

О частотных и временных характеристиках S-всплесков с линейным дрейфом ДКМ излучения Юпитера.

II. Серии всплесков

А. Г. Боев, Т. Е. Щербинина

Радиоастрономический институт НАН Украины
310002, Харьков, ул. Краснознаменная, 4

Статья поступила в редакцию 16 июня 1998 г.

Предложен механизм образования различных серий всплесков с линейным дрейфом. Дано объяснение постоянству частотной ширины полосы, ее периодической по времени структуре. Показано, что возможное число полос зависит от соотношения длины релаксации пучков и длины МГД волны.

Запропоновано механізм утворення різних серій сплесків з лінійним дрейфом. Дано пояснення постійності частотної ширини смуги, її періодичної за часом структури. Показано, що можливе число смуг залежить від співвідношення довжини релаксації пучків і довжини МГД хвиль.

1. Как уже упоминалось ранее [1], по данным каталогов [2-3] и более поздним [4] S-всплески с линейным дрейфом образуют продолжительные серии либо в некоторой полосе частот, либо в нескольких частотных полосах (рис. 1).

Временная структура серий в пределах одной полосы бывает различной. Обычно для серий характерна однопериодическая по времени эквидистантная структура (непрерывная серия), реже встречается двухпериодическая (рис. 2), состоящая из групп всплесков.

Серии и частотные полосы характеризуют свойства механизма генерации ДКМ излучения уже на гораздо больших (по сравнению с отдельным всплеском) интервалах времени и частоты, и поэтому они выявляют более тонкие детали этого механизма и более глубокие связи между отдельными его звеньями.

Вместе с тем, объяснение наблюдаемых свойств серий в настоящее время отсутствует, не проводился и анализ механизмов их образования. Исследование динамических спектров, проведенное в работе [5], затрагивает лишь некоторые детали этой проблемы, т. к. данные широкополосных измерений динамических спектров [4] в то время отсутствовали.

Спектры с периодическими частотными полосами (рис. 1) часто связывают с эффектами распространения излучения в межпланетной среде и в ионосферах Земли и Юпитера, в частности, – с фарадеевским вращением плоскости поляризации волны [6]. Однако объяснение формирования полос вспле-

сков с частотной шириной более 1 МГц в этом случае вызывает затруднение.

Целью настоящей работы является построение модели механизма образования различных серий всплесков с линейным дрейфом, объяснение их временных и частотных свойств, общих черт и различий.

Показано, что существование и свойства всех видов серий всплесков могут быть объяснены в рамках механизма “волна – пучок”, если дополнительно предположить:

а) пучки электронов, образующиеся в трубке Ио, периодически пространственно модулированы МГД волной;

б) временной период генерации пучков совпадает с периодом низкочастотной МГД волны, возмущающей поверхность трубки Ио – Юпитер, либо кратен ему.

В работе предложено объяснение факту образования серий всплесков с частотной шириной более 1 МГц преимущественно лишь в одной – двух частотных полосах, основанное на учете релаксации пучков электронов со временем. Зависимость числа полос от их частотной ширины может быть объяснена приблизительным постоянством длины релаксации образующихся пучков и различием длин МГД волн, возбуждающихся в трубке Ио – Юпитер.

Анализ наблюдаемых серий всплесков на основе предложенных моделей их образования позволяет получить дополнительную информацию о МГД волнах, параметрах электронных пучков и их источников.

2. Для понимания механизма образования серий всплесков и объяснения их свойств с точки зрения механизма формирования отдельного всплеска необходимо ответить на следующие вопросы:

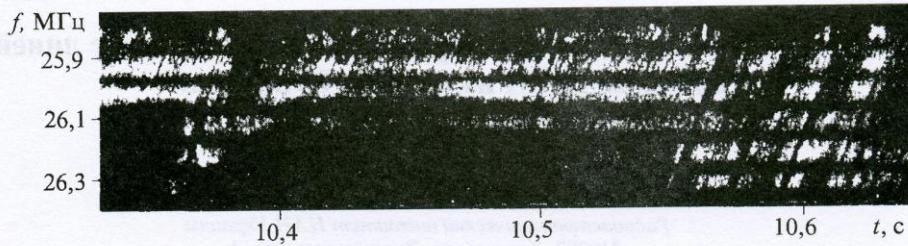


Рис. 1. Серии S-всплесков с линейным дрейфом в нескольких частотных полосах (из каталога [2])

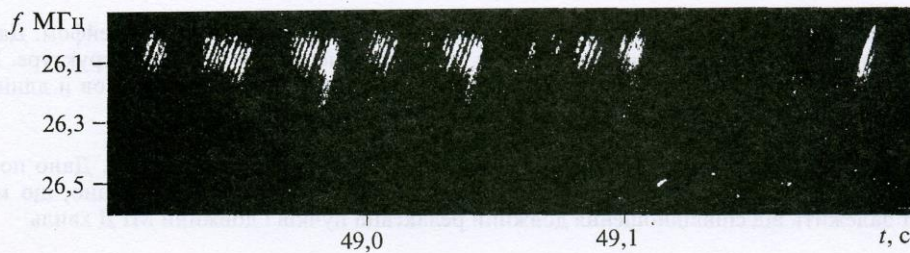


Рис. 2. Двухпериодическая по времени структура серии (из каталога [2])

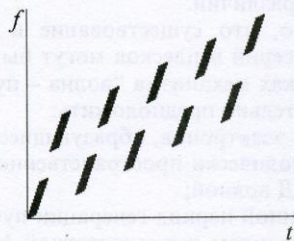


Рис. 3. Динамический спектр при периодической генерации пучков

а) как формируется периодическая, эквидистантная по времени (в среднем) структура серии;

б) почему всплески с большой частотной шириной (более 1 МГц) образуют всего лишь небольшое число частотных полос (одну, две), вместо ожидаемой [5] системы полос.

Как было отмечено ранее [5], наблюдаемые в эксперименте периодические динамические спектры могут быть объяснены при условии периодического возникновения в одном и том же месте трубки пучков электронов, формирующих излучение в данной полосе частот. При их дальнейшем движении вдоль трубки образуется система источников излучения с пространственным периодом $u\tau$, где τ – период генерации пучков, а u – их скорость. В ре-

зультате образуются динамические спектры с периодичностью в двух направлениях (см. рис. 3).

Однако в случае недрейфующих полос (иными словами – полос с постоянной в среднем начальной частотой отдельных всплесков) одного условия периодической генерации пучков недостаточно для объяснения их существования.

Как было показано в [1], пучки, определяющие излучение в данной полосе частот, образуются почти с одной и той же скоростью и практически в тот же момент времени, когда возникает всплеск; при этом свойства источника пучков связаны с параметрами МГД волны. Оставаясь в рамках этой модели, рассмотрим случай, когда период генерации пучков τ совпадает с периодом T низкочастотной МГД волны, возмущающей поверхность трубки Ио - Юпитер, либо кратен ему:

$$\tau = nT, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

В этом случае момент рождения каждого пучка будет синхронизирован с моментом появления зоны видимости в одном и том же месте трубки, соответствующем начальной частоте всплесков.

Вследствие этого, как в модели быстрых источников ($u > v_\phi$, v_ϕ – фазовая скорость МГД волны), так и в случае медленных ($u < v_\phi$), динамический спектр представляет собой эквидистантную по времени систему

всплесков с одинаковыми начальными частотами, аналогичную наблюдаемым в эксперименте спектрам [2-4]. При этом временные интервалы между всплесками в одной частотной полосе соответствуют периоду генерации пучков τ .

Учтем теперь, что каждая серия состоит из отдельных всплесков, частотная ширина которых Δf и временная длительность Δt (в случае линейного дрейфа) находятся в обратной зависимости от "расстройки" скоростей электронного пучка и МГД волны [1] ($u_0 \neq v_\phi$):

$$\Delta t = \frac{L + \Delta L}{u_0 - v_\phi},$$

$$\Delta f = -\Gamma \frac{L + \Delta L}{u_0 - v_\phi},$$

где L и u_0 – соответственно длина источника излучения (пучка электронов) и его начальная скорость; ΔL – размер области видимости; размерный множитель Γ определяет частотный дрейф ($df/dt = -\Gamma$).

Согласно [1], пучки, определяющие излучение в данной полосе частот, образуются с одной и той же начальной скоростью. На равенство скоростей образующих всплески пучков электронов указывает также и неизменный (с небольшим разбросом) частотный дрейф всплесков в серии. Длины пучков, длина и фазовая скорость МГД волны в пределах полосы существенно не изменяются. Вследствие этого частотная ширина Δf для всех всплесков полосы практически одинакова.

3. Рассмотрим теперь всплески, которые формируют две полосы частот (рис. 1, б из [1]), что согласно [5] говорит о том, что одни и те же пучки электронов участвуют в создании всплесков из двух зон видимости, образованных одной и той же МГД волной. Возникает вопрос, почему всплески с большой частотной шириной (более 1 МГц) образуют только одну или две частотные полосы вместо ожидаемой [5] системы полос.

Как было показано в [1], длина релаксации пучков ($L_r \sim 2 \cdot 10^3$ км) порядка длины МГД волны в случае всплесков с большой частотной шириной. Однако в формировании более коротких всплесков принимают участие МГД волны с длинами в несколько раз меньшими, чем длина релаксации пучков электронов со временем. Сопоставляя в каждом конкретном случае пространственные параметры волны и пучка, можно определить возможное число

частотных полос. Простая оценка показывает, что возможное число полос q не превышает значения отношения длины релаксации и длины МГД волны

$$q \leq L_r / \lambda,$$

что хорошо согласуется с наблюдаемыми экспериментальными данными.

Так, для полосы с частотной шириной $\Delta f \approx 1,5$ МГц (рис. 1, б из [1]) оценка числа полос дает – $q \leq 2$ ($\lambda \sim 10^3$ км, $L_r \sim 2 \cdot 10^3$ км).

4. В то же время для всплесков с малой частотной шириной необходимо принимать во внимание наличие двухпериодических структур всплесков, разделенных "темными" интервалами времени, где излучение не наблюдается (рис. 2).

Предположим, что в одной зоне видимости находятся несколько коротких источников излучения одинаковой длины, следующих друг за другом с одинаковой скоростью (рис. 4), то есть период волны синхронизирован с периодом генерации групп пучков. В этом случае разделение групп всплесков "темными" интервалами времени связано с разделением групп пучков пространственным периодом.

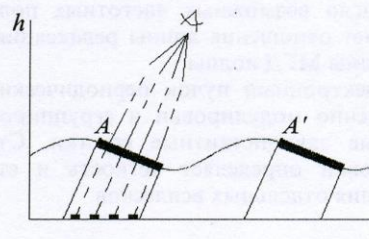


Рис. 4. Схема образования двухпериодической по времени структуры серии

Оценим параметры волны и источника пучков для такой серии (рис. 2): число всплесков в серии равно 8, длина каждого пучка $L \approx 30$ км, период генерации пучков $\tau \approx 0,002$ с, общее время серии (включая "темный" промежуток) $t \approx 0,036$ с. Считая, что одной зоне видимости ΔL соответствует группа из $p = 3$ пучков, наблюдаемых в один и тот же момент времени, получим

$$\Delta L = (L + u\tau) \cdot p.$$

Для данной серии $\Delta L \approx 250$ км, длина волны $\lambda \approx 500$ км. При этом фазовая скорость волны $v_\phi \approx 0,36c$, а ее период $T \approx 0,005$ с.

Отметим, что двухпериодическая структура серии может быть связана с корреляцией свойств источника пучков и МГД волн и требует дальнейшего изучения.

5. Как уже отмечалось ранее, наряду с сериями хорошо “разрешенных” всплесков в эксперименте наблюдаются и менее четкие (“смазанные”) полосы всплесков. В рамках предлагаемой модели этот факт можно объяснить, если предположить, что источник излучения состоит не из отдельных коротких электронных пучков, а является непрерывным с периодически модулированной в пространстве плотностью электронов. При достаточно большом периоде модуляции такой источник дает на динамическом спектре четко выраженные всплески, в противном случае его излучение будет непрерывным (“смазанным”).

Предложенный механизм образования различных серий всплесков с линейным дрейфом, объяснение их временных и частотных характеристик и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными приводит к следующим выводам:

1) Период генерации пучков совпадает с периодом низкочастотной МГД волны, возмущающей поверхность трубки Ио – Юпитер, либо кратен ему.

2) Число возможных частотных полос не превышает отношения длины релаксации пучков и длины МГД волны.

3) Электронный пучок периодически пространственно модулирован и сгруппирован в отдельные эквидистантные сгустки. Степень группировки определяет четкость и степень разрешения отдельных всплесков.

Авторы выражают благодарность профессору Ричарду Флаггу за разрешение использовать материалы каталога [2].

Литература

1. А. Г. Боев, Т. Е. Щербинина. Радиофизика и радиоастрономия. 1998, 3, №2, стр. 166-172.
2. R. S. Flagg, W. B. Greenman, F. Reyes, T. D. Carr. A Catalog of High Resolution Jovian Decametric Radio Noise Burst Spectra. Department of astronomy, University of Florida, Gainesville, Florida, 1991, 1, 200 p.
3. G. R. A. Ellis. An atlas of selected spectra of the Jupiter's S - bursts. Physics department University of Tasmania, November, 1979, 198 p.
4. B. P. Ryabov, P. Zarka, H. O. Rucker, V. B. Ryabov, and M. Y. Boudjada. Planetary Radio Emissions IV, Proceedings of the 4th International Workshop, Graz, Austria, 1996, pp. 51-63.
5. А. Г. Боев, М. Ю. Лукьянов, Н. А. Цвык. Кинематика и физика небес. тел. 1993, 9, № 6, с. 27-36.
6. J. W. Warwick, G. A. Dulk. Science. 1964, 145, No. 3630, pp. 380-383.

On Frequency and Time Characteristics of Jovian DCM Radio Emission S-Bursts with Linear Drift II. Series of Bursts

A. G. Boev, T. E. Shcherbinina

The formation mechanism of different series of the bursts with linear drift is proposed. The explanation of the constant frequency width and periodical structure of the band is given. It is shown that possible amount of bands depends on the relation between the relaxation length of the beam and the length of MHD wave.