

ОТЗЫВ

официального оппонента, главного научного сотрудника ИФЗ РАН, д.ф.-м.н. Федорова Евгения Николаевича на диссертационную работу Рахмановой Людмилы Сергеевны «Динамика быстрых вариаций параметров плазмы в магнитослое», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 Физика Солнца.

Диссертационная работа Рахмановой Л.С. посвящена экспериментальному исследованию мелкомасштабных флуктуаций плазмы и характеристик турбулентности в магнитослое Земли. Исследование процессов, происходящих в магнитослое, имеет особую важность для понимания механизмов солнечно-земных связей, т.к. фактически магнитосфера Земли подвергается воздействию не солнечно ветра, а плазмы магнитослоя. Помимо этого, околоземное космическое пространство является уникальной природной лабораторией для изучения турбулентности в бесстолкновительной плазме и процессов переноса энергии в ней. Полученные результаты могут быть использованы для описания и предсказания процессов, происходящих в астрофизических объектах, а также в лабораторных установках по удержанию высокотемпературной плазмы. Таким образом, тема диссертационного исследования Рахмановой Л.С. является актуальной. Работа проведена на основе современных спутниковых данных, причем основной упор сделан на использование измерений плазменного спектрометра БМСВ с российского космического аппарата Спектр-Р.

Работа состоит из Введения, четырех глав и заключения. Во введении к диссертации дается обширный обзор имеющихся на данный момент представлений о взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой Земли, структуре магнитослоя и свойствах турбулентного течения плазмы в солнечном ветре и магнитослое. Обоснована актуальность и сформулированы цели работы, обсуждается ее научная новизна и значимость.

В первой главе приводится информация о спутниковых данных, использованных в диссертационной работе. Описывается конструкция прибора БМСВ на спутнике Спектр-Р, на данных которого основывается большая часть результатов, представленных в диссертации, а также специфика этих данных в районе магнитослоя. Приводится подробное описание методик, используемых при анализе экспериментальных данных: корреляционного анализа одновременных измерений на двух спутниках, Фурье-анализа быстрых флуктуаций параметров плазмы, и др. Кроме того, обсуждаются применяемые подходы для моделирования положения магнитопаузы и околоземной ударной волны, необходимые для интерпретации результатов работы.

Во второй главе представлен анализ модификации резких фронтов плотности солнечного ветра и модуля межпланетного магнитного поля при пересечении околоземной ударной волны и движении по магнитослою. Проводится как анализ отдельных событий, так и корреляционный анализ, основанный на большом статистическом материале. Анализируется зависимость коэффициента корреляции параметров плазмы, измеренных одновременно перед и за околоземной ударной волной, от параметров солнечного ветра и конфигурации околоземной ударной волны. В данной главе автором диссертации выявлены факторы, определяющие степень корреляции между параметрами плазмы в солнечном ветре и в магнитослое, что безусловно важно для разработки моделей солнечно-земных связей.

В третьей главе приводятся результаты статистического анализа характеристик турбулентности плазмы в магнитослое вплоть до кинетических масштабов. Подобное исследование является пионерским, т.к. впервые приводится в данной диссертационной работе в связи с отсутствием систематических измерений параметров плазмы с достаточно высоким временным разрешением до запуска аппарата Спектр-Р. Рассматриваются частотные спектры флуктуаций потока ионов, и проводится их степенная аппроксимация в диапазонах частот, соответствующих переходу от инерционной области турбулентного каскада к диссипативной. По полученным аппроксимациям вычисляются характерные значения наклонов функций распределения, отражающие свойства турбулентного каскада для соответствующих масштабов. Автором впервые определяются характерные свойства спектров флуктуаций плазменных параметров в магнитослое. Полученный результат важен для понимания механизмов формирования турбулентного каскада в бесстолкновительной плазме.

В четвертой главе исследуется влияние магнитопаузы и околоземной ударной волны на характеристики турбулентности плазмы в магнитослое. Полученные статистические распределения свидетельствуют об отклонении вблизи околоземной ударной волны турбулентного каскада от колмогоровского вида, предсказываемого в большинстве теорий развитой турбулентности. Сделанные выводы о перераспределении энергии в каскаде при пересечении плазмой околоземной ударной волны представляют интерес для дальнейшего более глубокого исследования в этом направлении.

В заключении приводятся основные результаты, определяющие значимость и новизну работы, а также обсуждаются возможности ее практического использования.

Диссертационная работа Рахмановой Л.С. представляет собой законченное исследование в области физики Солнца. Достоинствами данной работы является использование уникальных данных российского спутника Спектр-Р. В работе впервые обработаны данные по потокам ионов в магнитослое, полученные с высоким временным разрешением, и выполнен анализ турбулентности в магнитослое с учетом наличия границ. В работе разумно сочетаются методы автоматической и ручной обработки. Такой подход позволил эффективно исследовать скачки

параметров при переходе через ударную волну и спектры турбулентности с учетом существования качественно различающихся типов спектров. Результаты работы послужат основой для разработки теоретических моделей турбулентности околосолнечной плазмы. Результаты актуальны, удовлетворяют требованиям новизны и могут быть в дальнейшем использованы не только для космической плазмы, но и в области физики Солнца и лабораторной физики плазмы. Положения, выносимые на защиту, достоверны и обоснованы. Результаты диссертационного исследования были опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах, индексируемых в международных системах цитирования, а также представлены на крупных российских и международных конференциях. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Данное исследование не свободно от некоторых недостатков, в основном относящихся к изложению полученных результатов и объективной трудности выбора оптимального метода количественного анализа разнородных данных.

При анализе корреляционных функций во второй главе используется корреляция во временной области с не зависящим от частоты временным сдвигом. Такое приближение оправдано, так как определенное по максимуму коэффициента корреляции время примерно соответствует времени переноса. Тем не менее, возможная зависимость времени задержки от частоты может вносить ошибку в анализ. Применение линейной корреляции приводит к тому, что структуры, имеющие одинаковую форму, но разную длительность, оказываются классифицированы как некоррелированные. И даже в рамках развитого подхода, автор делает слишком сильный вывод об отсутствии корреляции в ряде случаев. Так на стр. 59 автор дает деление на высокую, умеренную и низкую корреляцию, и наиболее вероятными являются умеренные значения корреляции. А промежуточный итог анализа корреляционных функций формулируется как «отсутствие корреляции» в 36% случаев. В третьей главе рассматриваются форма спектров флуктуаций плазмы, а для аппроксимации спектров используется только степенная аппроксимация с изломом. Для некоторых величин эта аппроксимация близка к оптимальной (поток ионов, рис. 25), а для других (полярный угол, там же), спектр заметно отклоняется от линейной зависимости, и стоило бы сравнить выбранную аппроксимацию с другими, например, – лог-нормальное или Пуассоновское распределение.

В целом диссертационная работа написана грамотно, хорошим языком, но все же в ней встречаются отдельные неточности, например: «мелкомасштабные структуры - фронты увеличения или уменьшения плотности за период времени от нескольких секунд до нескольких десятков секунд» (стр. 58), хотя характерная длительность изучаемых структур – не секунды, а минуты; «коэффициент корреляции между одновременными измерениями» (стр. 60).

