

УДК 523.985

ОСОБЕННОСТИ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 12 ФЕВРАЛЯ 2010 г.

© 2014 г. Г. П. Чернов¹, В. В. Фомичев¹, Р. В. Горгуца¹, А. К. Маркеев¹,
Д. Е. Соболев¹, А. Хилларис², К. Алиссандракис³

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова
РАН (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк*

² *Section of Astro-Geophysics, Department of Physics, University of Ioannina, 45110 Ioannina, Greece*

³ *Section of Astrophysics, Astronomy and Mechanics, Department of Physics, University of Athens,
Panepistimiopolis 157 84, Zografos, Greece*

e-mail: gchernov@izmiran.rssi.ru

Поступила в редакцию 30.07.2013 г.

После доработки 09.02.2014 г.

Проанализированы записи радиоизлучения Солнца, полученные на спектрографе ИЗМИРАН (25–270 МГц) для события солнечной вспышки 12 февраля 2010 г. Отмечено, что в трех больших группах всплесков III типа наблюдалась разнообразная тонкая структура на фоне невысокого континуума. Согласно данным радиогелиографа Нансэ, источники всех трех групп всплесков располагались в одной активной области I1046 и их излучение сопровождалось всплесками в мягком рентгеновском диапазоне (космический аппарат GOES): в 07:21 UT C7.9, в 09:40 UT B9.6 и в 11:25 UT M8.3. После первой группы всплесков наблюдались классические волокна (fiber bursts) в сочетании с обратно дрейфующими волокнами с необычным дугообразным дрейфом. После третьей (самой мощной) группы наблюдались стабильные секундные пульсации и медленно дрейфующие волокна. Мгновенная полоса частот у них на порядок превышала полосу частот классических волокон, а частотный дрейф был в несколько раз меньше. Более сложные волокна наблюдались в самой слабой группе в интервале 09:40:30–09:42:00 UT. Они представляли собой узкополосные (~0.5 МГц) волокна, периодически повторяющиеся в небольшой полосе частот (5–6 МГц) в течение нескольких секунд. Особенностью данного явления является также присутствие множества хаотически дрейфующих ансамблей волокон, пересекающихся и накладывающихся друг на друга. Предполагается, что появление таких структур может быть связано с существованием множества мелких ударных фронтов за передним краем коронального выброса массы.

DOI: 10.7868/S0016794014040038

1. ВВЕДЕНИЕ

Полосы в излучении и поглощении в виде регулярной зебра-структуры или всплесков с промежуточным дрейфом частоты (Intermediate drift bursts IDB, или fiber bursts) на фоне континуального излучения радиовсплесков IV типа в метровом и дециметровом диапазонах волн давно изучаются и классифицируются в монографиях (см., например, [Крюгер, 1983]) и обзорах [Slotje, 1981; Chernov, 2006; 2011]. Одной из разновидностей подобных структур в метровом диапазоне волн являются ансамбли скрученных узкополосных волокон, природа которых остается мало изученной. Впервые они были зарегистрированы на спектрографе ИЗМИРАН в явлении 24 апреля 1985 г. и обсуждались в работах [Aurass et al., 1987; Mann et al., 1989]. Основные свойства таких цепочек волокон — это набор периодических волокон в полосе 2–3 МГц с произвольно осциллирующим частотным дрейфом и обладающих поглощением с низкочастотного (НЧ) края [Чернов, 2008].

Обычно узкие волокна следуют с перекрытием по частоте, а скорость их следования (повторяемость) в 2–3 раза выше, чем у обычных волокон с промежуточным дрейфом [Чернов, 1997]. Общий вид таких периодических волокон на динамическом спектре напоминает цепочку волокон, поэтому здесь мы будем использовать этот термин.

После первых публикаций [Aurass et al., 1987; Mann et al., 1989] сложилось мнение, что это довольно редкие явления, наблюдающиеся на пост-максимальной фазе крупных вспышек и сопровождающие зебра-структуры. Однако тщательный анализ наблюдательных данных показал, что цепочки волокон довольно часто появляются в широком диапазоне частот метрового диапазона не только в составе развитой зебра-структуры, но как единичные всплески на импульсной фазе после всплесков III типа и перед всплесками II типа. Сопоставление динамических спектров таких цепочек (в одном масштабе времени), полученных на

станциях Тремсдорф (Германия) и ИЗМИРАН, показало точное совпадение волокон [Чернов, 2008].

Анализ наблюдений на более низких частотах (20–40 МГц), проведенный Черновым [2004] и более детально в работе [Chernov, 2006], показал, что цепочки строго периодических волокон наблюдались между двумя всплесками II типа, и их радиоизлучение должно было исходить из интервала высот между двумя ударными фронтами, распространяющимися с разными скоростями. Разнообразные цепочки волокон без заметного НЧ-поглощения наблюдались на частотах 19–29 МГц непосредственно как тонкая структура сложных всплесков II типа [Чернов и др., 2007]. Появление таких цепочек приходилось на момент, когда ударная волна догоняла корональный выброс массы (КВМ), т.е. радиоизлучение исходило из области между передним краем КВМ и идущим сзади ударным фронтом.

Цель работы – выявить новые особенности таких структур на основе наблюдений события 12 февраля 2010 г. на спектрографе ИЗМИРАН (25–270 МГц) в сравнении с известными ранее явлениями.

2. НОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

12 февраля 2010 г. наблюдались три группы всплесков III типа, сопровождавшиеся всплесками в мягком рентгеновском диапазоне (космический аппарат (КА) GOES): в 07:21 UT C7.9, в 09:40 UT B9.6 и в 11:25 UT M8.3. Все три группы всплесков III типа исходили из одной активной области 11046, но соответствующие H α -вспышки произошли в разных местах: в 07:21 N24E13, в 09:40 N22T07 и в 11:26 N26E11. Согласно данным спектро-поляриметра Нансэ в диапазоне 20–70 МГц поляризация всех трех групп всплесков III типа была правого знака, поэтому можно предположить, что высоко в короне преобладала южная магнитная полярность ведущего пятна, тогда излучение соответствует обыкновенной моде. Каждая группа сопровождалась непрерывным излучением V типа, а после третьей группы наблюдались два всплеска II типа.

В непрерывном излучении наблюдалась необычная тонкая структура, в каждом случае разная, что отвечает предположению, что радиоисточники континуума располагались в разных магнитных петлях.

2.1. Всплески в 09:40 UT

Многочисленные цепочки волокон появились в самой слабой вспышке в 09:40 UT в интервале частот 180–270 МГц (рис. 1). Цепочки наблюдались одновременно с несколькими группами всплесков III типа, что было характерно и для других явлений с цепочками волокон [Чернов,

2008]. Все цепочки волокон наблюдались на фоне непрерывного излучения V типа. В данном явлении мы наблюдали множество хаотически дрейфующих цепочек, пересекающихся и накладывающихся друг на друга. В полосе частот 185–225 МГц одновременно можно различить до десятка разнообразных цепочек. Кроме того, в отличие от прежних данных, в каждой цепочке волокна не повторяют друг друга, а следуют почти хаотически по частоте и времени. На рисунке 2 представлены одновременные увеличенные фрагменты спектров цепочек, полученных в ИЗМИРАН и на греческом спектрографе ARTEMIS-IV [Kontogeorgos et al., 2006]. Все основные элементы тонкой структуры совпадают на обоих спектрах по частоте и по времени, что подтверждает их солнечное происхождение.

Семейство цепочек волокон фактически образует переплетенную зebra-структуру (braided, по терминологии Slottje [1981]).

Мгновенная ширина полосы частот каждого волокна не превышает 1 МГц. Все мелкие волокна дрейфуют к низким частотам, но скорость дрейфа очень нестабильна от одного волокна к другому, и даже отдельные волокна имеют дугообразную форму. Длительность каждого волокна тоже меняется от 1 с (и менее) в начале спектра (рис. 2) до 5–7 с в его конце. К концу этого фрагмента (рис. 3) частотный дрейф отдельных волокон (≈ -2 МГц с $^{-1}$) и цепочек в целом (≈ -0.5 МГц с $^{-1}$) стал более стабильным. В этом случае они близки по параметрам к обсуждавшимся ранее цепочкам волокон [Чернов, 1997; Chernov, 2006].

Иногда наблюдаются пересечения цепочек одиночными волокнами (09:40:50 и 09:41:25 UT), что может свидетельствовать о разнесенных радиоисточниках на близких высотах в короне.

Цепочки волокон просматриваются на фоне существующего наряду с ними всплесчного континуума (см., например, в 09:41:10 UT на частотах вблизи 235 МГц на рис. 2 и далее на рис. 3). Согласно данным Цюрихского спектрографа (ст. Vleien) в диапазоне 100–800 МГц этот континуум (испещренный быстрыми пульсациями) продолжался до частот ~ 800 МГц, а по данным спектрографа в обс. Ondrejov даже выше 2 ГГц. Поток радиоизлучения на 3 ГГц составлял 200 с.е.п. (1 с.е.п. = 10^{-22} Вт м $^{-2}$ Гц $^{-1}$), однако максимум радиоизлучения был в метровом диапазоне, ~ 16000 с.е.п. на 245 МГц.

2.2. Всплески после 11:25 UT

Эта группа всплесков была наиболее мощной за день (рентгеновский балл M9.3). При этом она состояла из двух фаз, каждая из которых включала всплески II типа (рис. 4). Первая фаза в интервале 11:25–11:28 UT была более мощной, на нее

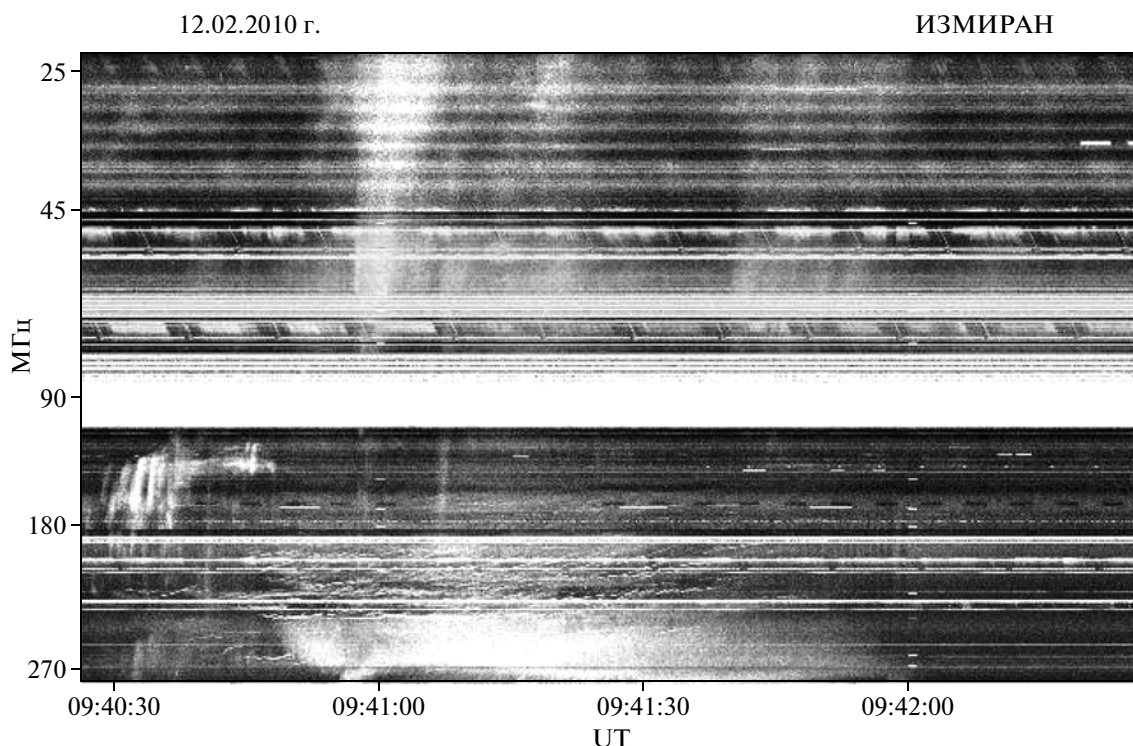


Рис. 1. Общий вид спектра радиоизлучения, полученного на спектрографе ИЗМИРАН в диапазоне 25–270 МГц после 09:40 UT. Хаотичные цепочки волокон появились на фоне континуума (возможно, V типа) в диапазоне 170–270 МГц после группы всплесков III типа в ограниченном диапазоне частот. На более низких частотах продолжались всплески III типа, начальные частоты которых касались НЧ-границы континуума.

приходился максимум жесткого рентгеновского излучения. На второй стадии в интервале 11:29–11:33 UT группа всплесков III типа была слабее, и она сопровождалась всплеском в мягком рентгеновском излучении, хотя всплеск II типа здесь был более выражен, чем в ходе первой фазы. Однако согласно результатам анализа оптических и рентгеновских данных, проведенного Alissandrakis et al. [2011], сильный выброс корональной массы был зарегистрирован на снимках в полосе 195 Å (KA STEREO behind) и в линии H α (обс. Catania) именно перед первым всплеском II типа в 11:25 UT, в то время как перед вторым всплеском II типа отмечается только отклонение коронального луча при расширении шарообразного выброса (названного вторым возмущением).

После первой сильной группы всплесков III типа, в конце которой наблюдался первый слабый всплеск II типа, не видно никакого континуального излучения (V типа). Это означает, что отсутствовала ловушка для частиц, а ударный фронт ушел высоко в корону.

Второй всплеск II типа начался спустя ~10 с после начала второй группы всплесков III типа (вторая фаза явления), и наблюдался он на фоне невысокого континуума (рис. 4). Весь континуум в диапазоне частот 200–400 МГц промодулирован быстрыми пульсациями, причем сначала преоб-

ладали пульсации в поглощении (типа sudden reductions), постепенно переходящие в пульсации в излучении после ~11:30:00 UT, что более наглядно видно на увеличенном фрагменте рис. 5. Пульсации охватывают как основную полосу A второго всплеска II типа, так и две необычные (узкие) полосы, обозначенные как B1 и B2 на рис. 4. Это может происходить, если источники пульсаций, континуума и всплеска II типа в этот момент совпадали. Все пульсации имели отрицательный частотный дрейф ~ -50 МГц с $^{-1}$. Зигзагообразная полоса A заканчивается на частотах <240 МГц V-образным всплеском (рис. 6) с явным поглощением континуума с его НЧ-края, что роднит его с полосами B1 и B2. Одновременно с этим всплеском пульсации меняют частотный дрейф на положительный и более медленный ~ 25 МГц с $^{-1}$ (рис. 6).

2.3. Первая группа всплесков в 07:21 UT

Вспышка в 07:21 UT была средней мощности (рентгеновский балл C7.9/1N, однако группа всплесков III типа была наиболее многочисленной, более 30-ти всплесков за три минуты в интервале 07:21–07:24 UT (рис. 7). Максимум излучения приходился на метровый – дециметровый диапазон. На частотах около начальных частот всплесков III типа и выше наблюдался невысо-

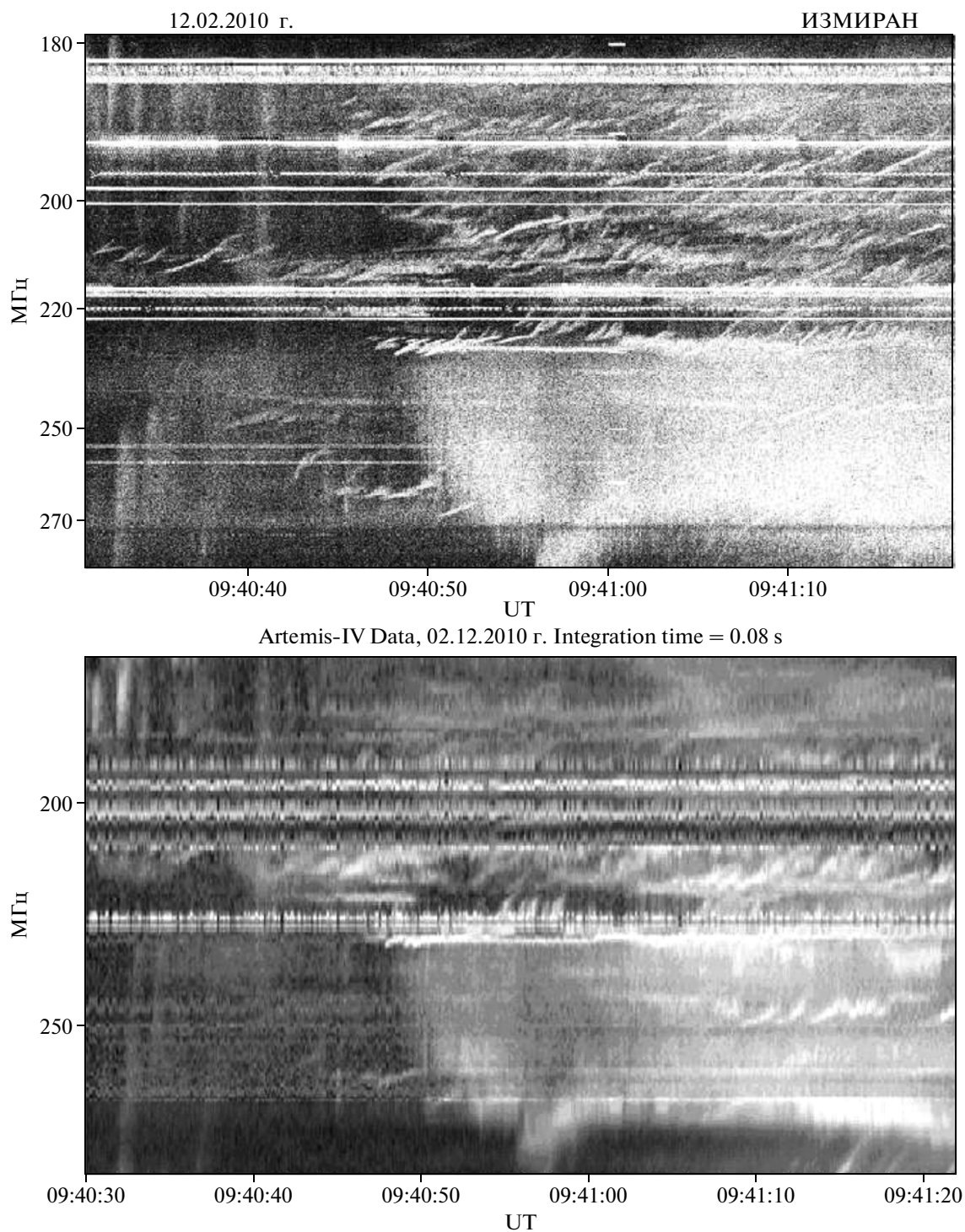


Рис. 2. Одновременные фрагменты динамических спектров с цепочками волокон в диапазоне 180–270 МГц по данным радиоспектрографов ИЗМИРАН и ARTEMIS-IV (Греция).

кий континуум (всплеск V типа). На фоне этого континуума появились две группы необычных быстро дрейфующих волокон (нижний спектр на рис. 7): волокна перед меткой 07:24 UT (похожие на fiber bursts) дрейфуют к низким частотам, а после нее — к высоким частотам.

Волокна вокруг момента 07:25:00 UT не обнаруживают дугообразного дрейфа. Можно различить несколько полос, похожих на слабую зebra-структуру, но цепочки волокон не наблюдались.

Интересно сравнить положение источников различной тонкой структуры радиоизлучения в

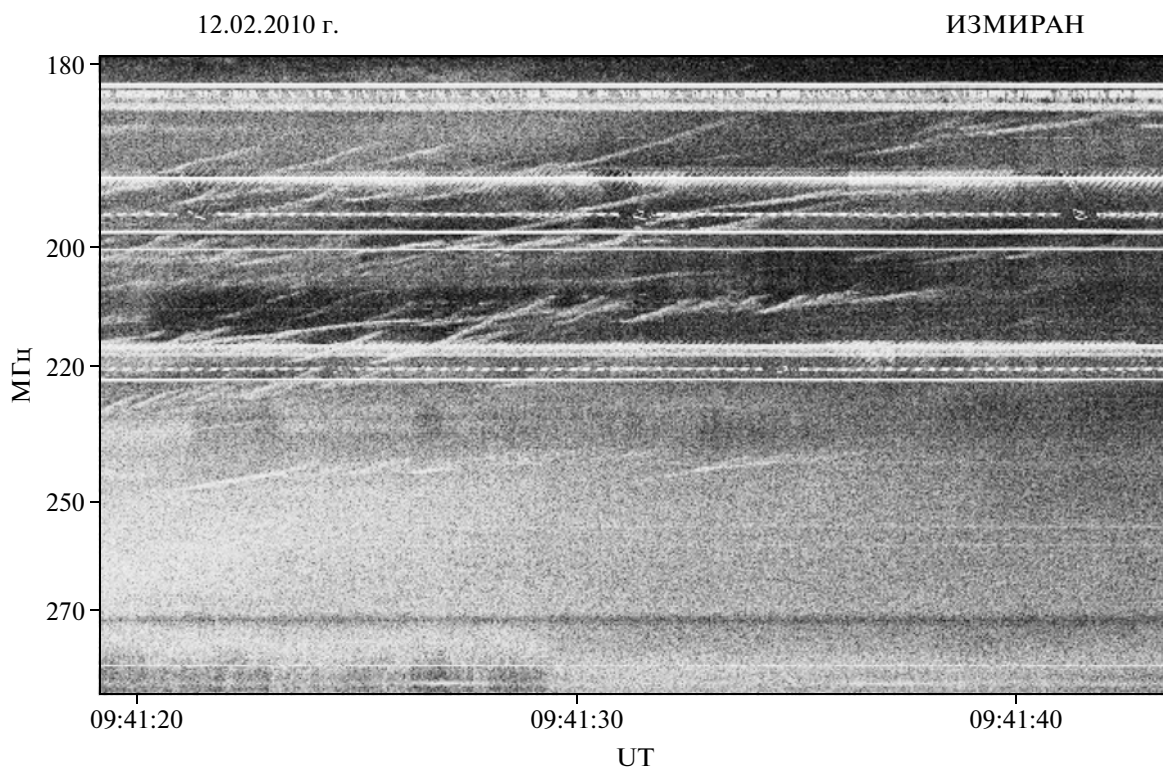


Рис. 3. Продолжение цепочек волокон. Частотный дрейф цепочек и отдельных волокон стал более стабильным.

трех вспышках за 12 февраля 2010 г. в АО. По данным рентгеновского телескопа Hinode XRT яркие рентгеновские петли оставались довольно стабильными в течение всего дня. Положения вспышек (1, 2, 3 в соответствии с временем их появления) указаны на рентгеновском снимке АО 11046 (рис. 8).

Первая вспышка (в 07:21 UT) располагалась между основаниями крупных ярких рентгеновских петель, образующих шир в северо-западной (N-W) части АО между верхней N-W петлей и нижней восточно-западной (E-W) петлей с небольшим вспышечным уярчением в месте их сближения. Естественно предположить, что эти вспышечные петли (вместе с широм) имели продолжение высоко в корону в виде последовательных магнитных петель. Максимум излучения первого явления в радиоизлучении приходился на метровый диапазон, поэтому можно полагать, что ускорение частиц происходило высоко в короне. Наличие сильной группы всплесков III типа свидетельствует о том, что выше области ускорения структура магнитного поля была открытой. Частицы, ускоренные вниз, частично захватывались в закрытую магнитную ловушку, в результате чего наблюдалось континуальный всплеск V типа. Смена знака частотного дрейфа волокон вокруг момента 07:24 UT с отрицательного на положительный указывает на возможное отражение

частиц внизу ловушки и последующее распространение их вдоль всей петли с некоторым ослаблением излучения в момент смены знака дрейфа (на вершине петли).

Вторая вспышка произошла в западной ноге основной крупной N-W петли. Максимум излучения был в метровом диапазоне, поэтому ускорение частиц происходило еще выше в короне. Частицы захватывались в западной ноге большой N-W петли (вероятный источник континуума V типа). Явного всплеска II типа в 09:40 UT не наблюдалось, хотя не исключено, что ударная волна могла сопровождать КВМ.

Различия в сценариях вспышек помогают понять данные о КВМ, полученные на коронографах КА STEREO. На рисунке 8 представлены снимки КВМ, полученные на коронографе COR2 (behind) после второй (левая панель) и третьей вспышек (правая панель). Северное основание петлеобразного КВМ в 10:24 UT обнаруживает неоднородности в виде поперечных концентрических полосок (четко различимых на увеличенных изображениях). Они начинаются непосредственно на выходе КВМ после экрана на высотах $2R_S$. Если принять скорость КВМ ~ 650 км/с, то оказывается, что эти неоднородности выброса находились на высотах метрового диапазона (плазменной частоты) в $\sim 09:40$ UT. Тем самым, хвостовая часть КВМ как раз должна была пересекать большую петлю в

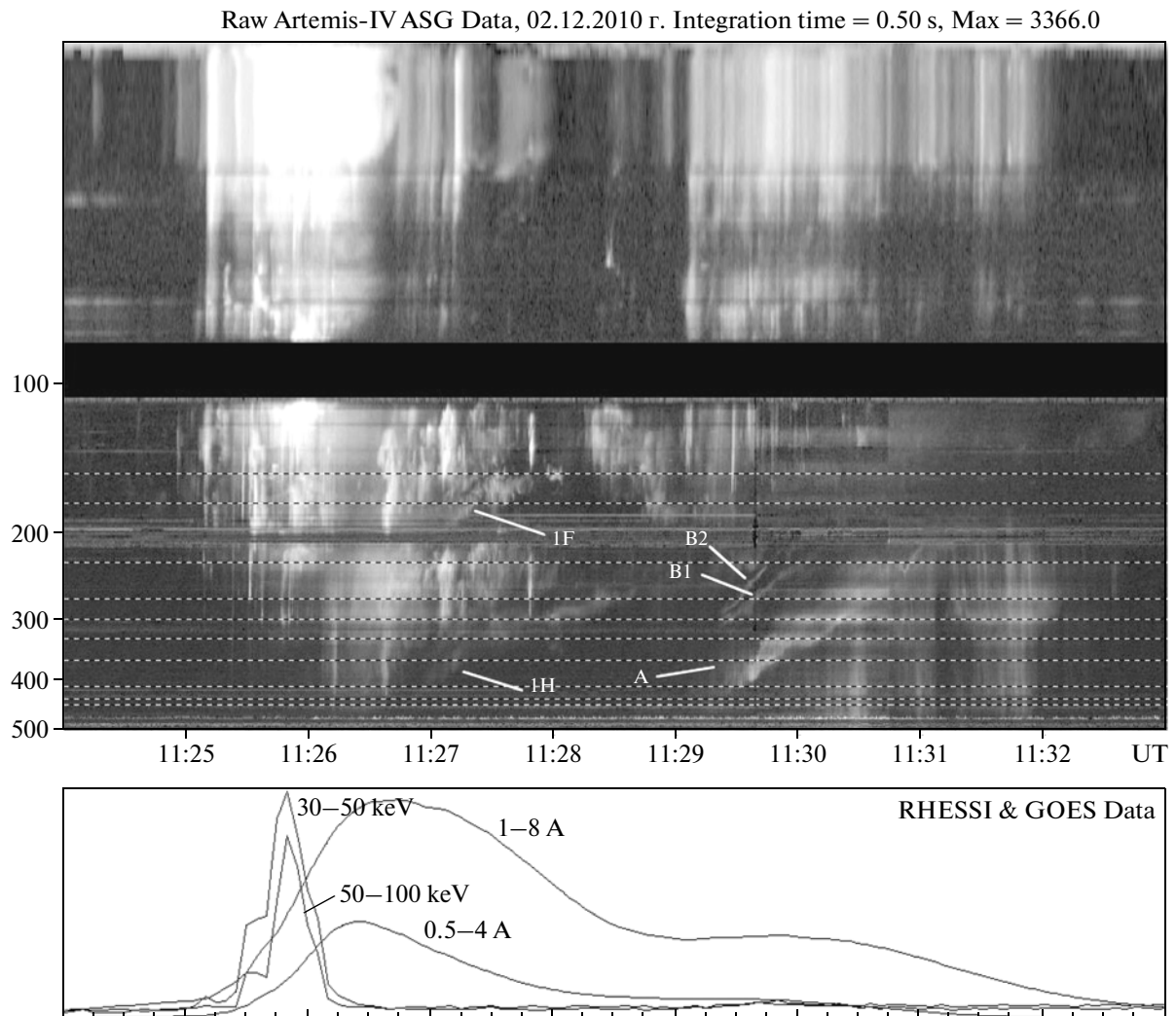


Рис. 4. Динамический спектр третьей группы всплесков III типа по данным радиоспектрографа ARTEMIS-IV (Греция) в диапазоне 25–500 МГц, показывающий наличие двух всплесков II типа. Горизонтальные штриховые линии соответствуют частотам радиогелиографа Нансэ. Надписями *1F* и *1H* отмечены основная частота и вторая гармоника первого всплеска II типа; *A* и *B1*, *B2* – основная полоса второго всплеска II типа и две тонкоструктурные полосы. Внизу приведены временные профили интенсивности мягкого и жесткого рентгеновского излучения по данным аппаратов GOES и RHESSI.

момент появления цепочек волокон. На картах радиогелиографа Нансэ на нескольких частотах положения радиоисточников первой *1F* и второй гармонике *1H* (рис. 4) примерно совпадали ([Alissandrakis et al., 2011]). Источники обоих всплесков обнаруживали движение вверх со временем (продвижение ударных фронтов).

Третья вспышка произошла в восточной части АО. На правом снимке КВМ в 12:54 UT на рис. 9 видно, что передний фронт КВМ ушел примерно на $5 R_S$. Alissandrakis et al. [2011] показали, что передний край этого КВМ появился на снимке коронографа STEREO COR1 в 11:35 UT на высоте $1 R_S$, т.е. его скорость была ~ 750 км/с, если связывать начало выброса с началом вспышки. Второй всплеск

II типа Alissandrakis et al. [2011] связывают с дополнительным возмущением, произошедшим в момент касания первого шарообразного выброса с большой N-W петлей. Причем первый выброс произошел на 3° восточнее вспышечного узла в $N\alpha$ (положение 3 на рис. 8).

В этом случае быстрые частицы могли быть захвачены в нижнюю E-W петлю (источник континуума V типа). Необычные полосы *B1*, *B2* и зигзагообразная полоса с НЧ поглощением (рис. 4), вероятно, связаны с излучением из сильно неоднородного источника в месте столкновения ударного фронта с верхней петлей. Смена знака частотного дрейфа быстрых пульсаций (рис. 6) свидетельствует о движении частиц вдоль всей E-W петли.

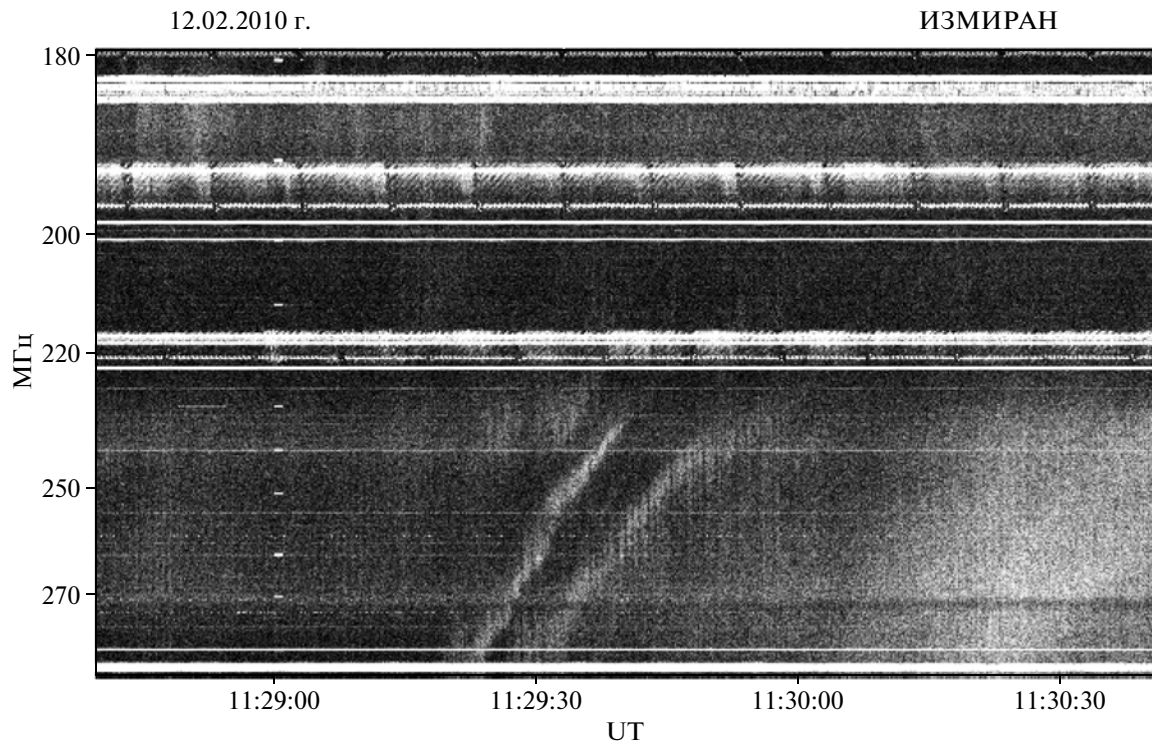


Рис. 5. Увеличенный фрагмент медленно дрейфующих полос, которые можно принять за расщепленные полосы второго всплеска II типа. Спектр усложняется наличием континуального излучения с быстрыми пульсациями с периодом ~ 0.7 .

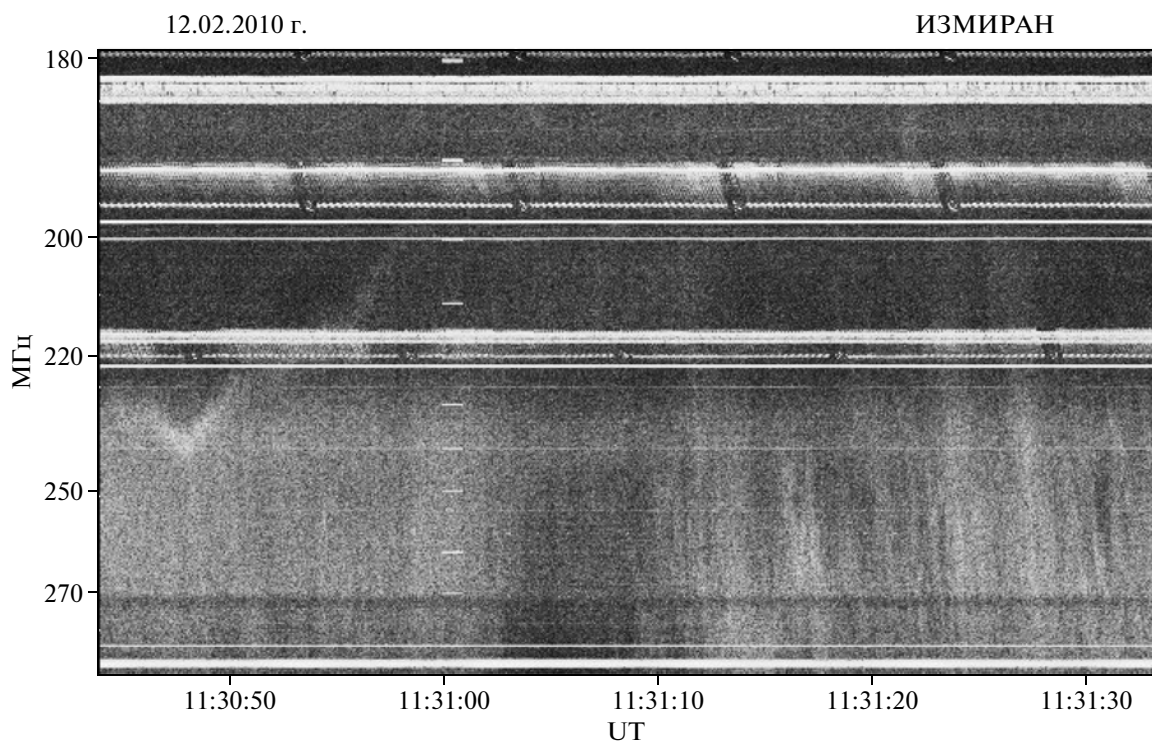


Рис. 6. Продолжение тонкой структуры после второго всплеска II типа. Зигзагообразный всплеск с НЧ поглощением точно совпадает со спектром ARTEMIS-IV.

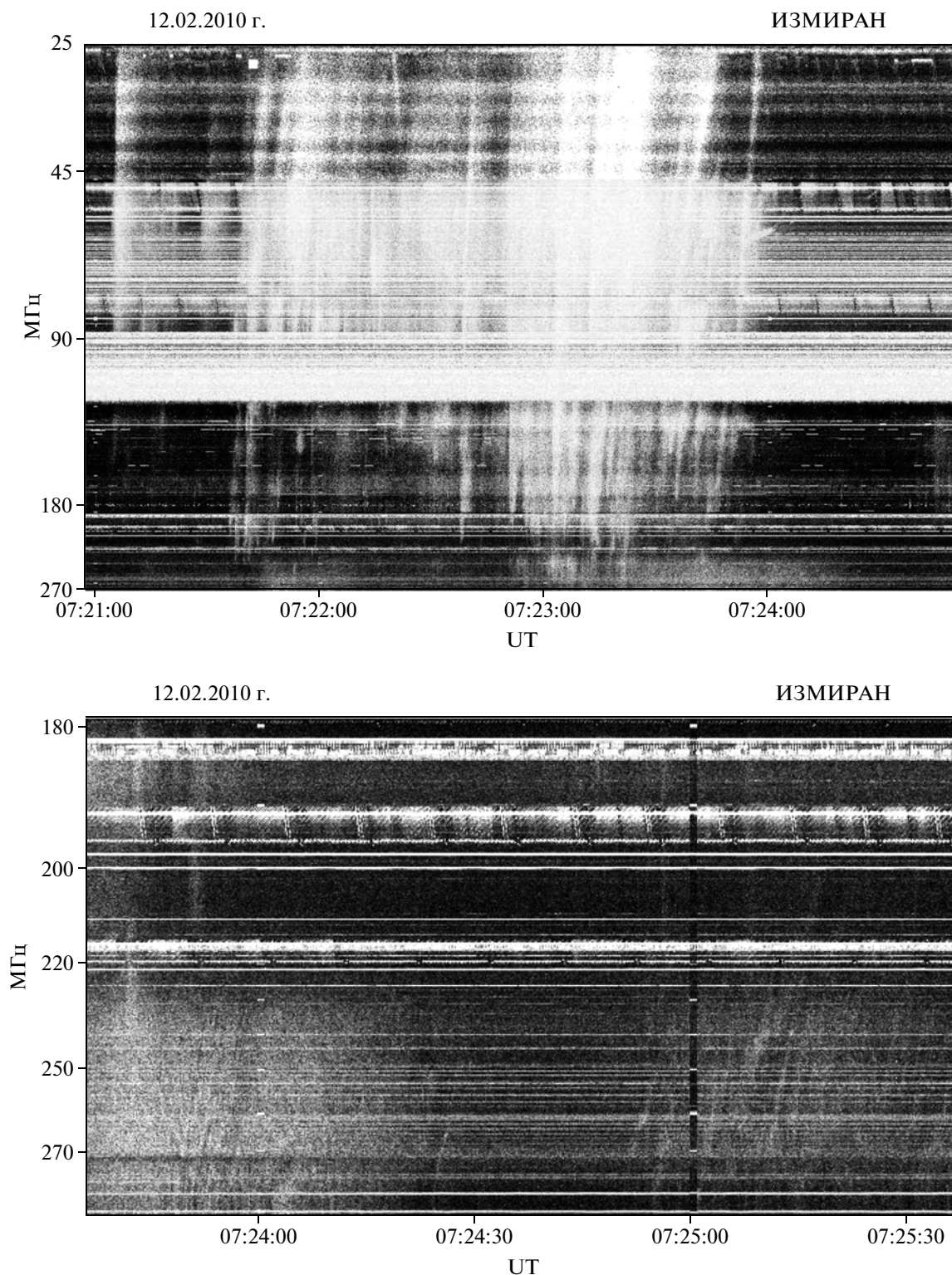


Рис. 7. Общий вид спектра по данным ИЗМИРАН в диапазоне 25–270 МГц после первой группы всплесков III типа в 07:21 UT (верхний спектр). На нижнем спектре показана последующая тонкая структура в виде нерегулярных волокон (fiber bursts) в диапазоне частот 210–270 МГц.

Положения источников жесткого рентгеновского излучения в диапазоне энергий 25–50 кэВ по данным КА RHESSI совпадали с соответствующими

положениями вспышек (1, 2, 3) в линии Na (рис. 8), что свидетельствует об ускорении быстрых частиц во всех трех явлениях.

XRT Image 12.02.2010 18:03:44.499

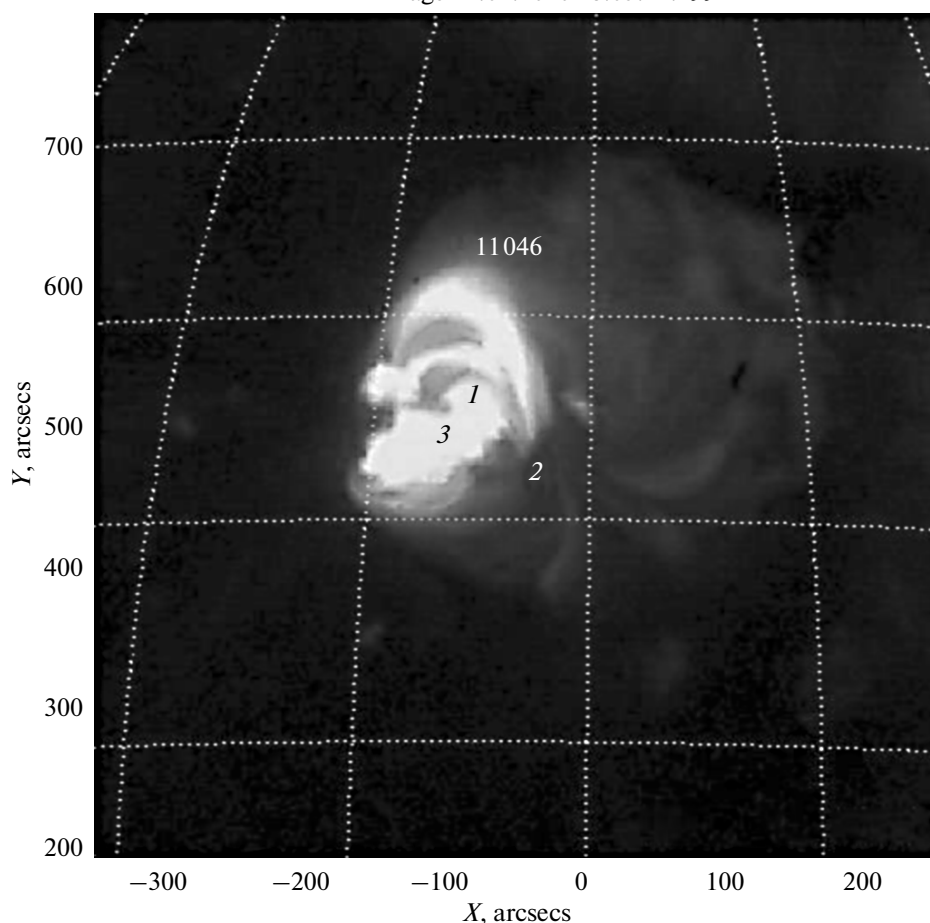


Рис. 8. Изображение АО 11046 в мягких рентгеновских лучах по данным телескопа Hinode XRT. Цифры 1, 2, 3 обозначают примерное положение в АО трех вспышечных центров 12 февраля 2010 г.

2.4. Выводы из наблюдений

Цепочки волокон образуются не только в крупных радиовсплесках, но и в относительно слабых, после групп всплесков III типа, не сопровождающихся явными всплесками II типа.

Сравнение новых данных с известными ранее показывает, что все цепочки волокон являются родственными явлениями и требуют единого подхода для их интерпретации. Однако цепочки волокон в 09:40–09:42 UT отличаются хаотичным характером: они пересекаются и накладываются друг на друга. В полосе частот 185–225 МГц одновременно можно различить до десятка разнообразных цепочек. Кроме того, в отличие от прежних данных, в каждой цепочке волокна не повторяют друг друга, а следуют почти хаотически по частоте и времени.

Анализ прежних явлений показал, что цепочки волокон появляются в момент, когда ударный фронт догоняет КВМ. В явлении 12 февраля 2010 г. также зарегистрирован КВМ. Кроме того, вспышечный континуум в диапазоне 150–270 МГц, ве-

роятно, представляет собой всплеск типа V, что указывает на существование магнитной ловушки высоко в короне.

Волокна в составе цепочек чаще наблюдаются с перекрытием по времени и частоте, но иногда (чаще в конце цепочек) они могут следовать с просветом по времени.

Длительность волокон, как и период их повторения, редко остаются стабильными и в основном растут от ~0.5 с в начале до нескольких секунд в конце цепочки.

Некоторая часть цепочек и составляющих их волокон обнаруживает НЧ-поглощение. Таким образом, волокна в составе цепочек похожи на обычные всплески с промежуточным дрейфом (fiber bursts, Kuijpers [1975]), но дрейфуют в узкой полосе частот и имеют более частую повторяемость.

Все три группы всплесков III типа исходили из одной активной области, но из разных мест. Появление цепочек волокон в 09:40:30 UT совпадает с моментом пересечения корональным выбросом большой N-W вспышечной петли. Многочислен-

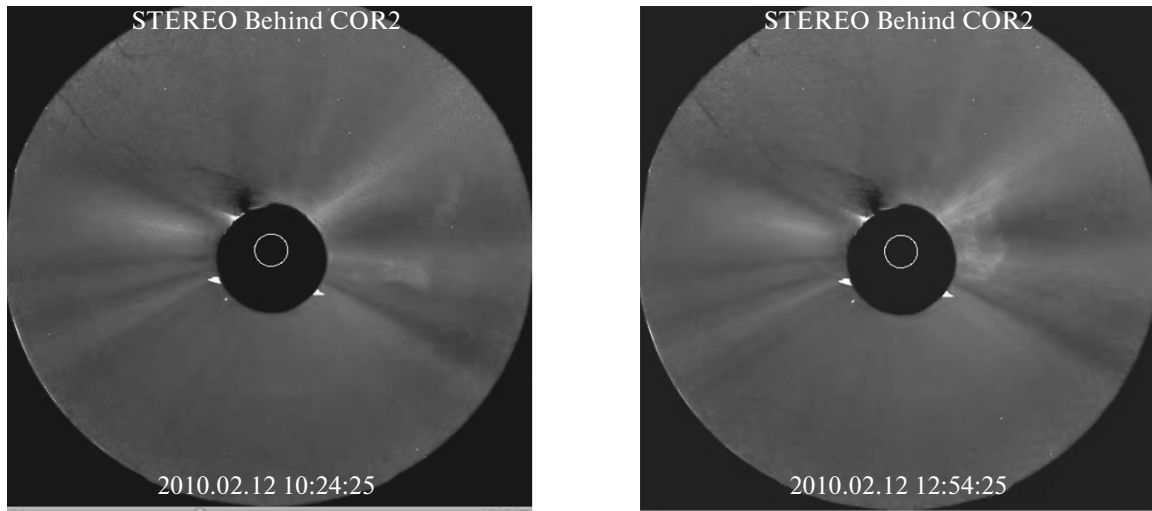


Рис. 9. Изображения двух КВМ, полученных в эксперименте STEREO behind COR2 в 10:24:25 и 12:54:25 UT, начало которых примерно совпадает с появлением цепочек волокон в 09:40 UT и необычных медленно дрейфующих полос.

ные узкие неоднородности в хвостовой части КВМ могли быть источниками цепочек волокон. Анализ сценариев вспышек в 07:21 и 11:25 UT свидетельствует об отсутствии в этих явлениях мелких магнитных ловушек для частиц, хотя обнаруживаются возможные условия для генерации быстрых пульсаций и необычных волокон с НЧ поглощением.

3. ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Для анализа рассматриваемого события будем придерживаться более вероятной модели цепочек строго периодических волокон, в которой предполагался захват частиц (ускоренных в ударном фронте) в небольшую ловушку между вторым ударным фронтом или передним краем коронального выброса массы. Такая модель оправдывалась совпадением появления цепочек с моментом пересечения траекторий ударного фронта и КВМ на диаграмме высота/время для четырех явлений [Чернов, 2008]. Тогда в рамках такой модели для рассматриваемого события необходимо предположить существование множества мелких ударных фронтов за передним краем КВМ. Возможно, что такая турбулентная зона действительно могла находиться в хвосте КВМ, если судить по сильно неоднородной структуре на снимках КВМ, полученным в эксперименте STEREO (STEREO behind COR2) в 10:24:25 и 12:54:25 UT (рис. 9).

Кроме того, все цепочки волокон наблюдались на фоне континуального излучения V типа, источник которого, согласно общепринятым представлениям, является петлеобразной магнитной ловушкой для быстрых частиц. Более того, они преимущественно наблюдались в НЧ-части континуума, т.е. излучение исходило с вершины та-

кой ловушки. КВМ на начальной стадии должен был проходить через эту вершину ловушки. Именно в этом могло заключаться своеобразие источника многочисленных цепочек волокон. Захваченные ранее в ловушку частицы испытывали дополнительный захват в неоднородности за передним краем КВМ. Таким образом, в данном случае многочисленные цепочки волокон отражают сложную структуру неоднородностей внутри КВМ.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная цель работы заключалась в анализе причин появления сложных цепочек радиоволокон в относительно слабом явлении, в то время как в двух других более сильных явлениях, имевших место в тот же день 12 февраля 2010 г. и в той же активной области, цепочки волокон не наблюдались.

Своеобразие явления со сложными цепочками волокон на частотах 180–270 МГц в 09:40 UT заключалось в том, что момент их появления совпал с пересечением неоднородностей за передним краем КВМ большой вспыхивающей петли (источника континуального излучения V типа). В двух других явлениях этого не наблюдалось, но в них выполнялись условия для генерации другой тонкой структуры: быстрых пульсаций и необычных волокон.

Анализ основных параметров цепочек волокон показал, что они родственны различным цепочкам волокон, наблюдавшимся ранее в других явлениях, и требуют единого подхода к их интерпретации. Наиболее вероятным механизмом излучения волокон может быть генерация периодических волокон с промежуточным дрейфом частоты (fiber bursts) в небольших магнитных ловушках, образующихся в источнике между ударными фронтами и неоднородностями за передним краем КВМ.

Авторы признательны Арнольду Бенцу за предоставленные спектры ст. Bleien.

Авторы благодарны командам SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), RHESSI и эксперимента STEREO за открытый доступ к базам данных. Работа поддержана грантом РФФИ № 14-02-00367.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Kruger A.* Введение в солнечную радиоастрономию и радиофизику. М.: Наука, 469 с. 1983. (*Kruger A.* Introduction to solar radio astronomy and radio physics. Dordrecht: D. Reidel Publ. Comp., 330. 1979).
- *Чернов Г.П.* О связи тонкой структуры солнечного радиоизлучения в метровом диапазоне с корональными транзиентами // Письма в астрон. журн. Т. 23. № 12. С. 949–960. 1997.
- *Чернов Г.П.* Сравнительный анализ зебра-структуры на частотах от 20 до 7000 МГц // Астрон. журн. Т. 81. № 10. С. 938–955. 2004.
- *Чернов Г.П.* Необычные полосы в излучении и поглощении в солнечных радиовсплесках: жгуты волокон в метровом диапазоне волн // Письма в астрон. журн. Т. 34. № 7. С. 536–550. 2008.
- *Чернов Г.П., Станиславский А.А., Коноваленко А.А., Абранин Э.П. и др.* Тонкая структура декаметровых радиовсплесков II типа // Письма в астрон. журн. Т. 33. № 3. С. 221–232. 2007.
- *Alissandrakis C. E., Nindos A., Patsourakos S., Hillaris A., the ARTEMIS group.* Multi-wavelength observations of a metric type-II event / Report in EPSM-13 Conference, Rhodes, Greece, September 2011. (Private communication).
- *Aurass H., Kurths J., Mann G., Chernov G.P., Karlický M.* Estimate of plasma parameters in a coronal loop by means of a fiber burst // Solar Phys. V. 108. № 1. P. 131–137. 1987.
- *Chernov G.P.* Solar radio bursts with drifting stripes in emission and absorption // Space Sci. Rev. V. 127. № 1–4. P. 195–326. 2006.
- *Chernov G.P.* Fine structure of solar radio bursts. Berlin: Springer, 282 p. 2011.
- *Kontogeorgos A., Tsitsipis P., Caroubalos C. et al.* The improved ARTEMIS IV multichannel solar radio spectrograph of the University of Athens // Exp. Astron. V. 21. № 1. P. 41–55. 2006.
- *Kuijpers J.* Collective wave particle interaction in solar type IV radio sources // PHD thesis of Utrecht observ., Utrecht, 72 p. 1975.
- *Mann G., Baumgaertel K., Chernov G.P., Karlický M.* Interpretation of a special fine structure in type-IV solar radio bursts // Solar Phys. V. 120. № 2. P. 383–391. 1989.
- *Slotte C.* Atlas of fine structures of dynamic spectra of solar type IV-dm and some type II radio bursts. Utrecht: Utrecht Observatory, 109 p. 1981.