

УДК 523.985.355.3

Н. Н. Кондрашова, Е. Г. Рудникова, М. Н. Пасечник

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
04053, Киев-53, ул. Обсерваторная, 3**Движения хромосферного и фотосферного вещества
в двухленточной солнечной вспышке**

Изучены движения плазмы в хромосферных и фотосферных слоях двухленточной вспышки 2п/М2 на разных стадиях ее развития: за 30 мин до вспышки, в начальной и главной фазах. Измерения лучевых скоростей выполнены по двум десяткам фраунгоферовых линий, образующихся в разных слоях фотосферы, и хромосферным линиям H_{α} , D_1 и D_2 Na I. Найдено, что в слоях хромосферы, где формируется ядро линии H_{α} , по мере развития вспышки лучевая скорость заметно изменялась. В главной фазе вспышки вещество поднималось. Наибольшее изменение лучевой скорости (на 25 км/с), вызванное умеренным хромосферным испарением, наблюдалось через несколько минут после второго H_{α} -максимума вспышки. В хромосфере на уровне образования ядер линий Na I, а также в фотосфере во все моменты наблюдения происходил подъем вещества с лучевой скоростью 1–4 км/с. На стадии затухания вспышки в ее окрестностях наблюдался подъем плазмы: лучевая скорость составляла 1–2 км/с в фотосфере и 1.5–7 км/с в хромосфере.

РУХИ ХРОМОСФЕРНОЇ ТА ФОТОСФЕРНОЇ РЕЧОВИНИ У ДВОСТРІЧКОВОМУ СОНЯЧНОМУ СПАЛАХУ, Кондрашова Н. М., Руднікова К. Г., Пасечник М. М. — Досліджено рухи плазми у хромосферних та фотосферних шарах двострічкового спалаху 2п/М2 для різних стадій його розвитку: за 30 хв до спалаху, в початковій і головній фазах. Для визначення променевої швидкості використано два десятки фраунгоферових ліній, що формуються в різних шарах фотосфери, і хромосферні лінії H_{α} , D_1 і D_2 Na I. Знайдено, що в шарах хромосфери, де формується ядро лінії H_{α} , променева швидкість в різних фазах розвитку спалаху помітно змінювалася. У головній фазі речовина підіймалася. Найбільша зміна променевої швидкості (на 25 км/с), яка зумовлена помірним хромосферним випаровуванням, спостерігалася через декілька хвилин після другого H_{α} -максимуму спалаху. В хромосфері на рівні утворення ядер ліній Na I, а також у фотосфері в усі моменти спостережень відбувався підйом речовини з променевою швидкістю 1–4 км/с. На стадії затухання спалаху в його околі спостерігався підйом плазми: променева швидкість дорівнювала 1–2 км/с у фотосфері і 1.5–7 км/с в хромосфері.

MOTIONS OF CHROMOSPHERIC AND PHOTOSPHERIC MATERIAL IN A TWO-RIBBON SOLAR FLARE, by Kondrashova N. N., Rudnikova K. G., Pasechnik M. N. — We study the plasma motions in the chromospheric and photospheric layers of a 2n/M2 two-ribbon flare at different stages of its evolution: 30 minutes before the flare, in the impulsive and gradual phases. The measurements of the line-of-sight velocity are made in 21 Fraunhofer lines formed in different photospheric layers and in the chromospheric H_{α} , D_1 and D_2 Na I lines. The line-of-sight velocities in the layers of the H_{α} line core formation changed greatly. Upward motions were observed in these layers during the gradual phase. The largest velocity variations (up to 25 km/s) caused by gentle chromospheric evaporation were observed a few minutes after the second H_{α} -maximum flare. There was an upflow in the photosphere and chromosphere at the level of Na I line core formation during the observations: the velocity variations were 1–4 km/s. An upflow occurred at the late phase: the velocity variations were 1–2 km/s in the photosphere and 1.5–7 km/s in the chromosphere.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение динамики вспышечно-активных областей имеет важное значение для понимания связанных со вспышками процессов накопления, освобождения и переноса энергии. Особенно это касается мощных событий, во время которых выделяется огромное количество энергии — до 10^{26} Дж. Изменения скоростей движения вещества на разных уровнях атмосферы Солнца могут быть индикаторами выхода новых магнитных потоков, а также хромосферного испарения, прохождения хромосферных конденсаций, связанных с процессами пересоединения магнитных силовых линий [13, 15, 16, 24, 30, 31]. В ряде работ [например 3, 18] отмечается большое значение движений хромосферного вещества для создания предвспышечной ситуации.

Ниже на основе имеющегося спектрального наблюдательного материала мы изучаем движение вещества на хромосферном и фотосферном уровнях двухленточной вспышки 3 июня 1979 г. в разных фазах ее развития.

На H_{α} -фильтрограммах двухленточные вспышки имеют вид протяженных лент, представляющих собой основания аркад корональных петель. Между лентами часто лежит волокно, расположенное над нейтральной линией магнитного поля. Ленты существуют в течение нескольких часов после начала вспышек. В отличие от слабых компактных вспышек двухленточные характеризуются многократно повторяющимися всплесками жесткого рентгеновского излучения.

Имеется несколько моделей больших двухленточных вспышек [6, 16, 28, 33]. Некоторые из них предполагают активное участие эруптивного волокна во вспышечном процессе, другие — выход новых магнитных потоков и взаимодействие петельных магнитных структур. Недавно разработана унифицированная модель, согласно которой в зависимости от высоты места магнитного пересоединения возникают либо двухленточные, либо компактные вспышки [11]. Вообще в большинстве моделей основная роль отводится процессам пересоединения, инициированным разного рода неустойчивостями. В результате этих процессов магнитная энергия превращается в тепловую и энергию высокоэнергетичных частиц и переносится вниз, вызывая испарение хромосферы.

Наблюдаемые в импульсной фазе движения вещества вверх в корону со скоростью несколько сотен км/с [8] и вниз в хромосферу со скоростью 20–100 км/с [2, 9, 10, 22, 35–38] интерпретируются как проявления хромосферного испарения. Опускание хромосферного вещества связывается

с хромосферной конденсацией [14, 16, 23, 32]. Из численного моделирования отклика хромосферы на потоки нетепловых электронов [15] следует, что при больших энергиях этих потоков испарение носит взрывной характер и вызывает появление плотных, холодных конденсаций, а при низких энергиях потоков испарение умеренное, и конденсации нет.

Из наблюдений [12, 13, 19, 20, 30, 31, 34] было установлено, что хромосферное испарение происходит не только в начальной, но и в главной фазе мощных вспышек. Так, согласно [30] в течение нескольких часов в лентах трех вспышек наблюдались хромосферные потоки вещества вверх со скоростями от 10 км/с (начальная стадия) до 0.5 км/с (стадия затухания), свидетельствующие о длительном умеренном испарении. Механизм испарения такого типа был постулирован в модели [7] и в дальнейшем получил развитие в ряде работ [16].

Предполагается, что внешние края хромосферных лент являются основаниями вновь пересоединившихся горячих корональных петель, а внутренние — холодных петель. Согласно недавней работе [16], в которой обобщены и развиты модели систем вспышечных петель, образующихся в результате пересоединений, местам пересоединяющихся в короне силовых линий магнитного поля соответствуют маленькие опускающиеся участки хромосферы на внешнем краю лент. Обнаруженные в работе [13] нисходящие потоки вещества с амплитудой скорости порядка десятков км/с на внешней границе системы петель двухленточной вспышки 4 февраля 1995 г. ее авторы интерпретировали как доказательство механизма магнитного пересоединения в короне. Согласно [1] в главной фазе мощной вспышки 16 мая 1981 г. в лентах также наблюдалось преобладание опускания вещества. Нисходящие потоки хромосферного вещества, соответствующие холодным послевспышечным H_{α} -петлям, найдены в узкой области и между вспышечными лентами [19, 30].

Движение вещества в мощных вспышках на фотосферном уровне почти не исследовано. В одной из немногих работ [29] были найдены восходящие движения вещества перед белой вспышкой 7 августа 1972 г. и нисходящие движения со скоростью порядка нескольких км/с в процессе ее развития. Вскоре после окончания протонной вспышки 4 августа 1972 г. в верхних слоях фотосферы наблюдался слабый подъем газа [5]. Постоянный подъем фотосферного вещества как перед, так и в течение вспышек с максимальным увеличением скорости вблизи максимума интенсивности обнаружен и в работе [21].

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Рассматриваемая вспышка (рис. 1) произошла в протяженной активной области (АО) Mc Math 16051, характеризующейся высокой вспышечной активностью. АО имела сложную мультиполярную магнитную конфигурацию, в которой взаимодействовали отдельные биполярные системы, приводя к магнитным пересоединениям. В АО было много пятен, ярких точек, и в течение ряда дней наблюдалось большое количество гомологических вспышек. Согласно [17] 3 июня магнитное поле АО характеризовалось большим разбалансом с преобладанием N-полярности. В течение 3—5 июня произошло заметное уменьшение магнитного потока N-полярности и увеличение потока S-полярности. После серии мощных вспышек разбаланс значительно уменьшился.

Изучаемая нами вспышка балла 2p/M2 возникла 3 июня 1979 г. в 08^h42^m UT и продолжалась около 2.5 часов. Ее координаты: N18 E39. Она имела два максимума интенсивности в линии H_{α} в 09^h05^m и 09^h37^m UT и

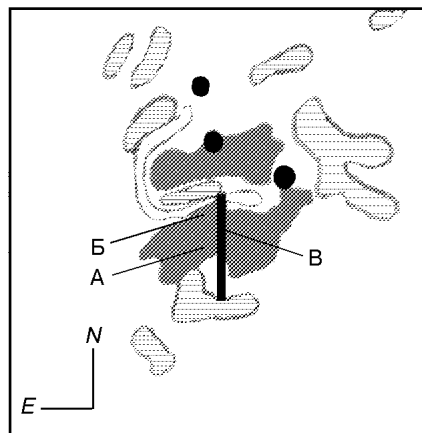


Рис. 1. Вид АО McM 16051 в момент наблюдения вспышки $10^{\text{h}}11^{\text{m}}$ UT. Контуром очерчено волокно, заштрихованы флоккулы, зачерненные участки — ленты вспышки и пятна. Вертикальной чертой отмечено положение щели спектрографа

закончилась в $11^{\text{h}}13^{\text{m}}$ UT. Вспышка состояла из двух лент, одна из которых лежала в области N-полярности, а другая — S-полярности. Ленты были и до начала вспышки. Между ними располагалось волокно, являющееся признаком линии раздела полярностей. Согласно данным Solar Geophysical Data (N 431 B) в начальной стадии вспышки происходило резкое увеличение потока мягкого рентгеновского излучения (в диапазонах $\lambda\lambda = 0.1\text{—}0.8$ и $0.05\text{—}0.4$ нм). Спектры вспышки были получены на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ-5 Главной астрономической обсерватории НАНУ в Киеве. Щель спектрографа пересекала южную ленту вспышки. Спектры сфотографированы за полчаса до вспышки в $08^{\text{h}}09^{\text{m}}$ UT, в начальной фазе вспышки в $08^{\text{h}}52^{\text{m}}$ UT и в главной ее фазе — в $09^{\text{h}}46^{\text{m}}$, $10^{\text{h}}11^{\text{m}}$, $10^{\text{h}}30^{\text{m}}$ UT. В первые два момента наблюдений в щель спектрографа попадали два ярких узла ленты. В главной фазе вспышки фотографировалось сечение, близкое к первому и пересекающее яркий узел посередине ленты.

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ В ХРОМОСФЕРНЫХ И ФОТОСФЕРНЫХ СЛОЯХ ВСПЫШКИ

Для определения лучевых скоростей движения вещества на хромосферном уровне использовались линии H_{α} , D_1 и D_2 Na I, а на фотосферном — 20 фраунгоферовых линий из спектральных участков $\lambda\lambda 587\text{—}593$ и $629\text{—}633$ нм (таблица) и линия Ti II $\lambda 655.95736$ нм, образующаяся в средних слоях фотосферы. Участок $\lambda\lambda 629\text{—}633$ нм сфотографирован в $09^{\text{h}}46^{\text{m}}$ и $10^{\text{h}}30^{\text{m}}$ UT. В таблице приведены длины волн линий [27], центральная глубина d_0 линий для центра солнечного диска, потенциал возбуждения нижнего уровня EPL [26] и высоты образования, полученные для ядер линий, наблюдаемых в спектре невозмущенной фотосферы [4]. Линии были выбраны так, чтобы охватить достаточно большой интервал высот фотосферных слоев.

В процессе измерений были использованы теллурические линии H_2O , точные длины волн которых также взяты из таблиц [27]. Находились отклонения положений линий в спектрах вспышки от их положений в спектре невозмущенной атмосферы (НА). Участок спокойного Солнца выбирался на том же расстоянии от центра диска, что и вспышка. По доплеровским сдвигам линий в спектрах определены изменения скорости вдоль луча зрения в АО относительно ее величины для невозмущенной атмосферы $\Delta V_{\text{луч}} = V_{\text{луч}}^{\text{АО}} - V_{\text{луч}}^{\text{НА}}$. Они приведены на рис. 2 для разных стадий развития вспышки перед, в начальной и послемаксимальной ее фазах.

Характеристики использованных линий

λ , нм	Элемент	d_0	EPL, эВ	h_d , км	h_w , км
587.32142	Fe I	0.167	4.26	152	138
587.3769	Si I	0.055	4.93	116	108
588.00236	Fe I	0.117	4.56	140	128
588.02726	Ti I	0.066	1.05	183	177
588.12822	Fe I	0.146	4.61	143	129
589.92972	Ti I	0.326	1.05	220	200
590.24755	Fe I	0.143	4.59	143	129
590.33194	Ti I	0.049	1.07	182	175
591.62535	Fe I	0.555	2.44	294	238
592.77919	Fe I	0.410	4.65	199	160
592.96802	Fe I	0.387	4.55	193	158
593.01894	Fe I	0.669	4.65	357	224
629.05480	Fe I	0.042	2.59	171	164
629.09713	Fe I	0.528	4.73	263	192
629.39224	Fe I	0.114	4.81	140	127
630.15091	Fe I	0.719	3.65	489	286
630.34671	Fe I	0.045	4.32	139	130
630.37619	Ti I	0.075	1.44	180	173
633.00941	Cr I	0.267	0.94	219	202
633.08519	Fe I	0.317	4.73	180	150

Точность определения скорости составляла 0.2 км/с по фраунгоферовым линиям и 0.5 км/с по хромосферным (рис. 2). Разрезы спектра делались в местах максимальной интенсивности в линии H_α . На оси абсцисс отложен интервал времени Δt от начала вспышки (нуль на оси абсцисс). Значения скоростей для разных высот на рисунках отмечены разными значками. Поскольку в интервале высот фотосферы 140—220 км значения $\Delta V_{\text{луч}}$ близки между собой, и их различия не превышают ошибки измерений, они усреднены (кружочки). Это касается и линий D_1 , D_2 : значения скоростей, полученные по их ядрам, тоже усреднены (треугольники).

Для первых двух моментов наблюдений (рис. 2) скорости измерены в двух ярких узлах ленты: А — на внешнем южном ее краю и Б — на внутреннем, близком к волокну.

Перед вспышкой, примерно за полчаса до нее, в обоих узлах вспышечной ленты на хромосферном и фотосферном уровнях преимущественно происходил подъем вещества. Скорость фотосферного потока составляла 1.9—3 км/с в узле А и 0.6—2 км/с в узле Б. Ход $\Delta V_{\text{луч}}$ с высотой практически одинаков для обоих узлов: скорость подъема вещества увеличивалась с высотой.

Лучевые скорости, измеренные по смещениям в спектрах ядер хромосферных линий D_1 , D_2 , близки к фотосферным. Выше в хромосфере, на уровне образования ядра линии H_α (~ 2000 км), в узле А скорость потока поднимающегося вещества была меньше, порядка 1 км/с. В узле Б она близка к скорости в невозмущенной атмосфере. В целом во внешнем узле А скорость в хромосферных и в фотосферных слоях изменена в большей степени, чем в узле Б.

Преобладание поднимающихся потоков вещества в хромосферных и фотосферных слоях перед вспышками найдено в работах [21, 24, 29]. В работах [1, 25] подъем хромосферного вещества зарегистрирован и в начальной фазе мощных вспышек 16 мая 1981 г. и 6 октября 1979 г. В работе [21] описаны быстрые изменения скорости в пределах 0.3—1 км/с, которые начинались за 10—15 мин до вспышек. Раст [29] наблюдал поднимающиеся потоки фотосферного вещества за 25 мин до мощной вспышки. Подъем вещества мог быть связан с выходом нового магнитного

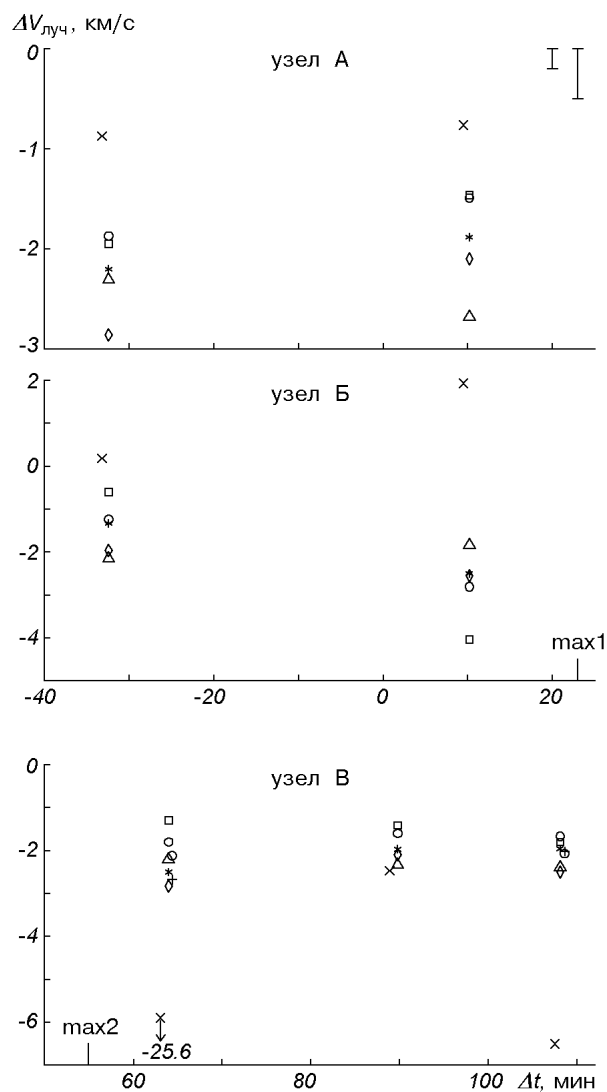


Рис. 2. Изменения лучевой скорости движения хромосферного и фотосферного вещества в узлах А и Б относительно ее величины для невозмущенной атмосферы перед вспышкой и в ее начальной фазе, а также для узла вспышки В после второго максимума (max2). Нуль на оси абсцисс — начало вспышки, max1 — момент первого H_{α} -максимума. Квадратики — значения, полученные для высоты в фотосфере 116 км, кружки — средние для интервала высот 140—220 км, звездочки — для высоты 294 км, ромбы — 357 км; треугольники — средние значения по хромосферным линиям D_1 и D_2 , косые крестики — по H_{α} ; прямые крестики — значения, полученные для узла В на высоте в фотосфере 489 км. В правом верхнем углу — ошибки измерений (слева — для фотосферы, справа — для хромосферы)

потока, что, по-видимому, привело к перестройке структуры магнитного поля.

В начальной фазе вспышки, через 10 мин после ее начала, в узле А скорость подъема вещества в фотосфере в среднем была уменьшена примерно на 0,5 км/с по сравнению с ее значениями для предвспышечной стадии. Близкий к волокну узел Б был более ярким на H_{α} -фильтрограмме, и изменения лучевой скорости в нем были гораздо более выраженными.

Скорость подъема фотосферного вещества в нем увеличилась в 1.5—2 раза, а в нижнем слое (116 км) увеличилась с 0.6 до 4 км/с. В хромосфере на уровне формирования ядер линий D_1 и D_2 заметных изменений не отмечено. В то же время в слоях образования ядра линии H_α в узле Б наблюдалось опускание вещества со скоростью около 2 км/с. Возможно, оно было связано с двигавшейся вниз хромосферной конденсацией. Таким образом, внутренний узел Б сильнее отреагировал на начало вспышки, чем узел А.

В главной фазе вспышки измерения скорости выполнены для яркого узла В посредине ленты в другом ее месте (рис. 2). В момент наблюдения 09^h45^m UT, через 8 мин после второго максимума вспышки, линия H_α оказалась сильно измененной: ее центральная интенсивность была близка к уровню соседнего континуума, эмиссионное ядро заметно смещено в коротковолновую сторону спектра. Сдвиг линии соответствует скорости подъема вещества 25.6 км/с. В области образования ядер линий D_1 , D_2 лучевые скорости были примерно такими же, как перед вспышкой в узлах А и Б. В фотосферных слоях превышение скорости поднимающегося вещества относительно ее величины для невозмущенной фотосферы составляло 1—3 км/с. Как и в предыдущие моменты наблюдений в узлах А и Б, величина $\Delta V_{\text{луч}}$ увеличивалась с высотой. Значения $\Delta V_{\text{луч}}$, полученные по линиям участка спектра $\lambda\lambda$ 629—633 нм, сфотографированного через 24 с после участка $\lambda\lambda$ 587—593 нм, для высот 139—263 км близки между собой и усреднены (кружочки). Они почти не изменились за это время, как и в верхних слоях фотосферы. По мере затухания вспышки скорость движения вещества заметным образом изменялась только в хромосферном слое образования ядра линии H_α : она уменьшилась и происходили ее колебания.

Таким образом, в главной фазе вспышки в хромосфере наблюдался подъем вещества, причем в нижних ее слоях скорости составляли около 2 км/с и были близки к фотосферным. Скорость подъема вещества, полученная по сдвигам ядра линии H_α , вскоре после второго максимума интенсивности вспышки резко увеличена, а впоследствии уменьшилась до нескольких км/с. Такие движения можно интерпретировать, как и в работах [7, 30], проявлением непрерывного умеренного хромосферного испарения.

ДВИЖЕНИЯ ВЕЩЕСТВА В ОКРЕСТНОСТИ ВСПЫШКИ

Как было отмечено выше, согласно [16] на внешних границах лент в хромосфере должны быть участки опускающегося вещества как результат последовательных магнитных пересоединений во вспышечных петлях. С целью выявления этих мест нами изучены движения хромосферного вещества в окрестности вспышечной ленты (вдоль участка АО, вырезанного щелью спектрографа) во время главной фазы вспышки. Мы изучили также и движения в фотосфере для выявления ее участия. Разрезы по высоте спектра делались через 0.3—0.5 мм (1 мм соответствует расстоянию на Солнце 8700 км). Скорость хромосферного вещества находилась по смещениям в спектрах линии H_α , а фотосферного — по линии $Ti\ II$ λ 655.95736 нм, образующейся на средних высотах фотосферы.

На рис. 3—5 приведены значения $\Delta V_{\text{луч}}$ для моментов 09^h45^m , 10^h11^m и 10^h30^m UT и соответствующие им распределения интенсивности в линии H_α вдоль щели. В области волокна (пропуски на рисунках) лучевые скорости не определялись. Во время главной фазы вспышки по всему разрезу АО на фотосферном уровне происходил подъем вещества: $\Delta V_{\text{луч}} \approx 1—2$ км/с. В хромосфере также наблюдался преимущественный

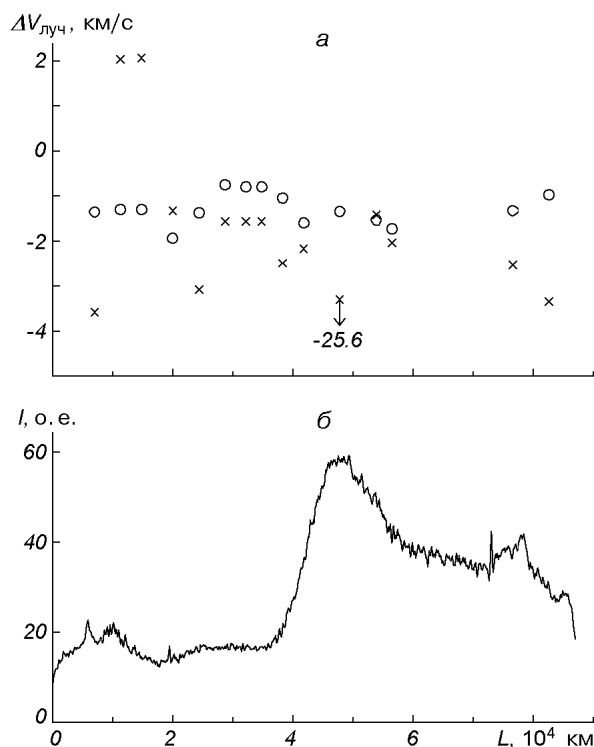


Рис. 3. *а* — Изменения лучевой скорости хромосферного (крестики) и фотосферного вещества (кружочки) относительно ее величины для невозмущенной атмосферы в $09^{\text{h}}45^{\text{m}}$ UT; *б* — распределение интенсивности излучения в линии H_{α} (в произвольных единицах) вдоль щели спектрографа от внешнего (южного) к внутреннему краю ленты

подъем со скоростью в несколько км/с. В $09^{\text{h}}45^{\text{m}}$ UT во вспышечном узле скорость составляла около 25 км/с (рис. 3). В этот же момент на расстоянии 30 тыс. км от центра вспышечного узла с внешней (южной) стороны от рассматриваемой ленты существовала небольшая область, где хромосферное вещество опускалось со скоростью 2 км/с.

Во все моменты наблюдений ($09^{\text{h}}45^{\text{m}}$, $10^{\text{h}}11^{\text{m}}$ и $10^{\text{h}}30^{\text{m}}$ UT) в непосредственно примыкающих ко вспышечной ленте местах опускания не выявлено, а наблюдался подъем вещества. Это может соответствовать модели вспышечной петельной системы [16], сформированной в результате пересоединений в субмагнитозвуковом режиме (случай слабого коронального магнитного поля). Не исключено также, что элементы движения, связанные с силовыми линиями, настолько малы, что для их выявления требуется более высокое разрешение.

ВЫВОДЫ

1. За полчаса до начала двухленточной вспышки 3 июня 1979 г. в хромосферных и фотосферных слоях происходил подъем вещества, наибольшее изменение лучевой скорости по отношению к ее величине в невозмущенной атмосфере составляло 3 км/с. По-видимому, это связано с выходом нового магнитного потока. В двух узлах скорость потока различалась примерно на 1 км/с.

2. В начальной фазе вспышки наибольшие изменения лучевой скорости произошли в более ярком внутреннем, близком к волокну узле Б. Скорость

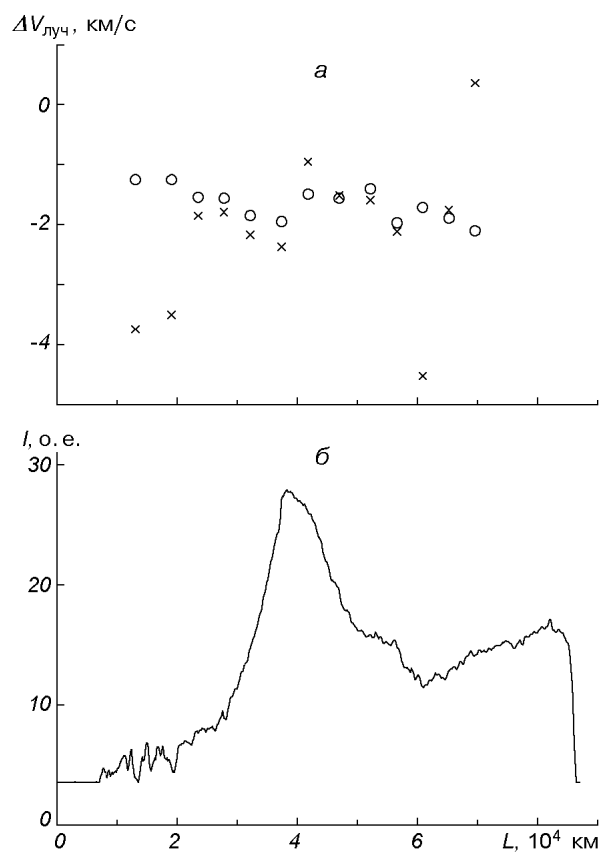


Рис. 4. То же, что на рис. 3, для $10^{\text{h}11^{\text{m}}}$ UT

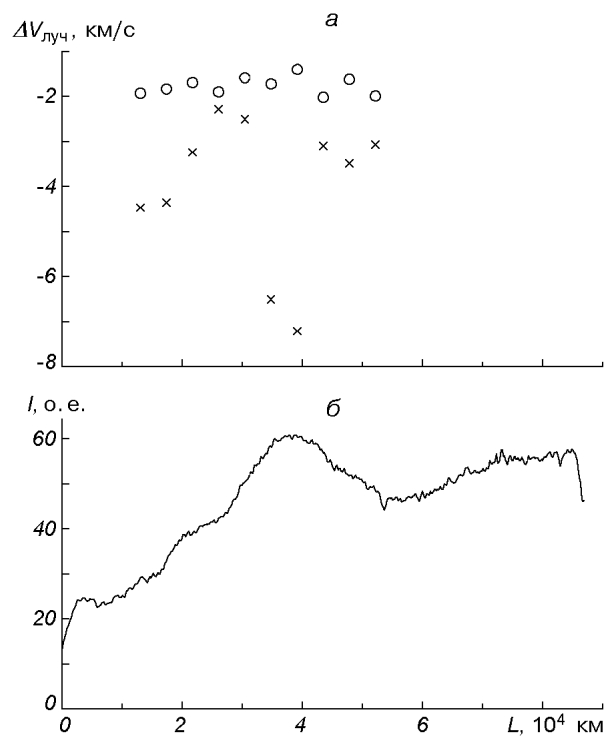


Рис. 5. То же, что на рис. 3, для $10^{\text{h}30^{\text{m}}}$ UT

подъема в нем на фотосферном уровне увеличилась почти вдвое, а на хромосферном, в слое образования ядра линии H_{α} , наблюдалось опускание вещества со скоростью 2 км/с, возможно, связанное с прохождением хромосферной конденсации.

3. В главной фазе вспышки скорость движения вещества заметным образом изменялась только в слое хромосферы, где формируется ядро линии H_{α} . Через несколько минут после второго H_{α} -максимума вспышки наблюдался подъем вещества со скоростью примерно 25 км/с. По мере затухания вспышки скорость уменьшилась до нескольких км/с. Такой подъем вещества можно интерпретировать проявлением длительного умеренного хромосферного испарения [7, 30].

4. В главной фазе вспышки, в ее окрестностях, на рассмотренном участке АО происходил подъем вещества: значение $\Delta V_{\text{луч}}$ составляло 1—2 км/с в фотосфере и 1—7 км/с в хромосфере.

1. Аликаева К. В., Барановский Э. А., Полупан П. Н. Изменение состояния низкотемпературной плазмы в процессе мощной солнечной вспышки // Кинематика и физика небес. тел.—1986.—2, № 4.—С. 27—33.
2. Бабин А. Н., Коваль А. Н. Исследование линейной поляризации и контуров линии H_{α} во время импульсной фазы двух солнечных вспышек // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1985.—72.—С. 142—153.
3. Горбачев В. С., Сомов Б. В. Вихревые течения в фотосфере как причина двухленточных вспышек: топологическая модель // Проблемы физики солнечных вспышек: Тр. 4 ежегод. семинара, Ленинград, 1985 г. — М.: Наука, 1988.— С. 26—38.
4. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И. Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов. — Киев: Наук. думка, 1989.—200 с.
5. Могилевский Э. И., Лазарева Л. Ф. Распределение магнитных полей и движений в группе N 223 4 августа 1972 года после протонной вспышки // Солнеч. данные.—1976.—№ 7.— С. 93—100.
6. Прист Э. Р. Солнечная магнитогидродинамика. — М.: Мир, 1985.—589 с.
7. Antiochos S. K., Sturrock P. A. Evaporative cooling of flare plasma // Astrophys. J.—1978.— 220, N 3.—P. 1137—1143.
8. Antonucci E., Gabriel A. H., Acton L. W., et al. Impulsive phase of flares in soft X-ray emission // Solar Phys.—1982.—78, N 1.—P. 107—123.
9. Canfield R. C., Kiplinger A. L., Penn M. J., Wuelser J. P. H_{α} -spectra of dynamic chromospheric processes in five well-observed X-ray flares // Astrophys. J.—1990.—363, N 1.—P. 318—325.
10. Canfield R. C., Zarro D. M., Metcalf T. R., Lemen J. R. Momentum balance in four solar flares // Astrophys. J.—1990.—348, N 1.—P. 333—340.
11. Chen P. F., Fang C., Ding M. D., Tang Y. H. Flaring loop motion and unified model for solar flares // Astrophys. J.—1999.—520, N 2.—P. 853—858.
12. Czaykowska A., De Pointieu B., Alexander D., Rank G. Evidence for chromospheric evaporation in the late gradual flare phase from SOHO/CDS observations // Astrophys. J., Lett.—1999.— 521, N 1.—P. L75—L78.
13. Falchi A., Qui J., Cauzzi G. Chromospheric evidence for magnetic reconnection // Astrophys. J.—1997.—328, N 1.—P. 371—380.
14. Fisher G. H. Dynamics of flare-driven chromospheric condensations // Astrophys. J.—1989.— 346, N 2.—P. 1019—1029.
15. Fisher G. H., Canfield R. C., McClymont A. N. Flare loop radiative hydrodynamics. VII. Dynamics of the thick-target heated chromosphere // Astrophys. J.—1985.—289, N 1.— P. 434—441.
16. Forbes T. G., Acton L. W. Reconnection and field line shrinkage in solar flares // Astrophys. J.—1996.—459, N 1.—P. 330—341.
17. Golovko A. A., Kotrc P. On some peculiarities in the evolution of the Mc Math 16051 flare active region on 2-7 June, 1979 // Solar Phys.—1992.—142, N 1.—P. 67—86.
18. Golovko A. A., Kuklin G. V., Mordvinov A. V., Tomozov V. M. The role of large-scale velocity fields in producing a preflare situation // Solar maximum analysis: Additional Issue: Proc. Intern. Workshop, Irkutsk, 17—24 June, 1985. — Novosibirsk, 1988.—P. 278—290.
19. Gu X., Lin J., Luan T., Schmieder B. Time evolution of a two-ribbon flare: characteristics of post-flare loops // Astron. and Astrophys.—1992.—259, N 2.—P. 649—662.
20. Hanaoka J., Kurokawa H., Saito S. The post flare loops observed at the total eclipse of February 16, 1980 // Solar Phys.—1986.—105, N 1.—P. 133—148.

21. *Harvey K. L., Harvey J. W.* A study of the magnetic and velocity fields in an active region // *Solar Phys.*—1976.—47, N 1.—P. 233—246.
22. *Ichimoto K., Kurokawa H.* H_{α} red asymmetry of solar flares // *Solar Phys.*—1984.—93, N 1.—P. 106—121.
23. *Livshits M. A., Badalyan O. G., Kosovichev A. G., Katsova M. M.* The optical continuum of solar and stellar flares // *Solar Phys.*—1981.—73, N 2.—P. 269—288.
24. *Martres M. J.* The homologous flare events in solar active region // *Solar Phys.*—1989.—119, N 2.—P. 357—384.
25. *Merkulenko V. E., Palamarchuk L. E., Polyakov V. I.* Phase-coherence of chromospheric oscillations within an activity complex and dynamic processes in a filament during the flares on 6 October 1979 // *Publ. Debrecen heliophys. obs.*—1983.—5.—P. 293—315.
26. *Moore C. E., Minnaert M. G. J., Houtgast J.* The solar spectrum 2935 to 8770 Å. — Washington: National Bureau of Standards.—1966.— 349 p.
27. *Pierce A. K., Breckinridge J. B.* The Kitt Peak table of photographic solar spectrum wavelengths // *Kitt Peak Contribution.*—1972.—N 559.—43 p.
28. *Priest E. R.* Solar flare MGD processes. Proc. XIVth Consultation on Solar Physics. Publ. Astron. Inst. Acad. Sci. Czech Republic. Publ. N 88, 1998. Eds.: Rompolt B., Jakimiec J., Heinzel P.—P. 95—120.
29. *Rust D. M.* Analysis of the August 7, 1972 white light flare: changes in the magnetic and velocity fields // *Solar Phys.*—1973.—33, N 1.—P. 205—212.
30. *Schmieder B., Forbes T. G., Malherbe J. M., Machado M. E.* Evidence for gentle chromospheric evaporation during the gradual phase of large solar flares // *Astrophys. J.*—1987.—317, N 2.—P. 956—963.
31. *Schmieder B., Malherbe J. M., Simnett G. M., et al.* Evaporation in the transition region during the gradual phase of flares regions // *Astrophys. J.*—1990.—356, N 2.—P. 720—732.
32. *Somov B. V., Syrovatskii S. I., Spektor A. R.* Hydrodynamic response of the solar chromosphere to an elementary flare burst. I. Heating by accelerated electrons // *Solar Physics.*—1981.—73, N 1.—P. 145—155.
33. *Svestka Z.* Solar flares.—Dordrecht: Reidel.—1976.—399 p.
34. *Svestka Z.* Solar flares: the gradual phase // *Solar Phys.*—1989.—121, N 1/2.—P. 399—417.
35. *Tang F.* Flare asymmetry as seen in offband H_{α} filtergrams // *Solar Phys.*—1983.—83, N 1.—P. 15—25.
36. *Wuelser J. P.* H_{α} line profile observations of solar flares with high temporal resolution // *Solar Phys.*—1987.—114, N 1.—P. 115—126.
37. *Wuelser J.-P., Canfield R. C., Acton L. W., et al.* Multispectral observations of chromospheric evaporation in the 1991 November 15 X-class solar flare // *Astrophys. J.*—1994.—424, N 1.—P. 459—465.
38. *Wuelser J.-P., Marti H.* High time resolution observations of H_{α} line profiles during the impulsive phase of a solar flare // *Astrophys. J.*—1989.—341, N 2.—P. 1088—1096.

Поступила в редакцию 02.07.01