

СИНХРОНИЗАЦИЯ СКЕЛЕТОННЫХ КАРТИН ВЕЙВЛЕТ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВДОЛЬ 210 МЕРИДИАНА КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОСФЕРЫ

Н.А. Бархатов, С.Е. Ревунов, Д.В. Шадруков

*Нижегородский Государственный Педагогический Университет им. К. Минина
Нижний Новгород*

Аннотация. Разработан метод корреляционно-скелетонной обработки низкочастотных возмущений МГД диапазона компонент геомагнитного поля регистрируемых вдоль 210 меридиана для анализа их пространственно-временного распределения на разных этапах геомагнитных бурь. В основу метода положено выполнение постпроцессинга пространственно-временного вейвлет-анализа возмущений с представлением результатов расчета спектров в виде скелетонных картин. Они могут быть использованы как диагностический инструмент состояния магнитосферы. Предлагаемая методика позволяет найти интервалы синхронизации колебательных процессов вдоль геомагнитного меридиана, появление которых можно использовать как предвестников глобального магнитного возмущения.

1. Введение

Исследование фундаментальных механизмов генерации длиннопериодных геомагнитных пульсаций Pc4-5 диапазона МГД-волн представляется важным для установления динамики внутримангнитосферных процессов. Меридиональный и широтный анализ магнитограмм показывает, что топология геомагнитного поля отражается в пространственно-временном распределении низкочастотных геомагнитных колебаний. Мангнитосфера как динамически равновесное плазменное образование является источником МГД колебаний, структура и спектр которых отражают ее конфигурацию и движение под действием внешнего воздействия. В ее областях с большими градиентами скорости движения внутримангнитосферной плазмы создаются условия для развития поверхностных волн диапазона Pc4–Pc5 на неустойчивости Кельвина-Гельмгольца [Нишида, 1980]. Это может происходить на магнитопаузе и плазмопаузе под действием неоднородностей солнечного ветра и регистрироваться наземными обсерваториями как геомагнитные пульсации.

Ранее было показано [Бархатов и др., 2013; Barkhatov and Revunov, 2014], что вейвлет-анализ геомагнитных данных позволяет обнаруживать факты регистрации однотипных гармоник на всех анализируемых станциях в конкретный момент времени с количественной оценкой согласованности получаемых спектров. В настоящем исследовании предлагаемые идеи получили продолжение в рамках корреляционно-скелетонного метода для пространственно-временного посекторного анализа возмущений диапазона Pc4-5 вдоль 210 меридиана в периоды магнитных бурь. Создан альтернативный спектральный инструмент установления особенностей пространственной структуры и спектра резонансных внутримангнитосферных альвеновских и магнитозвуковых колебаний. Особенность разрабатываемого здесь метода заключается в попарном сопоставлении скелетонных спектральных картин полученных по секторам и в усовершенствовании формы представления результатов сопоставления. Последнее заключается в усреднении результатов сопоставления фиксированными окнами вдоль 210 меридиана на графической панели в виде тоновой пиксельной кодировки. Уровень синхронизации геомагнитных возмущений на соседних станциях обозначается интенсивностью тонировки. Белый цвет соответствует отсутствию совпадений скелетонов в данном окне (0-25%), светло-серый – 25-50% совпадение, серый – 50-75% и черный – 75-100% совпадение (синхронизация колебаний). Таким образом, применяемый здесь метод корреляционно-скелетонной обработки рассматриваемых возмущений регистрируемых вдоль 210 меридиана позволяет обнаружить их синхронизацию и кодировать эту информацию в виде маркированных панелей. Сопоставление полученных панелей в зависимости от уровня геомагнитной активности и значений параметров солнечного ветра позволяет наглядно оценить пространственно-временное распределение геомагнитных возмущений на разных этапах геомагнитных бурь.

2. Используемые данные и тактика их обработки

Разработанный метод корреляционно-скелетонной обработки длиннопериодных возмущений диапазона Pc4-5 (2-8 мГц) применен для минутных данных станций 210-го геомагнитного меридиана. Это сделано для получения пространственно-временного распределения возмущений на разных этапах геомагнитных бурь. В

исследовании выполнена постобработка вейвлет-картин магнитограмм горизонтальной и вертикальной компоненты геомагнитного поля со станций сети Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL, <http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/mm210/>, университет Нагоя, Япония). Отбираемые временные интервалы данных включали в себя периоды 12 магнитосферных бурь, имеющих форму классической «бухты», различной интенсивности по показаниям геомагнитного индекса Dst (Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR), <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr>), зарегистрированных в периоды с 2000 по 2003 г. Даты начала главных фаз изучаемых бурь, их интенсивность приведены в табл. 1 [Бархатов и др., 2013].

Таблица 1. Даты начала главных фаз изучаемых бурь

Умеренные бури (Dst > -100 нТл)		Сильные бури (Dst > -200 нТл)		Экстремальные бури (Dst < -200 нТл)	
1	01.11.2000	5	23.05.2000	9	15.07.2000
2	18.06.2001	6	18.04.2001	10	24.11.2001
3	19.05.2002	7	03.09.2002	11	07.09.2002
4	04.11.2003	8	18.06.2003	12	20.11.2003

При оценке пространственно-временного распределения и установления характера внутримангнитосферных колебаний в роли маркеров выступают значения индекса Dst. Для оценки состояния околоземного космического пространства, глобальной и суббуревой активности для тех же интервалов данных использованы минутные значения Vz компоненты межпланетного магнитного поля, индексы SYM/ASY, AL. Эти данные были получены с узла Coordinated Data Analysis Web (CDAWeb, <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>).

Обработка данных исследуемых геомагнитных бурь выполнялась по четырем временным интервалам, определяемых по поведению индекса Dst: предбуревому состоянию (фоновое значение Dst в течение 3 часов), первой части (рост фонового значения Dst до максимального) и второй частям начальной фазы (уменьшение максимального значения Dst до фонового) и фрагменту главной фазы бури (уменьшение значения Dst от фонового в течение 3 часов). Первый и четвертый интервалы были продолжительностью по 3 часа. Продолжительности начальных фаз бурь отличаются, поэтому при обработке данных это обстоятельство учитывалось усреднением по блокам, размер которых выбирался с учетом скважности данных. Такая процедура позволяла проводить сопоставление получаемых спектральных характеристик геомагнитных бурь разной продолжительности. В изучаемую выборку попало равное количество слабых и умеренных (Dst > -100 нТл), сильных (Dst > -200 нТл) и экстремальных бурь (Dst < -200 нТл).

В связи с тем, что для отобранных интервалов не все станции 210-го геомагнитного меридиана вели запись, было принято решение сгруппировать станции по широтным секторам, каждый в пределах 10-15°. В дальнейшем выполнялся посекторный анализ геомагнитных возмущений вдоль меридиана. В каждом секторе отбирались данные с наиболее активной (чаще других работающей) станции.

3. Результаты сравнения корреляционно-скелетонных маркированных панелей

Корреляционно-скелетонные маркированные панели, полученные для 12 геомагнитных бурь, сопоставлялись друг с другом, с параллельными данными околоземного космического пространства (Vz-компонента ММП), глобальными индексами SYM/ASY и индексом суббуревой активности AL. На рис. 1 представлен пример сопоставления для условий геомагнитной бури зарегистрированной 19.05.2002. Панели разделены вертикальными границами на 3 части, соответствующие предбуревому состоянию, начальной и главной фазе бури. Верхняя нумерация на рис. 1 отвечает предбуревому состоянию (1), первой части и второй частям начальной фазы (2, 3) и фрагменту главной фазы бури (4) и указывает на пункты обсуждения результатов анализа.

Выполненное сопоставление панелей между собой и с динамикой рассматриваемых параметров для 12 геомагнитных бурь выявило следующие закономерности изложенные согласно нумерации на рис. 1.

1) В предбуревом состоянии корреляционно-скелетонные маркированные панели демонстрируют синхронизацию долгопериодных колебаний на высоких широтах для горизонтальной компоненты геомагнитного поля и в приэкваториальных для вертикальной компоненты. Таким образом здесь проявляются свойства возмущений диапазона Pc4, возбуждение которых альвеновским резонансом силовых линий поля характерно для магнитоспокойных условий [Большакова и др., 1995]. Как можно, заметить, наиболее отчетливо выражена синхронизация в областях, где абсолютные величины соответствующих компонент поля невелики (H в высоких широтах, Z в приэкваториальных). Это можно объяснить синхронизацией поперечных волн, распространяющихся вдоль силовых линий магнитного поля.

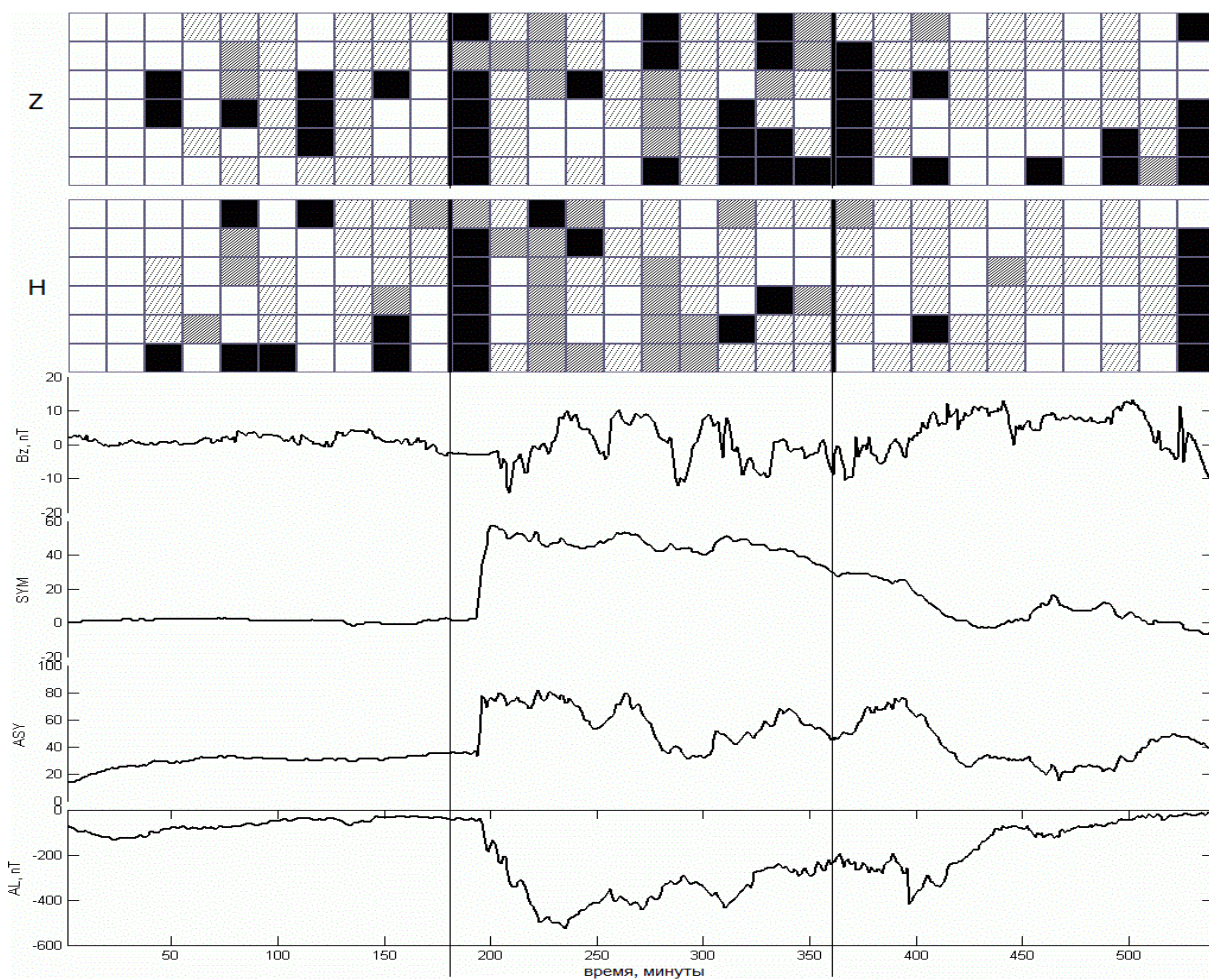


Рисунок 1. Пример сопоставления корреляционно-скелетонных маркированных панелей для H и Z компонент геомагнитного поля с динамикой параметров околоземной среды (B_z) и уровнем глобальной (SYM/ASY) и суббуревой активности (AL) для случая умеренной геомагнитной бури 19.05.2002. Верхняя нумерация отвечает предбуревому состоянию (1), первой части и второй частям начальной фазы (2, 3) и фрагменту главной фазы бури (4)

2) Первая часть начальной фазы бури на корреляционно-скелетонных маркированных панелях сопровождается синхронизацией колебаний в H и Z компонентах поля вдоль всего меридиана. Причину такой синхронизации можно объяснить полоидальностью возмущений диапазона Pc4-5 обусловленных развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца [Нушида, 1980].

3) Вторая часть начальной фазы, как переход к главной фазе, характеризуется развитием кольцевого тока и авроральных электроджетов следующих за значительными вариациями B_z -компоненты ММП и выражается динамикой индексов SYM/ASY и AL. Она также сопровождается синхронизацией колебательных процессов в Z-компоненте поля в авроральных областях. Этот свидетельствует о формировании резонансных колебаний диапазона Pc4 магнитных силовых линий в области продольных токов. Это может быть обусловлено их неустойчивостью вследствие взаимодействия энергичных ионов кольцевого тока с электромагнитными внутримagnetосферными волнами [Бархатова и др., 2011].

4) Заключительный фрагмент корреляционно-скелетонных маркированных панелей и соответствующий главной фазе бурь отображается для всех бурь как сложная и неупорядоченная картина. При этом геомагнитные данные характеризуются неустойчивым распределением скелетонных для составляющих поля. Это отмечалось ранее и в [Ревунов и др., 2013]. Развитие кольцевого тока, интенсификация авроральных электроджетов и токов хвоста магнитосферы не приводят к упорядоченным синхронизациям долгопериодных возмущений геомагнитного поля вдоль меридиана.

Вместе с тем, для случая, представленного на рис. 1, а также для ряда других рассмотренных бурь (18.04.2001, 03.09.2002, 18.06.2003, 04.11.2003) в интервал развития главной фазы отмечается синхронизация в возмущениях вертикальной компоненты вдоль всей части рассматриваемого меридиана. Это происходит на фоне усиления асимметричной части магнитного поля кольцевого тока, что является

следствием поступающей энергии в магнитосферу из солнечного ветра. При этом асимметрия нарастает быстрее, чем поле кольцевого тока на главной фазе магнитной бури [Фельдштейн и др., 1993].

4. Заключение

В данной работе для анализа синхронизации колебательных процессов вдоль геомагнитного меридиана во время развития глобальных магнитосферных бурь разработан специальный диагностический инструмент, основанный на корреляционно-скелетонном методе. Показано, что синхронизация длиннопериодных колебаний компонент геомагнитного поля МГД диапазона вдоль геомагнитного меридиана наиболее часто наблюдается с развитием начальной фазы геомагнитной бури, а так же по окончании начальной фазы и с развитием главной. Первую синхронизацию можно рассматривать как предвестник глобального магнитного возмущения. Кроме того отмечено, что синхронизация колебательных процессов вдоль геомагнитного меридиана наиболее часто наблюдается для умеренных бурь (по результатам анализа H-компоненты поля) и для слабых бурь (по результатам анализа Z-компоненты поля).

Предложенный в настоящем исследовании метод корреляционно-скелетонной обработки компонент геомагнитного поля для обнаружения синхронизации колебательных процессов позволяет устанавливать пространственно-временное распределение вдоль геомагнитного меридиана низкочастотных возмущений в периоды магнитных бурь. Результаты такого подхода можно использовать и для краткосрочного прогноза глобального магнитного возмущения.

Работа поддержана программой Министерства образования и науки «Развитие научного потенциала высшей школы, 2014-2016 гг.».

Литература

- Бархатов Н.А., Ревунов С.Е., Шадруков Д.В. Уточнение типов солнечных плазменных потоков по анализу вне- и внутримангнитосферных низкочастотных колебаний в периоды магнитных бурь // *Приволжский научный журнал, ННГАСУ*, №1, с. 106-112, 2013
- Ревунов С.Е., Шадруков Д.В., Серебрякова Р.И. Анализ пространственно-временной динамики низкочастотных (2-8 мГц) магнитных возмущений в периоды магнитных бурь // *Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского*, 2013, №5(1), 83-91
- N.A. Barkhatov and S.E. Revunov, Spectral Features of Solar Plasma Flows // *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 54, No. 6, pp. 688–693, 2014
- Бархатова О.М., Бархатов Н.А., Беспалов П.А. Выступы плазмосферы и вариации горизонтальной компоненты геомагнитного поля // *Геомагнетизм и аэрномия*, 2011, Т 51, №2, С. 214-223
- Большакова О.В., Боровкова О.К., Троицкая В.А., Клейменова Н.Г. Интенсификация геомагнитных пульсаций P_s 4 в условиях спокойной магнитосферы // *Геомагнетизм и аэрномия*, Т.35, N 3, С.143-145. 1995.
- Нишида А. *Геомагнитный диагноз магнитосферы*. М.: Мир, 1980, 299 с.
- Фельдштейн Я.И., Дремухина Л.А., Вещезерова У.Б., Гольшев С.А., Кизирия Л.В., Графе А. Моделирование вариаций геомагнитного поля в период магнитной бури // *Геомагнетизм и аэрномия*, Т. 33, N 6, 1993