

Утверждаю

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Крымская
астрофизическая обсерватория РАН»
(КрАО РАН)



А.Н. Ростопчина-Шаховская

03 октября 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук» (КрАО РАН)
на диссертацию Жданова Дмитрия Андреевича
«Микроволновые динамические спектры солнечных вспышек по данным Спектрополяриметра 4-8 ГГц», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца»

1. Актуальность

Исследования солнечных явлений в микроволновом диапазоне позволяют получить важную информацию не только о магнитных полях Солнца в верхней хромосфере Солнца, где проведение магнитографических измерений сопряжено с трудностями, но и изучить особенности ускорения и распространения энергичных электронов, на которые может приходиться значительная доля энергии солнечных вспышек. При этом чрезвычайно продуктивными являются спектральные исследования, поскольку с их помощью становится возможным изучение тонкой структуры радиоизлучения. Вплоть до последнего времени основное внимание уделялось метровому и дециметровому диапазону длин волн. Между тем особый интерес представляют сантиметровые волны, поскольку их генерация происходит в верхней хромосфере и нижней короне Солнца, где, как считается, и находится источник первичного вспышечного энерговыделения.

Особая ценность данной работы обусловлена еще и тем, что радиоинтерферометр ССРТ работает на частоте 5.7 ГГц. Вследствие этого отсутствие спектральных радионаблюдений в окрестности рабочей частоты

данного инструмента не позволяет детально исследовать спектральные свойства субсекундных импульсов, что создает, несмотря на возможность привлечения данных спектрометров Национальной астрономической обсерватории Китайской академии наук, определенные трудности.

В свете вышесказанного актуальность диссертационной работы Жданова Дмитрия Александровича сомнений не вызывает.

2. Новизна исследования и полученных результатов

Новизна диссертационной работы заключается в создании нового уникального инструмента для изучения тонкой временной и спектральной структуры солнечных микроволновых всплесков. Полученные диссертантом самостоятельно или в соавторстве результаты позволяют лучше понять природу микроволнового излучения солнечных вспышек, а также могут быть использованы для диагностики плазмы и магнитных полей в атмосфере Солнца.

Кратко сформулируем основные результаты работы, которые были получены впервые и представляются наиболее значимыми.

1. Разработан и создан уникальной автоматизированной аппаратурно-программный комплекс Спектрополяриметр 4-8 Гц для проведения регулярных наблюдений солнечного радиоизлучения и регистрации параметров Стокса I и V с миллисекундным временным разрешением.
2. Обнаружен новый тип солнечных событий, для которых наблюдается тонкая структура микроволнового излучения без широкополосных микроволновых всплесков.
3. Продемонстрирована возможность эффективного использования данных, полученных на РАТАН-600, для обнаружения и изучения тонких структур микроволнового излучения солнечных вспышек.
4. Впервые удалось оценить размеры источника микроволновых всплесков III типа в полосе частот 4-8 ГГц, которые оказались заключены в пределах от 40 до 100 угл. сек.

Диссертационная работа позволяет лучше понять природу микроволнового излучения солнечных всплесков. Уникальные данные, получаемые с помощью наблюдательного комплекса доступны через Интернет и, безусловно, будут востребованы международным астрономическим сообществом. Результаты диссертации могут быть использованы в ряде научных центров ближнего и дальнего зарубежья, а отдельные параграфы включены в учебные курсы по радиоастрономии.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного положения, выводов и заключений соискателя, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений и выводов, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов

математического анализа и обработки спектральных данных, созданием новых программ, выполнением комплексных микроволновых наблюдений процессов в солнечных вспышках и достаточным пониманием физической сущности рассматриваемых явлений. Все приводимые результаты сопровождаются строгими доказательствами и необходимыми разъяснениями. Их достоверность подтверждается наблюдениями. Динамические спектры, получаемые на созданном Спектрополяриметре 4-8 ГГц, широко используются российскими и зарубежными специалистами. Основные положения, выносимые на защиту, докладывались на многих конференциях, симпозиумах и семинарах, опубликованы в открытой печати.

4. Соответствие работы требованиям.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям (пункты 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней»).

Диссертация состоит из Введения, трех глав, Заключения и списка литературы, включающего 145 наименований, и Приложения. Содержит 96 страниц, 28 рисунков и 5 таблиц.

Во Введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, кратко изложены содержание и основные результаты диссертации с указанием их научной новизны и практической значимости.

Глава 1 посвящена описанию Спектрополяриметра 4-8 ГГц, разработанного в ИСЗФ СО РАН, а также методам обработки и архивации полученных данных. Рассмотрен принцип работы спектрополяриметра. Приводятся его технические характеристики. Получаемые с 2010 г. данные представляют собой интегральные потоки излучения для каждой компоненты круговой поляризации на 26 фиксированных частотах в диапазоне 4-8 ГГц с 10-миллисекундным разрешением. Обсуждаются особенности хранения данных. Приводится описание архива наблюдений со свободным доступом через Интернет. Значительное внимание уделяется программно-методическому комплексу обработки данных Спектрополяриметра, который включает программный пакет, содержащий коды визуализации данных, конвертации форматов и калибровки потоков. Описывается принцип работы программного комплекса оперативного слежения за изменением солнечной активности в режиме реального времени. Рассматривается метод обнаружения событий с тонкой структурой, а также способы относительной и абсолютной калибровок.

Во второй главе обсуждаются результаты данных наблюдений спектрополяриметра за 2011-2012 гг., по которым были обнаружены 235 солнечных событий. Установлено, что события с тонкой структурой излучения микроволновых всплесков наблюдались в 74 случаях. Несмотря на то, что результаты находятся в согласии с аналогичными исследованиями, выполненными ранее, обнаружено, что тонкие структуры могут наблюдаться независимо от наличия всплеска континуального микроволнового излучения.

Было выявлено 41 такое событие и, что особенно важно, благодаря привлечению наблюдений на других инструментах в микроволновом и жестком рентгеновском диапазонах удалось выяснить их солнечную природу. Таким образом, были получены убедительные свидетельства, что тонкая структура наблюдалась в 17.5% и 31.5% событий на фоне широкополосных всплесков и спокойного Солнца соответственно. При этом анализ данных инструментов GOES показал, что всем найденным событиям без широкополосных всплесков соответствуют слабые рентгеновские вспышки, главным образом, класса C.

В третьей главе рассмотрены вопросы локализации источников тонких микроволновых структур, наблюдаемых с помощью Спектрополяриметра 4-8 ГГц. Важность этих исследований, в первую очередь, объясняется тем, что при наблюдениях на ССРТ возникают интервалы времени, когда пространственные данные доступны только по одной координате. Вследствие этого использование наблюдений РАТАН-600 может оказаться чрезвычайно полезным и продуктивным. В частности, для события 10.08.2011 на динамических спектрах были обнаружены микроволновые всплески III типа. Однако отсутствие данных с решетки Север-Юг не позволило локализовать источники микроволновых всплесков стандартными методами. Предложенный способ определения положения источника всплесков на основе данных РАТАН-600, Спектрополяриметра и ССРТ сводится к привлечению одномерных наблюдений ССРТ с решетки Восток-Запад и РАТАН-600, выполненными под разными позиционными углами. С помощью предложенной методики удалось определить по одной координате положение источников в диапазоне 4.5-6 ГГц (на частоте 5.7 ГГц - по двум) и их размер. По данным Спектрополяриметра, RSTN и ССРТ на примере события 08.03.2012 г. рассмотрены вопросы локализации микроволновых источников, связанных с квазипериодическими пульсациями. Моделирование спектра и пульсаций излучения в рамках гиросинхротронной гипотезы свидетельствует о возможности возбуждения колебаний типа перетяжек в корональных петлях с напряженностью магнитного поля около 250 Гс. Вместе с тем модуляция нетеплового излучения вспышки скорее определялась вариациями инжекции ускоренных электронов. Проведен сравнительный анализ временных профилей радиопотока от основного и удаленного источника. Показано, что за перенос энергии от одного основания корональной петли к другому должны быть ответственны ускоренные электроны.

5. Замечания по диссертации

В автореферате не нашел отражение один из важных результатов диссертации – оценки угловых размеров источников микроволновых всплесков III типа. Неясно, почему при учете спиральности траектории движения ускоренных электронов пучка вдоль корональной петли брался

итоговый коэффициент 1.85, поскольку учет спиральности при полном угле закрутки магнитных силовых линий 2π приводит к увеличению длины пути частиц в $1/0.85$ раз (Achwanen et al., 1996, ApJ, 464, 985). При таком подходе необходимо было также обсудить влияние пичч-углового распределения электронов. Использование в табл. 3.2 аббревиатуры BBMS следовало бы расшифровать в основном тексте, а не в подписи к рисунку 2.2. Вывод автора о том, что в случае возбуждения мод типа перетяжек пульсации жесткого рентгеновского и микроволнового излучения должны происходить в противофазе (см. табл. 3.2), требует дополнительного анализа. Это зависит как от режима диффузии ускоренных электронов в конус потерь, так и оптической толщины источника гиротронного излучения (см., например, Tsap et al., 2013, PASJ, 65, S7). К недостаткам работы можно отнести встречающиеся в работе повторения и жаргонные выражения. Например, см. стр. 14: «Входные параметры для моделибыли получены из прямых наблюдений *радио и рентгена*».

Отмеченные недостатки ни в коей мере не умаляют достоинств диссертационной работы Д.А. Жданова ввиду важности и сложности затронутых проблем. Соискатель прекрасно владеет прикладными методами исследования и умело ими пользуется.

Вывод

Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий теоретический уровень, а также актуальность и перспективность проведенных исследований. Автору удалось создать автоматизированной аппаратурно-программный комплекс Спектрополяриметр 4-8 ГГц, а также получить новые интересные результаты, которые вносят определенный вклад в понимание природы микроволнового излучения Солнца.

Результаты диссертации рекомендуется использовать в ИСЗФ СО РАН, ИЗМИРАН, ГАО РАН, ГАИШ МГУ, КрАО РАН и во многих других отечественных и зарубежных организациях, связанных с физикой Солнца.

Автореферат отражает в достаточной мере содержание работы. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях из перечня ВАК.

Диссертация Жданова Дмитрия Андреевича «Микроволновые динамические спектры солнечных вспышек по данным Спектрополяриметра 4-8 ГГц» является законченной работой, выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем требованиям ВАК при Минобрнауки России, а соискатель заслуживает присвоения научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца».

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником Отдела физики Солнца и Солнечной системы КрАО РАН, доктором физико-математических наук, Цап Юрием Теодоровичем. Отзыв обсужден и одобрен на семинаре ОФССС КрАО РАН 01.10.2018.

01.10.2018

Ведущий научный сотрудник
отдела физики Солнца и Солнечной
системы КрАО РАН,
доктор физ.-мат. наук
Телефон: +79780202196
Email: yur@craocrimea.ru



Ю.Т. Цап

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки “Крымская астрофизическая обсерватория РАН” (ФГБУН «КрАО РАН»)

E-mail: crao@inbox.ru

Телефон : +7-36554-71161

Почтовый адрес: 298409, Республика Крым, Бахчисарайский р-н., пгт. Научный