

## РАДИОАСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА

УДК 523.9, 520.27

А. И. БРАЖЕНКО<sup>1</sup>, О. С. ПЫЛАЕВ<sup>2</sup>, В. Н. МЕЛЬНИК<sup>2</sup>,  
А. А. КОНОВАЛЕНКО<sup>2</sup>, А. В. ФРАНЦУЗЕНКО<sup>1</sup>,  
В. В. ДОРОВСКИЙ<sup>2</sup>, Р. В. ВАЩИШИН<sup>1</sup>, Х. О. РУКЕР<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики  
им. С. И. Субботина НАН Украины,  
ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36029, Украина  
E-mail: xj11@yandex.ru

<sup>2</sup> Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина  
E-mail: melnik@ian.kharkov.ua

<sup>3</sup> Институт космических исследований Австрийской академии наук,  
Шмидльштрассе, 6, г. Грац, 8042, Австрия  
E-mail: helmut.rucker@oeaw.ac.at

### НАБЛЮДЕНИЕ ТРЕХ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЛЕСКОВ III ТИПА В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

*Обсуждаются свойства тройных всплесков III типа (комбинации из трех всплесков III или IIIb типов) с отношением частот максимумов потока в определенный момент времени, близким к 1 : 2 : 3. Наблюдения проводились на радиотелескопе УРАН-2 в диапазоне частот 8 ÷ 32 МГц. Анализируются длительность, скорость дрейфа и поляризация всплесков, а также зависимость этих параметров от частоты, типа всплеска, положения в тройном всплеске. Обсуждается наличие гармонической связи компонентов тройных всплесков.*

*Ключевые слова:* Солнце, радиоизлучение, декаметровый диапазон, всплески III типа, гармонические компоненты излучения, плазменный механизм

#### 1. Введение

Исследование характерных особенностей солнечных радиовсплесков декаметрового диапазона длин волн дает представление о процессах, происходящих в плазме солнечной короны на соответствующих высотах, позволяет определить параметры плазмы, а также дает возможность уточнить механизмы излучения всплесков.

Всплески III типа являются наиболее изученной частью спорадического радиоизлучения Солнца. Как известно, они генерируются посредством плазменного механизма излучения при прохождении пучка электронов через корональную плазму [1]. Электроны пучка, двигаясь вдоль от-

крытых магнитных силовых линий, возбуждают ленгмюровские волны. Эти волны трансформируются в поперечные электромагнитные волны, которые регистрируются на Земле. Электромагнитные волны основного тона генерируются

на местной плазменной частоте  $\omega_{pe} = \sqrt{\frac{4\pi ne^2}{m_e}}$

(где  $n$  – концентрация электронов плазмы,  $e$  и  $m_e$  – заряд и масса электрона) при рассеянии ленгмюровских волн на ионах плазмы:  $l + i \rightarrow t_1 + i$  (где  $l$  – ленгмюровская волна,  $t_1$  – поперечная волна первой гармоники,  $i$  – ион) [2, 3]. Кроме излучения основного тона, иногда могут наблюдаться вторая и третья гармоники излучения [4]. Излучение на второй гармонике генерируется на удвоенной плазменной частоте при слиянии двух ленгмюровских волн ( $l + l \rightarrow t_{II}$ ) [3] или ленг-

© А. И. Браженко, О. С. Пылаев, В. Н. Мельник,  
А. А. Коноваленко, А. В. Французенко, В. В. Доровский,  
Р. В. Ващишин, Х. О. Рукер, 2013

мюровской волны и поперечной волны первой гармоники ( $l + t_1 \rightarrow t_{II}$ ) [5]. Очень редко регистрируется третья гармоника излучения всплесков III типа. Так, Хэддок и Такакура [6] сообщали о наблюдении одновременно трех гармоник U-всплесков, которые являются подклассом всплесков III типа, с отношением частот 1:2:3. В литературе отмечаются случаи одновременного наблюдения всплесков V типа, которые также являются подклассом всплесков III типа, с соотношением частот 2:3 [7] и всплесков U- и J-типа с таким же отношением [8]. Отметим, что наблюдались также три гармоники всплесков II типа [9–11]. Только в последней из перечисленных работ представлены наблюдения в декаметровом диапазоне длин волн.

Железняков и Злотник [12] предложили теорию, объясняющую излучение третьей гармоники в рамках плазменного механизма излучения. Впоследствии она была обобщена для случая более высоких гармоник излучения [13–15]. Согласно этой теории излучение на третьей гармонике может генерироваться на утроенной плазменной частоте в одном из следующих процессов: слияние трех ленгмюровских волн ( $l + l + l \rightarrow t_{III}$ ), двух ленгмюровских волн и поперечной волны первой гармоники ( $l + l + t_1 \rightarrow t_{III}$ ) или ленгмюровской волны и поперечной волны второй гармоники ( $l + t_{II} \rightarrow t_{III}$ ).

Обнаружение излучения трех гармоник всплесков III типа в декаметровом диапазоне длин волн и исследование их свойств будет способствовать уточнению теории плазменного механизма излучения всплесков, а также позволит определять параметры корональной плазмы, в которой генерируется это излучение.

В настоящей работе сообщается о наблюдении тройных всплесков III типа в декаметровом диапазоне длин волн, у которых отношение частот в определенный момент времени близко к 1:2:3. Анализируются их свойства, и обсуждается наличие гармонической связи компонентов этих всплесков.

## 2. Наблюдения

Наблюдения проводились на радиотелескопе УРАН-2 (Полтава). Это один из крупнейших радиотелескопов декаметрового диапазона (с эффективной площадью 28000 м<sup>2</sup>), способный при-

нимать излучение двух линейных (круговых) поляризацій [16]. Спектрограф DSPz [17] позволяет регистрировать излучение с частотным разрешением до 4 кГц и временным разрешением до 10 мс во всей полосе частот 8÷32 МГц.

За время серий наблюдений весной – осенью 2011 г. и летом 2012 г. было зарегистрировано 27 тройных всплесков, которые состояли из комбинации всплесков IIIb и III типа. В это время наблюдения велись в полосе частот 8÷32 МГц с частотным и временным разрешением 4 кГц и 100 мс соответственно.

Можно выделить такие закономерности состава тройных всплесков III типа: 1-й компонент был преимущественно всплеском IIIb типа, 2-й и 3-й компоненты в равном числе случаев являлись всплесками III типа или IIIb типа. При этом всплеск III типа был 1-м компонентом только в комбинации III-III-III, а всплеск IIIb типа был 3-м компонентом только в комбинации IIIb-III-IIIb. Наиболее часто наблюдались тройные всплески, состоящие из следующих комбинаций всплесков: IIIb-IIIb-III и IIIb-III-IIIb. Примеры таких всплесков представлены на рис. 1, где хорошо видны всплески III и IIIb типов на частотах от 32 до 8 МГц.

## 3. Свойства всплесков

Мы исследовали разнообразные зависимости параметров компонентов тройных всплесков от типа всплеска, положения в тройном всплеске и от частоты излучения. С этой целью были проанализированы характерные особенности всплесков, усредненные в частотных интервалах по 4 МГц: 8÷12, 12÷16, 16÷20, 20÷24, 24÷28, 28÷32 МГц.

Следует отметить, что мы не обнаружили какой-то определенной зависимости потока излучения ни от частоты, ни от типа всплеска, ни от положения всплеска в тройном всплеске.

Другие свойства зарегистрированных тройных всплесков и их компонентов представлены ниже.

### 3.1. Длительность

Длительность всех рассматриваемых всплесков увеличивается с уменьшением частоты. Мы получили, что длительность по уровню 0.5 пото-

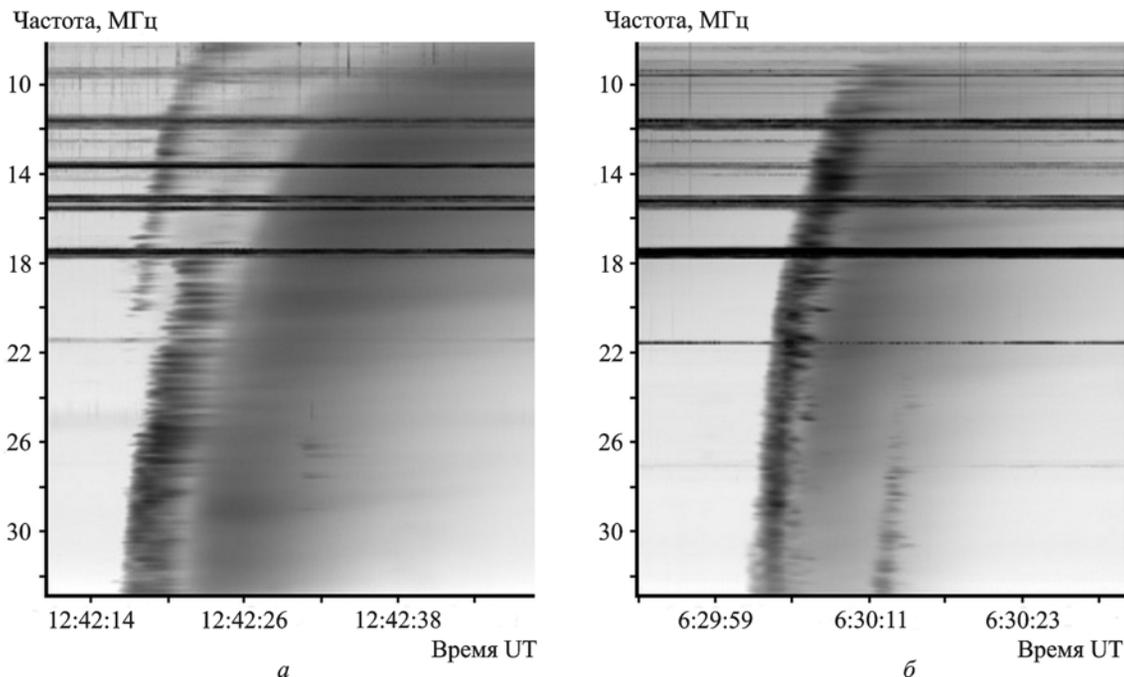


Рис. 1. Примеры тройных всплесков III типа, которые были зарегистрированы 19.07.2012 г. (а) и 20.07.2012 (б)

ка излучения всплесков IIIb типа меняется от  $0.3 \div 2$  с на частотах  $28 \div 32$  МГц до  $1 \div 3$  с на частотах  $8 \div 12$  МГц. Увеличение длительности с уменьшением частоты более заметно у всплесков III типа: от  $3 \div 7$  с на частотах  $28 \div 32$  МГц до  $9 \div 12$  с на частотах  $12 \div 16$  МГц. Полученные значения согласуются с результатами других наблюдений в декаметровом диапазоне длин волн [1, 18, 19]. Как было показано в работе [20], длительность всплесков III типа определяется пространственными размерами пучков электронов, которые эти всплески генерируют. Следовательно, наблюдаемое увеличение длительности всплесков с уменьшением частоты связано с увеличением размера пучка электронов при его движении в солнечной короне.

Длительность всплесков III типа больше, чем у всплесков IIIb типа в соответствующих диапазонах частот. Мы не обнаружили явной зависимости между длительностями разных компонентов тройных всплесков, являющихся всплесками одного типа. На рис. 2 приведена усредненная по всем зарегистрированным тройным всплескам длительность компонентов вне зависимости от типа всплеска. Меньшая длительность 1-го компонента объясняется тем, что чаще всего 1-м компонентом выступал всплеск

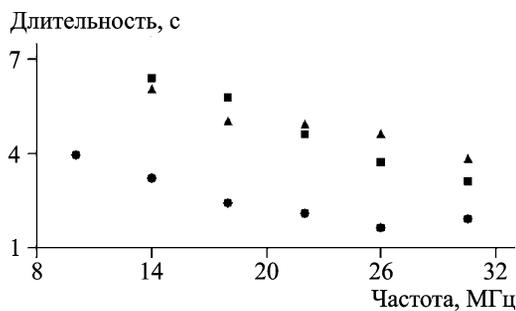


Рис. 2. Средняя длительность компонентов тройных всплесков в зависимости от частоты: ● – 1-й компонент, ▲ – 2-й компонент, ■ – 3-й компонент

IIIb типа. Примерно одинаковая длительность 2-го и 3-го компонентов связана с тем, что они в равном числе случаев являлись всплесками III и IIIb типов.

Так как многие всплески не обнаруживались на низких частотах, мы не можем дать оценку отношения длительностей в определенный момент времени. Однако большая длительность всплесков III типа на одной частоте вне зависимости от положения в тройном всплеске может свидетельствовать о разных размерах источников излучения. Если компоненты тройных всплесков являются гармониками, то у них должен быть один источник излучения; в таком случае неодинако-

вая длительность всплесков разного типа может объясняться неоднородной структурой источника излучения.

### 3.2. Скорость дрейфа

Все компоненты тройных всплесков дрейфуют от высоких частот к низким. Скорость дрейфа лежит в пределах от 1 до 5 МГц/с как для всплесков IIIb типа, так и для всплесков III типа. Эти результаты аналогичны полученным в предыдущих исследованиях [1, 18, 19]. Мы обнаружили, что скорость дрейфа линейно зависит от частоты у всех компонентов большинства зарегистрированных тройных всплесков:

$$\frac{df}{dt} = -bf. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности  $b$  лежит в пределах от  $0.05 \text{ с}^{-1}$  до  $0.2 \text{ с}^{-1}$  для обоих типов всплесков. Такие значения близки к полученным в работах [21, 22]. Скорости дрейфа различных компонентов тройного всплеска отличаются незначительно в соответствующих частотных интервалах: в среднем отклонение составляет около 10 %, а средняя скорость дрейфа 1-го компонента больше, чем у других компонентов. Прослеживается тенденция, выражающаяся в том, что скорость дрейфа 2-го компонента несколько больше, чем у 3-го. На рис. 3 представлены зависимости средних скоростей дрейфа компонентов зарегистрированных тройных всплесков от частоты.

Если предположить наличие гармонической связи компонентов тройных всплесков, их излучение генерируется на местной плазменной ча-

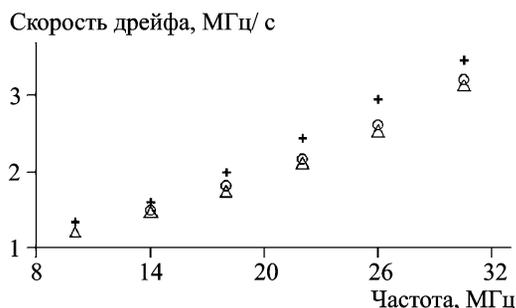


Рис. 3. Зависимости средних скоростей дрейфа компонентов тройных всплесков от частоты: + – 1-й компонент, o – 2-й компонент, Δ – 3-й компонент

стоте и ее гармониках, которые зависят от электронной плотности плазмы. Следовательно, близкие значения скоростей дрейфа компонентов тройных всплесков свидетельствуют о схожих условиях в области генерации, и можно считать, что у компонентов один источник излучения.

Поскольку излучение всплесков III типа генерируется на местной плазменной частоте или ее гармониках, эти всплески можно рассматривать как зонды для изучения плазмы. Например, по изменению скорости дрейфа можно судить об изменении плотности плазмы в короне на пути следования пучка электронов.

Рассмотрим, к каким следствиям приводит тот факт, что скорость дрейфа линейно зависит от частоты излучения. Так как частота излучения определяется местной плазменной частотой, которая в свою очередь зависит от плотности плазмы, можно выражение для скорости дрейфа представить в виде

$$\frac{df}{dt} = \frac{df}{dn} \frac{dn}{dr} \frac{dr}{dt}. \quad (2)$$

Здесь  $f$  – частота излучения,  $n$  – концентрация электронов в плазме,  $r$  – расстояние от Солнца до места генерации излучения. В случае первой гармоники частота излучения совпадает с местной плазменной частотой  $f = f_{pe}$ , поэтому  $\frac{df}{dn} = \frac{f_{pe}}{2n}$ . Будем предполагать, как это обычно делается, что электроны движутся по открытым магнитным силовым линиям в радиальном направлении от Солнца, а следовательно,  $\frac{dr}{dt} = v_s$ , где  $v_s$  – скорость пучка электронов. Как правило, предполагается, что эта скорость близка к значению  $v_s = 0.3c$  ( $c$  – скорость света) и практически остается постоянной. Учитывая все это, а также сравнивая выражения (1) и (2), получаем уравнение для плотности плазмы:

$$\frac{f}{2n} \frac{dn}{dr} v_s = -bf,$$

разрешая которое относительно  $n(r)$ , находим

$$n = n_0 \exp(-2br/v_s).$$

Таким образом, мы получили, что плотность плазмы на пути следования пучка электронов, ответственного за излучение всплеска III типа,

экспоненциально уменьшается с увеличением высоты.

Коэффициент пропорциональности  $b$  указывает на размер неоднородности короны  $a = \left| n \frac{dr}{dn} \right| = \frac{v_s}{2b}$ .

### 3.3. Мгновенное отношение частот

Из-за помех и влияния ионосферы на низких частотах многие всплески не обнаруживались, поэтому для установления отношения частот компонентов тройных всплесков во всем диапазоне частот 8 ÷ 32 МГц мы экстраполировали треки всплесков в области низких частот, исходя из их поведения на более высоких частотах. При этом были проанализированы различные функциональные зависимости частоты максимумов потока всплесков от времени. Наилучшей оказалась экспоненциальная зависимость

$$f = C \exp(-bt). \quad (3)$$

Это естественно, учитывая линейную зависимость скорости дрейфа от частоты: решая уравнение (1) относительно  $f(t)$ , получим (3).

Мгновенное отношение частот компонент тройного всплеска мы находили усреднением отношения частот в точках временного интервала, в котором компоненты тройного всплеска лежат в полосе частот 8 ÷ 32 МГц. Полученное таким образом отношение частот максимумов интенсивности 3-го и 1-го компонентов в определенный момент времени равно  $f_3 : f_1 = 2.7 : 1$ , 3-го и 2-го компонентов –  $f_3 : f_2 = 1.5 : 1$ , а 2-го и 1-го компонентов –  $f_2 : f_1 = 1.8 : 1$  (см. рис. 4). Мгновенное отношение частот второго и первого компонентов, чуть меньшее 2, такое же, как и в наблюдаемых гармонических парах [1, 18].

Отличие полученного отношения частот  $f_3 : f_2 : f_1 = 2.7 : 1.8 : 1$  от отношения  $f_3 : f_2 : f_1 = 3 : 2 : 1$ , которое должно быть в случае излучения на первой, второй и третьей гармониках, может быть связано с их различной групповой скоростью. Найдем групповые скорости электромагнитной волны для различных гармоник в месте генерации излучения. Будем предполагать, что электроны пучка со скоростью  $v_s$  генерируют ленгмюровские волны с волновыми числами  $k_l = \omega_l / v_s$  вследствие условия черенковского резонанса  $\omega_l = k_l v_s$ . В процессе трансформации

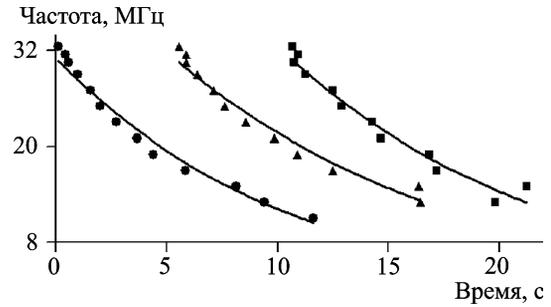


Рис. 4. Треки компонент тройного всплеска на динамическом спектре. Линиями показана экспоненциальная модель максимумов потока излучения компонент тройного всплеска. Маркерами отмечено время максимума потока излучения соответствующих компонент тройных всплесков: ● – 1-й компонент, ▲ – 2-й компонент, ■ – 3-й компонент

ленгмюровских волн в поперечные,  $l + i = t + i$ , частота поперечной волны равна частоте ленгмюровской волны:

$$\omega_l = \omega_i.$$

Поэтому, используя законы дисперсии для ленгмюровских волн,  $\omega_l = \sqrt{\omega_{pe}^2 + 3k_l^2 v_{Te}^2}$ , и поперечных волн,  $\omega_l = \sqrt{\omega_{pe}^2 + k_l^2 c^2}$ , получаем:

$$k_l = \sqrt{3} \frac{v_{Te}}{c} k_i = \sqrt{3} \frac{v_{Te}}{c} \frac{\omega_l}{v_s}.$$

Учитывая, что групповая скорость электромагнитной волны

$$v_{gr} = \partial \omega_l / \partial k_l = k_l c^2 / \omega_l, \quad (4)$$

получаем начальную групповую скорость первой гармоники:

$$v_{gr} = \sqrt{3} \frac{v_{Te}}{v_s} c. \quad (5)$$

Из (5) при тепловой скорости электронов  $v_{Te} = 5 \cdot 10^8$  см/с и скорости электронов пучка  $v_s = 10^{10}$  см/с находим, что групповая скорость первой гармоники в месте генерации излучения равна  $v_{gr} = 0.085c$ .

В процессе трансформации ленгмюровских волн в поперечные,  $l + l = t$ , частота поперечной волны равна  $\omega_l = \omega_{l1} + \omega_{l2}$ . В законе дисперсии ленгмюровских волн,  $\omega_l = \sqrt{\omega_{pe}^2 + 3k_l^2 v_{Te}^2}$ , вследствие условия черенковского резонанса,  $\omega_l = k_l v_s$ ,

второе слагаемое в подкоренном выражении  $3k_l^2 v_{Te}^2 = 3\omega_l^2 \frac{v_{Te}^2}{v_s^2} \ll \omega_{pe}^2$ , и им можно пренебречь. Тогда  $\omega_t = 2\omega_{pe}$ , и для волнового числа электромагнитной волны имеем

$$k_t = \sqrt{3} \frac{\omega_{pe}}{c}.$$

Учитывая (4), получаем, что групповая скорость второй гармоники в месте генерации излучения равна

$$v_{gr} = \frac{\sqrt{3}}{2} c = 0.85c.$$

В процессе генерации третьей гармоники,  $l+l+l=t$ , частота поперечной волны  $\omega_t = \omega_{l1} + \omega_{l2} + \omega_{l3}$ . Рассуждая так же, как и в случае второй гармоники, находим начальную групповую скорость:

$$v_{gr} = \frac{2\sqrt{2}}{3} c = 0.93c.$$

Как мы видим, групповые скорости более высоких гармоник излучения выше. При распространении в плазме солнечной короны групповые скорости всех гармоник увеличиваются (см. [23]) и достигают скорости света. Тем не менее более высокие гармоники из-за большей начальной скорости приходят на Землю раньше (“обгоняют” более низкие гармоники). То есть излучение, генерированное в одной точке одновременно на нескольких частотах, достигнет наблюдателя не одновременно: сначала будет зарегистрировано излучение на более высоких частотах. Таким образом, излучение нескольких гармоник, зафиксированное на динамическом спектре в данный момент времени, было генерировано в разное время на разных высотах в короне. Это приводит к тому, что обсуждаемое отношение частот  $f_3 : f_2 : f_1$  отличается от 3:2:1.

### 3.4. Поляризация

Сравнение степени круговой поляризации компонентов тройных всплесков показывает, что у всплесков IIIb типа она высокая и достигает

60 ÷ 70 %, у всплесков III типа существенно меньше и составляет не более 30 ÷ 40 %. Поляризация 1-го компонента всегда выше, чем у остальных компонентов. Кроме того, прослеживается тенденция, которая заключается в том, что поляризация 3-го компонента ниже поляризации 2-го компонента (для всплесков одного типа).

Высокая степень поляризация первой гармоники и низкая поляризация второй соответствуют теоретическим расчетам и наблюдениям [1, 18].

## 4. Обсуждение

По результатам анализа параметров всплесков можно выделить как свидетельства в пользу наличия гармонической связи компонентов тройных всплесков, так и в пользу ее отсутствия.

Подвергает сомнению наличие гармонической связи компонентов тройных всплесков отсутствие у всплесков III типа тонкой структуры в форме страй, характерной для всплесков IIIb типа, а также меньшая длительность всплесков IIIb типа [18]. Оба этих фактора могут говорить о различных источниках излучения разных типов всплесков. С другой стороны, это может быть следствием неоднородной структуры источника излучения [24].

В пользу наличия гармонической связи у компонентов зарегистрированных тройных всплесков III типа говорит мгновенное отношение частот, близкое к 1:2:3. Полученные значения отношений, меньшие 2 и 3, могут быть, как мы показали выше, объяснены разной групповой скоростью гармоник. Наличие гармонической связи подтверждается также поляризационными измерениями. Сильная поляризация первого компонента указывает на излучение основного тона, а слабая поляризация второго и третьего компонентов свидетельствует о том, что это излучение на второй и третьей гармониках [25]. Причиной незначительного отличия значений скорости дрейфа компонентов тройных всплесков являются схожие условия в области распространения источника излучения. Это может говорить о том, что у компонентов тройных всплесков один источник излучения, что подтверждает наличие гармонической связи.

В данный момент у нас нет однозначных неопровержимых свидетельств в пользу наличия или

отсутствия гармонической связи компонентов зарегистрированных тройных всплесков. Тем не менее большую часть зарегистрированных значе- ний характеристик всплесков и обнаруженных за- висимостей мы можем объяснить с точки зрения наличия гармонической связи компонентов трой- ных всплесков. Однако необходимы дальнейшие исследования, например, определение положения источников излучения компонентов тройных всплесков, объяснения механизма образования тон- кой структуры всплесков III и IIIb типов, наблюде- ния в более широком диапазоне частот.

Работа была проведена частично в рамках проек- та “SOLSPANET” (номер FP7-PEOPLE-2010 IRSES-269299).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Suzuki S. and Dulk G. A. Bursts of type III and type V. In: Solar Radiophysics. D. J. McLean and N. R. Labrum editors. – Cambridge: Cambridge University Press, 1985. – 516 p.
2. Ginzburg V. L. and Zheleznyakov V. V. On the possible mechanisms of sporadic solar radio emission (Radiation in an isotropic plasma) // Sov. Astron. – 1958. – Vol. 2. – P. 653–678.
3. Melrose D. B. Plasma emission mechanisms. In: Solar Radiophysics. D. J. McLean and N. R. Labrum editors. – Cambridge: Cambridge University Press, 1985. – 516 p.
4. Крюгер А. Солнечная радиоастрономия и радиофизика. Введение. – М.: Мир, 1984. – 469 p.
5. Melnik V. N. A nontraditional mechanism of emission of type III bursts at plasma double frequency // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. – 1991. – Vol. 7, Is. 3. – P. 69–71.
6. Kundu M. R. Solar Radio Astronomy. – New York: Inter- science Publ., 1965. – 660 p.
7. Benz A. O. Harmonic structure in a solar type V burst // Nat. Phys. Sci. – 1973. – Vol. 242, Is. 116. – P. 38–39.
8. Stewart R. T. Harmonic ratios of inverted-U type III bursts // CSIRO Division of Radiophysics Report. – 1962. – Vol. 142.
9. Kliem B., Kruger A., and Treumann R. A. Third plasma harmonic radiation in type II bursts // Sol. Phys. – 1992. – Vol. 140, Is. 1. – P. 149–160.
10. Zlotnik E. Ya., Klassen A., Klein K.-L., and Mann G. Third harmonic plasma emission in solar type II radio bursts // Astron. Astrophys. – 1998. – Vol. 331, Is. 3. – P. 1087–1098.
11. Dorovskyy V. V., Melnik V. N., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Abranin E. P., Stanislavsky A. A., and Lecacheux A. Decameter type II radio burst with three har- monics // European Planetary Science Congress 2007. – Potsdam (Germany). – 2007. – P. 688.
12. Zheleznyakov V. V. and Zlotnik E. Ya. On the third har- monic in solar radio bursts // Sol. Phys. – 1974. – Vol. 36, Is. 2. – P. 443–449.
13. Cairns I. H. Third and higher harmonic plasma emission due to Raman scattering // J. Plasma Phys. – 1987. – Vol. 38, Is. 2. – P. 199–208.
14. Yoon P. H., Gaelzer R., Umeda T., Omura Y., and Matsu- moto H. Harmonic langmuir waves. I. Nonlinear disper- sion relation // Phys. Plasmas. – 2003. – Vol. 10, Is. 2. – P. 364–372.
15. Yi S., Yoon P. H., and Ryu C.-M. Multiple harmonic plas- ma emission // Phys. Plasmas. – 2007. – Vol. 14, Is. 1. – id. 013301.
16. Brazhenko A. I., Bulatsen V. G., Vashchishin R. V., Frant- suzenko A. V., Konovalenko A. A., Falkovich I. S., Abra- nin E. P., Ulyanov O. M., Zakharenko V. V., Leca- cheux A., and Rucker H. O. New decameter radio polarim- eter URAN-2 // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Supplement series. – 2005. – Vol. 5. – P. 43–46.
17. Ryabov V. B., Vavriv D. M., Zarka P., Ryabov B. P., Ko- zhin R., Vinogradov V. V., and Denis L. A low-noise, high- dynamic-range, digital receiver for radio astronomy appli- cations: an efficient solution for observing radio-bursts from Jupiter, the Sun, pulsars, and other astrophysical plasmas below 30 MHz // Astron. Astrophys. – 2010. – Vol. 510. – id. A16.
18. Brazhenko A. I., Melnik V. N., Konovalenko A. A., Do- rovskiy V. V., Vashchishin R. V., Frantsuzenko A. V., and Rucker H. O. The comparative characteristic of observation data obtained by radio telescope URAN-2 // Odessa Astronomical Publications. – 2011. – Vol. 24. – P. 153–155.
19. Melnik V. N., Konovalenko A. A., Abranin E. P., Do- rovskyy V. V., Stanislavsky A. A., Rucker H. O., and Lecacheux A. Solar sporadic radio emission in the deca- metre waveband // Astron. Astrophys. Trans. – 2005. – Vol. 24, Is. 5. – P. 391–401.
20. Rutkevych B. P. and Melnik V. N. Propagation of type III solar bursts radio emission through the corona. Time pro- file // Radio Physics and Radio Astronomy. – 2012. – Vol. 3, Is. 3. – P. 205–213.
21. Wild J. P. Observations of the spectrum of high-intensity solar radiation at metre wavelengths. III. Isolated bursts // Aust. J. Sci. Res. – 1950. – Vol. 3. – P. 541–557.
22. Melnik V. N., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Boi- ko A. I., Dorovskyy V. V., Abranin E. P., and Lecacheux A. Observations of powerful type III bursts in the frequency range 10–30 MHz // Sol. Phys. – 2011. – Vol. 269, Is. 2. – P. 335–350.
23. Rutkevych B. P. and Melnik V. N. Propagation of type III solar bursts radio emission through the corona. Frequency drift rate // Radio Physics and Radio Astronomy. – 2012. – Vol. 3, Is. 4. – P. 285–290.
24. Takakura T. and Yousef S. Type IIIb radio bursts: 80 MHz source position and theoretical model // Sol. Phys. – 1975. – Vol. 40, Is. 2. – P. 421–438.
25. Dulk G. A. and Suzuki S. The position and polarization of type III solar bursts // Astron. Astrophys. – 1980. – Vol. 88, Is. 2. – P. 203–217.
24. Takakura T. and Yousef S. Type IIIb radio bursts: 80 MHz source position and theoretical model // Solar Physics. – 1975. – Vol. 40, Is. 2. – P. 421–438.

25. *Dulk G. A. and Suzuki S.* The position and polarization of type III solar bursts // *Astron. Astrophys.* – 1980. – Vol. 88, Is. 2. – P. 203–217.

*A. I. Браженко<sup>1</sup>, О. С. Пилаєв<sup>2</sup>, В. М. Мельник<sup>2</sup>,  
О. О. Коноваленко<sup>2</sup>, А. В. Французенко<sup>1</sup>,  
В. В. Доровський<sup>2</sup>, Р. В. Ващишин<sup>1</sup>, Г. О. Рукер<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С. І. Суботіна НАН України, вул. М'ясоєдова, 27/29, м. Полтава, 36029, Україна

<sup>2</sup>Радіоастрономічний інститут НАН України, вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

<sup>3</sup>Інститут космічних досліджень Австрійської академії наук, Шмідльштрассе, 6, м. Грац, 8042, Австрія

### СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТРЬОХ ГАРМОНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ СОНЯЧНИХ СПЛЕСКІВ ІІІ ТИПУ В ДЕКАМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Дискутуються властивості потрійних сплесків ІІІ типу (комбінації з трьох сплесків ІІІ або ІІІb типів) з відношенням частот максимумів потоку випромінювання у певний момент часу близьким до 1 : 2 : 3. Ці сплески спостерігалися на радіотелескопі УРАН-2 в діапазоні частот 8 ÷ 32 МГц. Аналізуються тривалість, швидкість дрейфу та поляризація сплесків, а також залежність цих параметрів від частоти, типа сплеску, положення в потрійному сплеску. Дискутується наявність гармонічного зв'язку компонентів потрійних сплесків.

*A. I. Brazhenko<sup>1</sup>, O. S. Pylaev<sup>2</sup>, V. N. Melnik<sup>2</sup>,  
A. A. Konovalenko<sup>2</sup>, A. V. Frantsuzenko<sup>1</sup>, V. V. Dorovsky<sup>2</sup>,  
R. V. Vashchishin<sup>1</sup>, and H. O. Rucker<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Poltava Gravimetric Observatory, S. Subotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 27/29, Miasoiedov St., Poltava, 36029, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine, 4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

<sup>3</sup>Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 6, Schmiedlstrasse, Graz, 8042, Austria

### OBSERVATIONS OF THE THREE HARMONIC COMPONENTS OF SOLAR TYPE III BURSTS AT DECAMETER WAVELENGTHS

Triple type III bursts (combinations of three type III or type IIIb bursts) with the frequency ratio of radiant flux maxima at a certain point of time of approx. 1 : 2 : 3 are presented. Observations were made with the URAN-2 radio telescope at 8 to 32 MHz. Main characteristics of the components of triple bursts, such as duration, drift rate, polarization, are studied. Also, the dependences of the mentioned parameters on frequency, burst type and component position within the triplet are discussed. The existence of harmonic relation of the triple burst components is discussed.

*Стаття постуила в редакцію 10.09.2013*