

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ



119991, ГСП-1, Москва
Ленинский проспект, 53 ФИАН
Телефон: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>

Дата *30.01.2024* г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИАН
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Н.Н. Колачевский

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Диссертация «Исследование динамики солнечного ветра по данным мониторинга межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН» выполнена в Филиале «Пуштинская радиоастрономическая обсерватория им. В.В. Виткевича АКЦ ФИАН» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (далее ПРАО АКЦ ФИАН). В период подготовки диссертации соискатель Лукманов Владислав Рамильевич работал в ПРАО АКЦ ФИАН в должности младшего научного сотрудника.

В 2013 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»» по специальности «Физика кинетических явлений» (дипломированный специалист). В 2020 г. с отличием окончил магистратуру в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пуштинский государственный естественно-научный институт» (далее ПушГЕНИ) по направлению «Физика» (03.04.02), образовательная программа «Астрофизика. Физика космических излучений и космоса».

Лукманов В.Р. обучался в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук» (далее ИМАШ РАН) в период с 23 мая 2013 г. по 22 мая 2016 г. по специальности «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» (25.00.17). Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 968 выдано 22.05.2016 в ИМАШ РАН. В 2023 г. был заключен договор с ПушГЕНИ об образовательных услугах по обучению и приему кандидатского экзамена по специальности «Физика космоса, астрономия» (1.3.1). Справка о сдаче кандидатского экзамена по специальности «Физика космоса, астрономия» (1.3.1) № 1631 выдана 18.04.2023 в ПушГЕНИ.

Научный руководитель: Чашей Игорь Владимирович, доктор физико-математических наук, высококвалифицированный главный научный сотрудник, заместитель директора ПРАО АКЦ ФИАН по научным вопросам.

Научный консультант: Тюльбашев Сергей Анатольевич, доктор физико-математических наук, высококвалифицированный главный научный сотрудник, заведующий отделом плазменной астрофизики ПРАО АКЦ ФИАН.

Рецензентами выступили: Слемзин Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории "Оптика наноструктур и атомно-молекулярных систем" ФИАН и Алакоз Алексей Валерьевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Астрофизика высокого разрешения» АКЦ ФИАН.

Доклад В.Р. Лукманова по результатам диссертационной работы «Исследование динамики солнечного ветра по данным мониторинга межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия» был заслушан и обсуждён на Астрофизическом семинаре АКЦ ФИАН 25 декабря 2023 г.

Актуальность темы.

Изучение солнечного ветра является одной из важнейших задач современной радиоастрономии. Существует ряд факторов, которые способствуют интересу к его исследованию, самый важный из которых это – зависимость от солнечного ветра явлений космической погоды, таких как магнитные бури, полярные сияния. Такие исследования являются актуальными также для решения проблем солнечно-земных связей. Понимание природы солнечного ветра важно для анализа наблюдений радиоисточников, поскольку при прохождении через межпланетную плазму их радиосигнал искажается. Кроме того, наблюдение мерцаний радиоисточников позволяет заблаговременно обнаружить распространяющиеся корональные выбросы масс и коротирующие структуры, которые потенциально могут привести к магнитной буре.

В последние десятилетия достигнут значительный прогресс в понимании природы солнечного ветра. Однако остается ряд нерешенных вопросов. В настоящее время, по сути, нет модели солнечного ветра, которая учитывала бы бимодальную структуру в минимумах 11-летних циклов солнечной активности и эволюции этой структуры в течение солнечного цикла. Также далека от завершения и модель турбулентности солнечного ветра, которая описывала бы генерацию возмущений, формирование и эволюцию энергетических спектров, связь средних параметров плазмы и параметров турбулентности. Кроме того, отсутствуют завершённые теоретические модели, описывающие динамику корональных выбросов масс и коротирующих структур. Учитывая достигнутый в последние десятилетия прогресс, можно надеяться, что указанные проблемы в понимании солнечных процессов будут решены и будет создана количественная теория солнечного ветра.

В **первой главе** диссертации дано описание основ метода межпланетных мерцаний и методики обработки данных, радиотелескопа БСА ФИАН, на котором выполнялись наблюдения. Во **второй главе** исследуется глобальная структура солнечного ветра на спаде 24-го цикла солнечной активности. В **третьей главе** рассмотрена модель распространения коронального выброса массы (СМЕ) в межпланетном пространстве и методика оценки времени прихода возмущения к Земле путем сравнения двумерных динамических карт индексов мерцаний, полученных по данным наблюдений и рассматриваемой модели коронального выброса массы. На примере 11 событий с магнитными бурями в 2021 – 2022 гг. обоснована возможность краткосрочного прогноза магнитных бурь за 15 – 20 ч. до начала бури. Также отдельно рассмотрен случай магнитной бури 27 февраля 2023 г. В **четвертой главе** описана модель ведущей части крупномасштабных возмущений типа CIR/SIR в межпланетном пространстве. На примере 4 событий в 2022 – 2023 гг. качественно обоснована возможность заблаговременно предсказать приход возмущения к Земле путем сравнения наблюдательных и модельных карт вместе с ослаблением ночных мерцаний за 2 – 3 суток до начала магнитной бури, вызванной CIR/SIR, а также 27-суточной периодичностью прихода CIR к Земле.

Цель данной диссертации состоит в исследовании глобальной структуры и крупномасштабных возмущений солнечного ветра на спаде 24-го и начале 25-го циклов солнечной активности по наблюдениям межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН с рабочей частотой 111 МГц. Для достижения поставленной были решены следующие **задачи**: 1) разработка методики, позволяющей по длительным сериям наблюдений индивидуальных источников получать оценки скорости солнечного ветра и информацию о пространственном распределении уровня турбулентности межпланетной плазмы; 2) разработка адаптированных к реальным наблюдениям моделей, позволяющих использовать данные мониторинга межпланетных мерцаний для краткосрочного прогноза геомагнитных возмущений (проблема «Космическая погода»).

Научная новизна работы.

Впервые для длительной серии наблюдений получены оценки скоростей солнечного ветра на спаде цикла солнечной активности по наблюдениям межпланетных мерцаний сильных мерцающих радиоисточников в зоне слабых мерцаний путем вписывания теоретических временных спектров мерцаний в спектр мерцаний по наблюдениям источника (однопунктовые оценки скорости солнечного ветра). Сравнения полученных оценок с соответствующими трехпунктовыми оценками в ISEE Университета Нагойя в Японии показали, что для компактного источника среднегодовые оценки скоростей солнечного ветра однопунктовые и трехпунктовые совпадают в пределах погрешностей измерений, для протяженного источника среднегодовые однопунктовые оценки превышают соответствующие трехпунктовые оценки, сделан вывод о значительном влиянии анизотропии межпланетной среды и радиоисточника на однопунктовые оценки скорости солнечного ветра по наблюдениям протяженного источника. Впервые выполнено моделирование радиальной зависимости индекса мерцаний с учетом приэкваториального слоя с повышенной плотностью, установлено, что толщина слоя вблизи максимума цикла солнечной активности примерно вдвое больше, чем в минимуме. Впервые показано, что обратная пропорциональность между индексом мерцаний и скоростью солнечного ветра по наблюдениям одиночного источника проявляется при усреднениях на интервалах порядка года. Отсюда следует, что для более коротких серий необходимо использовать данные по большому числу источников.

Достоверность.

Результаты, приведенные в настоящей диссертации, опубликованы в рецензируемых научных журналах, прошли апробацию на различных конференциях. Достоверность результатов подтверждается их соответствием современным представлениям о турбулентном солнечном ветре, а также качественном и количественном согласии с результатами, полученными другими методами, и данными по мерцаниям, полученными на других инструментах мирового уровня.

Ценность и практическая значимость работы.

Исследование крупномасштабной структуры солнечного ветра и крупномасштабных возмущений имеет практическую ценность, так как позволяет фиксировать их еще до прихода к Земле. Приход СМЕ или CIR к Земле может вызвать ряд нежелательных последствий. Например, возможно повреждение аппаратуры на космических аппаратах, вплоть до выхода их из строя, ухудшение радиосвязи. Также они представляют серьезную опасность для экипажа пилотируемых космических кораблей. В случае взаимодействия СМЕ или CIR с магнитным полем Земли могут произойти магнитные бури, которые приводят к образованию наведенных токов в линиях электропередач, что может стать причиной технических проблем, вплоть до полного отключения трансформаторов электросетей из-за перегрузок. С участием автора диссертации разработан и создан сайт, на котором в тестовом

режиме выполняется краткосрочный прогноз геомагнитных возмущений на основе данных радиотелескопа БСА ФИАН с использованием упрощенных моделей распространения СМЕ и CIR в межпланетном пространстве.

Личный вклад.

Личный вклад диссертанта во всех результатах, выносимых на защиту, является определяющим. Методика обработки данных наблюдений индивидуальных источников разрабатывалась автором совместно с научным консультантом, все расчеты выполнялись по программам, написанным лично автором, результаты анализировались совместно с научным руководителем. Основы кинематических моделей крупномасштабных возмущений разрабатывались автором совместно с научным руководителем, реализация моделей, а также сравнение с данными массовых измерений выполнялась лично автором на основе подготовленных лично им численных программ.

Апробация результатов.

Результаты, полученные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах ПРАО и АКЦ ФИАН, на российских и международных конференциях.

Диссертация соответствует всем требованиям, установленным пунктами 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Диссертация соответствует специальности «Физика космоса, астрономия» по физико-математическим наукам (1.3.1). Материалы диссертации представлены соискателем в 8 научных статьях, опубликованных в рецензируемых изданиях из списка ВАК. Содержание диссертации изложено доступно, корректно и полно.

Диссертационная работа Лукманова Владислава Рамильевича «Исследование динамики солнечного ветра по данным мониторинга межпланетных мерцаний на радиотелескопе БСА ФИАН» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «Физика космоса, астрономия» (1.3.1).

Заключение принято на заседании Ученого совета АКЦ ФИАН единогласно. Присутствовало на заседании 12 чел. Результаты голосования: "за" - 12 чел., "против" - нет, "воздержалось" - нет, протокол № 1/24 от "25" января 2024 г.

Руководитель АКЦ ФИАН,
д.ф.-м.н.

С.Ф. Лихачев