

Нижегородский научно-исследовательский радиофизический институт
Государственного комитета РФ по высшему образованию

П р е п р и н т N 407

**ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ
СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК
С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ**

Алексеев В. А.,
Липатов Б. Н.,
Мельников В. Ф.,
Сизов А. С.,
Снегирев С. Д.,
Тихомиров Ю. В.,
Абызов А. А.,
Дементьев А. Ф.,
Дмитренко Д. А.,
Дугин Н. А.,
Карабельников И. А.,
Князев Н. А.,
Крюков А. Е.,
Дигин Е. В.

Нижегород, 1995

Алексеев В. А., Липатов Б. Н., Мельников В. Ф.,
Сизов А. С., Снегирев С. Д., Тихомиров Ю. В.,
Абызов А. А., Дементьев А. Ф., Дмитренко Д. А.,
Дугин Н. А., Карабельников И. А., Князев Н. А.,
Крюков А. Е., Шигин Е. В.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ.

// Препринт N 407. — Нижний Новгород: НИРФИ, 1995.
— 29 с.

УДК 523.985.7-77

Современные теоретические и экспериментальные исследования фрагментации энерговыделения в солнечных вспышках указывают на необходимость наблюдений с высоким пространственным и временным разрешением. В данной работе анализируются проведенные ранее интерферометрические наблюдения солнечных радиоспайков, обсуждаются первые результаты усилий НИРФИ в решении этой задачи. Описан разработанный в НИРФИ макет приемно-анализирующей аппаратуры, являющийся частью создаваемого измерительного комплекса для исследования солнечных вспышек с высоким пространственным и временным разрешением, позволяющий анализировать вид интерференционного сигнала и его амплитудный спектр с временным и частотным разрешением соответственно до 16,7 мкс и 100 Гц. Данная аппаратура испытана в экспериментах по наблюдениям импульсных солнечных вспышек на двухэлементном ($2 \times RT - 7$, $f = 540$ МГц) интерферометре с базой ~ 400 м (РАС НИРФИ "Старая Пустынь", октябрь - ноябрь 1993 г., сентябрь - октябрь 1994 г.). В ходе экспериментов зарегистрирован ряд солнечных вспышек разной длительности. Их солнечное происхождение подтверждено данными патрульных наблюдений РАС НИРФИ "Зименки". Отработана методика регистрации интерферометрических сигналов миллисекундной длительности. Обсуждены перспективы РСДБ-наблюдений солнечных вспышек с высоким пространственным разрешением.

1. Введение.

Одной из важнейших и до сих пор не решенных проблем физики солнечной активности является вопрос о механизмах энерговыделения и ускорения частиц в солнечных вспышках. К настоящему времени для всестороннего исследования солнечных вспышек разработаны крупные международные программы ("STEP", "FLARES-22", "CORONAS").

В последние годы проведены наблюдения микроволновых всплесков с миллисекундным временным разрешением. В результате обнаружена тонкая временная и спектральная структуры всплесков в дециметровом и сантиметровом диапазонах ($t = 0,01 - 0,1$ с, $\Delta f/f < 0,05$), указывающие на то, что радиоисточник сильно фрагментирован [5-6]. Ожидаемые размеры элементарных источников при этом составляют $0,1 - 0,001$ угл. сек [1-4].

Прямые измерения с достаточным угловым разрешением позволят сделать выбор между имеющимися сейчас моделями вспышек и радиовсплесков. Вместе с тем, такие размеры оказываются далеко за пределами разрешающей способности инструментов, используемых в настоящее время в солнечной радиоастрономии (VLA, WRST, ССРТ [1-3]). Реализовать такое разрешение можно только с помощью интерферометров со сверхдлинной базой (РСДБ). К настоящему

времени имеющиеся экспериментальные данные [5] явно недостаточны, чтобы сделать определенные выводы о размерах, пространственной структуре и яркостной температуре источников микроволновых спайков.

Во втором разделе данной работы обсуждаются предыдущие РСДБ эксперименты и некоторые проблемы РСДБ наблюдений спайкоподобных солнечных событий. В третьем разделе сообщается о результатах работы нашей группы по созданию аппаратуры с высоким временным разрешением, которая открывает новые возможности для наблюдений солнечных вспышек. Здесь же мы сообщаем о наблюдениях солнечных вспышек с высоким временным разрешением, которые были проведены на радиоинтерферометре с малой базой. В четвертом разделе обсуждаются наши планы и конкретные задачи будущей работы по РСДБ исследованиям солнечных вспышек.

2. Анализ предыдущих экспериментов.

К настоящему времени опубликованы результаты только одного РСДБ-исследования солнечных вспышек [5]. В 1981 г. были проведены наблюдения на длине волны 18 см с угловым разрешением 0.07° . Система Марк-2 обеспечивала временное разрешение 0.2 с и спектральное разрешение 250 кГц. Наблюдения проводились в течение 60 часов. Из трех зарегистрированных вспышек только для одной получено свидетельство наличия источника с угловыми размерами, меньшими размера лепестка диаграммы направленности. Следует отметить, что в действительности из-за низкого временного разрешения был зарегистрирован источник не отдельного спайка, а группы спайков. Интенсивность спайков была низкой, превышение интерференционного сигнала над шумом составляло лишь 2 сигмы.

В [6] отмечено, что теми же авторами в 1984 г. были

проведены наблюдения нескольких вспышек на длине волны 6 см с использованием системы Марк-3, однако результаты анализа данных до сих пор не опубликованы.

Видно по крайней мере три причины неудачных попыток обнаружения интерференционных сигналов от компактных радиоисточников:

1) Выбор частотного диапазона.

Все известные наблюдения были проведены в см-части радиоспектра. В этом диапазоне спайкоподобные события довольно редки и поэтому для их обнаружения требуется слишком много времени. Более того, их интенсивность обычно мала или сравнима с потоком излучения от протяженных источников континуального излучения вспышки [2]. Это приводит к заметному уменьшению отношения сигнал/шум и, следовательно, к уменьшению вероятности надежной регистрации компактных источников.

2) Низкое временное разрешение ($\Delta t_{\text{инт}} = 0.2$ с) стандартной РСДБ-системы типа Марк-2.

а) Такое большое время интегрирования приводит к сильному уменьшению отношения сигнал/шум, поскольку длительность спайка обычно более, чем на порядок меньше 0.2 с.

б) Известно, что спайки обычно появляются группами с интервалами следования порядка 10–100 мс. Поэтому за время интегрирования могут произойти несколько спайков в местах, отстоящих друг от друга на расстояниях, больших ширины лепестка диаграммы направленности РСДБ системы. В результате интерференционный сигнал будет существенно ослаблен.

в) Из-за возможного собственного поперечного движения радиоисточника частота интерференции может измениться так, что выйдет за полосу частот, в которой происходит анализ спектра ($\Delta F > F = 1/2t_{\text{инт}}$). При $t = 0.2$ с, $F = 2.5$ Гц это соответствует скорости источника $V > 200$ км/с для базы ин-

терферометра, используемого в эксперименте [5]. Скорости этого порядка вполне вероятны, так как они близки к обычной в условиях солнечной короны скорости МГД-движений ($V \sim 1000$ км/с).

3) Рефракция и рассеяние излучения в солнечной короне.

а) Многолучевое распространение из-за отражений от двух и более дискретных плотных арочных структур. При большом времени интегрирования этот эффект может быть аналогичен появлению одновременно двух и более источников, разнесенных на расстояния, большие ширины лепестка диаграммы направленности φ_a . Результатом будет значительное ослабление сигнала интерференции.

б) Видимое уширение источника спайка до размеров $\varphi > \varphi_a$ из-за рассеяния радиоволн на неоднородностях среды. Косвенные свидетельства в пользу реальной возможности этой причины служат наблюдения всплесков I и III типа, выполненные в последние годы на VLA с временным разрешением 1.67 с. Эти наблюдения показывают, что измеренные на частоте 333 МГц размеры источников всплесков оказываются существенно больше ожидаемых из теории и из размеров горячих рентгеновских петель [9,10]. Вполне вероятно, что рассеяние на неоднородностях будет главным препятствием при РСДБ исследованиях источников спайкоподобных радиовсплесков [11].

3. Аппаратура НИРФИ для интерферометрии солнечных вспышек.

Мы считаем, что несмотря на не очень обнадеживающие результаты первых РСДБ наблюдений спайкоподобных событий, необходимо продолжать попытки, накапливая новые экспериментальные данные и совершенствуя методику наблюдений. К настоящему времени статистическая выборка чрезвычайно мала, чтобы делать достоверные выводы о не-

возможности определения размеров радиоисточников таких всплесков.

В НИРФИ имеется определенный опыт проведения РСДБ наблюдений астрофизических объектов и космических аппаратов [7-8]. Для увеличения вероятности регистрации радиоспайков мы готовим аппаратуру для РСДБ наблюдений, которые будут отличаться от предыдущих следующим:

1) Имеющаяся приемная аппаратура работает в дециметровом диапазоне, где максимальна вероятность появления всплесков с тонкой временной и спектральной структурой [3] (т.е. всплесков, источники которых должны быть очень компактными). Отношение интенсивности быстропеременных всплесков к интенсивности континуальной подложки в этом диапазоне обычно $\gg 1$. Это обеспечивает большее отношение сигнал/шум, чем в РСДБ наблюдениях в сантиметровом диапазоне.

2) Разработанный в НИРФИ к настоящему времени РСДБ-коррелятор дает возможность анализировать выходной сигнал со значительно более высоким временным разрешением. Цифровая техника, которую мы имеем в настоящее время для обработки данных, обеспечивает максимальное временное разрешение 0.256 мс. Это значение почти на три порядка величины меньше, чем используемая в [5], и достаточна для исследования временной структуры спайков с микросекундными длительностями. Такое временное разрешение позволяет анализировать амплитудный спектр интерферометрических сигналов в полосе частот интерференции 2 кГц. Предусмотрена также возможность выбора различных интервалов усреднения с помощью системы интеграторов.

На рис. 1 изображена структурная схема приемного тракта РСДБ пункта НИРФИ, а на рис. 2-5 показаны основные составляющие аппаратуры этого пункта: приемная система на $f = 610$ МГц, блок гетеродина, видеоконвертер и формат-

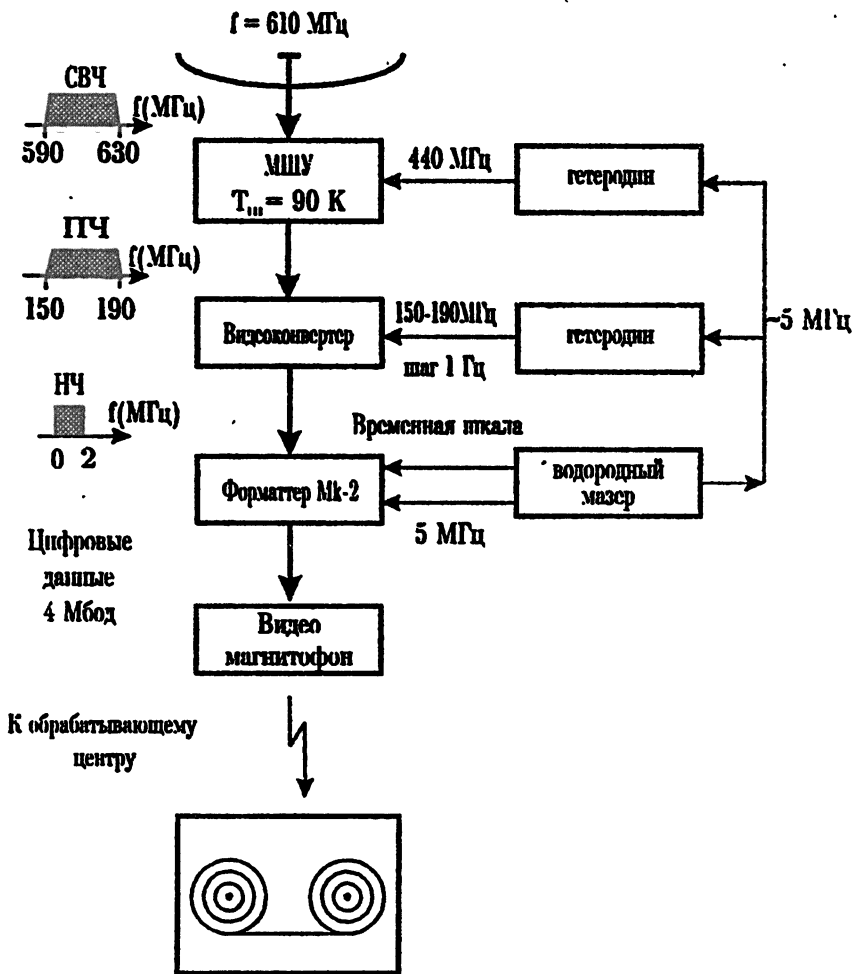


Рис.1 Блок-схема приемной части интерферометрической станции НИРФИ

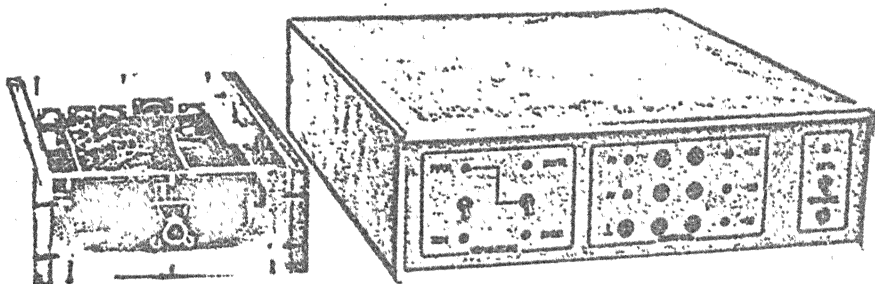


Рис.2 Приемник на частоту 610 МГц

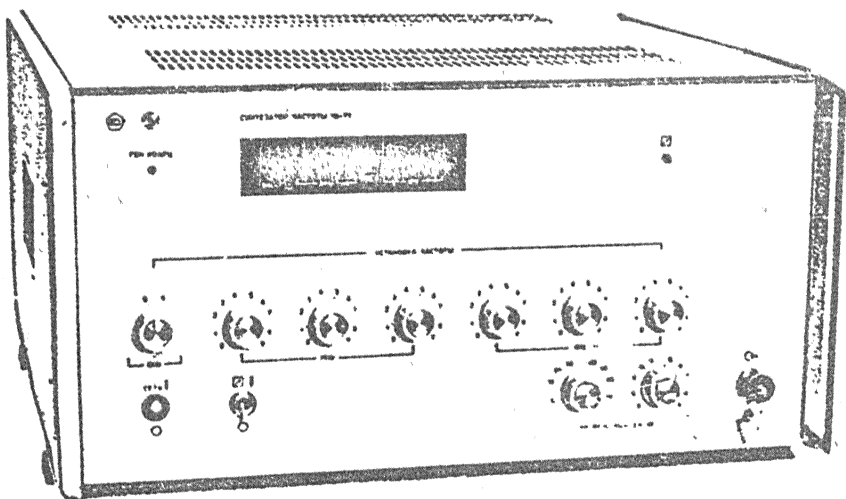


Рис.3 Блок гетеродина

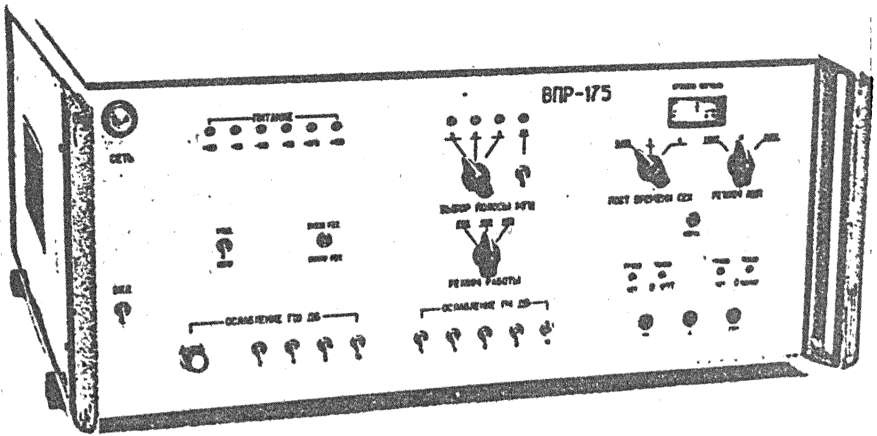


Рис.4 Видеоконвертер

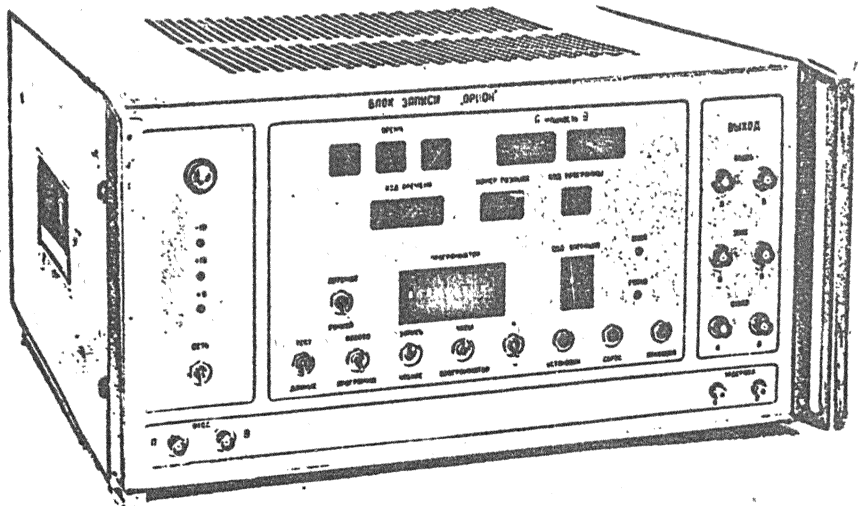


Рис.5 Форматтер в стандарте Mk-2

тер Мк-2. В настоящее время имеется два комплекта этой аппаратуры для оборудования однобазового интерферометра.

На рис. 6 показана структура процессора для обработки РСДБ данных. Базовый блок коррелятора имеет 256 каналов по временной задержке с дискретом 0,25 мкс и может принимать параллельно до 4-х потоков данных с магнитных лент. Время интегрирования в базовом блоке 16 мкс. Выходные интерференционные сигналы передаются от коррелятора для дальнейшей обработки в ОЗУ центральной ЭВМ (IBM PC/AT-486). Ее быстродействие позволяет принимать данные с временным дискретом 0,256 мс по 32 каналам временной задержки параллельно. Этого вполне достаточно для исследования импульсных солнечных вспышек миллисекундной длительности. Данные, передаваемые с базового блока коррелятора к центральной ЭВМ, дополнительно интегрируются в блоке интеграторов. Процессы синхронного чтения данных и корреляционной обработки находятся под контролем управляющей ЭВМ IBM PC/AT-286. Она же будет принимать со звуковых дорожек магнитных лент данные о интенсивности информативных сигналов и передавать их в центральную ЭВМ после завершения процесса корреляционной обработки.

4. Возможности РСДБ-наблюдений с высоким временным разрешением.

Высокое временное разрешение, реализуемое в описанной выше аппаратуре, обеспечивает следующие преимущества:

- а) реализация максимального отношения сигнал/шум путем выбора оптимального времени интегрирования ($t_{\text{инт}} = t_{\text{спайк}}$);
- б) возможность наблюдать компактные источники с более быстрыми собственными движениями: $V_{\text{ар}} = 4000$ км/с при $t_{\text{инт}} = 1$ мс.
- в) резкое уменьшение вероятности одновременной регистра-

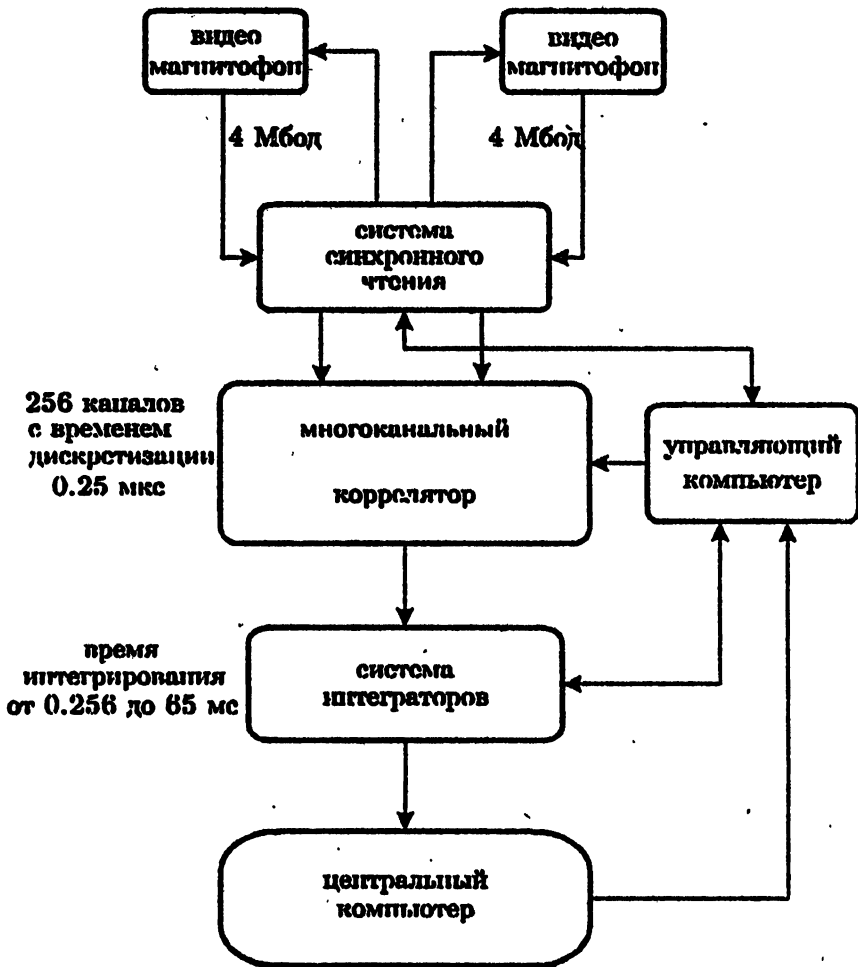


Рис. 6 Блок-схема системы обработки РСДБ-данных

ции в течение времени интегрирования излучения от нескольких компактных источников, разнесенных в пространстве на расстояние, большее ширины лепестка диаграммы направленности интерферометра.

г) увеличение вероятности регистрации интерференционного сигнала даже в случае, если излучение компактного источника отражается от соседних плотных арок. При расстояниях $l = 10^8 - 10^9$ см запаздывание отраженного сигнала составит $t = 3 - 30$ мс. Поэтому при $t_{\text{инт}} = 1$ мс и длительности спайка $t_{\text{спайк}} = 3$ мс от каждого из источников (прямого и отраженного) будет зарегистрирован свой интерференционный сигнал.

д) уменьшение эффекта видимого уширения источника из-за рассеяния сигнала на корональной турбулентности. Это уменьшение происходит для случая очень коротких всплесков, для которых неоднородности с большими масштабами являются неподвижными экранами.

Кроме этого, высокое временное разрешение ($t_{\text{инт}} < 1$ мс) обеспечивает дополнительные возможности, например:

а) возможность определения динамики размера $D(t)$ однокомпонентного радиоисточника

$$D(t) \propto \sqrt{-\ln|V(t)|} \quad (1)$$

по измеренной величине коэффициента когерентности $V(t)$. Это становится осуществимым, если длительность всплеска в несколько раз превышает $t_{\text{инт}}$.

б) возможность слежения за смещением фазового центра радиояркости многокомпонентного источника по измерениям скачков фазы и амплитуды интерференционного отклика с погрешностью ..

$$\sigma(\phi) \approx (\lambda/L) \text{ (шум/сигнал)} \quad (2)$$

При длине волны $\lambda = 50$ см, длине базы $L = 400$ км, отно-

шении шум/сигнал = 0.1 можно определить смещение центра радиояркости с точностью 0.01 угл. сек.

Выше мы не рассматривали эффект рассеяния радиоволн на турбулентности околосолнечной плазмы. Вместе с тем этот эффект может оказаться принципиально важным при РСДБ-наблюдениях с шириной лепестка диаграммы направленности 0.1 – 1 угл. сек. Если турбулентность имеет такие же характеристики, как предполагается в теоретической работе [11], то следует ожидать сильного рассеяния радиоволн и уширения видимых размеров источников спайков до 10 – 50 угл. сек. В этом случае получить интерференционный сигнал от источников спайков обычным путем будет невозможно. Оценить реальные размеры источника можно только при резком повышении временного и спектрального разрешения РСДБ-аппаратуры (метод спекл - интерферометрии). При этом во время короткого спайка турбулентный экран оказывается практически неподвижным ("замороженным") и интерферометр регистрирует от одного точечного источника целую группу его изображений, распределенных по полю рассеяния (которое создается турбулентностью).

В настоящее время неизвестен реальный уровень и характерный масштаб турбулентности в солнечной короне на пути распространения излучения от компактного источника. Определенную информацию о состоянии среды на пути распространения сигнала могут дать РСДБ эксперименты. Задача изучения характеристик неоднородностей в солнечной короне является относительно самостоятельной. Знание масштабов и уровня турбулентности (неоднородностей электронной концентрации) над активной областью необходимо не только для РСДБ исследований вспышек, но и для других задач: при исследованиях природы турбулентности в короне и динамики частиц в корональных магнитных петлях, при интерпретации спектра наблюдаемого радиоизлучения

активных областей и т.д.

5. Пробные наблюдения.

В октябре-ноябре 1993 г. и в сентябре-октябре 1994 г. мы провели пробные наблюдения Солнца на частоте 540 МГц. Главной целью было получение опыта интерферометрических наблюдений с высоким временным разрешением как в цифро-аналоговом режиме (эксперимент 1993 года), так и в цифровом (эксперимент 1994 года). Использовался имеющийся в НИРФИ малобазовый интерферометр РАС "Старая Пустынь" с антеннами диаметром 7 м и длиной базы 400 м. Интерферометр был адаптирован для наблюдений с высоким временным разрешением. Для поддержки использовались патрульные наблюдения радиоизлучения Солнца в см- и дм-диапазонах длин волн, ведущиеся на РАС НИРФИ "Зименки".

Для исследования солнечных вспышек с высоким временным разрешением был сделан комплекс специальной анализирующей аппаратуры, состоящей из аналого-цифрового коррелятора, ЭВМ IBM PC/AT-286, аналого-цифрового низкочастотного анализатора спектра СК 4-72 и периферийных устройств (рис. 7). Компьютер используется для накопления и окончательной обработки цифровых данных, поступающих от коррелятора и содержащих результаты перемножения сигналов и возведения их в квадрат. Эти данные интегрируются в корреляторе в течении времени 0.205, 0.82, 3.3 или 13.1 мс (по выбору оператора). На анализатор спектра от коррелятора поступает аналоговый сигнал в полосе частот 0.5 Гц - 20 кГц, содержащий квадрат суммы информативных сигналов от антенн (режим аддитивного интерферометра). Анализатор позволяет проводить в реальном времени экспресс-анализ временных реализаций импульсных интерференционных сигналов и их амплитудных спектров с

повышенным временным разрешением. Если интерференционный сигнал превышает некоторый, задаваемый оператором, пороговый уровень, то от коррелятора на компьютер и анализатор спектра поступает специальный сигнал, фиксирующий в их памяти области, в которых находится информация о всплеске интерференционного сигнала.

Для патрульных интерферометрических наблюдений солнечного радиозлучения с относительно невысоким временным разрешением (7 мс) используется непрерывная запись на ленту быстродействующего самописца следующих величин: интенсивностей сигналов, принимаемых каждой антенной; амплитуды и фазы интерференционного сигнала от Солнца, а также метки времени.

В ходе экспериментов была измерена пороговая чувствительность малобазового интерферометра: $2 \text{ } \mu\text{W/m}^2$ и $6 \text{ } \mu\text{W/m}^2$ ($1 \text{ } \mu\text{W/m}^2 = 10^{-22} \text{ Вт/м}^2 \text{ Гц}$) при длительностях спайков 10 мс и 1 мс соответственно. Этого вполне достаточно, так как обычно интенсивность солнечных дм-спайков в 10 – 100 раз больше. Угловое разрешение ($\sim 5'$) интерферометра слишком мало, однако его использование позволило получить опыт интерферометрических наблюдений быстропеременных солнечных радиовсплесков. Всего было зарегистрировано более двадцати всплесков (табл. 1). На рис. 8 – 15 показаны примеры временных профилей, интерференционные сигналы и спектры некоторых всплесков. В настоящее время проводится физический анализ данных этих наблюдений.

Опыт наблюдений с высоким временным разрешением, полученный в экспериментах с малобазовым интерферометром, был использован при РСДБ-наблюдениях солнечных вспышек. В конце октября 1994 г. мы провели комплексный эксперимент по обнаружению и оценке параметров коротких солнечных всплесков, включающий одновременные радиointерферометрические наблюдения на базе Пушино-Уссурийск

Таблица 1

Спайкоподобные всплески, зарегистрированные на
интерферометре "Ст.Пустынь" с базой ~ 400 м на частоте
540 МГц с временным разрешением 0.256 мс

Дата	Время всплеска UT	Тип	Время роста (мс)	Время спада (мс)
02.10.94	12.09.53.1-12.09.53.7	S	150	
	12.33.06.1-12.33.09.0	C		
26.10.94	07.43.51.5-07.43.51.8	S	150	100
	08.29.23.1-08.29.03.7	S	250	300
	08.29.49.6-08.29.50.4	S	100	200
	10.13.20.6-10.13.20.3	S	200	300
	10.22.19.1-10.22.19.3	S	150	
	10.23.10.5-10.23.11.2	C	100	100
	10.42.42.2-10.42.43.1	S	250	350
	10.44.06.1-10.44.06.7	S	120	200
	10.44.06.9-10.44.07.1	S	150	
	11.03.34.9-11.03.34.5	S	150	150
	11.03.35.8-11.03.36.1	S	200	200
	11.03.37.5-11.03.37.7	S	200	200
	11.03.44.4-11.03.44.9	S	150	200
	28.10.94	06.33.35.2-06.33.35.4	S	190
06.53.23.6-06.53.23.8		S	40	50
06.53.24.2-06.53.24.3		S	30	40
06.53.24.4-06.53.24.5		S		
06.53.26.9-06.53.27.1		S		
06.53.27.1-06.53.27.2		S		80
06.58.23.1-06.58.23.3		S	100	50
07.01.41.4-07.01.41.6		S		
07.02.11.2-07.02.12.0		S	70	50
07.02.14.3-07.02.14.4		S	30	50

S - простой временной профиль (один импульс), C - многокомпонентный
всплеск.

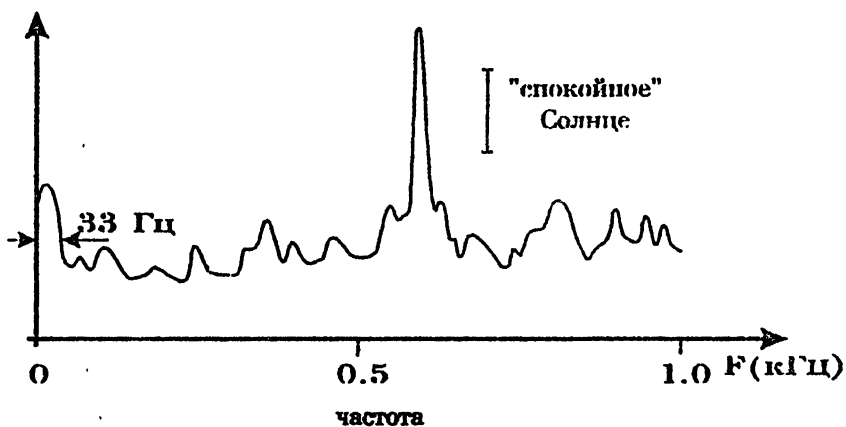
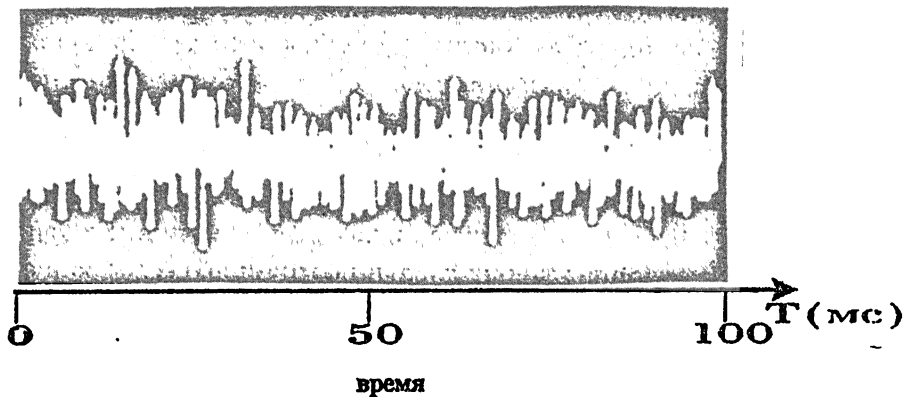


Рис. 8 Интерференционный сигнал от Солнца в 10.23 UT/03.11.93.

Вверху: временная реализация длительностью 100 мс с временем дискретизации 0.17 мс.
 Внизу: Фурье-спектр этой реализации; полоса анализа - 1 кГц, частотное разрешение - 10 Гц, частота интерференции - 610 Гц. Пик в низкочастотной области спектра свидетельствует о наличии в солнечном радиоизлучении слабого импульса длительностью около 30 мс.

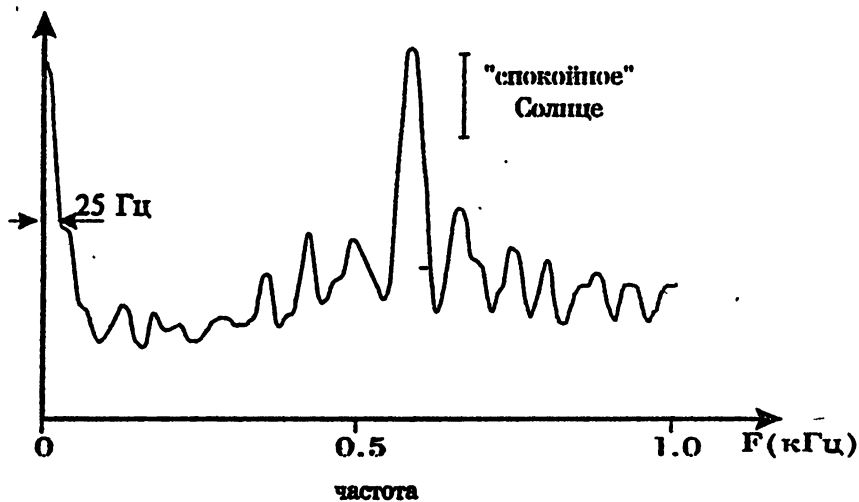
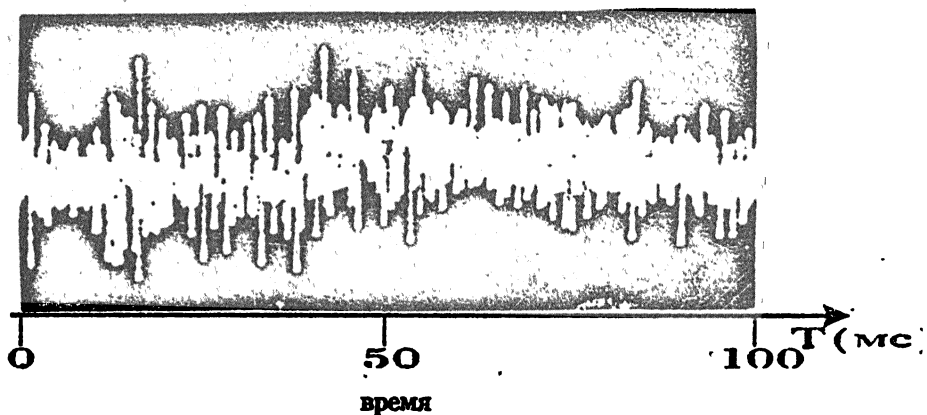


Рис.9 То же что на рис.8 для момента времени 10.49 UT/03.11.93; во временном профиле интерферометрического сигнала содержится слабый импульс длительностью около 40 мс.

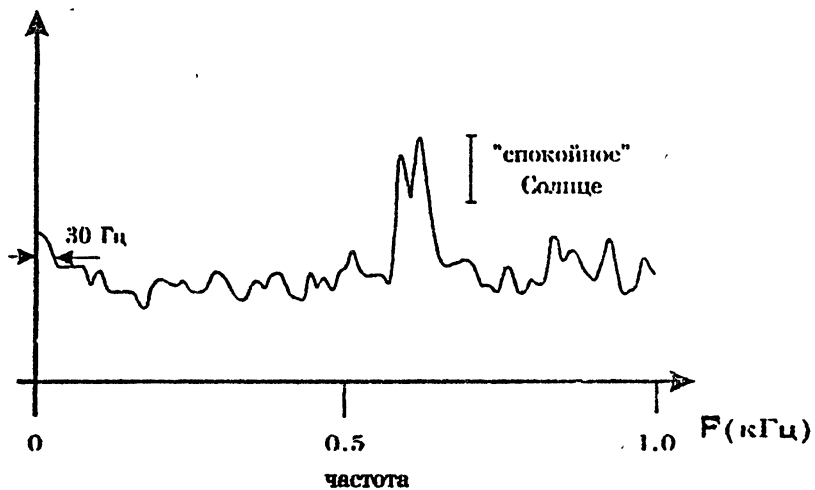
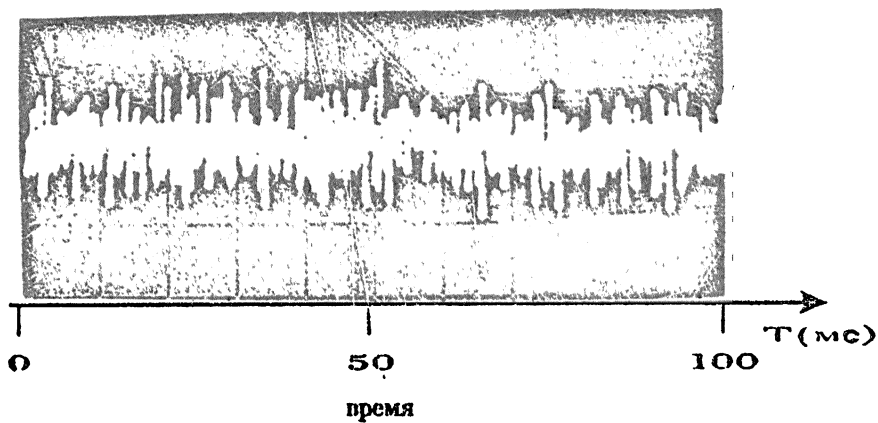


Рис.10 То же что на рис.8 для момента времени 08.46 UT/03.11.93; во временном профиле интерферометрического сигнала содержится слабый импульс длительностью около 33 мс.

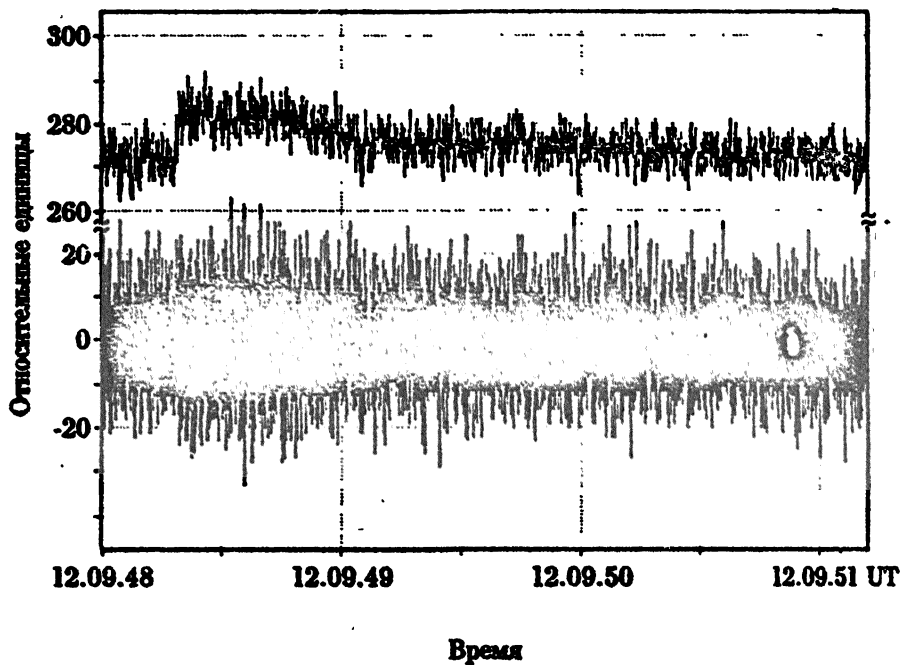


Рис.11 Всплеск радиоизлучения Солнца 02.10.94г. в 12.09.48 UT;
 сверху - интенсивность, внизу - интерферометрический отклик

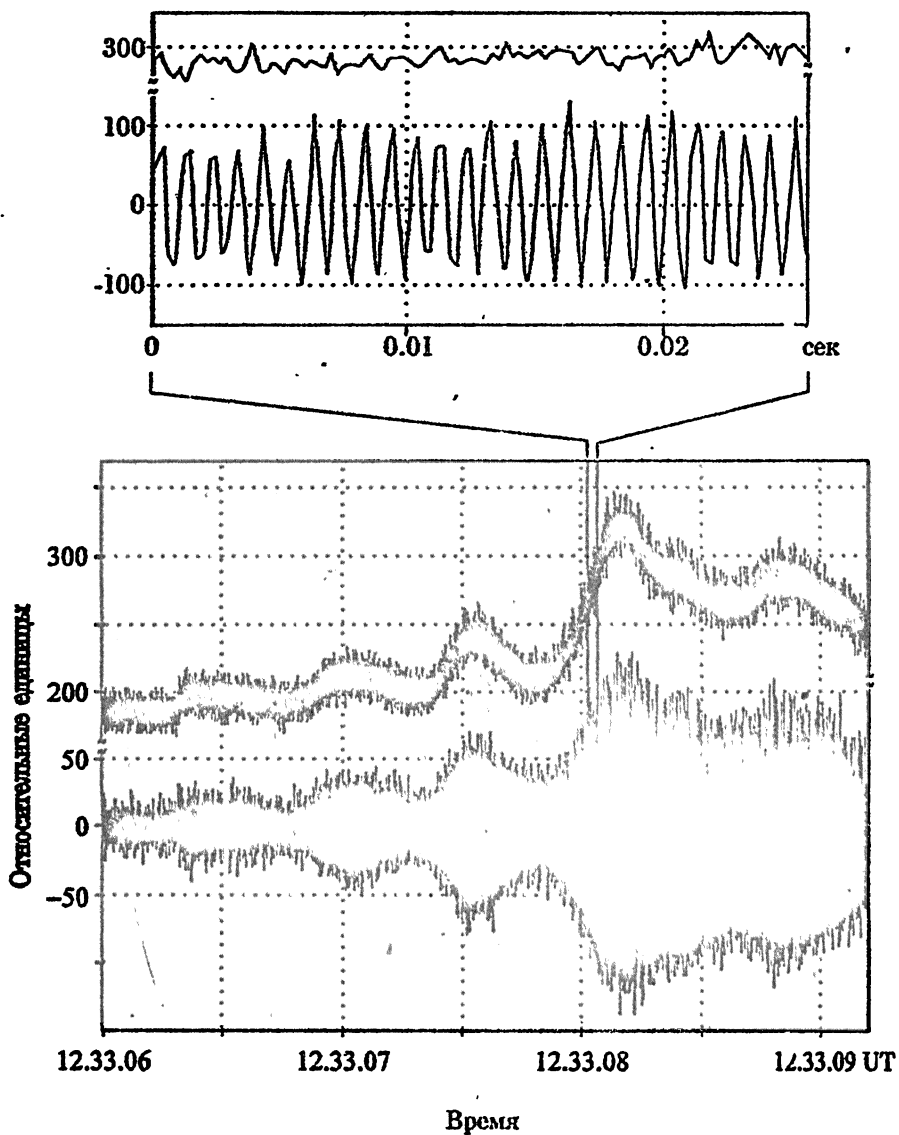


Рис. 12 Всплеск радиоплучения Солнца 02.10.94г. в 12.33.06 UT;
 верхняя кривая - интенсивность, нижняя - интерферометрический отклик

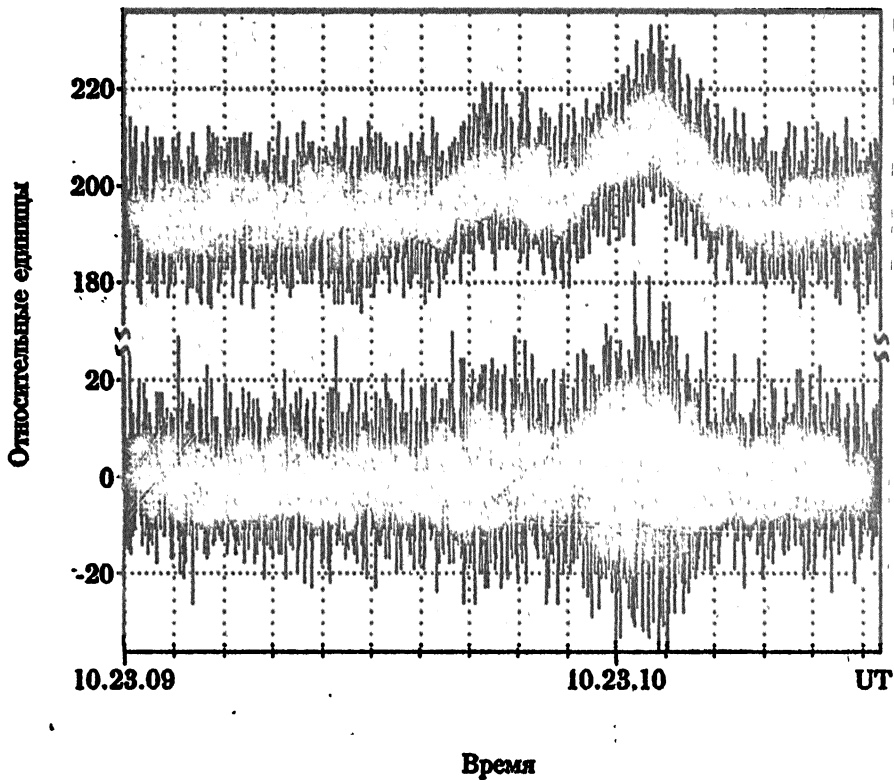


Рис.13 Всплеск радиовлучения Солнца 26.10.94г. в 10.23.09 UT;
 сверху - интенсивность, внизу - интерферометрический отклик

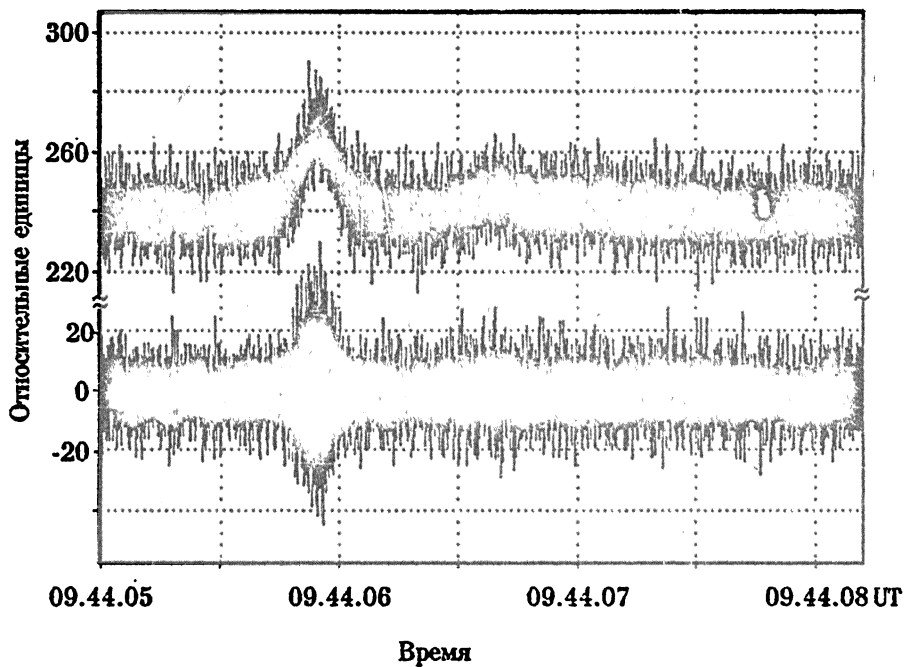


Рис.14 Всплески радиозлучения Солнца 26.10.94г. в 09.44.05 и 09.44.06 UT;
 верху - интенсивность, внизу - интерферометрический отклик

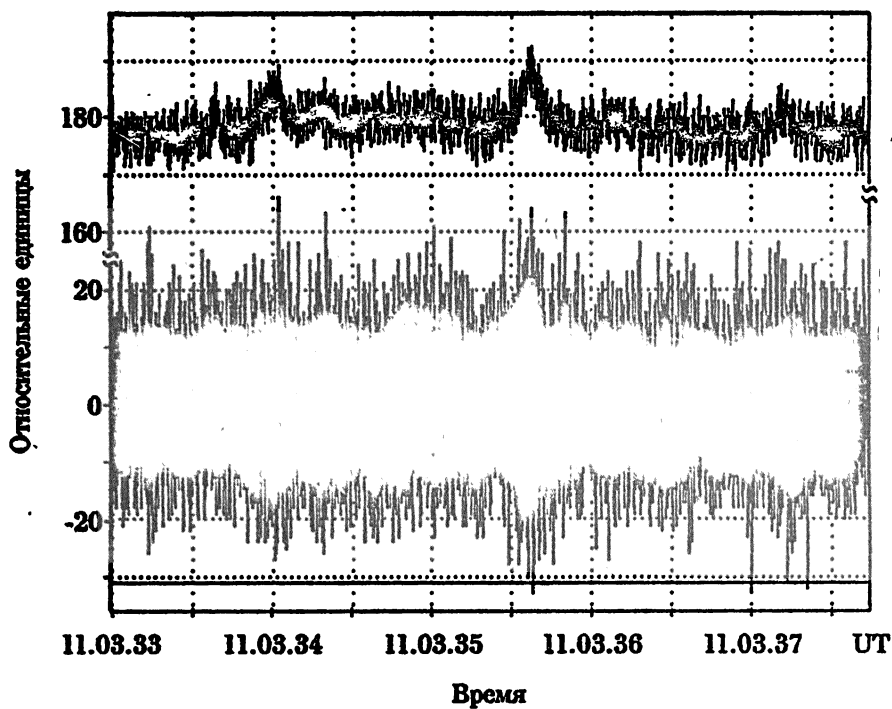
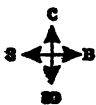


Рис.15 Всплески радиоизлучения Солнца 26.10.94г. в 11.03.34, 11.03.35 и 11.03.37UT;
 сверху - интенсивность, внизу - интерферометрический отклик

(327 МГц) и на малобазовом интерферометре в Ст. Пустыни (540 МГц). Зафиксировано несколько коротких (~ 100 мс) всплесков солнечного радиоизлучения, совпадающих по времени на интерферометрах с разными базами. В настоящее время ведется обработка полученного экспериментального материала (из-за незавершенности собственной системы обработки РСДБ-данные обрабатываются в Калифорнийском Технологическом Институте, США).

5. Заключение и перспективы.

Результаты эксперимента по регистрации интерферометрического сигнала от солнечных вспышек с миллисекундным временным разрешением в целом положительные. Полученный опыт будет использован при наблюдениях в режиме РСДБ с пространственным разрешением $0.2''$ на радиотелескопах РТ-64 (Калязин), РТ-22 (Пушино) и РТ-14 (Старая Пустынь). Указанные три места образуют треугольник с примерно одинаковыми сторонами (~ 400 км). Если будет возможность создать третью приемную систему мы попытаемся наблюдать солнечные вспышки с тремя базами для получения двумерного разрешения. В перспективе целесообразно включить малобазовый интерферометр в состав длиннбазового комплекса (см. рис. 16) со следующими задачами: а) обнаружение солнечных радиовсплесков, определение в реальном времени местоположения и угловых размеров активной области, оперативная выдача этой информации для корректировки наведения больших антенн, входящих в большебазовую систему; б) обнаружения и фиксация моментов появления спайков, оценка их параметров, использование этой информации в качестве целеуказания при обработке данных длиннбазового интерферометра.



Казань РТ-64

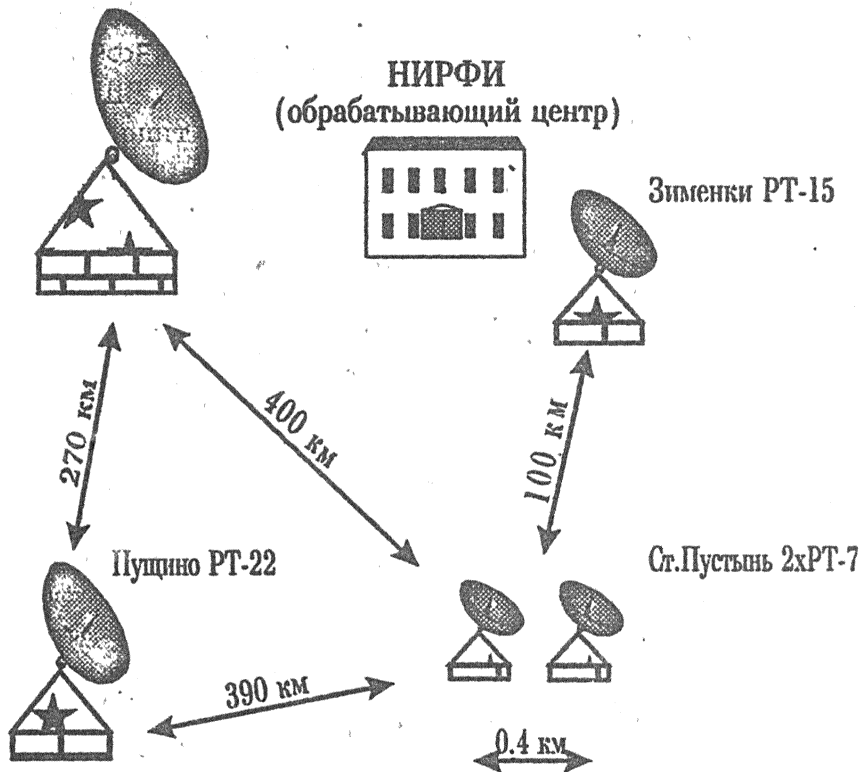


Рис.16 Проектируемая система НИРФИ для исследования солнечных вспышек с высоким временным и пространственным разрешением

Авторы благодарны Российскому Фонду Фундаментальных Исследований (грант No. 93-02-17076) и Европейской Южной Обсерватории (грант No. A-02-83) за поддержку, которая была оказана при выполнении данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Benz A. O., Solar Physics, 1985, 96, p.357.
2. Stahli M., and Magun A., Solar Physics, 1986, 104, p.117
3. Benz A. O., et al., Astroph.J., 1983, 271, p.355
4. Levin B. N., Melnikov V. F., Solar Physics, 1993, 148, p.325
5. Tapping K. F. et al., Astron.Astrophys., 1983, 122, p.177
6. Tapping K. F., Solar Physics, 1986, 104, p.199
7. Алексеев В. А. и др., Косм. исслед., 1989, 27, с.с. 447, 765
8. Алексеев В. А. и др., Письма в Астрон ж., 1986, 12, с.486
9. Zlobec P. et al., Solar Physics 1992, 141, p.165
10. Aschwanden M. J., et al. Ap.J., 1993, 417, p.790
11. Bastian T. S. Angular Scattering of Solar Radio Emission by Coronal Turbulence. Preprint of NRAO, 12 August 1993