конференция D

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТ

РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КНЧ–ПОЛЕЙ В ТОМСКЕ ЗА ПЕРИОД 2013–2014 Г.Г.

А.А. Колмаков, С.А. Колесник, Д.А. Недосеков

Национальный исследовательский Томский государственный университет, РФ, г. Томск kolmakov@mail.tsu.ru serkol@mail.tsu.ru rubtsovchanin@gmail.com

Электромагнитный фон, шумановские резонансы, магнитные измерения, мониторинг. В работе описана методика проведения магнитных измерений естественных электромагнитных полей КНЧ– диапазона. Представлены результаты анализа честотных характеристик мод шумановских резонансов в загородной зоне в сезонно-суточном цикле наблюдений.

Мониторинговые исследования шумановских резонансов (ШР) [1–4] требуют стабильной и регулярной регистрация естественных электромагнитных (ЭМ) полей КНЧ–диапазона (частоты до 30 Гц). В 2013 году в загородной зоне был создан измерительный пункт на полигоне вблизи с. Коларово (56.34 С.Ш., 84.95 В.Д) на удалении 17 км от города Томска. Измерения магнитной индукции ЭМ–поля проводятся с помощью трехкомпонентного индукционного магнитометра LEMI-30 [5]. Регистрация данных осуществляется с привязкой к мировому времени UT посредством глобальной системы позиционирования GPS (местное время – LT =UT+7 ч). К настоящему моменту длина ряда наблюдений превысила 2 год. Целью работы является анализ частотных характеристик ШР в сезонно-суточном цикле наблюдений.

В результате работы индукционного магнитометра LEMI-30 происходит регистрация временных реализаций трех ортогональных компонент магнитной индукции ЭМ–поля: B_x , B_y и B_z . Далее для каждой компоненты поля во временном окне длительностью 10 с (спектральное разрешение – 0,1 Гц) посредством дискретного преобразования Фурье рассчитывались амплитудные спектры $B_x(f)$, $B_y(f)$ и $B_z(f)$:

$$B_{x}(f_{n}) = \sum_{k=0}^{N-1} B_{x}(t_{k}) e^{-i\frac{2\pi}{N}nk},$$
(1)

где $B_x(t_k)$ – дискретизированный по времени сигнал в компоненте X; f_n – частота; n – номер спектральной гармоники (n=0..N/2); k – номер временного отсчета [0...N-1] (соответствует интервалу – 10 сек.); N=128 Гц ×10 с = 1280. Спектральная обработка для компонент B_y и B_z проводится аналогично.

На следующем этапе была проведена обработка и анализ спектральных характеристик первых трех мод ШР. Для этого рассчитывался модуль горизонтальной компоненты B_{xy} для каждого 10-ти секундного интервала по амплитудным спектрам компонент B_x и B_y для каждого значения частоты вычисляется:

$$\left|B_{xy}(f_{n})\right| = \sqrt{B_{x}^{2}(f_{n}) + B_{y}^{2}(f_{n})}.$$
(2)

Единичным элементом анализа являются средние значения и среднеквадратичные отклонения основных резонансных параметров (частоты f_n , амплитуды A_n и добротности Q_n) для первых трех мод ШР, полученные путем статистической обработки ансамбля спектров модуля B_{xy} в диапазоне от 6 до 24 Гц, вычисленного для каждого трехминутного интервала по 18 временным реализациям компонент B_x и B_y . [6]

Для каждой моды заранее были определены средние значения резонансных частот (для первых трех мод: 7.8; 14,1; 20,2 Гц). В частотном интервале ± 20% от среднего значения резонансной частоты определялось значение частоты, соответствующее максимуму спектральной мощности [6].

В качестве примера на рисунке 1 представлены типичные суточные спектрограммы ЭМфона в полосе частот от 4 до 24 Гц для разных сезонов года, на которых можно видеть первые три моды шумановского резонанса в виде ярко выраженных горизонтальных полос. Спектрограммы представляют собой изменение во времени усредненных спектров КНЧ-шумов в диапазоне от 4 до 24 Гц из ансамбля спектров за каждые 3 минуты (в течение суток – 480 спектров).



Рисунок 1 – Спектрограммы модуля магнитной индукции в полосе частот от 4 до 24 Гц

На рисунке 2 представлены результаты работы алгоритма для двух экспериментальных дней. Для всех трех мод прослеживается свой собственный суточный ход, характерный для каждого сезона года. Обработка данных за весь период наблюдений (с 2013 по 2014 гг.) показала, что средние значения первых четырех мод резонансных частот близки к результатам, полученными ранее другими авторами [3, 4].

Далее по экспериментально полученным данным был проведен анализ сезонно-суточных вариаций резонансных частот. Для примера, распределения для второй и третьей резонансных частот в зависимости от времени суток и сезона 2014 года приведены на рисунке 3.

Рассмотрим основные закономерности. Для первой резонансной моды минимальные значения наблюдаются в ~6 UT в зимние месяцы и в ~7 UT в летние месяцы. Минимум приходится на время весеннего равноденствия в ~20 UT. В сезонном цикле наблюдений отклонения от среднего значения не превышают ~0.4 Гц.





Рисунок 2 – Зависимости первых трех мод резонансных частот (f_1, f_2, f_3) от мирового времени

Особенностью второй резонансной моды является относительное увеличение количества минимумов и максимумов по сравнению с первой модой. Минимальные значения наблюдаются в летние месяцы в ~12 UT. Максимальные значения наблюдаются в зимний период ~9 UT и 18 UT. В сезонном цикле наблюдений отклонения от среднего значения не превышают ~0.6 Гц. Для третьей резонансной моды отклонения от среднего значения не превышают ~1.0 Гц. Таким

образом, размах вариаций резонансных частот увеличивается с ростом номера моды шумановских резонансов.



Рисунок 3 – Зависимости резонансных частот f_2 и f_3 от сезона года и мирового времени

Отметим в заключение, что для каждой резонансной частоты вид построенных распределений имеет очень похожий вид для двух последовательных лет (2013 и 2014). Размах вариаций резонансных частот в сезонно-суточном цикле увеличивается с ростом номера моды шумановских резонансов.

Цитируемая литература

- 1. Schumann W.O. Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphären Hülle umgeben ist. Zeitschrift für Natur-Forschung. 1952. №7a. P. 149–154.
- Balser M., Wagner C.A. On Frequency Variations of the Earth–Ionosphere Cavity Resonances.–Nature, 1960, 188, P. 638–641.
- 3. Блиох П.В., Николаенко А.П., Филиппов Ю.Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земляионосфера. Киев: Наукова думка, 1977. 200 с.
- 4. Колесник А.Г., Колесник С.А., Колмаков А.А., Шинкевич Б.М. Шумановские резонансы 1. Мониторинг электромагнитного фона КНЧ–диапазона // Изв. вузов. Физика. 2003. №2. С. 69–73.
- Kolesnik S.A., Kolmakov A.A., Nedosekov D.A. Resonances in the Earth-ionosphere cavity according to the data of magnetic observations in Tomsk [Электронный ресурс]. Proc. SPIE 9292. 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 92924V (November 25, 2014). doi:10.1117/12.2075501; http://dx.doi.org/10.1117/12.2075501.
- 6. Индукционный магнетометр LEMI-30. Техническое описание // Львов. 2010. 31 с.