

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 24.1.262.02

24 апреля 2024 года

Защита диссертации

Лукманова Владислава Рамильевича

на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

*“Исследование динамики солнечного ветра по данным
мониторинга межпланетных мерцаний на радиотелескопе
БСА ФИАН”*

Присутствовали члены диссертационного совета:

Новиков И.Д., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки, председатель диссертационного совета

Лихачев С.Ф., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки, заместитель председателя диссертационного совета

Тюльбашев С.А., д.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки, заместитель председателя диссертационного совета

Шахворостова Н.Н., к.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки, учёный секретарь диссертационного совета

Андрианов А.С., к.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Васильев Е.О., д.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки

Вибе Д.З., д.ф.-м.н., профессор РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки

Занин К.А., д.т.н., 1.3.1, техн. науки

Каленский С.В., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки (*присутствует удалённо*)

Ковалев Ю.А., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Ларионов М.Г., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки (*присутствует удалённо*)

Лутовинов А.А., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки (*присутствует удалённо*)

Малофеев В.М., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Новиков Д.И., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Пилипенко С.В., к.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки

Попов М.В., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки (*присутствует удалённо*)

Пушкарев А.Б., д.ф.-м.н., профессор РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки (*присутствует удалённо*)

Слемзин В.А., д.ф.-м.н., доцент, 1.3.1, физ.-мат. науки

Троицкий С.В., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки

Чашей И.В., д.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки

Председатель заседания – доктор физико-математических наук, председатель диссертационного совета И.Д. Новиков.

Секретарь заседания – кандидат физико-математических наук, учёный секретарь диссертационного совета Н.Н. Шахворостова.

Заседание проводится с участием членов диссертационного совета в удалённом интерактивном режиме. Распорядительный акт директора ФИАН Колачевского Н.Н. о проведении заседания диссертационного совета с участниками в удалённом интерактивном режиме находится в приложении №1 к стенограмме. Презентация доклада соискателя, которая демонстрировалась во время заседания, находится в Приложении №2 к стенограмме. Аудиовидеозапись заседания хранится на электронном носителе в Организации, на базе которой создан Диссертационный совет.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Добрый день, коллеги! Начинаем наше заседание по защите диссертации. Я попрошу учёного секретаря огласить все формальные сведения. Пожалуйста.

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Добрый день, коллеги! Итак, мы начинаем наше сегодняшнее заседание по защите кандидатской диссертации Лукманова Владислава Рамильевича. Сегодня 24 апреля, 12 часов московского времени. Включена аудиовидеозапись заседания, и всех членов диссовета, кто присутствует удалённо, я прошу все время быть с включенными камерами, но пока с выключенным звуком. Прошу включать звук при необходимости, когда Вы хотите задать вопрос или что-то сказать. У нас сегодня кворум стопроцентный, присутствуют все 20 членов диссертационного совета из 20. Из двадцати членов совета пятеро присутствуют удалённо, таким образом соблюдены все требования по соотношению между онлайн участниками и участниками, присутствующими лично в зале.

Итак, фамилия, имя, отчество соискателя – Лукманов Владислав Рамильевич. Название диссертации «Исследование динамики солнечного ветра по данным мониторинга межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН». Кандидатская диссертация по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия, физико-математические науки. Диссертация выполнена в Пушчинской радиоастрономической обсерватории Астрокосмического центра Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук. В период подготовки диссертации Лукманов Владислав Рамильевич работал в Пушчинской радиоастрономической обсерватории в должности младшего научного сотрудника. Научный руководитель – Чашей Игорь Владимирович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заместитель директора ПРАО АКЦ ФИАН по научным вопросам. Научный консультант –

Тюльбашев Сергей Анатольевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом плазменной астрофизики ПРАО АКЦ ФИАН. В качестве ведущей организации выступило Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Пушкова Российской академии наук», сокращенно ИЗМИРАН, город Москва. Официальными оппонентами по диссертации выступили Ермолаев Юрий Иванович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией солнечного ветра Института космических исследований Российской академии наук, город Москва. И Писанко Юрий Владимирович, доктор физико-математических наук, заведующий отделом геоэффективных излучений в атмосфере и в космосе Института прикладной геофизики Росгидромета, город Москва. (*Обращаясь к оппоненту Писанко Ю.В.*) Здравствуйте, я прошу прощения, не поздоровалась с вами сразу.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Так, пожалуйста...

СЕКРЕТАРЬ: Я еще должна теперь...

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Да, да, огласить содержание документов.

СЕКРЕТАРЬ: Огласить содержание документов, основные выдержки из представленных документов. Итак, в деле у нас имеются все документы необходимые. Это диплом о высшем образовании, удостоверение и справка о кандидатских экзаменах, заключение организации. Все требуемые отзывы поступили в срок, все они положительные и удовлетворяют установленным требованиям. Соискатель Лукманов Владислав Рамильевич, 1989 года рождения, в 2013 году окончил Государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ» по специальности «Физика кинетических явлений», дипломированный специалист, а в 2020 году окончил с отличием магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пушкинский государственный естественно-научный институт», сокращенно ПушГЕНИ, по направлению 03.04.02 – Физика, образовательная программа «Астрофизика. Физика космических излучений и космоса». Лукманов Владислав Рамильевич обучался в очной аспирантуре Института машиноведения имени Благонравова

Российской академии наук в период с 23 мая 2013 года по 22 мая 2016 года по специальности 25.00.17 – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений». Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов номер 968 выдано 22 мая 2016 года в Институте машиноведения. А справка номер 16-31 о сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия» выдана 18 апреля 2023 года в Пушчинском естественно-научном институте. Оценки. История и философия науки – хорошо, английский язык – отлично. Специальная дисциплина «Физика космоса, астрономия» – отлично. В настоящее время соискатель работает младшим научным сотрудником в Пушчинской радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН. Я закончила.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Слово представляется соискателю для доклада. Пожалуйста, Владислав Рамильевич.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

На экран выводится демонстрация слайдов презентации доклада соискателя.

СОИСКАТЕЛЬ:

Слайд 1.

Здравствуйте, уважаемые члены Диссертационного совета и все присутствующие! Представляю Вам свою диссертацию. Тема уже была озвучена, поэтому сразу перейду к содержанию.

Слайд 2.

Целью моей диссертации являлось исследование глобальной структуры, крупномасштабных возмущений солнечного ветра по данным наблюдений межпланетных мерцаний. Задачами диссертации являлась разработка моделей, позволяющих оценивать скорость солнечного ветра, а также уровень турбулентности межпланетной плазмы по наблюдениям одиночных радиоисточников. Второй задачей являлась разработка моделей крупномасштабных возмущений солнечного ветра, которые позволяют предсказывать их приход к Земле (проблема космической погоды).

(Небольшая техническая заминка, связанная с переключением слайдов).

Слайд 3.

Первая глава диссертации посвящена описанию метода межпланетных мерцаний. Также описан радиотелескоп БСА ФИАН, данные которого использовались в рамках данной работы. Мерцания представляют собой флуктуации излучения, приходящего от радиоисточников.

Слайд 4.

И тут на слайде показана схема наблюдений. Излучение от удаленных радиоисточников проходит через неоднородную межпланетную среду, на этих неоднородностях сигнал искажается, ну и на радиотелескоп приходит в таком вот мерцающем виде. Основной вклад в мерцания дают области вблизи прицельной точки, это самая ближайшая к Солнцу точка на луче зрения, на оси Z она «0» обозначена. И когда мы говорим про мерцания на каком-то расстоянии от Солнца, имеется в виду расстояние данной прицельной точки от Солнца.

Слайд 5.

У мерцаний есть характеристики. Основная характеристика – это индекс мерцаний. Тут вверху формула по определению через измеряемую плотность потока. Также известна теоретическая формула, она приведена в виде двойного интеграла, интегрирование по лучу зрения и по пространственным частотам.

Слайд 6.

Другой характеристикой является временной спектр мерцаний, тоже формула в виде двойного интеграла.

Слайд 7.

И в рамках работы при расчетах характеристик использовались следующие предположения:

- Скорость солнечного ветра предполагалась постоянной по величине и направленной радиально от Солнца;
- Трехмерный спектр турбулентности предполагался степенным с показателем -3.6;
- Межпланетная среда предполагалась сферически-симметричной;
- Ну и пространственное распределение радиоисточника предполагалось гауссовским.

Слайд 8.

И тут на слайде показан сам радиотелескоп БСА ФИАН. Это Большая Синфазная Антенна, радиотелескоп меридионального типа. Круглосуточные наблюдения на модернизированном радиотелескопе проводятся с 2014 года на центральной частоте 111 МГц и на склонениях от -8 до $+42$ градусов.

Слайд 9.

Вторая глава посвящена глобальной структуре солнечного ветра на спаде 24-го цикла солнечной активности (с 2014 по 2019 годы). Оценивалась скорость солнечного ветра по наблюдениям двух сильно мерцающих радиоисточников, один из них более компактный ЗС48, другой более протяженный ЗС298. Для оценки скорости солнечного ветра получался временной спектр мерцаний по данным наблюдений (на рисунке справа синяя линия). Для получения спектра по данным наблюдений бралось Быстрое Дискретное Преобразование Фурье массива из 2048 точек сигнала за вычетом диаграммы направленности, это примерно 3.5 минуты записи с центром, соответствующим моменту прохождения радиоисточника через максимум диаграммы направленности. В полученный спектр по данным наблюдений вписывались теоретические спектры (показано оранжевой линией), посчитанные по теоретической формуле для элонгации источника на момент его наблюдения, углового размера в соответствии с каталогом, но для разных скоростей солнечного ветра. Методом наименьших квадратов выбиралось оптимальное вписывание, таким образом получалась оценка скорости солнечного ветра на момент наблюдения данного радиоисточника.

Слайд 10.

И полученные однопунктовые оценки скорости солнечного ветра сравнивались с соответствующими трехпунктовыми оценками, полученными в Университете Нагойя в Японии с использованием временной задержки прихода сигнала между тремя радиотелескопами. И для сравнения были выбраны элонгации от 25 до 60 градусов. Ну, потому что на элонгациях, меньше, чем 25° мерцания переходят в режим насыщения и подавляются эффектами, связанными с угловым размером источника. Здесь и во всей работе рассматривалась только зона слабых мерцаний: элонгация от 25° , расстояние от Солнца от 0.4 астрономических единиц, все, что ближе к Солнцу, не рассматривалось. А на элонгациях больше, чем 60° , мерцания, наоборот, затухают, точность

трехпунктовых оценок падает, поэтому для глобальной структуры солнечного ветра был использован этот диапазон от 25 до 60 градусов.

Тут на рисунке приведены среднегодовые оценки скорости солнечного ветра по наблюдениям каждого источника. По оси абсцисс – это наши однопунктовые оценки, по оси ординат – трехпунктовые оценки. Также нанесена теоретическая прямая $y = x$: в идеале однопунктовые и трехпунктовые оценки должны совпадать. По наблюдениям компактного радиоисточника они на самом деле совпадают (метки в виде кружочков), в пределах погрешностей совпадают, а по протяженному радиоисточнику (треугольники) однопунктовые оценки превышают трехпунктовые. Таким образом, был сделан вывод, что данная методика оценки скорости солнечного ветра больше пригодна по наблюдениям компактных радиоисточников, а в случае протяженных радиоисточников возможно влияние анизотропии межпланетной среды, а также угловая структура самого источника, и при оценках по протяженному источнику стоит уточнять эти параметры. Что еще можно отметить, то, что на спаде цикла солнечной активности все оценки скорости солнечного ветра показывают рост. Так и должно быть, это согласуется с теорией.

Слайд 11.

Затем была исследована зависимость индекса мерцаний от расстояния от Солнца уже по наблюдениям только компактного радиоисточника. И тут на слайде в логарифмическом масштабе показана эта зависимость за 2015 год. В точки по данным наблюдений вписывалась методом наименьших квадратов логарифмическая прямая (оранжевого цвета), а также наносилась теоретическая прямая, посчитанная по теоретической формуле для индекса мерцаний (желтого цвета). Ну видно, что теоретическая и вписанная зависимости не совпадают, углы наклона разные, поэтому было выдвинуто предположение о наличии приэкваториального токового слоя. Моделировался слой вблизи солнечного экватора с удвоенной концентрацией плазмы. И теоретическая зависимость с учетом слоя показана зеленой линией. Теоретическая зависимость с учетом слоя ближе к вписанной, чем теоретическая зависимость для сферически-симметричной модели межпланетной среды, таким образом, предположение о наличии приэкваториального плотного токового слоя подтверждается. Также определялась полутолщина слоя, в 2015 году она составила, там наверху, $d = 0.2$ астрономических единиц вблизи максимума солнечной активности.

Слайды 12 – 13.

Примерно такое же значение в 2016 и в 2017 годах.

Слайды 14 – 15.

А вот уже ближе к минимуму цикла солнечной активности, в 2018 и в 2019 годах слой получился в два раза тоньше.

Слайд 16.

Затем рассматривалась зависимость индекса мерцаний от скорости солнечного ветра. На графике в логарифмическом масштабе даны среднегодовые оценки этих величин. Только при усреднении на годичных интервалах наблюдается значимая антикорреляция индекса мерцаний и скорости солнечного ветра: наверху над графиком коэффициент корреляции -0.981 . Также определен коэффициент наклона вписанной логарифмической прямой, он составил -0.893 : примерно обратная пропорциональность индекса мерцаний и скорости солнечного ветра, что косвенно указывает на пропорциональность флуктуаций концентрации плазмы ее среднему значению, конечно, при предположении постоянства усредненной плотности потока межпланетной плазмы. Ранее данный результат был получен по наблюдениям множества радиоисточников, а в данной работе такой же результат был получен по наблюдениям одиночного радиоисточника впервые.

Слайд 17.

Затем были рассмотрены крупномасштабные возмущения солнечного ветра: корональные выбросы массы, коротирующие структуры, которые потенциально могут к магнитной буре приводить, уже по наблюдениям множества мерцающих радиоисточников, в сутки наблюдается их около 5000. И третья глава посвящена первому виду возмущений – это корональные выбросы массы. Они моделировались в виде такой вот области, показанной на рисунке серым цветом, с утроенной концентрацией плазмы, распространяющейся радиально от Солнца с постоянной скоростью в сферически-симметричной межпланетной среде, и ограниченной двумя сферическими поверхностями с центром в центре Солнца и конической поверхностью с вершиной в центре Солнца. Также фиксировались параметры. И всего было рассмотрено 11 событий в 2021 – 2022 годах с магнитными бурями, которые связаны с корональными выбросами массы. И в каждом из случаев сравнивались динамические карты индексов мерцаний в дни накануне

магнитной бури: наблюдательная и модельная карты. Для модельных карт индекс мерцаний считался по теоретической формуле.

Слайд 18.

Тут вот на слайде показан 1 из 11 примеров сравнения, вверху наблюдательная карта, внизу модельная карта. Ну это динамические карты, то есть означает, что цвет на них отображает не сам индекс мерцаний, а отношение индекса мерцаний за рассматриваемый день к соответствующему значению за предыдущий день. Красный и оттенки красного цветов означают усиление мерцаний, оранжевый цвет означает мерцания примерно на том же уровне остались, ну а желтый цвет означает ослабление мерцаний. На горизонтальной оси показано всемирное время с 20 часов предыдущего дня до 20 часов рассматриваемого дня, по вертикальной оси – склонения. Также нанесены дуги расстояний, самая внутренняя из них, зеленая – это 0.4 астрономических единиц от Солнца, то есть граница зон сильных и слабых мерцаний, все, что внутри, нас не интересует. Потом, следующая, синяя дуга – 0.6 астрономических единиц, потом 0.8, и самая внешняя – 1 астрономическая единица от Солнца, то есть орбита Земли.

И в каждом из случаев подбирались солнечная вспышка из каталога, которая произошла не ранее, чем за трое суток до начала магнитной бури, и скорость распространения выброса сразу после этой вспышки таким образом, чтобы наблюдательные и модельные карты визуальным наилучшим образом согласовывались. И когда мы знаем время вспышки и оценили скорость распространения выброса после этой вспышки, то мы можем оценить, когда примерно выброс придет на Землю.

Слайд 19.

Это было сделано для всех 11 случаев, тут показана сводная таблица. Стоит обратить внимание на предпоследнюю колонку «разница реального и предсказанного времени». В среднем магнитная буря начиналась через 3.6 часов после предсказанного времени. Однако, следует еще обратить внимание на 4 случая, помеченные звездочкой, всего 4 случая, когда погрешность оказалась слишком большой. Ну там наблюдалось большое количество вспышек и значит, возможно, большое количество возмущений, взаимодействующих между собой. Без учета этих сложных случаев средняя погрешность всего лишь 0.8 часов составила, то есть в случае уединенных выбросов модель работает достаточно хорошо. Ну и стоит отметить то, что во

всех 11 случаях усиление мерцаний началось заранее, до прихода возмущения к Земле, таким образом, обоснована возможность краткосрочного прогноза прихода корональных выбросов массы к Земле за 15 – 20 часов.

Слайд 20.

Отдельно также был рассмотрен случай сильной и длительной магнитной бури 26 – 28 февраля 2023 года после серии вспышек: 2 М-вспышки 24-го, 2 М-вспышки 25 февраля.

Слайд 21.

Тут на слайде показаны карты за 26 февраля: вверху наблюдательная карта, затем две модельных карты для вспышек, которые произошли 24 февраля: в середине для менее мощной и короткой вспышки, а внизу для более мощной и длительной вспышки. Модельная карта для более мощной и длительной вспышки лучше соответствует наблюдательной карте, чем для другой вспышки. Таким образом, был сделан вывод, что, по-видимому, корональный выброс массы именно после сильной и длительной вспышки и привел к данной магнитной буре. Это также подтверждается данными каталога Sactus.

Слайд 22.

И теперь резюме по прогнозу прихода корональных выбросов массы к Земле. В данных межпланетных мерцаний они могут быть обнаружены по усилению мерцаний на расстоянии от 0.4 астрономических единиц от Солнца за 15 – 20 часов до их прихода. И при этом до прихода корональных выбросов массы усиление наблюдается, как правило, сначала в утренней, затем в тот же день в вечерней области. А если наблюдается серия вспышек, то чаще всего наблюдаемые усиления стоит привязывать к более сильным и длительным вспышкам.

Слайд 23.

Ну и, наконец, последняя четвертая глава диссертации посвящена второму виду возмущений, это коротирующие структуры. Они моделировались в виде такой вот струи с утроенной концентрацией плазмы, вращающейся вместе с Солнцем, и настигающей Землю каждые 27 суток. Центральная ось предполагалась в виде архимедовой спирали в плоскости солнечного экватора, сечение предполагалось прямоугольным с заданными размерами. И тут рассматривались всего 4 случая магнитных бурь в 2022 – 2023 годах, которые

заведомо связаны с коротирующими структурами. Ну тут стоит оговориться, что в отличие от корональных выбросов массы, где достаточно точно оценивается время их прихода к Земле, в случае коротирующих возмущений ситуация сложнее, реальная модель должна быть гораздо более сложной, содержать большее количество параметров, поэтому была поставлена задача скорее качественно определить признаки, по которым в принципе коротирующие возмущения могут быть обнаружены. И в каждом из 4 случаев сравнивались карты на недельных интервалах: три дня до бури, день бури и три дня после бури.

Слайд 24.

2 из 4 рассмотренных событий являлись простыми, одногорбыми по графику протонной плотности по данным спутника WIND. Первый случай – это 8 января 2022 года.

Слайд 25.

Тут вот показаны карты за 5 января, 3 дня до бури. Вверху наблюдательная карта, потом график значений с наблюдательной карты, усредненных по часовым интервалам и по всем склонениям, ну а внизу модельная карта. Ну, конечно, за 3 дня до магнитной бури наблюдательная и модельная карты не соответствуют, но какой теоретический признак по модельной карте можно определить: то, что начало усиления мерцаний с 10 до 12 часов по всемирному времени.

Слайд 26.

Затем начало усиления смещается в чуть более раннее время и само усиление растягивается во времени.

Слайд 27.

Ну а тут на слайде уже карты в день накануне магнитной бури и, в принципе, на качественном уровне, карты соответствуют, во всяком случае время усиления мерцаний примерно одно и то же.

Слайд 28.

Ну а это уже карты в день магнитной бури.

Слайд 29.

А это карты в день после магнитной бури. После прихода коротирующего возмущения к Земле усиление мерцаний с вечерней области смещается в утреннюю область.

Слайды 30 – 31.

Ну а дальше возмущение уходит и мерцания возвращаются в нормальный режим.

Слайд 32.

Второй рассмотренный случай, тоже простой, это 7 декабря 2022 года.

Слайд 33.

Тут показаны карты только в день магнитной бури. На качественном уровне они сходятся.

Слайд 34.

Потом 2 более сложных события, двугорбых. Первое из них 15 марта 2023 года.

Слайд 35.

Тут карты в день магнитной бури сходятся качественно.

Слайд 36.

И последнее, 23 – 24 марта 2023 года.

Слайд 37.

Тут карты за 23 марта.

Слайд 38.

И за 24 марта. На качественном уровне карты соответствуют и, таким образом, в целом модельные расчеты по коротирующим структурам подтверждаются что для простых, что для более сложных событий.

Слайд 39.

Ну и теперь резюме по прогнозу прихода коротирующих структур к Земле. Признак, который был установлен за 2–3 суток до прихода возмущения: начало усиления мерцаний в 13–15 часов по московскому времени, затем начало усиления смещается в чуть более раннее время, само усиление растягивается во

времени. Но в отличие от корональных выбросов массы, до прихода коротирующих структур усиление в утренней области отсутствует. Другим признаком, который не учитывался в данной модели, является ослабление ночных мерцаний за 2–3 суток до прихода возмущения. Ну и, конечно, известно то, что 27 суток – это период прихода коротирующих возмущений к Земле. Поэтому если, допустим, с предыдущей магнитной бури прошло 27 суток и наблюдается хотя бы один из этих признаков, то можно ожидать, что, возможно, опять будет магнитная буря, связанная с этим же коротирующим возмущением.

Слайд 40.

Ну и конечно, наблюдательные и модельные карты что для корональных выбросов массы, что для коротирующих структур, не всегда детально соответствуют друг другу, и прогноз не всегда точен и возможен по ряду причин. Во-первых, неизвестна точная модель межпланетной среды. Также неизвестна модель самих возмущений. Кроме того, модель рассматривает распространение только одиночных возмущений. Ну и то, что радиотелескоп у нас меридионального типа ограничен: одни и те же участки неба не чаще раза в сутки наблюдаются, и поэтому быстрые выбросы можем проглядеть. Ну и конечно, не учитывалось торможение выброса, также возможно влияние помех. Ну какое может быть решение? Очевидно то, что все небо желательно проглядывать чаще, чем раз в сутки. Это можно сделать использованием аналогичных наблюдений на разных географических долготах, а также можно использовать антенные решетки как вот типа LOFAR, которые позволяют почти одновременно все небо просматривать. И тогда уже распространяющиеся возмущения можно почти что в режиме реального времени отследить и точно предсказать их приход к Земле. Ну даже сам приход возмущения к Земле не всегда означает магнитную бурю, поэтому для более точного прогноза желательны данные о компоненте межпланетного магнитного поля B_z .

Слайд 41.

Ну и теперь положения, выносимые на защиту:

1. Первое, то, что исследование глобальной структуры солнечного ветра показало то, что межпланетная среда отличается от сферически-симметричной, в частности, было показано наличие приэкваториального плотного токового

слоя, который в максимуме солнечной активности вдвое толще, чем в минимуме активности.

2. Второе, то, что значимая антикорреляция скорости солнечного ветра и индекса мерцаний при наблюдении одиночных радиоисточников проявляется только при усреднении на годовых интервалах, поэтому если мы хотим исследовать глобальную структуру солнечного ветра на коротких интервалах, меньше года, то следует использовать одновременные наблюдения множества радиоисточников.

3. Третье, была предложена модель распространения корональных выбросов массы и обоснована возможность оценки прихода корональных выбросов массы к Земле за 15 – 20 часов.

4. Ну и четвертое, также была предложена модель коротящих структур, качественно определен признак, по которому они могут быть обнаружены вместе с ослаблением ночных мерцаний и 27-суточной периодичностью прихода.

Слайд 42.

Результаты работы опубликованы в журналах из перечня ВАК, всего 8 статей.

Слайд 43.

А также доложены на семинарах и конференциях, тут список.

Слайд 44.

У меня все, спасибо за внимание!

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Какие вопросы будут к соискателю? Да, пожалуйста!

ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА СОИСКАТЕЛЯ

МАЛОФЕЕВ В.М.: Вот вы сказали, что Вы для того, чтобы согласовать наблюдения с теорией ввели токовый слой, да? Околосолнечный. Около Солнца.

СОИСКАТЕЛЬ: Ну да, приэкваториальный плотный токовый слой.

МАЛОФЕЕВ В.М.: А вот это чья-то идея была уже или вы это впервые предложили?

СОИСКАТЕЛЬ: Исследовали впервые.

МАЛОФЕЕВ В.М.: Исследовали! А идея была в каких-то работах или это вообще новое совершенно?

КОВАЛЕВ Ю.А.: Известная идея или вы ее исследуете впервые?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Идея, что это может помочь.

СОИСКАТЕЛЬ: Ну вообще где-то упоминалось о приэкваториальном слое, но чтобы так рассчитывать, такого не было.

МАЛОФЕЕВ В.М.: Понятно, но это же очень хороший, важный результат получается очень.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Еще вопросы? Пожалуйста.

ЗАНИН К.А.: Владислав Рамильевич, у меня вопрос такой: Вы отмечаете в автореферате и в работе важность исследования с космических аппаратов солнечного ветра и измерение вектора B_z , скорости ветра, упоминаете тут космические аппараты зарубежные WIND, (*неразборчиво*) и так далее, но одновременно нигде не упоминаете исследование ветра с аппарата «Спектр-Р», эксперимент «Плазма-Ф» и измерения, проводимые с аппаратов «Электро», «Арктика» и других аппаратов отечественных. Вот почему вы не используете данные с этих аппаратов?

СОИСКАТЕЛЬ: Изначально просто сравнивали только с японскими данными. Данные космических аппаратов дают информацию вблизи орбиты Земли, а межпланетные мерцания дают информацию вблизи прицельной точки на луче зрения, то есть они немножко разные области дают информацию.

ЗАНИН К.А.: Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Еще вопросы? Пожалуйста.

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: Спасибо за доклад! Можно два дилетантских вопроса? То есть первый: в двух местах было написано, что показатель степени и турбулентность -3.6.

СОИСКАТЕЛЬ: Да.

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: Чем это определяется? А второй: Вы показывали моделирование, а можно пару слов подробности? Что это такое, что моделировалось, что решалось?

СОИСКАТЕЛЬ: Спасибо! Моделирование вы имеете в виду крупномасштабных возмущений?

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: Да-да. Да. Ну вот, вы двумерные карты показывали.

СОИСКАТЕЛЬ: Показатель степени 3.6 был просто взят из других работ, из предыдущих исследований, то, что измерялось. Ну а модельные карты, ну модели-то я описал, что конкретно интересует?

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: Какие уравнения решались? Ну поподробнее чтобы. Как вы это получали?

СОИСКАТЕЛЬ: А, ну это такая упрощенная модель, то есть и форма довольно-таки простая у корональных выбросов массы, упрощенная форма, там была подобрана модель, и она апробировалась на нескольких случаях, то есть 11 случаев для корональных выбросов массы, 4 случая для коротирующих структур. Ну и параметры подбирались таким образом, чтобы лучше соответствовать апробированным случаям. И в целом модель достаточно хорошо работает, в 75% случаях позволяет давать верный прогноз.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: А что значит упрощенная модель? В каком смысле?

СОИСКАТЕЛЬ: В смысле форма простая, как я говорил то, что корональные выбросы массы, у них форма ограничена двумя сферическими поверхностями и конической поверхностью. Реальная форма, конечно, может быть гораздо более

сложной, естественно. И еще я предполагал то, что увеличение плотности в три раза во всем корональном выбросе массы.

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: То есть однородность предполагали?

СОИСКАТЕЛЬ: Ну предполагал однородность, да.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Еще вопросы? Да, пожалуйста.

ТРОИЦКИЙ С.В.: Спасибо. У меня вопрос по поводу того... Как бы два вопроса маленьких, они про одно и то же, только про разные части диссертации. Вот когда вы проводили сравнение, по первой главе, когда вы проводили сравнение разных кривых, которые у вас говорили вывод, что токовый слой как бы он лучше описывает...

СОИСКАТЕЛЬ: Да.

ТРОИЦКИЙ С.В.: Вот на сколько? Это по χ^2 вы делали? На сколько лучше? На сколько действительно лучше? То есть, кривые там достаточно похожие в общем-то.

СОИСКАТЕЛЬ: Ну да. Ну там я на слайде приводил, отклонения были.

ТРОИЦКИЙ С.В.: Да там мелко было, не могли бы вы повторить просто?

СОИСКАТЕЛЬ: Да, сейчас открою. Далеко листается. *(Листает слайды.)* А, ну вот, среднеквадратичное отклонение вписанной прямой от точек по данным наблюдений. То есть считалось отклонение. Потом отклонение теоретической зависимости и среднеквадратичное отклонение с учетом слоя. Ну вот, среднеквадратичное отклонение для вписанной зависимости, для зависимости с учетом слоя, они ближе друг к другу, чем среднеквадратичное отклонение для зависимости в сферически-симметричном случае. Ну да, 0.05 и 0.07.

ТРОИЦКИЙ С.В.: Ну, по сравнению с разбросом точек это как-то значимо или нет такое улучшение?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Оценка количественная какая-то?

СОИСКАТЕЛЬ: А, ну тут вот да, привел относительную погрешность. В случае сферически-симметричной 30%, а в случае с учетом слоя, ну там оно закрывается, но там гораздо меньше, по-моему, 3 – 5%, по-моему, было.

ТРОИЦКИЙ С.В.: Спасибо! Второй похожий вопрос по поводу Ваших оранжевых картинок. Вот когда вы показывали две вспышки. Помните такая картинка была, где сверху были наблюдения, а потом моделирование для одной вспышки и для другой, три такие оранжевые линии. Вы сказали как-то очень уверенно, что одна из этих вспышек лучше описывает данные. Вот какой метод вы использовали количественный для того, чтобы ...

СОИСКАТЕЛЬ: Ну, тут больше визуальное сравнение все. Ну там, сейчас вот открою. То, что вот в случае более мощной и длительной вспышки усиление мерцаний примерно в одно и то же время. А тут вот еще на другой, в середине, которая вот, модельная для другой вспышки, получается вот в этой части есть усиление, а на наблюдательной карте в этой части нет его, в модельной карте, которая для более мощной и длительной вспышки нет усиления.

ТРОИЦКИЙ С.В.: Понятно, спасибо большое! Ну, на будущее я думаю, что можно Вам посоветовать использовать какие-нибудь статистические методы для этого.

СОИСКАТЕЛЬ: Ну да, в будущем это планируется, да.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Еще вопросы? Нет больше вопросов, да? Спасибо! Тогда слово предоставляется научному руководителю. Игорь Владимирович, пожалуйста!

ВЫСТУПЛЕНИЕ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

ЧАШЕЙ И.В.: Так, ну у меня отзыв есть, который я представил в совет. В нем отражены всякие формальные вещи, я повторять их не буду. Я хочу сказать, что Влад пришел к нам не сразу после окончания ВУЗа, а несколько лет он работал в других местах. И эта деятельность не была связана с астрофизикой. А у нас он появился в 2018 году как магистрант нашего учебного центра. И уже начиная с магистратуры, он себя хорошо зарекомендовал. У нас есть один

преподаватель, который, на мой взгляд, он самый строгий, это Вадим Сергеевич Артюх. У него есть один забойный вопрос. И вот за всю историю существования учебного центра только два человека правильно и сразу ответили на этот вопрос, и один из этих людей был Влад. Ну вот теперь это направление, по которому работает Лукманов, оно для нашей обсерватории традиционно и заложены были основы еще в 50-х годах Виткевичем. А сейчас в силу того, что есть проблема – космическая погода, вот это направление нуждается в человеческой поддержке. И Влад, как видно из его доклада, достаточно хорошо здесь вписался. И мы связываем с ним надежды на будущее, и это не только в продолжение следующих работ. Тут есть у нас определенные планы. И, я хочу сказать, что у нас сейчас создан сайт по прогнозу геомагнитных возмущений. Этот сайт пока работает в тестовом режиме, и там ключевая роль принадлежит Лукманову. Он каждый день, в дождь и ветер, в выходные и в отпускные, ежедневно дает прогноз этих магнитных бурь. Поэтому я, как руководитель, оцениваю его работу вполне положительно. Ну и как член Совета буду, конечно, голосовать за. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Слово предоставляется тогда научному консультанту, пожалуйста, Сергей Анатольевич.

ВЫСТУПЛЕНИЕ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

ТЮЛЬБАШЕВ С.А.: Спасибо. У научного консультанта нет обязанности писать отзыв в письменном виде, а в устном виде Игорь Владимирович почти все сказал. Я бы хотел отметить несколько положительных качеств Влада. Дело в том, что не все знают, что он у нас удалённый сотрудник, то есть он москвич, а работает у нас в Пущино. Как вы понимаете, если молодой человек работает удаленно, то на него ложится гигантская работа – самостоятельно проходить многие вещи. Так вот, Влад мы к себе вызываем примерно раз недели в 2-3 для того, чтобы просто говорить текущих делах. А все остальное время он работает сам. То есть после постановки задачи, он проявляет очень высокую самостоятельность. Ну а работа, связанная с космической погодой, она у нас одна из ключевых. И у нас долгое время не было человека, на которого можно было бы это взвалить. И вот Влад ею занимается, так что помимо вот тех вещей, которые связаны со статьями, надо заметить, что и сейчас у нас находятся в редакциях статьи, которые пишутся. Фактически вот весь вот этот набор статей 8 штук он написал за 3 года, ну там около 4 лет сейчас, то есть это

очень высокая активность и профессионализм. Поэтому я буду лично голосовать за и к тому же призываю членов диссертационного совета. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Есть ли вопросы к руководителю и консультанту? Нет. Тогда слово предоставляется секретарю для зачитания отзывов.

ОТЗЫВ ОРГАНИЗАЦИИ, В КОТОРОЙ ВЫПОЛНЕНА РАБОТА

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Я хотела добавить к предыдущему... Сергей Анатольевич, я хотела сказать, что Вы не обязаны предоставлять письменный отзыв. Тем не менее Ваш отзыв имеется в аттестационном деле. Это я для стенограммы просто вношу, что отзыв имеется в письменном виде. Спасибо.

Теперь я должна зачитать заключение организации, в которой была выполнена работа. Тут первая часть немножко будет повторять то, что я уже сегодня озвучивала в начале как выдержки из документов, так что кое-что будет повторяться. Но я обязана зачитать полностью это заключение.

Зачитывает полностью заключение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук. Заключение положительное, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Следующий отзыв, пожалуйста.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

СЕКРЕТАРЬ: Я хотела сделать маленькое замечание. В одном месте при зачитывании заключения я сказала неправильную фразу про двадцати-четырёхлетний цикл солнечной активности. Не *(двадцати-четырёхлетний)* цикл, а двадцать-четвёртый цикл солнечной активности. Так что прошу прощения. Маленькая поправочка. Теперь я должна зачитать отзыв ведущей организации. Ведущая организация – это Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Пушкина Российской академии наук.

Зачитывает полностью отзыв Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и

распространения радиоволн имени Пушкина Российской академии наук. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Теперь вопрос к соискателю. Вы можете либо сейчас отвечать на замечания, либо в конце, насколько я понимаю, это в конце после выступлений оппонентов.

СОИСКАТЕЛЬ: Спасибо, на все замечания буду отвечать в конце.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Тогда переходим к выступлению оппонентов. Первый оппонент Юрий Владимирович, пожалуйста.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ОППОНЕНТА ПИСАНКО Ю.В.

(Положительный отзыв оппонента Писанко Ю.В. прилагается).

ПИСАНКО Ю.В.: Я ознакомился с диссертацией. Первое, что я хочу сказать: отзыв в документах, решение положительное. Я могу, конечно, зачитать постановляющую часть, но, может быть, не стоит, я скажу о впечатлении, если это нормально. Подходит?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Я не знаю, как секретарь скажет.

ПИСАНКО Ю.В.: Давайте я зачитаю постановляющую часть. Значит, постановляющая часть, она не длинная. Считаю, что представленная диссертационная работа является самостоятельной, научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, имеет теоретическую и практическую значимость, соответствует требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением правительства РФ номер 842. В диссертации автор решил задачу разработки методик по оценке скорости солнечного ветра и уровня его турбулентности из данных длительных наблюдений и мерцаний индивидуальных радиоисточников, что важно для развития исследований солнечного ветра радиофизическими методами. Также автором разработаны кинематические модели распространения возмущений в солнечном ветре, допускающие приложения к прогнозам космической погоды на основе мониторинга межпланетных мерцаний. Лукманов Владислав Рамильевич заслуживает присуждения ему

учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности «Физика космоса и астрономия». Это постановляющая часть, она недлинная.

Теперь пару слов о моих впечатлениях о диссертации. Я с диссертацией ознакомился. С моей точки зрения, это хорошая научно-квалификационная работа. Чувствуется по тексту, что у автора была очень серьёзная научная школа. Он понимает, о чем он пишет, и понимает, что он пишет. Пару комментариев я бы хотел сделать о практической значимости того, что он сделал и, может быть, мои... Немного замечаний, но они есть. Что касается практической значимости. Работа нацелена на развитие методов прогнозирования космической погоды. Я хочу сказать следующее. Есть три подхода к этому делу. Первый подход – вы измеряете контактными методами параметры солнечного ветра где-то между Землей и Солнцем. Обычно выбирается точка L1 или точка либрации между Землей и Солнцем, там сидит аппарат. Он измеряет параметры солнечного ветра. Примерно через полчаса, минут через 40, вот эти параметры оказываются на границе магнитосферы. Что дальше будет происходить, не очень важно, но если вы сравните измерения в точке либрации с измерениями у орбиты Земли, то коэффициент корреляции примерно 0.8–0.85. Значит, 60% дисперсии вы таким прогнозом снимаете. Недостаток этого дела в том, что заблаговременность небольшая. За 30-45 минут вы мало что успеете сделать. Для того чтобы увеличить заблаговременность, вам нужно смотреть дальше на Солнце. Два пути есть, как это делать. Первый – это вы смотрите прямо на Солнце, измеряете там магнитное поле, измеряется по эффекту Зеемана, вы измеряете, естественно, продольную компоненту. Сложность в том, что точность измерения разная. На центральном меридиане она повыше, а у лимбов она пониже. Это первое. Второе. Значит, вам нужно иметь всю карту фотосферного магнитного поля для того, чтобы попытаться с помощью трёхмерных моделей, это отдельная жизнь, посчитать, что будет, ну там у орбиты Земли, где-то, где вы сумеете посчитать. Для того чтобы снять всю карту, когда у вас точность разная, вам нужно эту карту снимать примерно месяц. Солнце крутится с периодом 27 дней. Значит, вы каждый день на центральном меридиане измеряете магнитное поле. Через месяц у вас карта. Вы вкладываете в модель, я опять таки не касаюсь модели. Единственное, что уравнения эллиптические. Значит, вам нужно иметь всю карту. У вас к тому моменту, когда вы начинаете расчёт, процентов 80 вашей информации устаревает. То есть в такого рода подход заранее заложено устаревание информации. Похожие вещи с гидрометпрогнозами – там примерно то же самое. Чем короче заблаговременность, тем точнее прогноз.

Чем хорош подход, в развитии которого участвует наш соискатель. В ПРАО у вас есть карта источников, есть приёмник. Когда у вас по лучу зрения проходит структура солнечного ветра, у вас параметры из точки мерцают. Если источников много, то вы примерно видите, ну как в пассивной радиолокации, видите объект. Удаётся таким образом увидеть не только коротящие структуры, которые более менее стационарны, но и увидеть корональные выбросы массы. Видите вы между орбитами Меркурия и примерно Венеры. Ближе плохо, потому что Солнце светит в радиодиапазоне, помехи большие, вы с трудом вытаскиваете. А сами источники они такие не очень сильные гусары. Увидели, и примерно за сутки вы можете таким образом попытаться предсказать вот с помощью признаков, этот подход нормальный, попытаться предсказать, что будет, и вы видите что, что-то есть, но дальше через сутки у вас примерно придёт. Этот подход он, с моей точки зрения, более, ну с нашей точки зрения, он более перспективный. Он, конечно, ещё не вполне готов к фактическому использованию, но на этом пути результаты важнее. Что касается того, что я отметил, это не совсем недостаток, это куда ему может быть следует развиваться. Они смотрели, с какого года, с 2016? Нет, нет с 14-го по 23-й год. Есть такой аппарат, про него, наверное, многие слышали – «Parker Solar Probe Plus». Он летает между Венерой и Солнцем, у него там орбита устроена. И как раз область, очень похожая, там стоят приборы, которые контактными методами измеряют солнечный ветер. Вот если у вас дистанционная диагностика (*неразборчиво*), и одновременно в тот же момент времени есть прямые измерения, то можно просто таким образом... Как бы это сказать получше? Калибровать. Дистанционные методы, это вещь такая удобная. Вот я услышал в докладе и в диссертации прочитал, что есть хорошие международные кооперации с японцами. Может быть, стоило бы попытаться такого рода работу в будущем поставить? С моей точки зрения, это вот очевидный недостаток, но он никак не меняет моей оценки диссертации, она положительная. Все, спасибо большое.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Ну, Вы тоже можете ответить либо сразу, либо в конце.

СОИСКАТЕЛЬ: Да, я на все в конце отвечу.

ОГЛАШЕНИЕ ОТЗЫВА ОППОНЕНТА ЕРМОЛАЕВА Ю.И.

(Оппонент Ермолаев Ю.И. отсутствует на защите диссертации по уважительной причине. Отзыв положительный, прилагается).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Тогда мы переходим ко второму оппоненту. Ермолаев Юрий Иванович отсутствует по уважительной причине и поэтому отзыв будет зачитан.

СЕКРЕТАРЬ: Да, спасибо. Я прочитаю полностью отзыв Ермолаева Юрия Ивановича, официального оппонента, заведующего лабораторией солнечного ветра Института космических исследований Российской академии наук.

Зачитывает полностью отзыв оппонента Ермолаева Ю.И.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Слово предоставляется соискателю для ответа на все замечания.

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Включается демонстрация слайдов с ответами на замечания.

1. Вторая глава диссертации основывается на анализе данных двух мерцающих радиоисточников, описание которых (или хотя бы ссылка на соответствующий каталог) отсутствует в тексте диссертации.

СОИСКАТЕЛЬ: Начну с ответов на замечания ведущей организации ИЗМИРАН. Первое замечание, то, что во второй главе отсутствует описание упомянутых источников, отсутствуют ссылки на каталог. На самом деле на странице 46 диссертации дана ссылка на каталог, который содержит в том числе 2 упомянутых источника, но, возможно, ее стоило, конечно, вставить пораньше, в начале 2 главы при первом упоминании данных радиоисточников.

2. Один из значимых результатов настоящей работы – оценка среднегодовых скоростей СВ, приведенный во второй главе, однако, к сожалению, полученные величины не были сравнены с аналогичными

значениями, полученными напрямую со спутников-мониторов СВ (ACE, WIND и пр.).

СОИСКАТЕЛЬ: Потом второе, то, что хорошо бы сравнить оценки скорости солнечного ветра с данными спутников. Ну, тут да, конечно, согласен, но стоит иметь в виду то, что спутники и метод межпланетных мерцаний дают информацию о разных областях солнечного ветра. То есть, мерцания дают информацию вблизи прицельной точки на луче зрения, а спутники дают информацию вблизи самих спутников, в данном случае данные спутники – вблизи орбиты Земли.

3. В диссертации обсуждаются негативные эффекты прихода межпланетных СМЕ или CIR к Земле, в частности, вызываемые ими магнитные бури и их последствия, однако не приведены ссылки на литературу, описывающие эти эффекты (стр. 9). Также в диссертации отсутствуют ссылки на используемые автором индексы геомагнитной активности (см., например, стр. 14).

СОИСКАТЕЛЬ: Потом, значит, третье. Отсутствует ссылка, которая описывает негативные последствия прихода возмущений к Земле и вызываемых ими магнитных бурь. Да, тут согласен, ссылка действительно не приведена. И, также отсутствуют ссылки на используемые индексы геомагнитной активности. На самом деле, в диссертации, на странице 65 есть ссылка, которая содержит информацию о K_p -индексах, но, конечно, возможно стоило ее вставить раньше, на 14-й странице, где K_p - и Dst-индексы еще.

4. На рис. 1 и 4 диссертации отсутствуют оси и не указаны единицы измерения.

СОИСКАТЕЛЬ: Потом, четвертое, то, что на рисунках отсутствуют оси, не указаны единицы измерения. Тут да, согласен, без комментариев.

5. На стр. 42 и 50 имеются упоминания о том, что в процессе работы часть точек была отбракована по среднеквадратичному отклонению, но не указано, сколь большая эта часть и могла ли она повлиять на итоговые результаты анализа.

СОИСКАТЕЛЬ: Потом, следующее, пятое, то, что упоминается, что часть точек отбракована, но не указано сколько точек и могло ли это повлиять на основные результаты. С этим да, согласен. Но вообще, по памяти, каждый год было отбраковано от 3 до 5 точек. Но они вряд ли могут влиять значительно на результаты, так как небольшое количество. Но, скорее всего, эти выбросы связаны с помехами, во всяком случае, физического объяснения найдено не было, и поэтому просто часть точек была отбракована.

6. При описании предложенных моделей CME и CIR в 3 и 4 главах диссертации плотность внутри этих структур задается в 3 раза большей, чем в окружающем межпланетном пространстве. Однако ни в литературном обзоре, ни с помощью статистического сравнения не обосновывается выбор именно такого значения. К тому же для случая CIR распределение плотности не может быть одинаковым и для области взаимодействия, и для самого высокоскоростного потока плазмы, согласно наблюдательным данным, внутри такого потока плотность СВ, наоборот, значительно понижена.

СОИСКАТЕЛЬ: Потом, шестое. Что касается, почему плотность внутри крупномасштабных возмущений задается в три раза большей, чем вне них. Ну, как я уже говорил то, что модели корональных выбросов массы и коротирующих структур разрабатывались как упрощенные модели для массового прогноза прихода этих возмущений к Земле. Потом эти модели апробировались на нескольких случаях корональных выбросов массы и коротирующих структур и, соответственно, параметры подбирались таким образом, чтобы они удовлетворяли большинству этих случаев. Но, конечно, в отдельных случаях модель может быть совсем другая и параметры могут быть совсем другими, но, тем не менее, даже такая упрощенная модель позволяет давать верный прогноз в 75% случаях примерно.

7. В тексте диссертации содержатся незначительные опечатки, например, «чисто точек» в Таблице 1 или несогласованные окончания, например, «скорости распространения CME, зарегистрированными космическими аппаратами» на с. 11.

СОИСКАТЕЛЬ: Ну, и последнее, седьмое, то, что в тексте содержатся опечатки и несогласованные окончания. Ну тут да, с этим, конечно, согласен, без комментариев.

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЯ ОППОНЕНТА ЕРМОЛАЕВА Ю.И.

1. *Для идентификации событий типа СМЕ 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 СМЕ полученные с помощью коронографов.*

СОИСКАТЕЛЬ: Теперь ответы на замечания оппонента Ермолаева Юрия Ивановича. Первое, для идентификации событий корональных выбросов массы используется каталог вспышек, а не каталог корональных выбросов массы. Ну да, с этим я согласен, однако, при рассмотрении отдельного события, которое было в конце февраля 2023 года, там учитывались данные каталога Sactus, который содержит информацию о типе коронального выброса массы (гало или не гало).

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.*

СОИСКАТЕЛЬ: Потом, второе. Тут тоже про сравнение с данными спутников. Да, с этим согласен.

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.*

СОИСКАТЕЛЬ: Потом, третье. Хорошо было бы рассмотреть области компрессии на границах корональных выбросах массы и медленного солнечного ветра. Да, согласен, конечно, тема интересная. Учту в дальнейших исследованиях.

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.

СОИСКАТЕЛЬ: Потом, четвертое, про спектр турбулентности плазмы, не приводится сравнение с результатами исследований спектров локальными измерениями межпланетного магнитного поля и плазмы солнечного ветра. Тут да, согласен, однако, хочу упомянуть то, что в данной работе спектр турбулентности не исследовался. То есть там изначально предполагалось то, что индекс турбулентности 3.6 и спектр степенной, это из данных предыдущих работ было взято, но измерений индекса турбулентности не проводилось в работе.

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 СМЕ, тогда как речь идет о межпланетном проявлении коронального выброса массы, которое более корректно обозначить как ICME (interplanetary coronal mass ejections).

Стр. 10 - повтор «...СМЕ.... 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 «одногогорбые графики», «двугорбые графики».

СОИСКАТЕЛЬ: Ну и, конечно, пятое про стилистические и терминологические неточности. С этим да, согласен, это обязательно учту в будущем.

ОТВЕТ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЕ ОППОНЕНТА ПИСАНКО Ю.В.

С моей точки зрения диссертацию могло бы украсить привлечение к анализу данных прямых измерений параметров солнечного ветра с борта КА «Parker solar probe plus», запущенного на околосолнечную орбиту 12 августа 2018 года. Перигелий орбиты, наклонённой к плоскости эклиптики на 3.4° , за почти 7 лет существования этого КА приближается к Солнцу с 35 солнечных радиусов (после первого манёвра в гравитационном поле Венеры) до 9.5 солнечных радиусов (после седьмого манёвра в гравитационном поле Венеры). В диссертации анализируются данные о межпланетных мерцаниях с 2014 по 2023 год, так что совместный с данными КА «Parker solar probe plus» анализ напрашивается сам собой.

СОИСКАТЕЛЬ: Ну и теперь замечание оппонента Писанко Юрия Владимировича. Интересное замечание про сравнение с данными космического аппарата «Parker Solar Probe Plus», который достаточно близко к Солнцу подлетал. С этим согласен, это действительно интересно. Сравнение наших данных с данными спутников, этого и других спутников представляет собой отдельную задачу, которая может быть рассмотрена как предмет дальнейших исследований. Я хочу поблагодарить ведущую организацию и оппонентов за полезные ценные замечания, которые будут учтены в дальнейшей работе. У меня все, спасибо!

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Теперь работа открыта для общей дискуссии. Пожалуйста. Кто хочет выступить? Есть желающие?

РЯЗАНЦЕВА М.О.: Можно пару слов сказать?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Да, конечно, пожалуйста.

РЯЗАНЦЕВА М.О.: Здравствуйте! Институт космических исследований, лаборатория солнечного ветра, Рязанцева Мария. Я вот просто хотела... вот и Игорь Владимирович говорил по поводу роли в прогнозах, и тут очень хотелось бы отметить уникальность этой работы, которая заполняет такую нишу между солнечными прогнозами по визуальным наблюдениям и предсказаниям уже по реальным измерениям. И тут большое преимущество, потому что сейчас все прогнозы краткосрочные, которые делаются по изображениям Солнца, к сожалению, достаточно низкой степени надежности. Ну и ввиду того, что много проблем с моделями, и по сути нет информации о том, как распространяется возмущение. И вот эта работа, которая сегодня представлена, как раз заполняет эту нишу, то есть уже какие-то явления, которые отнаблюдали визуально, позволяют диагностировать в процессе их перемещения, получить о них какую-то информацию и многократно повысить верификацию этого прогноза солнечного. Поэтому мне кажется, что вклад именно предсказательный здесь очень большой, и не хватало, наверное, вот в этой цепочке именно этих исследований. И хочется пожелать удачи диссертанту. Прекрасная работа. Я как представитель прямых измерений, в общем, в том числе на Спектр-Р. Очень бы хотелось бы, конечно, видеть дальнейшее развитие и уже сравнение, как бы последовательное, когда там вы отследите на Parker Solar Probe, потом еще на каком-то спутнике все это увидите. Сопоставить будет очень интересно, здорово. Удачи.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Еще кто хочет выступить? Нет желающих? Нет. Тогда мы закрываем общую дискуссию. И слово предоставляется соискателю для заключительного слова.

СОИСКАТЕЛЬ: Спасибо! В своем заключительном слове я хочу поблагодарить всех, кто так или иначе, прямо или косвенно помогал мне с диссертацией. В первую очередь хочу поблагодарить своего научного руководителя Чашея Игоря Владимировича за общее руководство, начиная с момента поступления в магистратуру в 2018 году, за помощь в подготовке публикаций, за поддержку и за интерпретацию результатов. Также хочу поблагодарить научного консультанта Тюльбашева Сергея Анатольевича, который тоже практически с самого начала со мной был, за постановку наблюдений, за помощь в обработке данных и за обсуждение результатов. Ну и также своих коллег хочу поблагодарить: Субаева Ильнура Асфалевича за предоставление данных космической погоды, необходимых для предсказания прихода геомагнитных

возмущений к Земле, Тюльбашеву Гаянэ Эдуардовну за создание сайта по космической погоде, ну и всю техническую команду БСА ФИАН за обеспечение непрерывных наблюдений. Затем я хочу поблагодарить оппонентов Ермолаева Юрия Ивановича и Писанко Юрия Владимировича, а также ведущую организацию ИЗМИРАН за детальное изучение моей диссертации, за составление отзывов и за полезные ценные замечания, которые будут учтены в дальнейшем. Хочу поблагодарить также диссертационный совет, который принял к защите мою диссертацию и организовал саму защиту, отдельная благодарность Шахворостовой Надежде Николаевне за консультирование по организационным вопросам. Ну и, конечно, хочу поблагодарить всех своих родных и близких за поддержку, некоторые из них даже присутствуют здесь, на защите. У меня все, спасибо!

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Переходим тогда к тайному голосованию. Слово учёному секретарю.

ТАЙНОЕ ГОЛОСОВАНИЕ

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Коллеги, как обычно, на вашу почту, которую вы указывали при регистрации в системе тайного голосования «Криптовече» уже должна была прийти ссылка на голосование. Вы по ней переходите либо со своих личных устройств, либо если личного устройства нет, есть компьютер здесь в зале заседаний, вот он. Я помогу, если что-то нужно. У вас у всех есть свой логин и пароль для входа в систему, так что после того как вы войдете в личный кабинет голосующего, нужно будет нажать кнопку «зарегистрироваться», после чего будет доступна повестка для голосования и потребуется выбрать один из вариантов «за» или «против». Напоминаю, что если будут выбраны оба варианта или не выбран ни один из этих вариантов, то такой бюллетень электронный будет считаться недействительным. Вот я проверяю, что ссылки уже разошлись по адресам электронной почты и можно приступать к голосованию.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Объявляется перерыв для голосования 15 минут.

Перерыв на голосование. В течение перерыва все присутствующие на заседании члены диссертационного совета, в том числе присутствующие в

удалённом интерактивном режиме, голосуют в электронной системе для тайного голосования «Криптовече».

В процессе тайного голосования с использованием информационно-коммуникационных технологий 24 апреля 2024 года в 13:50 по московскому времени возникли технические неполадки в системе электронного голосования. После устранения неполадок, 24 апреля 2024 г. в 14:30 было проведено повторное голосование, в соответствии с п. 51(5) Положения о совете по защите диссертаций, введенным Приказом Минобрнауки России от 07.06.2021 № 458. Отчёт о технических неполадках приобщен к аттестационному делу соискателя в бумажной форме, хранящемуся в Организации, на базе которой создан диссертационный совет.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: *(Объявляет об окончании перерыва на голосование).* Считаю голосование законченным. Надо утвердить протокол, прежде всего.

СЕКРЕТАРЬ: Да, мне надо сейчас показать экран и огласить результаты.

Включается демонстрация экрана с протоколом, сформированным системой электронного голосования «Криптовече».

СЕКРЕТАРЬ: Я вывожу на экран результаты голосования. Двадцать бюллетеней было роздано, двадцать оказались в электронной урне. ЗА — девятнадцать, ПРОТИВ – один, недействительных бюллетеней – ноль.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Так, теперь будем голосовать за утверждение результатов голосования. Кто за то, чтобы утвердить? Кто против? Воздержался?

Члены совета открыто голосуют поднятием руки. Результаты повторного тайного голосования утверждены диссертационным советом единогласно.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Считаю утвержденным протокол. Теперь мы должны принять заключение. Есть какие-нибудь замечания?

СЕКРЕТАРЬ: Проект заключения был разослан, большое спасибо Дмитрию Зигфридовичу, как всегда, за правки. Я поправила все в соответствии с Вашими предложениями.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Еще какие-нибудь замечания есть? Нет. Тогда будем голосовать. Кто за то, чтобы утвердить заключение? Кто против? Воздержался?

Члены совета открыто голосуют поднятием руки. Единогласно «за».

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Единогласно. Тогда будем считать утверждённым. Поздравляем соискателя с успешной защитой!

Аплодисменты.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Заседание считаем закрытым.

Председатель заседания,
председатель диссертационного совета,
д.ф.-м.н., член-корр. РАН

Новиков И.Д.

Секретарь заседания, учёный
секретарь диссертационного совета,
к.ф.-м.н.

Шахворостова Н.Н.

24 апреля 2024 г.