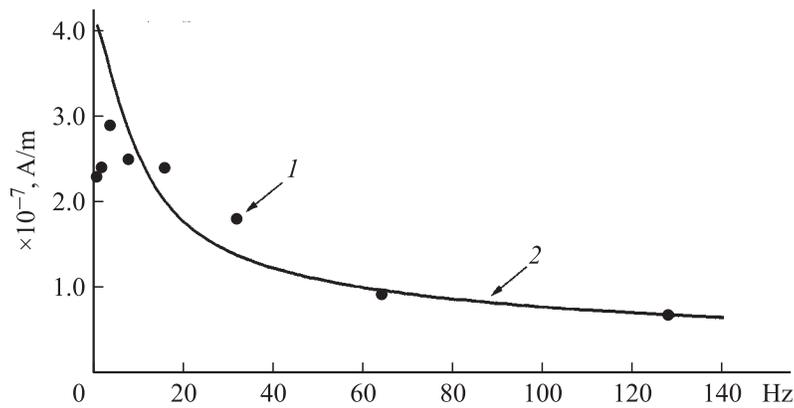


Рис. 1. Зависимость амплитуды D -компоненты напряженности магнитного поля от частоты: 1 — экспериментально измеренные значения; 2 — расчетные значения.

Антенны магнитометра представляют собой конструктивно идентичные катушки с числом витков около 2.3×10^5 , намотанных на ферритовые сердечники. Антенны находились на специальных жестких немагнитных постаментах на удалении около 150 м от ближайших источников электромагнитных помех промышленной частоты 50 Гц.

Накопление принимаемого сигнала длительностью до 3 мин и использование цифровой обработки и позволило получить достаточно хорошее соотношение сигнал/шум. Оцифровка сигнала производилась с частотой дискретизации 5 кГц синхронно на двух каналах: для компонент D и H . Полезный сигнал выделялся в полосе 0.05 Гц. По результатам статистической обработки экспериментальных данных были получены усредненные амплитуды D - и H -компонент для 8 частот.

Для сравнения на рис. 1 представлены расчетные кривые для компонент H_x и H_y , соответствующие геометрическим условиям эксперимента и модели однородной по глубине Земли с удельной проводимостью $\sigma = 4.7 \cdot 10^{-5}$ С/м.

Значения компонент H_x и H_y поля прямолинейного горизонтального излучателя при наличии границы раздела двух сред (Земля–воздух)

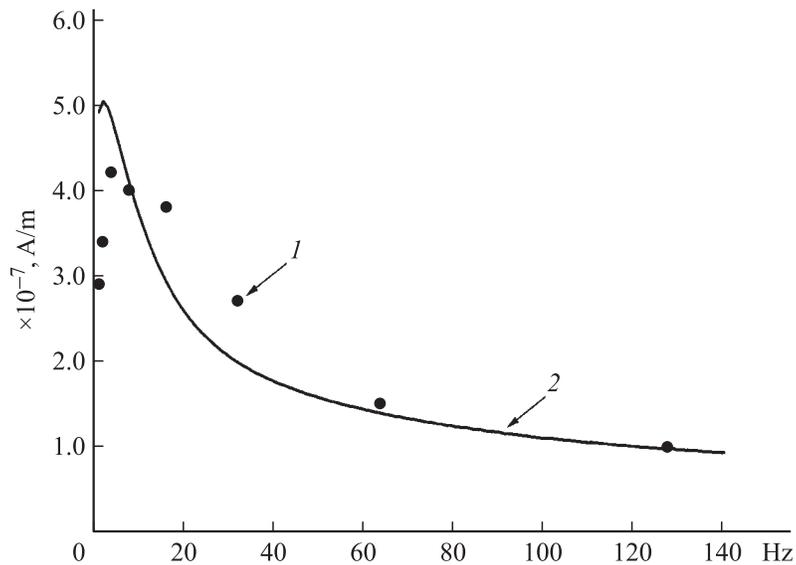


Рис. 2. Зависимость амплитуды H -компоненты напряженности магнитного поля от частоты: 1 — экспериментально измеренные значения; 2 — расчетные значения.

определялись по формулам (1), (2):

$$H_x = \frac{J_x}{2\pi} y \left[\frac{I_1\left(\frac{\rho_2 \kappa_1}{2}\right) K_1\left(\frac{\rho_2 \kappa_1}{2}\right)}{\rho_2^2} - \frac{I_1\left(\frac{\rho_1 \kappa_1}{2}\right) K_1\left(\frac{\rho_1 \kappa_1}{2}\right)}{\rho_1^2} \right], \quad (1)$$

$$H_y = \frac{J_x}{2\pi} \left[\frac{\kappa_1^2}{8} \int_{-L}^L \left[I_0\left(\frac{\rho \kappa_1}{2}\right) K_0\left(\frac{\rho \kappa_1}{2}\right) - I_2\left(\frac{\rho \kappa_1}{2}\right) K_2\left(\frac{\rho \kappa_1}{2}\right) \right] d\eta \right. \\ \left. + \frac{L+x}{\rho_1^2} I_1\left(\frac{\rho_1 \kappa_1}{2}\right) K_1\left(\frac{\rho_1 \kappa_1}{2}\right) + \frac{L-x}{\rho_2^2} I_1\left(\frac{\rho_2 \kappa_1}{2}\right) K_1\left(\frac{\rho_2 \kappa_1}{2}\right) \right], \quad (2)$$

где J_x — ток излучателя; (x, y) — координаты точки измерения; I, K — модифицированные функции Бесселя; L — полудлина излучателя; ρ — расстояние до текущей точки интегрирования по антенне с абсциссой η ;

$\kappa_1 = (1 - i) / \sqrt{\omega \sigma \mu_0 / 2}$; i — мнимая единица; $\omega = 2\pi f$ — циклическая частота; f — частота; σ — удельная проводимость подстилающей поверхности; μ_0 — магнитная постоянная. Зависимость от времени взята в виде $\exp(-i\omega t)$.

Из рис. 1, 2 видим, что на частотах 1–50 Hz наблюдаются заметные отличия измеренных в эксперименте значений от рассчитанных для модели однородной по глубине Земли, причем особенно значительны эти отличия в диапазоне 1–8 Hz.

Принимая во внимание, что толщина скин-слоя Z_c связана с частотой и проводимостью формулой $Z_c = 503 / \sqrt{f\sigma}$, можно сделать вывод о том, что часто используемое предположение об однородности подстилающей поверхности справедливо на Кольском полуострове лишь для глубин 15–20 km. На больших глубинах имеются слои с отличающейся проводимостью, в частности, слой с более высокой проводимостью находится на глубине около 40 km.

Список литературы

- [1] *Füllekrug M., Fraser-Smith A.C., Schlegel K.* // *Europhys Lett.* 2003. V. 59. N 4. P. 626.
- [2] *Бердичевский М.Н.* Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра, 1968. 254 с.