

ОТЗЫВ

официального оппонента Ермолаева Юрия Ивановича, заведующего лабораторией солнечного ветра Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт космических исследований Российской академии наук, на диссертацию Лукманова Владислава Рамильевича на тему «Исследование динамики солнечного ветра по данным мониторинга межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия

Диссертация посвящена изучению характеристик межпланетной плазмы и их динамики на основе данных мониторинга межпланетных мерцаний сильных источников на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Основной целью работы является исследование глобальной структуры и характеристик крупномасштабных возмущений солнечного ветра на спаде 24-го и начале 25-го циклов солнечной активности по вышеуказанным данным.

Исследования **актуальны** и представляют практический интерес, так как в результате работы автором разработаны модели предсказания прихода на орбиту Земли событий типа ICME (межпланетных проявлений корональных выбросов массы) и областей взаимодействия потоков типа CIR, и на основе этих моделей разработан метод краткосрочного прогноза геомагнитных возмущений. В диссертации используется уникальная методика восстановления свойств глобальной неоднородной и нестационарной структуры солнечного ветра по данным радиотелескопов. С помощью данного метода возможно исследование областей в гелиосфере, недоступных для прямых измерений на космических аппаратах. Особо следует отметить, что представленная методика опирается на данные Российского телескопа БСА ФИАН, а зарубежные данные используются исключительно для сравнения и верификации результатов.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, а также списков использованных сокращений, таблиц и иллюстраций. Работа содержит 129 страниц машинописного текста, 41 рисунок, 3 таблицы, библиографию из 193 наименований. Во **введении** дана общая характеристика работы, приведен обзор литературы по теме исследования, обоснована актуальность работы, сформулирована цель исследования, показана новизна и практическая значимость работы. **Первая глава** посвящена подробному описанию применяемых методов и их обоснованию. **Во второй главе** представлены результаты анализа глобальной структуры солнечного ветра на спаде 24-го цикла солнечной активности. Проведены оценки скорости солнечного ветра по однопунктовым наблюдениям на радиотелескопе БСА ФИАН. Сравнение с оценками полученными на основе трехпунктовых наблюдений ISEE в Японии показало заметное влияние анизотропии межпланетной среды или самого радиоисточника. Представлены результаты анализа зависимости индекса мерцаний от скорости солнечного ветра и от расстояния от Солнца и показано, что флуктуации электронной плотности межпланетной плазмы пропорциональны ее среднему значению. С помощью вышеуказанного анализа удалось идентифицировать приэкваториальный плотный токовый слой и показать отличия его толщины для разных фаз цикла солнечной активности. **Третья глава** посвящена описанию предложенной автором модели распространения ICME. С помощью этой модели на базе сравнения двумерных динамических карт индексов мерцаний предложен метод оценки времени прихода возмущения на орбиту Земли. Разработанный метод апробирован на 11 событиях ICME в 2021-2022 гг., приведших к развитию магнитных

бурь, и показано, что подход может применяться для краткосрочных прогнозов начала магнитных бурь с опережением 15-20 часов. В **четвертой главе** представлена новая модель крупномасштабных возмущений типа CIR в межпланетном пространстве. Модель основана на сравнении наблюдательных и модельных динамических карт мерцаний и учитывает 27-суточную периодичность появления событий данного типа на орбите Земли. На примере качественно обоснована возможность предсказания прихода CIR к Земле с помощью сравнения динамических карт индексов мерцаний совместно с отслеживанием ослабления ночных мерцаний за несколько суток до начала магнитной бури, вызванной CIR. В **заключении** приведены результаты диссертации и основные выводы, а также описана возможность дальнейшего развития темы исследования.

Основные результаты диссертации, определяющие ее **новизну и научную значимость**, сводятся к следующему:

1. Впервые по однопунктовым наблюдениям межпланетных мерцаний получены оценки скоростей солнечного ветра на спаде 24 цикла солнечной активности.

2. Впервые показано, что среднегодовые оценки скоростей на основе однопунктовых измерений совпадают в пределах погрешностей с оценками на основе трехпунктовых измерений при выборе компактного источника, тогда как при выборе протяженного источника оценки на основе однопунктовых измерений значительно выше. Выявлено что наблюдаемая разница определяется влиянием анизотропии межпланетной среды и радиоисточника на однопунктовые оценки скорости солнечного ветра.

3. Впервые проведено моделирование радиальной зависимости индекса мерцаний в предположении наличия плотного приэкваториального слоя. Выявлено, что в максимуме цикла солнечной активности толщина слоя вдвое больше чем в минимуме.

4. Впервые показано, что наблюдается антикорреляция между индексом мерцаний и скоростью солнечного ветра при усреднении наблюдений отдельных радиоисточников на интервалах порядка 1 года. Обосновано использование одновременных наблюдений большего количества компактных радиоисточников при анализе на интервалах с длительностью менее года.

5. Разработана кинематическая модель распространения крупномасштабных возмущений солнечного ветра типа ICME в межпланетном пространстве. Предложен метод прогноза времени прихода ICME на орбиту Земли на основе сравнения двумерных динамических карт индексов мерцаний, полученных по наблюдениям и на основе модели.

6. Разработана кинематическая модель распространения крупномасштабных возмущений солнечного ветра типа CIR в межпланетном пространстве. На основании предложенной модели, наблюдений ослабления ночных мерцаний и информации о 27 суточной периодичности CIR выделены признаки, позволяющие идентифицировать события типа CIR за несколько суток до их прихода к орбите Земли.

Все результаты, выносимые на защиту, являются новыми и получены впервые. В целом диссертация логично и ясно изложена, хорошо иллюстрирована, имеет достаточно полный список цитирований и аккуратно оформлена. К работе можно высказать лишь несколько замечаний:

1. Для идентификации событий типа CME используются каталоги вспышек, хотя известно, что сами вспышки не всегда сопровождаются возмущениями в солнечном ветре (и автор сам об этом пишет). Было бы более корректно использовать для этих целей каталоги CME полученные с помощью коронографов.

2. Автор в недостаточной мере привлекает для проверки результатов прогнозов прямые измерения солнечного ветра, полученные на основе спутниковых данных. В том числе было бы полезно дополнить таблицу 3 данными по скорости солнечного ветра, измеренной на спутниках.

3. В качестве областей взаимодействия потоков в солнечном ветре рассматриваются только области CIR - области компрессии плазмы, образующиеся на границах высокоскоростных потоков из корональных дыр и медленного солнечного ветра, и наблюдающиеся на орбите Земли с периодичностью 27 суток. Было бы полезно рассмотреть аналогичные области компрессии плазмы на границах ICME и медленного солнечного ветра (Sheath), которые имеют близкие характеристики плазмы, в том числе характеристики турбулентных флуктуаций в них.

4. В работе обсуждаются характеристики спектра турбулентности межпланетной плазмы, но не приводятся сравнения с результатами исследований спектров турбулентности по локальным измерениям межпланетного магнитного поля и плазмы солнечного ветра, которые широко освещаются в литературе в последние годы.

5. В работе имеются ряд стилистических и терминологических неточностей:

- Стр. 16 присутствуют многократные повторения в тексте термина "мерцания": "по наблюдениям межпланетных **мерцаний** сильных **мерцающих** радиоисточников в зоне слабых **мерцаний** путем вписывания теоретических временных спектров **мерцаний** в спектр **мерцаний**" - многократное повторение одного и того же термина (в данном случае 5 раз в одной фразе) делают фразу плохо читаемой и не понятной.
- Стр. 9 и далее по тексту используется сокращение CME, тогда как речь идет о межпланетном проявлении коронального выброса массы, которое более корректно обозначить как ICME (interplanetary coronal mass ejections).
- Стр. 10 - повтор «...CME.... **связаны с солнечными вспышками, связанными с** энерговыделением в короне...».
- Стр. 62 (и далее по тексту) - вместо выражения «угол раскрыва» было бы более корректно использовать выражение «угол раскрытия».
- Стр. 84 - жаргон «одногоорбые графики», «двугорбые графики».

Отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на общее положительное заключение о работе. Полученные в диссертации результаты интересны, **актуальны, обоснованы и достоверны**. Полученные диссертантом результаты **опубликованы** в 8 работах в рецензируемых научных журналах из рекомендованного ВАК перечня и прошли апробацию на многочисленных Российских и международных тематических конференциях. Цитирование диссертантом литературы позволяет однозначно отличить вклад диссертанта от результатов, полученных диссертантом в соавторстве, и от результатов, заимствованных из работ других авторов. Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Представленная диссертация является научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет всем критериям и требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия, а ее автор заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Официальный оппонент,

заведующий лабораторией солнечного ветра Института космических исследований РАН,

доктор физико-математических наук Ермолаев Ю. И. Ермолаев

01.04.2024

Подпись Ю. И. Ермолаева *заверяю*

ученый секретарь Института космических исследований РАН,

кандидат физико-математических наук

А. М. Садовский

01.04.2024

