

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИКИ РАН

чл. корр. РАН

А.А. Петрукович

2019 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения науки Института космических исследований
Российской академии наук

Диссертация «Динамика быстрых вариаций параметров плазмы в магнитослое» выполнена в отделе Физики космической плазмы Федерального государственного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). В период подготовки диссертации соискатель Рахманова Людмила Сергеевна работала в ИКИ РАН в должности младшего научного сотрудника.

В 2018 г. Л.С. Рахманова окончила очную аспирантуру Института космических исследований РАН по специальности «Физика Солнца».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2019 г. ИКИ РАН.

Научные руководители:

- доктор физико-математических наук, профессор Застенкер Георгий Наумович, работает ведущим научным сотрудником в ФГБУН ИКИ РАН;
- кандидат физико-математических наук, Рязанцева Мария Олеговна, работает старшим научным сотрудником в ФГБУН ИКИ РАН.

По результатам рассмотрения диссертации «Динамика быстрых вариаций параметров плазмы в магнитослое» принято следующее заключение:

Актуальность темы и направление исследования

Диссертационная работа Рахмановой Людмилы Сергеевны посвящена экспериментальному исследованию процессов, происходящих в магнитослое Земли.

Вопрос о том, каким образом вариации параметров плазмы и магнитного поля межпланетной среды с разными масштабами воздействуют на магнитосферу является важным в рамках предсказания гелиогеофизической обстановки. Магнитослой - переходная область между солнечным ветром и магнитосферой - является одним из

элементов солнечно-земных связей, поэтому физические механизмы, работающие в этой области, необходимо учитывать для корректных предсказаний отклика магнитосферы на события, происходящие на Солнце.

На данный момент при оценке влияния солнечного ветра на процессы, протекающие во внутренней магнитосфере, как правило используются измерения параметров солнечного ветра в точке Лагранжа, находящейся на расстоянии приблизительно 1.5 миллиона километров от Земли. В ряде работ было показано, что такой фактор межпланетной среды, как направление магнитного поля перед магнитопаузой, может существенно отличаться от измеренного в точке Лагранжа, что не всегда учитывается в моделях. Большинство представлений об обтекании потоком солнечного ветра магнитосферы построены на основе магнитогидродинамического или газодинамического описания плазмы, которые дают неплохие средние оценки значений параметров плазмы и магнитного поля в переходной области, однако не способны предсказывать нестационарные процессы турбулентной природы, которые часто наблюдаются в магнитослое.

Соискателем в диссертации на основе экспериментальных данных анализируются мелкомасштабные процессы в плазме магнитослоя. В первой главе работы описываются использованные данные и эксперименты, в которых эти данные были получены, особенности их обработки в магнитослое и методики проведения исследования.

Во второй главе работы рассматривается модификация фронтов плазмы и магнитного поля при пересечении околоземной ударной волны и движении по магнитослою, а также факторы, которые определяют степень этой модификации. На основе данных с двух спутников миссии Themis и Спектр-Р, которые располагались близко друг к другу перед и за околоземной ударной волной, исследовалось значение коэффициента корреляции между одновременными измерениями в солнечном ветре и магнитослое. Проведенный анализ показал, что высокое значение коэффициента корреляции чаще наблюдается при большей амплитуде возмущений в солнечном ветре, при больших значениях межпланетного магнитного поля и в периоды, когда точка измерения в магнитослое располагается за квазиперпендикулярной ударной волной. Помимо этого показано, что наименьшей модификации в магнитослое подвержены структуры солнечного ветра, ассоциированные с областями сжатия перед набегающим быстрым течением.

В третьей главе проводилось статистическое исследование характеристик турбулентности на ионных масштабах на основе измерений параметров плазмы. Впервые были получены статистические распределения значений индексов частотных спектров, проведено сравнение с полученными ранее результатами в солнечном ветре и магнитослое, а также выявлен ряд особенностей в видах спектров в магнитослое.

Показано, что степенные функции, которыми могут быть аппроксимированы спектры на частотах перехода от магнитогидродинамического к кинетическому масштабу, в магнитослое в среднем соответствуют наблюдаемым в солнечном ветре, что свидетельствует об универсальности механизмов формирования турбулентного каскада перед и за околосолнечной ударной волной.

В заключительной главе проводился анализ влияния околосолнечной ударной волны и магнитопаузы на характеристики турбулентности плазмы в магнитослое. Анализировались формы и характеристики спектров флуктуаций потока ионов вблизи околосолнечной ударной волны, в середине магнитослоя и вблизи магнитопаузы. Было показано, что при пересечении околосолнечной ударной волны происходит перераспределение энергии в турбулентном каскаде, что вызывает отклонение видов спектров от предсказаний теорий, рассматривающих развитую турбулентность. Показано, что при продвижении в сторону магнитопаузы вид спектров флуктуаций плазменных параметров восстанавливается и становится аналогичным наблюдаемому в солнечном ветре.

Личный вклад автора при получении результатов, представленных в диссертации

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, были получены при определяющем вкладе автора под руководством научных руководителей и при содействии соавторов публикаций. Соискателем была разработана методика обработки экспериментальных данных с учетом специфики измерений в магнитослое, с помощью которой был самостоятельно проведен анализ экспериментальных данных, в том числе вторичная обработка данных прибора БМСВ на спутнике Спектр-Р в магнитослое. Результаты диссертационного исследования были опубликованы в 10 статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК, в 8 из которых соискатель является первым автором.

Степень достоверности результатов проведенного исследования

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается 18 публикациями, 10 из которых опубликованы в рецензируемых журналах из перечня ВАК, а также докладами на российских и международных конференциях, в том числе на таких, как Ассамблея COSPAR, Генеральная Ассамблея Европейского Геофизического Союза, Генеральная Ассамблея Международного Союза по Геодезии и Геофизике и ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе».

Научная новизна полученных результатов

В ходе исследования впервые выявлены факторы межпланетной среды, оказывающие влияние на значение коэффициента корреляции между одновременными измерениями в солнечном ветре и магнитослое.

Впервые представлен статистический анализ прямых измерений параметров плазмы в магнитослое в диапазоне частот 0.01-10 Гц и выявлены характерные черты турбулентности плазмы в различных областях внутри магнитослоя. Впервые было определено, что спектры флуктуаций потока ионов непосредственно за околосолнечной ударной волной в магнитослое имеют вид, отличный от предсказаний теорий развитой турбулентности.

Научная и практическая значимость результатов исследования

Проведенный соискателем анализ выявил факторы, влияющие на коэффициент корреляции между измерениями в солнечном ветре и магнитослое. Указанные факторы могут быть учтены для верификации и улучшения моделей взаимодействия солнечной плазмы с магнитосферой Земли и разработки новых функций связи между возмущениями в солнечном ветре и внутри магнитосферы.

Приведенные в работе значения характеристик турбулентности, полученные при обработке измерений параметров плазмы, могут быть использованы для верификации моделей формирования турбулентного каскада и диссипации энергии в плазме. Помимо этого, полученная информация о характерных свойствах турбулентности на ионных масштабах в плазме, развивающейся в ограниченной области пространства, может быть использована для понимания процессов, происходящих в лабораторной плазме.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах автора:

1. L. S. Rakhmanova, M. O. Riazantseva, G. N. Zastenker, J. Safrankova, Modification of small- and middle-scale solar wind structures by the bow shock and magnetosheath: Correlation analysis, *Planet. Space. Sci.*, 115, pp. 12-18, 2015.

2. Л.С. Рахманова, М.О. Рязанцева, Г.Н. Застенкер, Прохождение структур солнечного ветра через магнитослой по данным двух космических аппаратов THEMIS, *Космические исследования*, Т. 53 № 5, С. 363-373, 2015.
3. Rakhmanova L., Riazantseva M., Zastenker G., Correlation level between solar wind and magnetosheath plasma and magnetic field parameters, *Adv. Space Res.*, 58 (2), 157-165, 2016.
4. М.О. Рязанцева, V.P. Budaev, L.S. Rakhmanova, G.N. Zastenker, J. Safrankova, Z. Nemecek, L. Prech, Comparison of properties of small-scale ion flux fluctuations in flank magnetosheath and in solar wind, *Adv. Space Res.*, 58 (2), 166-174, 2016.
5. Rakhmanova, L., Riazantseva, M. & Zastenker, G., Plasma fluctuations at the flanks of the Earth's magnetosheath at ion kinetic scales, *Ann. Geophys.* 34, 1011–1018, 2016.
6. М. О. Рязанцева, Л. С. Рахманова, Г. Н. Застенкер, Ю. И. Ермолаев, Типы спектров флуктуаций потока ионов в солнечном ветре и магнитослое на стыке инерционного и диссипативного интервалов, *Геомагнетизм и Аэронаука*, Т. 57 , №1, СС. 3-7, 2017.
7. Rakhmanova L., Riazantseva M., Zastenker G. and Yu.I. Yermolaev, High-frequency plasma fluctuations in the middle magnetosheath and near its boundaries: Spektr-R observations, *J. Plasma Phys.*, V.83, 705830204, 2017.
8. Рахманова Л.С., М.О. Рязанцева, Г.Н. Застенкер, М.И. Веригин, Ю.И. Ермолаев, И.Г. Лодкина, Влияние параметров межпланетной среды и границ магнитослоя на величину коэффициента корреляции между потоком ионов в солнечном ветре и магнитослое, *Геомагнетизм и Аэронаука*, Т 58 № 4 С 463-470, 2018.
9. L. Rakhmanova, M. Riazantseva, G. Zastenker, M. Verigin, Kinetic-scale ion flux fluctuations behind the quasi-parallel and quasi-perpendicular bow shock. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 2018.
10. Л.С. Рахманова, М.О. Рязанцева, Г.Н. Застенкер, М.И. Веригин, Влияние магнитопаузы и головной ударной волны на характеристики турбулентности плазмы в магнитослое Земли, *Геомагнетизм и Аэронаука*, 58, № 6, с. 749–758, 2018.

Все работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в системах РИНЦ, Web of Science и Scopus. Все основные положения исследования опубликованы в указанных статьях.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности «01.03.03 - Физика Солнца»

Задачи, рассмотренные в диссертации, относятся к следующим разделам паспорта специальности «01.03.03 - Физика Солнца»: «Солнечный ветер и гелиосфера» и «Солнечно-земная физика и солнечно-земные связи».

ВЫВОД. Кандидатская диссертация Рахмановой Людмилы Сергеевны «Динамика быстрых вариаций параметров плазмы в магнитослое» соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней».

Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 Физика Солнца.

Заключение принято на заседании НТС отдела «Физики космической плазмы» Института космических исследований РАН. Присутствовало на заседании 9 членов НТС отдела. Результаты голосования: «за» - 9 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол от «26» февраля 2019 г.

Зам. председателя НТС отдела 54 ИКИ РАН
д.ф.-м.н.,



Ю.И. Ермолаев

Секретарь НТС отдела 54 ИКИ РАН
к.ф.-м.н.



Т.М. Буринская