

УДК 533.951, 52-17

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЛНОВЫХ СОБЫТИЙ В МАГНИТОСФЕРЕ

Смотровая Е.Е. (Университет ИТМО),

Научный руководитель – кандидат технических наук, старший преподаватель Ежова В.В. (Университет ИТМО),

Научный консультант – кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Михайлова О.С. (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук)

Данная работа посвящена основным аспектам обработки спутниковых данных волновых событий, происходящих в магнитосфере Земли. В процессе работы был написан набор программ для обработки спутниковых данных миссии Van Allen Probe. При отработке данных программ было рассмотрено событие 11 ноября 2013 года и дана его начальная интерпретация.

**Введение.** Диагностика магнитосферы Земли, в том числе анализ и интерпретация волновых событий, является одной из актуальных задач на сегодняшний день. Ценность подобных исследований заключается в том, что изучение подобных событий может помочь найти ответы на фундаментальные вопросы, касающиеся взаимодействия плазмы с электромагнитными полями в космическом пространстве.

Одним из практических применений является предсказание космической погоды. На данный момент данные прогнозы возможны, однако их точность заметно падает с увеличением периода прогнозирования. В свою очередь это позволит сделать космические перелеты для человека намного безопаснее, а также предотвратить возможные сбои наземной и космической аппаратуры.

В качестве одного из методов диагностики магнитосферы служит анализ и интерпретация волновых событий, связанные с геомагнитными пульсациями – колебаниями и геомагнитного поля, и их взаимодействием с потоками заряженных частиц. Большую часть геомагнитных колебаний составляют так называемые ультранизкочастотные волны (УНЧ-волны) с периодом колебаний от 1 мГц до 5 Гц.

**Основная часть.** Для анализа волновых событий нами были выбраны данные двух космических аппаратов миссии Van Allen Probe, целью которых является изучение процессов, происходящих в радиационных поясах Земли, накапливающих и удерживающих высокоэнергетические частицы.

Базовый принцип анализа волновых событий включает в себя обработку следующих данных:

1. Магнитного и электрического полей;
2. Потоков энергетических частиц (электронов и протонов);

Исходные данные содержат в себе информацию о возмущенной и невозмущенной составляющих магнитного поля, поэтому их необходимо разделить. Для выделения фоновых компонент используется фильтр низких частот, для выявления возмущений – полосовой фильтр с заданным диапазоном.

При обработке данных магнитного поля полосовой фильтр позволяет определить наличие или отсутствие колебаний в заданном диапазоне частот. Фоновая компонента магнитного поля служит для двух целей. Во-первых, учитывая то, что данные различных величин могут быть представлены в разных системах координат, данные о фоновом магнитном поле позволяют привести все величины к одной системе координат, в качестве которой выбрана ортогональная система координат, ориентированная вдоль силовых линий магнитного поля. Во-вторых, данные о фоновом поле могут быть использованы для расчета основных характеристик среды. В дальнейшем эти данные можно использовать, например, при расчете собственных частот тороидальных и полоидальных мод альфвеновской волны, что дает возможность определить

способ генерации геомагнитных пульсаций. Исходя из анализа данных в рассматриваемый нами день, 11 ноября 2013 года, наблюдались пульсации для всех трех компонент магнитного поля (радиальная, азимутальная и продольная компоненты) в момент времени с 8 до 9:30 часов по UT, а для азимутальной и параллельной компоненты также различимы пульсации меньшей частоты с 7 до 7:30 часов по UT. При этом все рассматриваемые нами частоты лежат в диапазоне Pc5 (от 1 до 7 мГц).

Исходные данные потоков заряженных частиц помогают определить время модуляции потоков частиц. Определить была ли эта модуляция вызвана взаимодействием энергетических частиц с геомагнитной пульсацией, можно с использованием полосового фильтра в том же диапазоне частот, в котором была обнаружена геомагнитная пульсация. По резкому возрастанию амплитуды колебаний или по схожести формы колебаний потоков с колебанием геомагнитных пульсаций можно определить резонансную энергию взаимодействия частиц. Определение типа резонансного взаимодействия возможно путем построения диаграммы распределения отфильтрованного потока частиц на резонансной энергии по питч-углам частиц. Относительно рассматриваемого нами события можно отметить, что резонансные энергии следующие: для протонов 58 кэВ и для электронов 33 кэВ. Определить тип резонансного взаимодействия по данным не представляется возможным в силу того, что в момент взаимодействия волны и частиц колебания распределены по всем значениям питч-углов.

Одним из последних рассматриваемых пунктов является построение графиков спектральной плотности мощности (СПМ или PSD от Power Spectral Density), описывающих распределение мощности сигнала в зависимости от частоты. СПМ были построены для компонент магнитного поля и для потоков частиц на резонансных энергиях. Удалось зафиксировать, что в рассматриваемом нами событии присутствует резонансное взаимодействие электронов с УНЧ-волной на частоте 1,7 мГц. В то же время была зафиксирована дополнительная довольно сильная гармоника с частотой 2,5 мГц, однако её появление нельзя интерпретировать через резонансное взаимодействие типа волна-частица — это говорит о присутствии иных процессов, требующих дальнейшего рассмотрения.

**Выводы.** В процессе работы были изучены основы обработки и анализа волновых событий в магнитосфере при помощи спутниковых данных. Также был написан набор необходимых программ, и было обработано событие 11 ноября 2013 года. Наблюдаемое нами событие оказалось цепочкой из нескольких событий, одним из которых оказалось резонансное взаимодействие электронов с УНЧ-волной типа Pc5, имеющей частоту 1,7 мГц. О сложном характере события говорит наличие на графиках PSD дополнительных гармоник, которые нельзя интерпретировать взаимодействием типа волна-частица.