Министерство образования и науки Российской Федерации

Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского

Труды
XXIII научной конференции
по радиофизике,
посвященной 100-летию
со дня рождения Н.А. Железцова

(*Нижний Новгород, 13-21 мая 2019 г.*)

Нижний Новгород
2019

УДК 537.86 + 621.3
ББК 3841
Т-78

Труды XXIII научной конференции по радиофизике, посвященной 100-летию со дня рождения Н.А. Железцова (Нижний Новгород, 13-21 мая 2019 г.). Нижний Новгород: ННГУ, 2019. – 581 с.

Редколлегия:
В.В. Матросов (отв. ред.), С.В. Оболенский (зам. отв. ред.), Г.А. Баженова (отв. секр.), М.И. Бакунов, С.А. Бельков, В.Г. Гавриленко, С.Н. Гурбатов, А.А. Дубков, Е.С. Фитасов, А.В. Кудрин, А.А. Мальцев, Л.Ю. Ротков, А.Л. Умнов

В сборник включены материалы докладов 23-ой Конференции по радиофизике, проходившей 13-21 мая 2019 года на радиофизическом факультете Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (ННГУ). Тематика докладов охватывает основные научные направления, развиваемые на факультете. Работы выполнены сотрудниками, аспирантами и студентами ННГУ, а также сотрудниками научно-исследовательских институтов и высокотехнологичных предприятий Нижнего Новгорода. Издаётся по решению Ученого Совета радиофизического факультета ННГУ в рамках реализации Программы развития ННГУ как национального исследовательского университета и Программы повышения конкурентоспособности университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров (Проект 5-100).

ББК 3841

© Национальный исследовательский
Нижегородский госуниверситет
им. Н.И. Лобачевского, 2019

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБОЛОЧЕК МАГНИТНЫХ ОБЛАКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Н.А. Бархатов[2], О.М. Бархатова[1], С.Е. Ревунов[2], Н.В. Косолапова[2], Е.А. Ревунова[1]

[1] ННГАСУ
[2] НГПУ им. К. Минина

Аннотация

В данной работе выполнено исследование спектрального состава турбулентных оболочек различной протяженности и тел быстрых магнитных облаков (МО) солнечного ветра для 33 событий. Все облака были разделены на две группы: МО с оболочками протяженностью менее 2 часов и более 2 часов. Графики параметров модуля межпланетного магнитного поля (ММП), скорости и концентрации солнечного ветра (СВ) и их сонограммы использовались для установления границ структур исследуемых МО. Для установления характерных особенностей частотных режимов в пределах каждой структуры МО анализировались спектры фурье. На основе анализа вейвлет-спектров более точно устанавливались диапазоны частот (периодов) регистрируемых возмущений, а также исследовалось их пространственное распределение по оболочке. Выполненное исследование актуально для выводов о влиянии переменного солнечного ветра на ультранизкочастотную ионосферно-магнитосферную возмущенность.

Введение

Прямые измерения ММП на космических аппаратах в солнечном ветре показали наличие областей с сильным регулярным ММП и резкими фронтами, которые были названы магнитными облаками [1]. Интерес к изучению МО связан с их высокой геоэффективностью, поскольку они содержат продолжительные и значительные по амплитуде отрицательные значения Bz компоненты ММП [2], вызывающие наиболее значительные геомагнитные бури. В результате статистических исследований было установлено, что структуру МО можно разделить на ударную волну на переднем фронте облака, турбулентную оболочку между ударной волной и ведущим краем магнитного облака, ведущее и осевое поля, содержащиеся в теле облака, и поле хвоста. Оболочка МО характеризуется резким и значительным изменением компонент межпланетного магнитного поля. Она образуется при его движении в медленном солнечном ветре, ответственна за начальную фазу магнитной бури, развитие интенсивной суббуревой активности и может привести к усилению геоэффективности облака в целом [3]. Также в работах [4] отмечено, что наличие у МО оболочки влияет на качество прогноза геомагнитной возмущенности. Таким образом, оболочки МО являются структурами, в которых развита турбулентность, и их УНЧ возмущения несомненно дают заметный вклад в магнитосферно-ионосферные возмущения. В этой связи целью настоящего исследования является определение частотных особенностей возмущенности оболочек и переднего края тел МО различной протяженности. Сопоставление этих УНЧ возмущений с ионосферной и геомагнитной возмущенностью анализируется нами в настоящее время.

Используемые данные и методы исследования

В работе рассмотрены упоминаемые в литературе 33 события МО опережаемых ударными волнами и следующими за ними оболочками различной протяженности. Предлагаемое исследование выполнено по минутным данным параметров СВ (скорость V, концентрация протонов N) и межпланетного магнитного поля (модуль B), полученных со спутниковой системы OMNI. Для этого была изучена динамика рассматриваемых параметров и в интервале периодов от 5 до 30 минут проведен анализ спектральных особенностей элементов структуры магнитных облаков, которые делались на основании анализа полученных сонограмм, фурье-спектров и вейвлет-спектров с базовой функцией Добеши 4-го порядка.

Особенности оболочек МО малой протяженности (менее 2-х часов)

Анализ динамики рассматриваемых параметров и соответствующих сонограмм показал, что для событий данной группы переход к телу облака может быть отмечен по их скачкообразному изменению: интенсивность возмущений ПСВ и ММП в оболочке значительно превышает их интенсивность в теле облака.

На основе анализа фурье спектров можно заключить, что для этих МО наблюдаются возмущения во всем рассматриваемом диапазоне частот со спектральным распределением характерным для турбулентных МГД процессов (рис. 1). Интенсивности спектров оболочек значительно выше по сравнению с телом облака. В задней части оболочек продолжительностью 100-120 мин интенсивность турбулентности снижается и на ее фоне возникает область характерных частот НЧ части спектра от 2,5 до 4 МГц (на рис. 1 эта область отмечена овалом). Существование в этих областях характерных частот может быть связано с высвечиванием МГД возмущений из тел МО, где они существуют как резонансные моды.

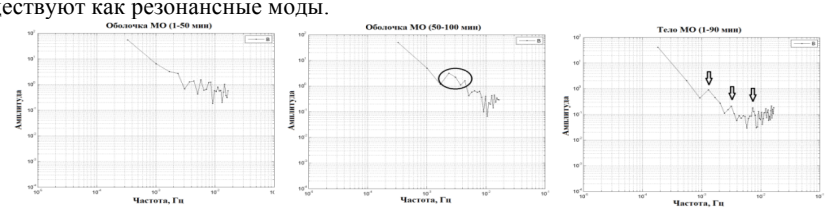

Рис. 1

В телах облаков отмечается последовательность характерных частот (на рис. 1 они отмечены стрелками), что свидетельствует об отсутствии турбулентного режима в этой области. Диапазон периодов регистрируемых возмущений составляет 2 – 10 минут.

Выполненный спектральный вейвлет-анализ позволил более точно установить диапазоны характерных периодов возмущенности в оболочках и телах МО. В оболочках регистрируется НЧ возмущенность с периодами 15-25 минут, которая сопровождается интенсивными ВЧ возмущениями с периодами 5-10 минут. Для рассматриваемых параметров отмечено постепенное увеличение частоты к задней части оболочек, т.е. имеет место каскад спектральных максимумов. Эта особенность, свидетельствующая о постепенном затухании турбулентных процессов в малых масштабах в задней части

оболочек, хорошо видна на рис. 2 для всех представленных параметров. Вертикальная черная линия на рис. 2 отмечает переход к телу облака.

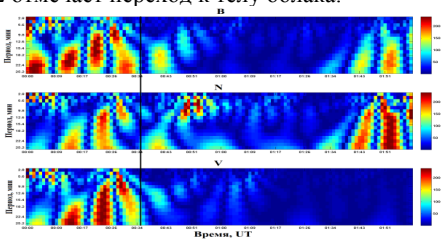

Рис. 2

Особенности оболочек МО большой протяженности (более 2-х часов)

Исследование динамики ММП и ПСВ, и соответствующих сонограмм показывает, что уровень возмущенности в продолжительных оболочках сохраняется высоким на всем их протяжении. Переход к телу облака, как и для предыдущей группы событий, отмечается по резкому снижению интенсивности возмущений.

Ввиду значительной продолжительности оболочек, спектральный фурье-анализ был выполнен для их передней части, задней части, граничащей с телом МО и на переднем крае тел МО. Полученные результаты демонстрируют заметное отличие спектров протяженных оболочек от спектров менее продолжительных оболочек (рис. 3). На спектрах передней части и задней части оболочки возникают колебания с периодами от 2 до 5 минут (на рис. 3 отмечены стрелками). Это означает, что спектры для протяженных оболочек не характерны для единого турбулентного процесса. Вместе с тем, интенсивности спектров оболочек остаются более высокими по сравнению с телами облаков.

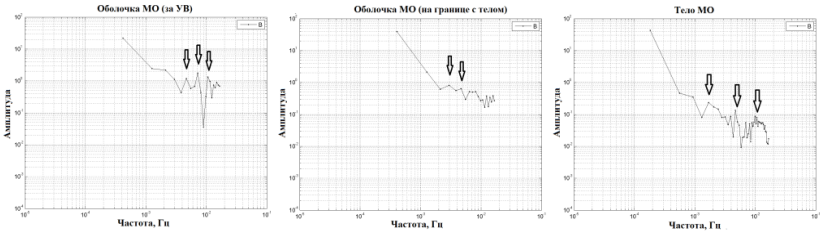

Рис. 3

Исследование пространственно-частотных особенностей протяженных оболочек МО с помощью вейвлет-спектров показало, что для них характерно наличие отдельных областей с сильной возмущенностью, которая проявляется в виде групп максимумов вейвлет-спектров в магнитном поле и ПСВ (пример представлен на рис. 4 для модуля ММП, группа возмущений отмечена овалом). Внутри групп регистрируются каскады спектральных максимумов в ВЧ область, что свидетельствует о турбулентном режиме

только в данных областях. Это означает, что в продолжительных оболочках имеет место перемежаемость турбулентности – неоднократный переход от ламинарного движения к турбулентному.

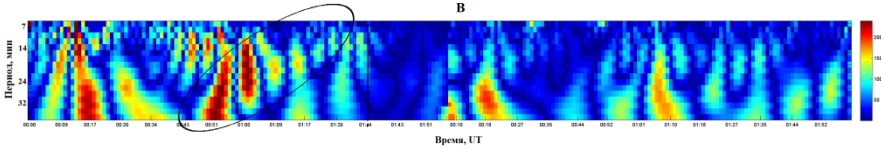

Рис. 4

Выводы

Анализом динамики возмущений модуля ММП, скорости и концентрации СВ установлены границы оболочек облаков. Во всех случаях при переходе от оболочки к телу облака отмечается резкое ослабление интенсивности возмущений анализируемых параметров. В оболочках и телах МО УНЧ возмущения регистрируются в НЧ (периоды 15-25 минут) и ВЧ (периоды 2,5-10 минут) диапазонах. Регистрируемые УНЧ возмущения имеют различие во временном распределении их интенсивностей по оболочкам малой и большой протяженности. Оболочки малой протяженности (менее 2 ч): УНЧ возмущенность содержит каскад спектральных максимумов в ВЧ область с постепенным ослаблением интенсивности. Регистрируемый каскад возможно свидетельствует о затухании турбулентных процессов в малых масштабах. Оболочки большой протяженности (более 2 ч): здесь УНЧ возмущения следуют сериями каскадов спектральных максимумов в область ВЧ. Турбулентный режим существует в отдельных областях оболочки, т.е. наблюдается перемежаемость турбулентности. Выполненное исследование полезно для исследования влияния переменного солнечного ветра на ультранизкочастотную ионосферно-магнитосферную возмущенность.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-35-00430 (Бархатова О.М., Ревунова Е.А., Косолапова Н.В.) и Госзадания Минобрнауки РФ № 5.5898.2017/8.9 (Н.А. Бархатов, С.Е. Ревунов).

[1] Burlaga L., Sittler E., Mariani F., Schwenn N. // J. Geophys. Res. 1981. Vol. 86. P. 6673.
[2] Wu C. C., Lepping R. P. // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107, No. A10. P. 1314. doi:10.1029/2001JA000161.
[3] Farrugia C.J.,et. al., // J. Geophys. Res. 1998. Vol. 103, No. A8. P.17261.
[4] Barkhatov N. A., Levitin A. E., Revunova E. A. // Geomagnetism and Aeronomy. 2014. Vol. 54, No. 6. P. 718–726. © Pleiades Publishing, Ltd., 2014. DOI: 10.1134/S001679321406005X.