

Обнаружение солнечных всплесков II типа в декаметровом диапазоне длин волн

В. Н. Мельник, А. А. Коноваленко, А. А. Станиславский, Х. О. Рукер¹,
Э. П. Абринин, В. В. Доровский, В. В. Захаренко, В. Н. Лисаченко,
М. Я. Буджада¹, А. Лекашо², В. В. Зайцев³, М. Г. Розолен²

*Радиоастрономический институт НАН Украины,
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4
E-mail: melnik@ira.kharkov.ua*

¹*Институт космических исследований Австрийской академии наук,
Австрия, А-8042, г. Грац, Шмидлитрассе, 6*

²*Радиоастрономический отдел CNRS UMR 8644,
Франция, Парижская обсерватория*

³*Институт прикладной физики РАН,
Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ГСП-120, ул. Ульянова, 46*

Статья поступила в редакцию 26 марта 2004 г.

Представлены результаты радиоастрономических наблюдений всплесков II типа на радиотелескопе УТР-2 в диапазоне частот $10 \div 30$ МГц. Эти всплески имеют тонкую структуру, состоящую из быстро дрейфующих субвсплесков, сходных со всплесками III типа. Скорость частотного дрейфа всплесков II типа в декаметровом диапазоне составляет менее -0.1 МГц/с. Один из всплесков имеет “елочную структуру”, “хребет” которой почти не дрейфует. На спектрограмме этот “хребет” имеет волнообразный вид. Обсуждаются особенности наблюдавшихся всплесков II типа.

Представлені результати радіоастрономічних спостережень сплесків II типу на радіотелескопі УТР-2 в діапазоні частот $10 \div 30$ МГц. Ці сплески мають тонку структуру, що складається із швидко дрейфуючих субсплесків, подібних до сплесків III типу. Швидкість частотного дрейфу сплесків II типу в декаметровому діапазоні є меншою ніж -0.1 МГц/с. Один із сплесків має “ялинкову структуру”, “хребет” якої майже не дрейфує. На спектрограмі цей “хребет” має хвилеподібний вигляд. Обговорюються особливості спостережених сплесків II типу.

1. Введение

Солнечные всплески II типа обусловлены ударными волнами, распространяющимися через солнечную корону [1]. Сами ударные волны, порождающие всплески II типа, являются результатом солнечных вспышек и/или корональных выбросов [2]. Когда такие ударные волны распространяются в

межпланетном пространстве, они могут генерировать солнечные всплески II типа на частотах ниже 1 МГц [3]. Поэтому всплески II типа регистрируются в широкой полосе частот, от метровых до гектометровых и километровых радиоволн. Уайлд и МакКриди были первыми, кто сообщили о наблюдениях таких всплесков на метровых волнах в 1950 г. [4]. С запуском космических ап-

паратов ISEE, ULYSSES, WIND, Interball экспериментальное исследование всплесков II типа стало возможным в диапазоне от десятков килогерц до нескольких мегагерц. Вместе с тем следует отметить, что до недавнего времени публикации о наблюдениях всплесков II типа в декаметровом диапазоне (от 10 до 30 МГц) практически отсутствовали (имеется лишь краткая информация в материалах конференции [5]). Такую ситуацию можно объяснить, прежде всего, отсутствием соответствующих радиотелескопов и адекватной регистрирующей аппаратуры в этом диапазоне длин волн. Так, до 1998 г. радиоастрономические наблюдения на радиотелескопе УТР-2 проводились только на нескольких дискретных частотах (до шести частот, с 10 %-й шириной каждой полосы). Это не позволяло уверенно отождествить всплески II типа в наблюдениях радиоизлучения Солнца. Кроме того, сами по себе всплески II типа – довольно редкие события. По сравнению, например, со всплесками III типа, частота появления которых составляет до сотни и более событий в день, всплески II типа случаются значительно реже. В лучшем случае, наблюдают до полутора десятков таких событий в месяц [6], включая как наземные наблюдения, так и наблюдения с космических аппаратов. Это тоже существенно ограничивает возможности регистрации всплесков II типа.

После того как была проведена модернизация системы антенного усиления радиотелескопа УТР-2 [7], позволившая проводить наблюдения во всем диапазоне частот 10 ÷ 30 МГц, возникла необходимость внедрения подходящей для задач солнечной радиоастрономии регистрирующей аппаратуры. Недавно эта проблема была решена. Теперь наблюдения проводятся как с помощью DSP (цифрового спектрополяриметра), так и на 60-канальном спектроанализаторе. Расширение инструментальных возможностей радиотелескопа УТР-2 и внедрение новой регистрирующей аппаратуры кардинально повысило качество и количество получаемых радиоастрономических резуль-

татов. В частности, появилась возможность обнаружения медленно дрейфующих всплесков и исследования их тонкой структуры с достаточно хорошим временным разрешением и высокой чувствительностью.

Цель настоящей работы – представить результаты наблюдений на радиотелескопе УТР-2, которые позволили впервые уверенно зарегистрировать всплески II типа в декаметровом диапазоне длин волн. Краткая характеристика радиоастрономических инструментов приведена в разделе 2. Результаты наблюдений шести всплесков II типа представлены в разделе 3. Хотя всплески II типа на декаметровых волнах имеют свойства, хорошо известные по наблюдениям в других частотных диапазонах, был установлен ряд отличий, которые не отмечались ранее. Их обсуждение приведено в разделе 4. Важный результат настоящей работы состоит в том, что удалось наблюдать тонкую структуру декаметровых всплесков II типа. Анализ свойств зарегистрированных всплесков II типа позволяет получить дополнительную информацию о солнечной короне и об особенностях распространения ударных волн в ней.

2. Радиотелескоп и регистрирующая аппаратура

Радиотелескоп УТР-2. Радиотелескоп УТР-2 (пос. Граково, Харьковская обл., Украина) имеет частотный диапазон 10 ÷ 30 МГц, эффективную площадь 150 000 м² при наблюдении в направлении зенита на средней рабочей частоте, разрешающую способность 30×30' на частоте 25 МГц. Подробное описание этого инструмента можно найти в [8]. С укомплектованием радиотелескопа УТР-2 новыми антенными усилителями появилась возможность проводить радиоастрономические наблюдения во всем диапазоне частот от 10 до 30 МГц [7]. Внутренние шумы системы антенного усиления в указанном частотном диапазоне ниже, чем внешние шумы. Для радиоастрономических наблюдений Солнца, проводимых днем в декаметровом диапазоне, помеховая обста-

новка особенно неблагоприятная. Благодаря большому динамическому диапазону (до 107 дБ/мкВ по интермодуляции третьего порядка) и линейности высокочувствительных и широкополосных антенных усилителей радиотелескопа УТР-2 удалось существенно снизить влияние комбинационных помех на результаты наблюдений. А это, в свою очередь, позволило повысить чувствительность радионаблюдений на высоких частотах (27 ÷ 30 МГц) и увеличить помехоустойчивость на низких частотах (10 ÷ 12 МГц).

Регистрирующая аппаратура. Во время наблюдений солнечного радиоизлучения на радиотелескопе УТР-2 в 2001-2002 гг. использовался цифровой спектрополяриметр (DSP). Это двухканальный широкополосный цифровой приемник, предназначенный для регистрации и обработки сигналов [9]. DSP позволяет исследовать частотные, временные и поляризационные характеристики радиоизлучения от таких космических источников, как Солнце, планеты, пульсары и т. п. Основные технические параметры DSP представлены в таблице.

Таблица. Основные технические характеристики DSP

Ширина полосы спектрального анализа, МГц	12
Частотное разрешение, кГц	12
Временное разрешение, с	0.02 ÷ 1
Динамический диапазон, дБ	70

Вместе с DSP параллельно используется многоканальный спектроанализатор. С 2002 г. этот спектроанализатор имеет 60 идентичных частотных каналов с полосой, которая выбирается в интервале 3 ÷ 10 кГц в зависимости от помеховой ситуации в конкретном канале. Все каналы подключены к быстродействующему аналого-цифровому преобразователю, в свою очередь, передающему данные в персональный

компьютер для регистрации. Спектроанализатор позволяет проводить наблюдения с временным разрешением до 10 мс при чувствительности $\approx 10^{-25}$ Вт/(м²·Гц). Согласно программе наблюдений, центральные частоты каждого канала выбираются в диапазоне 10 ÷ 30 МГц. Используя спектроанализатор, удается измерить такие параметры всплесков, как плотность потока, длительность, скорость частотного дрейфа, ширина спектра и временные профили всплесков.

3. Наблюдения

Наблюдения солнечного спорадического радиоизлучения проводились на радиотелескопе УТР-2 в мае 2001 г. и в летние месяцы 2002 г. Были зарегистрированы четыре события, которые удалось уверенно отождествить со всплесками II типа. Кроме того, наблюдались еще два всплеска, которые тоже (хотя с меньшей уверенностью) можно отнести к всплескам II типа.

Так, один из упомянутых всплесков II типа наблюдался 11 мая 2001 г. На рис. 1 показано, что он дрейфует от 32 МГц до 23 МГц со скоростью дрейфа $df/dt \approx -0.07$ МГц/с. Именно такая низкая скорость частотного дрейфа ожидалась для всплесков II типа в декаметровом диапазоне [6]. Отличительной особенностью данного всплеска является его нерегулярная клочковатая структура. Максимальный поток радиоизлучения изменялся от $S \approx 2 \cdot 10^{-21}$ Вт/(м²·Гц) на низких частотах (23 МГц) до $S \approx 4.7 \cdot 10^{-21}$ Вт/(м²·Гц) на более высоких частотах (32 МГц). Возможности DSP позволяют различить тонкую структуру всплесков II типа. Данный всплеск состоит из быстро дрейфующих субвсплесков с длительностями $\Delta t \approx 1$ с и потоком радиоизлучения $S \approx 10^{-21}$ Вт/(м²·Гц). Величины скоростей частотного дрейфа этих субвсплесков одного порядка, но не равны друг другу (от $df/dt \approx -0.8$ МГц/с до $df/dt \approx -2.5$ МГц/с). Кроме того, некоторые компоненты (07:10:40–07:10:50 UT и 07:11:20–07:11:40 UT) имеют положительный частотный дрейф (от низких частот к высоким) $df/dt \approx 2 \div 3$ МГц/с.



Рис. 1. Спектрограмма всплеска II типа с тонкой структурой в виде субвсплесков с положительным и отрицательным дрейфом (11 мая 2001 г.)

Полная длительность субвсплесков определяет ширину полосы частот всплеска II типа. Она составляет примерно $\Delta f \approx 1 + 2$ МГц. На частотах 24 МГц (7:11:40 UT) и 27 МГц (7:10:50 UT) наблюдается расщепление на полосы.

6 июля 2002 г. в 9:48:00 UT был зарегистрирован еще один всплеск II типа, динамический спектр которого представлен на рис. 2. Он состоит из четырех ярких клочковатых дорожек, которые следуют одна за другой с интервалом 2+3 мин на фиксированной частоте (и занимают полосу частот $\Delta f \approx 5$ МГц в фиксированный момент времени). Это позволяет предположить, что первые две дорожки соответствуют расщеплению основной (*F*-) гармоника, а две другие дорожки являются расщеплением второй (*H*-) гармоника. Скорость частотного дрейфа каждой дорожки составляет $df/dt \approx -0.03 \div 0.04$ МГц/с, а ширина полосы частот в фиксированный момент времени равна $\Delta f \approx 2 + 3$ МГц. Следует отметить, что яркие области этого всплеска (как и для всплеска 11 мая 2001 г.)

имеют тонкую структуру в форме быстро дрейфующих всплесков, похожих на всплески III типа. Эта тонкая структура особенно хорошо различима для данных, полученных с помощью DSP. Плотность потока радиоизлучения субвсплесков ($\approx 10^{-19}$ Вт/(м²·Гц) одного порядка с плотностью потока радиоизлучения всплеска III типа ($\approx 3.5 \cdot 10^{-20}$ Вт/(м²·Гц), наблюдавшегося в 9:52:00 UT на той же частоте.

“Елочная структура” – отличительная особенность всплесков II типа. Она не всегда наблюдается в метровом диапазоне [6]. Всплеск II типа с “елочной структурой” был зарегистрирован в декаметровом диапазоне 7 июля 2002 г. (рис. 3). Он начался в 11:43:20 UT, и его проявление можно было наблюдать вплоть до 12:03:00 UT. Этот всплеск имеет “хребет” со средней скоростью частотного дрейфа почти равной нулю. Время жизни субвсплесков “елочной структуры” составляет 5+6 с. В процессе эволюции всплеска оно увеличивается. Сам “хребет” совершает волно-

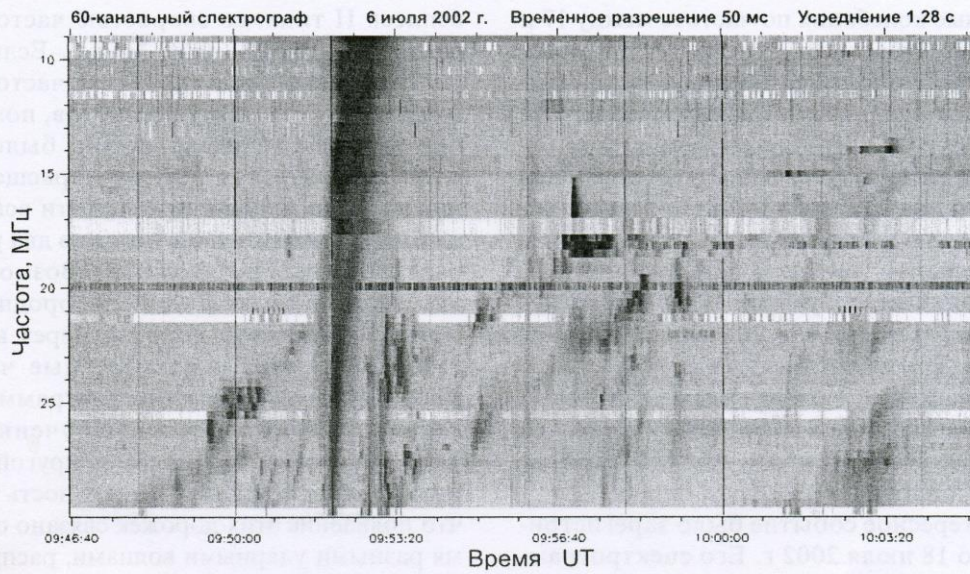


Рис. 2. Спектрограмма всплеска II типа с F- и H-гармониками (6 июля 2002 г.). В 09:52:00 наблюдается всплеск III типа

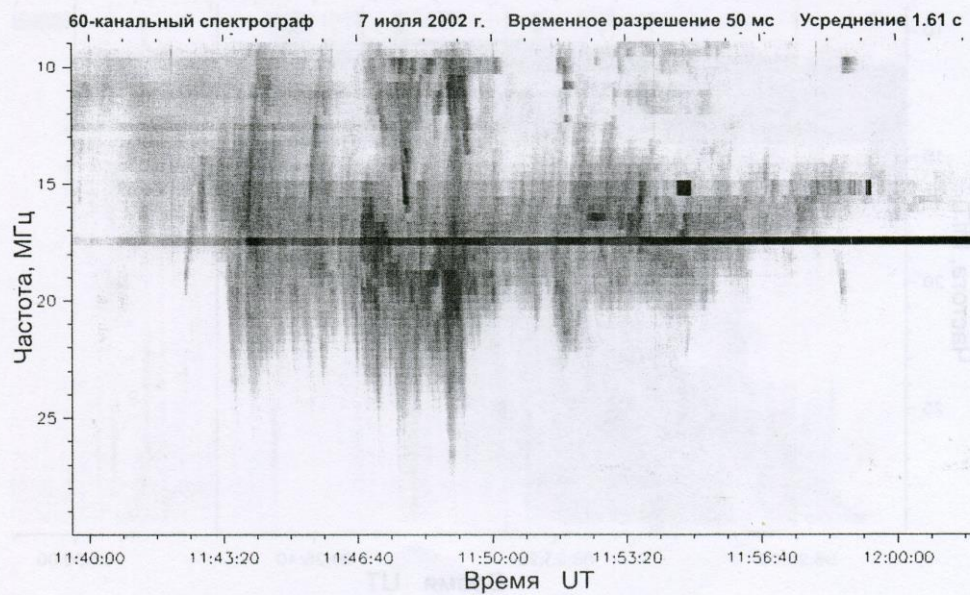


Рис. 3. Спектрограмма всплеска II типа с "елочной структурой" и волнообразным "хребтом" (7 июля 2002 г.). Вблизи 10 МГц в промежутке 11:46:50 – 11:49:30 UT наблюдается F-гармоника

образные колебания по частоте между 17 и 21 МГц. Субвсплески дрейфуют от “хребта” в обе стороны: от низких частот к высоким (со скоростью 1.58 МГц/с в начале всплеска и 0.33 МГц/с в его конце) и от высоких к низким (со средним значением частотного дрейфа -0.45 МГц/с). Следует отметить, что количество субвсплесков с отрицательным дрейфом заметно меньше, чем количество субвсплесков с положительным дрейфом. Максимальное значение потока радиоизлучения субвсплесков составило $S \approx 3.7 \cdot 10^{-19}$ Вт/(м²·Гц) в 11:49:20 UT. Субвсплески покрывали полосу частот до 10 МГц. По-видимому, вблизи частоты 10 МГц наблюдалась *F*-гармоника.

Интересное событие было зарегистрировано 18 июля 2002 г. Его спектрограмма представлена на рис. 4. В 8:21:30 UT наблюдался всплеск II типа со скоростью частотного дрейфа $df/dt \approx -0.033$ МГц/с. Через приблизительно 3 мин был зарегистрирован еще один всплеск, похожий на

всплеск II типа, со скоростью частотного дрейфа $df/dt \approx -0.06$ МГц/с. Если бы не было различия в скоростях частотного дрейфа у этих двух всплесков, появление второго всплеска можно было бы рассматривать как результат расщепления на полосы. Тем не менее эти всплески имеют существенное (почти в два раза) различие в скоростях дрейфа. Возможно, это связано с влиянием неоднородности плазмы солнечной короны, через которую распространяются разные части фронта ударной волны (в диаграмму телескопа попадает радиоизлучение от двух различных областей). С другой стороны, нельзя исключать возможность того, что появление этих дорожек связано с двумя разными ударными волнами, распространяющимися одна за другой в солнечной короне. Как и для события 6 июля 2002 г., ширина полосы частот каждого всплеска в фиксированный момент времени составляет приблизительно $2 + 3$ МГц. Оба всплес-

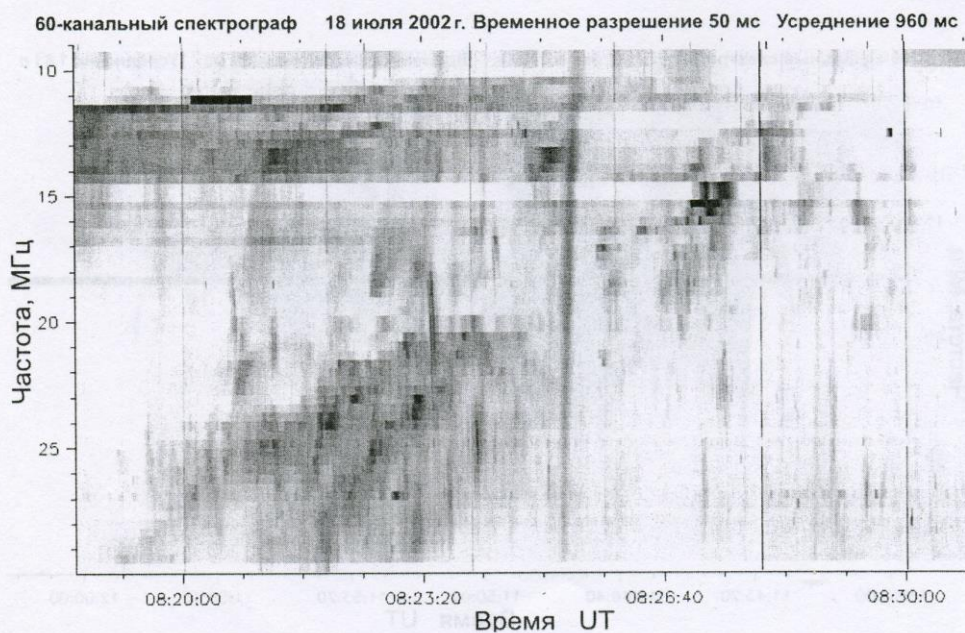


Рис. 4. Спектрограмма всплеска II типа с разными скоростями частотного дрейфа полос излучения (18 июля 2002 г.)

ка имеют тонкую структуру в виде субвсплесков с потоками около 10^{-20} Вт/(м²·Гц) и длительностями ≤ 1 с.

В наблюдениях 2001-2002 гг. наряду со всплесками, явно имеющими характерные свойства всплесков II типа, были зарегистрированы несколько всплесков, похожих на всплески II типа.

17 июля 2002 г. в 7:06:00 – 7:11:00 UT был зарегистрирован всплеск с клочковатой структурой. На спектрограмме (рис. 5) можно выделить две дорожки. Их можно интерпретировать как *F*- и *H*-гармоники, хотя частотно-временные зависимости у них заметно различны. В частности, *F*-гармоника похожа на всплески II типа 11 мая 2001 г., 6 и 18 июля 2002 г. Она состоит из отдельных клочковатых областей с едва различимой тонкой структурой в форме быстро дрейфующих всплесков. В то же время, *H*-гармоника представляет собой две области, каждая из которых – это ряд параллельно дрейфующих полосок короткой длительности (2+3 с). Если *F*-гармоника появляется на частоте 30 МГц примерно в 7:06:00 UT и имеет скорость частотного дрейфа ≈ -0.11 МГц/с

с максимальным потоком излучения $\approx 3 \cdot 10^{-19}$ Вт/(м²·Гц), то *H*-гармоника появляется на той же частоте в 7:08:25 UT и дрейфует со скоростью ≈ -0.06 МГц/с. Ее максимальный поток составляет $\approx 7.2 \cdot 10^{-20}$ Вт/(м²·Гц). Эти две полоски можно интерпретировать как излучение от двух областей с различными свойствами и видом диаграммы направленности излучения. В этом случае близость отношения частот полосок к 2 можно считать случайной.

16 августа 2002 г. в 7:20:00 – 7:24:00 UT наблюдалась группа медленно дрейфующих слабых по интенсивности полосок (рис. 6), аналогичных второй дорожке события 17 июля 2002 г. Скорость их частотного дрейфа ≈ -0.04 МГц/с, а плотность потока радиоизлучения $\approx 2.3 \cdot 10^{-22}$ Вт/(м²·Гц). В отдельных полосках удается различить тонкую структуру в виде субвсплесков, которые дрейфуют медленнее ($-0.01 \div 0.02$ МГц/с) самих полосок.

В заключение этого раздела следует отметить, что за все время наблюдений плотность потока всплесков II типа не превышала 10^{-18} Вт/(м²·Гц) и была боль-

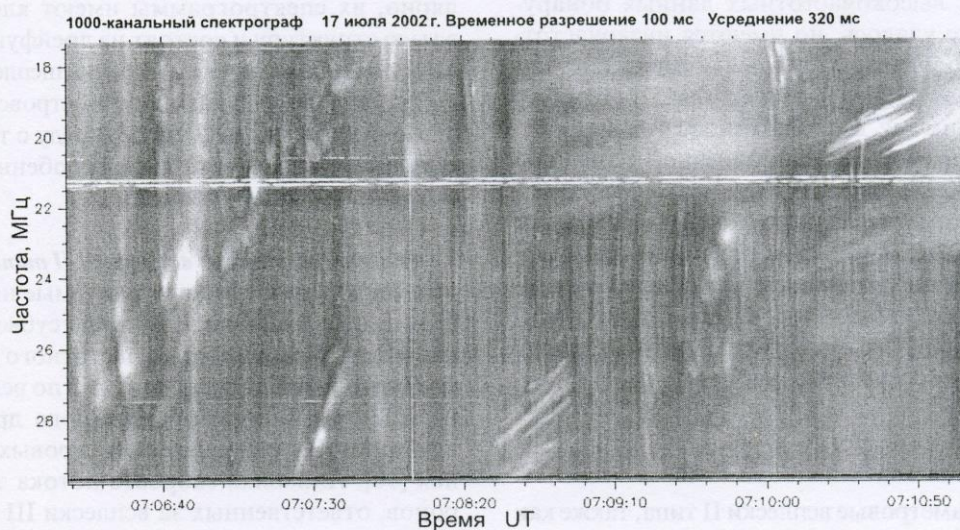


Рис. 5. Спектрограмма всплеска, наблюдавшегося 17 июля 2002 г.

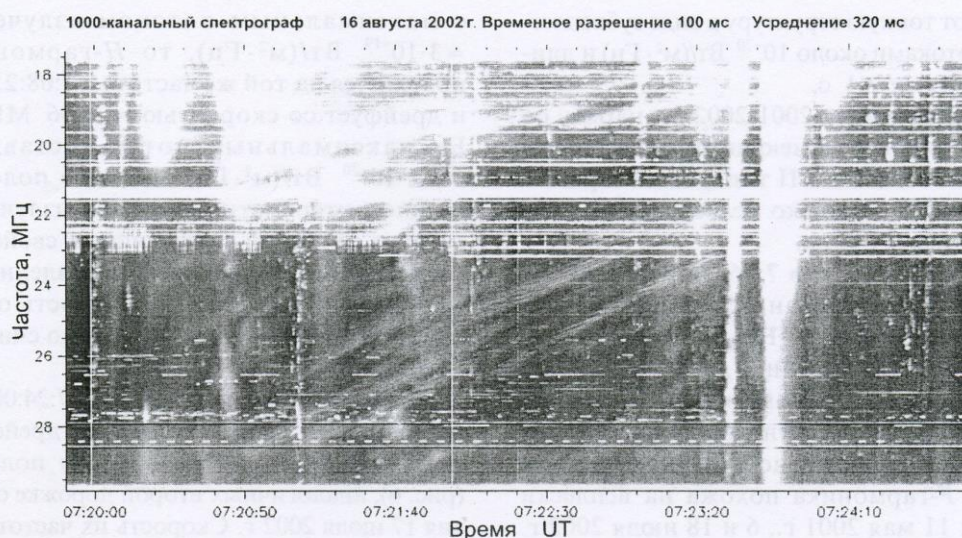


Рис. 6. Спектрограмма группы медленно дрейфующих слабых по интенсивности полосок радиоизлучения (16 августа 2002 г.)

ше 10^{-22} Вт/(м²·Гц). Кроме того, согласно наблюдениям в Тремсдорфе (Германия), для событий, зарегистрированных 6 и 18 июля 2002 г., имеются предшествующие им треки на более высоких частотах $40 \div 800$ МГц. Для всплесков II типа 11 мая 2001 г. и 7 июля 2002 г. высокочастотных данных обнаружить не удалось, но имеются низкочастотные продолжения (данные космического аппарата WIND на частотах 10 МГц \div 10 кГц). По-видимому, всплеск II типа 18 июля 2002 г. имеет прямую связь с солнечной вспышкой в 7:49:00 UT, которая была отмечена в рентгеновском диапазоне на космическом аппарате SOHO, а также в оптических наблюдениях. Более детальное сравнение наших результатов наблюдений и данных, полученных на других инструментах, будет приведено в последующих работах.

4. Обсуждение

Декаметровые всплески II типа, также как и всплески II типа, наблюдаемые в других частотных диапазонах (на метровых и километровых волнах), имеют скорости час-

тотного дрейфа, в сотни раз меньшие скоростей частотного дрейфа всплесков III типа. В фиксированный момент времени всплески II типа занимают достаточно узкую по сравнению с частотой наблюдения полосу частот. Радиоизлучение таких всплесков нерегулярно, их спектрограммы имеют клочковатую структуру и состоят из дрейфующих полос с типичным частотным расщеплением $\Delta f/f \approx 0.1 \div 0.3$. Однако в декаметровом диапазоне у всплесков II типа, наряду с традиционными свойствами, есть особенности, которые обсуждаются ниже.

Тонкая структура всплесков II типа. Все всплески II типа, рассматриваемые нами в этой статье, состоят из коротких субвсплесков с большой скоростью частотного дрейфа (несколько МГц в с), которая по величине близка к скорости частотного дрейфа всплесков III типа на декаметровых волнах [10]. Линейная скорость потока электронов, ответственных за всплески III типа, равна $(0.1 \div 0.3)c$ (c – скорость света). Принимая во внимание, что длительность субвсплесков всплеска II типа равна прибли-

зительно $\Delta t \approx 1$ с, находим продольный размер электронного пучка, связанного с ними: $\Delta l = (3+10) \cdot 10^9$ см. Важно подчеркнуть, что во всплесках II типа тонкая структура представлена не только во всплесках с “елочной структурой”. Это указывает на то, что электроны, ускоряемые на ударных волнах, формируют отдельные пучки (вообще говоря, с разными скоростями, в пользу чего говорит разная скорость частотного дрейфа), а не группируются в одно целое. Кроме того, скорость частотного дрейфа может быть как положительной, так и отрицательной, а это означает, что электронные пучки движутся в обоих направлениях от фронта ударной волны.

Наличие двух дорожек обычно связывается с областями радиоизлучения на разных сторонах фронта ударной волны. Если исходить из этой точки зрения, то из проведенных наблюдений следует, что скачок плотности, вычисленный по частотному расщеплению дорожек, составляет $(1+2) \cdot 10^6$ см⁻³. Однако, поскольку непрерывные треки субвсплесков наблюдались при переходе с одной дорожки на другую, ответственные за радиоизлучение пучки электронов, по-видимому, распространяются в плазме с почти однородной плотностью (без скачков). Это говорит в пользу того, что указанные области, скорее всего, расположены по одну сторону ударной волны, а не по разные, как предполагалось ранее. При этом остается открытым вопрос, почему электроны излучают в разных плазменных областях. Одно из возможных объяснений этого вопроса может быть связано с условиями радиоизлучения электронных пучков. Если механизм излучения плазменный, то можно предположить, что в этих областях уровень плазменных волн (ленгмюровских и ионно-звуковых) будет высокий, что увеличивает эффективность трансформации ленгмюровских волн в поперечные. Детальный теоретический анализ этого вопроса будет выполнен в отдельной работе. Пространственный размер областей излучения электронных пучков для модели короны Баумбаха-Аллена составляет приблизительно $0.1R_s$

(R_s – радиус Солнца) на расстояниях $(1.8 \div 3.0)R_s$ от центра Солнца.

Пересечение ударной волной, порождающей всплеск II типа, корональной структуры.

Поскольку для всплеска с “елочной структурой” скорость частотного дрейфа “хребта” почти равна нулю, естественно предположить, что ударная волна, ответственная за генерацию этого всплеска, распространяется почти перпендикулярно к градиенту плотности (параллельно поверхности Солнца). Ширина ее фронта, определяемая по ширине “хребта”, составляет приблизительно $10^9 + 10^{10}$ см. Если электроны ускорятся ударной волной до одной и той же скорости в направлениях от Солнца и к Солнцу, а неоднородность корональной плотности одинаковая по обеим сторонам фронта ударной волны, то существенно меньшая (в три раза) величина скорости частотного дрейфа к низким частотам по сравнению с дрейфом в сторону высоких частот указывает на то, что электроны по разные стороны ударной волны движутся под разными углами к нормали фронта ударной волны [11]. До фронта ударной волны электроны движутся вдоль градиента плотности, который совпадает с направлением магнитных силовых линий. На фронте ударной волны магнитные силовые линии меняют свое направление так, что электроны уже движутся под углом к градиенту плотности короны, а поэтому скорость частотного дрейфа радиовсплеска будет меньше. Если такой сценарий верен, то это дает возможность найти изменение направления магнитных силовых линий на фронте ударной волны из радиоастрономических наблюдений.

Волнообразное движение “хребта” всплеска мы считаем следствием пересечения ударной волной корональной структуры. Частотные максимумы “хребта” соответствуют прохождению ударной волной стримера, плотность которого, как хорошо известно [1, 6], выше плотности окружающей его плазмы. В моменты времени, когда наблюдаются частотные минимумы, удар-

ная волна движется в корональной плазме между стримерами. Ширина стримера в этом случае равна приблизительно $0.3R_s$, а разность между плотностью стримера и плотностью окружающей его плазмы составляет $\approx 5.8 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$.

5. Выводы

Уже первые наблюдения солнечных декаметровых всплесков II типа на радиотелескопе УТР-2 показывают, что они имеют те же характерные свойства, которые хорошо известны из наблюдений в других диапазонах: низкая скорость частотного дрейфа (в декаметровом диапазоне она меньше 0.1 МГц/с), узкая мгновенная полоса частот радиоизлучения ($2 \div 3 \text{ МГц}$), расщепление полос ($3 \div 5 \text{ МГц}$), клочковатая структура, “елочная структура”, *F*- и *H*-компоненты радиоизлучения, высокая интенсивность радиоизлучения от 10^{-22} до $10^{-18} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц)}$. Интересной и важной особенностью декаметровых всплесков II типа является их тонкая структура в виде субвсплесков. Скорость частотного дрейфа этих субвсплесков близка к частотному дрейфу всплесков III типа, но их длительность существенно меньше. Так, согласно наблюдениям [10], длительность декаметровых всплесков III типа составляет примерно $4 \div 10 \text{ с}$, тогда как длительность субвсплесков равна примерно 1 с . Кроме того, обычные всплески III типа распространяются на большие расстояния (вплоть до Земли), тогда как субвсплески преодолевают только расстояние до $\approx 10^{11} \text{ см}$. Из непрерывности треков отдельных субвсплесков при пересечении полос излучения следует, что области, в которых происходит генерация излучения этих полос, находятся по одну сторону от фронта ударной волны. При этом наличие субвсплесков как с положительным дрейфом, так и с отрицательным, непосредственно указывает на то, что электроны ускоряются ударной волной в обоих направлениях – к Солнцу и от Солнца. По нашему мнению, в областях, ответственных за излучение этих полос, имеется повышенный уровень

ленгмюровской и/или ионно-звуковой турбулентности. Всплеск II типа с “елочной структурой” связан с ударной волной, распространяющейся параллельно поверхности Солнца. Эта ударная волна пересекает стримеры с поперечным размером $0.3R_s$ и скачком плотности $5.8 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$.

Эта работа была выполнена при частичной поддержке INTAS (грант № 03-5727).

Литература

1. В. В. Железняков. Радиоизлучение Солнца и планет. Москва, Наука, 1964, 560 с.
2. H.-T. Classen, H. Aurass, K.-L. Klein, A. Hofmann, G. Mann. *Astron. & Astrophys.* 1998, **343**, pp. 287-296; H.-T. Classen, H. Aurass. *Astron. & Astrophys.* 2002, **384**, pp. 1098-1106.
3. D. Lengyel-Frey, R. G. Stone. *J. Geophys. Res.* 1989, **94**, pp. 159-167.
4. J. P. Wild, L. L. McCready. *Austr. J. Sci. Res.* 1950, **A3**, pp. 387-398.
5. Y. Leblanc, H. Cane, W. C. Erickson, G. A. Dulk, and J.-L. Bougeret. Type II bursts observed from the corona to $\sim 0.2 \text{ AU}$. In: *Metsaehovi Publications on Radio Science. CESRA Workshop on Coronal Explosive Events*, held 9-13 June, 1998. HUT-MET-27, p. 51.
6. G. J. Nelson, D. B. Melrose. In: *Solar Radio Physics*, D. J. McLean and N. R. Labrum (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 1985, pp. 333-360.
7. Э. П. Абринин, Ю. М. Брук, В. В. Захаренко, А. А. Коноваленко. *Радиофизика и радиоастрономия.* 1997, **2**, №1, с. 95-102.
8. А. В. Мень, Л. Г. Седин, Н. К. Шарыкин и др. Принципы построения и характеристики антенн радиотелескопа УТР-2. В кн. *Антенны* под ред. А. А. Пистолькорса. Москва, Связь, 1978, вып. 26, с. 75-91; S. Ya. Braude, I. N. Zhouck, A. V. Megn, V. P. Ryabov, N. K. Sharykin. *Astrophysics and Space Science.* 1978, **54**, pp. 3-36.
9. P. Kleewein. Ph. D. Thesis, University of Graz, 1997.
10. Э. П. Абринин, Л. Л. Базелян, Я. Г. Цыбко. *Астрономический журнал.* 1990, **67**, с. 141-150.
11. В. В. Зайцев, Е. Я. Злотник, Г. Манн, Г. Аурасс, А. Классен. *Изв. вузов. Радиофизика.* 1998, **41**, № 2, с. 164-176.

Solar Type II Bursts Detected at Decameter Wavelengths

V. N. Mel'nik, A. A. Konovalenko,
A. A. Stanislavsky, H. O. Rucker,
E. P. Abranin, V. V. Dorovskii,
V. V. Zaharenko, V. N. Lisachenko,
M. Y. Boudjada, A. Lecacheux,
V. V. Zaitsev, M. G. Rosolen

The solar Type II radio bursts observed with the UTR-2 radio telescope in the $10 \div 30$ MHz frequency range are shown. They possess a fine structure consisting of fast-drifting sub-bursts similar to Type III bursts. The Type II bursts frequency drift rate at decameter wavelengths is smaller than -0.1 MHz/s. One burst reveals a herringbone structure with a wave-like backbone which almost does not drift. The features of the observed bursts are discussed.