

Утверждаю

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Института прикладной астрономии

Российской академии наук



к.ф.-м.н. Иванов Д.В.

« 31 » октября 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Лесового Сергея Владимировича

«Результаты исследований микроволнового излучения Солнца:

инструментарий и наблюдения»,

представленную на соискание учёной степени

доктора физико-математических наук

по специальности 1.3.1 — Физика космоса, астрономия

Актуальность темы исследования

В последние десятилетия ключевой задачей солнечной радиоастрономии стало создание многочастотного солнечного радиотелескопа с двумерным пространственным разрешением. Это обусловлено исчерпанием информативного потенциала существующих инструментов: солнечных радиометров, спектрометров, одночастотных солнечных интерферометров. Для получения принципиально новых данных о солнечной короне необходима двумерная микроволновая спектроскопия — методика, позволяющая регистрировать микроволновые спектры в каждой точке солнечного диска, а также изучать пространственное распределение излучения с высоким разрешением. Исследования солнечной короны в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, проводимые с помощью орбитальных обсерваторий, дают много информации о пространственной структуре короны, но ультрафиолетовое излучение слабо зависит от магнитного поля. Единственным способом измерить магнитное

поле в солнечной короне, по крайней мере, в переходном слое от хромосферы к короне, является двумерная микроволновая спектроскопия, для реализации которой и необходим солнечный радиотелескоп, способный получать изображения Солнца в широком диапазоне частот.

Диссертация отражает большой и во многом определяющий вклад С. В. Лесового в модернизацию Сибирского солнечного телескопа (ССРТ), а затем - в разработку и создание нового инструмента, Сибирского радиогелиографа (СРГ). Новый инструмент обеспечивает небывалое сочетание хорошего пространственного, временного и частотного разрешения, при достаточно большой полосе частот и возможности измерения круговой поляризации. Это необходимо для успешного развития исследований солнечной активности, особенно таких быстропротекающих явлений, как солнечные вспышки, эрупции, корональные выбросы.

В ходе создания СРГ автору диссертации пришлось решить множество различных задач: разработка основной концепции нового инструмента, выбор технической реализации различных элементов, создание рабочего макета гелиографа для проверки этих разработок, и, наконец, непосредственная установка и наладки готового инструмента. Все это отражено в главах 1-3 диссертации. Результаты, полученные с применением модернизированного ССРТ, изложены в главе 4. Результаты, полученные на СРГ (глава 5), сравнительно немногочисленны, ввиду недавнего ввода в строй этого инструмента, тем не менее они новы, интересны и демонстрируют большой научный потенциал СРГ.

Таким образом, резюмируя сказанное, актуальность работы обусловлена следующими факторами:

- необходимостью развития отечественной инструментальной базы для мониторинга солнечной активности;
- потребностью в высокоточных наблюдениях микроволнового излучения Солнца (3–24 ГГц) для прогнозирования космической погоды;

— дефицитом данных о динамике активных областей Солнца в указанном диапазоне частот;

— важностью независимых наблюдений для верификации международных прогнозов геоэффективных событий.

Научная новизна

В ходе исследования диссертантом получены принципиально новые научные результаты, имеющие существенное значение для солнечной радиоастрономии:

— **Создан уникальный инструмент для наблюдений.** Разработан и введен в регулярную эксплуатацию **первый в мире солнечный радиотелескоп**, способный получать микроволновые изображения Солнца в широком диапазоне частот, реализовывать двумерную микроволновую спектроскопию (получение спектров в каждой точке солнечного диска). В результате существенно повышена информативность и однозначность интерпретации проявлений солнечной активности в микроволновом диапазоне.

— **Исследован механизм быстропротекающих микроволновых всплесков.** Впервые проведена серия интерферометрических наблюдений быстропротекающих всплесков вблизи длины волны 5,2 см, в результате чего определены пространственные размеры и точные координаты источников всплесков, установлен преимущественный тип волны (преимущественно обыкновенная мода), получены новые данные о микроволновом излучении активных областей Солнца. Эти результаты подтверждают плазменный механизм излучения и расширяют представления о механизмах генерации солнечного радиоизлучения.

— **Раскрыт механизм микроволновых всплесков в поглощении.** Впервые уверенно установлено, что механизм микроволновых всплесков в поглощении заключается в экранировании ярких источников холодной плотной плазмой микровыбросов. Этот вывод основан на данных микроволновых

наблюдений и результатах сопоставления с наблюдениями в ультрафиолетовом диапазоне.

— **Предложен сценарий когерентных микроволновых всплесков.** Впервые выполнены наблюдения когерентного микроволнового всплеска в обеих круговых поляризациях с одновременной фиксацией пространственного, временного и спектрального разрешения. На основе полученных данных предложен новый сценарий когерентных всплесков, основанный на формировании распределения полого пучка при наклонной инжекции пучка в корональную петлю.

Таким образом, представленные результаты обладают безусловной научной новизной:

- ряд методик и наблюдений выполнен впервые в мировой практике;
- полученные данные существенно расширяют понимание механизмов генерации микроволнового излучения Солнца;
- разработан уникальный инструмент, открывающий новые возможности для исследований в области солнечной радиоастрономии.

Научная и практическая значимость

Научная значимость диссертационной работы заключается в том, что создание и использование СРГ для проведения наблюдений на регулярной основе открыли новые возможности для исследований солнечной активности, являющейся основным драйвером космической погоды, для изучения динамики солнечной короны и вспышечных процессов с высоким пространственно-временным разрешением. Созданный солнечный радиотелескоп нового поколения может решать ранее недоступные задачи: измерять корональные магнитные поля и определять места первичного энерговыделения во время солнечных вспышек. Эти вопросы относятся к наиболее важным темам солнечной физики. Новый сценарий когерентных всплесков, предложенный в диссертации, может привлекаться для интерпретации когерентного излучения как Солнца, так и звездных атмосфер или земной магнитосферы.

Большое практическое значение имеет частота, объем и оперативность получаемой с СРГ информации. Общедоступность ее использования (в режиме, близком к реальному времени) позволит СРГ значительно превзойти значимость широко используемого в недавнем прошлом, но выведенного в настоящее время из эксплуатации радиогелиографа Нобейама (Япония).

Практическая значимость диссертации состоит в следующем:

- созданный Сибирский радиогелиограф обеспечивает непрерывный мониторинг солнечной активности с пространственным разрешением, сопоставимым с лучшими мировыми аналогами;
- полученные данные пригодны для прогнозирования геоэффективных событий (вспышек, выбросов корональной массы);
- инструментарий диссертации может быть масштабирован до создания сетей радиогелиографов.

Таким образом, полученные соискателем результаты вносят существенный вклад в развитие таких отраслей наук, как физика и астрономия.

Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация полностью соответствует паспорту научной специальности 1.3.1 - Физика космоса, астрономия (отрасль науки: физико-математические).

Диссертационная работа отличается четкой логикой изложения и продуманной структурой (введение, 5 глав, заключение, список литературы, состоящий из 217 источников); детальностью проработки технических решений (выбор диаметров антенн, диапазонов частот, систем передачи данных); наглядностью представления результатов (графики, схемы, радиоизображения Солнца с пояснениями); корректным использованием терминологии и ссылками на первоисточники; полнотой автореферата, отражающего ключевые положения диссертации.

Достоверность выводов диссертации подтверждается:

- многократной апробацией на всероссийских и международных конференциях (2010–2024 гг.);
- публикациями в рецензируемых журналах. По теме диссертации опубликовано 54 работы в журналах, включенных в список ВАК или в «Белый список», в том числе 2 статьи в журналах, входящих в квартиль Q1 и 14 - входящих в квартиль Q2;
- успешной эксплуатацией СРГ в режиме регулярного мониторинга.

Результаты, вошедшие в диссертацию, получены автором лично или при его непосредственном участии. В работах, связанных с созданием СРГ, определяющий вклад сделан автором в выбор конфигурации антенных решеток, метод фазовых и абсолютных калибровок, алгоритм 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 когерентным всплескам, вклад автора определяющий.

Замечания

По содержанию работы имеются следующие замечания:

1. Выбор для СРГ способа передачи сигналов от антенн к рабочему зданию посредством аналоговых оптических линий связи обоснован недостаточно четко.
2. Для определения размеров источников когерентного всплеска автор использует одномерные антенные решетки СРГ — двумерного радиотелескопа. Означает ли это, что для наблюдения когерентных всплесков двумерный радиотелескоп не нужен?
3. Некоторые технические детали (например, параметры оптических линий, стабильность фазовых характеристик) изложены сжато; их развернутое описание улучшило бы воспроизводимость результатов.

4. На странице 106 Диссертации приведена формула (4.1). Следует уточнить, что она принадлежит не Б. И. Рябову, а выведена Д. Мелроузом в статье «Reversal of the Sense of Polarization in Solar and Stellar Radio Flares», 1980, Plasma Astrophysics, Vol. II, Gordon & Breach, New York.

5. Очень неудачная группа солнечных пятен (NOAA 10956) была выбрана для исследования трехмерной структуры источников, приведенной в параграфе 4.2 «Трехмерная структура микроволновых источников по данным ССРТ, NoRH, РАТАН-600». Эта группа была сильно раздроблена и на рассматриваемом временном интервале (15-21 мая 2007 г.) сильно изменялась.

Отмеченные замечания не умаляют значимость полученных автором результатов и важное научное значение диссертации в целом.

Заключение и рекомендации

Диссертация С. В. Лесового представляет собой самостоятельное научное исследование, в котором решена проблема создания многочастотного радиогелиографа с двумерным разрешением, получены результаты, имеющие существенное значение для физики Солнца и радиоастрономии, продемонстрирована конкурентоспособность отечественной инструментальной базы в области солнечной радиоастрономии.

Представленный анализ диссертации позволяет сделать заключение о том, что диссертация С. В. Лесового является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, а именно, в выполнение целей и задач приоритетных направлений научно-технологического развития (пункта е) «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145. Диссертанту рекомендовано развернуть работы по построению национальной Службы Солнца на основе созданного многочастотного радиогелиографа СРГ.

Вывод

Диссертация Сергея Владимировича Лесового «Результаты исследований микроволнового излучения Солнца: инструментарий и наблюдения» соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (пункты 9-14), утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с последующими изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор заслуживает присуждения учёной степени **доктора физико-математических наук** по специальности 1.3.1 - Физика космоса, астрономия.

Для подготовки Отзыва ведущей организации по диссертации С. В. Лесового в ИПА РАН была создана рабочая группа под руководством научного руководителя ИПА РАН, профессора по специальности «Астрофизика» А. В. Ипатова, состоящая из специалистов структурных подразделений ИПА РАН, тематика исследований которых соответствует тематике диссертации: Лаборатории антенн и антенных измерений, Лаборатории радиоастрономических приемных устройств, Лаборатории преобразования и регистрации сигналов, Лаборатории корреляционной обработки, Лаборатории физики Солнца. 31 октября 2025 г. в ИПА РАН состоялось заседание Ученого совета ИПА РАН, на котором был рассмотрен и единогласно принят подготовленный рабочей группой Отзыв ведущей организации.

Научный руководитель ИПА РАН,

д.т.н., проф. по специальности «Астрофизика»  А. В. Ипатов

Телефон: 8-812-275-11-07, E-mail: ipatov@iaaras.ru

Подпись А. В. Ипатова удостоверяю

Ученый секретарь ИПА РАН

Д.т.н.



Л. В. Федотов

Информация о ведущей организации:

Полное наименование: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук

Сокращенное наименование: ИПА РАН

Юридический адрес: 197110, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 8

Телефон: +7 (812) 275-11-18

Адрес электронной почты: iaaras@iaaras.ru

Сайт: www.iaaras.ru

Направления научных исследований ИПА РАН (п. 22.1 Устава), соответствующие тематике диссертации:

— исследования в области радиоастрономии и радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, включая радиоастрономическое приборостроение;

— исследования в области физики Солнца, изучение солнечно-земных связей;

— разработка астрономического программного и информационного обеспечения и средств автоматизации астрономических исследований.