

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Кудрявцевой Анастасии Витальевны** «ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ В СПОКОЙНОЙ И ВОЗМУЩЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЕ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «физика космоса, астрономия»

Диссертационная работа Кудрявцевой А.В. представляет собой экспериментальное исследование явлений в солнечной атмосфере в спокойные и возмущенные периоды времени.

Актуальность данной диссертационной работы связана с необходимостью дальнейшего углубления детального понимания физики Солнца и солнечно-земных связей, необходимых для создания теоретических моделей, описывающих нестационарные процессы на Солнце на разных фазах солнечной активности (СА). Лучшее понимание связи процессов, происходящих в атмосфере Солнца с разными типами солнечного ветра (СВ), а также эруптивных процессов на Солнце, таких как вспышки и корональные выбросы массы, необходимы для разработки новых методов прогнозирования явлений космической погоды, таких как солнечные протонные события, магнитные бури и т.д., являющихся прямыми или косвенными следствиями эруптивных процессов на Солнце. Процессы, происходящие на Солнце, являются основным фактором, воздействующим на околоземное космическое пространство (ОКП). Это воздействие оказывается как солнечным ветром, так и транзитными явлениями, такими как корональные выбросы массы (КВМ) и вспышки. Детальное изучение процессов на Солнце, делающее возможным последующее прогнозирование явлений космической погоды, помимо фундаментального, имеют также существенное практическое значение. Оно связано с тем, что указанные явления могут оказывать воздействие на околоземное космическое пространство, магнитосферу, ионосферу и атмосферу Земли. Актуальность представляемой работы также вызвана появлением в последнее время как новых типов экспериментальных данных, полученных и во время экспериментов на космических аппаратах, и при помощи наземных установок, имеющих высокое пространственное и временное разрешение, так и новых теоретических работ, демонстрирующих потенциальную эффективность микроволновых наблюдений.

Научная новизна выполненных исследований, как и указано в диссертации состоит в следующем:

- 1) впервые выявлена северно-южная асимметрия джетов, в полярных областях солнечной короны на расстояниях от 4 до 16 солнечных радиусов (наблюдения в белом свете);
- 2) впервые проведен анализ местоположения Источника над Нейтральной Линией (ИНЛ) на частотах 4–8 ГГц по данным SRG-48 в геоэффективной активной области;
- 3) впервые показана пространственная связь между вспышечными петельными структурами разной высоты при помощи изображений в диапазоне 4-8 ГГц, объясняющая наличие общего источника для квазипериодических колебаний во вспышке.

Диссертация Кудрявцевой А.В. состоит из введения, трех глав, заключения, приложения и списка литературы.

Во введении показана **актуальность** выполненных исследований, сформулированы **цель работы** и поставленные в работе **задачи**, перечислены **положения, выносимые на**

защиту, новизна, достоверность, научная и практическая значимость полученных результатов, приведено краткое содержание диссертации и **личный вклад** автора.

В первой главе представлены результаты исследования динамики распространения джетов в потоках СВ в солнечной короне по данным космических аппаратов (КА) STEREO в период с 2009 по 2014 год и определения их возможных источников. Показано, что для северного полушария количество джетов в 2011 году превышало их количество в 2014 в два раза, а для южного полушария ситуация противоположная - в 2014 году количество джетов превосходило наблюдаемое число в 2011. Данный факт отражает значительную асимметрию для северного и южного полюсов. Таким образом, **основной результат первой главы**, состоит в обнаружении северно-южной асимметрии в распределении джетов в высокоширотных областях солнечной короны. Выявлены закономерности изменения их характеристик с течением цикла СА, выдвинуты предположения о причинах обнаруженной асимметрии, основанные на том, что изменение характеристик джетов совпадает на временных масштабах с моментами смены знака в полярных областях.

Вторая глава диссертации посвящена описанию методов и результатов исследования компактного микроволнового источника над линией инверсии фотосферного магнитного поля (ИНЛ - Источник над Нейтральной Линией) как предвестника мощных солнечных вспышек по многоволновым данным прототипа Сибирского радиогелиографа (СРГ-48). Исследование выполнено для геоэффективной активной области АО 12673, ставшей в период с 4 по 10 сентября источником четырех вспышек балла X, в том числе самой сильной вспышки 24 цикла СА, X9.3), что делает рассмотрение данного периода времени с точки зрения космической погоды особенно интересным.

Основным результатом Главы 2 является выявление наличия микроволнового источника радиоизлучения в диапазоне 4-8 ГГц над линией инверсии магнитного поля в АО 12673 по данным СРГ-48. При этом для определения местоположения ИНЛ двумерные многоволновые данные СРГ-48 использовались впервые. Автором показано, что положение ИНЛ относительно линии инверсии магнитного поля не менялась с 5 по 7 сентября 2017 года, что указывает на существование ИНЛ на протяжении всего времени вспышек. На основании этого делается достаточно сильный вывод, *что при сохранении ИНЛ в АО мощные солнечные вспышки будут продолжаться*.

Третья глава диссертации посвящена многоволновому анализу квазипериодических пульсаций вспышки рентгеновского класса С6.9, произошедшей 5 сентября 2017 года около 07:05 UT в АО 12673, результаты исследования которой приведены в Главе 2. Автором обсуждаются возможности использования квазипериодических пульсаций (КПП), наблюдаемых в разных диапазонах длин волн для диагностики как физических параметров во вспышечных областях, так и механизмов излучения. Это является важной задачей, поскольку сравнительный анализ КПП в различных диапазонах дает уникальный материал, позволяющий определить локализацию места высвобождения и переноса энергии. Анализ был выполнен на основе данных следующих инструментов: Мингантунский спектральный радиогелиограф MUSER (MingantU SpEctral Radioheliograph), широкополосный микроволновый спектрополяриметр BBMS, радиоспектрограф станция Learmonth, входящий в сеть Radio Solar Telescope Network (RSTN). Для получения изображений в крайнем ультрафиолетовом (КУФ) диапазоне были использованы данные инструмента SWAP (Sun Watcher with Active Pixel), установленного на борту ИСЗ PROBA2.

Основными результатами Главы 3 является обнаружение связи между возможным источником колебаний в микроволновом диапазоне (вспышечная петля) и

источником колебаний в дециметровом диапазоне в результате анализа изображений, полученных SRG-48. Совместный анализ радиоданных в микроволновом и КУФ диапазоне показал, что основание петельной структуры АО находится вблизи веерной структуры. Выявлена связь вспыхивающих источников, полученных при помощи изображений в диапазоне 4-8 ГГц по данным SRG-48, с высокой петельной структурой, предложен сценарий, объясняющий возникновение КПП, генерируемых одним источником одновременно в дециметровом и микроволновом диапазоне - возбуждение в петле гиротронного излучения сосисочной модой быстрой магнитоакустической волны.

Научная и практическая значимость диссертационной работы состоит в следующем:

автором предполагается возможность прогнозирования мощных солнечных вспышек с использованием многоволновых микроволновых данных с пространственным разрешением по наличию в АО источника над линией инверсии магнитного поля;

использование многоволнового подхода к анализу вспыхивающих событий позволяет локализовать области энерговыделения во вспышке, а также разработать сценарий, объясняющий связь между колебаниями с различным периодом, одновременно наблюдавшимися в различных спектральных диапазонах;

результаты, полученные при изучении закономерностей распространения джетов, полезны в плане их вклада в динамику солнечного ветра на разных фазах СА.

Материалы диссертации опубликованы в 8 печатных работах, из них 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций, 1 статья в не рецензируемом журнале, 4 в сборниках трудов конференции. Основные результаты и выводы диссертации докладывались лично автором на различных российских и международных конференциях.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям «Положением о порядке присуждения ученых степеней» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям. Она написана ясным языком, хорошо оформлена. Проводимый анализ данных достаточно детален и методически выверен, все научные положения, выводы и заключения соискателя, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны. Достоверность результатов также подтверждается их согласованностью с результатами других авторов, использующих другие наблюдательные данные.

Представленный автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Тем не менее, при хорошем общем впечатлении от диссертации, следует отметить некоторые недочеты и возникающие вопросы.

1. В первой главе, посвященной исследованию джетов, было бы не лишним провести анализ их возможной геоэффективности – есть ли отклик на них в геомагнитных возмущениях.

2. Результат по джетам был получен при помощи данных КА STEREO, возникает вопрос - были ли сделаны попытки верифицировать полученные результаты при помощи данных аналогичного эксперимента – LASCO (SOHO).

3. Как сказано в диссертации - *из этого каталога было выделено 14 вспышек, для которых не был найден постоянный период (а, значит, они потенциально имели нестационарные КПП) и которые наблюдались на SRG-48. Из них в двух событиях нестационарность КПП являлась результатом сложения нескольких периодических компонент.* Автор не пояснил, почему из упомянутых 14 вспышек, после исключения двух, была выбрана именно вспышка 5 сентября (07:04 UT).

В работе встречаются опечатки – так, период 2007-2008 годов на странице 17 со ссылкой на работу [Paraschiv et al., 2010] верно назван максимумом СА, а на странице 33

со ссылкой на эту же работу написано «в максимуме солнечного цикла (2007-2008 гг.)», что, по всей видимости, является опечаткой.

Перечисленные недочеты не влияют на общую оценку диссертационной работы. По моему мнению, диссертация Кудрявцевой Анастасии Витальевны «ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ В СПОКОЙНОЙ И ВОЗМУЩЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЕ», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «физика космоса, астрономия» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям, а ее автор несомненно заслуживает ученой степени «кандидат физико-математических наук».

Официальный оппонент

старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына (НИИЯФ МГУ),
кандидат физико-математических наук (01.04.08 Физика плазмы)

Мягкова Ирина Николаевна

Индекс, почтовый адрес места работы:

119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, строение 2,

телефон +79035301588, электронный адрес irina@srd.sinp.msu.ru


22.12.2023

Подпись Мягковой И.Н. удостоверяю
Ученый секретарь НИИЯФ МГУ, к.ф.-м.н.



Сигаева Е.А.