

УДК 551.510.535; 551.510.535

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ФОНА В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ИОНОСФЕРНОГО АЛЬВЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА

А.А. Колмаков, И.В. Чернышев

RESEARCH INTO VARIATIONS OF THE ELECTROMAGNETIC BACKGROUND IN THE FREQUENCY RANGE OF THE IONOSPHERIC ALFVEN RESONATOR

A.A. Kolmakov, I.V. Chernyshev

Работа посвящена исследованию закономерностей изменения электромагнитного (ЭМ) фона в Сибирском регионе в полосе частот ионосферного альвеновского резонатора (ИАР). Непрерывные измерения вертикальной компоненты электрической составляющей ЭМ-фона проводятся в Томске с 1997 г. В работе предложен алгоритм автоматического выделения сигналов повышенного уровня в полосе частот до 7 Гц на фоне шума. Проведен анализ спектральных характеристик сигналов повышенного уровня на фоне шума в полосе частот до 7 Гц с учетом суточных, сезонных и долгосрочных закономерностей.

This paper presents research into regularities of electromagnetic background changes in Siberia in the frequency range of the ionospheric Alfvén resonator. Continuous measurements of the vertical component of the electric component of electromagnetic field have been performed in Tomsk since 1997. In this paper, we propose an algorithm for automatic selection of high-level signals in the frequency range of up to 7 Hz in the background of noise. We have also made analysis of spectral characteristics of high-level signals in the background of noise in the frequency range of up to 7 Hz, allowing for daily, seasonal and long-term patterns.

Введение

Естественные излучения, формирующиеся в околоземном пространстве, представляют большой интерес с позиций современной физики атмосферы, геофизики, радиофизики и электромагнитной экологии. В современных ионосферных исследованиях регистрация и анализ волн крайне низкочастотного (КНЧ) диапазона очень важны, так как их результаты применяются для диагностики и мониторинга плазменного окружения Земли. Мониторинг ЭМ-фона является в настоящее время одним из средств контроля за состоянием окружающей среды и выявления ее изменения под влиянием природных и техногенных факторов. Большой интерес вызывают физические процессы, формирующие в ионосфере интенсивные сигналы повышенного уровня, которые могут быть отнесены к модам ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) [1]. Вариации КНЧ-сигналов требуют всестороннего анализа механизмов их генерации и установления закономерностей их появления.

Методика измерения и обработки параметров ЭМ-фона КНЧ-диапазона

Начиная с 1997 г. в г. Томске проводится регистрация ЭМ-фона КНЧ-диапазона. Для проведения мониторинга ЭМ-фона КНЧ-диапазона в Сибирском физико-техническом институте был разработан измерительно-вычислительный комплекс [2], позволяющий производить прием сигналов. Измерения проводятся круглосуточно с трехминутным периодом. При этом непрерывная регистрация составляет 150 с, а остальные 30 с отводятся на запись информации и управление программой измерений. Оцифровка сигналов проводится с частотой 80 Гц, а массив данных, накопленный за 150 с, составляет 12 000 отсчетов.

На сонограммах (рис. 1) в качестве примера приведены типичные сигналы, наблюдаемые в полосе частот от 0.5 до 8 Гц, представленные в виде ярко выраженных квазигоризонтальных темных полос.

Сонограммы представляют собой изменение во времени усредненных спектров КНЧ-шумов в диапазоне от 0.5 до 8 Гц из ансамбля спектров для каждого трехминутного интервала. В течение суток получается 480 спектральных реализаций.

Алгоритм автоматического выделения сигналов повышенного уровня

Регистрируемые данные необходимо обрабатывать и получать спектральные характеристики. Для ускорения и упрощения процедуры выделения сигналов повышенного уровня на фоне шума был разработан и программно реализован алгоритм автоматического выделения сигналов в полосе до 7 Гц:

1. Для каждого трехминутного интервала для временной реализации длительностью $\tau=50$ с ($N=4000$ отсчетов) с помощью дискретного фурье-преобразования строится амплитудный спектр (спектральное разрешение 0.02 Гц).

2. Для каждого полученного спектра с помощью метода нормировки устраняется регулярная составляющая шума, которая аппроксимируется степенной функцией, зависящей от частоты.

3. Далее из анализа вида распределения сигнал/шум определяется пороговое значение, позволяющее устранить остаточные шумы. Выделенные гармоники относятся к сигналам повышенного уровня.

4. Из совокупности выделенных сигналов повышенного уровня отбираются те сигналы, частоты которых имеют строго определенные соотношения.

5. В результате для последующей обработки и анализа в базу данных заносятся параметры реальных сигналов (амплитуда, частота, добротность, отношение сигнал/шум) для каждого трехминутного интервала.

С помощью разработанного алгоритма для двух сигналов повышенного уровня (с частотами $f_1 \sim 5.7$ Гц и $f_2 \sim 6$ Гц) определены зависимости от времени суток изменения частоты (рис. 2, а); амплитуды (рис. 2, б, в); отношения сигнал/шум (рис. 3) (данные получены 03.12.2003 г.).

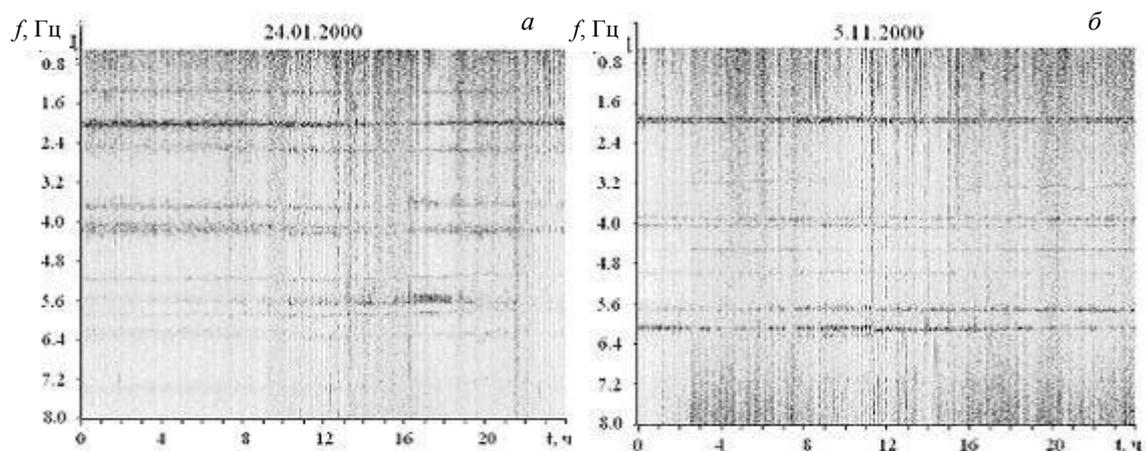


Рис. 1. Сонограммы ЭМ-фона: а – 24 января 2000 г., б – 5 ноября 2000 г.

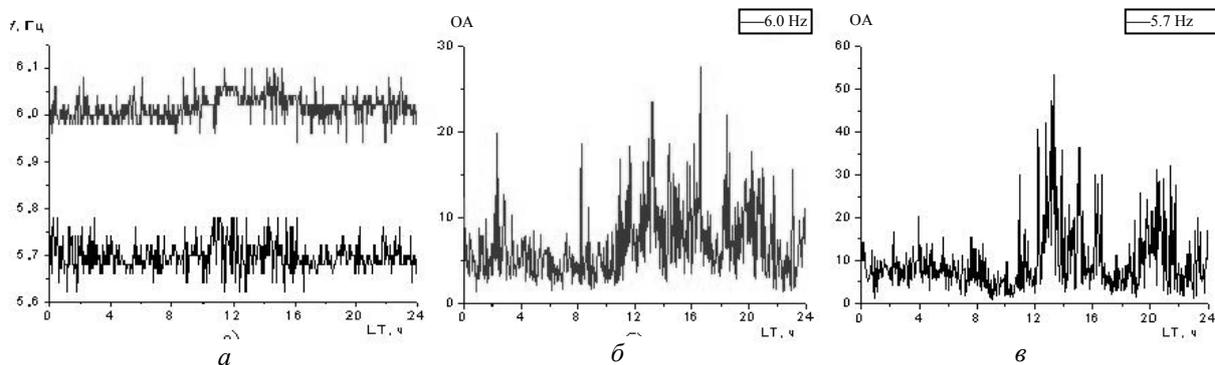


Рис. 2. Суточные изменения: а – значений частот f_1, f_2 ; б – относительной амплитуды (ОА) для f_1 ; в – относительной амплитуды для f_2 .

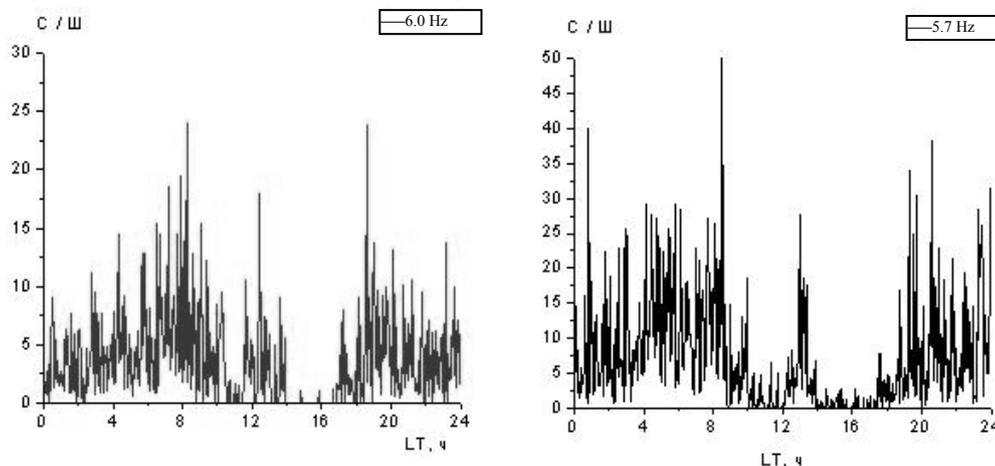


Рис. 3. Суточные изменения отношения сигнал/шум для сигналов с частотами f_1 и f_2 .

Представленный на рис. 2, а суточный ход частоты имеет определенные особенности: в полуденные часы наблюдается увеличение значений частот, а в ночное и утреннее время – уменьшение. Амплитуда сигналов (рис. 2, б, в) также увеличивается в дневное время. Отношение сигнал/шум (рис. 3), наоборот, в дневные часы минимально, а в ночные и утренние часы – максимально.

В результате усреднения выделенных на трехминутных интервалах значений параметров сигналов повышенного уровня были определены изменения этих параметров в сезонном цикле наблюдений. На

рис. 4 представлены среднесезонные значения частот, амплитуд и отношений сигнал/шум за 2000–2007 гг. для спектральной линии (с частотой $f \sim 2$ Гц), которая имеет максимальные значения отношений сигнал/шум и присутствует почти на всем интервале наблюдений.

Проведенный анализ ЭМ-фона в диапазоне частот ИАР показал наличие сезонных вариаций сигналов повышенного уровня (рис. 4) [3]. Среднесезонные значения всех рассматриваемых параметров: частот, амплитуд и отношений сигнал/шум – максимальны в зимние месяцы и минимальны в летние.

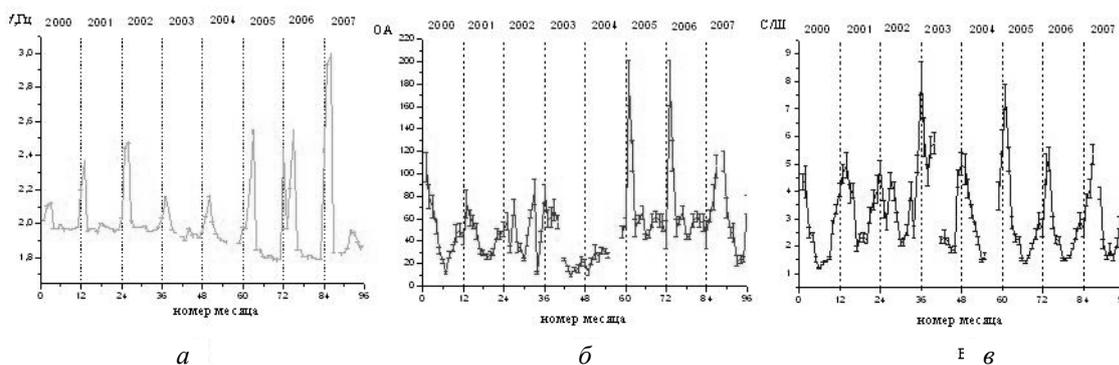


Рис. 4. Среднемесячные значения: а – частот; б – амплитуд; в – отношения сигнал/шум за 2000–2007 гг. для моды с частотой $f \sim 2$ Гц.

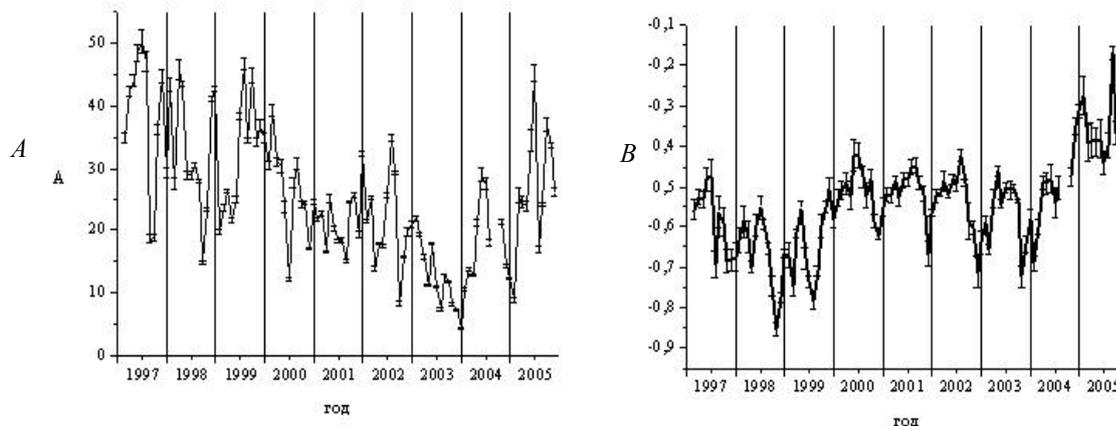


Рис. 5. Среднемесячные значения коэффициентов A и B за 1997–2005 гг.

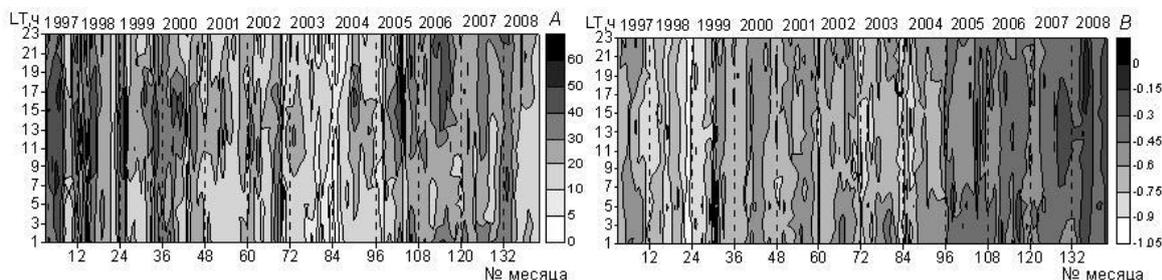


Рис. 6. Сезонно-суточные изменения коэффициентов аппроксимации A, B за 1997–2008 гг.

Проведение исследований вариаций ЭМ-фона в диапазоне частот ИАР неразрывно связано с процессом их выделения на фоне шума. Поэтому целесообразно рассмотреть поведение уровня шумовой составляющей во времени. Анализ показал, что в рассматриваемой полосе частот (ниже 7 Гц) уровень шума увеличивается при уменьшении частоты. Шумовую составляющую ЭМ-фона можно представить в виде степенной функции, зависящей от частоты: $U(f) = A f^B$, где A и B – некоторые постоянные коэффициенты. Коэффициент A отвечает за уровень шума, а коэффициент B определяет скорость уменьшения уровня шума в зависимости от частоты.

На рис. 5 приведены среднемесячные значения коэффициентов A и B , полученные аппроксимацией среднемесячных спектральных реализаций приведенной выше степенной функции.

В сезонном цикле наблюдений максимальные значения коэффициенты A и B принимают в летние

месяцы. Это означает, что уровень регулярной шумовой составляющей ЭМ-фона КНЧ-диапазона в летний период выше, чем в зимние месяцы.

На рис. 6 представлены сезонно-суточные закономерности коэффициентов A и B . В среднем сезонный ход коэффициентов A и B повторяет закономерности для среднемесячных значений (см. рис. 5). Как правило, коэффициент A в дневные часы (~13:00 LT) принимает максимальные значения, а в ночные минимальные. Отсюда следует, что общий уровень фона в дневные часы возрастает.

Коэффициент B также имеет определенный суточный ход, который претерпевает значительные изменения от года к году. Заметно, что для 2002–2003 гг. (максимум солнечной активности) в дневное время наблюдались минимальные значения B . Для 1997, 2007 гг. (минимумы солнечной активности) суточный ход коэффициента B принимает противоположный вид.

Заключение

В работе предложен алгоритм автоматического выделения сигналов повышенного уровня в полосе частот до 7 Гц на фоне шума. В результате работы алгоритма определены вариации ЭМ-фона в диапазоне частот ИАР по средним значениям частот, относительных амплитуд, отношений сигнал/шум для сигналов повышенного уровня. Для коэффициентов, отвечающих за уровень и скорость уменьшения шума в зависимости от частоты, в сезонном цикле наблюдений представлены сезонно-суточные закономерности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков С.В. Ионосферный альвеновский резонатор и его роль в электродинамике верхней атмосферы Земли: Дисс. на степень д-ра физ.-мат. наук. Нижний Новгород, 1999. 85 с.
2. Колесник А.Г., Колесник С.А., Колмаков А.А., Шинкевич Б.М. Шумановские резонаторы 1. Мониторинг электромагнитного фона КНЧ-диапазона // Изв. вузов. Физика. 2003. № 2. С. 69–73.
3. Колесник А.Г., Колесник С.А., Колмаков А.А., Марков Г.А. Вариации спектральных характеристик электромагнитного излучения в диапазоне альвеновского резонатора // Изв. вузов. Физика. 2008. Т. 51, № 9/3. С. 204–206.

Томский государственный университет, Томск