

Федеральное государственное учреждение науки
Специальная астрофизическая обсерватория
Российской академии наук

На правах рукописи

УДК 523.97

Лесовой Сергей Владимирович

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МИКРОВОЛНОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА: ИНСТРУМЕНТАРИЙ И
НАБЛЮДЕНИЯ.**

Специальность 1.3.1 – Физика космоса, астрономия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

п. Нижний Архыз – 2025

Работа выполнена в *Федеральном государственном бюджетном учреждении
науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт Солнечно-Земной
Физики Сибирского отделения Российской академии наук*

Официальные оппоненты: **Степанов Александр Владимирович,**

чл. корр. РАН,

доктор физ.-мат. наук,

ГАО РАН,

научный руководитель

Чашей Игорь Владимирович,

доктор физ.-мат. наук,

АКЦ ФИАН,

главный научный сотрудник

Цап Юрий Теодорович,

доктор физ.-мат. наук,

КрАО РАН,

заведующий лабораторией

Ведущая организация: ИПА РАН

Защита состоится «_____» _____ 2025 г. в _____ часов на открытом заседании диссертационного совета *24.1.212.01* при *САО РАН*, по адресу: *369167, КЧР, Зеленчукский район, пос. Нижний Архыз.*

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке *САО РАН*.

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Отзывы и замечания по автореферату в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат физ.-мат. наук

Шолухова О.Н.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Самой важной инструментальной задачей солнечной радиоастрономии в последние десятилетия было создание многочастотного солнечного радиотелескопа с двумерным пространственным разрешением. Вызвано это тем, что солнечные радиометры, спектрометры и одночастотные интерферометры исчерпали свой информативный ресурс. Получение новой информации о солнечной короне было возможно только с реализацией так называемой двумерной микроволновой спектроскопии – получения микроволновых спектров в каждой точке солнечного диска. Актуальность исследований микроволнового излучения Солнца обусловлена тем, что это излучение очень сильно зависит от магнитных полей как в области генерации, так и в области распространения. 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. Пожалуй, единственным способом измерить магнитное поле в солнечной короне является двумерная микроволновая спектроскопия, для реализации которой, как упоминалось выше, необходим солнечный радиотелескоп, способный получать изображения Солнца на множестве частот микроволнового диапазона.

Цели и задачи диссертационной работы: Цель работы – разработка и создание нового инструмента для наблюдения Солнца в микроволновом диапазоне. Задачи, решаемые по ходу работы, можно разделить на две части: аппаратная часть, включающая модернизацию Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ) и создание солнечного радиотелескопа нового поколения, и наблюдательная часть, определяемая задачами солнечной физики, такими как измерение корональных магнитных полей, исследование микроволновых всплесков и корональных выбросов массы. В части аппаратуры и алгоритмов были решены следующие задачи: модернизация ССРТ, обеспечившая одновременные

наблюдения в двумерном и одномерном режимах для наблюдения быстропротекающих процессов и разработка метода коррекции фазовых ошибок ССРТ по анализу отклика на компактный источник. После модернизации ССРТ стало окончательно ясно, что для того, чтобы радионаблюдения Солнца внесли новый вклад в солнечную физику, необходимо создавать новый инструмент, который должен обладать возможностью получать микроволновые спектры в каждой точке солнечного диска. Так как подобного радиотелескопа не существовало в мире, то создание нового инструмента потребовало макетирования, ставшего одной из задач работы. Завершающая аппаратная задача – создание многочастотного радиогелиографа, фактически представляющего собой широкополосный солнечный радиотелескоп апертурного синтеза.

Задачи, связанные с наблюдениями, решались на всех стадиях работы, частично для разработки и проверки новых методик наблюдений, но в основном в исследовательских целях. В этой работе в основном рассматриваются результаты измерения корональных магнитных полей и исследования механизмов всплесков микроволнового излучения.

Научная новизна.

- Создан и запущен в регулярные наблюдения первый в мире солнечный радиотелескоп, способный получать микроволновые изображения Солнца в широком диапазоне частот. Это дает возможность реализации двумерной микроволновой спектроскопии — получения спектров в каждой точке солнечного диска. Таким образом, интерпретация проявлений солнечной активности на микроволнах становится гораздо более однозначной и информативной.
- Впервые проведена серия интерферометрических наблюдений быстропротекающих микроволновых всплесков в окрестности длины волны 5.2 см, получены размеры и координаты источников всплесков и определен преимущественный тип волны. Показано, что размеры источников быстро-

протекающих всплесков могут быть достаточно большими, тип волны чаще соответствует обыкновенной моде, что свидетельствует о плазменном механизме излучения.

- Впервые однозначно установлено, что механизмом микроволновых всплесков в поглощении является экранирование ярких источников холодной плотной плазмой микровыбросов. Это следует как из микроволновых наблюдений, так и из сопоставления их с данными в ультрафиолетовом диапазоне.
- Впервые проведены наблюдения когерентного микроволнового всплеска с пространственным, спектральным и временным разрешением в обеих круговых поляризациях, что позволило предложить новый сценарий когерентных всплесков, основанный на формировании распределения полого пучка при наклонной инжекции пучка в корональную петлю.

Теоретическая и практическая значимость. Практическая значимость работы состоит в создании нового инструмента 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. Алгоритмы и программное обеспечение, разработанные при модернизации ССРТ, широко использовались при интерпретации полученных данных, послуживших основой для ряда исследований по физике Солнца. Макет многочастотного радиотелескопа послужил прототипом для Сибирского радиогелиографа (СРГ). Все решения, обусловившие возможности СРГ, были апробированы во время создания макета. Создание и запуск СРГ в регулярные наблюдения открыли новые возможности для исследований солнечной активности. Научная значимость диссертации 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.

Положения, выносимые на защиту:

- 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.
- В результате модернизации ССРТ проведена многолетняя серия наблюдений 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.
- 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.
- 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. Результат говорит о том, что чаще всего в

окрестности частоты 5.73 ГГц быстропротекающие всплески обусловлены плазменным механизмом излучения.

- 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.
- Впервые экспериментально определен механизм так называемых отрицательных всплесков 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 данных СРГ и Solar Dynamic Observatory (SDO).
- 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.
- 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 основания петли формируется так называемое распределение "полого пучка" электронов по энергиям, приводящее к развитию электронно-циклотронной неустойчивости на второй гармонике гирочастоты.

Соответствие паспорту специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия:

- Исследование физических процессов, связанных с генерацией излучения (электромагнитного, корпускулярного, гравитационного), распространения и поглощения излучения в космических средах; разработка методов анализа излучения в различных спектральных и энергетических диапазонах в применении к астрономическим наблюдениям и физическим измерениям.
- Физика Солнца и солнечной активности. Солнечные излучения всех диапазонов – от радиоизлучения до гамма- и нейтринного излучения. Солнечные и космические лучи и их распространение в солнечной системе. Гелиосфера. Солнечный ветер.
- Теоретические и экспериментальные исследования космической плазмы.
- Солнечно-земные связи. Космическая погода.
- Экспериментальные методы, научные приборы, методы вычислительной астрофизики и алгоритмы обработки данных для космических и астрономических исследований.

Степень достоверности и апробация результатов. 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.

Публикации. Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 54 работах, в журналах, включенных в список ВАК или в международную реферативную базу ADS (в том числе 2 статьи в журналах, входящих в квартиль Q1 и 14 – входящих в квартиль Q2 11.04.2025). В указанных работах материалы, представленные в диссертации, отражены с необходимой полнотой. Основные

результаты работы опубликованы в 30 статьях, в изданиях, включенных в список ВАК или в международную реферативную базу ADS. Опубликовано также 14 статей в сборниках трудов конференций и 10 тезисов докладов.

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в создание Сибирского Радиогелиографа 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.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации 207 страниц, включая 52 рисунков. Библиография включает 106 наименований.

Содержание работы

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов.

В первой главе описывается модернизация ССРТ. Одна из задач модернизации – это совмещение наблюдений в двумерном и в одномерном режимах для одновременной регистрации изображений Солнца и для исследования быстропротекающих процессов [1]. Еще одна задача – разработка метода коррекции исходных изображений ССРТ с целью привести их к свертке с идеальной диаграммой направленности ССРТ [2]. Так как ССРТ являлся телескопом прямого

получения изображения, то методы, развитые в апертурном синтезе, нельзя было применить к данным ССРТ. Разработанный метод коррекции, основанный на анализе отклика на компактный источник, много лет использовался в регулярных наблюдениях ССРТ. Завершающая задача модернизации – реконструкция ("чистка") исходных ("грязных") изображений ССРТ. Радиоизображения Солнца содержат множество структур разного масштаба, от компактных источников с размерами несколько угловых секунд, до солнечного диска размером $\approx 0.5^\circ$. Стандартная процедура реконструкции протяженных источников требует очень много компьютерного времени и была заменена процедурой, манипулирующей несколькими пространственными масштабами.

Во второй главе рассматривается макетирование нового солнечного радиотелескопа. Это многолетний процесс, состоящий из разработки 10-антенного макета и последующей разработки 48-антенного макета синтезирующего солнечного радиотелескопа, работающих в полосе частот 4–8 ГГц [3], [4]. На этой стадии необходимо было решить следующие задачи: определение конфигурации антенной решетки и способа калибровки коэффициентов передачи антенн, выбор способа передачи сигналов от антенн к рабочему зданию. Также требовалось определиться с компромиссами: угловое разрешение – перекрытие откликов на солнечный диск, временное разрешение – мгновенное число частотных каналов (объем хранимых данных), затенение антенн – число антенных решеток (типов антенн). В результате выбор был сделан в пользу эквидистантной антенной решетки, обеспечивающей калибровку коэффициентов передачи антенн по избыточности. Предпочтение было отдано угловому разрешению, а не отсутствию перекрытий. Был выбран диапазон рабочих частот 3–24 ГГц, поделенный на три октавных диапазона: 3–6, 6–12, 12–24 ГГц, что подразумевает три типа антенн и три независимых антенных решетки. Для передачи сигналов от антенн в рабочее здание были выбраны аналоговые оптические линии. Это избавляет от необходимости создания стабильной сети сигналов гетеродинов. Также в главе 2 рассматриваются алгоритм компенсации геометрических



Рис. 1. Общий вид Сибирского радиогелиографа. Три Т-образных антенных решетки содержат антенны с диаметрами 1, 2 и 3 м. Соответствующие диапазоны рабочих частот 12–24, 6–12, 3–6 ГГц.

задержек и форматы данных, и формируются требования к параметрам солнечного радиотелескопа нового поколения.

Третья глава посвящена Сибирскому радиогелиографу. Хотя задачи, для решения которых предназначался солнечный радиотелескоп нового поколения, были сформулированы довольно давно [55], но работающих радиотелескопов в момент начала работ над СРГ не было. Рассматривается противоречивость требований к солнечному радиотелескопу нового поколения. Обосновываются выбор конфигурации антенной решетки, способ передачи сигнала от антенн в рабочее здание, метод калибровки коэффициентов передачи антенн. Анализируется соответствие параметров СРГ, запущенного в регулярные наблюдения, современным задачам солнечной физики. Описывается структура данных СРГ. Общий вид СРГ приведен на рисунке 1.

В четвертой главе приводятся результаты исследований разных проявлений солнечной активности, полученные при совместной обработке данных

ССРТ с данными другими инструментами. Измерение поперечной относительно луча зрения составляющей магнитного поля в активной области выполнено с помощью стереоскопии – изменения со временем угла зрения по отношению к направлению магнитного поля наблюдаемой активной области. Сопоставляются данные ССРТ на частоте 5.73 ГГц и радиогелиографа Нобейма (NoRH) на частоте 17 ГГц. Известно, что при распространении электромагнитного излучения в среде с квазипоперечным магнитным полем возможна смена круговой поляризации. Это объясняется взаимодействием различных мод излучения в области квазипоперечного распространения. Степень взаимодействия, а значит и возможность смены поляризации, измеряется через нормированные степени поляризации излучения [56], которые получают из микроволновых изображений активной области. Таким способом можно измерять различные диапазоны величин поперечной составляющей магнитного поля в зависимости от рабочей частоты радиотелескопа. В работе показано, что измеряемая по данным ССРТ составляющая магнитного поля находится в пределах 15–25 Гс, а по данным NoRH – в пределах 100–110 Гс. Это согласуется со структурой гирорезонансного источника – рабочая частота ССРТ соответствует высоте над фотосферой примерно на 10 тыс. км больше, чем высота источников NoRH. Очевидным недостатком этого исследования является то, что были доступны данные только на двух рабочих частотах – ССРТ 5.73 ГГц и NoRH 17 ГГц. Большее количество частот повысило бы точность измерения поперечной к лучу зрения составляющей.

Одной из важных проблем при исследовании микроволнового излучения Солнца является измерение высоты источника излучения над фотосферой. Высоту источника можно получить из модели магнитного поля, сопоставляя фотосферные магнитограммы, модель и микроволновые данные [57], но прямые измерения предпочтительней, так как они требуют меньшего числа допущений. В данной работе определение высот микроволновых источников было проведено путем совместной обработки данных ССРТ, NoRH и ПАТАН-600. Результаты

всех трех инструментов согласуются и близки к ожидаемым. Как и в случае с измерением поперечной составляющей магнитного поля, эта работа показала, что наличие изображений в широкой полосе частот существенно повысило бы достоверность результатов.

В результате серии интерферометрических наблюдений всплесков с длительностями менее 1 с стало возможным статистическое исследование особенностей таких всплесков. В работе [5] показано, что преимущественная поляризация быстротекающих всплесков, зарегистрированных в окрестности частоты 5.73 ГГц, соответствует обыкновенной волне. Из этого следует, что чаще всего такие всплески обусловлены плазменным механизмом излучения.

В пятой главе приведены результаты наблюдений на многочастотных радиогелиографах. Первый результат методический – описывается способ определения размера источника по наклону его пространственного спектра [6]. В отличие от использования относительных видностей, описанных в [58], таким образом можно определять размер источника на каждой из рабочих частот. Даже в случае линейной аппроксимации высокочастотной части пространственного спектра удастся определить размеры источников, величина которых на порядок меньше ширины диаграммы направленности радиогелиографа. В этом случае размер источника $\approx \frac{\textit{intercept}}{\textit{slope}}$, где *intercept*, *slope* – параметры линейной регрессии. Этот метод используется, в частности, в описываемой ниже работе, посвященной когерентным всплескам.

Микроволновые всплески в поглощении были обнаружены несколько десятилетий назад [59], [60]. Но до сих пор было неясно, каков механизм депрессии микроволнового излучения. Отсутствие наблюдений с пространственным разрешением не позволяло выбрать между экранировкой источника плотной холодной плазмой и погружением источника в более плотные и холодные слои короны. Наблюдения на 48-антенном макете радиогелиографа [7], сопоставленные с данными SDO/AIA, однозначно показали, что депрессии вызываются экранировкой источника плазмой микровыбросов. Наблюдаются такие явления чаще

всего тогда, когда источник находится далеко от центра Солнца и радиальные траектории микровыбросов пересекают его.

Предложенный в [8] метод моделирования отклика SRG описывает особенности кривых, обусловленные солнечным диском и позволяет корректировать временной ход этих кривых. Вариации корреляционных кривых, вызванные изменением во времени отклика на солнечный диск, удается подавить в несколько раз, что соответствует плотности потока примерно 0.1 с.е.п. Изменения корреляционных кривых во времени можно рассматривать как разновидность шума, мешающего достоверному обнаружению слабых событий. Таким образом, коррекция с помощью модели отклика на солнечный диск увеличивает отношение сигнал-шум, что очень важно при исследовании сверхслабой активности.

Впервые проведены наблюдения когерентного всплеска, позволившие однозначно определить механизм его излучения [9]. Если яркостная температура источника всплеска радиоизлучения превышает кинетическую температуру электронов в области источника, значит, за излучение отвечает когерентный механизм. Такие всплески характеризуются, как правило, короткими длительностями (< 1 с), узкими полосами частот (несколько процентов от центральной частоты) и близкой к 100% степенью круговой поляризации. Хотя первые наблюдения таких всплесков на радиометрах относятся к 70-м годам прошлого века [61], до сих пор не удавалось провести одновременные наблюдения с достаточным пространственным, временным и спектральным разрешением. С учетом того, что SRG наблюдает еще и в обеих круговых поляризациях, по полученным данным можно однозначно определить механизм излучения. В этой работе приводятся результаты одновременных наблюдений когерентного события 11 мая 2023 г. двумя солнечными радиотелескопами – SRG и EOVSА. Определение размера источника всплеска позволило определить его яркостную температуру ($\approx 10^{11} K$). Известная температура в сочетании с другими измеренными параметрами – положением источника, полосой частот, длительностью и поляризацией – позволила точно определить, что излучение обусловлено электронно-

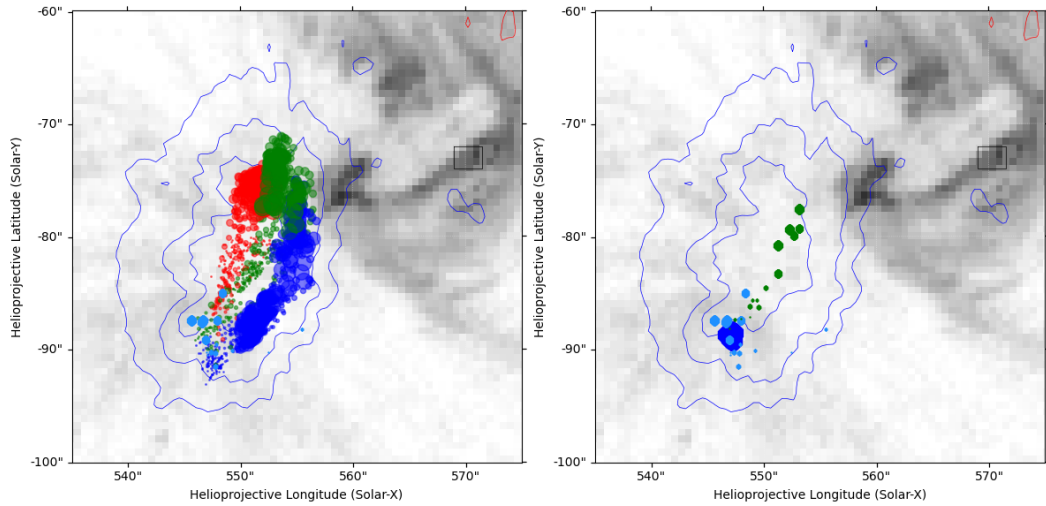


Рис. 2. Слева показана зависимость от времени координат источников всплеска на разных частотах. Красные маркеры соответствуют частотам 3.1–4.2 ГГц, зеленые – 4.2–7.2 ГГц, синие – 7.6–11.6 ГГц. Размер маркера растет со временем. Справа голубые маркеры показывают координаты когерентного всплеска, зеленые – координаты источника всплеска для частот 4.6, 4.8, 5.0 ГГц. Полутонами показано изображение SDO/AIA 304 Å, контуры соответствуют магнитному полю в 850 Гс. Синие маркеры показывают координаты спокойного гирезонансного источника на частоте 7.2 ГГц, соответствующей третьей гармонике гирочастоты 2.4 ГГц. Из того, что положение источника когерентного всплеска на частоте 4.8 ГГц совпадает с положением гирорезонансного источника на частоте 7.2 ГГц следует, что когерентное излучение соответствует второй гармонике гирочастоты 2.4 ГГц.

циклотронным мазером на второй гармонике гирочастоты. Соответствующее распределение электронов по скоростям – это, вероятнее всего, распределение полого пучка (hollow beam distribution), сформировавшееся за счет наклонной инъекции пучка электронов в магнитную петлю [62], [63], а не подковообразное распределение (horseshoe distribution), широко используемое в последнее время [64] для объяснения мазерного излучения в солнечной короне.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертации. Инструментальные результаты диссертации отражены в главах 1–3. Глава 1 посвящена модернизации ССРТ, главы 2 и 3 — созданию солнечного радиотелескопа нового поколения СРГ. ССРТ использовал частотное сканирование и вращение

Земли для получения двумерных изображений Солнца, в то время как СРГ – это радиотелескоп апертурного синтеза. Оба инструмента являются интерферометрами, но принципы получения изображения отличаются радикально. Модернизация ССРТ заключалась в совмещении регистраций двумерных и одномерных изображений. Двумерные изображения использовались для исследования медленно меняющихся компонент микроволнового излучения, одномерные – для наблюдения быстропротекающих процессов. Новые возможности ССРТ на момент модернизации являлись источником новой физической информации о Солнце, что подтверждается рядом работ, выполненных на основе полученных данных. Необходимо отметить, что калибровка коэффициентов передачи антенн, столь широко используемая в апертурном синтезе, была невозможна для ССРТ. Кросскорреляционные функции от всех пар антенн ССРТ вычислялись в аппаратуре до преобразования в цифровой вид. Качество изображений было ограничено аппаратными коррекциями волноводного тракта. Поэтому важную роль в получении двумерных изображений на ССРТ сыграло разработанное программное обеспечение для коррекции диаграммы направленности по анализу отклика на компактный источник.

В главах 2 и 3 обосновывается необходимость создания солнечного радиотелескопа нового поколения. Приводятся требования к новому инструменту, сформированные на основе современных задач солнечной физики: измерение корональных магнитных полей, исследование вспышек и эруптивных процессов. Приводятся результаты макетирования нового телескопа и требования к его основным параметрам: принцип построения изображения, конфигурация антенной решетки, методы калибровок коэффициентов передачи антенн. Также приводятся фактические параметры СРГ и описываются форматы данных.

Результаты исследований приведены в главах 4 и 5. В главе 4 – результаты, полученные на модернизированном ССРТ, в главе 5 – результаты, полученные на СРГ.

По данным ССРТ и радиогелиографа Нобейма была измерена поперечная

относительно луча зрения составляющая магнитного поля в активной области. Использовалось изменение луча зрения за несколько дней – так называемая стереоскопия. При допущении того, что магнитная конфигурация остается стабильна, и при известных координатах источников и их поляризации можно построить магнитограмму в окрестности данного радиоисточника. Величина поперечной составляющей магнитного поля на высоте, соответствующей рабочей частоте ССРТ, составляет 15–25 Гс, на высоте, соответствующей рабочей частоте радиогелиографа Нобейма – 100–110 Гс.

По совместным данным ССРТ, Нобейма и РАТАН-600 была измерена высота микроволнового источника излучения над фотосферой. Измерение было проведено путем аппроксимации зависимостей координат источников от времени наблюдений в предположении, что высота источника за это время не меняется. Полученные высоты – 12.9 ± 3.2 , 12.2 ± 3.2 и 20.9 ± 5.5 , 12.2 ± 3.2 угловые секунды для частот 17 и 5.7 ГГц – близки к ожидаемым.

В главе 5 описана разработанная методика определения размера источника по наклону пространственного спектра, получаемого СРГ, позволяющая определять размеры источника до нескольких угловых секунд. Обычно для этого достаточно линейной аппроксимации высокочастотной части пространственного спектра.

Впервые по данным 48-антенного макета СРГ однозначно определен механизм негативных всплесков микроволнового излучения Солнца – экранирование гирорезонансного источника плотной холодной плазмой микровывброса.

Впервые проведены наблюдения когерентного всплеска микроволнового излучения одновременно с пространственным, спектральным и временным разрешением. Всплеск зарегистрирован одновременно двумя радиотелескопами – СРГ и EOVSA. По данным СРГ удалось определить координаты, размер, яркостную температуру и степень поляризации источника всплеска. По данным EOVSA получена детализация микроволнового спектра излучения всплеска. В результате предложен новый сценарий когерентных всплесков – электронно-

циклотронный мазер на второй гармонике гирочастоты, обусловленный распределением полого пучка электронов по скоростям, возникающим за счет наклонной инъекции пучка ускоренных электронов в магнитную петлю.

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования научных результатов

1. *Lesovoy S. V., Treskov A. T., Treskov T. A.* Additive-correlation regime of operation of the Siberian Solar Radio Telescope // *Radiophys Quantum Electron.* — 1999. — Т. 42. — С. 445—450. — DOI: [10.1007/BF02677580](https://doi.org/10.1007/BF02677580).
2. *Lesovoy S. V.* Reconstruction of Radio Images of the Sun Obtained by the Siberian Solar Radio Telescope // *Radiophys Quantum Electron.* — 2002. — Т. 45. — С. 865—871. — DOI: [10.1023/A:1023512928805](https://doi.org/10.1023/A:1023512928805).
3. The Multifrequency Siberian Radioheliograph / S. V. Lesovoi, A. T. Altyntsev, E. F. Ivanov, A. V. Gubin // *Sol. Phys.* — 2012. — Окт. — Т. 280, № 2. — С. 651—661. — DOI: [10.1007/s11207-012-0008-7](https://doi.org/10.1007/s11207-012-0008-7). — arXiv: [1205.4794](https://arxiv.org/abs/1205.4794) [[astro-ph.IM](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].
4. A 96-antenna radioheliograph / S. V. Lesovoi, A. T. Altyntsev, E. F. Ivanov, A. V. Gubin // *Research in Astronomy and Astrophysics.* — 2014. — Июль. — Т. 14, № 7. — С. 864—868. — DOI: [10.1088/1674-4527/14/7/008](https://doi.org/10.1088/1674-4527/14/7/008). — arXiv: [1403.4748](https://arxiv.org/abs/1403.4748) [[astro-ph.IM](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].
5. *Lesovoi S. V., Kardapolova N. N.* Bursts with temporal fine structure at 5730 MHz // *Sol. Phys.* — 2003. — Сент. — Т. 216, № 1. — С. 225—238. — DOI: [10.1023/A:1026120823592](https://doi.org/10.1023/A:1026120823592).
6. Study of Flare Energy Release Using Events with Numerous Type III-like Bursts in Microwaves / N. S. Meshalkina, A. T. Altyntsev, D. A. Zhdanov, S. V. Lesovoi, A. A. Kochanov, Y. H. Yan, C. M. Tan // *Sol. Phys.* — 2012. — Окт. — Т. 280, № 2. — С. 537—549. — DOI: [10.1007/s11207-012-0065-y](https://doi.org/10.1007/s11207-012-0065-y). — arXiv: [1206.3825](https://arxiv.org/abs/1206.3825) [[astro-ph.SR](https://arxiv.org/archive/astro-ph)].

7. Siberian Radioheliograph: first results / S. Lesovoi, A. Altyntsev, A. Kochanov, V. Grechnev, A. Gubin, D. Zhdanov, E. Ivanov, A. Uralov, L. Kashapova, A. Kuznetsov, N. Meshalkina, R. Sych // *Solar-Terrestrial Physics*. — 2017. — Апр. — Т. 3, № 1. — С. 3—18. — DOI: [10.12737/article_58f96ec60fec52.86165286](https://doi.org/10.12737/article_58f96ec60fec52.86165286). — arXiv: [1704.07100](https://arxiv.org/abs/1704.07100) [[astro-ph.SR](#)].
8. *Lesovoi S., Kobets V.* Simulating Siberian Radioheliograph response to the quiet Sun // *Solar-Terrestrial Physics*. — 2018. — Дек. — Т. 4, № 4. — С. 82—87. — DOI: [10.12737/stp-4420181110.12737/szf-44201811](https://doi.org/10.12737/stp-4420181110.12737/szf-44201811).
9. On a Possible Scenario of Solar Coherent Bursts / S. V. Lesovoi, D. E. Gary, M. V. Globa, E. F. Ivanov // *Sol. Phys.* — 2025. — Февр. — Т. 300, № 2. — С. 23. — DOI: [10.1007/s11207-025-02433-z](https://doi.org/10.1007/s11207-025-02433-z).
10. Dual-filament initiation of a Coronal Mass Ejection: Observations and Model / A. M. Uralov, S. V. Lesovoi, V. G. Zandanov, V. V. Grechnev // *Sol. Phys.* — 2002. — ИЮЛЬ. — Т. 208, № 1. — С. 69—90. — DOI: [10.1023/A:1019610614255](https://doi.org/10.1023/A:1019610614255).
11. The microwave subsecond pulse of September 17, 2001: The spectrum, location and size of the source / A. T. Altyntsev, S. V. Lesovoi, N. S. Meshalkina, R. A. Sych, Y. Yan // *Astron. Astrophys.* — 2003. — Март. — Т. 400. — С. 337—346. — DOI: [10.1051/0004-6361:20021905](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20021905).
12. The Siberian Solar Radio Telescope: the current state of the instrument, observations and data / V. V. Grechnev, S. V. Lesovoi, G. Y. Smolkov, B. B. Krissinel, V. G. Zandanov, A. T. Altyntsev, N. N. Kardapolova, R. Y. Sergeev, A. M. Uralov, V. P. Maksimov, B. I. Lubyshev // *Sol. Phys.* — 2003. — Сент. — Т. 216, № 1. — С. 239—272. — DOI: [10.1023/A:1026153410061](https://doi.org/10.1023/A:1026153410061).
13. On solar 5.7 GHz subsecond burst source sizes / N. S. Meshalkina, A. T. Altyntsev, S. V. Lesovoi, V. G. Zandanov // *Advances in Space Research*. — 2005. — ЯНВ. — Т. 35, № 10. — С. 1785—1788. — DOI: [10.1016/j.asr.2005.01.003](https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.01.003).

14. Coronal Magnetography of Solar Active Region 8365 with the SSRT and NoRH Radio Heliographs / B. I. Ryabov, V. P. Maksimov, S. V. Lesovoi, K. Shibasaki, A. Nindos, A. Pevtsov // *Sol. Phys.* — 2005. — Февр. — Т. 226, № 2. — С. 223—237. — DOI: [10.1007/s11207-005-2691-0](https://doi.org/10.1007/s11207-005-2691-0).
15. Coronal mass ejection of April 27, 2003, and evolution of the active region NOAA 10338 in the radio / N. N. Kardapolova, T. P. Borisevich, N. G. Peterova, S. V. Lesovoi // *Astronomy Reports.* — 2008. — Май. — Т. 52, № 5. — С. 409—418. — DOI: [10.1134/S1063772908050077](https://doi.org/10.1134/S1063772908050077).
16. Ten-antenna prototype of a radio heliograph based on the Siberian Solar Radio Telescope / S. V. Lesovoy, A. T. Altyntsev, V. G. Zandanov, E. F. Ivanov, A. I. Gubin A. V. and Maslov // *Geomagn. Aeron.* — 2009. — Т. 49. — С. 1125—1127. — DOI: [10.1134/S0016793209080167](https://doi.org/10.1134/S0016793209080167).
17. Three-dimensional Structure of Microwave Sources from Solar Rotation Stereoscopy Versus Magnetic Extrapolations / G. M. Nita, G. D. Fleishman, J. Jing, S. V. Lesovoi, V. M. Bogod, L. V. Yasnov, H. Wang, D. E. Gary // *Astrophys. J.* — 2011. — Абр. — Т. 737, № 2. — С. 82. — DOI: [10.1088/0004-637X/737/2/82](https://doi.org/10.1088/0004-637X/737/2/82). — arXiv: [1106.0262 \[astro-ph.SR\]](https://arxiv.org/abs/1106.0262).
18. Radioheliograph Observations of Microwave Bursts with Zebra Structures / A. T. Altyntsev, S. V. Lesovoi, N. S. Meshalkina, R. A. Sych, Y. Yan // *Sol. Phys.* — 2011. — Окт. — Т. 273, № 1. — С. 163—177. — DOI: [10.1007/s11207-011-9856-9](https://doi.org/10.1007/s11207-011-9856-9). — arXiv: [1109.5758 \[astro-ph.SR\]](https://arxiv.org/abs/1109.5758).
19. Thermal to Nonthermal Energy Partition at the Early Rise Phase of Solar Flares / A. A. Altyntsev, G. D. Fleishman, S. V. Lesovoi, N. S. Meshalkina // *Astrophys. J.* — 2012. — Окт. — Т. 758, № 2. — С. 138. — DOI: [10.1088/0004-637X/758/2/138](https://doi.org/10.1088/0004-637X/758/2/138). — arXiv: [1209.0728 \[astro-ph.SR\]](https://arxiv.org/abs/1209.0728).
20. Microwave and EUV Observations of an Erupting Filament and Associated Flare and Coronal Mass Ejections / C. E. Alissandrakis, A. A. Kochanov, S.

- Patsourakos, A. T. Altyntsev, S. V. Lesovoi, N. N. Lesovoya // *Publ. Astron. Soc. Japan.* — 2013. — Дек. — Т. 65. — S8. — DOI: [10.1093/pasj/65.sp1.S8](https://doi.org/10.1093/pasj/65.sp1.S8). — arXiv: [1309.1703](https://arxiv.org/abs/1309.1703) [astro-ph.SR].
21. Sources of Quasi-periodic Pulses in the Flare of 18 August 2012 / A. Altyntsev, N. Meshalkina, H. Mészáros, M. Karlický, V. Palshin, S. Lesovoi // *Sol. Phys.* — 2016. — Февр. — Т. 291, № 2. — С. 445–463. — DOI: [10.1007/s11207-016-0846-9](https://doi.org/10.1007/s11207-016-0846-9). — arXiv: [1601.02332](https://arxiv.org/abs/1601.02332) [astro-ph.SR].
 22. *Lesovoi S., Kobets V.* Correlation plots of the Siberian Radioheliograph // *Solar-Terrestrial Physics.* — 2017. — Апр. — Т. 3, № 1. — С. 19–25. — DOI: [10.12737/article_58f96eeb8fa318.06122835](https://doi.org/10.12737/article_58f96eeb8fa318.06122835). — arXiv: [1705.10043](https://arxiv.org/abs/1705.10043) [astro-ph.IM].
 23. Multi-instrument view on solar eruptive events observed with the Siberian Radioheliograph: From detection of small jets up to development of a shock wave and CME / V. V. Grechnev, S. V. Lesovoi, A. A. Kochanov, A. M. Uralov, A. T. Altyntsev, A. V. Gubin, D. A. Zhdanov, E. F. Ivanov, G. Y. Smolkov, L. K. Kashapova // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* — 2018. — Сент. — Т. 174. — С. 46–65. — DOI: [10.1016/j.jastp.2018.04.014](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.04.014). — arXiv: [1805.02564](https://arxiv.org/abs/1805.02564) [astro-ph.SR].
 24. Multiwave Siberian Radioheliograph / A. Altyntsev, S. Lesovoi, M. Globa, A. Gubin, A. Kochanov, V. Grechnev, E. Ivanov, V. Kobets, N. Meshalkina, A. Muratov, D. Prosovetsky, I. Myshyakov, A. Uralov, A. Fedotova // *Solar-Terrestrial Physics.* — 2020. — Июнь. — Т. 6, № 2. — С. 30–40. — DOI: [10.12737/stp-6220200310.12737/szf-62202003](https://doi.org/10.12737/stp-6220200310.12737/szf-62202003).
 25. Twin Null-Point-Associated Major Eruptive Three-Ribbon Flares with Unusual Microwave Spectra / V. V. Grechnev, N. S. Meshalkina, A. M. Uralov, A. A. Kochanov, S. V. Lesovoi, I. I. Myshyakov, V. I. Kiselev, D. A. Zhdanov, A. T. Altyntsev, M. V. Globa // *Sol. Phys.* — 2020. — Сент. — Т. 295, № 9. —

- C. 128. — DOI: [10.1007/s11207-020-01702-3](https://doi.org/10.1007/s11207-020-01702-3). — arXiv: [2009.10350](https://arxiv.org/abs/2009.10350) [astro-ph.SR].
26. *Lesovoi S., Globa M.* Measurement of Siberian Radioheliograph cable delays // Solar-Terrestrial Physics. — 2021. — Дек. — Т. 7, № 4. — С. 93—97. — DOI: [10.12737/stp-74202110](https://doi.org/10.12737/stp-74202110).
 27. *Globa M., Lesovoi S.* Calibration of Siberian Radioheliograph antenna gains using redundancy // Solar-Terrestrial Physics. — 2021. — Дек. — Т. 7, № 4. — С. 98—103. — DOI: [10.12737/stp-74202111](https://doi.org/10.12737/stp-74202111).
 28. Subsecond pulses in microwave emission from the Sun / A. T. Altyntsev, N. S. Meshalkina, S. V. Lesovoi, D. A. Zhdanov // Physics Uspekhi. — 2023. — ИЮЛЬ. — Т. 66, № 7. — С. 691—703. — DOI: [10.3367/UFNe.2022.06.039205](https://doi.org/10.3367/UFNe.2022.06.039205).
 29. Plasma Heating in an Erupting Prominence Detected from Microwave Observations with the Siberian Radioheliograph / A. M. Uralov, V. V. Grechnev, S. V. Lesovoi, M. V. Globa // *Sol. Phys.* — 2023. — ОКТ. — Т. 298, № 10. — С. 117. — DOI: [10.1007/s11207-023-02210-w](https://doi.org/10.1007/s11207-023-02210-w).
 30. Features of correlation curves of the Siberian Radioheliograph / A. Uralov, S. Lesovoi, V. Grechnev, M. Globa // Solar-Terrestrial Physics. — 2025. — Март. — Т. 11, № 1. — С. 81—89. — DOI: [10.12737/stp-111202510](https://doi.org/10.12737/stp-111202510).

Статьи в рецензируемых изданиях, не входящих в список ВАК и труды конференций

31. Joint Processing of Radio Data Produced by the SSRT Together With Data of OTHER Spectral Ranges / V. V. Grechnev, A. T. Altyntsev, S. K. Konovalov, S. V. Lesovoi // Astronomical Data Analysis Software and Systems VIII. T. 172 / под ред. D. M. Mehringer, R. L. Plante, D. A. Roberts. — 01.1999. — С. 329. — (Astronomical Society of the Pacific Conference Series).
32. *Zandanov V. G., Lesovoi S. V.* Radio Observations of Filaments at the SSRT // Proceedings of the Nobeyama Symposium / под ред. T. S. Bastian, N. Gopalswamy, K. Shibasaki. — 12.1999. — С. 37—40.
33. *Zandanov V. G., Altyntsev A. T., Lesovoi S. V.* The SSRT in the 23rd Cycle of Solar Activity // Proceedings of the Nobeyama Symposium / под ред. T. S. Bastian, N. Gopalswamy, K. Shibasaki. — 12.1999. — С. 425—428.
34. *Uralov A. M., Lesovoi S. V., Zandanov V. G.* A dual-loop initiation model for coronal mass ejections // Cospar. — 2002. — ЯНВ. — Т. 14. — С. 145—148. — DOI: [10.1016/S0964-2749\(02\)80146-9](https://doi.org/10.1016/S0964-2749(02)80146-9).
35. The research of solar microwave subsecond pulse sizes / N. S. Meshalkina, A. T. Altyntsev, S. V. Lesovoi, V. G. Zandanov // 35th COSPAR Scientific Assembly. T. 35. — 01.2004. — С. 423.
36. Microwave subsecond pulses in solar flares - source localization, emission mechanism, A. T. Altyntsev, N. N. Kardapolova, A. A. Kuznetsov, S. V. Lesovoi, N. S. Meshalkina, Y. Yan // 35th COSPAR Scientific Assembly. T. 35. — 01.2004. — С. 702.
37. CMEs and the structure of low corona above associated active regions according to observations at microwaves / N. N. Kardapolova, S. V. Lesovoi, T. P. Borisevich, N. G. Peterova, B. I. Ryabov // Multi-Wavelength Investigations

- of Solar Activity. T. 223 / под ред. А. В. Stepanov, Е. Е. Benevolenskaya, А. Г. Kosovichev. — 01.2004. — С. 265—266. — (IAU Symposium). — DOI: [10.1017/S174392130400585X](https://doi.org/10.1017/S174392130400585X).
38. Observations of microwave bursts with different types of fine structure using data with high spatial and spectral resolution / А. Т. Altyntsev, N. N. Kardapolova, А. А. Kuznetsov, S. V. Lesovoi, N. S. Meshalkina, R. A. Sych, Y. Yan // Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity. T. 223 / под ред. А. В. Stepanov, Е. Е. Benevolenskaya, А. Г. Kosovichev. — 01.2004. — С. 437—438. — (IAU Symposium). — DOI: [10.1017/S1743921304006386](https://doi.org/10.1017/S1743921304006386).
 39. Observations of a Post-Eruptive Arcade on October 22, 2001 with CORONAS-F, other Spaceborne Telescopes, and in Microwaves / V. N. Borovik, G. V. Rudenko, V. A. Slemzin, A. I. Stepanov, K. Shibasaki, A. M. Uralov, V. G. Zandanov, I. A. Zhitnik, V. V. Grechnev, O. I. Bugaenko, S. A. Bogachev, I. Y. Grigorieva, S. V. Kuzin, S. V. Lesovoi, M. A. Livshits, A. A. Pertsov // Coronal and Stellar Mass Ejections. T. 226 / под ред. K. Dere, J. Wang, Y. Yan. — 01.2005. — С. 108—109. — (IAU Symposium). — DOI: [10.1017/S1743921305000220](https://doi.org/10.1017/S1743921305000220).
 40. Observations of quiet solar features with the SSRT and NoRH / V. V. Grechnev, A. M. Uralov, V. P. Maksimov, V. G. Zandanov, G. Y. Smolkov, A. T. Altyntsev, B. B. Krissinel, N. N. Kardapolova, A. V. Lesovoi, B. I. Lubyshev, D. V. Prosovetsky, G. V. Rudenko // Solar Physics with the Nobeyama Radioheliograph. — 12.2006. — С. 101—110.
 41. 10-антенный макет радиогелиографа на базе Сибирского солнечного радиотелескопа / С. Лесовой, А. Алтынцев, В. Занданов, Е. Иванов, Г. А.В., А. Маслов // Солнечно - земная физика. Труды Междунар. симп. "Международный гелиогеофизический год - 2007: Новый взгляд на солнечно-земную физику Звенигород. — 2007.
 42. Развитие Сибирского солнечного радиотелескопа / С. Лесовой, Е. Иванов, А. Алтынцев, А. Губин, В. Занданов // Радиоастрон. конф. "Повышение

- эффективности и модернизация радиотелескопов" посв. памяти Н.А. Есепкиной, п. Нижний Архыз, 22-27 сентября 2008 г.: программа и тез. докл. - Нижний Архыз. — 2008.
43. Преобразование Сибирского солнечного радиотелескопа в радиогелиограф нового поколения / С. Лесовой, Е. Иванов, А. Алтынцев, А. Губин, Н. Муратова // Всерос. астроном. конф. (ВАК-2010) "От эпохи Галилея до наших дней". САО РАН, пос. Нижний Архыз, 13-18 сент. 2010 г.: тез. Докл. — 2010.
 44. *Лесовой С., Алтынцев А., Лесовая Н.* О возможностях наблюдений корональных выбросов массы многоволновыми радиогелиографами // Физика плазмы в Солнечной системе. 5-я Междунар. конф., Москва, ИКИ РАН, 8-12 февраля 2010 г.: сб. тезисов. - М. — 2010.
 45. Многочастотный радиогелиограф / С. Лесовой, А. Алтынцев, Е. Иванов, А. Губин // Всеросс. радиоастроном. конф. "Радиоастрономия, аппаратура и методы радиоастрономии (ВРК-2011)". Санкт-Петербург, 17-21 октября 2011 г.: программа. - СПб, 2011. — С.11. — 2011.
 46. The multifrequency Siberian radioheliograph / S. Lesovoi, A. Altyntsev, E. Ivanov, A. Gubin // 13th European Solar Physics Meeting (ESPM-13). Rhodes, Greece, September 12-16, 2011: programme and abstracts book. Athens. — 2011.
 47. The 96-antenna multifrequency Siberian radioheliograph / S. Lesovoi, A. Altyntsev, E. Ivanov, L. Kashapova // EGU General Assembly Conference Abstracts. — 04.2013. — EGU2013—1966. — (EGU General Assembly Conference Abstracts).
 48. *Лесовой С., Алтынцев А.* Сибирский солнечный радиотелескоп, состояние и перспективы развития // Всеросс. радиоастроном. конф. (ВРК-2014) "Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии". 22-26 сентября 2014 г., Пущино, ПРАО АКЦ ФИАН: тез. Докл. — 2014.

49. Наблюдательные возможности Сибирского радиогелиографа / С. Лесовой, А. Алтынцев, А. Кочанов, Г. В.В. // Двенадцатая Ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе". 6-10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. - М. — 2017. — С.10.
50. Immediate prospects of the Siberian Radio Heliograph / S. Lesovoi, A. Altyntsev, A. Gubin, G. M.V., A. Kochanov, I. E.F. // CESRA Workshop 2019: The Sun and the Inner Heliosphere, July 8-12, 2019, Potsdam, Germany: abstracts. — 2019. — URL: <https://meetings.aip.de/cesra2019/cms/program/>.
51. *Globa M. V., Lesovoi S. V.* Self-Calibration of Solar Radio Interferometers and Its Application For Siberian Radioheliograph // XVI Young Scientists'Conference. — 09.2019. — С. 45—49.
52. *Lesovoi S.* About new capabilities of the Siberian Radio Heliograph // Intern. Workshop "Eruptive energy release processes on the Sun and stars". 7-10 August, 2019. China, Weihai: abstracts. — 2019. — URL: <http://meeting.hust.edu.cn/Meeting/%209MD60345CC4B89A4F8F56C50E060FC/Single/?id=850>.
53. Сибирский радиогелиограф – солнечный радиотелескоп нового поколения. / С. В. Лесовой, А. Т. Алтынцев, А. В. Губин, М. В. Глоба, С. А. Анфиногентов, А. А. Кузнецов, О. Ю. Сваровский, М. В. Осипов, Д. А. Сипайлов // Всероссийская Радиоастрономическая конференция, - 2022 – (Тезисы докладов). — 2022.
54. Microwave imaging spectroscopy of the solar corona / S. Lesovoi, M. Globa, A. Gubin, A. Altyntsev // The Multifaceted Universe: Theory and Observations - 2000. — 12.2022. — С. 14.

Литература, цитируемая в автореферате

55. *Bastian T. S.* Progress on the frequency agile solar radiotelescope // Innovative Telescopes and Instrumentation for Solar Astrophysics. Т. 4853 / под ред. S. L. Keil, S. V. Avakyan. — International Society for Optics, Photonics. SPIE, 2003. — С. 98—110. — DOI: [10.1117/12.460293](https://doi.org/10.1117/12.460293).
56. *Железняков В. В.* Радиоизлучение Солнца и планет. — Москва, Наука, 1964.
57. Solar Rotation Stereoscopy in Microwaves / M. J. Aschwanden, J. Lim, D. E. Gary, J. A. Klimchuk // *Astrophys. J.* — 1995. — Ноябрь. — Т. 454. — С. 512. — DOI: [10.1086/176502](https://doi.org/10.1086/176502).
58. *Gary D. E., Hurford G. J.* A Simple Solar Microwave Burst Observed with High Spectral Resolution // *Astrophys. J.* — 1989. — Апрель. — Т. 339. — С. 1115. — DOI: [10.1086/167366](https://doi.org/10.1086/167366).
59. *Covington A.* Decrease of 2800 MHz solar radio emission associated with a moving dark filament before the flare of May 19, 1969 // *Sol. Phys.* — 1973. — Т. 33. — С. 439—444. — DOI: [10.1007/BF00152431](https://doi.org/10.1007/BF00152431).
60. *Shibasaki K., Ishiguro M., Enome S.* Sudden decrease of microwave solar radio emission // Nagoya University, Research Institute of Atmospherics, Proceedings. Т. 26. — 1979. — С. 53—65.
61. *Slottje C.* Millisecond microwave spikes in a solar flare // *Nature*. — 1978. — Т. 275. — С. 520—521. — DOI: [10.1038/275520a0](https://doi.org/10.1038/275520a0).
62. *Freund H.* Collective radiation mechanisms in plasmas // Solar Radio Storms, CESRA Workshop 4, Committee of European Solar Radio Astronomers. — 1982. — Август. — С. 155.

63. *Li H.-W.* The Saturation of Electron Cyclotron Maser and the Time Profile of Emitted Spikes // Solar Physics. — 1987. — АБГ. — Т. 111, № 1. — С. 167—173. — DOI: [10.1007/BF00145449](https://doi.org/10.1007/BF00145449).
64. *Melrose D., Wheatland M.* Is Cyclotron Maser Emission in Solar Flares Driven by a Horseshoe Distribution? // Solar Physics. — 2016. — Дек. — Т. 291, № 11. — С. 3637—3658. — DOI: [DOI:10.1007/s11207-016-1006-y](https://doi.org/10.1007/s11207-016-1006-y).

Научное издание

Лесовой Сергей Владимирович

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук на тему:

Результаты исследований Солнца в микроволновом диапазоне:

инструментарий и наблюдения

Подписано в печать 22.08.2025. Формат 60 × 90 1/16. Тираж 100 экз. Заказ 256.

Отпечатано в издательском отделе ИСЗФ СО РАН