

Научная статья

УДК 523.298

EDN DQSYTM

DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(3).288-302



В.Г. Еселевич

*Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Иркутск, Российская Федерация*

М.В. Еселевич

*Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Г.П. Машнич

*Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Иркутск, Российская Федерация*

В.А. Пархомов

*Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

О формировании корональных выбросов массы с малыми скоростями

Аннотация. Рассмотренные в данной работе два лимбовых КВМ, отличаются от случаев КВМ типа 1 и КВМ типа 2, исследованных ранее в статье [1]. При этом, они заметно различаются и между собой по природе своего формирования, которая остается до конца не ясной. Не обычным в формировании КВМ 29.04.2014 является то, что его появление связано эрупцией только части магнитного жгута большего размера. Особенностью же КВМ 11.02.2014 является тот факт, что он уже вблизи поверхности Солнца имеет очень большую скорость движения – около 1300 км/с, которая по мере удаления от Солнца, быстро спадает. Но их объединяет, то, что они оба имеют предельно малую конечную скорость КВМ – не более 350 км/с. Ответ на вопрос о том, чем определяется формирование этих медленных КВМ (кратко МКВМ) важен для дальнейших исследований динамики и природы КВМ.

Ключевые слова. Лимбовые КВМ (корональный выброс массы), КВМ 1 и 2 типа, медленные КВМ (МКВМ).

Информация о статье. Дата поступления: 2 мая 2023 г.; дата принятия к публикации: 19 июня 2023 г.; дата онлайн-размещения: 28 сентября 2023 г.

Original article

V.G. Eselevich

*Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russian Federation*

V.G. Eselevich

*Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russian Federation*

G.P. Mashnich

*Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russian Federation*

V.A. Parkhomov

*Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation*

On the Formation of Coronal Mass Ejection with Low Final Speed

Abstract. The two limb CMEs considered in this paper differ from the cases of type 1 and type 2 CMEs studied earlier in [1]. At the same time, they noticeably differ from each other in the nature of their formation, which remains not completely clear. It is unusual in the formation of the April 29, 2014 CME that its appearance is associated with the eruption of only a larger part of the magnetic rope. A specific feature of the February 11, 2014 CME is the fact that it already has a very high velocity of motion near the surface of the Sun – about 1300 km/s, which rapidly decreases as it moves away from the Sun. But they are united by the fact that they both have an extremely low final speed of the CME - no more than 350 km / s. The answer to the question of what determines the formation of these slow CMEs (ICMEs for short) is important for further studies of the dynamics and nature of CMEs.

Keywords. Limb CMEs (Coronal Mass Ejection), Type 1 and 2 CMEs, Slow CMEs (ICMEs).

Article info. Received 2 May, 2023; Accepted 19 June, 2023; Available online 28 September, 2023.

Введение

В статье [1] на основе анализа семи окололиimbusовых КВМ, т.е. возникших на долготах $> 75^\circ\text{--}80^\circ$, было показано, что на расстояниях $R < 1.4 R_o$ от центра Солнца (R_o — радиус Солнца) по характеру формирования КВМ можно разделить, как минимум, на два типа. В случае КВМ типа 1 формирование фронтальной структуры (FS) происходит за счет процессов, протекающих внутри самой FS, представляющей собой внешнюю оболочку магнитного жгута. В случае КВМ типа 2 происходит эрупция внутренних арочных структур, которые взрывообразно расширяются, захватывают и ускоряют окружающие более удаленные арочные структуры, в результате слияния которых и формируется фронтальная структура КВМ типа 2.

Механизм возникновения корональных выбросов массы (КВМ) до сих пор остается до конца не ясным. Хотя, благодаря экспериментальным исследованиям и моделированию, удалось достаточно надежно установить, что типичный КВМ представляет собой магнитный жгут (трубку), заполненный плазмой, два основания которого укоренены на фотосфере [2]. Напомним, что магнитный жгут фактически является магнитной трубкой, но имеет дополнительную компоненту магнитного поля, перпендикулярную основному продольному полю трубки. При теоретических рассмотрениях для упрощения обычно используется понятие магнитной трубки.

Наш предварительный анализ динамики КВМ с малыми скоростями $V(FS) < 350$ км/с (в дальнейшем для краткости их обозначим

как МКВМ) показал, что в их формировании на ранней стадии есть определенные отличия от формирования КВМ типа 1 и КВМ типа 2.

Целью данной работы анализ динамики около лимбовых КВМ с малыми скоростями $V(FS) < 350 \text{ км/с}$ (или МКВМ) и определение отличий их формирования от КВМ типа 1 и 2.

Данные и методы анализа

Для анализа использовались изображения, полученные при помощи инструмента SDO/AIA в ЭУФ (экстремально ультрафиолетовых) каналах 131 Å, 171 Å, 193 Å, 304 Å и 1700 Å [3, 4]. Каналы выбирались из соображений наилучшего отражения на изображениях начальной стадии формирования КВМ. Временной интервал между изображениями, получаемыми на SDO/AIA, $\approx 12 \text{ с}$, пространственное разрешение — $1.2''$ (два пикселя), что соответствует $0.00125 R_o$. Поле зрения инструмента до $\approx 1. R_o$.

Для регистрации изображений короны в белом свете использовались данные изображений MLSO COSMO K-Coronagraph (K-Cor) с полем зрения: $1.05 R_o - 3.0 R_o$ и временным разрешением 15 с^1 .

Изображения в ЭУФ-каналах и K-Cor представлялись в виде изображений в разностной яркости с фиксированным начальным моментом времени

$$\Delta P = P(t) - P(t_0),$$

где $P(t_0)$ — невозмущенная яркость в момент t_0 до возникновения рассматриваемого события; $P(t)$ — возмущенная яркость в любой момент времени $t > t_0$. По разностным изображениям исследовалась динамика КВМ. Для этого строились распределения $\Delta P(R)$ относительно центра Солнца вдоль радиуса на фиксированном позиционном угле PA в различные моменты времени, а также под различными углами α относительно PA . В отдельных случаях использовались изображения в бегущей разностной яркости $\Delta P_R = P(t_i) - P(t_{i-1})$, т.е. построенные на основе двух ближайших по времени изображений.

Анализ медленного КВМ, возникшего 29.04.2014

Прежде всего, отметим, что в месте возникновения на поверхности Солнца рассматриваемого КВМ малой скорости в событии 29.04.2014 г. была расположена активная область NOAA 12044 (S21 W83). Сопровождающая вспышки отсутствовала.

Анализ развития начальной стадии развития медленного КВМ 29.04.2014 рассмотрим путем анализа изображений разностной яркости в последовательные моменты времени в УФ канале 304Å (при $t_0 = 19:00:08 \text{ UT}$), представленного на рис. 1, и по данным изображений K-Cor (при $t_0 = 19:08:02 \text{ UT}$) на рис. 2

¹ URL: <https://www2.hao.ucar.edu/mlso>.

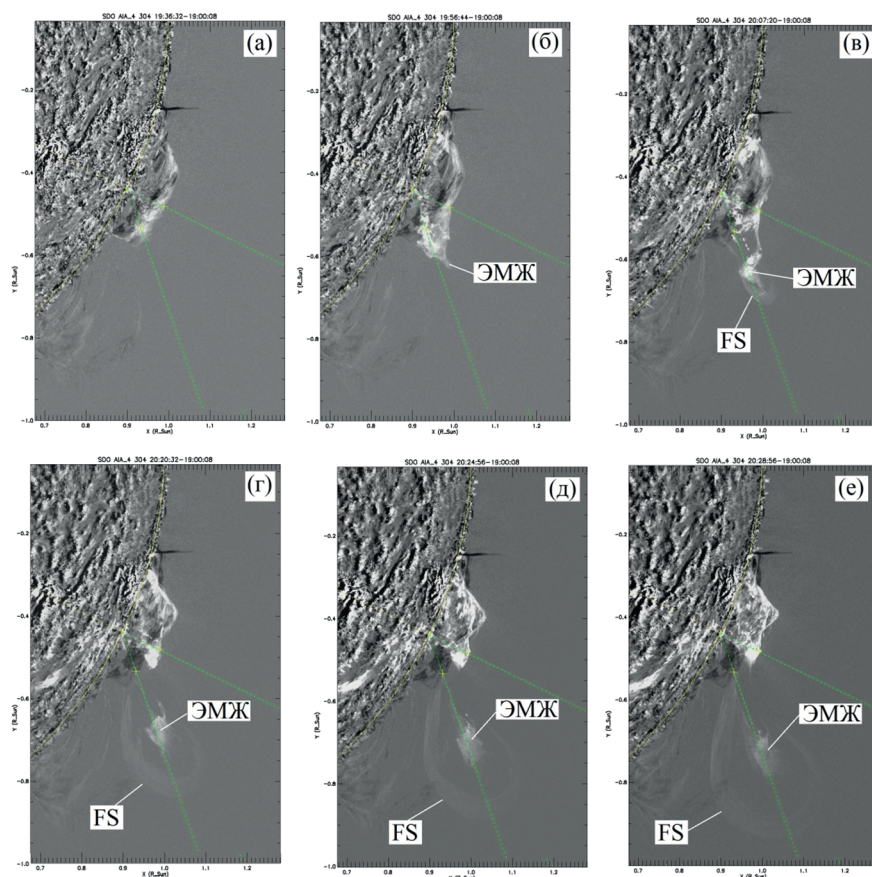


Рис. 1. Изображения разностной яркости KBM с малой скоростью в событии 29.04.2014 при $t_0 = 19:00:08$ UT в последовательные моменты времени в канале 304 Å по данным SDO/AIA

На обоих рисунках отмечены два характерных участка, динамику которых предполагается исследовать. Это: ЭМЖ (эруптирующий магнитный жгут) — участок представляющий собой поперечное сечение эруптирующей части магнитного жгута большего размера и FS (фронтальная структура), являющаяся поперечным сечением фронтальной структуры будущего KBM. ЭМЖ в той или иной степени наблюдается, практически, во всех каналах ЭУФ, но наилучшим образом наблюдается, именно, в канале 304 Å, а особенно структура FS — практически надежно только в канале 304 Å. В то же время, на инструменте К-Сог поперечное сечение ЭМЖ хорошо видно в виде яркого белого пятна внутри темной полости, а FS — в виде яркой белой оболочки, окружающей эту полость рис. 2. Это означает, что ЭМЖ и FS заполнены горячей плазмой, от которой исходит тепловое излучение рассеянных электронов.

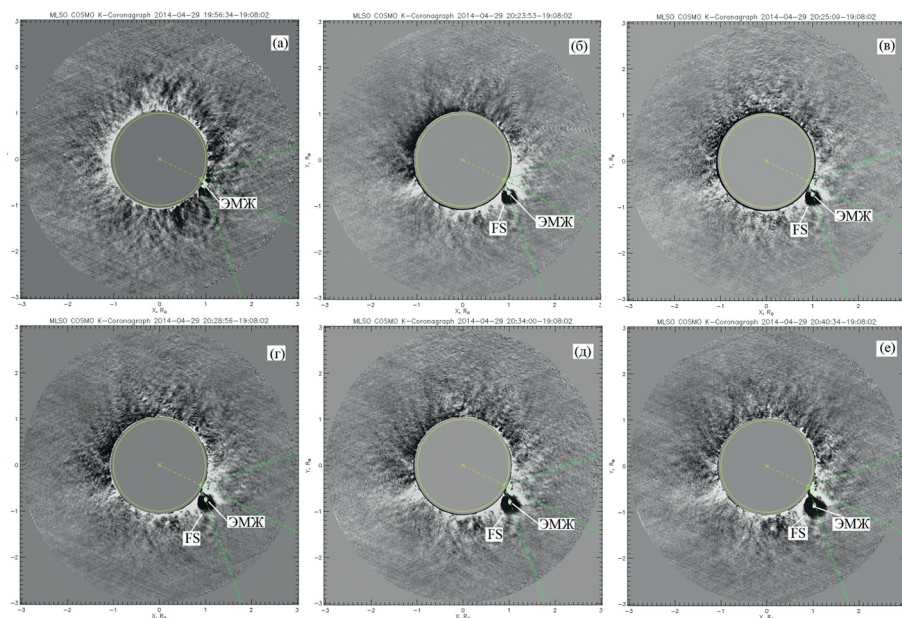


Рис. 2. Изображения разностной яркости в белом свете KBM с малой скоростью в событии 29.04.2014 при $t_0 = 19:08:02$ UT в последовательные моменты времени и по данным коронографа MLSO COSMO K-Coronagraph (K-Cor)

Сразу же отметим, в канале 1700Å ни ЭМЖ, ни FS не наблюдаются. Это означает, что в этих структурах практически отсутствует холодная плазма с температурой $\leq 10^4$ K. А также отсутствуют процессы, связанные с эрупцией протуберанца.

Рассмотрим начальную стадию появления ЭМЖ, а затем уже FS. Из рис. 1а следует, что до момента 19:36:32 UT в направлении $PA \approx 244^\circ$ (показано радиальной прямой) существовал выступ над Солнцем в виде арочной структуры, являющейся поперечным сечением магнитного жгута. Он связан с активной областью NOAA 12044, имеющей координаты S21 W83. После момента $t = 19:36:32$ UT за счет процессов, которые возникли внутри этой арочной структуры, начинается процесс эрупции некоторой ее части, т.е. формирования ЭМЖ рис. 1(б-е). При этом, первоначально движение ЭМЖ происходит примерно под углом $\alpha = -45^\circ$ по отношению к направлению $PA \approx 244^\circ$ (показано второй прямой, исходящей из точки: $R = 1.0 R_\odot$; $PA = 244^\circ$), а затем, постепенно, на расстояниях $R > 2.0 R_\odot$, это движение становится, практически, радиальным.

Распределения разностной яркости $\Delta P(r)$ в направлении $\alpha = -45^\circ$ для близких моментов времени (20:31:08-20:31:12 UT) для каналов 171Å, 304Å и белой короны по данным K-Cor при-

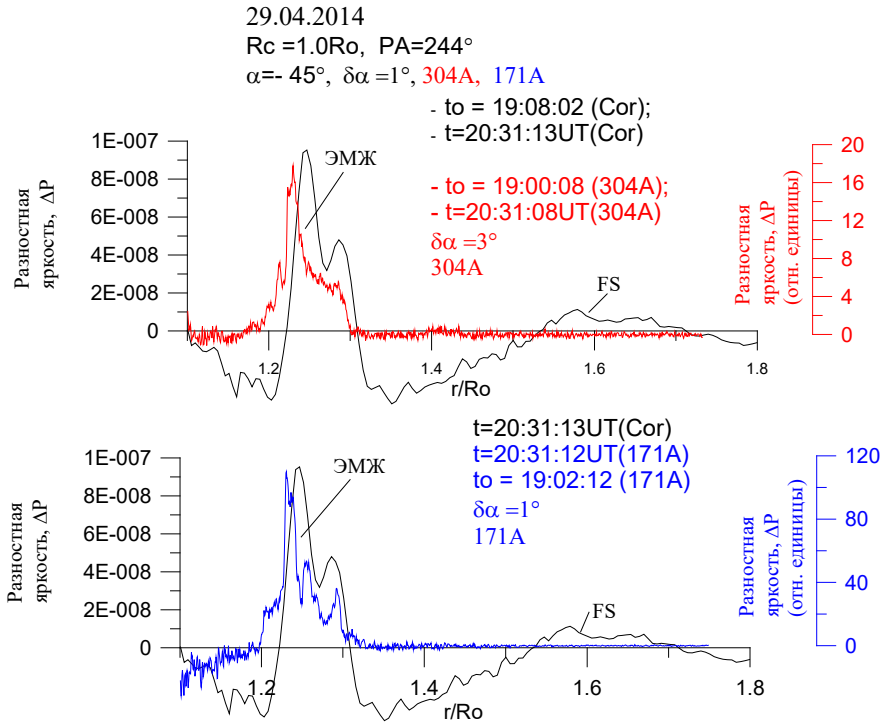


Рис. 3. Распределения разностной яркости $\Delta P(r)$ в направлении $\alpha = -45^\circ$ относительно точки на поверхности Солнца с координатами $R = 1.0 R_o$; $PA = 244^\circ$ для близких моментов времени (20:31:08-20:31:12UT) для каналов 171° (синяя кривая), 304° (красная кривая) и белой короны (черные кривые) по данным K-Cor.

ведены на рис. 3. Из них следует, что, с учетом небольших различий во временном разрешении, излучение белой короны в ЭМЖ хорошо согласуется с излучениями в каналах горячих каналов 171A и 304A. Это еще раз подтверждает сделанный ранее вывод о том, что ЭМЖ заполнено горячей плазмой, от которой исходит тепловое излучение рассеянных электронов. То же касается и FS структуры, где плотность плазмы значительно ниже, и, поэтому, чувствительность на рис.3 не позволяет разрешить там излучение в каналах 171A и 304A.

Важной характеристикой динамики ЭМЖ и FS является зависимость их скоростей $V(\text{ЭМЖ})$ и $V(\text{FS})$ от расстояния "r" вдоль направления $\alpha = -45^\circ$ и затем на больших расстояниях от R/R_o вдоль радиального направления от Солнца.

С этой целью были построены и проанализированы профили $\Delta P(r)$ в направлении $\alpha = -45^\circ$ в канале 304A для различных последовательных моментов времени, представленных на рис. 4.

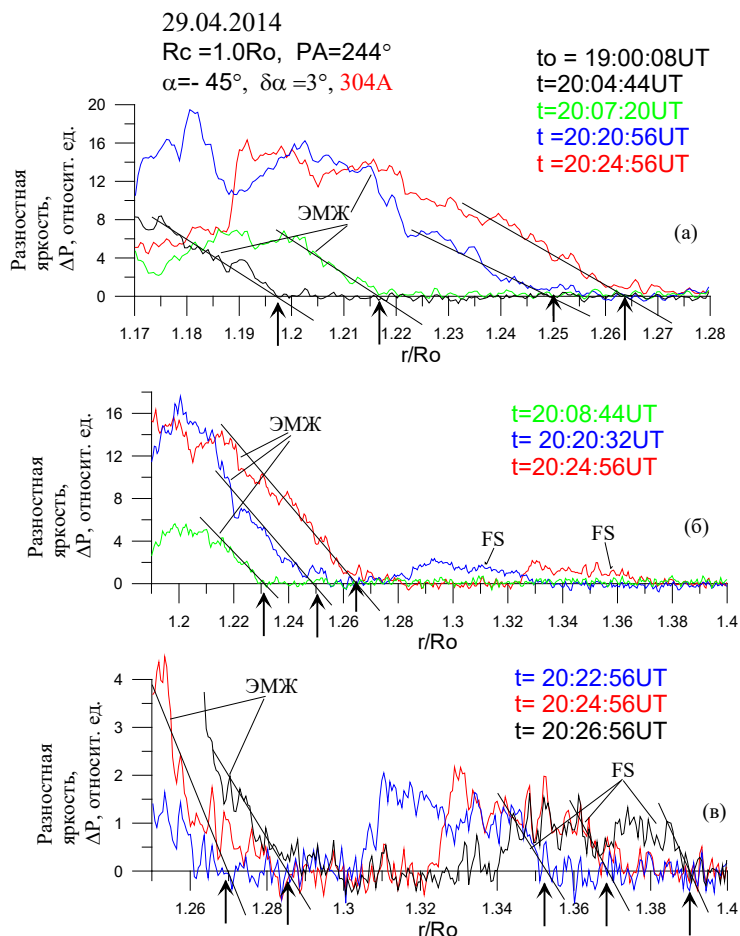


Рис. 4. Распределения разностной яркости $\Delta P(r)$ при $t_o = 19:00:08$ UT в направлении $\alpha = -45^\circ$ ($\delta\alpha = 3^\circ$) относительно точки на поверхности Солнца с координатами $R = 1.0R_o$, $PA = 244^\circ$ в последовательные моменты времени для канала 304°

Из рис. 4а видно, как по мере движения вдоль “ r ” в направлении $\alpha = -45^\circ$ ($\delta\alpha = 3^\circ$) яркость ЭМЖ постепенно растет, а впереди начинает формироваться профиль FS (лидирующие синие и красные профили на рис. 4б). По мере движения передний фронт FS становится круче. Точки пересечения наклонных прямых, усредняющих передний фронт ЭМЖ и FS с осью r/R_o отмечены вертикальными стрелками. Они служили координатами при построении зависимостей $r/R_o(t)$ и расчету по ним зависимостей скоростей $V(\text{ЭМЖ})$ и $V(\text{FS})$ от расстояния r/R_o . При построении зависимостей скоростей $V(\text{ЭМЖ})$ и $V(\text{FS})$ от “ r ” в направлении $\alpha = -45^\circ$ использовалась формула $V = (r_{i+1} - r_i) / (t_{i+1} - t_i)$. Здесь в числи-

тенсивно, почти, в 6 раз, на расстояниях $r < 0.3R_o$. Оно оказывает давление на окружающую ее замагниченную корональную плазму, вызывая постепенное ускорение внешней арочной структуры

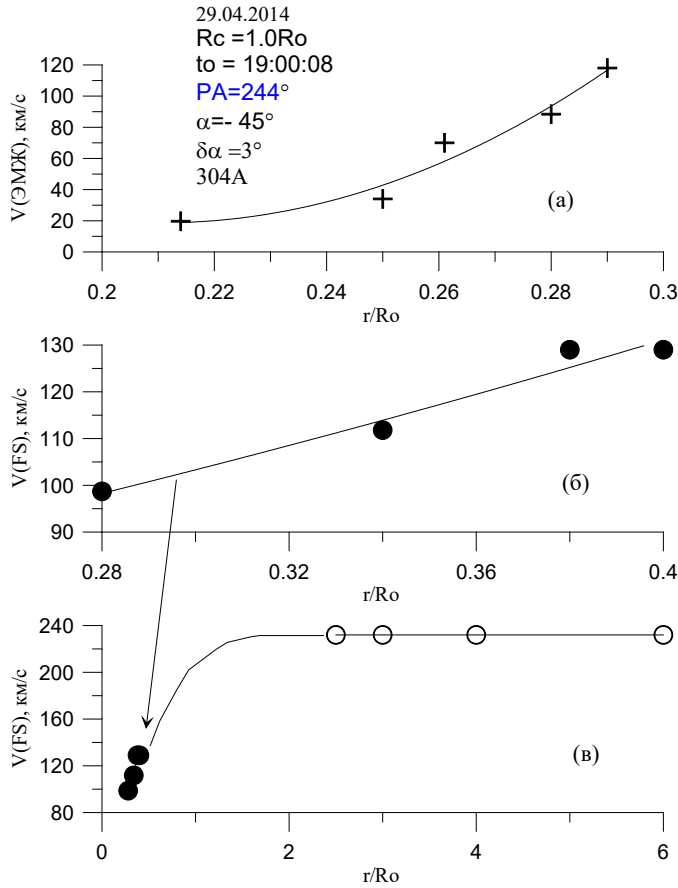


Рис. 5. Графики зависимостей от расстояния r/R_o в направлении $\alpha = -45^\circ$ ($\delta\alpha = 3^\circ$) относительно точки на поверхности Солнца с координатами $R = 1.0 R_o$; $PA = 244^\circ$:
а) скорости $V(\text{ЭМЖ})$ лидирующей части ЭМЖ; б) скорости $V(FS)$ лидирующей части фронтальной структуры КВМ;
в) скорости $V(FS)$ лидирующей части фронтальной структуры КВМ вплоть до расстояний $r \leq 6R_o$

теле — разность между соседними точками на оси абсцисс, отмеченными вертикальными стрелками на рис. 4 (отдельно для ЭМЖ и FS), в знаменателе — временной интервал между ними.

Рассчитанные зависимости $V(\text{ЭМЖ})$ и $V(FS)$ от r/R_o представлены на рис. 5 а и б и экстраполированы ортогональным полиномом. Из рис.5а видно, что ускорение ЭМЖ происходит ин-

большого масштаба рис. 5б, которая, затем, становится основой будущей фронтальной структуры FS. Ее скорость в поле зрения коронографа LASCO C2 достигает $V(FS) \approx 235$ км/с и остается постоянной рис. 5в.

Таким образом, особенностью рассмотренного медленного KBM (сокращенно MKBM) являются следующие обстоятельства:

1. Он формируется в активной области в результате возникновения ЭМЖ, как результат эрупции только части магнитного жгута большого размера.

2. На пути ЭМЖ существует арочная структура большего, чем ЭМЖ размера, которая под воздействием ЭМЖ становится основой будущей фронтальной структуры FS KBM.

Анализ медленного KBM, возникшего 11.02.2014

Рассмотрим еще один пример KBM с малой скоростью. Он интересен тем, что, его начальная стадия формирования существенно отличается от выше рассмотренного случая в разделе 3.

Этот KBM возник на поверхности Солнца 11.02.2014 г., примерно, в момент $t \approx 13:25:27$ UT в месте расположения активной области NOAA 11972 (координаты S21 W91). Сопровождающая его вспышки отсутствовала. Его принципиальное отличие от выше рассмотренного KBM с малой скоростью состоит в том, что на начальной стадии формирования его фронтальная структура вблизи поверхности Солнца появляется с очень большой скоростью. Затем, двигаясь с замедлением, переходит в стадию KBM с малой скоростью. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим последующие рисунки рис. 6, 7, 8.

На рис. 6 представлены изображения бегущей разностной яркости ΔP_r для этого KBM в последовательные моменты времени в канале 211 Å по данным SDO/AIA. Знаком R_b со стрелкой отмечено положение лидирующей части этого KBM в направлении позиционного угла $PA = 275^\circ$ ($\delta\alpha = 3^\circ$), показанного пунктирной зеленой прямой, проведенной из центра Солнца. Из рис. 6 (б-е) следует, что появление данного KBM происходит вблизи поверхности Солнца в виде поперечного сечения магнитного жгута с достаточно сложной внутренней структурой, внешняя оболочка которого представляет собой арочную структуру, два основания которой укоренены в фотосфере. Оболочка с первого же момента появления начинает быстро удаляться от поверхности Солнца. Очевидно, что и само появление сечения того жгута, и движение от Солнца арочной структуры его оболочки являются результатом процессов, которые, как минимум, возникают внутри этой оболочки.

Для изучения динамики развития KBM 11.02.2014 на рис. 7. представлены профили бегущей разностной яркости $\Delta P_r(R)$ в направлении $PA = 275^\circ$ ($\delta\alpha = 3^\circ$) относительно центра Солнца в по-

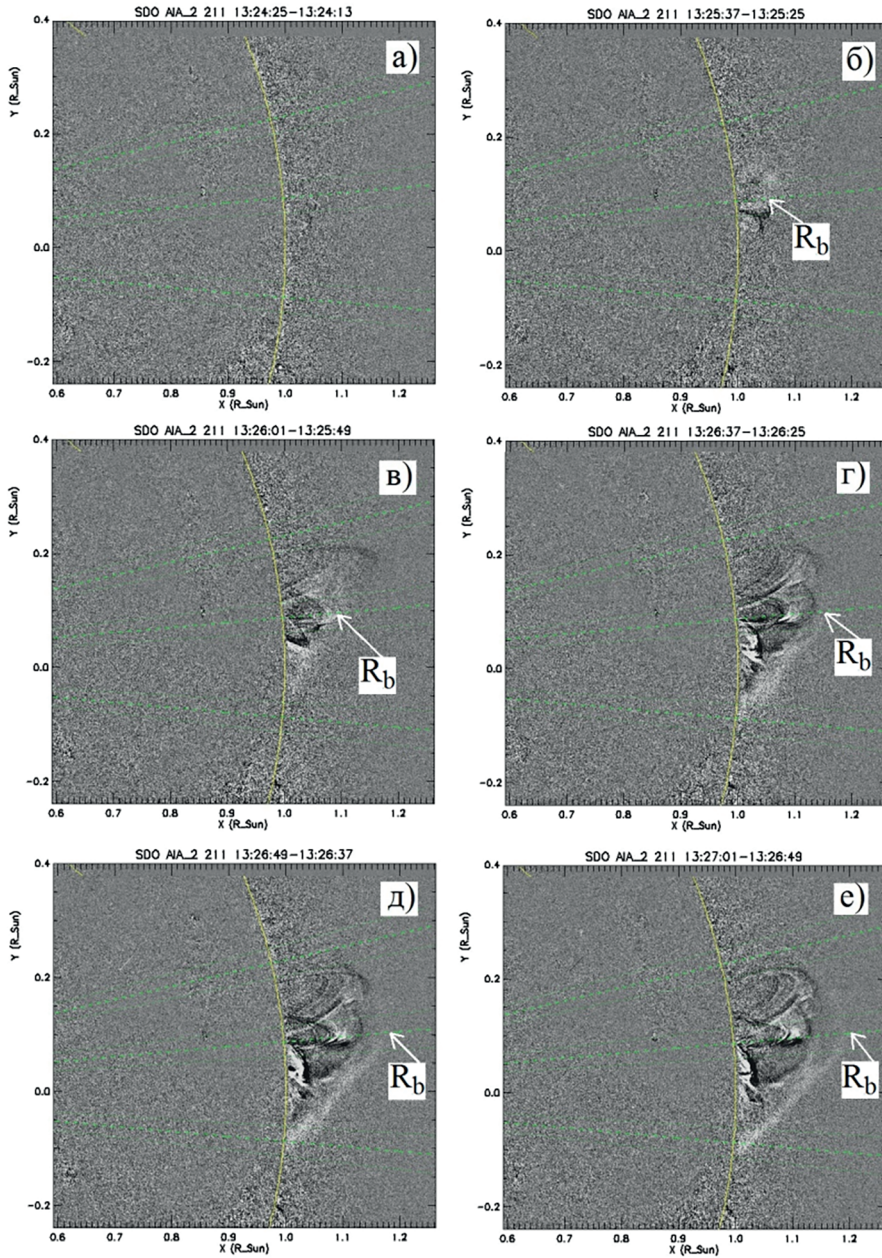
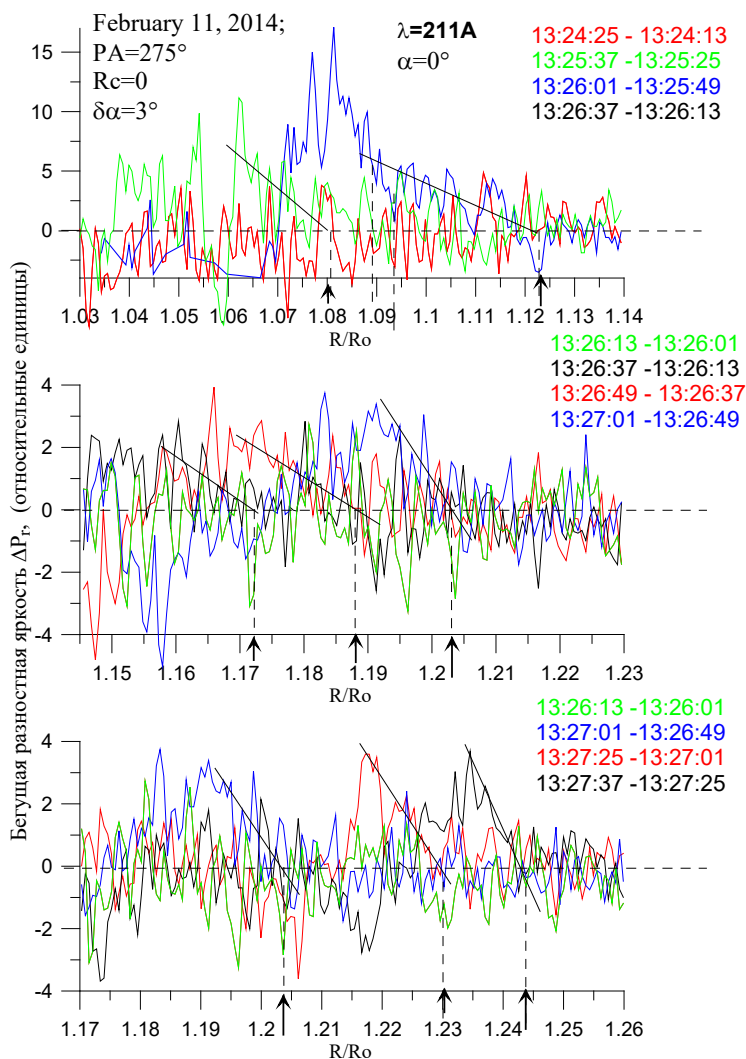


Рис. 6. Изображения бегущей разностной яркости ΔPr для KBM с малой скоростью в событии 11.02.2014 в последовательные моменты времени в канале 211A по данным SDO/AIA. R_b — отмечено положение лидирующей части KBM в направлении позиционного угла $PA = 275^\circ$, показанного пунктирной зеленой прямой

следовательные моменты времени для канала 211А. На них колебания на фронтах лидирующих скачков профилей $\Delta P_r(R)$ усреднены наклонными прямыми. Точки пересечения этих прямых являются положениями R_b лидирующей части КВМ и отмечены отрезками вертикальных пунктирных прямых со стрелками.



**Рис. 7. Распределения бегущей разностной яркости $\Delta P_r(R)$ в направлении $\text{PA}=275^\circ$ ($\delta\alpha=3^\circ$) относительно центра Солнца в последовательные моменты времени для канала 211А.
 Дата: 11.02.2014 г.**

Из рис. 7 следует, что первое появление скачка яркости $\Delta P_r(R)$ происходит, примерно в $\approx 13:25:27\text{UT}$, величина которого ΔP_r

к моменту $\approx 13:26:01\text{UT}$, сначала возрастает до 10–15 отн.ед., а затем к моменту $\approx 13:26:37\text{UT}$ спадает до $\Delta P_r(R) \approx (2-3)$ отн.ед. и затем остается практически неизменной до $\approx 13:27:37\text{UT}$.

По точкам пересечения наклонных прямых, усредняющих передний фронт с осью R/R_o на рис. 7, отмеченных вертикальными стрелками, была построена зависимость $R_b(t)$ на рис. 8а. Для построения продолжения $R_b(t)$ на $R_b > 2 R_o$ (рис. 8а) использовались данные LASCO C2². Затем с использованием формулы $V = (ri + 1 - ri)/(ti + 1 - ti)$ (ее пояснение дано выше) была построена зависимость скорости V лидирующей части КВМ от расстояния R_b/R_o в направлении $PA = 275^\circ$ ($\delta\alpha = 3^\circ$) для канала 211А рис. 8б. Стрелками на рисунке показаны соответствие участков движения КВМ и определенных для них скоростей.

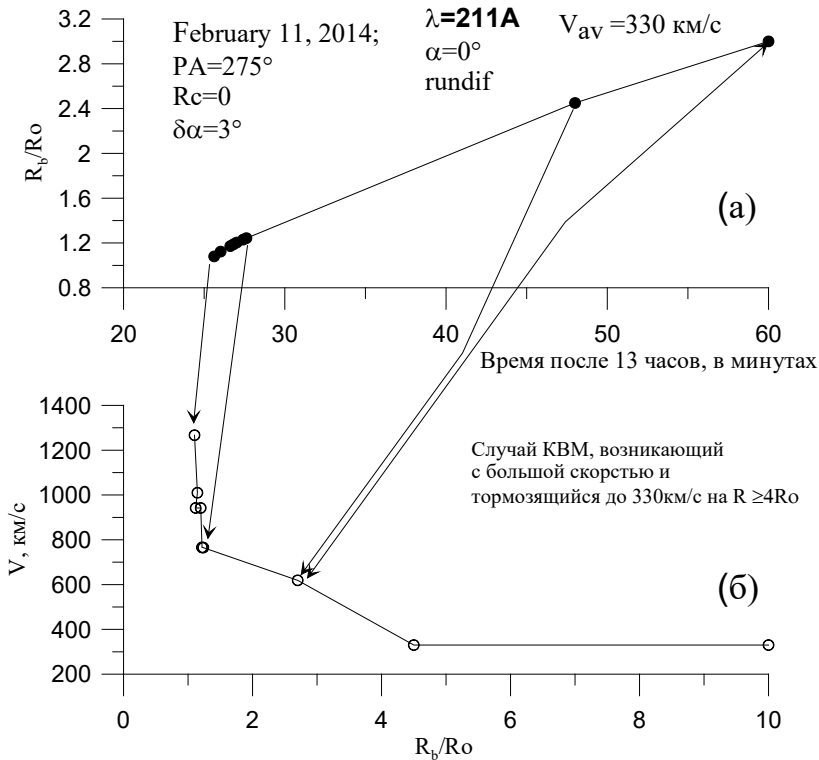


Рис. 8. Графики зависимостей:

а) положения лидирующей части КВМ от времени;
б) скорости V лидирующей части КВМ от расстояния R_b/R_o в направлении $PA = 275^\circ$ ($\delta\alpha = 3^\circ$) для канала 211А.
Дата: 11.02.2014 г. Стрелками показаны соответствие участков движения КВМ и определенных для них скоростей

² URL: https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/catalog_description.htm.

Главные выводы, которые следуют из этого заключительного рисунка для события 11.02.2014 г.:

1. КВМ возникает вблизи поверхности Солнца и сразу же имеет очень большую скорость удаления— около 1300 км/с

2. Движение КВМ происходит с сильным торможением, так, что уже на $R \approx 1.25 R_0$ скорость его лидирующей части уменьшается до 760 км/с.

3. Конечная скорость КВМ на $R \approx (4-10) R_0$ не превышает 330 км/с.

Выводы

Из вышеизложенного следует, что рассмотренные в работе два разных лимбовых КВМ отличаются от случаев КВМ типа 1 и КВМ типа 2, исследованных ранее в статье [1]. При этом, они заметно различаются и между собой по природе своего возникновения, которая остается до конца не ясной. Особенностью формирования КВМ 29.04.2014 является тот факт, что его появление связано с эрупцией только части магнитного жгута большего размера. Особенностью же КВМ 11.02.2014 является то, что он уже вблизи поверхности Солнца имеет очень большую скорость движения — около 1300 км/с, которая по мере удаления от Солнца, быстро падает. Общим для этих КВМ является то, что они оба имеют предельно малую конечную скорость КВМ — не более 350 км/с. Этот тип можно назвать как медленный КВМ (МКВМ), в отличие от типов КВМ 1 или 2, что важно для продолжения дальнейших исследований динамики и природы КВМ.

Список использованной литературы

1. Еселевич В.Г. О возможном различии в формировании корональных выбросов массы двух типов / В.Г. Еселевич, М.В. Еселевич, И.В. Зимовец. — DOI 10.12737/szf-82202202. — EDN NDFMGU // Солнечно-земная физика. — 2022. — Т. 8, № 2. — С. 12–22.
2. Krall J. Drive Mechanisms of Erupting Solar Magnetic Flux Ropes / J. Krall, J. Chen, R. Santoro // *Astrophysical Journal*. — 2000. — Vol. 539. — P. 964–982.
3. Thernisien. A. Forward Modeling of Coronal Mass Ejections Using STEREO/SECCHI Data / A. Thernisien, A. Vourlidas, R.A. Howard // *Solar Physics*. — 2009. — Vol. 256. — P. 111–130.
4. The Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on the Solar Dynamics Observatory (SDO) / J.R. Lemen, A.M. Title, D.J. Akin [et al.]. — DOI 10.1007/s11207-011-9776-8 // *Solar Phys.* — 2012. — Vol. 275, iss. 1-2. — P. 17–40.

References

1. Eselevich V.G., Eselevich M.V., Zimovets I.V. Possible Difference in the Formation of Coronal Mass Ejections of Two Types. *Solnechno-zemnaya fizika = Solar-Terrestrial Physics*, 2022, vol. 8, no. 2, pp. 12–22. (In Russian). EDN: NDFMGU. DOI: 10.12737/szf-82202202.

2. Krall J., Chen J., Santoro R. Drive Mechanisms of Erupting Solar Magnetic Flux Ropes. *Astrophysical Journal*, 2000, vol. 539, pp. 964–982.
3. Thernisien. A., Vourlidas A., Howard R.A. Forward Modeling of Coronal Mass Ejections Using STEREO/SECCHI Data. *Solar Physics*, 2009, vol. 256, pp. 111–130.
4. Lemen J.R., Title A.M., Akin D.J., Boerner P.F., Chou C. The Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on the Solar Dynamics Observatory (SDO). *Solar Phys*, 2012, vol. 275, iss. 1-2, pp. 17–40.

Информация об авторах

Еселевич Виктор Григорьевич — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская федерация, e-mail: esel@iszf.irk.ru.

Еселевич Максим Викторович — кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская федерация, e-mail: mesel@iszf.irk.ru.

Машнич Галина Прокопьевна — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская федерация, e-mail: mashnich@iszf.irk.ru.

Пархомов Владимир Александрович — доктор физико-математических наук, профессор, кафедра математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: pekines_41@mail.ru.

Information about the Authors

Victor G. Eselevich — D.Sc. in Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: esel@iszf.irk.ru.

Maksim V. Eselevich — PhD in Physical and Mathematical Sciences, Head of the Lab, Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: mesel@iszf.irk.ru.

Galina P. Mashnich — PhD in Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: mashich@iszf.irk.ru.

Vladimir A. Parkhomov — D.Sc. in Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: pekines_41@mail.ru.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Для цитирования

О формировании корональных выбросов массы с малыми скоростями / В.Г. Еселевич, М.В. Еселевич, Г.П. Машнич, В.А. Пархомов. — DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(3).288-302 — EDN DQSYTM // *System Analysis & Mathematical Modeling*. — 2023. — Т. 5, № 3. — С. 288–302.

For Citation

Eselevich V.G., Eselevich M.V., Mashnich G.P., Parkhomov V.A. On the Formation of Coronal Mass Ejection with Low Final Speed. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2023, vol. 5, no. 3, pp. 288–302. (In Russian). EDN: DQSYTM. DOI: 10.17150/2713-1734.2023.5(3).288-302.