

УДК 523.9, 520.27

А. И. БРАЖЕНКО¹, В. Н. МЕЛЬНИК², А. В. ФРАНЦУЗЕНКО¹,
Х. О. РУКЕР³, М. ПАНЧЕНКО³¹ Полтавская гравиметрическая обсерватория
Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины,
ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36014, Украина
E-mail: brazhai@gmail.com² Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина³ Институт космических исследований Австрийской академии наук,
ул. Шмидльштрассе, 6, г. Грац, 8042, Австрия

НЕОБЫЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ДЕКАМЕТРОВЫЕ РАДИОВСПЛЕСКИ С ОТСЕЧКОЙ НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

Солнечные всплески с отсечкой на высоких частотах наблюдались на радиотелескопе УРАН-2 (г. Полтава, Украина) 18 августа 2012 г. в диапазоне частот 8 ÷ 32 МГц. Эти всплески были значительно продолжительнее обычных всплесков III типа, их общая длительность изменялась от 30 до 70 с. Всплески имели скорость частотного дрейфа заметно меньшую скорости дрейфа обычных всплесков III типа, но в то же время она была существенно больше, чем у декаметровых всплесков II типа. В некоторых случаях направление частотного дрейфа всплеска изменялось с отрицательного на положительное. Некоторые всплески имели тонкую структуру. Скорость дрейфа волокон тонкой структуры была невысокой, 20 ÷ 40 кГц/с. Степень поляризации этих всплесков составляла около 10 %, что, по-видимому, указывает на то, что их излучение происходит на второй гармонике местной плазменной частоты. Подтверждена связь всплесков с высокочастотной отсечкой с компактными выбросами залимбовых активных областей.

Ключевые слова: Солнце, радиоизлучение, декаметровый диапазон, всплески типа “гусеница”, длительность, частотный дрейф, поляризация, плазменный механизм генерации

1. Введение

В [1–3] сообщалось о наблюдении необычного солнечного всплеска типа “гусеница”. Этот всплеск наблюдался в диапазоне частот 16 ÷ 28 МГц. Скорость частотного дрейфа “гусеницы” была существенно меньше, чем у всплесков III типа, но значительно превышала скорость частотного дрейфа всплесков II типа. На частоте ≈ 21 МГц дрейф “гусеницы” имел перегиб, на частотах ниже этой частоты всплеск имел отрицательный дрейф со скоростью 100 кГц/с, а на более высоких частотах дрейф был положительным, т. е. от низких частот к высоким, со скоростью 500 кГц/с. Длительность “гусеницы” также отличалась от длительности известных всплесков и составляла ≈ 22 с по уровню половинной мощности. Это в два–три раза больше длительности всплесков III типа, которая в декаметровом диапазоне составляет от 6 до 12 с [4, 5], но значительно меньше длительности всплесков II типа, в исследуемом диапазоне она составляет от нескольких до десятков минут [6]. “Гусеница” имела тонкую частотно-временную структуру в

виде волокон, частотная ширина которых была равна 300 ÷ 400 кГц. Эти волокна отличаются от страи всплесков IIIb типа не только частотной шириной, у страи она обычно не превышает ≈ 100 кГц [7, 8], но и тем, что дрейфовали с различной и изменяющейся скоростью, в то время как страи всплесков IIIb типа имеют постоянный дрейф. Причем дрейф волокон “гусеницы” был как положительным, так и отрицательным, а страи дрейфуют только от высоких частот к низким, т. е. имеют отрицательный дрейф. Степень круговой поляризации “гусеницы” составляла около 10 %, что соответствует поляризации излучения второй гармоники в предположении плазменного механизма генерации всплеска [9].

Характерной особенностью этого всплеска является отсечка излучения со стороны высоких частот. Обратная ситуация, т. е. отсечка излучения со стороны низких частот у декаметрового спорадического излучения Солнца, наблюдается довольно часто и может быть объяснена различными причинами, в частности, поглощением сигнала в ионосфере Земли. В [1, 3] была предложена модель генерации всплеска типа “гусеница”, позволяющая объяснить его особенности. Этот всплеск может быть связан с компактным выбро-

© А. И. Браженко, В. Н. Мельник, А. В. Французенко,
Х. О. Рукер, М. Панченко, 2015

сом корональной массы (микро СМЕ), появившимся в результате активности находившейся за лимбом на долготах $130^\circ \div 140^\circ$ области NOAA 1222. Такие микро СМЕ являются довольно редким явлением. Находившийся на соответствующих высотах в солнечной короне, где генерировалось излучение “гусеницы”, этот выброс имел размеры $0.5R_S \times 0.25R_S$ (R_S – радиус Солнца). Поскольку выброс появился в результате активности залимбовой области, всплеск типа “гусеница” может быть только излучением второй гармоники местной плазменной частоты, что подтверждается его невысокой поляризацией. А излучение второй гармоники может выйти только с высоты соответствующего уровня корональной плазмы, вследствие чего и наблюдается высокочастотная отсечка всплеска. Необычная скорость и изменение направления дрейфа “гусеницы” также объясняются взаимодействием частиц микро СМЕ с окружающей корональной плазмой. Оценка скорости частиц, движущихся от Солнца и к Солнцу, дает значения $0.38 \cdot 10^9$ и $1.9 \cdot 10^9$ см/с соответственно.

Мы обнаружили несколько десятков всплесков типа “гусеница”. Обычно такие события, как уже отмечалось, наблюдаются редко. Но 18 августа 2012 г. было зарегистрировано более десятка таких всплесков различной интенсивности. Здесь мы приводим результаты исследований основных параметров наиболее мощных всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся 18 августа 2012 г. на радиотелескопе УРАН-2.

2. Наблюдения

Радиотелескоп УРАН-2 работает в диапазоне частот $8 \div 32$ МГц. Его площадь составляет 28000 м^2 , а луч антенны на частоте 25 МГц имеет размер $3.5^\circ \div 7^\circ$ [10, 11]. Цифровой спектрополяриметр DSPz [12] регистрирует радиоизлучение Солнца во всем рабочем диапазоне частот радиотелескопа с временным 100 мс и частотным 4 кГц разрешением.

Всплески типа “гусеница” наблюдались на протяжении всего дня 18 августа 2012 г. с 4:35 до 14:35 (здесь и далее указано всемирное время UT). На рис. 1 показаны динамические спектры нескольких необычных всплесков. Градациями серого цвета представлен поток излучения F в солнечных единицах потока ($1 \text{ с. е. п.} = 10^{-22} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$).

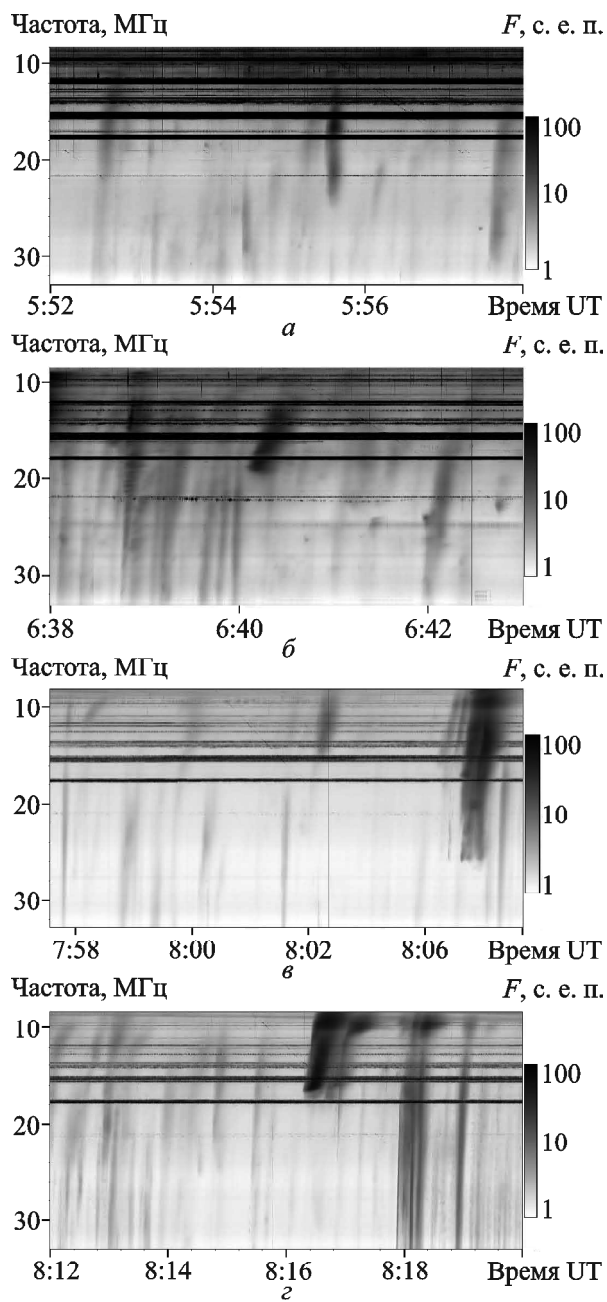


Рис. 1. Динамические спектры некоторых всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся на радиотелескопе УРАН-2 18 августа 2012 г.

Как и в случае всплеска, наблюдавшегося 3 июня 2011 г., все эти всплески внезапно (резко) обрывались со стороны высоких частот. 18 августа 2012 г. было зарегистрировано девять относительно мощных всплесков типа “гусеница” и множество довольно слабых, трудно поддающихся анализу. Частоты отсечки со стороны высоких частот у всплесков были различными, в пределах

14.7 ÷ 24.5 МГц, что составляет частотную полосу почти 10 МГц. Полная длительность этих всплесков превышала длительность обычных декаметровых всплесков III типа, значительно уступая длительности всплесков II типа, наблюдающихся в этом диапазоне, и изменялась в промежутке от 20 до 90 с. Длительность по уровню половинной мощности также изменялась в довольно больших пределах, от 10 до 27 с, со средним значением 17.4 с.

У шести из девяти всплесков типа “гусеница”, зарегистрированных 18 августа 2012 г., наблюдалось изменение направления частотного дрейфа. В оставшихся трех случаях всплески имели только отрицательный дрейф, т. е. от высоких частот к низким. Именно в области изменения знака скорости дрейфа регистрируется начало всплеска. Частота, на которой наблюдалось изменение направления дрейфа всплесков, варьировалась в полосе около 6 МГц, от 12.7 до 18.8 МГц. Скорость отрицательного дрейфа всплесков, как и у “гусеницы”, зарегистрированной 3 июня 2011 г., была существенно ниже, чем у обычных всплесков III типа. Наибольшей она была у всплесков, наблюдавшихся в 5:55 и 11:55, и составляла 0.8 МГц/с, а наименьшей – у всплеска, зарегистрированного в 6:40, всего 0.37 МГц/с. Средняя скорость отрицательного дрейфа девяти всплесков имеет значение 0.55 МГц/с, очень близкое к значению скорости отрицательного дрейфа “гусеницы”, наблюдавшейся 3 июня 2011 г. Скорость положительного дрейфа изменялась в значительно больших пределах – от 3.3 МГц/с у всплеска, зарегистрированного в 5:55, до 0.32 МГц/с у всплеска, зарегистрированного в 6:40. Причем корреляции между скоростями отрицательного и положительного дрейфа не наблюдается. Среднее значение скорости положительного дрейфа шести всплесков, у которых он наблюдался, составляет 1.45 МГц/с, что на порядок больше, чем у всплеска типа “гусеница” в наблюдениях 3 июня 2011 г.

Как и в случае “гусеницы”, наблюдавшейся 3 июня 2011 г., временные профили всплесков имели колоколообразную форму в отличие от временных профилей всплесков III типа, у которых передний фронт заметно круче, чем задний. На рис. 2, а–в представлены временные профили всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся 18 августа 2012 г. в 5:55, в 6:40 и в 11:39 на час-

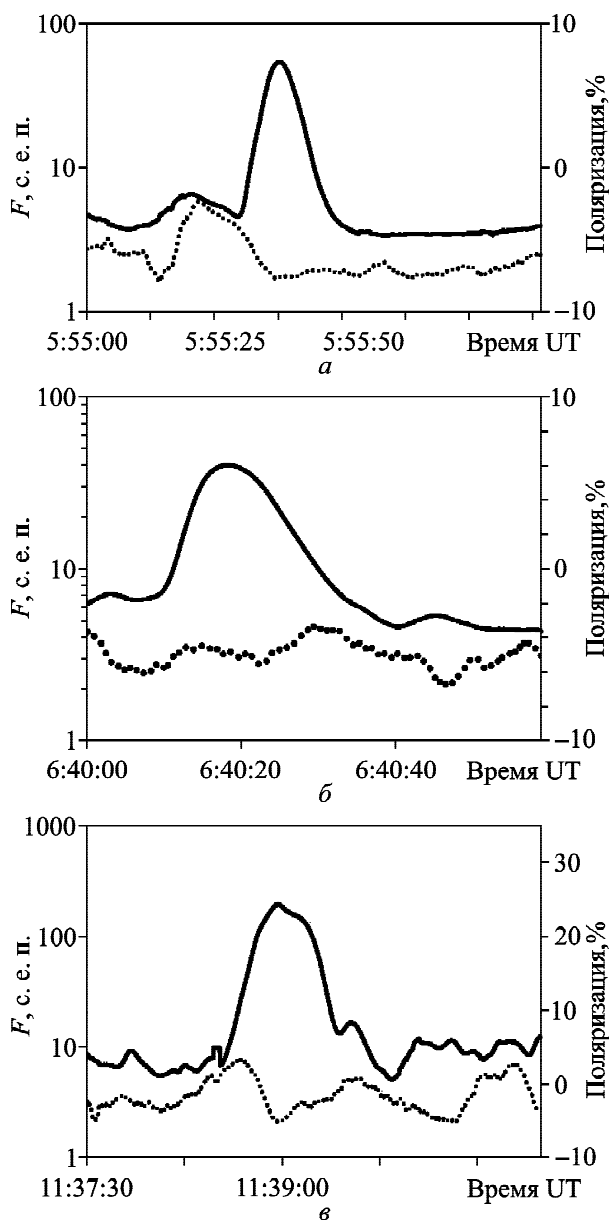


Рис. 2. Временные профили всплесков типа “гусеница” на частоте 16.7 МГц, наблюдавшихся 18 августа 2012 г. в 5:55 (а), в 6:40 (б) и в 11:39 (в). Пунктирной линией показаны поляризационные профили всплесков

тоте 16.7 МГц. Пунктирными кривыми показаны поляризационные профили всплесков.

Поляризация всех зарегистрированных 18 августа 2012 г. всплесков типа “гусеница” была отрицательной, а ее значения не превышали 10 ÷ 15 %. Как видно на рис. 2, наблюдаемые значения степени круговой поляризации всплесков типа “гусеница” соответствуют поляризации излучения второй гармоники в модели плазменного механизма их генерации. То обстоятельство, что

знак поляризации отрицательный, свидетельствует о выходе этого излучения либо из южного полушария, либо из северного, но в случае залимбового события.

Только у трех всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся 18 августа 2012 г., проявилась тонкая структура. Всплеск, зарегистрированный в 5:55, имеет несколько волокон частотной шириной около 500 кГц с небольшим прямым, от высоких частот к низким, дрейфом. Во всплеске, зарегистрированном в 6:40, можно различить слабые волокна частотной шириной 250 кГц, также имеющие небольшой отрицательный дрейф. Всплеск, наблюдавшийся в 8:05, его динамический спектр показан на рис. 3, имеет волокна частотной шириной от 250 до 500 кГц. Их дрейф в основном прямой, изменяющийся по величине, но у некоторых волокон наблюдается и обратный дрейф. Частотная ширина волокон всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся в этот день, имеет значения близкие к значениям частотной ширины во-

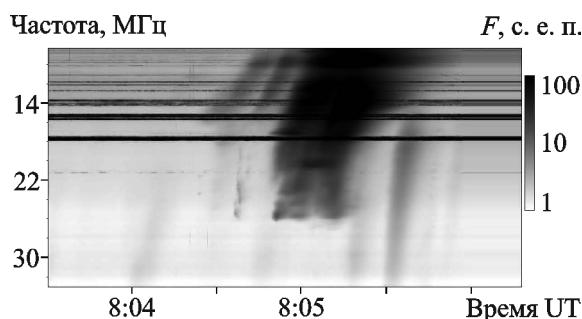


Рис. 3. Тонкая структура всплеска типа “гусеница” по наблюдениям на радиотелескопе УРАН-2 18 августа 2012 г.

локон всплеска, наблюдавшегося 3 июня 2011 г., которые составляли $300 \div 400$ кГц. Разрешение тонкой структуры большинства всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся 18 августа 2012 г., затруднено из-за малых значений потока излучения и тем, что они видны в низкочастотной части диапазона наблюдений, которая в наибольшей степени подвержена влиянию помех естественного и искусственного происхождения.

Параметры зарегистрированных 18 августа 2012 г. всплесков типа “гусеница” приведены в табл. 1.

3. Анализ данных космических аппаратов “СОХО”, “СТЕРЕО-А”, “СТЕРЕО-В” и “ГОЕС”

Позиционный угол оси вращения Солнца 18 августа 2012 г. составлял $P = 17^\circ$. Полнос был повернут к наблюдателю на 6.8° . Кэррингтоновская долгота центрального меридиана составляла около 320° . На видимом диске Солнца наблюдались группы пятен (рис. 4, а): NOAA 1543 с координатами N24 W59; NOAA 1546 с координатами N16 E56; NOAA 1547 с координатами N05 E21. На восточном лимбе – группа, которая в последующем будет обозначена как NOAA 1548 с координатами N20 E89. На обратной стороне Солнца по наблюдениям космического аппарата (КА) “СТЕРЕО-В” прослеживалась очень большая активная область в северном полушарии на долготах в районе 180° относительно центрального меридиана, которая с 25 августа появится на диске Солнца как группа пятен NOAA 1555

Таблица 1. Параметры всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся 18 августа 2012 г. на радиотелескопе УРАН-2.

Время, UT	Полная длительность, с	Длительность на уровне половинной мощности, с	Скорость прямого дрейфа, МГц/с	Скорость обратного дрейфа, МГц/с	Частота отсечки, МГц	Частота поворота дрейфа, МГц	Максимальный поток, с. е. п.	Степень поляризации, %	Наличие тонкой структуры
05:55	20 ÷ 30	9	0.8	3.3	24.5	18.3	$0.5 \cdot 10^2$	<10	да
06:40	30 ÷ 35	15	0.37	0.32	19.9	18.8	$0.5 \cdot 10^2$	<10	да
07:10	30 ÷ 50	12	0.49	0.85	18.4	12.7	$1.7 \cdot 10^2$	<10	нет
08:05	50 ÷ 90	27	0.6	2.5	26.3	17.4	$1.6 \cdot 10^3$	<15	да
08:16	40 ÷ 50	18	0.4	–	16.5	–	$4.0 \cdot 10^3$	<10	нет
11:06	30 ÷ 50	16	0.4	–	14.7	–	$0.8 \cdot 10^2$	<10	нет
11:36	40 ÷ 50	18	0.6	–	19.9	–	$4.0 \cdot 10^3$	<10	нет
11:38	50 ÷ 70	28	0.5	1.3	19.0	15.5	$6.0 \cdot 10^2$	<15	нет
11:55	20 ÷ 30	14	0.4	0.8	21.1	18.5	$1.2 \cdot 10^2$	<10	да

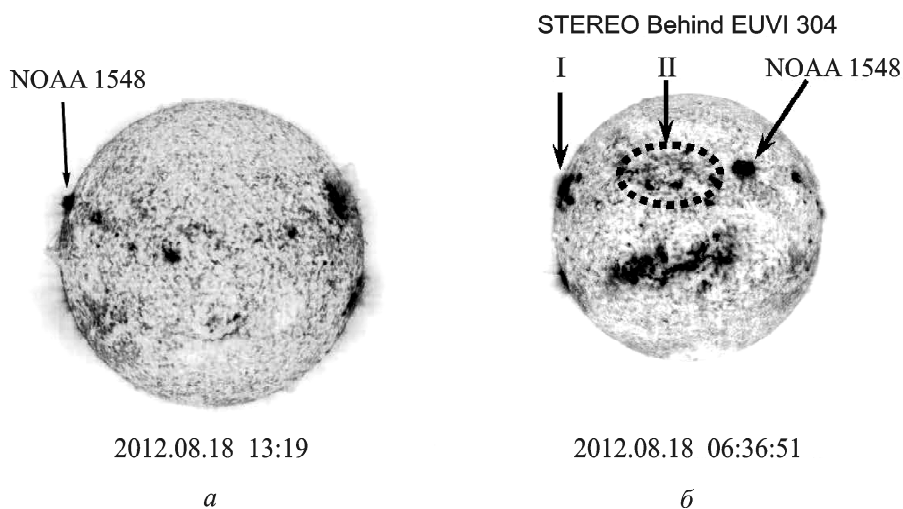


Рис. 4. Активные области на диске Солнца 18 августа 2012 г. по данным КА “СОХО” (а) и “СТЕРЕО-В” 1 (б)

(на рис. 4, б обозначена цифрой I), а также меньшие по площади активные области, которые станут группами NOAA 1551 и NOAA 1554 (на рис. 4, б обозначены цифрой II).

По данным наблюдений КА “ГОЕС” 18 августа 2012 г. в области, которая впоследствии будет названа NOAA 1548, произошло несколько вспышек классов C6.1–C1.3 в 06:00–06:21, 08:30–08:40, 10:32–10:39 и в 11:41–11:47. Таким образом, во время наблюдений на радиотелескопе УРАН-2 основная вспышечная активность происходила на восточном лимбе Солнца. В это время заметной вспышечной активности в видимых с Земли активных областях не наблюдалось. Более того, все рентгеновские вспышки (более 40) различной мощности, зарегистрированные КА “ГОЕС” на протяжении с 15:21 17 августа до 16:51 19 августа 2012 г., наблюдались только в активной области NOAA 1548. В это же время по данным оптических наблюдений КА “СТЕРЕО-В” произошла активизация залимбовых групп, синхронизирующаяся с активностью области NOAA 1548. Наблюдались вспышки в области на 10° “севернее” пояса залимбовых групп. Вспышки происходили единым ансамблем, и тон задавала группа NOAA 1548.

На рис. 5 представлены примеры компактных выбросов, наблюдавшихся 18 августа 2012 г. С первым из них, зарегистрированным коронографом LASCO C2 на борту КА “СОХО”, мы связываем “гусеницу”, наблюдавшуюся радиотелескопом УРАН-2 в 6:40 (рис. 5, а), а со вторым,

зарегистрированным коронографом SECCHI Cor2 на борту КА “СТЕРЕО-В”, – “гусеницу”, наблюдавшуюся в 7:10 (рис. 5, б). Из наблюдений КА “СТЕРЕО-В” отчетливо видно, что вспышка в области NOAA 1548 сопровождается компактными выбросами, направленными не только по нормали, но и под различными углами к поверхности Солнца. В наблюдениях “СТЕРЕО-А”, например, выброс около 6:54 виден справа от наблюдателя, т. е., по-видимому, он был из группы NOAA 1548. По наблюдениям “СТЕРЕО-В” этот выброс виден также справа. С учетом положения КА “СТЕРЕО” в момент наблюдений, $+130^\circ$ (“СТЕРЕО-А”) и -120° (“СТЕРЕО-В”) относительно центрального меридиана, такое возможно только при очень значительном отклонении компактного выброса от нормали к “северу”. По данным коронографа LASCO C2 выброс в 6:24 согласуется со вспышкой с началом в 6:00, зарегистрированной КА “ГОЕС” в активной области NOAA 1548. И в этом случае траектория выброса оказывается смещенной в направлении северного полюса Солнца. На рис. 6 показано перемещение переднего фронта компактного выброса, с которым мы ассоциируем “гусеницу”, наблюдавшуюся в 6:40 (рис. 5, а). Его скорость медленно убывала от 555 до 506 км/с. Размер выброса со временем увеличивался медленно и на высотах в короне, соответствующих частотам наблюдений радиотелескопа УРАН-2, как и размер “гусеницы” по наблюдениям 3 июня 2011 г., составлял приблизительно $1.3R_S \times 0.5R_S$.

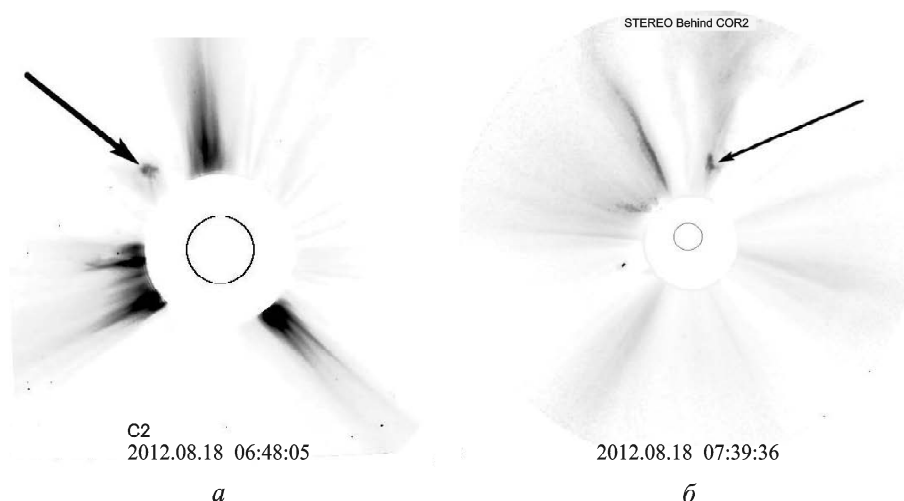


Рис. 5. Компактные выбросы, наблюдавшиеся 18 августа 2012 г. на широкоугольных спектрометрических коронографах LASCO C2 на борту КА “СОХО” (а) и SECCHI Cor2 на борту КА “СТЕРЕО-В” (б)

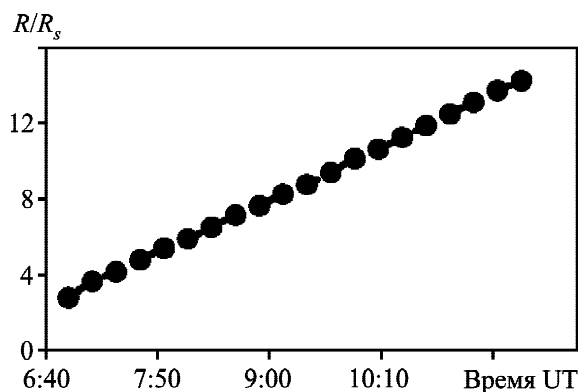


Рис. 6. Перемещение в картинной плоскости переднего фронта компактного выброса, ассоциируемого с “гусеницей”, наблюдавшейся 18 августа 2012 г. в 6:40, по данным коронографа Cor2 на борту КА “СТЕРЕО-В”

В то же время, когда на радиотелескопе УРАН-2 наблюдался всплеск типа “гусеница” в 8:05, КА “СТЕРЕО-В” также зарегистрировал всплеск в полосе частот $1 \div 15$ МГц с существенно меньшей скоростью дрейфа, чем у соседних всплесков III типа (рис. 7). Его средняя скорость дрейфа была около 90 кГц/с. В 11:38 “СТЕРЕО-В” зарегистрировал всплеск, средняя скорость дрейфа которого не превышала 80 кГц/с, что также значительно уступает значениям средних скоростей дрейфа всплесков III типа. Таким образом, компактные выбросы, которые, как мы считаем, ответственны за всплески типа “гусеница”, сохраняли свои свойства, распространяясь на значительные расстояния от Солнца.

Отметим, что на “СТЕРЕО-А” всплески на частотах выше 5 МГц практически не наблюдались. Это дополнительно указывает на локализацию активности в группе NOAA 1548 и последующих за нею активных областях.

4. Обсуждение

Всплески типа “гусеница”, наблюдавшиеся и 3 июня 2011 г. и 18 августа 2012 г., мы связываем с компактными выбросами солнечной плазмы. Эти выбросы сохраняют свой компактный вид продолжительное время на довольно больших расстояниях (иногда более чем $10R_s$). Это указывает на наличие силы, сохраняющей “компактность” выброса. Естественно предположить, что такой силой является достаточно большое магнитное поле. Поэтому мы назвали эти выбросы магнитными жгутами [1]. Магнитные жгуты появились в результате мощной активности залимбовых активных областей 3 июня 2011 г., 18 августа 2012 г. и во время других наблюдений декаметровых всплесков типа “гусеница” на радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2. Чем вызвана такая особенность описываемых всплесков, еще требуется объяснить. Тем не менее все зарегистрированные нами всплески типа “гусеница” сопровождалось наблюдавшимися в оптическом диапазоне магнитными жгутами, явившимися результатом залимбовой активности.

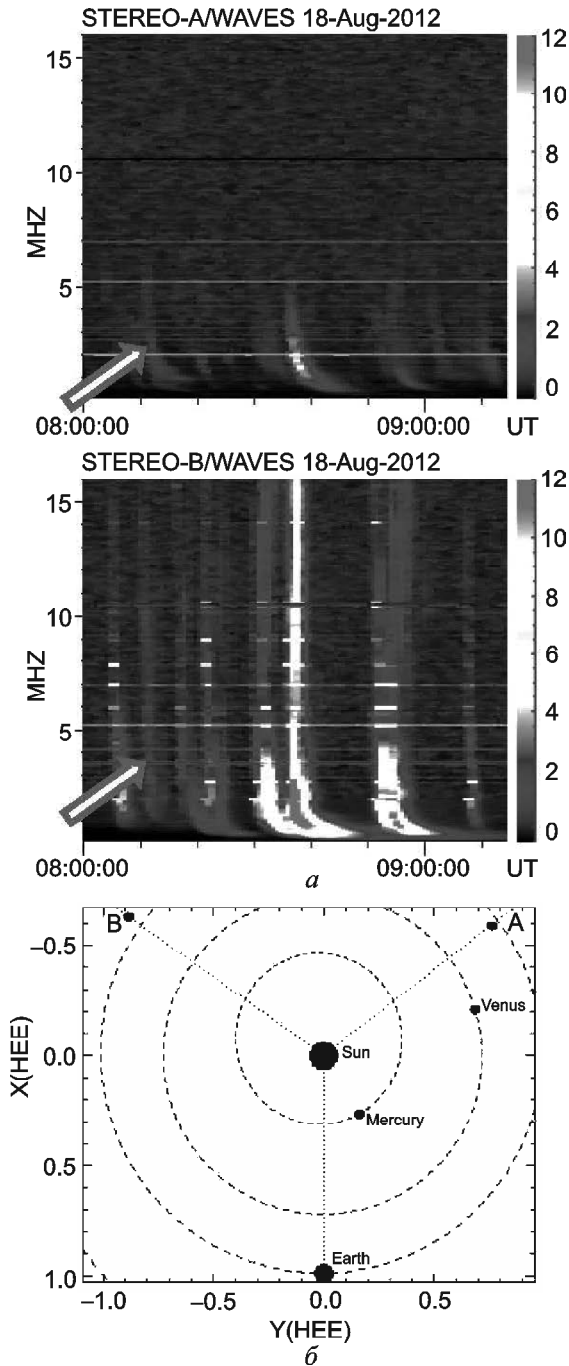


Рис. 7. Динамический спектр “гусеницы” (отмечен стрелкой), полученный спектрометрами WAVES КА “СТЕРЕО-А” и “СТЕРЕО-В” 18 августа 2012 г. в 8:05 (а), и положение КА “СТЕРЕО-А” и “СТЕРЕО-В” в этот день (б)

Из залимбовых областей солнечной короны может выходить только излучение второй гармоники локальной плазменной частоты. Это подтверждается и низкой (порядка 10 %) степенью круговой поляризации всех зарегистрированных нами “гусениц”. В [3] были получены условия

выхода залимбового излучения с использованием различных моделей распределения плотности электронов в короне Солнца. По нашему мнению, более адекватно ситуацию над областями активности отражают модели Ньюкирка [13] и Манна [14]. Из зависимости максимальных частот выхода (частот отсечки) излучения из залимбовых областей от долготного угла в случае распределения плотности электронов в короне Солнца по Ньюкирку, полученной в [1], следует, что для рабочего диапазона радиотелескопа УРАН-2 (8 ÷ 32 МГц) излучение выходит при углах < 58°.

Обратная зависимость позволит определять гелиодолготный угол компактных выбросов по известным максимальным частотам всплесков типа “гусеница” на соответствующих выбранной модели распределения плотности электронов высотах в короне Солнца. И, следовательно, позволит установить положение высокоактивных областей, продуцирующих эти компактные выбросы, на невидимой части Солнца. Для модели Ньюкирка такая зависимость имеет вид:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\ln \left(\pi f^* \left(\frac{4\pi e^2 n_N}{m_e} \right)^{-1/2} \right)}{\ln \left(2\pi f^* \left(\frac{4\pi e^2 n_N}{m_e} \right)^{-1/2} \right)} \right),$$

где f^* – частота отсечки, e – заряд электрона, m_e – масса электрона, коэффициент $n_N = 4.2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$.

Частоты отсечки всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся 18 августа 2012 г., изменялись в пределах 14.7 ÷ 26.3 МГц (см. табл. 1), что соответствует диапазону долготных углов 46° ÷ 40° за лимбом Солнца. Области активности на невидимой части Солнца (рис. 5, б, обозначены цифрой II), с появлением на видимой части получившие обозначения NOAA 1551 и NOAA 1554, были расположены на указанных долготах. И, следовательно, появление компактных выбросов (магнитных жгутов), скорее всего, было связано с этими активными областями. Таким образом, возникает возможность определения долготного угла активных областей, находящихся на невидимой части Солнца, по наблюдениям наземных радиотелескопов.

5. Выводы

Со времени идентификации всплеска типа “гусеница” 3 июня 2011 г. на украинских радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2 было зарегистрировано несколько десятков таких необычных всплесков. Эти довольно редкие явления наблюдались во время возникновения компактных выбросов, зарегистрированных миссиями “СОХО” и “СТЕРЕО” в оптическом диапазоне. Заметим, что во время наблюдений компактных выбросов отсутствовала существенная активность находившихся на видимом диске Солнца активных областей. Однако в залимбовых областях активности отмечалось значительное увеличение количества вспышек, как правило, сопровождавшееся СМЕ.

Параметры всплесков типа “гусеница”, зарегистрированных с помощью радиотелескопа УРАН-2 18 августа 2012 г., очень близки к параметрам такого типа всплеска, впервые обнаруженного 3 июня 2011 г. Перечислим характерные особенности этих всплесков.

– Длительность всплесков типа “гусеница” больше характерной для декаметрового диапазона длительности всплесков III типа. Их средняя длительность на уровне половинной мощности составила 17 с против 9 с у всплесков III типа. Полная длительность всплесков типа “гусеница” также в два раза превышает полную длительность всплесков III типа.

– Скорости дрейфа всплесков типа “гусеница” меньше скорости дрейфа всплесков III типа. Скорость прямого дрейфа (от высоких частот к низким) всплесков типа “гусеница” находилась в пределах $0.37 \div 0.8$ МГц/с, что в несколько раз меньше характерной для исследуемого диапазона частот скорости дрейфа всплесков III типа.

– У многих всплесков типа “гусеница” отмечено изменение направления дрейфа. Область изменения знака дрейфа всплесков, у которых наблюдается такая особенность, является началом всплеска.

– Обратный дрейф (от низких частот к высоким) у всплесков типа “гусеница” наблюдается не всегда. Его скорость значительно превышает скорость отрицательного дрейфа. У наблюдавшихся 18 августа 2012 г. всплесков типа “гусеница” значения скорости положительного дрейфа изменялись в пределах от 0.32 до 3.3 МГц/с. Аб-

солютное значение средней скорости положительного дрейфа составляет 1.45 МГц/с, оставаясь меньше абсолютного значения характерной скорости дрейфа всплесков III типа.

– Всплески типа “гусеница” имеют тонкую структуру, временные и частотные параметры которой не схожи с параметрами тонкой структуры известных всплесков декаметрового диапазона.

– Степень круговой поляризации всплесков типа “гусеница”, наблюдавшихся 18 августа 2012 г., как и у всплеска, зарегистрированного 3 июня 2011 г., составляет около 10 %, что в предположении плазменного механизма генерации указывает на излучение второй гармоники.

Всплески типа “гусеница” регистрировались во время наблюдений в оптическом диапазоне компактных выбросов с характерными размерами $(1.3 \div 0.5)R_S \times (0.5 \div 0.2)R_S$, распространявшихся с незначительными изменениями размеров и скорости на соответствующих исследуемому диапазону частот высотах в короне Солнца. Примечательно, что и 3 июня 2011 г., и 18 августа 2012 г. во время наблюдения всплесков типа “гусеница” в декаметровом диапазоне и компактных выбросов в оптическом диапазоне определяющей была активность залимбовых групп. На видимом диске Солнца в это время проявлений существенной активности (рентгеновских вспышек и СМЕ) не отмечалось. Таким образом, подтверждается замеченная в [1–3] связь: всплески типа “гусеница” – магнитные жгуты – активность залимбовых областей.

Модель всплесков типа “гусеница” как излучения второй гармоники в предположении плазменного механизма генерации, предложенная авторами в [1, 3], хорошо согласуется с результатами наблюдений. Она дает возможность определять положение активных областей, находящихся на невидимой части Солнца, по наблюдениям наземных радиотелескопов.

Работа была проведена частично в рамках проекта “SOLSPANET” (номер FP7-PEOPLE-2010-IRSES-269299). Авторы выражают благодарность коллективу NASA за политику открытого доступа к данным, полученным КА “СОХО” и “СТЕРЕО-A”, “СТЕРЕО-B”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Melnik V. N., Brazhenko A. I., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Frantsuzenko A. V., Dorovskyy V. V., Panchenko M., and Stanislavskyy A. A. Unusual Solar Radio Burst Observed at Decameter Wavelengths // *Sol. Phys.* – 2014. – Vol. 289, Is. 1. – P. 263–278. – doi: 10.1007/s11207-013-0328-2.
- Браженко А. И., Мельник В. Н., Коноваленко А. А., Доровский В. В., Французенко А. В., Рукер Х. О., Панченко М., Станиславский А. А. Необычный солнечный всплеск в декаметровом диапазоне длин волн. 1. Наблюдения // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2012. – Т. 17, № 2. – С. 99–105.
- Мельник В. Н., Браженко А. И., Коноваленко А. А., Доровский В. В., Французенко А. В., Рукер Х. О., Панченко М., Станиславский А. А. Необычный солнечный всплеск в декаметровом диапазоне длин волн. 2. Интерпретация // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2012. – Т. 17, № 3. – С. 199–206.
- Abranin E. P., Bazelian L. L., Rapoport V. O., and Tsybko I. G. Variations of type III burst parameters during a decametric solar storm // *Sol. Phys.* – 1980. – Vol. 66, Is. 2. – P. 333–346. – doi:10.1007/BF00150589.
- Melnik V. N., Konovalenko A. A., Abranin E. P., Dorovskyy V. V., Stanislavskyy A. A., Rucker H. O., and Lecacheux A. Solar sporadic radio emission in the decametre waveband // *Astron. Astrophys. Trans.* – 2005. – Vol. 24, Is. 5. – P. 391–401. – doi:10.1080/10556790600568854.
- Melnik V. N., Rucker H. O., Konovalenko A. A., Dorovskyy V. V., Abranin E. P., Brazhenko A. I., Thide B., and Stanislavskyy A. A. Solar type IV bursts at frequencies 10–30 MHz. In: Wang P., editor. *Solar Physics Research Trends.* – New York: Nova Science Publishers, 2008. – P. 287–325.
- Bazelian L. L., Zinichev V. A., and Rapoport V. O. Type III bursts with fine structure in the decameter range // *Radiophys. Quantum Electron.* – 1978. – Vol. 20, Is. 9. – P. 965–974.
- Melnik V. N., Rucker H. O., Konovalenko A. A., Shevchuk N. V., Abranin E. P., Dorovskyy V. V., and Lecacheux A. Type IIIb bursts and their fine structure in frequency band 18–30 MHz. In: Chakrabarti S. K., Zhuk A. I., Bisnovatyi-Kogan G. S., editors. *Astrophysics and Cosmology after Gamow* // *AIP Conf. Proc.* – 2010. – Vol. 1206. – P. 445–449. – doi:10.1063/1.3292552.
- Ginzburg V. L. and Zhelezniakov V. V. On the possible mechanisms of sporadic solar radio emission (radiation in an isotropic plasma) // *Sov. Astron.* – 1958. – Vol. 2. – P. 653–678.
- Мень А. В., Шарыкин Н. К., Захаренко В. В., Булацен В. Г., Браженко А. И., Ваццишин Р. В. Радиотелескоп декаметрового диапазона длин волн Уран-2 // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2003. – Т. 8, № 4. – С. 345–356.
- Brazhenko A. I., Bulatsen V. G., Vashchishin R. V., Frantsuzenko A. V., Konovalenko A. A., Falkovich I. S., Abranin E. P., Ulyanov O. M., Zakharenko V. V., Lecacheux A., and Rucker H. New decameter radiopolarimeter URAN-2 // *Kinematika i Fizika Nebesnyh Tel. Suppl.* – 2005. – Vol. 21, No. 5. (suppl) – P. 43–46.
- Ryabov V. B., Vavriv D. M., Zarka P., Ryabov B. P., Kozhin R., Vinogradov V. V., and Denis L. A low-noise, high-dynamic-range, digital receiver for radio astronomy applications: An efficient solution for observing radio-bursts from Jupiter, the Sun, pulsars, and other astrophysical plasmas below 30 MHz // *Astron. Astrophys.* – 2010. – Vol. 510. – id. A16. – doi:10.1051/0004-6361/200913335.
- Newkirk G. 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. – doi:10.1086/147104.
- Mann G., Jansen F., MacDowall R. J., Kaiser M. L., and Stone R. G. A heliospheric density model and type III radio bursts // *Astron. Astrophys.* – 1999. – Vol. 348, No. 2. – P. 614–620.

А. І. Браженко¹, В. М. Мельник², А. В. Французенко¹, Г. О. Рукер³, М. Панченко³

¹Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С. І. Суботіна НАН України, вул. М'ясоєдова, 27/29, м. Полтава, 36014, Україна

²Радіоастрономічний інститут НАН України, вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

³Інститут космічних досліджень Австрійської академії наук, вул. Шмідльштрассе, 6, м. Грац, 8042, Австрія

НЕЗВИЧАЙНІ СОНЯЧНІ ДЕКАМЕТРОВІ РАДІОСПЛЕСКИ З ВІДСІЧКОЮ НА ВИСОКИХ ЧАСТОТАХ

Сонячні сплески з відсічкою на високих частотах спостерігалися на радіотелескопі УРАН-2 (м. Полтава, Україна) 18 серпня 2012 р. у діапазоні частот $8 \div 32$ МГц. Ці сплески були значно тривалішими звичайних сплесків III типу, їх загальна тривалість змінювалася від 30 до 70 с. Сплески мали швидкість частотного дрейфу помітно меншу швидкості дрейфу звичайних сплесків III типу, але водночас вона була суттєво більшою, ніж у декаметрових сплесків II типу. У деяких випадках напрямок частотного дрейфу сплеску змінювався з негативного на позитивний. Деякі сплески мали тонку структуру. Швидкість дрейфу волокон тонкої структури була невисокою, $20 \div 40$ кГц/с. Ступінь поляризації цих сплесків становив близько 10 %, що, вірогідно, вказує на те, що їх випромінювання є другою гармонією місцевої плазмової частоти. Підтверджено зв'язок сплесків з відсічкою на високих частотах з компактними викидами заліomboвих активних областей.

А. І. Браженко¹, В. Н. Мельник², А. В. Французенко¹, Г. О. Рукер³, and М. Панченко³

¹Poltava Gravimetric Observatory, S. Subotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 27/29, Miasoiedov St., Poltava, 36014, Ukraine

²Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine, 4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

³Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 6, Schmiedlstrasse, Graz, 8042, Austria

UNUSUAL SOLAR DECAMETER RADIO BURSTS WITH HIGH FREQUENCY CUT OFF

Solar bursts with high frequency cut off were observed by the URAN-2 radio telescope (Poltava, Ukraine) on 18 August, 2012

in the frequency range 8–32 MHz. Durations of these bursts changed from 30 to 70 s. It is much longer than that for standard type III bursts. Drift rates are much smaller than those of type III bursts are, though much larger than those for decameter type II bursts. In some cases, the drift rate sign changes from the negative to positive one. Some of these bursts have fine structures. Stripes of the fine structures have small drift rates of

20–40 kHz/s. Polarizations of these bursts made about 10 % that apparently indicates that they are generated at the second harmonic of the local plasma frequency. The connection of bursts with the high frequency cut off with compact ejections from the behind-limb active regions is confirmed.

Статья поступила в редакцию 24.11.2014