

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 523.164.32

УЗКОПОЛОСНАЯ КОМПОНЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИМПУЛЬСНОЙ ФАЗЕ МИКРОВОЛНОВОГО ВСПЛЕСКА

Б. Н. Левин, В. М. Фридман, О. А. Шейнер

Спектрографические наблюдения микроволнового излучения вспышек существенно расширяют возможности экспериментального исследования динамики процессов, происходящих в области энерговыделения. Так, результаты анализа спектров радиовсплесков в диапазоне 8—12 ГГц свидетельствуют о наличии быстрых (≤ 3 с) и медленных (≥ 10 с) изменений в спектральном индексе радиоизлучения [1]. Различные временные масштабы особенностей можно объяснить наличием двух механизмов генерации излучения в области источника. Вместе с тем существуют теоретические предположки, полагающие, что быстрая (импульсная) компонента излучения может быть узкополосной, имеющей частотный дрейф [2].

С целью исследования динамики импульсной компоненты излучения нами рассматривались спектральные и временные характеристики всплесков радиоизлучения Солнца в диапазоне 8—12 ГГц. Наблюдательные данные были получены в ноябре 1981 года на РТ-22 КрАО (угловое разрешение $\sim 4,5' - 6'$) с помощью универсального солнечного спектрографа последовательного анализа, позволяющего измерять спектр приходящего излучения со скоростью свипирования один спектр в секунду и частотным разрешением ~ 100 МГц [3]. Анализ проводился на материале наблюдений семи всплесков радиоизлучения, характеристики которых приведены в табл. 1. Обработкой предусматривалось определение текущих ежесекундных спектров всплесков радиоизлучения в единицах 10^{-22} Вт·м $^{-2}$ ·Гц $^{-1}$ (с. е. п.) с исключением коэффициентов передачи антенны и частотной характеристики приемного устройства по методике, изложенной в [4]. Максимальная ошибка, вычисленная исходя из параметров радиотелескопа и спектрографа [4], составляет 1—1,5 с. е. п. (дисперсия возможной ошибки $\sigma = 0.17 \div 0.25$ с. е. п.). Это значение несколько превышает величину разброса, полученную из экспериментальных измерений (см. рис. 1в, спектр 17.37 UT).

Таблица 1

№	Дата	А. О. и ее координаты	Время (UT) радиовсплеска	Поток радиоизлучения в пик всплеска ($f \sim 10$ ГГц) в с. е. п.
1	5.11.81	HR 17969 S12W11	08 ^h 35 ^m	350
2	12.11.81	HR 17992 N17W18	08 ^h 10 ^m	100
3	14.11.81	HR 17992 N17W44	07 ^h 20 ^m	30
4	14.11.81	HR 17992 N17W44	07 ^h 25 ^m	40
5	14.11.81	HR 17992 N17W44	08 ^h 01 ^m	50
6	14.11.81	HR 17992 N17W44	08 ^h 21 ^m	100
7	14.11.81	HR 17992 N17W44	10 ^h 18 ^m	180

Для выделения быстрых (~ 1 с) изменений из каждого последующего спектра излучения вычитался предыдущий и, таким образом, рассматривались ежесекундные приращения излучения по спектру (дифференциальные спектры — ДС). Подчеркнем, что по своему определению ДС не чувствительны к медленным ($t \gg 1$ с) изменениям спектра излучения.

При наблюдении участков спокойного Солнца и локального источника в не-вспышечные периоды ДС остаются нулевыми (см., например, рис. 1 б, интервал «О»), что свидетельствует об отсутствии каких-либо быстрых спектральных изменений в диапазоне 8—12 ГГц. На предимпульсной (preflash) и импульсной фазах радиовсплеска наблюдаются отдельные интервалы длительностью 3—5 с, внутри которых ДС уже не являются нулевыми. Спектральные изменения проявляются не во всем диапазоне одновременно: в большинстве случаев изменения имеют место сначала на низких частотах

тах и постепенно перемещаются к высоким. Причем таких спектральных событий по мере развития отдельного микроволнового всплеска может быть несколько (рис. 1 б. события А, В, С). На выбранных нами временных интервалах, суммируя ДС (последовательно за одну секунду, за две, за три и т. д.), мы тем самым восстанавливаем временную последовательность спектров той части излучения, которая имела быстрые спектрально-временные изменения. На рис. 1 для примера приведены: а) временной ход всплеска на фиксированной частоте; б) ежесекундные спектры приращений (интервалами А, В, С отмечены быстрые изменения в спектрах излучения); в) выделенное узкополосное импульсное излучение (событие А) — для всплеска радиоизлучения 14.11.81 в $10^h 18^m$ UT. Наклон пунктирной линии (рис. 1в), соединяющей максимумы излучения в последовательные моменты времени, характеризует частотный дрейф. Восстановленные спектры элементарных событий (рис. 1 в) свидетельствуют об узкополосности излучения ($\Delta f \sim 2 \div 3$ ГГц) и положительном частотном дрейфе со скоростью $v_{др} \sim 1 \div 2$ ГГц/с.

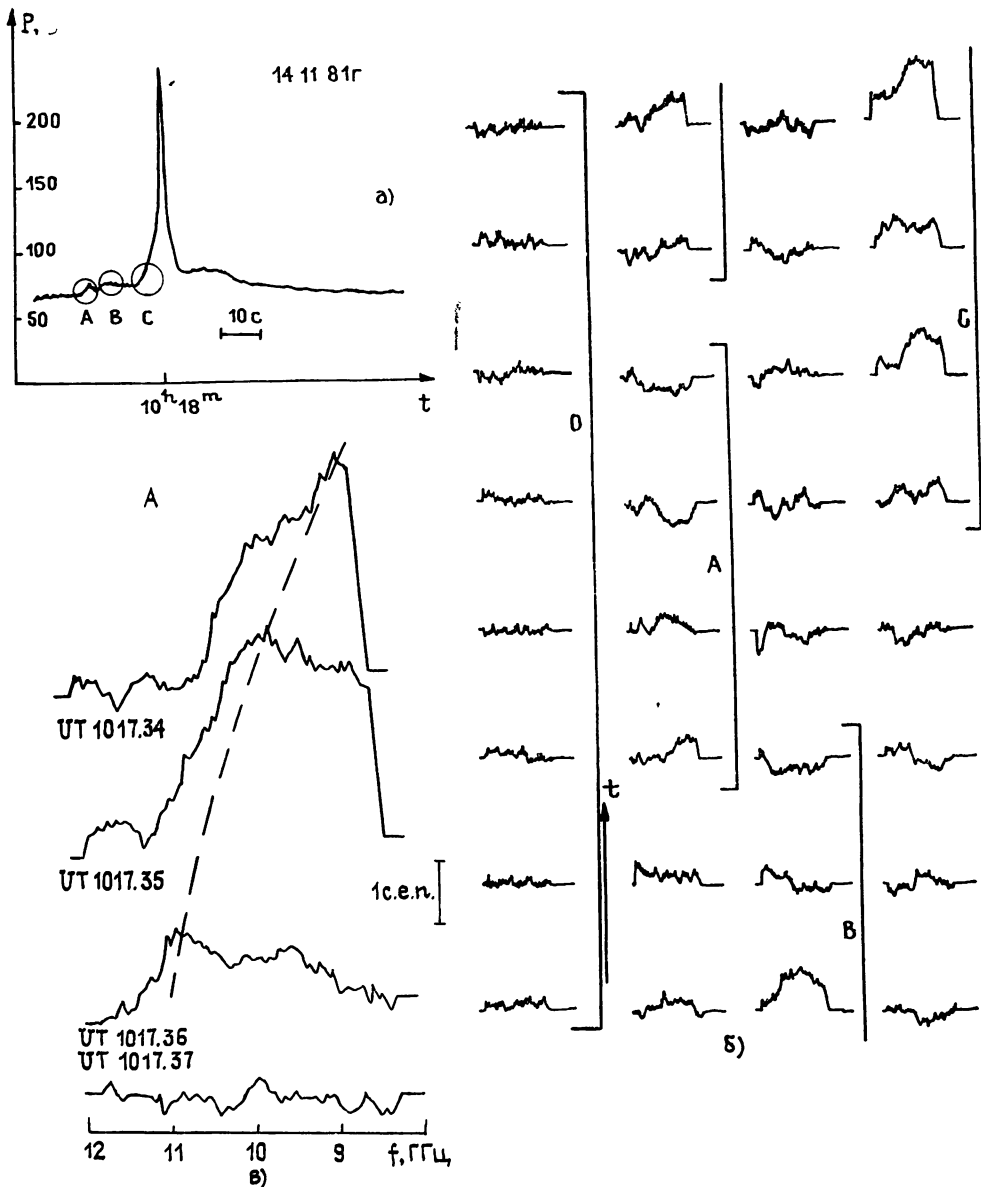


Рис. 1.

Элементарные всплесочные события с указанными характеристиками выделены в четырех всплесках из семи наблюдаемых. В табл. 2 приведены основные свойства указанного импульсного узкополосного излучения: количество элементарных событий, их интенсивность, скорость дрейфа (по максимуму интенсивности), ширина полосы.

	1	2	3	4	5	6	7
Количество элементарных событий	4	—	1	3	—	—	3
Средняя интенсивность (с е. п.)	3÷10	—	7	3÷5	—	—	3÷5
Скорость дрейфа (ГГц/с)	1÷4	—	2	1	—	—	1÷2
Ширина полосы (ГГц)	2	—	2	2,6	—	—	2÷3,5

Обнаруженные элементарные вспыхивающие события в излучении микроволновых всплесков могут быть объяснены на основе плазменного, квазилинейного механизма генерации [2], развитого в рамках известной модели [5, 6]. Источник излучения расположен в области фронтов горячей плазмы, медленно расширяющейся (скорость фронта много меньше характерной скорости электронов горячей плазмы) вдоль вспыхивающей петли от области энерговыделения. В предположении определяющей роли квазилинейных эффектов область ленгмюровской турбулентности — источника всплеска, возбуждаемой пучком убегающих электронов, оказывается в значительной степени прижатой к тепловому фронту [2]. Поэтому ширина спектра излучения определяется соотношением поперечного размера области L_{\perp} , занятой горячей плазмой, и масштаба неоднородности плазмы поперек магнитной петли $L_{N_{0\perp}}$:

$$\Delta f / f \sim L_{\perp} / 2L_{N_{0\perp}} \quad (1)$$

Если для источника выполняется условие

$$L_{\perp} \lesssim L_{N_{0\perp}}, \quad (2)$$

можно ожидать узкую полосу излучения. Легко понять, что условию (2), т. е. небольшим размерам источника, в соответствии с настоящими наблюдениями отвечают относительно слабые по интенсивности радиовсплески (табл. 2).

Поскольку частота излучения в данной модели определяется величиной локальной плазменной частоты в области генерации, движение тепловых фронтов в неоднородной плазме вспыхивающей петли вызывает частотный дрейф такого излучения. В обсуждаемых нами экспериментах оценка плотности основной плазмы в области источника ($j=10$ ГГц) с точностью до множителя 4 составляет $N_0 \sim 10^{12} \div 2,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Положительный частотный дрейф излучения, наблюдаемый во всех отмеченных случаях, позволяет утверждать, что область энерговыделения находится выше в арке, где $N_0 \lesssim 10^{12} \div 2,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Скорость движения теплового фронта в несколько раз превышает скорость звука в области горячей плазмы. Полагая для слабых всплесков температуру основной плазмы $T_e \sim 10^6 \text{ К}$, а горячей компоненты $T_e \sim 3 \cdot 10^6 \text{ К}$, получим $v_{\text{Фр}} \sim 10^8 \text{ см/с}$ [2]. Тогда наблюдаемому частотному дрейфу $df/dt \sim 2 \text{ ГГц/с}$ отвечает $L_{N_{0\parallel}} \sim 3 \cdot 10^8 \text{ см}$.

Из соображений цилиндрической симметрии для магнитной петли следует $L_{N_{0\perp}} \lesssim L_{N_{0\parallel}}$. При этом условии (1) позволяет по наблюдаемой ширине полосы $\Delta f \sim 2 \text{ ГГц}$ оценить верхний предел поперечного размера области энерговыделения

$$L_{\perp} \lesssim 10^8 \text{ см}. \quad (3)$$

Таким образом, наблюдение «плазменной линии» — узкополосной, дрейфующей по частоте компоненты, дает возможность диагностики таких параметров вспыхивающих петель, как концентрация и масштабы неоднородности плазмы в области источника излучения, а также поперечный размер области энерговыделения

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров Ю. В., Фридман В. М., Шейнер О. А. // Тезисы докл. республиканской конф. — Киев, 1985. С. 24.
2. Левин Б. Н., Мельников В. Ф. Статья депонирована в ВИНТИ, рег. № 2882 — В 88. Деп. от 15 апреля 1988 г.
3. А. с. 815671 (СССР). Панфилов Ю. Д., Тихомиров В. А. — Оpubл. в Б. И. 1981. № 11.
4. Кобрин М. М. и др. // В сб.: XII Ленинградский семинар по космофизике. — Л. 1982. С. 131; // В сб.: Солнечная активность: Материалы совещания. — Алмата, 1983. С. 62.

УДК 621.396.24

«ЭХО-РАССЕЯНИЕ» КВ СИГНАЛОВ НА ИСКУССТВЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Ю. М. Ямпольский

Поводом для данного сообщения послужило необычное поведение релаксации рассеяния пробных радиосигналов в ионосфере после выключения мощного коротковолнового передатчика (МКП). Одним из проявлений воздействия на ионосферу электромагнитного излучения кв диапазона является развитие искусственной ионосферной турбулентности (ИИТ) в области нагрева плазмы [1]. Пространственные масштабы неоднородностей, стимулированных ИИТ, лежат в пределах от единиц метров до нескольких километров, а времена их релаксации после выключения МКП составляют 10—20 с [2].

В экспериментах, выполненных нами в течение 1987—1988 годов, исследовались эффекты резонансного рассеяния пробных коротковолновых сигналов на ИИТ, стимулированной МКП «Сура» (НИРФИ, г. Горький). В качестве передатчика использовалась радиостанция Государственной службы времени и частоты СССР РВМ, расположенная в окрестности Москвы. Прием сигналов этого передатчика осуществлялся под Харьковом на крупнейшем декаметровом радиотелескопе УТР-2 [3]. Высокая пространственная избирательность антенной системы позволяла селектировать «полезный» сигнал, рассеянный на ИИТ, от прямого сигнала (трасса Москва—Харьков). В качестве рабочей была выбрана частота РВМ $f_p \approx 15$ МГц, которая в условиях эксперимента была выше максимально применимых частот на всех радиоперелиниях. Москва—Горький, Москва—Харьков, Горький—Харьков. МКП излучал вертикально вверх мощную радиоволну на частоте $f_m \approx 5$ МГц в течение пяти минут каждого десятиминутного цикла. Эффекты рассеяния на ИИТ пробной волны проявлялись следующим образом. В канале слабонаправленной антенны, расположенной в фазовом центре ФАР УТР-2, кроме сигнала с прямой радиотрассы, рассеянного на естественных неоднородностях ионосферы, наблюдался сигнал, сдвинутый по частоте относительно несущей f_p на доплеровское смещение f_d . Величина смещения f_d изменялась в течение суток и определялась скоростями дрейфа ИИТ в окрестности Горького. В каналах антенн УТР-2, ориентированных на возмущенную область, прямой сигнал был подавлен на 32 дБ и надежно регистрировался только «полезный» — рассеянный на ИИТ.

Основное внимание уделим характеру релаксации рассеяния после выключения МКП. На рис. 1 приведены два типичных фрагмента записи сигналов в канале ФАР «Север—Юг» УТР-2. За начало отсчета по горизонтальной оси выбран момент времени $t_0=0$ выключения МКП. В течение последующих 10—15 с наблюдается немонотонное убывание сигнала, связанное с «рассасыванием» мелкомасштабных ($L \sim (\lambda/2) \sim 10$ м) неоднородностей [1].

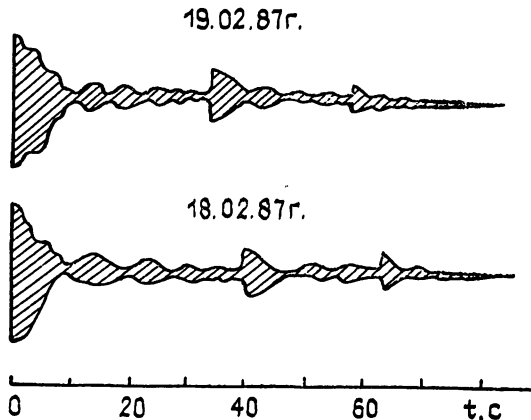


Рис. 1.

Наиболее интересной особенностью поведения сигнала в процессе релаксации представляется повторное возрастание рассеяния. Увеличение уровня в это время ха-