

УДК 523.98

## Служба Солнца KRIM: мониторинг, анализ и интерпретация динамических спектров солнечных радиовсплесков для прогноза солнечно-земных связей

*A.E. Вольбач, И.В. Якубовская*

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым  
*volvach@craocriimea.ru*

Поступила в редакцию 24 марта 2025 г.

**Аннотация.** Солнечные вспышки сопровождаются интенсивным радиоизлучением, влияющим на биосферу и работу систем связи и навигации. Для их мониторинга в Крымской астрофизической обсерватории создан радиоастрономический комплекс, включающий радиотелескопы сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов. В его состав входят РТ-2 (6 и 10 ГГц) и РТ-3 (2.5 и 2.85 ГГц) с параболическими зеркалами до 3 м, оснащенные радиометрами модуляционного типа с полосой 40 МГц и высоким временным разрешением.

Комплекс интегрирован во Всемирную службу мониторинга солнечной активности, объединяющую 14 наземных станций и орбитальные обсерватории. Радиотелескопы Службы Солнца KRIM работают в автоматическом режиме, передавая данные в реальном времени для мониторинга и системы раннего оповещения. Радиоспектрограф CALLISTO с антенной решеткой из 116 диполей (250–350 МГц) фиксирует динамические спектры солнечного радиоизлучения.

Анализ наблюдений и численного моделирования показал, что фиброподобные структуры с промежуточным частотным дрейфом и широкополосные пульсации обусловлены многолучевым распространением радиоволн в турбулентной солнечной короне. Их временные и частотные характеристики объясняются интерференцией волн в неоднородной плазме. Сходство вычисленных и наблюдаемых импульсов подтверждает правдоподобность модели. Кроме того, выявлено, что “точечные источники” дециметрового диапазона также соответствуют этой интерпретации.

Применяемая техническая инфраструктура и методы анализа обеспечивают высокую точность мониторинга солнечной активности, а интеграция с международными станциями повышает качество диагностики и прогнозирования геофизических последствий солнечных вспышек.

**Ключевые слова:** солнечное радиоизлучение, динамический спектр, интерференция волн

### 1 Введение

Солнечная активность является ключевым фактором, определяющим состояние космической погоды и оказывающим непосредственное влияние на околоземное пространство. Энергетические процессы, происходящие в солнечной атмосфере, в первую очередь вспышки и корональные выбросы массы, сопровождаются мощными потоками электромагнитного излучения и выбросами заряженных частиц. Эти явления могут вызывать широкий спектр эффектов: от радиопомех и сбоев навигационных и коммуникационных систем до геомагнитных бурь и нарушений в работе энергосистем.

В связи с этим мониторинг солнечной активности представляет собой важнейшую научную и прикладную задачу. Он направлен как на изучение фундаментальных физических процессов в солнечной короне и межпланетной среде, так и на обеспечение прогноза солнечно-земных связей для защиты техносферы и биосферы Земли.

Ключевые задачи мониторинга Солнца включают:

- систематическое наблюдение динамики солнечных вспышек и радиоизлучения в широком диапазоне частот;

- регистрацию динамических спектров для определения параметров солнечных возмущений и энергетических характеристик событий;
- анализ тонкой структуры радиоимпульсов и выявление механизмов их формирования;
- совершенствование методов численного моделирования распространения радиоволн в солнечной короне и межпланетной среде.

Развитие Служб Солнца имеет долгую историю, начиная с середины XX века, когда с развитием радиоастрономии появились первые специализированные службы наблюдения за Солнцем. Существенный вклад был сделан в 1957 году в рамках Международного геофизического года, когда начала формироваться глобальная сеть станций для координированных наблюдений солнечной активности.

Крымская астрофизическая обсерватория (КрАО) внесла значительный вклад в развитие этих исследований. Здесь накоплен многолетний опыт радионаблюдений Солнца в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах длин волн. Радиотелескопы КрАО, объединенные в Службу Солнца KRM, образуют локальную сеть мониторинга. Применение современных цифровых технологий и автоматизированных систем управления позволяет осуществлять наблюдения в режиме реального времени, а также обеспечивать высокое качество данных для анализа солнечно-земных связей.

Особое место в современной системе мониторинга занимает международная сеть радиоспектрографов CALLISTO (Compound Astronomical Low-cost Low-frequency Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory). Эта сеть охватывает глобальную территорию, позволяя регистрировать радиовсплески Солнца в диапазоне от 45 до 870 МГц с высоким временным разрешением ([Benz, Kuijpers, 1976](#); [Benz et al., 2005](#)). Станции CALLISTO, включая станцию в КрАО, играют важную роль в:

- оперативном выявлении солнечных вспышек;
- построении глобальных динамических спектров в реальном времени;
- мониторинге космической погоды и оценке потенциального влияния солнечных событий на тенесферу.

Наличие распределенной сети станций минимизирует временные окна, когда Солнце недоступно для наблюдения из отдельных пунктов, и обеспечивает непрерывность мониторинга ([Benz et al., 2009](#)).

Важным направлением исследования является изучение тонкой структуры динамических спектров солнечных всплесков. Возмущения плазмы, вызванные солнечной вспышкой, распространяются через корону, формируя динамический спектр, в котором отражаются частотный дрейф и энергетические характеристики события. По величине дрейфа можно определить скорость потока частиц и предсказать время их прибытия в окрестности Земли, а по интенсивности всплесков – оценить степень их влияния на геофизические процессы.

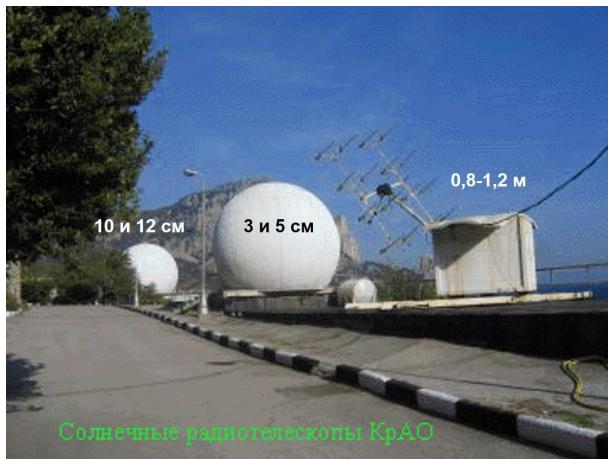
Однако структура всплесков часто содержит сложные элементы, природа которых остается предметом научных дискуссий. Отсутствие единой модели, объясняющей тонкую структуру спектров, связано с конкуренцией различных механизмов их формирования. Один из перспективных подходов заключается в учете интерференции радиоволн, вызванной прохождением излучения через турбулентную солнечную корону и межпланетную среду, содержащие неоднородности электронной плотности. Такой эффект приводит к характерному “мерцанию” радиоизлучения и может быть использован для диагностики условий в короне и межпланетном пространстве.

Для проверки гипотезы интерференционной природы тонкой структуры спектров важно проведение наблюдений из удаленных пунктов на однотипной аппаратуре. В этом плане уникальные возможности предоставляет сеть CALLISTO, которая оснащена идентичными радиоспектрографами и обеспечивает доступ к данным в едином формате. Сравнение синхронных наблюдений на различных станциях позволяет выявить характерные особенности динамических спектров и провести анализ их взаимной корреляции.

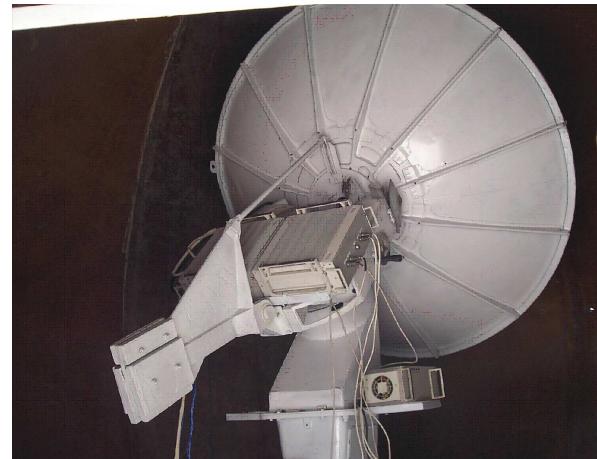
Таким образом, накопленный в КрАО и в рамках использования сети CALLISTO опыт радионаблюдений Солнца служит основой для развития методов исследования солнечной активности, а также повышения надежности прогноза космической погоды и ее воздействия на околоземное пространство.

## 2 Аппаратура для мониторинга солнечной активности в Крымской астрофизической обсерватории

Для систематического мониторинга солнечной активности в Крымской астрофизической обсерватории создана и успешно функционирует сеть радиотелескопов, охватывающая сантиметровый, дециметровый и метровый диапазоны длин волн (рис. 1) (Юровский, 2013; Вольвач и др., 2016; Volvach, Yakubovskaya, 2019). Данные робот-телескопы позволяют проводить длительные наблюдения Солнца с высокой временной и частотной чувствительностью, обеспечивая полный спектр данных, необходимых для анализа солнечных вспышек и других видов активности.



**Рис. 1.** Радиотелескопы Службы Солнца Крымской астрофизической обсерватории



**Рис. 2.** Радиотелескоп на частоты 6 и 10 ГГц

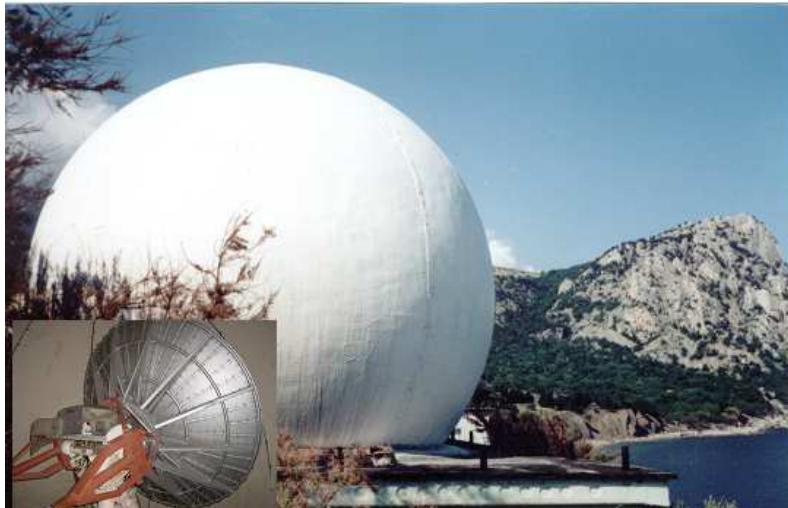
В частности, радиотелескоп РТ-2, работающий на частотах 6 и 10 ГГц (рис. 2), а также радиотелескоп РТ-3, настроенный на частоты 2.5 и 2.85 ГГц (рис. 3), размещены под радиопрозрачными куполами диаметром 6 м. Каждый из них представляет собой параллактическое поворотное устройство с электрическим приводом, оснащенное параболическими зеркалами диаметром 2.5 и 3 м и совмещенными облучателями для соответствующих диапазонов. В качестве приемной аппаратуры применяются радиометры модуляционного типа с прямым усилением сигнала. Полоса пропускания каждого радиоканала составляет около 40 МГц, а постоянная времени – 1 с. Точность измерений, ограниченная тропосферными флюктуациями, достигает 0.2 % от полного потока Солнца.

Цифровая обработка сигнала осуществляется с использованием 1024 уровней квантования. В штатном режиме данные записываются с частотой 1 Гц, а при регистрации всплесков частота выборки возрастает до 100 Гц, что позволяет фиксировать тонкую структуру событий. В систему радиотелескопов интегрированы современные цифровые системы управления и передачи данных, обеспечивающие высокую степень автоматизации наблюдений. Для повышения эффективности был модернизирован комплекс управления радиотелескопами: внедрена цифровая схема автоматического наведения на Солнце, позволяющая исключить необходимость участия оператора.

Важной составляющей комплекса мониторинга солнечной активности является радиоспектрограф CALLISTO. Эта аппаратура, предназначенная для регистрации динамических спектров радиоизлучения Солнца в дециметровом диапазоне с высоким временным и частотным разрешением, находится на радиотелескопе РТ-М (рис. 4).

В КрАО радиоспектрограф CALLISTO функционирует в диапазоне частот 250–350 МГц, эффективно фиксируя радиовсплески и другие проявления солнечной активности, происходящие в верхних слоях солнечной атмосферы. Для обеспечения его работы была специально разработана и установлена широкополосная синфазная антенная решетка, состоящая из 116 диполей. Такая конструкция гарантирует стабильные характеристики в заданной полосе частот и минимизирует искажения, связанные с боковыми лепестками диаграммы направленности.

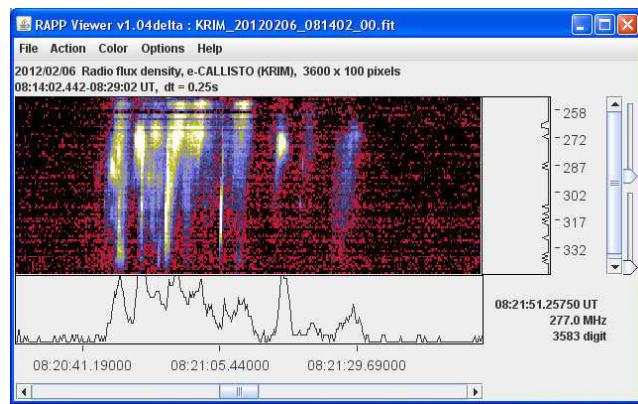
Приемный тракт CALLISTO построен на стандартных модулях с программно задаваемыми параметрами дискретизации и полосы пропускания. Аппаратура обеспечивает временное разрешение



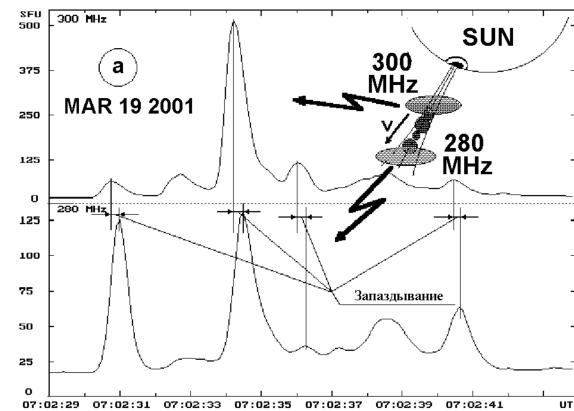
**Рис. 3.** Радиотелескоп на частоты 2.5 и 2.85 ГГц в радиопрозрачном куполе



**Рис. 4.** Антенна радиоспектрографа



**Рис. 5.** Динамический спектр радиовсплеска



**Рис. 6.** Запаздывание излучения на разных частотах характеризует скорость движения вспышечного возмущения

до 250 мс и частотное разрешение порядка 62.5 кГц на канал, что позволяет детально анализировать тонкую структуру солнечных радиовсплесков, включая фиброподобные элементы и точечные источники.

Динамические спектры солнечных вспышек, регистрируемые CALLISTO, отражают распространение возмущений в солнечной короне (рис. 5). Эти спектры демонстрируют понижение частоты во времени, что связано с последовательным пересечением излучения различными уровнями короны. По характеру спектра можно определить скорость распространения возмущений, амплитуду энерговыделения и физические параметры корональных структур.

Система управления радиоспектрографом CALLISTO интегрирована в информационную сеть КрАО, обеспечивая автоматическую запись, первичную обработку данных и их передачу в международную базу сети CALLISTO практически в реальном времени. Полученные данные позволяют научному сообществу использовать результаты наблюдений для оперативного анализа солнечной активности и прогноза космической погоды.

Процесс передачи данных от радиоспектрографа CALLISTO в Крымской астрофизической обсерватории организован в несколько этапов, что позволяет обеспечить высокую надежность и своевременность записи информации на сервер. Схема обмена данными выглядит следующим образом:

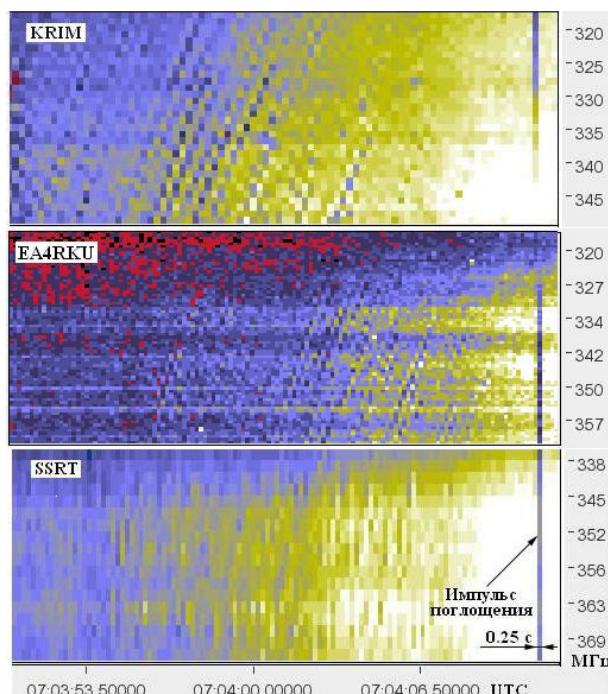
- Регистрация данных на станции: радиоспектрограф CALLISTO регистрирует динамические спектры солнечных вспышек и других событий в реальном времени. Данные сохраняются в формате FITS и дискретизируются на заданные временные интервалы (например, 1 Гц в дежурном режиме, 100 Гц в период вспышек). Каждый наблюдательный сеанс, включающий данные спектров и временные метки, сохраняется в локальном хранилище на сервере обсерватории.
- Локальное хранение и первичная обработка: после записи данные обрабатываются на локальном сервере для их фильтрации, нормализации и добавления необходимых метаданных.
- Доступ и анализ данных: после загрузки данных на сервер, они становятся доступными для научного сообщества<sup>1</sup>.

Сопоставление данных, полученных с помощью CALLISTO в дециметровом диапазоне длин волн, с наблюдениями радиотелескопов сантиметрового диапазона дает возможность определить временные задержки прихода радиоизлучения на различных частотах. Это служит индикатором приближения корпскулярного потока к Земле и позволяет предварительно оценить вероятность и масштаб геофизических возмущений (рис. 6).

Таким образом, комплекс радионаблюдений КрАО, объединяющий высокочувствительные радиотелескопы и современный радиоспектрограф CALLISTO, представляет собой мощный инструмент для мониторинга солнечной активности, исследования физических процессов в солнечной атмосфере и обеспечения прогноза солнечно-земных связей.

### 3 Анализ фибер-структур на динамических спектрах радионаблюдений

Дрейфующие по частоте полосы, наблюдаемые на динамических спектрах солнечного радиоизлучения (рис. 7.1), широко известны в литературе под названием волокон (fiber bursts) (Chernov, 2008a, b, 2011). Эти структуры представляют собой последовательности узкополосных флюктуаций, обладающих характерным частотным дрейфом и модуляцией амплитуды (Злотник, 2009). Фибер-всплески, как считается, связаны с процессами генерации радиоизлучения в результате взаимодействия плазменных волн и магнитных нерегулярностей в солнечной короне, а также с интерференцией волн различной природы (Chernov, 2011).



**Рис. 7.1.** Дрейфующие по частоте волокна видны на спектрах KRIM и EA4RKU, но неразличимы на спектре SSRT из-за более крупного шага по оси частот

<sup>1</sup> <http://www.e-callisto.org/>

Однако качество регистрации фибер-структур на динамических спектрах существенно зависит от параметров аппаратуры, в частности от чувствительности антенн, частотного и временного разрешения. На станциях сети CALLISTO, таких как EA4RKU, KRIM, BLEN7M, SSRT и MRT3, эти параметры отличаются, что приводит к неоднородности данных. Для анализа были выбраны наиболее качественные спектры станций EA4RKU, KRIM, BLEN7M, SSRT и MRT3, обладающие приемлемым соотношением сигнал/шум и достаточным разрешением.

На рис. 7.1 для наглядности представлены фрагменты динамических спектров трех станций. Дрейфующие волокна четко различимы на спектрах KRIM и EA4RKU, где аппаратурные параметры оптимальны для регистрации узкополосных и кратковременных флуктуаций. В то же время на спектре станции SSRT фибер-структуры в рассматриваемом частотном диапазоне практически не наблюдаются. Это связано с особенностями дискретизации данных в спектрографах. CALLISTO записывает спектр в виде матрицы дискретных значений интенсивности, частоты и времени. Если наблюдаемая структура имеет собственную дискретность, несовпадение частотного и временного разрешения спектрографа с параметрами сигнала приводит к потере информации.

В частности, если частотный шаг сетки спектрографа превышает ширину полосы фибер-всплеска ( $\sim 1$  МГц), а временной шаг больше длительности всплеска (менее 0.25 с), значительная часть флуктуаций попадает между узлами сетки и теряется. Это может привести к искаженному восприятию структуры: фибер-полосы могут регистрироваться в виде последовательности знакопеременных кратковременных флуктуаций амплитудой около 10% от среднего уровня всплеска, а иногда наблюдаться как полосы “в поглощении” (рис. 7.2). Такая ситуация особенно вероятна, если частотная сетка спектрографа кратна периоду дрейфа наблюдаемой структуры, что приводит к фиксации сигналов преимущественно в фазах минимума интенсивности.

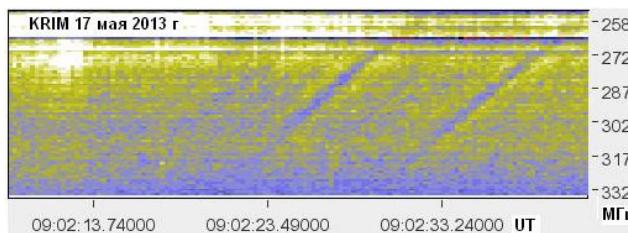


Рис. 7.2. Фибер-всплески “в поглощении”

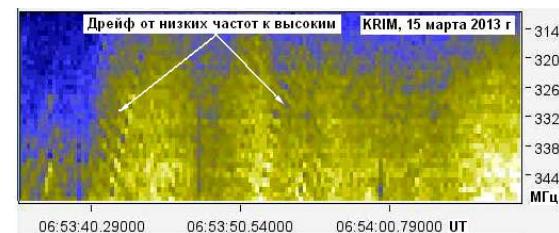


Рис. 7.3. “Обратный” дрейф фибер-полос

Интересной особенностью является изменение знака частотного дрейфа в пределах одного события: дрейф может быть как отрицательным (рис. 7.1 и 7.2), так и положительным (рис. 7.3) в разные моменты времени. Это свидетельствует о сложной динамике процессов в солнечной атмосфере, таких как смена направлений распространения возмущений или изменение условий генерации волн.

Одним из возможных механизмов формирования фибер-структур считается интерференция волн, что подразумевает наличие пространственной неоднородности сигналов. Для проверки этой гипотезы был проведен корреляционный анализ фрагментов динамических спектров станций KRIM и MRT3. Функции автокорреляции спектров, содержащих фибер-структуры (рис. 7.4a, b), показывают, что амплитуда флуктуаций длительностью около 0.5 с значительно превышает уровень шумов. Однако функции взаимной корреляции между спектрами, записанными в пунктах наблюдений, удаленных друг от друга на  $\sim 5000$  км (рис. 7.4c), не выявляют заметной корреляции этих флуктуаций. Отсутствие согласованности вариаций интенсивности в удаленных точках подтверждает интерференционную природу фибер-всплесков, поскольку интерференционные картины обладают локализованной пространственной структурой и не проявляются синхронно в широко разнесенных местах наблюдений.

Подобные выводы согласуются с результатами, ранее представленными в ряде работ (Chernov, 2011; Altynsev et al., 2018; Mann et al., 2018), где рассматривались различные механизмы формирования мелкомасштабных структур в динамических спектрах, включая интерференцию и модуляцию плазменных волн в условиях неравномерной магнитной структуры короны.

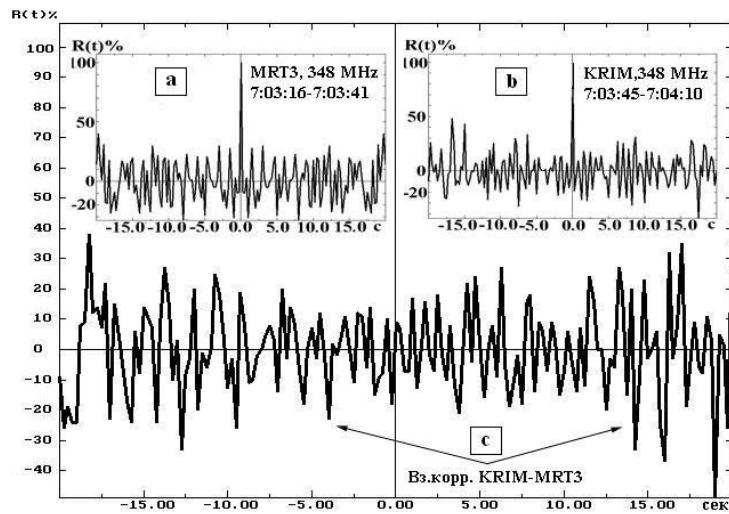


Рис. 7.4. Функция взаимной корреляции фибер-структуры на спектрах KRIM-MRT3

Таким образом, анализ фибер-структур, зарегистрированных станциями сети CALLISTO, демонстрирует высокую чувствительность динамических спектров к параметрам наблюдательной аппаратуры и подтверждает значимость интерференционных эффектов в их формировании. Использование многопунктовых данных и корреляционного анализа позволяет получить дополнительную информацию о пространственной природе этих структур и динамике процессов в солнечной атмосфере.

В результате проведенного анализа выявлены важные аспекты динамики фибер-структур солнечных радиосплесков и их интерференционной природы. Однако ряд вопросов остается открытым и требует дальнейшего изучения:

- повышение разрешающей способности радиоспектрографов: модернизация аппаратуры для увеличения частотного и временного разрешения позволит более детально исследовать тонкую структуру фибер-сплесков и их эволюцию во времени;
- расширение сети наблюдательных пунктов: координация с другими обсерваториями и станциями сети CALLISTO для одновременного наблюдения событий с глобальным покрытием улучшит возможности анализа пространственной корреляции радиоявлений;
- разработка и тестирование новых моделей формирования фибер-структур: использование численного моделирования распространения радиоволн в турбулентной солнечной короне и межпланетной среде позволит уточнить физические механизмы генерации и интерференции;
- интеграция данных различных диапазонов длин волн: сопоставление динамических спектров в дециметровом, метровом и сантиметровом диапазонах для получения комплексной картины распространения возмущений в солнечной атмосфере;
- исследование влияния солнечных радиосплесков на космическую погоду: дальнейший анализ воздействия зарегистрированных событий на геофизические процессы и работу технических систем.

Эти направления исследований имеют практическое значение для прогноза солнечно-земных связей и развития методов мониторинга космической погоды.

#### 4 Заключение

В ходе анализа динамических спектров солнечного радиоизлучения, зарегистрированных радиоспектрографами сети CALLISTO на станциях KRIM, EA4RKU, MRT3 и других, получены следующие результаты:

1. Наблюдаемая фибер-структура проявляется в виде дрейфующих по частоте узкополосных флюктуаций, характерных для солнечных всплесков. Эти структуры четко идентифицируются в спектрах станций с высокой чувствительностью и оптимальными параметрами частотного и временного разрешения.
2. Качество регистрации фибер-всплесков существенно зависит от характеристик аппаратуры, в частности от плотности частотной сетки и временной дискретизации спектрографов. Несоответствие параметров сетки спектрографа собственным характеристикам всплеска может приводить к потере информации или искаженному восприятию структуры, в том числе к регистрации фибер-всплесков в виде последовательностей кратковременных флюктуаций или полос “в поглощении”.
3. Установлено, что знак частотного дрейфа фибер-структур может изменяться в пределах одного события, что свидетельствует о сложной динамике процессов в солнечной короне и возможном влиянии различных факторов: от смены направления распространения возмущений до изменения условий генерации волн.
4. Результаты корреляционного анализа фибер-структур, зарегистрированных в различных пунктах наблюдений, показывают отсутствие взаимной корреляции флюктуаций интенсивности на удаленных станциях. Это подтверждает предположение о локальном интерференционном характере фибер-всплесков, что согласуется с существующими теоретическими моделями.
5. Сравнение спектров нескольких станций сети CALLISTO демонстрирует важность использования многопунктовых наблюдений для исследования пространственной структуры радиоизлучений и динамики солнечной активности. Данные такого рода позволяют уточнять физические механизмы генерации радиоизлучения и оценивать влияние параметров солнечной короны на наблюдаемые спектральные особенности.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высокую диагностическую ценность динамических спектров в исследовании мелкомасштабных проявлений солнечной активности и подчеркивают необходимость дальнейшего совершенствования наблюдательной аппаратуры для более точного изучения структуры и природы фибер-всплесков.

## Литература

- Вольвач А.Е., Юровский Ю.Ф., Самисько К.В., Самисько С.А., Якубовская И.В., 2016. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 112. С. 179. [Volvach A.E., Yurovsky Yu.F., Samisko K.V., Samisko S.A., Yakubovskaya I.V., 2016. Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ., vol. 112, pp. 179–186. (In Russ.)]
- Злотник Е.Я., 2009. Успехи физических наук. Т. 179. №. 6. С. 615. [Zlotnik E.Ya., 2009. Uspekhi Fiz. Nauk, vol. 179, no. 6, pp. 615–636. (In Russ.)]
- Юровский Ю.Ф., 2013. Кинем. и физ. небесн. тел. Т. 29. С. 68. [Yurovsky Yu.F., 2013. Kinem. i Fiz. Nekesk. Tel, vol. 29, pp. 68–77. (In Russ.)]
- Altyntsev A.T., Kuznetsov A.A., Meshalkina N.S., Fleishman G.D., 2018. Solar Phys., vol. 293, p. 80.
- Benz A.O., Kuijpers J., 1976. Solar Phys., vol. 46, no. 2, pp. 275–290.
- Benz A.O., Monstein C., Meyer H., 2005. Solar Phys., vol. 226, no. 1, pp. 143–151.
- Benz A.O., Monstein C., Meyer H., et al., 2009. Earth, Moon, and Planets, vol. 104, no. 1, pp. 277–285.
- Chernov G.P., 2008a. Astrophys. Space Sci., vol. 318, pp. 187–199.
- Chernov G.P., 2008b. Solar Phys., vol. 253, no. 1–2, pp. 95–114.
- Chernov G.P., 2011. Astrophys. Space Sci. Lib., vol. 375. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Mann G., Breitling F., Vocks C., et al., 2018. Astron. Astrophys., vol. 611, p. A57.
- Volvach A.E., Yakubovskaya I.V., 2019. Astron. Astrophys. Trans., vol. 31, no. 3, pp. 389–398.

## Solar Service KRIM: monitoring, analysis and interpretation of dynamic spectra of solar radio bursts for forecasting solar-terrestrial relations

*A.E. Volvach, I.V. Yakubovskaya*

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409  
*volvach@craocriemea.ru*

**Abstract.** Solar flares are accompanied by intense radio emissions that affect the biosphere and the operation of communication and navigation systems. To monitor these processes, a radio astronomical complex has been established at the Crimean Astrophysical Observatory, including radio telescopes operating in the centimeter, decimeter, and meter wavelength ranges. The complex features RT-2 (6 and 10 GHz) and RT-3 (2.5 and 2.85 GHz) telescopes with parabolic mirrors up to 3 meters in diameter, equipped with modulation-type radiometers with a bandwidth of 40 MHz and high temporal resolution.

The complex is integrated into the Global Solar Monitoring Service, which includes 14 ground-based stations and orbital observatories. The radio telescopes of the Solar Service KRIM operate autonomously, transmitting real-time data for both routine monitoring and early warning systems. The CALLISTO radio spectrograph, featuring a 116-dipole phased array (250–350 MHz), records dynamic spectra of solar radio emissions.

Analysis of observational data and numerical modeling has shown that fiber-like structures with intermediate frequency drift and broadband pulsations are caused by multipath propagation of radio waves in the turbulent solar corona. Their temporal and frequency characteristics can be explained by wave interference in an inhomogeneous plasma. The similarity between computed and observed pulse profiles confirms the validity of the proposed model. Additionally, it has been found that “point sources” in the decimeter range also fit within this interpretation.

The applied technical infrastructure and analytical methods ensure high-precision solar activity monitoring, while integration with international stations significantly enhances the quality of solar flare diagnostics and the forecasting of their geophysical effects.

**Key words:** solar radio emission, dynamic spectrum, wave interference