СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.212.01

протокол N 19 от 24 ноября 2025 г.

Председатель: доктор физ.-мат. наук,
Клочкова Валентина Георгиевна

Учёный секретарь: кандидат физ.-мат. наук
Шолухова Ольга Николаевна

Состав совета – 13 человек, присутствуют – 12:

д.ф.-м.н., Клочкова В.Г. 01.03.02

к.ф.-м.н., Шолухова О.Н. 01.03.02

д.ф.-м.н., Барков М.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Васильев Е.О. 01.03.02

д.ф.-м.н., Глаголевский Ю.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Караченцев И.Д. 01.03.02

д.ф.-м.н., Макаров Д.И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Моисеев А.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Панчук В.Е. 01.03.02

д.ф.-м.н., Романюк И.И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Трушкин С.А. 01.03.02

д.ф.-м.н., Сачков М.Е. 01.03.02

Председатель:

Уважаемые коллеги, у нас есть кворум, поэтому мы имеем возможность начать наше заседание. Всех приветствую и всем благодарна за вашу помощь. К нам в совет представлена работа на соискание ученой степени доктора физ-мат наук, автор Лесовой Сергей Владимирович. Название, я буду полностью читать все названия.

Название работы: «Результата исследований микроволнового излучения Солнца, инструментарий и наблюдения». Работа выполнена также буду вслух читать подробно, в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Ордена трудового красного знамени Институте солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальными оппонентами в этой работе выступает Степанов Александр Владимирович, член-корреспондент, доктор физмат-наук, научный руководитель нашей главной академической обсерватории, ну не нашей, а РАН. Второй оппонент Чашей Игорь Владимирович. Его нет?

Секретарь:

Его нет.

Председатель:

Его нет. Доктор физмат наук из АКЦ ФИАН, главный научный сотрудник.

И оппонент Цап Юрий Теодорович, доктор физмат наук, заведующий лабораторией Крымской астрофизической обсерватории. В роли ведущей организации у нас Институт прикладной астрономии РАН. Вот официальная информация.

И мы, собственно, Оля, как у нас дела с документами?

Секретарь:

С документами все стоит нормально, хорошо. Все вовремя подано.

Председатель:

Спасибо. Таким образом мы можем перейти, собственно, к докладу нашего соискателя. Пожалуйста. У вас 40 минут.

Лесовой С.В.:

Здравствуйте! Большое спасибо, что согласились заслушать мой доклад. У меня, конечно, достаточно узкая тема. Солнечная радиоастрономия, нас очень малая, и защищаться нам вполне возможно будет проблематично. Работа моя посвящена исследованию радиоизлучения солнца в микроволновом диапазоне.

И я расскажу о работе, которая состоит из двух частей. Здесь достаточно много инструментальных вещей. Я в основном занимался разработкой и созданием инструментов. При чем здесь фигурируют два инструмента, потому что достаточно большой интервал времени все это занимало. И в тех работах, которые сделаны с помощью этих инструментов, там, где моя роль была в подготовке данных и обеспечении достоверности, я буду отмечать, а там, где моя работа действительно определяющая, я вообще ничего говорить не буду, буду просто представлять работу. Работа будет носить… Доклад у меня немножко в таком хронологическом порядке, диссертация, она составлена без хронологии, она разбита на инструментальную часть и наблюдательную.

Доклад остался ..., здесь немного хронологии, Мне казалось, что будет более органично, если я расскажу сначала про первый инструмент, наблюдения и второй инструмент и наблюдения.

С чего все начинается? Задача исследовать солнечную корону. Исследовать ее именно на микроволнах. Эта задача была поставлена достаточно давно, в то время, когда еще создавался Сибирский солнечный радиотелескоп, но до сих пор эта задача существует и мы пытаемся провести исследования. В том состояло содержание. Начиналась работа на Сибирском солнечном радиотелескопе (ССРТ). Я отдаю себе отчет, что в зале присутствует много людей, которые работают в оптике, поэтому я буду некоторые вещи пояснять: что за инструмент, чем он отличается от других и что он дает. Это радиоинтерферометр, работающий на частоте 5,7 ГГц. Это исследование короны на одной частоте. Формирование изображений было достаточно медленным, поэтому можно было наблюдать медленно меняющуюся активность. А в двух одномерных режимах можно было наблюдать быстропротекающие процессы. В одномерных режимах можно было получать данные намного быстрее, чем в одномерных режимах. Затем, после того, как на ССРТ была проведена серия наблюдений и были получены данные, становилось все более понятно, что инструмент изъедает свои задачи, и нужно создавать новый инструмент, куда нужно двигаться, чтобы получать новую информацию.

Как его создавать, была отдельная проблема, потому что ясно было, что нужно было делать инструмент апертурного синтеза. У нас никто с апертурным синтезом, для солнечного телескопами тем более, не работал, поэтому нам пришлось пройти вот такую стадию:

сначала 10-ти антенной макет, затем 48-ти антенной макет, ну и потом перейти к наблюдениям. В общем, здесь ничего удивительного нет в таком достаточно большом, глубоком и многолетнем макетировании. Японский радиотелескоп в Нобеяма, широко известный, шел по такому же пути. То есть сначала они хорошо макетировали, его собирали руками сами исследователи. А потом уже был приглашен подрядчик, который реализовывал проект, поэтому это нормальный путь.

И в результате всего этого было сформировано понимание того, как должен быть современный солнечный радиотелескоп. И вот он был создан, и сейчас мы перешли, в 23-м году, мы перешли к наблюдениям на этом телескопе. Начнем с нескольких инструментальных вещей по Сибирскому солнечному радиотелескопу.

Сибирский солнечный радиотелескоп получал изображение за счет сканирования по одной координате - частоте мгновенно, а по другой медленно. Принципе это идея принадлежит Королькову, это РАТАНовская команда. Это известный инструмент, известный принцип формирования изображений, это было очень здорово в свое время.

А теперь, после того, как он заработал изображение и мы научились на нём получать изображения, было ясно, что их нужно улучшать - в радиоастрономии всегда люди работают над улучшением изображения. Формулируют это так - через увеличение теоретического диапазона изображения. Вот анализ того, как строят изображение ССРТ, показал, что если его перевести, попытаться на язык апертурного синтеза, то можно это свести к получение вот этих вот фурье-гармоник пространственного спектра, из которых потом собираются изображения.

Но с этого здесь обязательно будет функция, которая искажает гармонику по частоте, а если это на апертурном синтезе, то это так называемые ошибки, связанные с антеннами базами, которые не факторизуются, соответственно, они систем практически не решается. Диапазон ограничивается. Вот это было понятно. То есть, всё, что можно было выбрать из изображений ССРТ, мы постарались выбрать уже алгоритмически. Аппаратно ещё грубее.

Выбирались как? Можно представить диаграмму направленности у радиотелескопа, что она смещается через свертку с некой возмущающей функцией. И затем, в принципе, вот в оптике очень хорошо замечают адаптивную оптику. Вот это нечто подобное, и дальше то, что будет в обработке наших изображений, это нечто подобное адаптивной оптики.

В принципе, вот здесь тоже будут находиться яркие источники, потом будут анализироваться, где находятся боковые лепесточки отклика на этот источник, они будут корректироваться, и через это корректируется всё изображение. То есть без таких вещей, это вообще дает один шум. ССРТ давал некое изображение, на которое нужно было улучшать. Вот здесь я попробовал, вот такая цветовая гамма, она для того, чтобы я лучше было видно при любом проекторе.

Это исходное изображение, которое получало ССРТ. Оно, в принципе, вот в апертурном синтезе, здесь вообще был бы один шум. У ССРТ получалось изображение, но видно, что оно несимметричное, оно искажено. Вот эта коррекция проведена. То есть, задача привести вот это изображение, скажем, ну, как минимум, к симметричному виду, чтобы отклик был симметричный, вот в этих направлениях.

Ты знаешь, что оно симметричное. Вот таким образом он приводится к симметричному виду, после этого можно уже включать стандартные методы чистки. Ну, после этого вот изображения, которые получались на ССРТ, они были примерно вот такого качества. Диапазон, не несколько сотен можно было получать. Под диапазонном в данном случае, понимается отношение самого яркой части, к флуктуациям там, где сигналов, не должно быть. И здесь будет пара работ, сейчас я о них расскажу, которые были выполнены с помощью данных ССРТ. Здесь, в этих работах, моя работа была обеспечить достоверность данных.

Одна из самых серьёзных задач, которые ставятся перед солнцем радиоастрономии и исследованием, именно на микроволнах, это измерение корональных магнитных полей. Поля хорошо измеряются на фотосфере, выше измерения проблематичнее, ультрафиолет не чувствителен к магнитному полю. И остаются микроволны, они очень хорошо чувствительный к магнитному полю, и существует много разных подходов для того, чтобы как-то оценить магнитное поле в короне. Я буду все время говорить в короне, и подразумеваться фактически будет переходной слой

между хромосферой и короной, потому что именно там измерения производятся, они относятся к этой области в основном, а все остальное это экстраполяция.

И если мы экстраполируем, скажем, данные с фотосферы вверх в корону, то микроволновые данные можно рассматривать как граничные условия. И мы измерим поля на непосредственно в переходном слое. Это попытка оценить поперечную составляющую магнитного поля. Бывает, когда магнитные поля измеряют на Солнце, измеряют либо проекцию на луч зрения, продольную составляющую, либо вектор.

В микроволнах, как правило, измеряется модуль напряженности, т.е. не проекция, а модуль, не вектор. А здесь попытка оценить поперечную составляющую вот этого поля. Здесь показаны изображения, полутон это изображения полученные на ССРТ в разные моменты времени. А белая линия, это так называемая линия деполяризации.

Это при распространении электромагнитной волны в замагниченной плазме, если волна идет через поперечное магнитное поле, то поляризация имеет право перевернутся. Мы в основном не видим линейную поляризацию, не измеряем, не наблюдаем. То есть у нас все время были поляризации либо левая, либо правая. Либо обыкновенная и необыкновенная. А вот здесь, в этой области, где происходит деполяризация, по относительной поляризации, полученной в двух разных проекциях над пятном, то есть Солнышко поворачивается - одна проекция, Солнышко еще поворачивается - другая проекция, потом все это нормируется на исходную поляризацию. Можно получить так называемый корональную магнитограмму.

И для ССРТ, вот чувствительность его в области вот этой поляризации, она где-то вот здесь, в области 20−30 Гаусс находилась. Ну и вот оценка, ну в принципе здесь было подтверждено, это ожидание значения поперечной составляющей магнитного поля над пятном.

Ещё одна важная задача, которую на микроволнах всё время пытаются решить, это определение высоты источника. Если мы получаем отклик от диска Солнца, где пятен нет, это одно. То есть я потом немножко дальше расскажу. Если бы мы получали над пятнами, там было бы все по-другому. Но сейчас становится вопрос, а на какой высоте мы это получим. То есть высота все время выступает неопределенным фактором, и ее все время пытаются каким-либо образом именно измерить.

Вот здесь использовалась стереоскопия, опять использовалась вращение Солнца. Это дни, это одна координата, это у нас долгота, здесь широта, вот опять-таки Солнце поворачивается, это долгота и широта у тех источников, которые на пятнами, это Солнце спокойное, источники так называемые георезонансные источники, То есть это излучение электронов в магнитном поле, но тепловое излучение.

Аппроксимируя поведение этих координат со временем, можно определить на какой высоте относятся эти источники. Здесь были задействованы инструменты ССРТ в районе 6 ГГц, Это Нобеямовский радиогелиограф, в районе 17-ти, а вот этот данные РАТАНа.

То есть, в принципе, в действующих координатах, в арк-секундах, в статье было принято, что высота в угловых секундах, в принципе, 1 угловая секунда 700 км. Эти данные немного расходятся, но не так далеко за пределами ошибок. Ошибки, в общем, достаточно приличные. Вот здесь мы несколько тысяч километров неопределенности все равно получаем.

С одной стороны. С другой стороны, ну, достаточно высоко. То есть, вот здесь на, скажем, двадцать, ну, на пятнадцать тысяч километров, в общем, достаточно высоко получается. По поводу… Но не было никаких возможностей, тогда инструменты не позволяли как-то по-другому пытаться оценивать высоты. Один из способов, когда нужно было наблюдать несколько дней, чтобы Солнце повернулось и смотреть, как ведет себя проекция.

Сейчас то, что мы видим, в принципе, нужно крайне осторожно использовать вот эти проекции, Потому что мы видим сейчас часто, если источник у нас находится далеко от центра диска и мы видим сразу изображение в широкой полосе частот, то есть мы как бы должны видеть просто по высоте, как он меняется по высоте, но, судя по всему влияет рефракция. Ее учесть очень сложно и там ход высоты может быть сильно нарушен. Если до этой области не доходить, в общем данные достаточно достоверны.

Вот это уже работа по быстропротекающим событиям, выполненная по данным Сибирского солнечного радиотелескопа. Быстропротекающим событием в данном случае считается с длительностью меньше секунды. Считалось всегда, что они узкополосные, с очень высокой яркостной температурой, на прямых измерений этих событий довольно долгое время не было. К тому времени, когда мы эту работу выполняли, было уже замечено, что на этих частотах, в основном, всплески третьего типа, то есть

те, которые дрейфуют в солнечной атмосфере, дрейфующие почки электронов, излучение дрейфующей частоте.

Если мы его на одной частоте, например, засекали, то мы увидим достаточно быстрое событие. Они должны иметь степень поляризации соответствующую обыкновенной волне. Обыкновенная поляризация соответствующая обыкновенной обыкновенной волне. Здесь вот эта гистограмма, здесь у нас степень поляризации. Знак ее имеется в виду по отношению к знаку либо спокойного источника, либо сопутствующего всплеска, у которых в основном механизм гиросинхротронный подразумевается, что означает, что необыкновенную волну. Вот здесь значит обыкновенная волна. Видно, что большинство событий вообще, может быть, не поляризовано, и оно зависит от сложности самой активной области. Чем сложнее область, чем сложнее магнитное поле, тем менее поляризованные всплески у нас получаются. А те, что поляризованы, в основном поляризованном в смысле обыкновенной волны.

Поэтому мы для этой работы сделали вывод о том, что-то, что наблюдается на Сибирском солнечном радиотелескопе в виде коротких событий, это в основном третий тип, поэтому и обыкновенная волна. Плюс ко всему оказалось еще, что необыкновенные и не поляризованные ведут себя по-разному в зависимости от того, насколько далеко от центра диска они находятся. У них разные проекции. Это означает, что смещение коротких событий относительно спокойного источника (либо смещение относительно медленно меняющегося всплеска) идут по разным координатам. То есть они действительно, получается, ведут себя по-разному, но это результат статистический. То есть это статистический результат, и к нему нужно, как всегда, относиться достаточно осторожно. Понимаем, что это статистика прямых измерений, полноценных, все равно мы тогда делать не могли. Интересный результат.

Теперь я снова перейду к инструментальной части следующей. Примерно в это время у нас и не только у нас, но и в мире, уже сформировались требования к будущему солнечному телескопу следующего поколения, какой он должен быть и какие задачи он должен решать. И ясно было, что ССРТ нужно модернизировать, причем не модернизировать, а создавать новый инструмент. Здесь я хотел бы сказать, какой смысл, если мы возьмем оптическую толщину, посчитаем корону, то она прозрачная на микроволнах. И спрашивается, а вообще зачем наблюдать? То есть, если мы смотрим

в оптике, в ультрафиолете то корона, то есть пятна, нет пятен, но видно, что корона есть, независимо от того, есть пятна. А на микроволнах, если мы смотрим на солнечный диск, допустим, пятен нет, то там просто по температуре диска видно, что основной вклад в излучение идет из переходной власти. И, соответственно, все, что мы видим, это ближе к нижней короны, переходной области, может быть, к хромосфере, получается. Если магнитных полей нет, то мы как таковую корону на микроволнах не наблюдаем.

Все меняется с появлением магнитного поля. Если появляется в пятнах достаточно сильное поле, имеется в виду, чтобы его гармоники попали в микроволновый диапазон. В диапазоне 12-24 ГГц, начиная с 400 градусов примерно, до 3000 градусов, вот эти поля мы можем измерить. Как только появляются поля, оптическая толща короны становится большой, оптически толстой, в дискретных областях пространства.

Поэтому, когда мы говорим гирорезонансный источник, резонанс имеет в том смысле, что оптическая толща по высоте в очень узком диапазоне высот присутствует. Большая оптическая толща, а на остальных высотах нет. И тогда, настраиваясь на определенную частоту для спокойного источника Солнца, мы видим интеграл от некоего сферического слоя, на другой частоте от другого слоя.

Более того, если речь идет об изменении магнитных полей, то мы видим, для обыкновенной моды интеграл на одной высоте, для необыкновенной моды на другой высоте. Соответственно, интерпретация поляризации гирорезонансного излучения всегда связана с тем, что у нас разные моды излучают разные популяции электронов. Это не та Стоксова компонента V, которая просто очень сильно связана с вектором напряженности, она связана с градиентом температуры. Но вот такая дискретизация этих слоев по высоте, она и дает возможность измерять корональные магнитные поля. А здесь, ну отсюда было сформировано требование, то есть нужно одновременно пространственное, спектральное и временное разрешение для того, чтобы решать вот эти задачи. В вопросах со слабым магнитным полем, ну там нужна высокая чувствительность. Это, как правило, диффузные области, нужны широкое поле зрения и пространственное разрешение.

Тогда они не отдавались для отчёта, насколько требование пространственное разрешение, скажем, для тех же протуберанцев важно, оказалось это

требование намного сильнее. Здесь табличка, которая показывает требования к современному солнечному радиотелескопу, какие нужно было выполнить. Сложное поле, ой, сложное требование это широкое поле зрения до градуса.

И вот здесь я буду достаточно много говорить о калибровке. Калибровка в апертурном синтезе это основная проблема, основная работа, 80% всех усилий. Калибровка не аппаратная, это решение системы уровней. Вот это то, что адаптивная оптика, без этой калибровки мы просто слепые, мы вообще ничего не видим.

И для радиоастрономии развита, как правило, калибровка либо по звездным источникам, радиоастрономы, вы прекрасно знаете — самокалибровка. Для Солнца это большая проблема, потому что мы не можем калиброваться по звездным источникам. Антенны маленькие, солнечные, из-за требования широкого поля зрения, и мы не видим источники, поэтому нужно закладывать в антенну решетку какие-то возможности для этих калибровок, либо предпринимать какие-то неординарные меры, допустим, привлечение очень больших антенн в паре с солнечными антеннами для калибровок. У нас была заложена избыточная калибровка, т.е. мы калибруемся по самому сигналу. Избыточная в данном случае подразумевается, что у нас решетка такова, что от разных пар антенн мы должны ожидать одинаковые сигналы. Система уравнений калибровки, она составляется на том, что вот эти все сигналы должны быть одинаковыми, и оттуда решение уже приводит к тому, что изображение, в принципе, появляется.

Какие проблемы? Вот у поля больше 1 градуса, то есть здесь, в принципе, мы уже начинаем выходить за границы, где апертурный синтез вообще, в принципе, работает. То есть аберрации начнутся для диска солнца, и если мы хотим получить полнодисковое изображение, если у нас диаграмма, ширина диаграммы направленности будет меньше 4 угловых секунд, на лимбе уже начнутся аберрации, вызванные тем, что мы не можем компенсировать вот этот член по всему диску Солнца, на лимбе и в центре он становится существенно разным, ну и с этим уже в принципе ничего не поделать нельзя. Это сам синтез начинает уже выходить за свои пределы, для солнечного телескопа это просто не нужно иметь в виду.

Дальше сложность самой решетки показана. С одной стороны, у нас должны быть расстояния между антеннами достаточно маленькие, чтобы мы могли получить изображение диска, так чтобы диски не накладывались. Антенны

должны быть маленькими, между ними должно быть совсем маленькое расстояние из-за того, что Солнце большое. С другой стороны, для того, чтобы было угловое разрешение, нам нужно иметь достаточно большие расстояния, и если мы закладываем избыточность, то мы получаем безумную дорогую антенную решетку. То есть база должна быть у нее довольно большая, расстояние между антеннами одинаковое, а антенн должно быть очень много. Получается вот такая достаточно дорогая вещь. Оптимизированные антенной решетки, которые пока в мире, в принципе, толком не получилось сделать солнечный инструмент без избыточности, Кроме, есть телескоп Аллена, который предназначен, но он не солнечный, он для исследований внеземных цивилизаций. Вот он хорошо откалибровался по Солнцу, но у него антенны чуть побольше и все охлаждаемые. То есть там в принципе другая машина.

И очень важное вот это требование, очень большой динамический диапазон изменения сигналов на Солнце. Соответственно, фазовый шум должен быть очень маленьким. Такое уровень фазового шума трудно обеспечить.

Сейчас я немножко пробегусь по схемным решениям, которые были заложены сюда. Двухэлементный интерферометр — это всё, из чего состоит. Если мы правильно делаем вот эту двухэлементную систему, а дальше всё мы собираем вместе. Вот если мы вот здесь не ошибемся, то в принципе, ну, дальше уже гораздо легче. Мы выбрали с двойным преобразованием частоты, вот здесь вот идет, вот это все на улице, вот здесь мы переходим в здание, вот здесь аналог, вот здесь начинается цифра.

Здесь очень важный момент. Здесь показана схема: как только мы начинаем радиотелескопом, любым не только солнечным, сопровождать какой-то объект, нам нужно компенсировать так называемые геометрические задержки. Это тот самый компонент, про который я говорил, что его нужно координировать желательно по всему Солнцу. Здесь у нас частота-фаза. То есть это обычные фазовые наклоны, вот это наша полоса, в которой мы работаем.

Ну и все, что здесь ошибочки, которые остаются при этих состояниях для Солнца. Важно то, что шаг должен быть, обусловлено, еще очень маленьким, потому что у нас маленькая расстояние между ближайшими антеннами. В результате появилась вот такая структура, а тоже цифра. Это в чистом виде цифра, то, что закладывалось в прошивке. Сначала мы все это делали сами,

закладывали в макеты, а потом нашли подрядчика, которые нам это реализовал.

Вот теперь я по инструментальной части инструмента тоже закончил. И здесь я покажу несколько работ, где мы начали интерпретировать данные. Это первые данные с макета, еще 10-антенного, где было показано, что даже на 10 антеннах... Здесь у нас время, здесь поток, спектральная плотность потока, а вот это размер. То есть вот это поток, а вот это размер. Видно, если идет вспышка на Солнце, на разных частотах мы смотрим, размер у нее меняется вот так. Но это оценка размера по наклону пространственного спектра, потому что в прямую мы здесь измерить размер такого рода не можем. Чем хорош интерферометр? Тем, что мы получаем доступ к разным точкам пространственного спектра, и если там есть тренд, то по нему можно получать размеры, которые глубоко в диаграмме направленности.

Размер источника раз в десять меньше диаграммы направленности, в принципе, оцените его размер, если он симметричный, простой, не содержащий, источников, нет структуры, это можно оценить, ничего страшного. Соответственно, как только мы оцениваем размер и знаем поток, мы получаем яркостную температуру. То есть это нужно вообще для того, чтобы оценить размер и посмотреть температуру.

И вот здесь, например, уже на наблюдении на том инструменте, который сейчас, это одна из последних работ, вот этот тренд. То есть вот здесь видно, что вот этот хвостик ведет себя достаточно равномерно, и видно, что он есть наклон. То есть раз есть наклон, то вот по вот этим наклонам можно оценить размер. Если наклона нет, например, не разрешаем. Здесь мешает солнце на низкой частоте. И вот это вот сопоставляется с аппроксимацией вот такой диаграммы. Есть очень яркий источник, это реальные данные, здесь сигнал-шум очень хороший. И по вот этой аппроксимации и подтвержденной вот этим наклоном мы можем измерять компактные яркие источники. Это важно при наблюдении когерентных событий, где очень высокая яркостная температура.

Еще одна работа, которая показывает, насколько легко с помощью радиотелескопа, который сейчас есть, можно решать проблему, которая существовала давно. Существовали так называемые всплески в поглощении, либо отрицательные всплески. Это уменьшение потока Солнца,

не увеличение. Они довольно редкие, но, тем не менее, они существовали. Было предположение, что они, может быть, чем-то экранируются. Экранируются холодной плазмой. Но подтверждения этому не было. После того, как запустили 48-антенную макет, ну, в принципе, здесь уже ничего делать не было. Это просто видно. То есть, когда мы знаем, что какой источник исчезает, потому что поток меняется, а затем мы смотрим ультрафиолет и видим, да, в этот момент, как правило, они экранируются микроджетами, то есть небольшой, это не выброс корональный, который взрывается протуберанец, а выброс холодной плазмы, из активной области, хромосферной, они могут повторяться в течение дня несколько раз. Вот эта задача, в принципе, она сразу была решена в этом периоде. В настоящий момент мы имеем достаточно широкий спектр от 3 до 24 ГГц, пока эта работа на будущее, сходу их проинтерпретировать не получилось, Потому что вот эта интерпретация именно спектров в радиоастрономии, она всегда связана с тем, что в конце концов, в конце мы должны строить модель.

То есть просто сама по себе интерпретация..., поэтому эту работу нам надо еще попробовать.

Еще один нюанс у интерферометра, на мы часто, мы его очень часто используем, так называемые кросскорреляционные спектры, либо коррекционные кривые мы их называем. Это сумма всех откликов от всех пар антенн, модулей. Они чувствительные. Самая высокая чувствительность, для нашего солнечного радиотелескопа это 100 Янских. Для радиоастрономов, которые на РАТАНе работают это мало, понятно, но для солнечного инструмента это много.

Но здесь видно влияние диска спокойного Солнца, это его модель, и его компенсация моделью этого Солнца, в принципе, убирает артефакты, которые здесь замаскированы активностью. И на самом деле кривые выглядят вот так. Это учтен эффект затенения антенн. Антенны у нас очень близко друг к другу расположены, к сожалению, они иногда затеняются.

Вот это результирующая таблица того, что из себя представляет сейчас наш радиогелиограф. Это количество антенн, это база и поле зрения, вот эти чувствительности, о которых я говорил, это не в Янских, они здесь в sfu. Как именно формируется изображение, показывает вот эта табличка. Это общий вид, это отдыхающие антенны, они в зенит здесь направлены. В каждый момент времени измеряется одна поляризация на трёх частотах, и вот таким

образом мы перелистываем их — свипируем и получаем изображение примерно, вот сейчас примерно за 3,5 секунды во все полосе. Это бюджетный вариант, то есть если бы мы делали много каналов сразу, мы не собрали все данные.

Последняя пара работ у меня это по микроволновой двумерной спектроскопии, то есть это получение спектра в каждой точке Солнца.

Вот здесь мы получаем это изображение в районе 3 ГГц, а это в районе 6 ГГц. Дальше идет анализ вот этих областей. Вот эти области по частотам. Здесь просто самая низкая частота для разрешения. Это вот спектры в каждой точке. Вот для одной области, для второй. Вот если есть красные и синие, это необыкновенная и обыкновенна моды. Если разница между необыкновенными и обыкновенными, значит есть магнитные поля. По вот этим трендам их можно оценить. В переходной области. Вот это и было сделано. И все это исходя из того, что мы можем подтвердить, что петля достаточно близка к окружности. Здесь больше демонстрация того, что так можно делать.

И последняя работа, которую я хотел сказать, Мы выполнили впервые в мире наблюдение очень яркого события, очень короткого, с полным набором данных, когда мы получили спектр, временное разрешение, спектральное разрешение и изображение. Мы определили координаты, определили в каком магнитном поле это происходит. Это мы делали вместе с EOVSA. Это калифорнийский инструмент. Два часа с ним у нас перекрытие. Они убрали свои калибровки, чтобы провести совместное наблюдение. И вообще нам достаточно повезло. Событие выглядит вот так примерно. Когерентные события — это события, у которых яркостная температура выше кинетической температуры электронов. Вот эти вот шесть импульсов, вот речь идет об этом. Вот это событие, это уже низкочастотное, мы его не наблюдаем. Вот здесь показаны потоки на разных частотах, а в прямоугольнички это ультрафиолет. То есть в данный момент мы видим изменение структуры, судя по всему было пересоединение. Это у нас жесткий рентген и микроволновой поток, медленно меняющийся. Но в принципе, как и должно быть, они достаточно хорошо друг к другу согласуются, кроме того, что нет ни пульсов коротких в жёстком рентгене, их нет. И исходя из того, где находятся источники вот этих быстрых событий. Вот здесь цветом показаны разные частоты, толщина, диаметром маркера это время. А это изогауссовы поверхности и ультрафиолет. То есть можно

посмотреть на вот эту картинку. Всплеск идет, скажем, где-то вот здесь, связанный с ним источник по времени. Когерентный всплеск, идет вот сюда. В области, где должен находиться источник на 3-м гирорезонансном уровне. И отсюда понятно, что здесь, скорее всего, механизм - электронно-циклотронной мазер на второй гармонике работающей. И инициирован он наклонной инжекцией пучка в петлю с формированием распределения электронов по энергиям как распределение полого пучка. Так, всё, я с работами закончил.

Пару слов о том, как выглядит наш инструмент. То есть вот у нашей сегодняшние данные всегда можно посмотреть то, что в реальном времени вот робот такой подстроен на трёх частотах, и здесь показано в течение всего дня, как вы видите. И можно посмотреть за год те данные, которые уже получены. Посмотреть за год и видно, что вся активность в основном на низких частотах, ну, это всё-таки выше в короне. Здесь приближаемся к короне, здесь к хромосфере, а там начинается тишина. И ту же самое по поляризации. Приближаемся к хромосфере и начинается тишина. Хотя магнитные поля, в принципе, растут туда, но вот активность, она все-таки в основном идет выше.

Здесь вы можете видеть пункты, выносимые на защиту. Я могу их зачитать?

Председатель:

Лучше зачитайте.

Лесовой С.В.:

Да, да.

Создан первый в мире солнечный радиотелескоп, способный получать изображения Солнца в широком диапазоне частот. Реализована микроволновая двухмерная спектроскопия.

В результате модернизации ССРТ проведена серия интерферометрических наблюдений Солнечной активности. Определены координаты, размеры и преимущественный тип волны источников быстрых, меньше 1 секунды, событий в окрестности частоты 5.73 ГГц.

В результате наблюдений на модернизированном ССРТ получены данные о поперечной составляющей магнитного поля в короне над пятнами.

Разработана методика определения угловых размеров компактных источников по наклону пространственного спектра.

Впервые экспериментально определен механизм негативных микроволновых всплесков.

Разработана модель отклика многоантенного интерферометра на солнечный диск, учитывающая изменение во времени диаграммы направленности и затенения антенн.

По результатам наблюдений когерентного всплеска с пространственным и временным разрешением предложен новый сценарий таких всплесков: электронно-циклотронный мазер на распределении «полого пучка», излучающий на второй гармонике гирочастоты.

Спасибо.

Председатель:

Спасибо большое. Уложились четко.

Пожалуйста, вопросы к докладчику. И не забудьте называть фамилии свою.

Романюк И.И. САО:

У меня полтора вопроса. Первый вопрос краткий. Вы магнитное поле как измеряете? Эффект Зеемана или что?

Лесовой С.В.:

Так, это всё распространение электромагнитного поля в замагниченной плазме. Значит, либо это то, что я говорил в первой части о поперечной составляющей. Это по деполяризации. То есть у нас поляризация необыкновенная, волна идет, проходит через поперечное поле, меняет знак, взаимодействуя с плазмой, по вот этому взаимодействию, можно, если вы знаете плотность, знаете градиент поля, в принципе, еще само поле оттуда можно вытащить.

Требуется априорное знание плотности, априорное знание градиента, и тогда вы можете получить поле. Это один эксклюзивный механизм. В основном можно измерять по спектру, по гирорезонансным спектрам, когда мы изучаем разные слои, и зная определение температуры с высотой, мы знаем, когда какой слой прячется, вот под скачок, который на Солнце, определяем поле.

Либо чуть-чуть, еще чуть-чуть. Во вспышках поле измеряется по аппроксимации гиросинхротронных спектров.

Романюк И.И. САО:

Второй вопрос: вот у вас на 8 слайде гистограмма была жутко асимметричная. Чего это Почему так? Восьмой. Вот это. Плюсов меньше намного, чем минусов.

Лесовой С.В.:

Этот результат мы видим. Мы измеряем. Здесь довольно много измеряли быстрых событий. Смотрим их поляризацию. Они поляризованы. И они поляризованы, либо знак - правая сторона гистограммы, это знак поляризации такой же, как у фонового всплеска, или не такой. То есть обратно к фону, или не обратно?

Романюк И.И. САО:

Но вопрос такой, у других наблюдений будет плюсов больше, или как? Или это постоянно минусы у вас больше?

Лесовой С.В.:

Нет вот то что касается вот, вообще говоря, если мы посмотрели не короткие события, не короткие, я думаю все были бы в правой половине. А вот для коротких событий начинают доминировать слева.

Романюк И.И. САО:

Спасибо.

Председатель:

Вопросы пожалуйста.

Трушкин С.А. САО:

Хотел спросить по поводу вот этого эффекта когда вы можете получить размеры источника много меньше диаграммы справки. Для астрономов это кажется немножко странным, раз у нас есть разрешение, то мы никак не можем идти сильно под него.

Лесовой С.В.:

У нас интерферометр. Здесь идет апертурный синтез, то есть мы измеряем точки в пространственном спектре Если у нас одна антенна, заполненная

апертура, то да, мы получили один отклик, мы получили либо прохождение, либо сканирование. Все, что есть внутри апертуры, это отклик. Больше ничего не получили. У нас работает только разрешение, которое на апертуре.

Если мы имеем разные в пространственном спектр, разные независимые измерения точки, и мы видим вот этот тренд, то совершенно и по моделям, и интуитивно понятно, что значит, он где-то вот здесь упадет. Майкельсон так измерял диаметр звезд на своих, это же из оптики пришло. То есть весь этот синтез пришел из оптики вот разнося две антенны он получал диаметр звезды в общем 100 с чем-то лет назад. Это в принципе все то же самое. Единственное, что мы не можем дотянуть его вот сюда, если мы этот тренд видим, мы имеем полное право предположить, что он туда падает, другого там быть не может если источник простой разрешение, наш недостаток разрешения, не даст нам сказать есть там два источника или один, вот этот точно, мы не можем. А оценить размер, который много меньше диаграммы, а он важен для яркостной температуры, мы можем.

Председатель:

Спасибо. Кто-то еще имеет вопрос? Да, пожалуйста.

Моисеев А.В. САО:

Скажите, пожалуйста, а как сейчас телескоп вас смотрится на фоне мировых конкурентов? Вот это вы и EOVSA называли, среди тех, кто тоже работал в этом направлении.

Лесовой С.В.:

EOVSA нам не конкурент. Это хороший инструмент, они маленькие, у них всего 13 антенн. Там очень мощная команда, которая очень хорошо понимает, что нужно делать, это инструмент такой непростой, у них хорошее спектральное покрытие, поэтому мы с ними работаем.

То есть если вот из этого результата убрать EOVSA, вот это их данные, то в принципе у нас мало чего изменится. А больше по Солнцу в микроволновом диапазоне, нам сейчас не с кем сравнится.

Председатель:

Еще, пожалуйста, вопросы.

Цыбулев П.Г., САО:

Сергей, скажите, сколько времени потребовалось на такую глубокую модернизацию ССРТ?

Лесовой С.В.:

16−18 лет. Начали мы в шестом-восьмом году первые телодвижения по созданию вот этого двухэлементного. А потом в 2010 году первые где-то 10-антенный макет, и вот так потихонечку. Ну, это очень не просто.

Председатель:

Так, коллеги, да, пожалуйста.

Столяров В.А. САО:

А какой алгоритм используется для воспроизведения поражения, CLEAN или максимум энтропии?

Лесовой С.В.:

CLEAN, причем CLEAN обычный, Хёгбомский. хорошо справляется. Энтропия, мы пробовали ее как-то, но на практике пока не увидели преимуществ.

Председатель:

Похоже, что у нас вопросы иссякли, поэтому мы попросим Олю, нашего секретаря, зачитать отзыв организации, которая выполнила эту огромную работу. Садитесь.

Секретарь:

(Зачитывает отзыв ИСЗФ СО РАН).

Председатель:

Спасибо большое. А отзывы на автореферат?

Секретарь:

На автореферат отзывов не поступало.

Председатель:

Поэтому мы переходим к отзывам официальных оппонентов. Пожалуйста, Александр Владимирович.

Степанов А.В.:

Я хочу сказать, что за 36 лет, который диссертант посвятил замечательноу Сибирскому солнечному радиотелескопу и новому — СРГ, он проделал колоссальную созидательную работу, модернизацию устаревшего ССРТ, который устарел уже, ну прямо скажем так, наверное, к 80-м годам, потому что уже появились VLA еще раньше, и Нобеяма обсерватории телескоп на 17 и 34 гигагерца.

Здесь был инструмент моночастотный на 5,2 см. В Подольске нашлись такие волноводы, но к счастью, что это как раз и 5,2 см соответствовало максимуму микроволновых всплесков. Вот такие условия были, большая система, но самое главное, что это был полноповоротный телескоп и он мог следить за Солнцем в течение всего светового дня.

Вот такие проблемы возникли, поэтому Сергей Лесовой не просто забросил этот старый инструмент, он его довел до ума и получил научный результат. Затем, для того, чтобы развивать идею создания нового телескопа, сделано было два макета. Сначала 10-антенный, потом 48-антенный, и на этих макетах он тоже получил научные результаты. То есть техника была не самоцелью, прежде всего это была задача, получить новые научные результаты по физике солнца.

Ну, я не буду пересказывать, что там у него было в главах, самое главное, что теперь это многоволновый, то есть оптимальный диапазон по минимуму от 3 до 24 гигагерц в данном случае, но это связано и с изменившейся техникой, Сейчас уже не волноводы моночастотные, а это уже оптоволоконные устройства, соответствующие приемники.

То есть Сергей Лесовой перешагнул, наверное, через два этапа технического модернизации. Все же быстро очень меняется. И сейчас получилось, что современный телескоп, который не хуже картинки выдает Японский гелиограф уже разобран фактически, но сейчас появились новые инструменты.

Какие преимущества сейчас у нового СРГ? Во-первых, возможность следить за солнцем, процессом в течение всего дня. Второй момент, я считаю, очень важный. Здесь разница 5 часов между Москвой и Иркутском. Сейчас в Китае создаётся большой комплекс солнечных инструментов, есть возможность проверять и дополнять друг друга такими инструментами.

Что ещё можно сказать по поводу результатов этой работы? Важно, впервые, я думаю, что на таких частотах заработал электронно-циклотронный мазер, и он его зафиксировал.

Причем электронно-циклотронный мазер нужно соответствующее неравномерное распределение функций, в данном случае энергичных электронов, там должен быть конус потерь или просто выделение по энергии. Особенность такого излучения, более-менее он стопроцентно парализован в виде необыкновенной волны, там единственный момент, если вот то, что предлагает диссертант, излучение на второй гармонике гирочастоты электронов, в принципе на этих частотах может быть поглощение на третьей гармонике, тау больше единицы.

Поэтому на самом деле, вот он обратил внимание, что это явно когерентное излучение 10^{10} К, даже 10^{11} К, на самом деле это может быть 10^{12} К исходное излучение, поскольку часть излучения поглощается. Есть еще одна особенность. Диаграмма излучения циклотронного мазера на примерно 70 градусов, ну не 90, а 70 градусов относительно поля.

А в этих градусах очень сильное поглощение на третьем уровне. Поэтому для того, чтобы перебросить в окно выхода, оно довольно узкое для необыкновенной волны. Поэтому нужно, чтобы конденсат за счет рассеяния, в данном случае рэлеевского рассеяния на ионах плазмы был, так сказать, сдрейфовывать вот в это окно, окно выхода. Ну вот, то есть я хочу сказать, что 10^{11} это непредельная яркость и температура вот такого уникального источника, который вот они наблюдали уже на новом инструменте.

Очень интересная задача была решена по поводу всплесков поглощений. Раньше всплески поглощений, вот это наша работа, мы делали с Институтом прикладной физики, в четвертом типе, он особенно ярко наблюдается, Это когда в конус потерь, который собственно источник излучения, инжектируется новый пучок электродов и таким образом конус потерь заполняется и собственно излучение прерывается. Здесь предложен другой оригинальный метод, т.е. выяснилось, что возникают выбросы волокон небольших, которые, собственно, служат экраном для того, чтобы излучение не проходило, т.е. оно поглощается вот этими выброшенными волокнами.

На счет секундных и субсекундных всплесков, действительно это серьезная задача, показывает насколько во вспышке фактически микроструктура есть. Энерговыделение. Ну в самом деле. Сейчас показаны петли, это уже

современные оптические телескопы, с разрешением порядка 100−200 км на Солнце. Оказывается, все эти волокна и арки серьезно филаментированы электрическими токами.

То есть, вообще говоря, с созданием этого телескопа мы получаем новую возможность измерения магнитных полей и структур этих полей не только в короне, я хочу обратить внимание, но и в переходной области, это terra incognita. И, в принципе, в верхней хромосфере, где, собственно, начинается вспышечный процесс.

Ну, а в целом, я хочу сказать, что высказанные замечания по поводу всяких поглощений и трансформаций в область выхода излучения электронной энергии, они не снижают ценности настоящей работы.

По созданию нового поколения СРГ открывает новые возможности для исследований высокоэнергичных процессов на Солнце, влияющих на космическую погоду и, естественно, на климат нашей Земли. Диссертация, которая называется «Результаты исследований микроволнового излучения Солнца: инструментарии наблюдения». Я бы еще добавил интерпретацию. Полностью соответствует требованиям предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математической наук. Автореферат соответствует содержанию диссертации, а представленные задачи в соответствии с паспортом специальности Физика космоса и астрономия, по которой и подходит защита. Ну, а Сергей Владимирович Лесовой, безусловно, заслуживает степени доктор физико-математических наук.

Председатель:

Спасибо большое, Александр Владимирович. Сергей, вы хотите что-то отреагировать на очень положительный отзыв?

Лесовой С.В.:

Кнечно. В принципе, я заготовки делал, могу на экран вывести, могу так сказать.

Председатель:

Скажите, если хотите.

Лесовой С.В.:

Спасибо. Очень важные были замечания по поводу того, что роль может играть вынужденное рассеяние. Я, честно говоря, об этом не думал, но это действительно хорошее, правильное замечание. То, что проблема выхода электронной циклотронной мазеры из области генерации через третий слой, да, как только мы говорим, что у нас там будет работать мазер, как его оттуда вывести?

И мы довольно долго ломали голову там геометрия такая, что вроде бы выходит вдоль поля хотя излучает поперек поля, но мы до конца не видим всё-таки конфигурации в каком именно поле, как оно направлено, но очень высокая степень поляризации и я не знаю, как она при рассеянии сохранится всё-таки больше похоже на то, что он пробивается через третий слой в этом случае, он действительно может быть сильно слабый, на пару порядков может быть сильно слабый, либо он может быть… либо такие события могут происходить намного чаще, чем мы их просто не видим, за счет того, что они не выходят.

Степанов А.В.:

Да, но самое главное, что обнаружен мазер на большой частоте, это очень важно.

Лесовой С.В.:

Мазер, ну, достаточно высокая частота, но я боюсь, что мы его и на 14 гигах еще увидим, судя по предварительным данным.

Председатель:

Хорошо. У нас присутствует еще один оппонент. Правда я его не вижу. Юрий Теодорович, пожалуйста, ваши замечания.

Цап Ю.Т.:

Я рассказываю все очень коротко, даже не читать, что я написал. В настоящее время в гелиофизике сформировался ярко выраженный тренд, что без понимания тех процессов, которые происходят на мелких масштабах, мы ничего не можем понять о физике солнечных вспышек. И с этой точки зрения создание инструментов, которые позволяют исследовать источники на чрезвычайно малых масштабах пространственных, это действительно очень существенно. Ну и еще, наконец, я вот в речи о магнитном поле обратил внимание, что у радистов есть своя специфика. Те, кто занимаются

радиоастрономией, они зачастую не могут понять, какого же механизм радиоизлучения. И вот таким важным параметром является яркостная температура. И без знания размеров этого источника мы никогда не сможем однозначно сказать, какой же механизм радиоизлучения. Это очень важно, как мне представляется.

Что касается научной новизны, как-то не очень это прозвучало. Я понимаю, что чрезвычайно важно в настоящее время измерять магнитные поля в короне Солнца. К сожалению, оптические методы в короне Солнца работают очень плохо из-за высокой температуры. Поэтому измерение магнитных полей становится чрезвычайно важной и актуальной задачей.

Например, в свете того, как показывают данные, получаемые с помощью гелиосейсмологии, магнитные поля в активных областях составляют всего несколько десятков гаусс. Но это сразу возникает вопрос о том, откуда же берутся солнечные вспышки. Потому что по энергетике энергии в несколько десятков гаусс явно недостаточно, чтобы организовать мощную вспышку.

И вот здесь вот на помощь к нам приходят радиоастрономы, которые вот используя методы изменения магнитных полей, хотя они тоже довольно сложные, непростые, но тем не менее они цельствуют в том, что магнитные поля в короне Солнца могут достигать в сотни Гаусс, что вполне достаточно для интерпретации энергетики солнечных вспышек. Ну и наконец, я бы, что касается научной и практической значимости, ну конечно, в первую очередь, это как бы проходит красной линией через всю диссертацию, связанной с созданием инструмента нового поколения СРГ. Это, я считаю, очень большое достижение, особенно в нашем условии. Ну и наконец, достоверность полученных результатов, она определяется, на мой взгляд, в первую очередь основоположниками Иркутской школы радиоастрономии и на большом опыте диссертанта. Наконец, личный факт автора тут, опять же, в сомнении не вызывает, что действительно он был, если не определяющий, то очень значимым в создании, соответственно, СРГ.

Ну, и несколько слов о замечаниях, я сейчас, наверное, более детально остановлюсь, кратенько зачитаю, или так, просто так.

На странице 111 сказано, что интенсивность ультрафиолетового звучания зависит от меры эмиссии, температуры плазмы и относительного количества изотопов плазмы, поэтому ультрафиолетовые петли могут отклоняться от магнитных силовых линий. Поскольку магнитное поле при малых

значениях плазменного параметра β трассирует динамику плазмы, не совсем понятно, что имел в виду автор.

Второе замечание. Следует разъяснить утверждение автора на странице 127 о том, что чем эффективнее нагрев плазмы, тем меньше частицы инжектируются в надтепловую область и наоборот.

Третий вопрос. Поскольку энергия ускоренных электронов содержится главным образом в низкоэнергичных частицах, а гиросинхртронное излучение определяется высокоэнергичными электронами, число которых значительно на порядке меньше низкоэнергичных, то автору следовало бы более детально обсудить проблему недостаточной чувствительности результатов, полученных на спутнике RHESSI. На мой взгляд, такой подход мог бы повлиять на выводы о ускорении электронов на ранней стадии вспышки.

Ну, формула 4.8 на странице 148, видимо, формула 4.8 на странице 148, видимо, содержит опечатку. Правая часть уравнения должна быть возведена в квадрат.

Приведенное на странице 150 уравнения баланса давления поперек магнитной силовых линий представляется слишком упрощённым, поскольку не учитывает влияние скрученности магнитного поля на условия равновесия.

Ну, тут, собственно, дальше идут отпечатки, повторения. Ну, честно говоря, я своё читал, сам нашёл отпечатки, ничего говорить не буду, да.

Ну и заключение. Работа выполнена автором самостоятельно На высоком научном уровне автор привлек большой объем оригинальных данных, полученных и только на ССРТ, и созданных при его непосредственном участии СРГ, но и других телескопов космического и наземного базирования. Материалы диссертации изложены ясно и последовательно, можно представить интерес как для начинающих исследователей, так и для специалистов самой высокой квалификации. Автореферат, в котором представлены основные этапы результата исследования, соответствуют содержанию работы. Диссертации представляет собой завершенный научно-исследовательский труд, выполненный на актуальную тему.

По своей новизне, научно-практической значимости диссертация Лесового Сергея Владимировича «Результаты исследований Солнца в микроволновом диапазоне: инструментарий и наблюдения» полностью соответствует

положению о порядке присуждения ученых степеней. А сам автор, Лесовой Сергей Владимирович, достоин присуждения ученой степени, доктор физико-математических наук по специальности 1.3.1, Физика космоса, астрономия.

Спасибо.

Председатель:

Спасибо большое. Такого высокого уровня оппоненты. Пожалуйста, защищайте свои результаты.

Лесовой С.В.:

Я бы тогда попробовал показать, потому что они были перечислены.

Вот этот вопрос о том, что магнитное поле трассирует динамику плазмы. Речь в данном случае идет о модели Мока 2008 года, вот именно в этой статье, где он показывает, что он моделирует ультрафиолетовые петли. Вопрос, почему ультрафиолетовые петли выглядят так, как мы видим, с неизменным сечением, да? И когда задают поле, напускают туда плазму, температуру и нагрев. И вот в зависимости от нагрева, петли появляются, тогда нагрев становится достаточным, чтобы совпадать с мягкими рентгеном. И только тогда начинают формироваться петли, но они формируются, поле не меняется, а петли начинают менять свое местоположение в течение часов, там десятки часов, но мы же не знаем какое время у петли.

И петли в модели Мока отклоняются, а ультрафиолетовые, как мы видим ультрафиолетовые петли, они отклоняются, хотя поле в это время не меняется, идет только нагрев. Речь шла именно об этом.

Теперь, чем эффективнее нагрев плазмы, тем меньше… Речь о ранней стадии вспышки. И вот когда в этой работе делается наблюдательный факт, что на самом деле жесткое излучение уже появляется, нетепловые электроны появляются на ранней стадии, то есть ускорение идет, хотя рентгена мы не видим. Это все к тому же вопросу о недостаточном чувствительности RHESSI. Значит, подразумевается, что у нас существует два процесса, один из которых формирует затравочную популяцию вот этого распределения нетепловых электронов, но он не ускоряет. И в другом процессе он раскоряет. Соответственно, нагрев идет не за счет испарения из хромосферы, а за счет прямо из пересоединения. Соответственно, чем больше мы потратили на нагрев, тем меньше мы инжектировали электронов в надтепловую область,

все больше здесь ничего нет. Энергия успешная, но да, здесь как бы все правильно, все, действительно, за жесткий рентген отвечают малоэнергичная, а за гиросинхротрон высокоэнергичные. Но здесь, вообще говоря, может быть дело не только в чувствительности RHESSI, а в том, что именно сам гиросинхотронный спектр во время вспышки, когда он становится более жестким, но меняется гораздо быстрее. Я бы не говорил, про бедный RHESSSI, что это дело только в том, что у него не хватает чувствительности.

Но с формулами все правильно, опечатки, я приношу изменения. И формулу в квадратный нужно возвести.

Председатель:

Юрий Теодорович, вы хотите как-то реагировать на ответы?

Цап Ю.Т.:

Спасибо, я удовлетворен.

Председатель:

Объяснились. Хорошо. И отзыв оппонента Чашея Игоря Владимировича. Оля зачитает за отсутствующего оппонента. Придется послушать полностью.

Секретарь:

(Зачитывает отзыв Чашея И.В., АКЦ ФИАН).

Председатель:

Пожалуйста.

Лесовой С.В.:

По поводу структуры, я когда докладывал, я говорил, что изначально в хронологически была построена диссертация, я получил замечание при предоставлении ее, поэтому ее переделал, ну и получил замечание в обратную сторону. В принципе, оно не то и другое, мне кажется нормальным, доклад у меня остался хронологический.

По высотам. Высоты, то, что касается ССРТ, я говорил, что это переходный слой и нижняя корона, А то, что медленно меняющиеся компоненты, это спокойное солнце. В принципе, высота может меняться от 2 до 20 тысяч километров, в зависимости от того, какое поле в пятне.

По поводу рисунка, правильное замечание. Я посмотрел. Я в Latex делал, поэтому там не досмотрел. Лучше бы перенести, да это было бы более наглядно.

По поводу частоты событий, когерентные всплески происходят намного реже, чем обычные, а отрицательные происходят еще реже, чем когерентные. Причем когерентные происходят чаще, но просто не наблюдаем. В принципе это может касаться и негативных. Но это на порядок меньше и более редкие события.

Председатель:

У нас сейчас отзыв ведущей организации. Оля, пожалуйста.

Секретарь:

(Зачитывает отзыв ведущей организации ИПА РАН).

Председатель:

Пожалуйста.

Лесовой С.В.:

По поводу выбора способа передачи. Да, речь идет о том, что в цифру преобразовывают на антеннах либо в рабочем здании. Мы выбрали в рабочем здании, потому что тогда стало появляться возможность передавать такие широкополосные сигналы в аналоговом виде. Предпочтительно иметь все сигналы в небольшом объеме и с ними работать. Если бы мы делали в цифре, либо перенос ЧАСТОТЫ на антеннах, нам нужно было создавать бы еще сеть в обратную сторону, фазостабильную, и следить за ее стабильностью. Раз появилась возможность передавать в исходном виде, решили ей воспользоваться.

Теперь по размеру источников. Почему мы имеем двумерный телескоп, а используется одномерный. Одномерные на ССРТ используются, потому что они быстрее. А здесь сейчас для определения размеров… Речь идет о том, что у нас решетка буквой Т, допустим, она вот такая длинная, а для двумерных используется диагональ, они в 1,5 метра короче. Поэтому если речь идет о том, как получить максимальное разрешение, а структура источника очень простая, достаточно использовать две длинные одномерные решетки.

По поводу того, что сжато и изложено характеристики, там приведены две работы, где эти характеристики изложены гораздо более подробно.

По формуле. Да, не было и мысли о том, чтобы эта формула принадлежит Борису Рябову. Но я тогда на всякий случай посмотрел историю. Это действительно принадлежит все Железнякову и Злотник, а не Мелроузу. Мелроуз и Рябов, в принципе, ссылаются на ту же работу. Кстати Мелроуз тоже неправильно ссылается. Правильная ссылка у Рябова на работу Железнякову и Злотник 1964 г.

По поводу выбора группы для демонстрации стереоскопии и измерения высоты. Работа собиралась в Нью Джерси, и эти данные были получены на РАТАН, у нас на ССРТ и в Японии, и где-то сбой произошел при выборе группе, обнаружили уже когда практически счет был запущен. Поэтому там рассчитывалось, что будет неделя, но три дня выбросили, четыре дня оставили. Про то, что я показывал, там где область начала сильно меняться, удалено, используют другие данные.

Всё у меня.

Председатель:

Так, друзья, без передышки переходим к общей дискуссии Устали все, но надо работать. Пожалуйста, кто хочет выступить?

Моисеев А.В. САО:

Коллеги, я, к сожалению, не специалист на солнечной физике, только фрагментарно занимаюсь радиоастрономией, и здесь я полагаюсь на мнение уважаемых оппонентов. Но все-таки я тоже уже почти 10 лет занимаюсь тем, что оптики называли сначала двумерной спектроскопией, а теперь переименовали в трехмерную. И с этой, кстати, вот я вам тоже советую, этот маркетинг работает, потому что спектр подразумевает уже координату.

И с этой точки зрения я могу оценить работу в техническом плане, я просто впечатлен, потому что это колоссальный труд, это я могу оценить. И редчайший, даже не редкий, а редчайший пример того, как у нас в стране, отталкиваясь от предыдущей устаревшей установки, сделали то, что называется уровень мега класса, практически не имеющий аналогов.

На прошлой неделе проходила конференция в Москве, где специалисты радиоастрономы, правда, по физике международной среды переживали, что

вот с 1975 года ни одного прорывного инструмента в стране не построили, такой, который был бы год не повторял бы предыдущее, а выбирался вперед. Я очень рад услышать, что все-таки коллеги были неправы. Поэтому я, как член Совета, буду голосовать за данную работу и прошу всех остальных Совете поддержать, потому что, безусловно, она содержит всем критериям, предъявляемым в докторской диссертации по специальности 1.3.1.

Председатель:

Спасибо. Спасибо, Алексей. Кто-то еще хочет выступить? Я буквально пару слов себе позволю сказать. Я действительно восхищена, поражена работой, вот широтой, как поэт какой-то наш сказал, размахом шаги сажени, да. Тут вот такое впечатление, что человек охватил за 17 лет, наверное, или побольше, невероятно разнообразный набор задач, и они решены. Более того, что меня, например, очень радует, поскольку наша лаборатория много лет назад занималась разработкой спектральной аппаратуры. Меня удивляет, что аппаратура от идеи, прошла макет и так далее, все необходимые этапы, и доведена до того момента, когда идут плановые реальные наблюдения.

Это очень короткий срок и такие мощные результаты. Более того, там же сделано очень много работ по разработке необходимого матобеспечения, по анализу данных и так далее. В общем, у меня совершенно нет сомнений, что работа действительно превосходная, и мы должны её оценить высоко. У меня такая позиция. Прошу всех подумать и голосовать.

Так, кто-то еще есть желающий выступить?

Пожалуйста. Кто-то хочет еще.

Панчук В.Е., САО:

Я еще дальше по специализации, чем бывшие выступающие, но даже посмотрев на перечень соавторов в авторферате я могу вспомнить, что сейчас чиновники придумали термин «мультидисциплинарность» или что-то такое, что-то есть такое у них, и вот на это они тоже будут реагировать.

Вот по составу соавторов, по этим именам, и потом, если по этим именам зайти в их списки литературы, посмотрим, это такие соавторы не рядовые, очень не рядовые. То есть у человека, кроме того, обычно вот, когда, так сказать, школа Соболева, А что ты сделал один? А почему у тебя нет работ, сделанных тобой лично? И всё. Так вот, здесь как раз для меня очень мощный

критерий, что человек мог работать с очень разными соавторами, очень разными, очень разные квалификации, имеющие очень разную специализацию, авторитет в своих отраслях.

Вот это для меня очень важно, что это не просто солист, а это человек, который может работать в ансамбле, причем в любой квалификации. Вот я буду, естественно, поддерживать эту проработку и обращаюсь к личному совету согласиться с моим мнением.

Председатель:

Спасибо большое, Владимир Евгеньевич. Так, друзья, кто там еще хочет высказать свою оценку, свою позицию?

Так, похоже, мы завершили. Значит, нам нужно перейти тогда к заключительному этапу и голосовать за работу. Я предлагаю, вот, из членов совета следующих, пожалуйста, Моисеев Алексей Владимирович, Барков, я не знаю имени, отчество еще извиняюсь. И Макаров третий. Согласны? Согласны. Тогда мы голосуем, пожалуйста.

Кто за такой состав? Кто против?

Мы утвердили это у комиссии.

Получайте документы, члены совета, пожалуйста, не разбегайтесь.

Макаров Д.И.:

Коллеги, значит протокол номер 19 заседает счетная комиссия, в составе Макарова, Моисеева, Баркова, комиссия избранных для подсчета голосов при данном голосовании по диссертации Лесового, на соискание ученый степени доктора физико-математических и наук. Я тут все зачитываю? Состав диссертационного совета 241−112−01. Пришло количество 13 человек. На срок действия номенклатуры специальных научных работников приказа Министерства науки высшего образования Российской Федерации номер 1317 МК 22 июня 2023 года. Присутствовало заседание 12 членов Совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой ситуации 11, розданных бюллетеней 12, осталось нерозданных бюллетеней 0, оказалось в урне бюллетеней 12. Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени доктора физмат наук Лесовому С.В. за 12, против 0. Недействительные бюллетени 0. Подписи комиссии. Поздравляем.

Председатель:

Нам надо обязательно проголосовать. Кто за? Кто против?

Да, так получилось. Результаты подтвердили, мы решили. У вас есть желание сказать?

Лесовой С.В.:

Я могу, да. Ну, я тут буквально…

Председатель:

Тут вас никто не трогает.

Лесовой С.В.:

Я хочу поблагодарить вас, уважаемый совет, за то, что приняли меня, послушали и потратили своё драгоценное время на мою работу. Отдельно оппонентов, которые ещё и приехали, потратили своё время на это. Огромное вам спасибо.

Я объясняю ещё раз, почему я не смог. Оказывается, сейчас правила такие. Я готовился защищаться в своем совете. Мне сказали, что нельзя. Вот сейчас, по моим правилам, я должен искать. Поэтому я скажу еще я хотел бы рассказать огромное спасибо нашему коллективу. Большой инструмент и мы от работы большой у нас один член коллектива на него благодарю мне кажется у нас сформировалась сейчас хорошая команда и может быть мы еще хорошо если у кого-то есть будет желание обсудить какие-то вопросы еще, пожалуйста.

Председатель:

Друзья не разбегайтесь, нам еще нужно отредактировать заключение.

[Члены совета обсуждают проект заключения]

Хорошо. Все похоже, что мы завершаем. Спасибо большое всем. Заключение, если можно, давайте проголосовать все со всеми принятыми замечаниями. Кто за то, что это заключение официальное и окончательное? Пожалуйста.

Кто против? Все, спасибо большое всем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.212.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело №_____

решение диссертационного совета от 24 ноября 2025 г. № 19

О присуждении Лесовому Сергею Владимировичу, Российская Федерация, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Результаты исследований микроволнового излучения Солнца: инструментарий и наблюдения» по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия принята к защите 21 августа 2025 г., протокол №16, диссертационным советом 24.1.212.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, Российская академия наук, 369167, КЧР, Зеленчукский район, п. Нижний Архыз.

Соискатель, Лесовой Сергей Владимирович, 1963 года рождения, в 1987 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Новосибирский государственный технический университет", на данный момент работает в должности заместителя директора по научно-исследовательской работе в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

1. Степанов Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория Российской академии наук»;

2. Чашей Игорь Владимирович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук", Астрокосмический центр, Пущинская Радиоастрономическая обсерватория;

3. Цап Юрий Теодорович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук»;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Институт прикладной астрономии Российской академии наук", г. Санкт-Петербург, в своём положительном заключении, подготовленном доктором технических наук, научным руководителем Института прикладной астрономии Российской академии наук Ипатовым А.В., одобренном на заседании ученого совета Института прикладной астрономии Российской академии наук 31 октября 2025 года, утверждённом директором Института прикладной астрономии Российской академии наук кандидатом физико-математических наук Д.В. Ивановым 31 октября 2025 года, указала, что диссертация является завершённым научным исследованием, удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Лесовой С.В. заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых журналах, включённых в перечень ВАК (общим объемом 393 страниц). Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

- Lesovoi, S.V., Gary, D.E., Globa, M.V. *et al.* “On a Possible Scenario of Solar Coherent Bursts” // *Sol Phys*, V. **300**, pages 23 (2025). https://doi.org/10.1007/s11207-025-02433-
- S. Lesovoi, A. Altyntsev, A. Kochanov, V. Grechnev, A. Gubin, D. Zhdanov, E. Ivanov, A. Uralov, L. Kashapova, A. Kuznetsov, N. Meshalkina, R. Sych “Siberian Radioheliograph: first results” // Solar-Terrestrial Physics № 1. pp. 3-18 (2017), DOI:10.12737/article_58f96ec60fec52.86165286
- Lesovoi, S.V., Altyntsev, A.T., Ivanov, E.F. *et al.* “The Multifrequency Siberian Radioheliograph” // *Sol Phys*, V. **280**, pp. 651-661 (2012). https://doi.org/10.1007/s11207-012-0008-7

- Lesovoi, S.V., Altyntsev, A.T., Ivanov, E.F., Gubin, A.V., “A 96-antenna radioheliograph” // Research in Astronomy and Astrophysics, V. 14, pp. 864-868, (2014), DOI:10.1088/1674-4527/14/7/008
- Lesovoi, S., Kobets V. «Correlation plots of the Siberian Radioheliograph» // Solar-Terrestrial Physics V.3, №1, pp. 19-25 (2017), DOI:10.12737/article_58f96eeb8fa318.06122835
- Lesovoi S. V., Kardapolova N. N. “Bursts with temporal fine structure at 5730 MHz” // Sol. Phys.,V. 216, № 1., pp. 225-238 (2003), DOI:10.1023/A:1026120823592.
- A. Uralov, S. Lesovoi, V. Grechnev, M. Globa, “Features of correlation curves of the Siberian Radioheliograph” // Solar-Terrestrial Physics, V. 11, № 1., pp. 81-89 (2025), DOI: 10.12737/stp-111202510.

- Uralov, A.M., Grechnev, V.V., Lesovoi, S.V. *et al.* // “Plasma Heating in an Erupting Prominence Detected from Microwave Observations with the Siberian Radioheliograph” // *Sol Phys* **298**, 117 (2023), p. 117, DOI:10.1007/s11207-023-02210-w
- A. A. Altyntsev, G. D. Fleishman, S. V. Lesovoi, N. S. Meshalkina, “Thermal to Nonthermal Energy Partition at the Early Rise Phase of Solar Flares” // Astrophysical Journal, V. 758, № 2., pages 138, (2012), DOI: 10.1088/0004-637X/758/2/138
- Lesovoy S. V. “Reconstruction of Radio Images of the Sun Obtained by the Siberian Solar Radio Telescope” // Radiophys Quantum Electron, V. 45., pp. 865-871, (2002), DOI: 10.1023/A:1023512928805.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследования, компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) Создан первый в мире солнечный радиотелескоп нового поколения – Сибирский радиогелиограф (СРГ), способный получать изображения Солнца в полосе частот 3-24 ГГц в обеих круговых поляризациях со временным разрешением до несколько секунд.
2) В результате модернизации Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ) проведены многолетние наблюдения солнечной активности на частоте 5.73 ГГц в двумерном и одномерных режимах, послужившая основой для работ по измерению

магнитных полей в солнечной короне и по исследованию быстропротекающих всплесков микроволнового излучения.

3) В результате наблюдений на модернизированном ССРТ получены новые данные о величине поперечной составляющей магнитного поля над пятнами – 30–40 Гс и высоте гирорезонансных источников над фотосферой на частоте 5.73 ГГц – 14.6 ± 4 тыс. км для обыкновенной моды и 13.3 ± 4 тыс. км для необыкновенной моды.
4) В результате интерферометрических наблюдений быстропротекающих всплесков с длительностью менее 1 секунды, определены размеры и смещения источников этих всплесков, и преимущественный тип волны излучения, связанного со всплесками. Утверждается, что чаще всего в диапазоне 5.73 ГГц быстропротекающие всплески обусловлены плазменным механизмом излучения.
5) Разработана методика определения угловых размеров компактных источников микроволнового излучения по наклону их пространственного спектра. Достоверные результаты получаются для источников с размерами на порядок меньшими ширины диаграммы направленности СРГ.
6) Впервые экспериментально определен механизм всплесков в поглощении микроволнового излучения – уменьшения мощности излучения от данного источника во времени. Показано, что такие всплески вызваны экранированием источников плотной холодной плазмой микровыбросов. Это следует из данных СРГ и подтверждается сопоставлением измерений СРГ и Solar Dynamic Observatory.
7) Разработана модель отклика многоантенного радиоинтерферометра на солнечный диск, учитывающая изменение во времени диаграммы направленности интерферометра и затенения антенн. Использование этой модели для коррекции отклика интерферометра повышает отношение сигнал-шум, что важно при исследовании сверхслабых солнечных вспышек.
8) По результатам наблюдений когерентного всплеска с пространственным, спектральным и временным разрешением предложен новый сценарий развития таких всплесков: пучок ускоренных электронов попадает в петлю под большим углом, в точке отражения электронов от магнитного поля в основании петли формируется распределение "полого пучка" электронов по энергиям, приводящее к развитию электронно-циклотронной неустойчивости на второй гармонике гирочастоты.

Теоретическая значимость диссертационной работы определяется тем, что созданный солнечный радиотелескоп нового поколения может измерять корональные

магнитные поля и определять места первичного энерговыделения во время солнечных вспышек. Эти вопросы относятся к наиболее важным темам солнечной физики. Полученные результаты по экранированию хромосферной холодной плазмой источников микроволнового излучения могут послужить основой для исследования эруптивных хромосферных структур путем интерпретации широкополосных динамических спектров поглощения. Новый сценарий когерентных всплесков может привлекаться не только для объяснения природы когерентного излучения Солнца, но и для интерпретации когерентного излучения звездных атмосфер и земной магнитосферы.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики заключаются тем, что:

1. Создан новый инструмент для исследования солнечной активности, являющейся основным драйвером космической погоды. Данные, получаемые новым радиотелескопом и методы, развитые в работе, пригодны для использования в прогнозе состояния околоземного космического пространства.

2. Алгоритмы и программное обеспечение, разработанные при модернизации ССРТ, широко использовались при интерпретации полученных данных, послуживших основой для ряда исследований по физике Солнца.

3. Макет многочастотного радиотелескопа послужил прототипом для СРГ. Все решения, обусловившие возможности СРГ, были апробированы во время создания макета.

4. Создание и запуск СРГ в регулярные наблюдения открыли новые возможности для исследований солнечной активности.

Оценка достоверности результатов исследования:

Достоверность опубликованных результатов обусловлена публикациями в рецензируемых журналах: 11 работ в «Solar Physics», 7 работ в «Солнечно-земная физика», 2 работы в «Astrophysical Journal», 2 работы в «Radiophysics and Quantum Electronics», 1 работа в «Research in Astronomy and Astrophysics», 1 работа в «Astronomy and Astrophysics», 1 работа в «Advances in Space Research», 1 работа в «Astronomy Reports», 1 работа в «Геомагнетизм и аэрономия», 1 работа в «Publications of the Astronomical Society of Japan», 1 работа в «Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics», 1 работа в «Успехи

физических наук». Кроме этого, основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях: "Всероссийская радиоастрономическая конференция 2011, 2014, 2018, 2022 годов. "Всероссийская астрономическая конференция 2010, 2021, 2024 годов, "Физика плазмы солнечной системы 2010, 2017 годов. 13th European Solar Physics Meeting (ESPM-13) 2011, EGU General Assembly 2013, held 7-12 April, 2013. CESRA Workshop 2019. The 6th Asia Pacific Solar Physics Meeting 2024

Личный вклад. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в создание СРГ и в опубликованные работы. В работах, связанных с созданием СРГ, определяющий вклад сделан автором в выбор конфигурации антенных решеток, методов фазовых и абсолютных калибровок, алгоритмов реального времени цифровой части приемной системы. Также основной вклад сделан автором в реализацию цифровых алгоритмов и разработку программного обеспечения сбора и первичной обработки данных СРГ. В работах по методикам, используемым на СРГ, по быстропротекающим процессам и по когерентным всплескам, вклад автора определяющий. В остальных работах вклад автора сводился к наблюдениям и обработке данных.

На заседании 24 ноября 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Лесовому Сергею Владимировичу учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 12, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя
диссертационного совета Клочкова В.Г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Шолухова О.Н.

24 ноября 2025 г.