

УДК 523.985.7-77

В. Н. МЕЛЬНИК¹, А. И. БРАЖЕНКО², А. А. КОНОВАЛЕНКО¹,
 К. БРИАН³, Б. П. РУТКЕВИЧ¹, Ф. ЗАРКА³,
 Т. ЗАКАРАШВИЛИ⁴, В. В. ДОРОВСКИЙ¹,
 А. В. ФРАНЦУЗЕНКО², А. А. СТАНИСЛАВСКИЙ¹

¹ Радиоастрономический институт НАН Украины,
 ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
 E-mail: melnik@rian.kharkov.ua

² Полтавская гравиметрическая обсерватория института геофизики
 им. С. И. Субботина НАН Украины,
 ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36014, Украина

³ Парижская обсерватория,
 пл. Жюль Янссена 5, 92190, Медон, Франция

⁴ Институт космических исследований Австрийской академии наук,
 Шмидльштрассе, 6, г. Грац, 8042, Австрия

ДЕКАМЕТРОВЫЕ ВСПЛЕСКИ III ТИПА С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ЗНАКОМ СКОРОСТИ ЧАСТОТНОГО ДРЕЙФА

Мы сообщаем о наблюдении декаметровых всплесков III типа, у которых скорость дрейфа меняет знак с отрицательного на положительный. Более того, у некоторых всплесков скорость дрейфа меняет знак несколько раз. Это происходит, несмотря на то что предполагаемый источник излучения движется от Солнца и тем самым обеспечивает дрейф излучения от высоких частот к низким. Значения положительных скоростей дрейфа для отдельных всплесков изменяются от 0.44 до 12 МГц/с. В то же самое время значения отрицательных скоростей частотного дрейфа у этих всплесков находятся в стандартных пределах. Обсуждается возможная интерпретация таких всплесков на основе плазменного механизма излучения. Она заключается в том, что в некотором частотном диапазоне групповая скорость электромагнитных волн, генерируемых быстрыми электронами, меньше скорости этих электронов, и таким образом излучение от источника всплеска на меньшей частоте регистрируется раньше излучения на большей частоте.

Ключевые слова: всплески III типа, отрицательная скорость дрейфа, положительная скорость дрейфа, плазменный механизм излучения, групповая скорость, плазма солнечной короны

1. Введение

Всплески III типа изучаются более 60 лет. Их свойства достаточно хорошо исследованы [1]. Одним из них является дрейф всплесков от высоких частот к низким частотам, что в плазменной модели излучения означает движение источника излучения в короне от Солнца – из области высокой в область низкой плотности. Излучение происходит на местной плазменной частоте (фундаментальное излучение) или удвоенной плазменной частоте (гармоническое излучение) [2]. Как правило, излучение с больших высот, т. е. на меньшей частоте, приходит на Землю позже, чем излучение на большей частоте. Следствием этого является то, что скорость частотного дрейфа у всплесков III типа имеет отрицательное значение. Абсолютные значения скорости дрейфа уменьшаются с уменьшением

частоты [1]. В метровой области длин волн скорость дрейфа достигает нескольких сотен мегагерц в секунду [3], а в декаметровом диапазоне – нескольких единиц мегагерц в секунду [4, 5]. Такая зависимость скорости дрейфа от частоты определяется зависимостью плотности солнечной короны от высоты. Считается, что источником этого излучения являются пучки электронов, которые движутся с постоянной скоростью (около $0.3c$, c – скорость света) на большие расстояния – от Солнца до Земли и дальше [1]. На высоких частотах в дециметровом диапазоне и коротком метровом диапазоне длин волн наблюдаются всплески III типа с необычно большими значениями скоростей частотного дрейфа, а также с положительными скоростями дрейфа [6–11]. Такие события интерпретируются как случаи распространения пучков электронов через неоднородные корональные структуры, которых может быть заметное количество вблизи Солнца. Обычно считается, что за всплески с положительными скоростями дрейфа отвечают пучки электронов, движущиеся по направ-

© В. Н. Мельник, А. И. Браженко, А. А. Коваленко,
 К. Бриан, Б. П. Руткевич, Ф. Зарка,
 Т. Закарашвили, В. В. Доровский,
 А. В. Французенко, А. А. Станиславский, 2013

лению к Солнцу. Так интерпретируются, например, всплески, форма изображений которых на динамических спектрах напоминает букву “С” [8, 11]. В этом случае считается, что на некоторой высоте происходит одновременное ускорение электронов, которые распространяются как по направлению к Солнцу, так и от Солнца. Нужно также отметить так называемые инвертированные U-всплески, которые представляют собой излучение, генерируемое пучком электронов, движущихся по магнитным аркам от одного основания арки к другому [1]. При движении по восходящей ветви арки скорость дрейфа всплеска отрицательна, а при движении по нисходящей ветви скорость дрейфа положительна.

Как уже говорилось выше, в декаметровом диапазоне длин волн всплески III типа имеют небольшие скорости дрейфа, а именно $2 \div 4$ МГц/с [5]. Однако иногда наблюдаются быстрые всплески III типа со скоростями дрейфа вплоть до 40 МГц/с [12]. При использовании обычного уравнения для зависимости скорости дрейфа df/dt от скорости источника излучения v_0 , $\frac{df}{dt} = \frac{df}{dn} \frac{dn}{dr} v_0$, где $n(r)$ – плотность плазмы, для объяснения быстрых всплесков III типа требуются сверхсветовые скорости источника излучения. В работе [12] для преодоления этой трудности было предложено учитывать то, что в месте генерации излучения групповая скорость электромагнитной волны может быть заметно меньше скорости света и сравнима со скоростью генерирующих излучение электронов. Как следствие, электроны незначительно отстают от электромагнитной волны при движении в солнечной короне, а поэтому возможны случаи всплесков III типа с большими скоростями частотного дрейфа. Численное решение задачи распространения излучения в плазме солнечной короны с учетом пространственных размеров пучка электронов, увеличения этих размеров и направления движения электронов показало, что такой эффект возможен [13]. Более того, при достаточно больших скоростях электронов, когда они могут двигаться существенно быстрее электромагнитной волны, скорость дрейфа всплесков может быть и положительной.

В настоящей работе мы сообщаем о наблюдении декаметровых всплесков III типа с изменяющимся знаком скорости частотного дрейфа. У этих всплесков в одном частотном диапазоне

скорость дрейфа положительна, а в другом – отрицательна. В работе дается также возможное объяснение таких всплесков, основанное на прохождении пучком быстрых электронов областей, в которых групповая скорость электромагнитных волн, генерируемых этими электронами, разная. Там, где она меньше скорости электронов, скорость дрейфа положительна, а там, где больше, – отрицательна.

2. Наблюдения

Приведенные ниже результаты наблюдений были получены при одновременных наблюдениях на трех радиотелескопах: УТР-2, УРАН-2 и NDA.

В наблюдениях солнечного радиоизлучения на радиотелескопе УТР-2 (г. Харьков, Украина) использовались только четыре секции с общей площадью около 50000 м^2 . Радиотелескоп УРАН-2 (г. Полтава, Украина) имеет полную площадь около 28000 м^2 , а у радиотелескопа NDA (г. Нанси, Франция) площадь 30000 м^2 . Оба украинских радиотелескопа оснащены спектрометрами DSPZ, которые позволяют регистрировать излучение в непрерывной полосе частот $8 \div 32$ МГц. При этом частотное разрешение равно 4 кГц , а временное – 100 мс . Радиотелескоп NDA оснащен спектрометром ROBIN, который дает возможность наблюдать в непрерывной полосе частот $28 \div 41$ МГц. Его частотное разрешение и временное разрешение в период одновременных наблюдений составляли соответственно 12 кГц и 37 мс . Нужно отметить, что радиотелескопы УРАН-2 и NDA имеют также возможность измерять поляризацию принимаемого излучения.

3 июня 2012 г. в период одновременных наблюдений телескопами УТР-2, УРАН-2 и NDA была зарегистрирована группа всплесков III типа с изменяющимся знаком скорости частотного дрейфа (см. рис. 1). Наиболее мощным явился всплеск III типа, наблюдавшийся в 12:04:48 UT на частоте 28 МГц . Он был зарегистрирован на радиотелескопе NDA и радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2 в полосе частот от 12 до 41 МГц . В полосе частот $28 \div 41 \text{ МГц}$ по данным радиотелескопа NDA скорость дрейфа переднего края всплеска была положительной и равнялась 21.51 МГц/с . В полосе частот $28 \div 32 \text{ МГц}$ (данные радиотелескопов УТР-2 и УРАН-2) скорость дрейфа переднего края всплеска также была положительной и составила 20 МГц/с , а в полосе

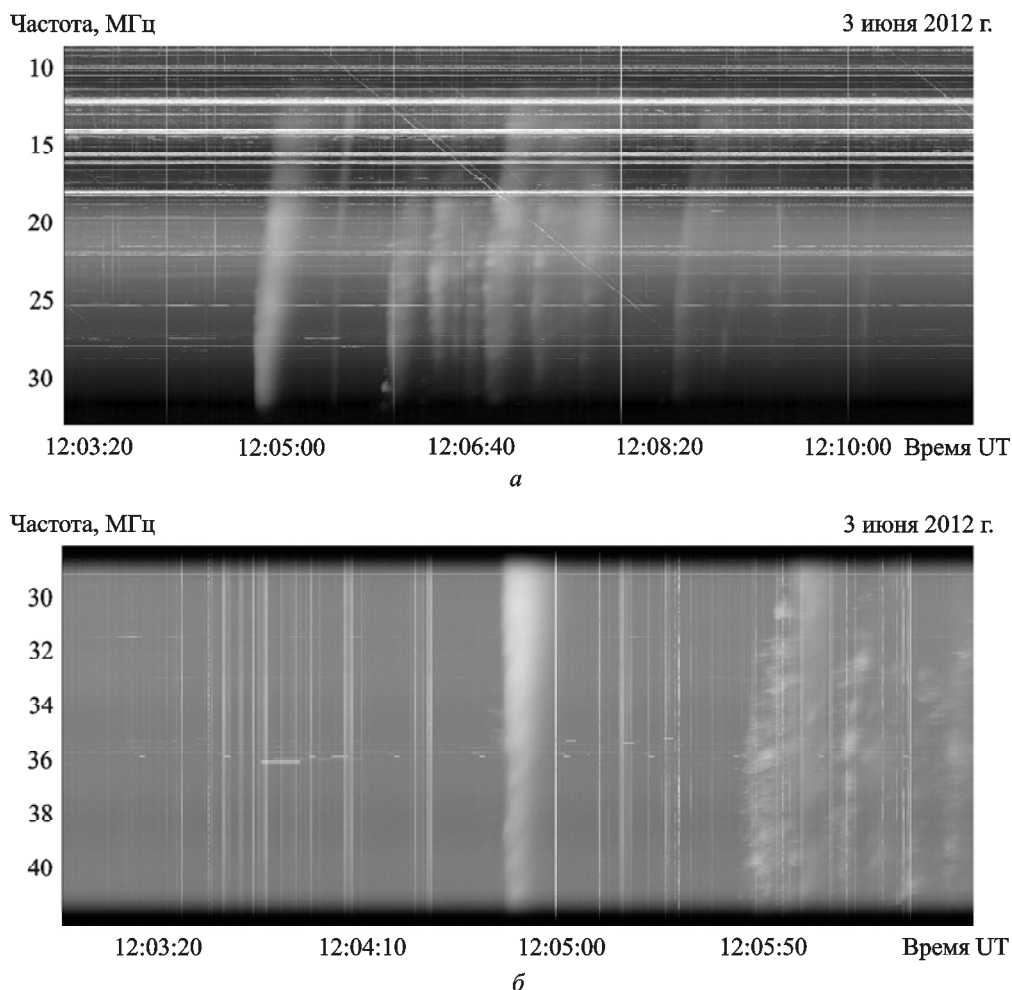


Рис. 1. Группа всплесков III типа с изменяющимся знаком скорости частотного дрейфа, зарегистрированная 3 июня 2012 г. на радиотелескопе УРАН-2 (а) и всплеск III типа, наблюдавшийся в 12:04:48 UT 3 июня 2012 г. на радиотелескопе NDA (б)

частот $12 \div 28$ МГц – отрицательной и равной -1.4 МГц/с. То есть в области больших частот скорость дрейфа была положительной, в то время как в области малых частот – отрицательной. На рис. 2 показано перемещение максимального потока этого всплеска на динамическом спектре. Видно, что по данным радиотелескопа NDA в полосе $41 \div 36$ МГц максимум всплеска имел отрицательную скорость дрейфа -3.3 МГц/с. В диапазоне частот $36 \div 28$ МГц скорость дрейфа максимума всплеска несколько раз меняла знак, средняя положительная скорость дрейфа равнялась 12 МГц/с в этом частотном интервале. По наблюдениям на радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2 скорость дрейфа имела близкое значение, равное 11.6 МГц/с в частотном интервале $28 \div 33$ МГц. Ниже 28 МГц скорость дрейфа была отрицатель-

ной и равной -0.84 МГц/с. Таким образом, скорость дрейфа всплеска III типа несколько раз меняла знак. Причем это происходило не как в случае инвертированных U-всплесков, когда изменение знака скорости дрейфа происходит с изменением дрейфа всплеска от высоких частот к низким на дрейф от низких частот к высоким. У обсуждаемого всплеска III типа направление дрейфа не меняется на всем интервале регистрации всплеска.

Всплеск, наблюдавшийся 3 июня 2012 г., на частоте 41 МГц имел длительность около 5 с. Его поток на этой частоте составлял около 5 с. е. п. (1 с. е. п. = 10^{-22} Вт/(Гц·м²)). На частоте 29 МГц длительность всплеска была 9 с, а поток составлял 50 с. е. п. При уменьшении частоты от 29 до 12 МГц поток практически не изменялся, а длительность на 12 МГц была равна 21 с.

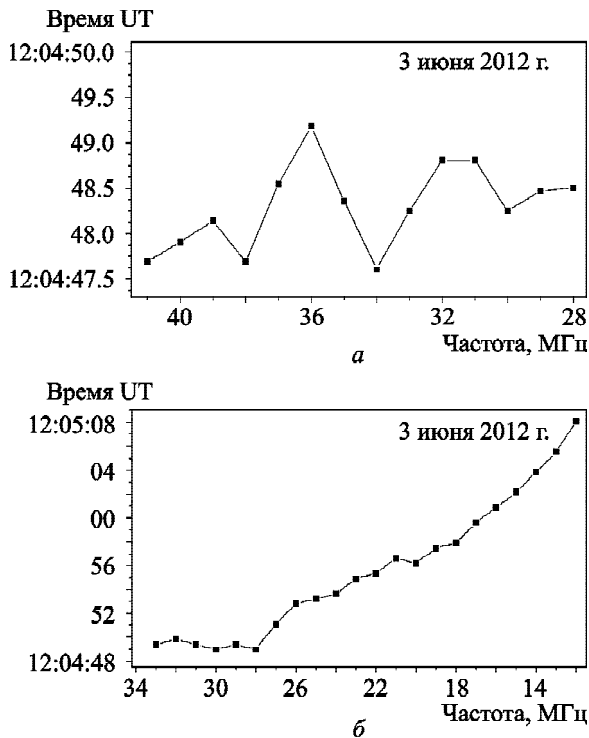


Рис. 2. Дрейф максимума всплеска III типа, наблюдавшегося 3 июня 2012 г., на динамическом спектре по данным радиотелескопов NDA (а) и УРАН-2 (б)

Еще одним всплеском III типа с изменяющимся знаком скорости частотного дрейфа был всплеск, который наблюдался 25 августа 2012 г. Скорость дрейфа (рис. 3, а) переднего края всплеска составляла -3.6 МГц/с и 0.95 МГц/с соответственно в диапазонах частот $18 \div 32$ МГц и $11 \div 18$ МГц. Анализ изменения скорости дрейфа максимального потока этого всплеска показывает, что в частотном диапазоне $21 \div 32$ МГц она имела значение -1.66 МГц/с. В диапазоне частот $9 \div 21$ МГц скорость дрейфа максимума всплеска несколько раз меняла знак и в среднем в этом частотном диапазоне была равна 1.5 МГц/с.

Этот всплеск на частоте 32 МГц имел длительность около 13 с, а на частоте 13 МГц – 16 с. Поток всплеска увеличивался с уменьшением частоты: на частоте 32 МГц он был равен 10 с. е. п., а на частота 13 МГц достигал значения 10^3 с. е. п.

26 августа 2012 г. наблюдался еще один всплеск, у которого скорость дрейфа меняла знак (рис. 4, а). Передний край всплеска дрейфовал от низких частот к высоким со скоростью 5.1 МГц/с. Максимум всплеска дрейфовал в диапазоне частот $31 \div 27$ МГц со скоростью 0.44 МГц/с,

в диапазоне частот $27 \div 19$ МГц – со скоростью -5.56 МГц/с, а в диапазоне частот $19 \div 12$ МГц – со скоростью 0.97 МГц/с (рис. 4, б).

Этот всплеск был самым мощным и длительным из рассматриваемых всплесков. Его длительность на частоте 32 МГц была 25 с, а поток 5 с. е. п. На частоте 14 МГц длительность составляла 38 с, а поток – около 10^4 с. е. п.

3. Обсуждение

Как мы видим в декаметровом диапазоне длин волн иногда наблюдаются всплески III типа, у которых скорость дрейфа может изменять знак с обычного отрицательного на положительный. В микроволновом диапазоне такие всплески встречаются довольно часто [8, 10, 11]. Если это всплески, изображение которых на динамических всплесках напоминает букву “С” (т. е. в некоторый момент времени наблюдаются два трека всплеска, которые дрейфуют одновременно в область высоких и низких частот, образуя тем самым всплеск с положительной и отрицательной скоростью дрейфа), то они интерпретируются как всплески, произошедшие от пучков электронов, которые из области ускорения распространяются один по направлению к Солнцу, а другой – от Солнца. Такая интерпретация для всплесков, наблюдаемых в области декаметровых волн, представляется маловероятной, поскольку в этом случае необходимо предположить, что область ускорения находится на высотах $1-2$ радиуса Солнца. Кроме того, не ясно, каким образом можно интерпретировать инвертированные С-всплески. Еще труднее объяснить всплески, которые несколько раз меняют знак скорости дрейфа.

По нашему мнению, возможное объяснение явления всплесков III типа с изменяющимся знаком скорости частотного дрейфа заключается в особенностях распространения генерируемого пучками быстрых электронов излучения в корональной плазме. Так как групповая скорость генерируемых электромагнитных волн может значительно отличаться от скорости света, то возможны ситуации, когда скорость электронов оказывается больше этой групповой скорости. Как следствие, генерация волн на больших высотах (в плазменной модели излучения это означает, что генерируются волны на меньших частотах) будет в этом случае происходить раньше, чем на эти высоты придет ранее излученная эти-

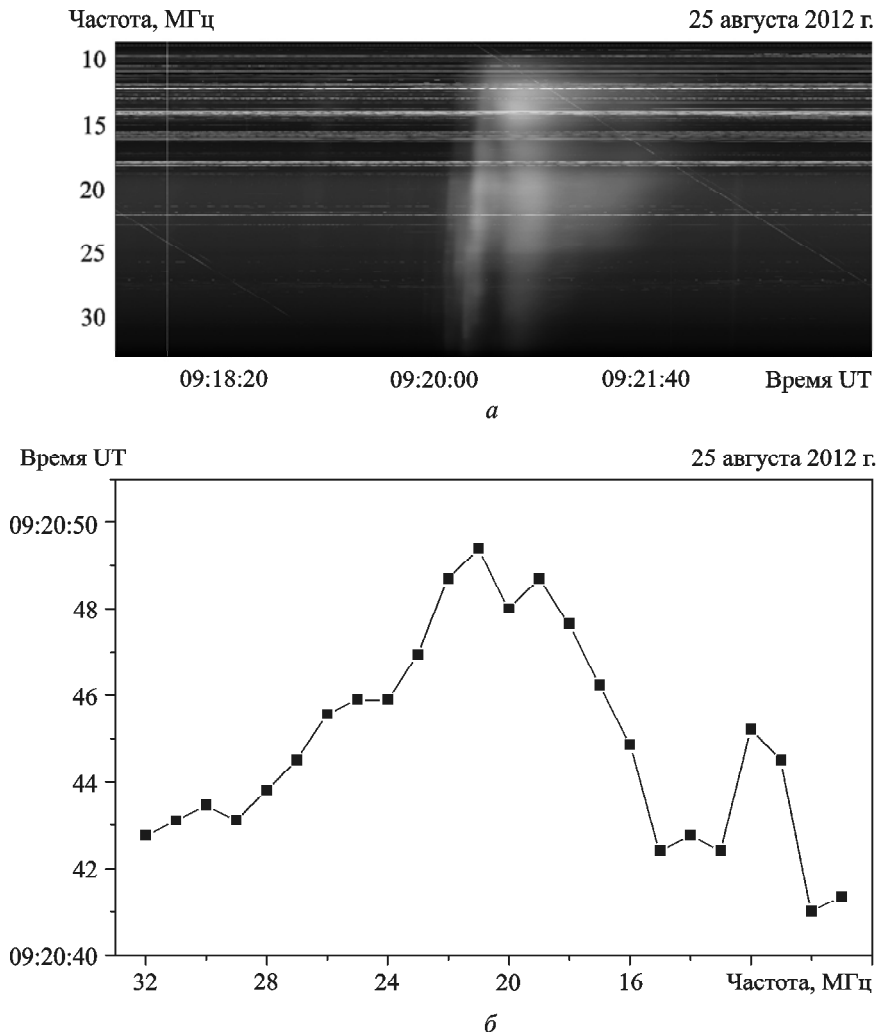


Рис. 3. Всплеск III типа с изменяющейся скоростью частотного дрейфа, наблюдавшийся 25 августа 2012 г. в 9:20:42 UT на частоте 32 МГц на радиотелескопе УРАН-2 (а) и дрейф максимального потока этого всплеска на динамическом спектре в полосе частот 9 ÷ 32 МГц (б)

ми же электронами на меньшей высоте волна с соответственно большей частотой. В результате наблюдается всплеск III типа с “неправильным” положительным частотным дрейфом. На такую возможность указывал В. Леденев еще в 2000 г. [14]. Если групповая скорость генерируемого излучения близка к скорости электронов, то скорость дрейфа будет большой. Такие всплески III типа с большой скоростью частотного дрейфа наблюдались в декаметровом диапазоне длин волн [12]. В работе [13] численно рассматривалось формирование излучения всплеска III типа при учете конечного пространственного размера пучка электронов и была найдена скорость частотного дрейфа всплеска при различных скоростях электронов, углах их распрос-

транения к лучу зрения и с учетом изменения групповой скорости при распространении излучения в короне Солнца. Было показано, что обсуждаемый эффект действительно может объяснить наблюдаемые быстрые декаметровые всплески III типа. Рассматриваемые в настоящей работе всплески III типа с изменяющимся знаком скорости частотного дрейфа, на наш взгляд, также связаны с этим эффектом.

Найдем условия, при которых возможно изменение знака скорости дрейфа всплеска III типа. В [12] было показано, что скорость дрейфа определяется следующим выражением:

$$\frac{df}{dt} \approx \frac{df}{dn} \frac{dn}{dr} \frac{v_n v_{gp}}{v_{gp} - v_n \cos \alpha}, \tag{1}$$

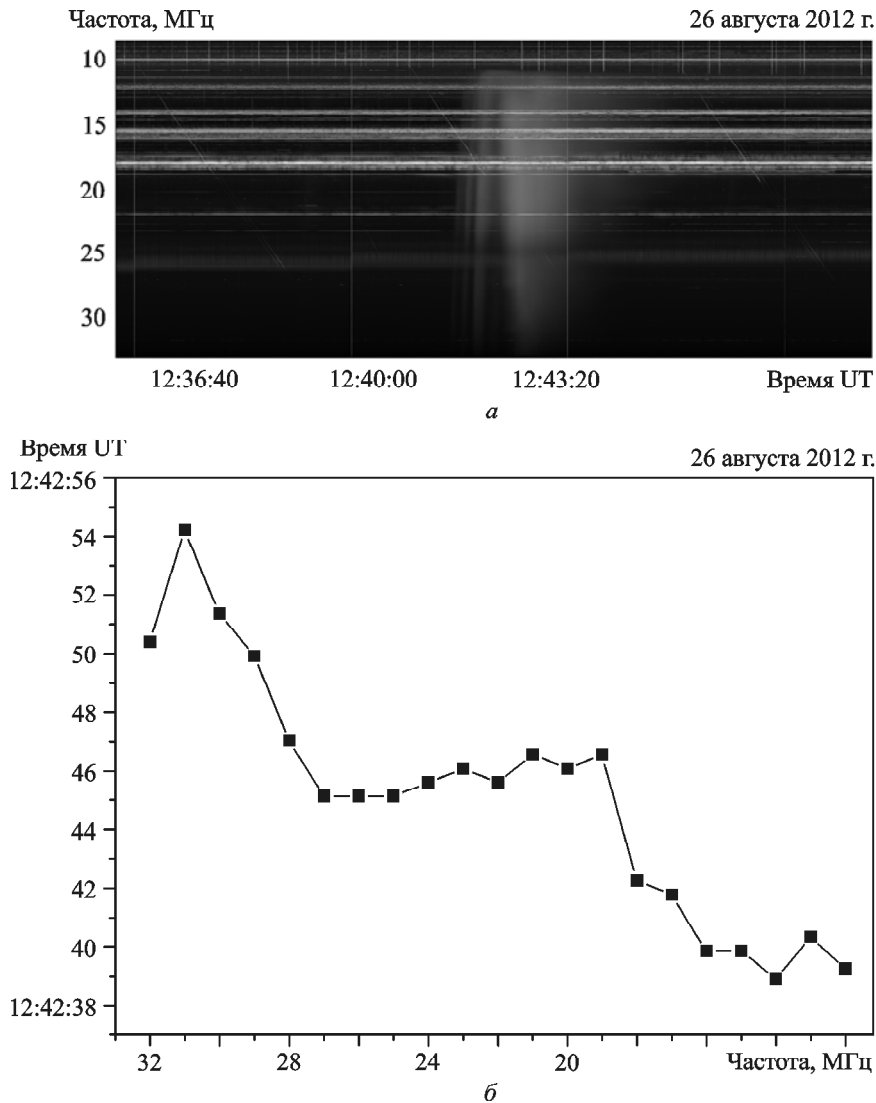


Рис. 4. Всплеск III типа с изменяющейся скоростью частотного дрейфа, наблюдавшийся 26 августа 2012 г. в 12:42:52 UT на частоте 30 МГц (а) и дрейф максимума этого всплеска на динамическом спектре (б)

где f – частота излучения, $n(r)$ – плотность плазмы на расстоянии r от Солнца, v_n – скорость источника излучения всплеска III типа, v_{gp} – групповая скорость излучения на частоте f , α – угол между направлением распространения быстрых электронов, ответственных за всплеск III типа, и направлением на наблюдателя (рис. 5). Для получения связи групповой скорости со скоростью источника излучения воспользуемся результатами работы [15], в которой рассматривалось распространение пучка быстрых электронов с начальной скоростью v_0 через плазму при учете генерации ленгмюровских волн и их обратного воздействия на быстрые электроны. В этой работе было показано, что вследствие такого нелинейного распр-

транения электроны движутся через плазму в виде пучково-плазменного образования со скоростью $v_n = v_0/2$.

Это образование состоит из электронов и ленгмюровских волн, у которых максимум спектральной плотности энергии находится при волновых числах

$$k_{l,0} \approx \omega_{pe} / v_0.$$

Здесь $\omega_{pe} = \sqrt{4\pi e^2 n(r) / m_e}$ – плазменная частота, e и m_e – заряд и масса электрона.

Учитывая, что при трансформации ленгмюровских волн в поперечные волны в процессах $l + i = t + i$ (l – ленгмюровская волна, t – поперечная волна, i – ион) частота поперечной волны рав-

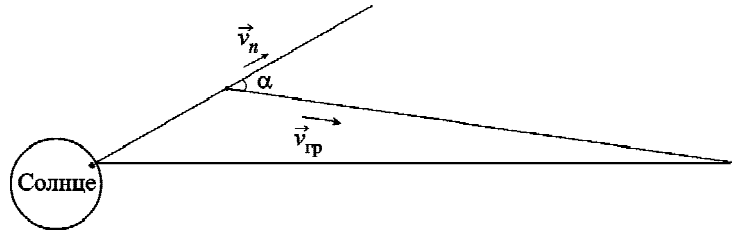


Рис. 5. Схема распространения быстрых электронов и генерируемого ими излучения: \vec{v}_n – скорость электронов, \vec{v}_{gp} – групповая скорость излучения на частоте f , α – угол между направлением распространения электронов и направлением на наблюдателя

на частоте ленгмюровской волны $\omega_t = \omega_l$, из законов дисперсии для этих волн, $\omega_l = \sqrt{\omega_{pe}^2 + 3k_l^2 v_{Te}^2}$, $\omega_t = \sqrt{\omega_{pe}^2 + k_t^2 c^2}$ (v_{Te} – тепловая скорость электронов, k_l и k_t – волновые числа ленгмюровской и поперечной волны соответственно), находим, что поперечные волны в основном будут иметь волновое число

$$k_{t,0} \approx \sqrt{3} k_{l,0} \frac{v_{Te}}{c}.$$

Для этих волн групповая скорость $v_{gp} = \frac{\partial \omega_t}{\partial k_t} = k_t \frac{c^2}{\omega_t}$ будет определяться выражением

$$v_{gp} = \sqrt{3} \frac{v_{Te} c}{v_0}.$$

Из выражения (1) следует, что скорость дрейфа всплеска III типа отрицательна, когда

$$v_{gp} > v_n \cos \alpha.$$

Так, если быстрые электроны движутся к наблюдателю ($\alpha = 0$), то это условие будет иметь вид

$$v_0 < \sqrt{2\sqrt{3} v_{Te} c},$$

и в случае, когда температура электронов $T_e = 2 \cdot 10^6$ К ($v_{Te} = 5 \cdot 10^8$ см/с), будет выполняться при $v_0 < 7 \cdot 10^9$ см/с. В обратном случае, $v_0 > \sqrt{2\sqrt{3} v_{Te} c}$, быстрые электроны генерируют всплески III типа с положительной скоростью дрейфа. С увеличением угла α критическая скорость v_0^* , при которой происходит смена знака скорости дрейфа всплеска III типа, увеличивается согласно выражению

$$v_0^* = \sqrt{\frac{2\sqrt{3} v_{Te} c}{\cos \alpha}}.$$

Учитывая то, что скорость быстрых электронов при распространении в корональной плазме остается практически постоянной, наблюдающиеся всплески III типа с изменяющимся знаком скорости дрейфа могут быть объяснены следующим образом. Быстрые электроны со скоростью меньше критической v_0^* генерируют всплески III типа с отрицательной скоростью дрейфа. Попадая в области плазмы с меньшей температурой, в которой критическая скорость становится меньше настолько, что выполняется соотношение $v_0 > v_0^*$, быстрые электроны генерируют всплески III типа с положительной скоростью дрейфа. Если в дальнейшем эти электроны проходят через области, в которых критическая скорость увеличивается и опять становится справедливым неравенство $v_0 < v_0^*$, то наблюдаются всплески III типа с отрицательной скоростью дрейфа.

Таким образом, регистрация всплесков III типа, несколько раз меняющих знак скорости дрейфа, означает, что быстрые электроны, ответственные за эти всплески, проходят через области с разными температурами. Так, в случае всплеска III типа, наблюдавшегося 25 августа 2012 г. (см. рис. 3), электроны генерировали всплеск III типа с отрицательной скоростью дрейфа в плазме солнечной короны в диапазоне высот от $r_{32} = 1.74 R_S$ (что соответствует излучению на плазменной частоте 32 МГц) до $r_{21} = 2.05 R_S$ (излучение на частоте 21 МГц). Здесь и далее высоты вычисляются в рамках модели короны Ньюкирка [16], в которой плотность плазмы изменяется по закону $n(r) = 4.2 \cdot 10^4 \cdot 10^{4.32 R_S / r}$, R_S – радиус Солнца. Затем быстрые электроны двигались через область плазмы с меньшей температурой, в которой критическая скорость была меньше скорости быстрых электронов, а следовательно, скорость дрейфа всплеска III типа становилась положительной. Эта область была заключена между высотами $r_{21} = 2.05 R_S$

(соответствующая плазменная частота 21 МГц) и $r_{15} = 2.38R_S$ (плазменная частота 15 МГц).

Для всплеска III типа, наблюдавшегося 26 августа 2012 г., ситуация была другой. Всплеск имел положительную скорость дрейфа в области частот $27 \div 31$ МГц и при частотах меньших 19 МГц (см. рис. 4). Это означает, что в плазме на высотах от $r_{31} = 1.76R_S$ до $r_{27} = 1.85R_S$ и от $r_{19} = 2.13R_S$ и выше критическая скорость v_0^* была меньше скорости электронов, которые генерировали этот всплеск III типа. Вместе с тем на высотах от $r_{27} = 1.85R_S$ и до $r_{19} = 2.13R_S$ плазма имела температуру, которая обеспечивала значение критической скорости несколько большее скорости быстрых электронов. Это привело к тому, что скорость дрейфа всплеска III типа была отрицательной и имела большое значение.

4. Заключение

В декаметровом диапазоне длин волн наравне с обычными всплесками III типа, которые имеют скорости дрейфа $2 \div 4$ МГц/с и с быстрыми всплесками III типа, скорости дрейфа которых могут в несколько раз превышать скорости дрейфа обычных всплесков, наблюдаются также всплески III типа с изменяющимся знаком скорости дрейфа. Последние отличаются от U-всплесков, которые также меняют знак скорости дрейфа с отрицательного на положительный, но при этом начинают дрейфовать из области низких в область высоких частот излучения. Как известно, U-всплески являются излучением быстрых электронов, распространяющихся по магнитным аркам. Вместе с этим всплески III типа с изменяющимся знаком скорости частотного дрейфа представляют собой излучение от электронов, движущихся в плазме от Солнца, что наблюдается как дрейф всплеска от высоких частот к низким частотам. По нашему мнению, такая особенность всплесков III типа может быть объяснена в рамках подхода, который использовался для объяснения быстрых всплесков III типа, и связана с тем, что скорость источника излучения может приближаться к групповой скорости излучения (в этом случае наблюдаются быстрые всплески III типа), а иногда превышать ее, что приводит к всплескам III типа с изменяющимся знаком скорости дрейфа. Критическая скорость, при которой происходит переход от отрицательного знака скорости дрейфа к положительному, определяется тепловой скоростью электронов и углом

между направлением на наблюдателя из точки генерации и направлением распространения быстрых электронов. Всплески III типа, которые несколько раз меняют знак скорости дрейфа, могут быть интерпретированы как излучение от быстрых электронов, проходящих области короны с разными температурами. Из областей, где скорость источника всплесков III типа меньше групповой скорости излучения, мы наблюдаем всплески с отрицательной скоростью дрейфа, а из областей, где скорость источника больше групповой скорости излучения, – всплески III типа с положительной скоростью дрейфа. Таким образом, открывается возможность по измерениям скорости дрейфа определять как температуру плазмы областей короны, из которых выходит это излучение, так и границы этих областей.

Работа была частично выполнена в рамках проекта SOLSPANET (F9P7-People-2010-IRSES).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Suzuki S. and Dulk G. A. Bursts of type III and type V. In: D. J. McLean and N. R. Labrum, editors. *Solar Radiophysics*. – Cambridge and New York: Cambridge University Press. – 1985. – P. 289–332.
2. Гинзбург В. Л., Железняков В. В. О возможных механизмах спорадического радиоизлучения Солнца // *Астрономический журнал*. – 1958. – Т. 35, вып. 5. – С. 694–712.
3. McLean D. J. Metrewave solar radio bursts. In: D. J. McLean and N. R. Labrum, editors. *Solar Radiophysics*. – Cambridge and New York: Cambridge University Press. – 1985. – P. 37–52.
4. Абранин Э. П., Базелян Л. Л., Цибко Я. Г. Устойчивость параметров ДКМ радиовсплесков III типа в 11-летнем цикле солнечной активности. I. Скорость частотного дрейфа. II. Длительности на кратных частотах // *Астрономический журнал*. – 1990. – Т. 67. – С. 141–150.
5. Melnik V. N., Konovalenko A. A., Abranin E. P., Dorovsky V. V., Stanislavsky A. A., Rucker H. O., and Lecacheux A. Solar sporadic radio emission in the decameter waveband // *Astron. Astrophys. Trans.* – 2005. – Vol. 24, No.5. – P. 391–401.
6. Kundu M. R., Roberts J. A., Spencer C. L., and Kuiper J. W. A comparison of the dynamic spectra of solar radio bursts in the decimeter - and meter - wave length ranges // *Astrophys. J.* – 1961. – Vol. 133. – P. 255–259.
7. Elgaroy O. Type III-like Solar Radio Bursts // *Astron. Astrophys.* – 1980. – Vol. 82, No. 3. – P. 308–313.
8. Guang-Li Huang, Zhi-Hai Qin, Guo Yan, Qi-Jun Fu, and Yu-Ying Liu. The energetic spectrum of non-thermal electrons in an acceleration region calculated from a solar microwave type III burst with both positive and negative frequency drifts // *Astrophys. Space Sci.* – 1998. – Vol. 259, Is. 3. – P. 317–326.
9. Xie R. X., Fu Q. J., Wang M., and Lin Y. Y. The generating region of bidirectional electron beams in the corona // *Sol. Phys.* – 2000. – Vol. 197, Is. 2. – P. 375–385.

10. Ma Y., Xie R. X., and Wang M. Statistical Analysis of Decimetric Type III Bursts // *Sol. Phys.* – 2006. – Vol. 238, Is. 1. – P. 105–115.
11. Ma Y., Wang De Yu, Xie R. X., Wang M., and Yan Y. H. Occurrence of bidirectional type III bursts in solar flares // *Astrophys. Space Sci.* – 2008. – Vol. 318, Is. 1. – P. 87–92.
12. Mel'nik V. N., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Rutkevych B. P., Dorovskyy V. V., Abranin E. P., Brazhenko A. I., Stanislavsky A. A., and Lecacheux A. Decameter Type III like bursts // *Sol. Phys.* – 2008. – Vol. 250, Is. 1. – P. 133–145.
13. Руткевич Б. П., Мельник В. Н. Распространение радиозлучения всплесков III типа в солнечной короне. 2. Скорость частотного дрейфа // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2012. – Т. 17, № 2. – С. 106–111.
14. Ledenev V. G. On the group delay and the sign of frequency drift of solar type III radio bursts // *Sol. Phys.* – 2000. – Vol. 197, Is. 2. – P. 387–397.
15. Melnik V. N., Lapshin V. I., and Kontar E. P. Propagation of a monoenergetic electron beam in the Solar Corona // *Sol. Phys.* – 1999. – Vol. 184, Is. 2. – P. 353–362.
16. Newkirk Gordon Jr. The solar corona in active regions and the thermal origin of the slowly varying component of solar radio radiation // *Astrophys. J.* – 1961. – Vol. 133. – P. 983–1013.

В. М. Мельник¹, А. І. Браженко², О. О. Коноваленко¹, К. Бріан³, Б. П. Руткевич¹, Ф. Зарка³, Т. Закарашвілі⁴, В. В. Доровський¹, А. В. Французенко², О. О. Станіславський¹

¹Радіоастрономічний інститут НАН України, вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

²Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С. І. Суботіна НАН України, вул. М'ясосдова, 27/29, м. Полтава, 36014, Україна

³Паризька обсерваторія, пл. Жюль Янссена, 5, Медон, 92190, Франція

⁴Інститут космічних досліджень Австрійської академії наук, Шмідльштрассе, 6, м. Грац, 8042, Австрія

ДЕКАМЕТРОВІ СПЛЕСКИ III ТИПУ ІЗ ЗМІННИМ ЗНАКОМ ШВИДКОСТІ ЧАСТОТНОГО ДРЕЙФУ

Повідомляється про спостереження декаметрових сплесків III типу, у яких швидкість дрейфу змінює знак з негативного на позитивний. Більше того, у деяких сплесків швидкість дрейфу змінює знак кілька разів. Це відбувається, попри те що передбачуване джерело випромінювання рухається від Сонця і тим самим забезпечує дрейф випромінювання від високих частот до низьких. Значення позитивних швидкостей дрейфу для окремих сплесків змінюють-

ся від 0.44 до 12 МГц/с. У той самий час значення негативних швидкостей частотного дрейфу у цих сплесків знаходяться в стандартних межах. Дискутується можлива інтерпретація таких сплесків на основі плазмового механізму випромінювання. Вона полягає в тому, що в деякому частотному діапазоні групова швидкість електромагнітних хвиль, генерованих швидкими електронами, менша за швидкість цих електронів, і таким чином випромінювання від джерела сплеску на нижчій частоті реєструється раніше випромінювання на вищій частоті.

V. M. Melnyk¹, A. I. Brazhenko², A. A. Konovalenko¹, C. Briand³, B. P. Rutkevych¹, Ph. Zarka³, T. Zaqarashvili², V. V. Dorovskyy¹, A. V. Frantsuzenko², A. A. Stanislavsky¹

¹Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine, 4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

²Poltava Gravimetric Observatory, S. Subotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Myasoedov St., 27/29, Poltava, 36014, Ukraine

³LESIA, Observatoire de Paris, CNRS, UPMC, Université Paris Diderot, 5 Place Jules Janssen, F-92190 Meudon, France

⁴Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 6, Schmiedlstrasse, Graz, 8042, Austria

DECAMETRIC TYPE III BURSTS WITH VARIABLE SIGN OF FREQUENCY DRIFT RATE

We report the observations of decameter type III bursts whose frequency drift rates change their sign. Moreover, some bursts change the sign several times. This occurs in spite of that the expected radiation source moves from the Sun, thus providing the radiation drift from the high frequencies to the low ones. The values of positive drift rates for individual type III bursts vary from 0.44 to 12 MHz/s. At the same time, the values of the negative frequency drift rates of these bursts are within the range of usual type III bursts. A possible interpretation of these bursts is discussed in the frame of plasma emission mechanism. It consists in that in some frequency range the group velocity of radio emission is smaller than the velocity of electrons responsible for this radio emission, thus the burst source radiation at lower frequency is recorded before that at higher frequency.

Стаття постуила в редакцію 26.04.2013