

УДК 523.98

## Спектральная плотность всплескового компонента солнечных шумовых бурь

Ю.Ф. Юровский

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 10 февраля 2007 г.

**Аннотация.** Спектральный анализ флуктуаций радиоизлучения шумовых бурь (ШБ) показал, что спектр любой ШБ не плоский, а гиперболический, и удовлетворительно описывается выражением  $G(F) \sim c/F$ . Спектр монотонный, не содержит компонент, превышающих уровень статистических флуктуаций, т. е. результаты наблюдений не выявляют наличие устойчивых периодических или резонансных свойств источника излучения. В связи с этим оказывается, что общепринятое предположение об образовании ШБ из кратковременных всплесков I типа противоречит наблюдениям, так как спектр суммы кратковременных импульсов плоский, а в реальных ШБ суммарная энергия всех коротких всплесков длительностью порядка секунды составляет лишь 3-5% полной энергии всплескового компонента. Остальные 95% энергии излучаются в виде долгоживущих всплесков продолжительностью от 1-2 до 300 с. Перечисленные свойства шумовых бурь не согласуются с гипотезой их излучения в результате действия нановспышек, так как выделение основной части энергии в виде импульсов продолжительностью более 10 с значительно превышает время существования событий, именуемых нановспышками.

SPECTRAL DENSITY OF BURST COMPONENT OF SOLAR NOISE STORMS, by *Y.F. Yurovsky*. The spectral analysis of noise storm (NS) fluctuations has shown that the power spectrum of any NS is not flat, it is hyperbolic and satisfactorily described by expression  $G(F) \sim c/F$ . The spectrum is monotonous, it does not contain components exceeding the level of statistical fluctuations, i.e. the results of observations do not reveal the presence of steady periodic or resonant properties of the source of radiation. It is shown that the widespread assumption of NS formation about short type I bursts contradicts to observations, because the spectrum of the sum of short pulses is flat, but in real NS the total energy of all short bursts with duration about one second contains only 3-5 % of complete energy of burst component. Other 95 % of energy are radiated as long-lived bursts with duration from 1-2 up to 300 s. The listed NS properties are not in agreement with a hypothesis of their radiation as a result of occurrence of nanoflares, because the emission of main part of energy as pulses with duration  $>10$  s exceeds considerably the time of existence of events called as nanoflares.

**Ключевые слова:** радиоизлучение Солнца, шумовые бури, спектр мощности, нановспышки.

---

## 1 Введение

Предполагается (Паркер, 1988), что активные области короны нагреваются мелкомасштабными вспышечно-подобными процессами, называемыми нановспышками. По мнению Мерсье и Тротье

(1997) радиовсплески могут быть индикатором этих нановспышек. Авторы полагают, что "...шумовые бури состоят ...из многочисленных короткоживущих ( $<1$  с) и узкополосных ( $<10$  МГц) всплесков типа I". Заметим, что в таком случае спектр всплескового компонента шумовой бури (ШБ) должен быть плоским подобно плоскому спектру шумов вакуумного диода, ток которого состоит также из коротких импульсов каждого электрона. Однако стандартный Фурье-анализ свидетельствует, что ШБ, наблюдавшиеся в 2001-2002 годах на частотах 280 и 300 МГц, имели гиперболический, а не плоский спектр (Юровский, 2003). В статье Мерсье и Тротье (1997) приведены данные наблюдений 11-ти ШБ на радиогелиографе Нансэ в мае-августе 1993 г. на частотах 164, 237, 327, 410 и 435 МГц, а также гистограммы распределения "амплитуды"  $A_b$  флуктуаций интенсивности этих ШБ. Информации, содержащейся в гистограммах, вполне достаточно для их трансформации в спектр мощности ШБ. Это дает возможность оценить характер спектра по независимой серии наблюдений на другом радиотелескопе и при отличающейся методике отбора и обработки данных. Таким образом, задачей данной работы явилось вычисление спектра мощности по экспериментальным данным из статьи Мерсье и Тротье (1997) для выяснения вопроса о том, является ли гиперболический характер спектра общим свойством ШБ независимо от длины волны и эпохи наблюдений. Во втором разделе изложена методика оценки спектра и приведены полученные результаты. В заключении перечислены выводы о свойствах ШБ, вытекающие из подтвержденного гиперболического характера спектра.

## 2 Методика оценки спектра по опубликованным результатам наблюдений

По определению ось ординат статистического распределения любой физической величины должна иметь размерность (Тихонов, 1982, стр. 20). Но на гистограммах в статье Мерсье и Тротье (1997) ось ординат (рис. 1) обозначена как безразмерное количество найденных амплитуд всплесков. Однако фактически количество всплесков подсчитывалось за интервал наблюдений, следовательно, размерность оси ординат является средней частотой следования  $F_b$  этих всплесков. Т. е. гистограмма определяет связь между частотой импульсов  $F_b$  (в Гц) и их амплитудой  $A_b$  (в единицах солнечного потока  $SFU = 10^{-22}$  Вт/(м<sup>2</sup> Гц)) и поэтому может быть преобразована в спектр изучаемого процесса (подробнее см. Тихонов (1982), стр. 146).

Необходимые преобразования заключаются в следующем. Как известно, распределением случайной величины  $A_b$  называется плотность вероятности  $w(A_b)$ , которая определяется как предел отношения вероятности попадания  $dN/N_{tot}$  этой величины в малый интервал  $[A_b, A_b + dA_b]$  к длине  $dA_b$  этого интервала:  $w(A_b) = dN/(N_{tot} \times dA_b)$  (Тихонов, 1982, стр. 20, 431). Здесь  $dN$  - количество амплитуд, попавших в интервал  $[A_b, A_b + dA_b]$ ,  $N_{tot}$  - полное количество амплитуд, встретившихся на всей исследуемой реализации ШБ длиной  $T_{tot}$  с. По данным наблюдений в статье показано, что в диапазоне длительности всплесков  $0.8 < D_b < 100$  с (диапазон частот  $1.25 < F_b < 0.01$  Гц), распределение амплитуды флуктуаций ШБ удовлетворительно аппроксимируется показательным законом:

$$dN/dA \sim A_b^{-\alpha} \quad \text{при } \alpha \approx 3 \pm 0.3. \quad (1)$$

Поскольку постоянный множитель не изменяет закон пропорциональности, а влияет только на масштаб соотношения, то авторы в выражении для плотности вероятности приняли величину  $1/N_{tot}=1$ . Далее мы тоже будем пользоваться этим приемом и полагать постоянные (в пределах рассматриваемой гистограммы) множители равными 1. Для преобразования плотности экспериментальных точек в каждом интервале  $dA_b$  в функциональную зависимость их количества  $dN$  от величины амплитуды  $A_b$  нужно уже найденное в равновеликих интервалах количество точек  $dN$  разделить на величину текущей амплитуды  $A_b$ . Поэтому разделим левую часть соотношения (1) на  $A_b$ , перенесем произведение  $A_b \times dA_b$  из знаменателя в правую часть соотношения (1) и примем  $dA_b = const = 1$ . В результате получим  $dN \sim A_b^{(1-\alpha)}$ . Далее учтем упоминавшуюся выше операцию, согласно которой количество амплитуд  $dN$  подсчитывалось на конкретной длине реализации  $T_{tot} = const = 1$ , т.е. фактически левая часть соотношения (1) является средней частотой  $F_b$  следования флуктуаций с амплитудой  $A_b$ . Следовательно, можно записать  $F_b \sim A_b^{(1-\alpha)}$ , откуда

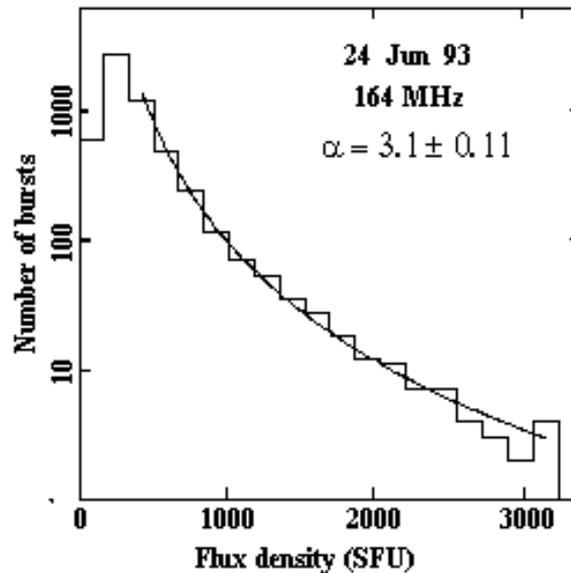


Рис. 1. Распределение амплитуд всплесков ШБ по данным Мерсье и Тротье (1997).

$A_b \sim F_b^{(1/(1-\alpha))}$ . Поскольку  $A_b$  – амплитуда флуктуаций, то для перехода к мощности  $P_b$  возведем в квадрат последнее соотношение и получим  $P_b \sim F_b^{(2/(1-\alpha))}$ . Если теперь разделить левую часть на постоянную величину  $\Delta f$ , подразумевая под этим некую элементарную полосу частот  $\Delta f = \text{const} = 1$ , то выражение будет представлять собой спектральную плотность флуктуаций:  $G(F_b) \sim F_b^{(2/(1-\alpha))}$ . Учитывая, что  $\alpha \approx 3$  и объединяя все постоянные величины в один коэффициент  $c = \text{const}$ , получаем

$$G(F_b) \sim c/F_b. \quad (2)$$

Таким образом, наблюдательные данные, приведенные в статье Мерсье и Тротье (1997), свидетельствуют о том, что *спектр мощности флуктуаций интенсивности ШБ обратно пропорционален частоте флуктуаций* (гиперболический спектр). Такой характер спектра не совсем обычен, так как полная энергия процесса (площадь под кривой спектральной плотности) стремится к бесконечности при  $F_b \rightarrow 0$ . В физике известно множество реально существующих устройств, обладающих подобным спектром. Если нарастание спектральной плотности при понижении частоты не обнаруживает тенденции к остановке или замедлению, то такое поведение спектра объясняется эффектом мерцания и называется фликкер-эффектом (Рытов, 1966, стр. 231). Не исключено также, что спектр описывается какой-либо другой функцией и лишь в интервале частот 0.01–1 Гц он удовлетворительно аппроксимируется гиперболической зависимостью.

### 3 Заключение

Таким образом, полученные ранее результаты стандартного Фурье-анализа флуктуаций 10-ти ШБ, наблюдавшихся в 2001–2002 годах (Юровский, 2003), и приведенная выше трансформация распределения амплитуд в спектр мощности по данным наблюдений других 11-ти ШБ в 1993 г. позволяют сделать следующие выводы.

1. Спектр любой шумовой бури не плоский, а гиперболический, нарастающий в сторону низких частот. В среднем плотность спектра мощности ШБ в диапазоне 0.003–1 Гц удовлетворительно описывается выражением  $G(F) \sim c/F$ .

2. Спектр монотонный и не содержит компонент, превышающих уровень статистических флуктуаций, т. е. результаты наблюдений не выявляют наличие устойчивых периодических или резонансных свойств источника излучения.

3. Общепринятая гипотеза образования ШБ из кратковременных всплесков I типа противоречит наблюдениям, так как спектр суммы кратковременных импульсов плоский, а в реальных ШБ суммарная энергия всех коротких всплесков длительностью порядка секунды составляет лишь 3-5% полной энергии всплескового компонента. Остальные 95% энергии излучаются в виде долгоживущих всплесков продолжительностью от 1-2 до 300 с (Юровский Ю.Ф. и Юровский Ю.Ю., 2006).

4. Механизм излучения ШБ должен обеспечивать одновременную генерацию колебаний интенсивности (всплесков) длительностью от долей секунды до 300 с.

5. Перечисленные свойства шумовых бурь не согласуются с гипотезой их излучения в результате действия нановспышек, так как выделение основной части энергии в виде всплесков продолжительностью более 10 с значительно превышает время существования событий, именуемых нановспышками.

### Литература

- Мерсье и Тротье (Mercier C., Trottet G.) // *Astrophys. Journal*. 1997. V. 474. P. L65-L68.  
Паркер (Parker E.N.) // *Astrophys. Journal*. 1988. V. 330. P. 474-479.  
Рытов С.М. // Введение в статистическую радиофизику.-М.: Наука. 1966. – 404 с.  
Тихонов В.И. // *Статистическая радиотехника*. – М.: Радио и связь. 1982. –624 с.  
Юровский Ю.Ф. // *Изв. Крымской Астрофиз.обс.* 2003. Т. 99. С. 92-100.  
Юровский Ю.Ф., Юровский Ю.Ю. // *Кинематика и физика небесных тел*. 2006. Т. 23. № 1. С.1-11.