

## Свойства мощных солнечных всплесков III типа в декаметровом диапазоне длин волн

В. Н. Мельник, А. А. Коноваленко, Х. О. Рукер<sup>1</sup>, А. И. Бойко,  
В. В. Доровский, Э. П. Абранин, А. Лекашо<sup>2</sup>

*Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина  
E-mail: boikoana@vk.kh.ua*

<sup>1</sup>*Институт космических исследований, Грац, 8042, Шмиделитрассе, 6, Австрия*

<sup>2</sup>*Париж-Мейдон обсерватория, Париж, CNRS UMR 8644, Франция*

*Статья поступила в редакцию 23 декабря 2009 г.*

Анализируются свойства мощных (потоки больше  $10^{-19}$  Вт/(м<sup>2</sup>·Гц)) всплесков III типа, которые наблюдались в июле–августе 2002 г. на радиотелескопе УТР-2 на частотах 10 ÷ 30 МГц. Было обнаружено, что наибольшее их число регистрировалось в дни, когда активная область находилась вблизи центрального меридиана, и в дни, когда она отстояла на  $40^\circ \div 60^\circ$  к востоку или западу от него. Все всплески дрейфуют от высоких частот к низким, а их скорости частотного дрейфа в основном лежат в пределах 1 ÷ 2.5 МГц/с. Во все дни наблюдений скорость дрейфа линейно растет с частотой. Длительности мощных всплесков III типа в основном изменяются в пределах от 6 до 12 с с меньшими значениями на больших частотах. Мгновенная частотная ширина всплесков практически не зависит от дня наблюдений и линейно растет с частотой. Наблюдательные данные интерпретируются в рамках стандартной плазменной модели генерации излучения всплесков III типа.

### 1. Введение

Всплески III типа изучаются уже около 60 лет. Им посвящено огромное количество работ как наблюдательных, так и теоретических, основные результаты суммируются в большом числе обзоров [1-4]. Эти всплески наблюдаются в широком диапазоне частот от 1 ГГц до десятков килогерц [2]. Считается, что они генерируются потоками быстрых электронов, которые распространяются с почти постоянной скоростью, равной  $0.3c$  ( $c$  – скорость света), вдоль открытых магнитных силовых линий в короне Солнца. Для объяснения основных свойств всплесков III типа обычно привлекается плазменный механизм излучения [5]. Он заключается в том, что быстрые электроны возбуждают ленгмюровские волны  $l$  в каждой точке короны, через которую проходят быстрые час-

тицы. При трансформации этих волн в поперечные  $t$ , в процессах рассеяния на ионах  $i$  плазмы,  $l+i=t+i$ , и слияния этих волн друг с другом,  $l+l=t$ , формируется излучение на первой и второй гармониках местной плазменной частоты. С удалением от Солнца плотность корональной плазмы убывает, а поэтому частота, на которой происходит излучение, уменьшается. При этом на динамическом спектре наблюдается дрейф всплеска от высоких частот к низким частотам (отрицательный частотный дрейф). Скорость частотного дрейфа, как оказалось при анализе в широком диапазоне частот, изменяется с частотой по степенному закону  $df/dt = -0.01f^{1.84}$  (где скорость дрейфа  $df/dt$  измеряется в мегагерцах в секунду, а частота  $f$  – в мегагерцах) [6]. Из этого закона можно получить зависимость плотности плазмы от расстояния в предположении постоянства

линейной скорости источника излучения. Нужно отметить, что имеются работы, в которых зависимость скорости дрейфа от частоты определялась по другому закону [7-9].

На любой выбранной частоте всплеск III типа имеет характерный временной профиль – быстрый подъем и более медленный спад. Как показали наблюдения, длительность  $T$  всплесков III типа увеличивается с уменьшением частоты по закону близкому к  $T = 220/f$  [2]. Она обычно определяется либо частотой столкновений частиц в плазме [1-4, 10], либо пространственными размерами потоков быстрых частиц [2, 10].

Значения потоков излучения всплесков III типа изменяются в широких пределах. Вплоть до частот декаметрового диапазона потоки имеют тенденцию расти с понижением частоты [2].

В декаметровом диапазоне длин волн наблюдаются всплески похожие на всплески III типа, которые связаны со всплесками IV типа, и является тонкой структурой всплесков IV типа [11]. На более высоких частотах они носят название “файбер-всплески” [12]. Скорости дрейфа и длительности этих всплесков близки к значениям скоростей дрейфа и длительностям обычных всплесков, но потоки их умеренные, не превышающие, как правило, 100 с. е. п. (1 с. е. п. =  $10^{-22}$  Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{Гц}$ )) в декаметровом диапазоне длин волн. Эти всплески могут иметь “неправильные” скорости дрейфа (дрейф от низких частот к высоким). Такие всплески наблюдаются как в излучении, так и в поглощении. Все это отличает их от обычных всплесков III типа, и их изучению будет посвящена отдельная работа. Всплески с потоками большими 100 с. е. п., по-видимому, не связаны со всплесками IV типа, и их можно отнести к обычным всплескам III типа.

В настоящей работе мы исследуем свойства мощных всплесков III типа (потоки больше  $10^{-19}$  Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{Гц}$ )) на частотах 10 ÷ 30 МГц. Особое внимание уделяется изучению зависимостей скорости дрейфа, длительности, частотной ширины и потока излучения всплесков от частоты наблюдения, а также того, как они изменяются в зависимости от местоположения активных областей на диске Солнца. Обсуждаются следствия полученных результатов для моделей солнечной короны и моде-

лей потоков электронов, ответственных за эти всплески.

## 2. Инструменты

Мощные всплески III типа, обсуждаемые в статье, наблюдались на радиотелескопе УТР-2 в июле и августе 2002 г. Во время наблюдений использовались 3 секции телескопа общей площадью 50000  $\text{м}^2$ , что давало диаграмму направленности телескопа  $1^\circ \times 13^\circ$ . Регистрация производилась с помощью цифрового спектрального поляриметра (DSP) [13], который обеспечивал высокое частотное (12 кГц) и временное (от 20 до 100 мс) разрешения в полосе частот от 18 до 30 МГц. Кроме того, использовался также 60-канальный спектрометр с временным разрешением до 10 мс и частотным разрешением 300 кГц в полосе частот от 10 ÷ 30 МГц.

## 3. Наблюдения

В течение июля–августа 2002 г. по диску Солнца проходило несколько активных областей. В июле наибольшее количество мощных всплесков III типа было зарегистрировано 17 июля (рис. 1, а), когда активная область №249 (рис. 2, а) находилась в  $10^\circ \div 20^\circ$  к западу от

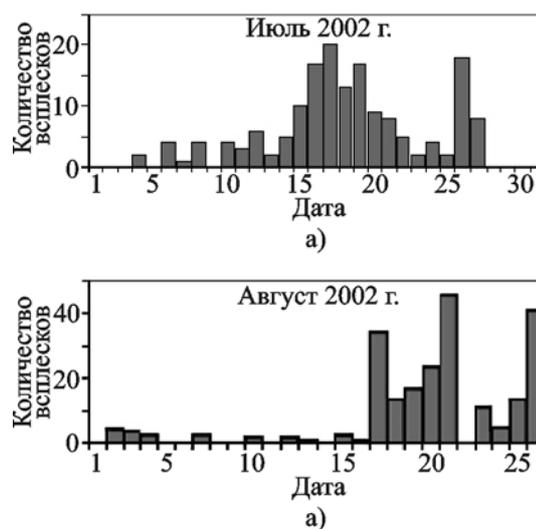
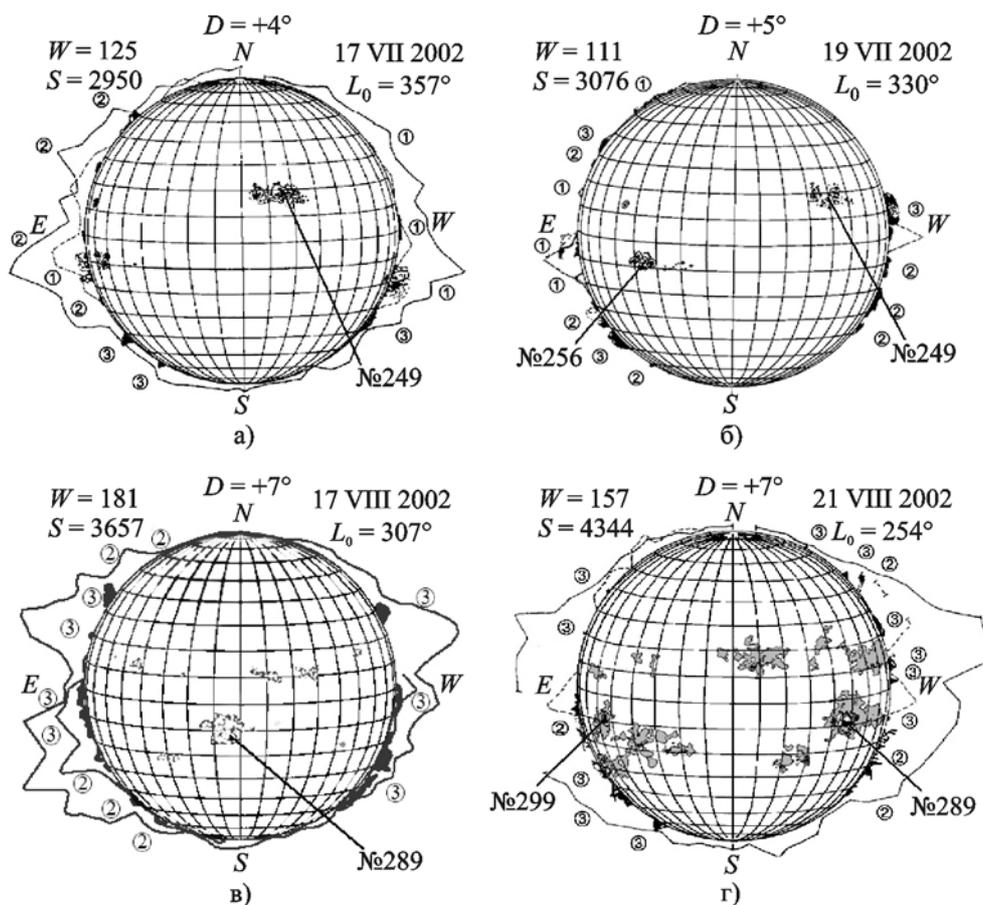


Рис. 1. Распределение мощных всплесков III типа в июле (а) и августе (б) 2002 г.



**Рис. 2.** Положение активных областей №249, №256, №289 и №299 на диске Солнца 17 июля (а), 19 июля (б), 17 августа (в) и 21 августа (г) 2002 г. (данные взяты на сайте <http://www.gao.spb.ru>)

центрального меридиана, 19 июля, когда эта же область находилась в  $40^\circ$  к западу, а активная область №256 – в  $40^\circ$  к востоку от центрального меридиана (рис. 2, б) и 26 июля, когда активная область №260 располагалась в  $30^\circ \div 40^\circ$  к востоку от центрального меридиана. В августе также было три дня когда количество мощных всплесков было наибольшим (рис. 1, б). 17 августа активная область №289 была в  $10^\circ$  к востоку от центрального меридиана (рис. 2, в), 21 августа эта область уже была в  $50^\circ$  к западу, а активная область №299 в  $60^\circ$  к востоку от центрального меридиана (рис. 2, г), и, наконец, 26 августа активная область №299 находилась в  $20^\circ$  к западу от центрального меридиана. Отсюда мы делаем вывод о том, что наиболее эффективными в генерации этих всплесков были активные

области №249, №289 и №299. Другие активные области, в частности №260, не являлись столь эффективными. В дни, когда наблюдались мощные всплески III типа, регистрировались также обычные всплески III типа. Эти всплески наблюдались одновременно с очень похожими по своим параметрам (длительностям и скоростям дрейфа) фибер-всплесками, которых было очень много в дни, когда регистрировались всплески IV типа (7, 11, 12, 14, 17, 24 июля и 7, 11, 23, 25, 28 августа). По-видимому, фибер-всплески генерируются в среде, отличающейся от средней короны. Например, среди них имеются всплески с “неправильным” частотным дрейфом. Наблюдалось также значительное число всплесков в поглощении, но со скоростями дрейфа и длительностями близкими к скоростям дрейфа

и длительностям обычных всплесков III типа. Мощные всплески III типа в основном наблюдались в дни (рис. 1, рис. 2), когда активная область находилась либо вблизи центрального меридиана, либо в  $40^\circ \div 60^\circ$  к востоку или западу от центрального меридиана, и, по-видимому, их появление никак не коррелирует с наличием всплесков IV типа. Поэтому их свойства определяются средней короной.

#### 4. Свойства мощных всплесков III типа

Пример мощного всплеска III типа на фоне обычных всплесков III типа показан на рис. 3. Видно, что этот всплеск имеет несимметричный профиль (рис. 3, б). Но это не является правилом, наблюдаются также всплески с симметричным временным профилем. Для статистического анализа свойств всплесков область частот наблюдения была разделена нами на частотные полосы  $10 \div 13$ ,  $13 \div 15$ ,

$15 \div 20$ ,  $20 \div 25$  и  $25 \div 30$  МГц, в которых определялись значения следующих параметров: скорости дрейфа всплеска, его длительности, мгновенной частотной полосы и потока. Считалось, что эти значения имеют всплески на частотах соответственно 11.5, 14, 17.5, 22.5 и 27.5 МГц. При получении функциональных зависимостей от частоты находились средние значения этих параметров в каждой полосе для каждого дня наблюдений. Всего, таким образом, было проанализировано около 400 мощных всплесков III типа – 163 всплеска в июле и 231 всплеск в августе 2002 г.

#### Скорость дрейфа

Одним из важнейших параметров всплесков III типа, по которому их относят к данному типу всплесков, является скорость частотного дрейфа. Считается [2], что в декаметровом диапазоне длин волн скорость дрейфа в основном лежит в пределах  $2 \div 4$  МГц/с. Наши измерения показали, что для всех мощных всплесков III типа скорости дрейфа меньше и изменяются в большинстве случаев в пределах  $1 \div 2.5$  МГц/с, но в отдельных случаях этот диапазон расширяется до значений  $0.4 \div 4$  МГц/с. При этом большие скорости дрейфа регистрируются в области высоких частот, а малые – в области низких.

Чрезвычайно важной является зависимость средних значений скоростей дрейфа от частоты. Это связано с тем, что, как уже говорилось выше, используя уравнение, связывающее скорость дрейфа с линейной скоростью источника излучения при плазменном механизме излучения [3],

$$\frac{df}{dt} = \frac{df}{dn} \frac{dn}{dr} v_s,$$

где  $n$  – плотность плазмы,  $r$  – расстояние от Солнца,  $v_s$  – скорость источника, можно из наблюдательных данных получить зависимость плотности плазмы от высоты, т. е., по сути, восстановить модель короны. В первой работе, посвященной изучению свойств всплесков III типа [14], в которой Вайлд определял зависимость скорости дрейфа от частоты для

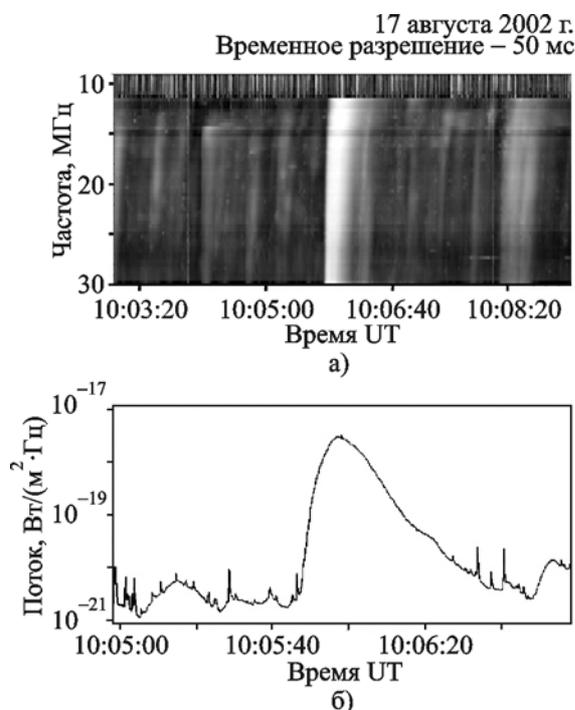


Рис. 3. Мощный всплеск III типа на фоне бури обычных всплесков III типа: его динамический спектр (а) и профиль на частоте 13.4 МГц (б)

отдельных всплесков, наблюдавшихся в области частот 70÷130 МГц, была получена линейная зависимость

$$df/dt = -Af, \quad (1)$$

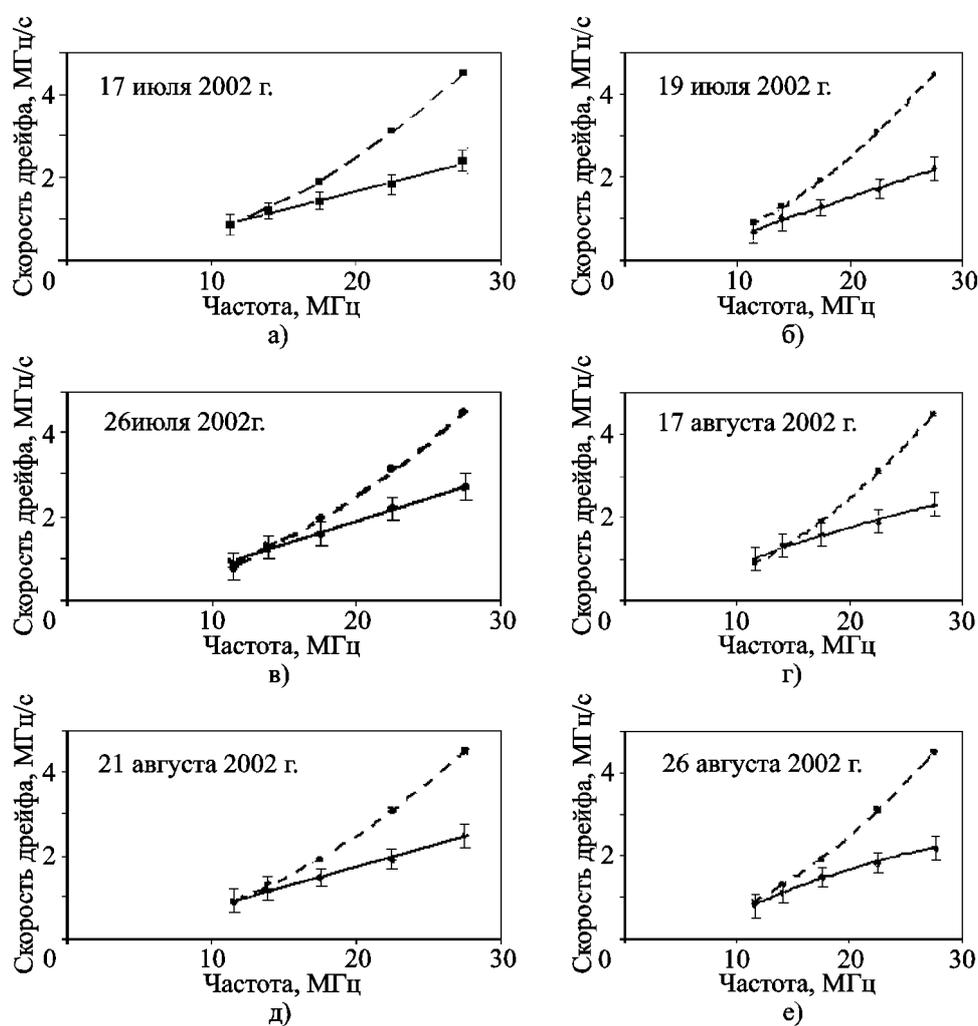
с коэффициентом  $A$  изменяющимся в пределах от 0.16 до 0.5 с<sup>-1</sup>. Позже частотная зависимость скорости дрейфа анализировалась неоднократно в других диапазонах частот. Алварес и Хэддок в 1973 г. [6] аппроксимировали

эту зависимость в широком диапазоне частот от 75 кГц до 550 МГц формулой

$$df/dt = -0.01f^{1.84}, \quad (2)$$

в которой частота измеряется в мегагерцах, а скорость дрейфа – в мегагерцах в секунду.

Мы построили по нашим данным аналогичные зависимости для мощных всплесков III типа в диапазоне частот 10÷30 МГц для каждого дня наблюдений. На рис. 4 приведены



**Рис. 4.** Зависимости скорости частотного дрейфа от частоты для 17 июля (а), 19 июля (б), 26 июля (в), 17 августа (г), 21 августа (д) и 26 августа (е) 2002 г.: сплошная линия – наблюдения, штриховая – значения, полученные по формуле (2)

эти зависимости для дней, когда наблюдалось наибольшее количество мощных всплесков III типа. Для сравнения показана зависимость для модуля скорости дрейфа, которая дается формулой Алвареца и Хэддока (2) [6]. Видно, что данные наблюдений систематически отличаются от значений, даваемых формулой (2), во всех рассмотренных случаях скорость дрейфа линейно растет с частотой. Более того, такая же линейная зависимость имеется и для дней, когда регистрировались мощные всплески III типа. Это дает нам основание утверждать, что в области частот  $10 \div 30$  МГц зависимость скорости дрейфа от частоты хорошо описывается линейной функцией. Мы аппроксимировали для каждого дня зависимость скорости частотного дрейфа от частоты уравнением

$$df/dt = -Af + B.$$

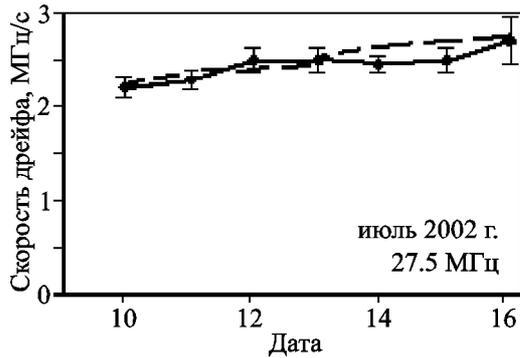
В таблице приведены значения коэффициентов  $A$  и  $B$  для ряда дней. Видно, что при прохождении диска Солнца активной областью №249 (15-19 июля 2002 г.) постоянная  $A$  близка к значению  $0.09 \text{ с}^{-1}$ . В случае, когда актив-

ная область №256 была вблизи центрального меридиана (26 июля), постоянная  $A$  была больше,  $0.12 \text{ с}^{-1}$ . В августе 2002 г. постоянная  $A$  в большинстве дней составляла около  $0.08 \text{ с}^{-1}$ . Отсюда следует, что коэффициент  $A$  определяется активной областью. Как будет видно из дальнейшего, обратная величина коэффициента  $A$  есть ни что иное, как размер неоднородности короны, в которой распространяются быстрые электроны и происходит генерация радиоизлучения всплесков III типа. А это означает, что над каждой активной областью формируется корональная плазма со своим законом спада плотности с высотой. Коэффициент  $B$  в подавляющем большинстве случаев не превышает 10 % от измеренной скорости дрейфа, а поэтому можно считать зависимость скорости дрейфа от частоты вида (1), предложенную Вайлдом, справедливой. Коэффициент  $A$  в (1) несколько выше полученного нами, но нужно иметь в виду, что Вайлд получил значения  $A$  только для десяти наблюдавшихся им всплесков. Поэтому чрезвычайно важно было бы, с одной стороны, увеличить число анализируемых всплесков в диапазоне частот  $70 \div 130$  МГц для более точного определения коэффициента  $A$  в этой области частот, а с другой стороны, расширить полосу анализа в низкочастотную область для выяснения вопроса о характере изменения этого коэффициента при переходе от метрового диапазона к декаметровому.

Представляет также интерес обсудить, как изменяется скорость дрейфа в зависимости от местоположения активной области на диске Солнца. С 10 по 16 июля по диску Солнца проходила только одна активная область №249. Поэтому естественно предположить, что мощные всплески, которые наблюдались в эти дни, были связаны исключительно с нею. Изменение скорости дрейфа в зависимости от положения активной области на диске Солнца показано на рис. 5. Видно, что скорость частотного дрейфа растет с приближением активной области к центральному меридиану, который она пересекает 16 июля. Если считать, что увеличение скорости происходит исключительно за счет изменения угла, под которым видна активная

**Таблица.** Значения коэффициентов  $A$  и  $B$  для ряда дней наблюдений

Дата	$A, \text{ с}^{-1}$	$B, \text{ МГц/с}$
15.07	$0.09 \pm 0.008$	$0.1 \pm 0.221$
16.07	$0.09 \pm 0.007$	$0.2 \pm 0.377$
17.07	$0.09 \pm 0.004$	$0.1 \pm 0.230$
19.07	$0.09 \pm 0.002$	$0.3 \pm 0.039$
26.07	$0.12 \pm 0.024$	$0.5 \pm 0.149$
17.08	$0.08 \pm 0.009$	$-0.2 \pm 0.348$
18.08	$0.08 \pm 0.005$	$-0.2 \pm 0.349$
19.08	$0.08 \pm 0.007$	$-0.05 \pm 0.225$
20.08	$0.08 \pm 0.008$	$-0.2 \pm 0.368$
21.08	$0.10 \pm 0.011$	$-0.2 \pm 0.021$
25.08	$0.07 \pm 0.016$	$-0.04 \pm 0.218$
26.08	$0.08 \pm 0.002$	$0.1 \pm 0.078$



**Рис. 5.** Изменение скорости дрейфа мощных всплесков III типа в зависимости от местоположения активной области №249 на диске Солнца в июле 2002 г.: сплошная кривая – наблюдения, штриховая – теоретическая кривая

область с Земли, то можно, воспользовавшись известной формулой [15]

$$\frac{df}{dt} = \frac{df}{dn} \frac{dn}{dr} \frac{cv_s}{c - v_s \cos \beta},$$

где  $\beta$  – долготный угол активной области, оценить скорость источника мощных всплесков III типа. Она оказывается равной  $(0.2 \div 0.3)c$ , что обычно и предполагается для источников всплесков III типа.

Обсудим, что дает обнаруженная нами линейная зависимость скорости дрейфа от частоты. В предположении, что излучение происходит на местной плазменной частоте  $f = f_{pe}$  (первая гармоника), имеем следующую формулу, связывающую скорость дрейфа и скорость источника излучения [9]:

$$\left(\frac{df}{dt}\right)_F = f \frac{1}{2n} \frac{dn}{dr} v_s. \quad (3)$$

Сравнивая (1) и (3), получаем уравнение

$$A = -\frac{1}{2n} \frac{dn}{dr} v_s.$$

Учитывая, что  $A$  постоянная величина, не зависящая от частоты, и в предположении, что скорость источника излучения не меняется, для плотности плазмы солнечной короны получаем выражение

$$n = n_0 \exp(-2Ar/v_s), \quad (4)$$

где  $n_0$  – нормировочная константа. Считая, что скорость электронов, ответственных за мощные всплески III типа,  $v_s = (0.2 \div 0.3)c$ , получаем для размера неоднородностей,  $a = n|dn/dr|^{-1}$ , над активными областями №289 и №249 значения  $(4 \div 6) \cdot 10^{10}$  и  $(3 \div 5) \cdot 10^{10}$  см соответственно. Интересным представляется тот факт, что при экспоненциальной модели плотности корональной плазмы (4) скорость дрейфа второй гармоники

$$\left(\frac{df}{dt}\right)_H = f \frac{1}{2n} \frac{dn}{dr} v_s$$

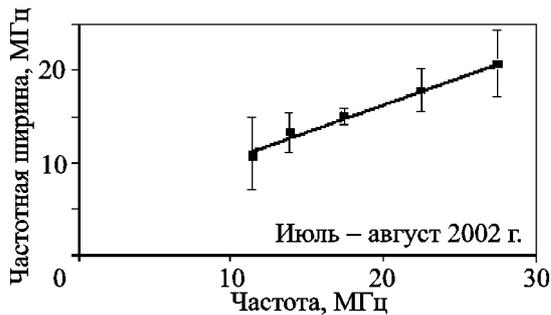
определяется таким же выражением, что и для первой гармоники. А это означает, что их скорости дрейфа на одной и той же частоте одинаковы, и их невозможно отличить по этому параметру. Различаться гармоники могут по длительности, мгновенной частотной полосе и потоку.

### Частотная ширина

Еще одной важной характеристикой всплесков III типа является мгновенная частотная ширина. Как правило частотная ширина растет с частотой. Построенная по средним значениям на каждой частоте для периода наблюдений такая зависимость (см. рис. 6) представляет собой линейную функцию

$$\Delta f = Cf + D,$$

где  $C = 0.6$ , а  $D = 3$  МГц. Интересным представляется факт, что согласно нашим данным среднее значение частотной ширины на любой частоте практически не изменяется с местоположением активной области на диске



**Рис. 6.** Зависимость мгновенной частотной ширины мощных всплесков III типа от частоты, построенная по данным за июль–август 2002 г.

Солнца. По нашему мнению, это указывает на то, что частотная ширина определяется исключительно процессами, происходящими в месте генерации излучения, и не связана с эффектами распространения. Так как элементарным процессом, отвечающим за формирование излучения на первой гармонике, является рассеяние ленгмюровской волны на ионах плазмы с трансформацией в поперечную волну,  $l + i = t + i$ , с частотой, равной местной плазменной частоте, и шириной спектра излучения

$$\Delta f \approx 0.6 f_{pe}, \quad (5)$$

где  $f_{pe} = \sqrt{\frac{e^2 n}{\pi m_e}}$ , можно найти  $\Delta k_l$  – ширину спектра ленгмюровских волн, которые возбуждаются быстрыми электронами на различных высотах в короне Солнца. Из (5) и закона дисперсии для ленгмюровских волн,  $\omega_l = \sqrt{\omega_{pe}^2 + 3k_l^2 v_{Te}^2}$ , получаем

$$\Delta k_l \approx 0.7 \omega_{pe} / v_{Te}, \quad (6)$$

где  $v_{Te}$  – тепловая скорость электронов. То есть при удалении от Солнца ширина спектра ленгмюровских волн уменьшается.

Если наблюдаемые мощные всплески III типа представляют собой вторую гармонику

излучения, которая, как известно, появляется за счет процессов слияния ленгмюровских волн,  $l + l = t$ , то для обеспечения наблюдаемой частотной ширины  $\Delta f$  требуется более узкая ширина спектра плазменных волн. Из закона сохранения импульса,  $\vec{k}_{1l} + \vec{k}_{2l} = \vec{k}_t$ , для процесса  $l + l = t$  получаем, что  $\Delta k_t \approx 2\Delta k_l$ . Учитывая закон дисперсии для поперечных волн,  $\omega = \sqrt{\omega_{pe}^2 + k_t^2 c^2}$ , находим

$$\Delta k_l \approx \sqrt{3} \omega_{pe} / c. \quad (7)$$

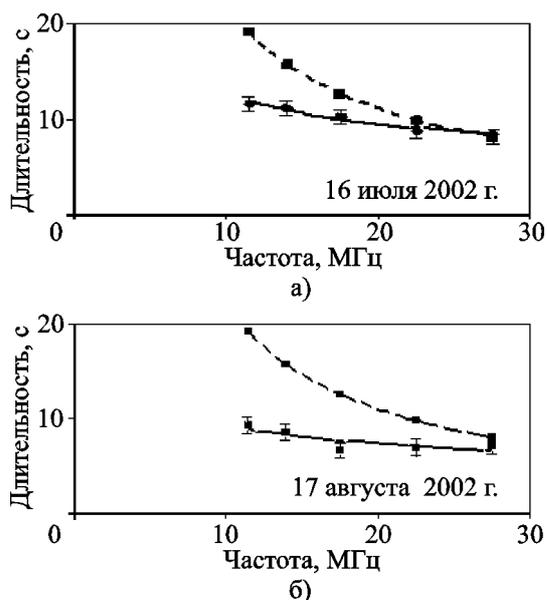
Сравнивая выражения (6) и (7), видим, что для наблюдаемой частотной ширины всплесков III типа требуется более узкий спектр ленгмюровских волн в случае, если эти всплески генерируются на второй гармонике плазменной частоты, чем в случае генерации на первой гармонике.

#### Длительность

Еще в первой работе по исследованию свойств всплесков III типа [14] Вайлд отмечал, что длительность всплесков III типа увеличивается с уменьшением частоты. Позже [2] была получена формула

$$T = 220 / f, \quad (8)$$

где частота измеряется в мегагерцах, а время в секундах, которая справедлива в широком диапазоне частот. Рядом авторов высказывалось предположение, что длительность всплесков обратно пропорциональна частоте столкновений, и на этом основании делался вывод, что затухание всплесков обусловлено столкновениями частиц в плазме. Измеренные нами длительности на частотах в диапазоне 10 ÷ 30 МГц представлены на рис. 7. Видно, что длительности в области низких частот систематически меньше тех, что даются эмпирической зависимостью (8), в то время как на больших частотах длительности близки к тем, что получаются из (8). Таким образом, согласно нашим наблюдениям зависимость длительности от частоты не такая крутая. Нужно отметить, что наб-



**Рис. 7.** Зависимость длительности мощности всплесков III типа от частоты для 16 июля (а) и 17 августа (б) 2002 г.: сплошная кривая – наблюдательные данные, штриховая кривая – значения, полученные по формуле (8)

людалось даже уменьшение длительности с уменьшением частоты. Но это происходило преимущественно в дни, когда количество всплесков было невелико, т. е. статистически такие значения нельзя считать значимыми. Анализ зависимости длительности мощных всплесков III типа на различных частотах от местоположения активных областей на диске Солнца показал, что наименьшие длительности отмечались 16 июля и 17 августа, т. е. в дни, когда активные области находились вблизи центрального меридиана. С удалением от центрального меридиана длительность всплесков увеличивалась. Причину этого мы видим в том, что длительность является производной величиной от скорости дрейфа и частотной полосы:

$$T = \Delta f (df/dt)^{-1}. \quad (9)$$

Поскольку, как мы отмечали выше, частотная ширина практически не зависит от

местоположения активной области на диске Солнца, а скорость дрейфа приобретает наибольшие значения в дни, когда активная область пересекает центральный меридиан, длительность всплесков (9) должна быть в эти дни наименьшей, что согласуется с результатами наблюдений. Таким образом, длительность определяется не частотой столкновения частиц или пространственным размером потока электронов, а связана с шириной спектра ленгмюровских волн и скоростью быстрых электронов.

### Потоки

Наблюдения в широком диапазоне частот [2] показывают, что поток обычных всплесков III типа растет с увеличением длины волны наблюдения вплоть до декаметрового диапазона. При еще меньших частотах поток излучения медленно уменьшается. Мы исследовали зависимость потока отдельных мощных всплесков от частоты в диапазоне 10 ÷ 30 МГц. В августе, как правило, потоки всплесков уменьшались с частотой, но в некоторые дни мы отмечали обратную зависимость. Были дни, когда наблюдалось вначале увеличение потока с частотой, а начиная с некоторой частоты – уменьшение. В июле в основном отмечался монотонный рост потока с уменьшением частоты, и только в отдельные дни зависимость была более сложной. Таким образом, на частотах 10 ÷ 30 МГц в основном подтвердился рост потока всплесков III типа с уменьшением частоты наблюдения.

Мы пытались также найти связь потока излучения со скоростью дрейфа и длительностью всплесков. В большинстве случаев поток растет с уменьшением скорости дрейфа, что является неожиданным, так как представляется, что поток излучения должен был бы расти с увеличением скорости дрейфа, т. е. скорости электронов, а следовательно, и энергии излучающих электронов. Но такая ситуация наблюдалась только 16 июля, 25 и 26 августа, а в другие дни – только в отдельных частотных диапазонах. Что касается связи потока и длительности, то мы не нашли какой-либо определенной зависимости между этими величинами.

## Заключение

Мощные всплески III типа на частотах  $10 \div 30$  МГц наблюдались в дни, когда активная область находилась либо вблизи центрального меридиана, либо в  $40^\circ \div 60^\circ$  к востоку или западу от центрального меридиана. Наиболее интересным и неожиданным результатом явилось то, что скорости дрейфа этих всплесков изменялась примерно от 1 МГц/с на 10 МГц до 2.5 МГц/с на 30 МГц, причем зависимость скорости дрейфа от частоты была линейной. Такое возможно, если на соответствующих высотах плотность корональной плазмы изменяется по экспоненциальному закону. Если скорости источников мощных всплесков имеют скорости  $0.3c$ , то характерные размеры неоднородности над активными областями, с которыми связаны наблюдаемые мощные всплески III типа, равны  $a = (3 \div 6) \cdot 10^{10}$  см. Мгновенная частотная ширина мощных всплесков III типа увеличивается линейно с частотой и не зависит от местоположения активной области на диске Солнца. Она определяется шириной спектра ленгмюровских волн. В случае генерации излучения на первой гармонике ширина спектра ленгмюровских волн описывается формулой  $\Delta k_l \approx 0.7 \omega_{pe} / v_{Te}$ , а в случае излучения на второй гармонике –  $\Delta k_l \approx \sqrt{3} \omega_{pe} / c$ . Скорость дрейфа и мгновенная частотная ширина определяют длительность мощных всплесков III типа, которая в основном изменяется от 6 с на 30 МГц до 12 с на 10 МГц. Построенная по наблюдательным значениям зависимость длительности от частоты отличается от эмпирической зависимости  $T = 220/f$ , полученной для широкого диапазона изменения частоты. Поток мощных всплесков III типа в основном имеет тенденцию к увеличению с понижением частоты, хотя имеются дни, когда наблюдается более сложная и даже обратная зависимость.

Работа была выполнена частично в рамках INTAS-проекта 03-5727. В. Н. Мельник и А. А. Коноваленко выражают признательность Институту космических исследований (г. Грац, Австрия) за оказанное гостеприимство во время их пребывания в г. Грац.

## Литература

1. Wild J. P., Smerd S. F. Radio Bursts from the Solar Corona // *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* – 1972. – Vol. 10. – P. 159-196.
2. Bursts of type III and type V. In *Solar Radiophysics* / Suzuki S. and Dulk G. A. / Ed. By N. J. McLean and N. R. Labrum. – Cambridge: Cambridge University Press, 1985. – 516 p.
3. Smith D. F., Davis W. D. Type III Radio Bursts and Their Interpretation // *Space Sci. Rev.* – 1975. – Vol. 16, No. 1-2. – P. 91-144.
4. Solar Radio Group Utrecht Type III Bursts // *Space Sci. Rev.* – 1975. – Vol. 16, No. 1-2. – P. 45-89.
5. Ginzburg V. L., Zhelezniakov V. V. On the Possible Mechanisms of Sporadic Solar Radio Emission (Radiation in an Isotropic Plasma) // *Astron. Zh. (Sov. Astron.)*. – 1959. – Vol. 35. – P. 694–705.
6. Alvarez H., Haddock F. T. Solar wind density model from km-wave Type III bursts // *Sol. Phys.* – 1973. – Vol. 29. – P. 197-209.
7. Newkirk Gordon, Jr. The Solar Corona in Active Regions and the Thermal Origin of the Slowly Varying Component of Solar Radio Radiation // *Astrophys. J.* – 1961. – Vol. 133. – P. 983-1013.
8. Bougeret J.-L., King J. H., Schwenn R. Solar radio burst and in situ determination of interplanetary electron density // *Sol. Phys.* – 1984. – Vol. 90. – P. 401-412.
9. Mann G., Jansen F., MacDowall R. J., Kaiser M. L., Stone R. G. A heliospheric density model and type III radio bursts // *Astron. Astrophys.* – 1999. – Vol. 348. – P. 614-620.
10. Elgaroy O., Lyngstad E. High-resolution observations of Type III solar radio bursts // *Astron. Astrophys.* – 1972. – Vol. 16, No. 1 – P. 1-12.
11. Melnik V. N., Konvalenko A. A., Brazhenko A. I., Rucker H., Abranin E. P., Dorovsky V. V., Lecacheux A., Lonskaya A. S. The bursts in emission and absorption as a fine structure of Type IV bursts / *Proc. Gamov memorial international conference dedicated to 105-th anniversary of George Gamov "Astrophysics and cosmology after Gamov: recent progress and new horizons"*. – Odessa (Ukraine). – 2009. – P. 37.
12. Chernov G. P. Fine Structure of Solar Radio Bursts Observed at Decametric and Hectometric Waves // *Sol. Phys.* – 2007. – Vol. 241. – P. 145-169.
13. New digital spectrometers for ground based decameter radio astronomy. In *Planetary Radio Emissions IV* / Kleewein P., Rosolen C. and Lecacheux A. / Ed. by H. O. Rucker, S. J. Bauer, A. Lecacheux. – Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, 1997. – 518 p.
14. Wild J. P. Observations of the Spectrum of High-Intensity Solar Radiation at Metre Wavelengths. III. Isolated Bursts // *Aust. J. Scientific Res.* – 1950. – Vol. 3. – P. 541–557.
15. Hartz T. R. Type III solar radio noise bursts hectometer wavelengths // *Planet. Space Sci.* – 1969. – Vol. 17. – P. 267-287.

**Властивості потужних сонячних  
сплесків III типу в декаметровому  
діапазоні довжин хвиль**

**В. М. Мельник, О. О. Коноваленко,  
Х. О. Рукер, А. І. Бойко, В. В.  
Доровський, Е. П. Абранін, А. Лекашо**

Аналізуються властивості потужних (потіки понад  $10^{-19}$  Вт/(м<sup>2</sup> · Гц)) сплесків III типу, які спостерігались у липні – серпні 2002 р. на радіотелескопі УТР-2 на частотах 10 ÷ 30 МГц. Було виявлено, що найбільша їх кількість реєструвалась у дні, коли активна область знаходилась поблизу центрального меридіану, а також у дні, коли вона лежала десь  $40^\circ \div 60^\circ$  на схід або захід від нього. Усі сплески дрейфують від високих частот до низьких, а їх швидкості частотного дрейфу головно лежать у межах 1 ÷ 2.5 МГц/с. В усі дні спостережень швидкість дрейфу лінійно зростає з частотою. Тривалості потужних сплесків III типу головно змінюються у межах від 6 до 12 с з меншими значеннями на вищих частотах. Миттєва частотна ширина сплесків не залежить від дня спостереження та лінійно зростає з частотою. Дані спостережень інтерпретуються у рамках стандартної плазмової моделі генерації випромінювання сплесків III типу.

**Properties of Powerful Solar Type III  
Bursts at Decameter Wavelengths**

**V. N. Melnik, A. A. Konovalenko,  
H. O. Rucker, A. I. Boiko,  
V. V. Dorovsky, E. P. Abranin,  
and A. Lecacheux**

The properties of powerful (larger than  $10^{-19}$  W/(m<sup>2</sup> · Hz)) Type III bursts observed in July-August 2002 using the UTR-2 radio telescope at frequencies 10 ÷ 30 MHz are analyzed. The majority of these bursts were found to be observed on the days when an active region was located near the central meridian or at  $40^\circ \div 60^\circ$  eastwards or westwards from it. All these bursts drift from high frequencies to low ones, their frequency drift rates being within 1 ÷ 2.5 MHz/s in most cases. The frequency drift rate increases linearly with frequency for all days of observations. Duration of powerful Type III bursts varies within 6 ÷ 12 s with smaller values at high frequencies. Instantaneous frequency widths of these bursts do not depend on the day of observations and show a linear growth with frequency. The results of these observations are discussed in the frame of the plasma model for the Type III bursts generation.