

УДК 523.45-77

**А. В. Архипов**

Радиоастрономический институт Национальной академии наук Украины  
61002, Харьков, ул. Червонопрапорна 4

### Моделирование морфологии S-вспышек и NB-компонента декаметрового радиоизлучения Юпитера

*Динамические спектры S-всплесков и узкополосного (NB) компонента декаметрового радиоизлучения Юпитера классифицированы Й. Риихимаа (1990, 1991). Большинство их остается загадкой. Показано, что эти типы спектров могут быть объяснены спиральным движением радиоисточников при малой групповой скорости излучения.*

*МОДЕЛЮВАННЯ МОРФОЛОГІЇ S-СПАЛАХІВ ТА NB-КОМПОНЕНТА ДЕКАМЕТРОВОГО РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ ЮПІТЕРА, Архипов О. В. — Динамічні спектри S-спалахів та вузькосмугового (NB) компонента декаметрового радіовипромінювання Юпітера класифіковані Й. Рііхімаа (1990, 1991). Більшість їх залишається загадкою. Показано, що ці типи спектрів можуть бути пояснені спіральним рухом радіоджерел при малій груповій швидкості випромінювання.*

*MODELLING THE MORPHOLOGY OF S-BURSTS AND NB-COMPONENT OF THE JOVIAN DECAMETRIC RADIO EMISSION, by Arkhipov A. V. — Dynamic spectra of S-bursts and narrow-band (NB) component of the Jovian decametric radio emission were classified by J. Riihimaa (1990, 1991). Most of them are a puzzle. It is shown that these spectral types can be explained in terms of a helical motion of radio sources with a small group velocity of the emission.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Кратковременные вспышки декаметрового радиоизлучения Юпитера открыты почти полвека назад [11] и до сих пор во многом остаются загадкой. Эти краткие (short) увеличения радиопотока или S-всплески наблюдаются в диапазоне частот от 6 до 36 МГц [24]. Простейшей формой S-всплеска на плоскости частота — время ( $f - t$ ) является узкая наклоненная полоса излучения, дрейфующая со скоростью порядка  $-20$  МГц/с и имеющая мгновенное протяжение по частоте около 30 кГц, а продолжительность импульса составляет 1—300 мс [19, 24].

Нередки гораздо более сложные узоры S-излучения [18, 19]. Лишь отдельные, как правило, простейшие его формы рассмотрены теоретически.

Неизвестные короткоживущие структуры плотности [3] и/или локальные электрические поля [9, 24], общая концепция самоорганизации систем в критическом состоянии [19] и запаздывание излучения [22] предлагались как пути интерпретации сложных S-всплесков. Однако согласно Б. П. Рябову [4] богатое разнообразие S-форм остается все же непонятым: «Спектры такого рода трудно объяснимы с точки зрения причинно-следственных связей, так как излучение возникает в какой-то момент времени независимо на двух значительно разнесенных частотах, и затем спектр плавно сливается в одной точке на  $f-t$  плоскости».

Автором было обнаружено, что 90 % форм наиболее сложных динамических спектров S-всплесков легко моделируются, если предположить движение S-источника по спиральной траектории при низком значении групповой скорости излучения [1]. Заманчиво объяснить такие траектории квазистатической спиральностью магнитных силовых линий в окрестностях S-источника, т. е. в магнитной трубке спутника Ио, вдоль которой протекают мощные электрические токи. Именно такая структура поля предполагалась независимо другими исследователями [5, 19]. Однако это объяснение испытывает трудности при интерпретации генетической связи S-всплесков с редкими полосами узкополосного радиоизлучения квазипостоянной частоты, именуемых N-всплесками [15] или NB-событиями [6] (narrow-band events). Ниже мы предлагаем модификацию спиральной модели, которая позволяет воспроизвести классификацию как S-всплесков, так и элементов NB-событий [17, 18].

## МОДЕЛЬ

Предлагаемая модель не претендует на объяснение механизма генерации S/NB-излучений. В ее основу положены наиболее общие экспериментальные требования, предъявляемые к таким механизмам.

1. Излучение узкополосно и генерируется на частоте  $f = Kf_c$ , где коэффициент  $K$  близок к 1,  $f_c$  — локальная циклотронная частота электронов.

2. Групповая скорость излучения  $V_g$  мала по сравнению со скоростью света  $c$ . Это достаточное условие усиления излучения в источнике весьма популярно в теории S-всплесков [12, 14, 23].

3. Диаграмма направленности (ДН) излучения является полым конусом, направленным от Юпитера, с осью, ориентированной параллельно локальному вектору магнитного поля. Относительно оси ДН излучение распространяется под углами  $90^\circ \geq \psi \geq 80^\circ$ .

4. Источник S-излучения относительно компактен ( $\approx 20$  км [24]). В предлагаемой модели он считается точечным.

5. Генерация S-всплеска происходит в области мощного электрического тока, протекающего между Юпитером и Ио вдоль магнитных силовых линий (в трубке Ио). Предполагается, что магнитное поле этого тока может существенно возмущать планетарное поле в ближайших окрестностях трубки Ио ( $\sim 100$  км) [5].

6. Источник S-излучения движется от Юпитера вдоль магнитной силовой линии.

7 декабря 1995 г. магнитометр КА «Галилей» обнаружил около Ио поперечные волны с периодом 2 с (циклотронная частота  $SO_2^+$ ) и круговой поляризацией, что соответствует спиральной геометрии магнитного поля [10]. Аналогичные волны с периодами менее 0.4 с не могли регистрироваться «Галилеем», но их обнаружение позволило бы решить загадку S/NB-спектров. Такие возмущения магнитного поля весьма вероятны, поскольку

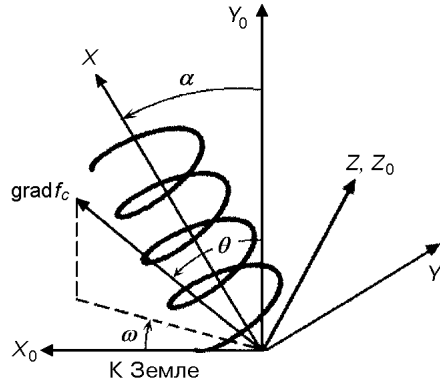


Рис. 1. Системы координат, использованные в модели. Ось  $X$  направлена приблизительно на Юпитер. Ось  $X_0$  ориентирована на Землю

на орбите Ио (в т. н. плазменном торе Ио) есть ионы с циклотронными частотами 2—30 Гц (например  $H^+$ ,  $O$  I—IV [21]), которые способны генерировать альвеновские волны [8].

Поперечное раскачивание источника в процессе его перемещения вдоль магнитной силовой линии, искаженной бегущей от Ио альвеновской волной, приводит в общем случае к спиральным траекториям S-излучателя (при круговой или эллиптической поляризации волны). При этом динамический спектр S-всплеска формируется вариациями времени задержки приема излучения и смещением его частоты за счет движения в неоднородном магнитном поле.

Тогда траектория излучателя может быть представлена в правой декартовой системе координат  $XYZ$  (рис. 1), у которой ось  $X$  направлена вдоль среднего направления локального вектора магнитного поля Юпитера, ось  $Y$  лежит в плоскости, проходящей через ось  $X$  и направление на Землю, а ось  $Z$  находится в картинной плоскости относительно наблюдателя:

$$X = V_s t + dX, \quad (1)$$

$$Y = A \sin[\varphi + 2\pi(V_s - V_a)t/\lambda] + dY, \quad (2)$$

$$Z = A \cos[\varphi + 2\pi(V_s - V_a)t/\lambda] + dZ, \quad (3)$$

где  $V_s$  — скорость источника вдоль трубки Ио;  $A$ ,  $\lambda$ ,  $V_a$  — соответственно амплитуда, длина и скорость волны Альвена;  $\varphi$  — угол фазы этой волны в момент  $t = 0$  (отсчитывается в плоскости  $ZY$  от оси  $Z$  в направлении оси  $Y$ );  $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$  — константы смещения, введенные для моделирования излучения группы источников.

Пусть ось траектории излучателя наклонена на угол  $\alpha$  к картинной плоскости. Тогда положение источника в системе координат наблюдателя  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ , где ось  $X_0$  направлена к Земле, определяется выражениями

$$X_0 = X \sin \alpha - Y \cos \alpha, \quad (4)$$

$$Y_0 = X \cos \alpha + Y \sin \alpha, \quad (5)$$

$$Z_0 = Z. \quad (6)$$

Неоднородность магнитного поля учитывается через  $\text{grad} f_c$ , видимое направление которого задано углом наклона  $\theta$  и азимутальным отклонением  $\omega$  (рис. 1). Соответственно, изменения времени задержки и частоты относительно центра системы координат равно

$$\Delta t = -X_0/V_g, \quad (7)$$

$$\Delta f = |\text{grad} f_c| (X_0 \sin \theta \cos \omega + Y_0 \cos \theta + Z_0 \sin \theta \sin \omega). \quad (8)$$

Здесь  $\text{grad}f_c$  и групповая скорость  $V_g$  считаются константами. Дисперсия  $V_g$  по частоте игнорируется как эффект второго порядка. Вектор  $\text{grad}f_c$  задается так, чтобы его проекция на трубку Ио соответствовала градиенту планетарного поля, согласно модели VIP4 [7] для  $f_c \approx 20$  МГц (т. е.  $\approx 10^{-3}$  МГц/км). При этом тангенциальная к трубке Ио составляющая  $\text{grad}f_c$  формируется электрическим током трубки Ио. Для получения наблюдаемой шкалы времени S/NB-излучений требуется скорость  $V_g \sim 0.01c$  при учете предела  $A \leq 150$  км, найденного из РСДБ-измерений [13]. Согласно новейшим данным [20] в трубке Ио электронная плотность составляет всего  $2 \text{ см}^{-3}$ . Поэтому допустимо принять  $V_a = c$ .

Уравнения (1)—(8) позволяют вычислять динамический спектр как траекторию излучателя на плоскости «время ( $t + \Delta t$ ) — частота ( $\Delta f$ )». В расчетах учитывалось влияние ориентации ДН на видимость источника S/NB-излучения.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

С помощью вышеизложенной модели удалось воспроизвести численно все основные типы динамических спектров S/NB-излучений в том же масштабе, в котором они были опубликованы. Например, на рис. 2 перепечатана классификация S-всплесков Й. Риихимаа [18], и для сравнения даны модельные фигуры (точнее их оптимальные фрагменты, поскольку время и длительность генерации излучения являются свободными параметрами). Целью моделирования является не точное повторение наблюдавшихся фигур, а демонстрация принципиальной возможности воспроизведения различных типов спектров в рамках предложенной модели. Параметры модели для каждого типа S-всплесков приведены в табл. 1.

Модельные кривые вычислены при  $2000 \leq V_g \leq 6000$  км/с. Необходимые скорости удаления источника от Юпитера  $-30000 \leq V_s \leq -10000$  км/с вполне типичны среди других оценок [16]. Для всех моделей принято значение  $\alpha = -5^\circ$ . Этот выбор обусловлен измерениями *максимального* угла раствора конусной ДН S-излучения ( $\approx 85^\circ$ ), поскольку именно этот угол наименее искажен рефракцией в магнитосфере Юпитера [2]. Как правило, полагалось  $\omega = 0^\circ$ , но в ряде случаев (g, k, l, o, q) пришлось принять  $\omega = -20^\circ$  и менее (p). Угол  $\theta$  равен  $70^\circ$ — $80^\circ$  у двух третей типов S-всплесков. Для линейных S-всплесков (a, c, d) принято  $A = 0$ , а для остальных типов  $40 \leq A \leq 150$  км. Длина волны Альвена полагалась равной от 20 000 км до 200 000 км (у слабо искривленных типов b, e, f). Соответственно период поперечных колебаний S-источника составлял от 0.07 до 0.66 с.

В ряде случаев модель приходилось усложнять. Например, «разорванный» S-всплеск с-типа воспроизведен путем введения в расчеты скачка параметра  $K$  при удалении от Юпитера с 1 до 1.01, что привело к смещению всплеска по  $f$  и  $t$  (так как скорость  $V_g$  увеличилась от 6000 км/с практически до скорости света). Излом типа d можно объяснить скачком  $V_s$  (с 10 000 до 20 000 км/с). Тип t возникает при одновременном распространении вдоль одной и той же силовой линии двух S-излучателей, отстоящих на 200 км друг от друга. Аналогично в случае s, но излучатели разнесены не только вдоль магнитного поля (на 500 км), но и в перпендикулярном направлении (на 50 км). Группы из 2—3 сгустков излучающих электронов, двигающихся на расстоянии  $\sim 100$  км друг от друга, объясняют ветвления S-всплесков (типы i, j, k, o, p, q). Судя по различиям траекторий разных сгустков в одной группе, трубка Ио заметно неоднородна, что проявляется в различиях параметров  $A$  и  $\omega$  (типы j, k, p). Тип u

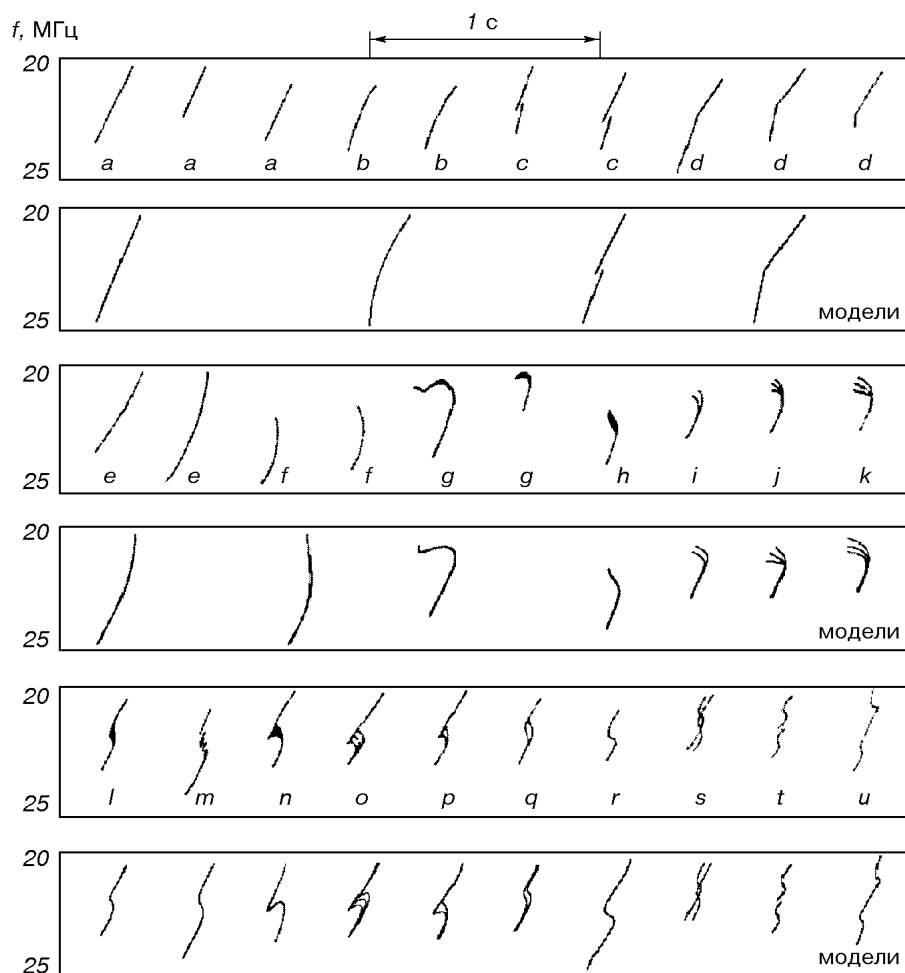


Рис. 2. Классификация S-всплесков согласно Й. Риихимаа [18] (обозначены буквами) и соответствующие динамические спектры, рассчитанные в том же масштабе при использовании значений параметров из табл. 1

реализуется при небольшом наклоне излучающей силовой линии к электрическому току в трубке Ио, что приводит к изменению  $\omega \approx -50^\circ X/\lambda$ .

На рис. 3 латинскими буквами отмечены типы элементов динамических спектров NB-излучения согласно Й. Риихимаа [17], и для сравнения в том же масштабе даны результаты моделирования. В отличие от S-всплесков, NB-спектры моделируются при  $V_s = 0$ , но при близких значениях остальных параметров ( $2000 \leq V_g \leq 3000$  км/с;  $130 \leq A \leq 150$  км;  $-5^\circ \leq \alpha \leq 0^\circ$ ;  $80^\circ \leq \theta \leq 85^\circ$ ;  $0^\circ \leq \omega \leq 20^\circ$ ), приведенных в табл. 2.

Основные элементы NB-излучения (V-события по [17]) являются производными одиночной гармонической волны Альвена, фаза которой равна  $\varphi$  при  $t = 0$ . Если максимальное смещение излучателя от невозмущенного положения ориентировано в направлении на наблюдателя, и туда же направлен  $\text{grad} f_c$ , то формируется классический V-минимум NB-излучения (тип a по Й. Риихимаа). Если максимальное отклонение излучателя происходит в антинаправлении на Землю, то имеем асимметричный максимум типа j. Если же максимум смещения лежит приблизительно в картинной плоскости, реализуется тип d. В последнем случае, при  $\alpha \approx 0^\circ$ , ДН

Таблица 1. Значения параметров, использованных при моделировании S-всплесков

| Тип | $V_g$ ,<br>км/с | $V_s$ ,<br>км/с | $A$ ,<br>км | $\lambda$ ,<br>км | $\theta$ | $\omega$ | $\text{grad}f_c$ ,<br>МГц/км | $dX$ ,<br>км | $dY$ ,<br>км | Примечания |
|-----|-----------------|-----------------|-------------|-------------------|----------|----------|------------------------------|--------------|--------------|------------|
| a   | 5000            | -17000          | 0           | —                 | 0°       | 0°       | 0.001                        | 0            | 0            |            |
| b   | 3000            | -17000          | 150         | 200000            | 0        | 0        | 0.001                        | 0            | 0            |            |
| c   | 6000            | -20000          | 0           | —                 | 0        | 0        | 0.001                        | 0            | 0            | 1          |
|     | 300000          | -20000          | 0           | —                 | 0        | 0        | 0.001                        | 0            | 0            |            |
| d   | 3000            | -20000          | 0           | —                 | 0        | 0        | 0.001                        | 0            | 0            | 2          |
|     | 3000            | -10000          | 0           | —                 | 0        | 0        | 0.001                        | 0            | 0            |            |
| e   | 3000            | -17000          | 150         | 200000            | 0        | 0        | 0.001                        | 0            | 0            |            |
| f   | 3000            | -17000          | 150         | 150000            | 0        | 0        | 0.001                        | 0            | 0            |            |
| g   | 2000            | -30000          | 120         | 50000             | 79       | -20      | 0.0052                       | 0            | 0            |            |
| h   | 3000            | -30000          | 70          | 40000             | 70       | 0        | 0.0029                       | 0            | 0            |            |
| i   | 3000            | -30000          | 100         | 40000             | 70       | 0        | 0.0029                       | 0            | 0            | 3          |
|     | 3000            | -30000          | 100         | 40000             | 70       | 0        | 0.0029                       | 100          | -50          |            |
| j   | 3000            | -30000          | 100         | 40000             | 70       | 0        | 0.0029                       | 0            | 0            | 3          |
|     | 3000            | -30000          | 70          | 40000             | 70       | 0        | 0.0029                       | -100         | 50           |            |
|     | 3000            | -30000          | 150         | 40000             | 70       | 0        | 0.0029                       | 100          | -50          |            |
| k   | 2000            | -30000          | 120         | 50000             | 74       | -20      | 0.0037                       | 0            | 0            | 3          |
|     | 2000            | -30000          | 150         | 50000             | 74       | -20      | 0.0037                       | 100          | -50          |            |
|     | 2000            | -30000          | 90          | 50000             | 74       | -20      | 0.0037                       | -100         | 50           |            |
| l   | 3000            | -20000          | 50          | 36000             | 70       | -20      | 0.0029                       | 0            | 0            |            |
| m   | 3000            | -20000          | 70          | 60000             | 70       | 0        | 0.0029                       | 0            | 0            |            |
| n   | 3000            | -30000          | 120         | 50000             | 80       | -20      | 0.0058                       | 0            | 0            |            |
| o   | 3000            | -20000          | 120         | 50000             | 77       | -20      | 0.0043                       | 0            | 0            | 3          |
|     | 3000            | -20000          | 120         | 50000             | 77       | -20      | 0.0043                       | 50           | -50          |            |
|     | 3000            | -20000          | 120         | 50000             | 77       | -20      | 0.0043                       | -50          | 50           |            |
| p   | 3000            | -20000          | 120         | 50000             | 74       | -20      | 0.0037                       | 0            | 0            | 3          |
|     | 3000            | -20000          | 70          | 50000             | 74       | -40      | 0.0037                       | -100         | 70           |            |
| q   | 3000            | -20000          | 50          | 36000             | 70       | -20      | 0.0029                       | 0            | 0            | 3          |
|     | 3000            | -20000          | 50          | 36000             | 70       | -20      | 0.0029                       | 50           | -50          |            |
| r   | 3000            | -20000          | 100         | 50000             | 80       | 0        | 0.0058                       | 0            | 0            |            |
| s   | 3000            | -20000          | 50          | 36000             | 70       | 0        | 0.0029                       | 0            | 0            | 3          |
|     | 3000            | -20000          | 50          | 36000             | 70       | 0        | 0.0029                       | 500          | -50          |            |
| t   | 3000            | -20000          | 40          | 20000             | 60       | 0        | 0.002                        | 0            | 0            | 3          |
|     | 3000            | -20000          | 40          | 20000             | 60       | 0        | 0.002                        | 200          | 0            |            |
| u   | 4000            | -20000          | 80          | 36000             | 70       | -50° X/λ | 0.0029                       | 0            | 0            | 4          |

Примечания:  $V_a = 3 \cdot 10^5$  км/с,  $\alpha = -5^\circ$ ,  $\varphi = 0^\circ$ ,  $dZ = 0$  км для всех моделей; 1 — скачок параметра  $K$  от  $\approx 1$  до 1.01 при удалении от Юпитера, соответствующий скачок по времени формируется на первых 200 км пути излучения; 2 — скачок  $V_s$ ; 3 — всплеск является суперпозицией излучений нескольких источников; 4 —  $\varphi = 180^\circ$

Таблица 2. Значения параметров, использованные при моделировании NB-излучения

| Тип | $V_g$ ,<br>км/с | $A$ ,<br>км | $\lambda$ ,<br>км | $\varphi$ ,<br>град | $\alpha$ ,<br>град | $\theta$ ,<br>град | $\omega$ ,<br>град | $\text{grad}f_c$ ,<br>МГц/км | Примечания |
|-----|-----------------|-------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|------------|
| a   | 2500            | 130         | 30000             | -90                 | -5                 | 80                 | 10                 | 0.0058                       |            |
| b   | 2500            | 150         | 30000             | -90                 | 0                  | 80                 | 0                  | 0.0058                       |            |
| c   | 2500            | 130         | 20000             | -90                 | 0                  | 80                 | 5                  | 0.0058                       | 1          |
| d   | 2000            | 150         | 20000             | 180                 | 0                  | 85                 | 0                  | 0.011                        |            |
| e   | 2000            | 150         | 20000             | 180                 | 0                  | 85                 | 0                  | 0.011                        | 1          |
| f   | 2000            | 150         | 20000             | 180                 | 0                  | 85                 | 0                  | 0.011                        | 1          |
| g   | 3000            | 150         | 30000             | -90                 | 0                  | 80                 | 10                 | 0.0058                       | 2          |
|     |                 | +20         | +7000             | 0                   |                    |                    |                    |                              |            |
| h   | 3000            | 150         | 30000             | -90                 | 0                  | 80                 | 10                 | 0.0058                       | 1, 2       |
|     |                 | +20         | +7000             | 0                   |                    |                    |                    |                              |            |
| i   | 2500            | 150         | 60000             | -90                 | -0.5               | 80                 | 10                 | 0.0058                       | 2          |
|     |                 | +10         | +5000             | 0                   |                    |                    |                    |                              |            |
| j   | 2000            | 150         | 70000             | 90                  | -0.3               | 80                 | 20                 | 0.0058                       | 2          |
|     |                 | +7          | +5000             | 0                   |                    |                    |                    |                              |            |
| k   | 3000            | 150         | 5000              | 0                   | 0                  | 83                 | 0                  | 0.0082                       |            |
| l   | 3000            | 150         | 30000             | -90                 | 0                  | 80                 | 0                  | 0.0058                       | 1, 2       |
|     |                 | +30         | +10000            | 0                   |                    |                    |                    |                              |            |

Примечания:  $V_s = 0$  км/с;  $V_a = 3 \cdot 10^5$  км/с;  $dX = dY = dZ = 0$  для всех моделей; 1 — несколько волн формируют группу однотипных элементов в спектре; 2 — суперпозиция волн двух различных масштабов

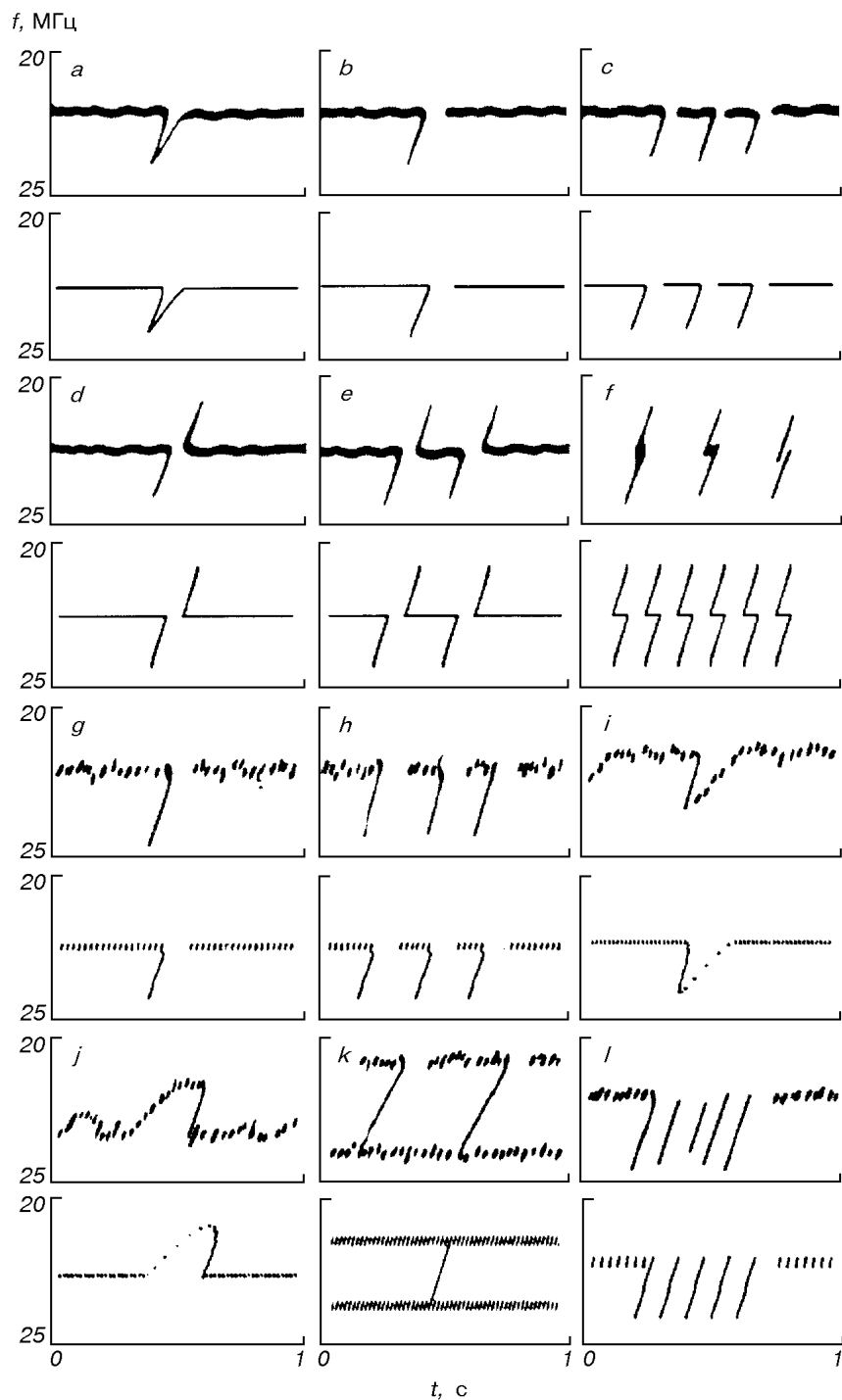


Рис. 3. Классификация NB-излучения согласно Й. Риикимаа [17] (обозначены буквами) и соответствующие динамические спектры, рассчитанные в том же масштабе при использовании значений параметров из табл. 2

позволяет видеть излучатель только при его приближении к Земле, что формирует характерный разрыв из пары S-всплесков. Аналогичная модуляция потока излучения делает невидимым правый склон V-события, что формирует типы b и g. Группы из нескольких b-событий формируют типы c, h, l. Соответственно, повторы d-событий порождают типы e, f.

Модель позволяет интерпретировать и тонкую структуру NB-излучения, иногда состоящего из последовательности периодических точек и черточек, именуемых Риихимаа [17] S-train «S-вереницей», изображенной на рис. 3, g—l. Такая структура возникает, если наряду с основной волной Альвена в трубке Ио распространяется и вторая, мелкомасштабная волна ( $7 \leq A \leq 30$  км и  $5000 \leq \lambda \leq 10\,000$  км). ДН излучения позволяет видеть только приближающийся к наблюдателю источник, что и формирует цепочку точек или черточек, различимых на модельных спектрах типов g, h, i, j, l. Возможно, отрицательный дрейф элементов «S-вереницы» возникает также за счет их немонохроматичности и дисперсионного «смазывания».

В случае типа k две «S-вереницы» можно трактовать как сосуществование двух источников излучения, разнесенных в пространстве. Однако на рис. 3 смоделирована другая, более интересная возможность: один источник быстро колеблется ( $\lambda = 5000$  км) со столь большой амплитудой ( $A = 150$  км), что узкая конусная ДН ( $90^\circ \geq \psi \geq 83^\circ$ ) делает его видимым дважды за период. Расширение стенок ДН может показать всю траекторию приближающегося источника, что выглядит как S-перемычка между двумя полосами.

#### ВЫВОДЫ

Как продемонстрировано выше, классификация S/NB-излучений Й. Риихимаа воспроизводима в рамках единой модели и при реалистических значениях ее параметров. Это свидетельствует в пользу правильности предложенной интерпретации морфологии динамических S/NB-спектров радиоизлучения Юпитера. Их моделирование определяется следующими положениями.

1. Поперечные колебания магнитных силовых линий в трубке Ио играют определяющую роль при формировании сложных типов S/NB-излучений.

2. S/NB-излучение Юпитера распространяется в трубке Ио с низкой групповой скоростью ( $\sim 1\%$  скорости света).

3. Магнитное поле в трубке Ио заметно отличается от невозмущенного планетарного поля (по  $\text{grad}f_c$ ). По-видимому, это связано с мощным электрическим током, протекающим в трубке Ио.

4. Излучающие сгустки электронов иногда движутся группами, создавая эффект расщепления и слияния некоторых S-всплесков.

5. Иногда какие-то внешние воздействия приводят к скачкообразным изменениям значений параметров  $K$  и  $V_s$  источника S-излучения.

Модельные расчеты позволяют сомневаться в реальности описанного в работах [6, 15, 17] взаимодействия S-всплесков с NB-излучением. Ведь и «S-всплески», и присоединенное к ним NB-излучение объяснимы поперечным (по отношению к магнитному полю) движением одного и того же источника, находящегося на *фиксированной высоте* над планетой. Классические же S-всплески принято связывать с источниками, быстро удаляющимися от Юпитера.

Предложенная модель может быть использована для дальнейшего изучения строения трубки Ио, токов и поперечных колебаний магнитного поля в ней.

1. Архипов А. В. Моделирование «алфавита» S-всплесков Юпитера // Радиофизика и радиоастрономия.—2002.—7, № 1.—С. 97—102.
2. Архипов А. В., Рябов Б. П. Диаграмма направленности S-компоненты декаметрового радиоизлучения Юпитера // Астрон. циркуляр.—1986.—№ 1456.—С. 4—5.
3. Боев А. Г., Щербинина Т. Е. О механизме образования S-всплесков декаметрового радиоизлучения Юпитера с положительным и более сложными типами частотного дрейфа // Кинематика и физика небес. тел.—1997.—13, № 3.—С. 3—9.



4. *Рябов Б. П.* Спорадическое радиоизлучение Юпитера. Мультимасштабные динамические спектры // *Радиофизика и радиоастрономия.*—2001.—6, № 1.—С. 103—130.
5. *Рябов Б. П., Герасимова Н. Н.* Декаметровое спорадическое радиоизлучение Юпитера. — Киев: Наук. думка, 1990.—240 с.
6. *Boudjada M. Y., Galopeau P. H. M., Rucker H. O., Lecacheux A.* Temporal evolution steps of Jovian narrow-band emissions // *Planetary Radio Emissions V* / Eds H. O. Rucker, M. L. Kaiser, Y. Leblanc. — Vienna: Austrian Acad. Sc., 2001.—P. 187—193.
7. *Connerney J. E. P., Acuna M. H., Ness N. F., Satoh T.* New models of Jupiter's magnetic field constrained by the Io flux tube footprint // *J. Geophys. Res.*—1998.—103, N A6.—P. 11929—11939.
8. *Das A. C., Ip W.-H.* Field aligned current and particle acceleration in the near-Io plasma torus // *Planet. Space Sci.*—2000.—48, N 2—3.—P. 127—131.
9. *Galopeau P. H. M., Boudjada M. Y., Rucker H. O.* Drift of Jovian S-burst inferred from adiabatic motion in a parallel electric field // *Astron. and Astrophys.*—1999.—341, N 3.—P. 918—927.
10. *Kivelson M. G., Khurana K. K., Walker R. J., et al.* Io's interaction with the plasma torus: Galileo magnetometer report // *Science.*—1996.—274, N 5286.—P. 396—398.
11. *Kraus J. D.* Some observations of the impulsive radio signals from Jupiter // *Astron. J.*—1956.—61, N 4.—P. 182—183.
12. *Le Queau D., Pellat R., Roux A.* Theory of planetary radio-emissions // *Adv. Space Res.*—1983.—3, N 3.—P. 25—29.
13. *Lynch M. A., Carr T. D., May J.* VLBI measurements of Jovian S bursts // *Astrophys. J.*—1976.—207, N 1.—P. 325—328.
14. *Melrose D. B. J.* A phase-bunching mechanism for fine structures in auroral kilometric radiation and Jovian decametric radiation // *J. Geophys. Res.*—1986.—91, N A7.—P. 7970—7980.
15. *Oya M., Ono T., Iizima M., Oya H.* Location of the acceleration region of the bunched electrons inferred from the interaction event of S-bursts with L-bursts and N-bursts // *Planetary Radio Emissions V* / Eds H. O. Rucker, M. L. Kaiser, Y. Leblanc. — Vienna: Austrian Acad. Sc., 2001.—P. 105—112.
16. *Planetary Radio Emissions IV* / Eds H. O. Rucker, S. J. Bauer, A. Lecacheux. — Vienna: Austrian Acad. Sc. Press, 1997.—P. 23—99.
17. *Riihimaa J. J.* Variants of tilted-V events in Jupiter's decametric radio spectra // *Earth, Moon and Planets.*—1990.—48, N 1.—P. 49—54.
18. *Riihimaa J. J.* Evolution of the spectral fine structure of Jupiter's decametric S-storms // *Earth, Moon and Planets.*—1991.—53, N 2.—P. 157.
19. *Ryabov B. P., Zarka P., Rucker H. O., et al.* Recurrent fine structures in Jovian S-burst emission // *Planetary Radio Emissions IV* / Eds H. O. Rucker, S. J. Bauer, A. Lecacheux. — Vienna: Austrian Acad. Sc. Press, 1997.—P. 65—89.
20. *Shaposhnikov V. E., Rucker H. O., Zaitsev V. V.* Origin of emission polarization in the great arc of the Io-A decametric storm // *Astron. and Astrophys.*—2000.—355, N 2.—P. 804—808.
21. *Shemansky D. E., Smith G. R.* Voyager 1 EUV spectrum of the Io plasma torus // *J. Geophys. Res.*—1981.—A86, N 11.—P. 9179—9182.
22. *Willes A. J.* On a phase-bunching model for Jovian S-bursts // *Planetary Radio Emissions V.* — Vienna: Austrian Acad. Sc. Press, 2001.—P. 97—103.
23. *Zaitsev V. V., Zlotnik E. Y., Shaposhnikov V. E.* The origin of S-bursts in Jupiter's decametric radio spectra // *Astron. and Astrophys.*—1986.—169, N 1—2.—P. 345—354.
24. *Zarka P., Ryabov B. P., Ryabov V. B., et al.* On the origin of Jovian decameter radio bursts // *Planetary Radio Emissions IV* / Eds H. O. Rucker, S. J. Bauer, A. Lecacheux. — Vienna: Austrian Acad. Sc. Press, 1997.—P. 51—63.

Поступила в редакцию 27.05.02