Секция А. Астрофизика и физика Солнца. БШФФ-2026. С. 174–176.

УДК 523.98
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-174

ХРОМОСФЕРНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ МОЩНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ

Шиндякина А.В.[1] , Язев С.А.[1,2]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия,
[2]Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия
ashindyakina2005@gmail.com

CHROMOSPHERIC MANIFESTATIONS OF A POWERFUL SOLAR FLARE

Shindyakina A.V.[1], Yazev S.A.[1,2]

[1]Irkutsk State University, Irkutsk, Russia
[2]Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia ashindyakina2005@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена исследованию динамики мощной солнечной вспышки, наблюдавшейся 9 мая 2024 г. Вспышка произошла в крупнейшей в текущем цикле солнечной активности активной области (АО) № 13664. Использовались изображения полного диска Солнца в линии Hα обсерватории Kanzelhöhe, а также изображения АО с высоким разрешением в том же диапазоне, полученные А.Л. Поляковым с помощью узкополосного фильтра с частотой 1 кадр в минуту. Эти наблюдения позволили проанализировать ход развития вспышечной эмиссии на уровне хромосферы, в том числе выделить эмиссионные структуры разного типа — вспышечные ленты, структуры на концах вспышечных лент и так называемые периферийные уярчения. Выдвинуты доводы в пользу гипотезы о том, что структура на конце вспышечной ленты и удаленное уярчение являются основаниями гигантского магнитного жгута, породившего выброс коронального вещества, наблюдавшийся на завершающем этапе вспышки с помощью коронографа космической обсерватории SOHO. Проведено сопоставление феноменологии исследуемой вспышки с другими случаями. Сделан вывод о том, что в момент выброса основания КВМ могут наблюдаться на хромосферном уровне.

Ключевые слова: хромосфера, солнечная вспышка, выброс коронального вещества.

Abstract. This paper examines the dynamics of a powerful solar flare observed on May 9, 2024. The flare occurred in active region 13664, the largest in the current solar cycle. Images of the full solar disk in the Hα line from the Kanzelhöhe Observatory were used, as well as high-resolution images of the active region in the same range obtained by A.L. Polyakov using a narrowband filter at a frame rate of 1 frame per minute. These observations allowed us to analyze the development of flare emission at the chromospheric level, including the identification of different types of emission structures — flare ribbons, structures at the ends of flare ribbons, and so-called peripheral brightenings. Evidence is presented to support the hypothesis that the structure at the end of the flare ribbon and the distant brightening are the bases of a giant magnetic rope that generated the coronal mass ejection observed during the final stage of the flare with the SOHO coronagraph. The phenomenology of this flare is compared with other cases. It is concluded that the CME bases at the time of the ejection can be observed at the chromospheric level.

Keywords: chromosphere, solar flare, coronal mass ejection.

ВВЕДЕНИЕ

Сильные солнечные вспышки (сильными называются события, начиная с рентгеновского класса M5.0) являются наиболее геоэффективными проявлениями солнечной активности. Такие вспышки могут вызвать поток энергичных протонов, а также выбросы коронального вещества (корональные выбросы массы, КВМ), которые порождают геомагнитные бури и ряд других явлений и процессов в земных оболочках.

В преддверии максимума 25-го цикла солнечной активности в мае и июне 2024 г. наблюдалась гигантская активная область (АО) с рекордной в текущем цикле максимальной площадью. Эта АО произвела 12 сильных вспышек класса X, сопровождавшихся множественными КВМ, в том числе дошедшими до Земли. В результате наблюдались сильные геомагнитные бури, включая самую сильную за последние два десятилетия бурю 10 – 12 мая уровня G5 [Isaeva, Yazev, 2025].

Работа посвящена исследованиям одной из сильных вспышек, состоявшейся в этой АО 9 мая 2024 г.

ФЕНОМЕНОЛОГИЯ СИЛЬНЫХ ХРОМОСФЕРНЫХ ВСПЫШЕК

Вплоть до начала регулярных внеатмосферных наблюдений Солнца в коротковолновом диапазоне спектра солнечные вспышки наблюдались только в хромосферных линиях, преимущественно в линии Hα. Редкими исключениями являлись так называемые белые вспышки высокой мощности, которые наблюдаются даже в интегральном видимом свете. При сравнительно невысоком пространственном разрешении данных наблюдений сильные вспышки традиционно описывались как двухленточные структуры, которые выглядят как две квазипараллельные эмиссионные полоски по обе стороны от линии раздела полярностей (ЛРП) магнитного поля АО [Смит, Смит, 1966].

Рост пространственного разрешения наблюдений позволил уточнить структуру хромосферной вспышки: помимо лент были выделены и другие яркие детали вблизи ЛРП с двух сторон от концов лент. Эти новые детали интерпретировались как основания поднимающегося магнитного жгута [Heyvaerts et

al., 1977]. Сложность структуры вспышек в отдельных случаях привела к появлению понятия трехленточных и даже четырехленточных вспышек [Antalova, Ogir, 1986].

Наконец, наблюдения с высоким пространственным разрешением (порядка 1 arcsec) позволили выделить в хромосферных вспышках целый ряд эмиссионных структур, различающихся по морфологическим признакам. Помимо вспышечных лент были описаны так называемые структуры на концах вспышечных лент (СКВЛ), периферийные структуры (ПС) и удаленные уярчения (RB) [Сидоров и др., 2010]. Была выдвинута гипотеза о том, что СКВЛ, ПС и RB представляют собой проявления оснований магнитного жгута КВМ на хромосферном уровне [Sidorov, Yazev, 2009]. Поиск и идентификация указанных типов эмиссионных вспышечных структур явились задачей данной работы.

ДАННЫЕ И МЕТОДИКА

В распоряжении авторов имелись результаты съемок вспышки 9 мая 2024 г., выполненных А.Л. Поляковым. Использовались рефрактор-ахромат 150/1200 мм, снабженный эталоном Фабри — Перо компании Lunt (полоса пропускания около 0.05 нм). Изображения в свете линии Hα регистрировались на камеру ZWO ASI174M с глобальным затвором при частоте съемки один кадр в минуту. Применялась также линза Барлоу с увеличением 3.5X. Эффективная разрешающая способность серии изображений оказалась близкой к 0.9 arcsec (рис. 1). Использовались также изображения Солнца в интегральном свете, полученные А.Л. Поляковым.

Кроме того, использовались изображения Солнца в интегральном свете и магнитограммы полного диска, полученные космической обсерваторией SDO, и фильтрограмма полного диска в линии Hα обсерватории Kanzelhöhe.

Выполнен анализ последовательности изображений для изучения феноменологии хромосферных проявлений вспышки.

ВСПЫШКА 9 МАЯ 2024

Согласно рентгеновским данным [https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/region/13664.html], вспышка класса X2.2 началась 9 мая 2024 г. в 8:45 (здесь и далее указано всемирное время (UT)), достигла максимума в 9:13 и закончилась в 9:36. Порожденный вспышкой КВМ начал наблюдаться (вышел за пределы маски коронографа SOHO) в 9:24.

Съемки АО в линии Hα начались в 8:59, к этому времени вспышка развивалась уже почти 15 мин. Дальнейшее развитие было прослежено как по отдельным снимкам, так и по собранному из них gif-фильму.

После определения масштаба изображений проведены измерения размеров эмиссионных структур хромосферной вспышки, выполнена фотометрия ее ключевых элементов, сделаны оценки скорости распространения эмиссии в плоскости местного горизонта на хромосферном уровне.

С использованием результатов указанных измерений были выделены разные типы вспышечных эмиссионных структур: вспышечные ленты, структуры на концах вспышечных лент, периферийные структуры и удаленные уярчения в соответствии с классификацией и описанием, предложенными В.И. Сидоровым [Сидоров и др., 2010]. Результаты идентификации типов вспышечных структур были сопоставлены с магнитограммой и фотогелиограммой высокого разрешения в интегральном свете. Установлено положение ЛРП в АО. Данные, полученные обсерваторией SDO на длине волны 17.1 нм, позволили зафиксировать начало развития КВМ. В результате сопоставления указанных данных выявлены участки солнечной поверхности на уровне хромосферы, которые предположительно связаны с основаниями магнитного жгута, составившего основу КВМ, выполнено их описание.

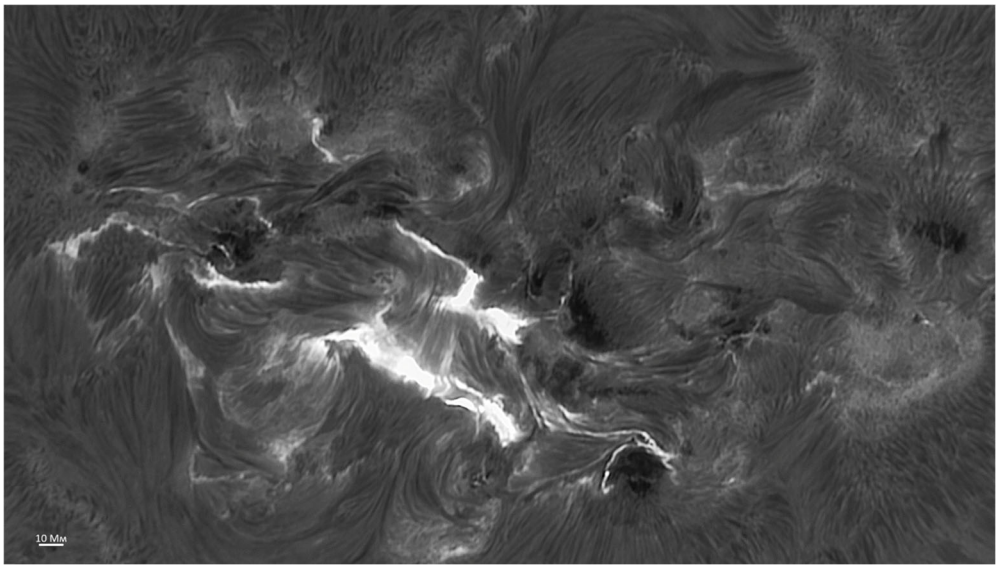

Рис. 1. Хромосферная вспышка 9 мая 2024 г. Видна базовая двухленточная структура вспышки, а также тонкие эмиссионные детали, наблюдаемые при высоком пространственном разрешении экспериментальных данных

ВЫВОДЫ

Анализ последовательности хромосферных изображений мощной солнечной вспышки 9 мая 2024 г. позволил идентифицировать разные типы эмиссионных вспышечных структур в соответствии с классификацией Сидорова [Сидоров и др., 2010]. Выделены структуры на концах вспышечных лент, периферийные структуры и удаленные уярчения, измерены их геометрические характеристики, ход изменения яркости, скорость распространения эмиссии. Полученные данные позволяют составить феноменологическое описание начального развития оснований КВМ на хромосферном уровне. Подробное изложение этих результатов готовится к публикации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278, а также госзадание FZZE 2026-0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Сидоров В.И., Кичигин Г.Н., Язев С.А. О топологии выбросов коронального вещества в мощных вспышечных событиях на Солнце // Известия Иркутского госуниверситета. Серия Науки о Земле. 2010. Т. 3, № 2. С. 139–155.

Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки. М.: Мир, 1966. 426 с.

Antalova A., Ogir M.B. Long decay soft X-ray flares. II. Three-parallel-ribbon LDE flares, 1981 October, 06.15 UT// Bull. Astron. Inst. Czechosl. 1986. V. 37. P. 344–358.

Isaeva E.S., Yazev S.A. Solar flare excess in 2024 // Astronomical and Astrophysical Transactions (AApTr). 2025. V. 35, iss. 4. P. 349–354, DOI:10.17184/eac.9917.

Heyvaerts J., Priest E.R., Rust D.M. An emerging flux model for the solar phenomenon // Astrophys. J. 1977. V. 216. P. 123–137.

Sidorov V.I., Yazev S.A. Large solar flares and coronal mass ejections: Their manifestations in cromosphere // Geomagnetism and Aeronomy. 2009. V. 49, N 8. P. 1076–1079.

URL: https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/region/13664.html (дата обращения 25 мая 2026 г).