

УДК 523.985.3

Н. Н. Кондрашова, М. Н. Пасечник

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680 Киев, ул. Академика Заболотного 27

Поле лучевых скоростей в нижней атмосфере солнечной активной области во время вспышки с выбросом. Начальная фаза вспышки

Изучены горизонтальные движения вещества вдоль участка активной области на разных высотах фотосферы (115–580 км) в начальной фазе двухленточной солнечной вспышки 4 сентября 1990 г. вблизи солнечного лимба, сопровождавшейся выбросом. Фотосферные скорости изменялись в интервале 3.5... 2.5 км/с. Преимущественное направление движений как в фотосфере, так и в хромосфере — к наблюдателю. В структуре поля горизонтальных скоростей выявлены кинематические элементы. Их размер уменьшался по мере приближения к максимуму вспышки от 7–12 до 4–5 Мм, уменьшалась и амплитуда скоростей. На всем исследуемом участке активной области в фотосфере и в хромосфере наблюдались вихревые движения. Временные изменения поля горизонтальных скоростей в областях узлов и их окрестностях носили колебательный характер и происходили почти синхронно по всей высоте фотосферы.

**ПОЛЕ ПРОМЕНЕВИХ ШВИДКОСТЕЙ У НИЖНІЙ АТМОСФЕРІ СО-
НЯЧНОЇ АКТИВНОЇ ОБЛАСТІ ПІД ЧАС СПАЛАХУ З ВИКИДОМ.
ПОЧАТКОВА ФАЗА СПАЛАХУ, Кондрашова Н. М., Пасечник М. М.**

Вивчено горизонтальні рухи речовини вздовж ділянки активної області на різних рівнях фотосфери (115–580 км) під час початкової фази двострічкового сонячного спалаху 4 вересня 1990 р., який супроводжувався викидом. Фотосферні швидкості змінювались в інтервалі 3.5... 2.5 км/с. Переважний напрямок руху як у фотосфері, так і у хромосфері — до спостерігача. У структурі поля горизонтальних швидкостей виявлено кінематичні елементи. Їхній розмір зменшувався в міру наближення до максимуму спалаху від 7–12 до 4–5 Мм, зменшувалась і амплітуда швидкостей. На усій ділянці активної області у фотосфері та хромосфері спостерігались вихрові рухи. Часові зміни поля горизонтальних швидкостей в областях вузлів та

їхнього околу мали коливний характер і відбувалися синхронно по всій висоті фотосфери.

LINE-OF-SIGHT VELOCITY FIELD IN LOW ATMOSPHERE OF AN ACTIVE REGION DURING A SOLAR FLARE WITH AN EJECTION. THE FLARE ONSET PHASE, by Kondrashova N. N., Pasechnik M. N. — We studied horizontal velocities in different photospheric levels (115–580 km) along the active region at the onset phase of the two-ribbon solar flare on 4 September 1990 which was attended with an ejection. The photospheric matter motions with velocities from 3.5 to 2.5 km/s were detected. Both photospheric and chromospheric matter motions were mainly directed towards an observer. Some kinematic elements were revealed in the horizontal velocity structure. During the onset phase they decreased in size from 7–12 to 4–5 Mm. The velocity amplitude was decreased as well. Some twist motions were observed in the active region photosphere and chromosphere. The temporal changes of the horizontal velocities in the kernel sites and their surroundings were of a wave character and were nearly synchronous throughout the whole height of the photosphere.

ВВЕДЕНИЕ

Из наблюдений известно, что двухленточные вспышки обычно возникают вблизи волокна активной области (АО), лежащего вдоль линии раздела полярностей магнитного поля. Они часто начинаются с эрупции этого волокна, выброса его вещества и раскрытия магнитной аркады, при этом магнитная конфигурация становится неустойчивой. Причиной этих процессов могут быть: выход нового магнитного потока, который всплывает из-под фотосферы Солнца в корону и взаимодействует со старым магнитным полем, а также фотосферные горизонтальные движения плазмы. В работах [10, 12, 14] было показано, что накопление свободной магнитной энергии в короне и магнитные пересоединения могут вызываться горизонтальными течениями вещества фотосферы вдоль и перпендикулярно к нейтральной линии, а также вихревыми движениями. Эти движения способствуют медленным магнитным пересоединениям, перестройке структуры магнитного поля, образованию токовых слоев. Быстрое пересоединение затем приводит к частичному или полному освобождению накопленной энергии во вспышках и выбросах.

Следует отметить, что работ по исследованию фотосферных горизонтальных движений в АО во время вспышек очень мало [11]. В предыдущей работе [3] мы исследовали изменения величины и направления горизонтальной скорости в области двух ярких узлов во время начальной и главной фаз двухленточной вспышки балла 2N/C9, возникшей в активной области 4 сентября 1990 г. Получено, что в областях этих узлов временной ход фотосферных скоростей различен. В на-

чальной стадии развития вспышки на разных высотах фотосферы направление движений в отдельные моменты наблюдений было противоположным, что свидетельствует об их вихревом характере. В настоящей работе предполагается более детально рассмотреть изменения в структуре фотосферных и хромосферных полей скорости на всем участке АО, вырезанном щелью спектрографа. Это позволит выявить связь между процессами, происходящими на этих уровнях солнечной атмосферы АО. Рассматриваемая область включает хромосферный выброс, ассоциируемый с данной вспышкой.

АКТИВНАЯ ОБЛАСТЬ И НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

4 сентября 1990 г. исследуемая активная область NOAA 6233 находилась на западном краю солнечного диска. В ее состав входили восемь небольших пятен и одно большое хвостовое пятно, а также несколько изогнутых волокон. Область имела сложную магнитную структуру, вкрапления паразитных полярностей. Согласно Solar Geophysical Data [13] в 7^h41^m UT в ней начала развиваться двухленточная вспышка балла 2N, которая продолжалась примерно 1^h20^m , максимум в линии H наблюдался в 8^h06^m . Ее координаты — N12W67, $\cos \theta = 0.3$. Вспышка возникла в районе большого хвостового пятна южной полярности. Накануне, 3 сентября, в этом же месте с 9^h42^m до 10^h40^m наблюдалась вспышка балла 1V/M2.2, изученная в работе [8]. Обе эти вспышки были гомологическими. Таким образом, менее чем за сутки восстановилась структура магнитного поля и произошло накопление энергии для новой вспышки.

Спектры были получены Т. И. Редюк на солнечном горизонтальном телескопе АЦУ-26 ГАО НАНУ (Кавказ, пик Терскол, высота над уровнем моря 3100 м). Подробное описание наблюдательного материала приведено в нашей предыдущей работе [3].

Вспышка сопровождалась хромосферным выбросом, который был виден в спектре уже в первый момент наблюдений в $8^h00^m48^s$. Замечено, что выброс волокна обычно начинается в предвспышечной фазе, за 10–15 мин до начала вспышки, и продолжается во время ее развития с возрастающим ускорением [5]. Поскольку первая спектрограмма была получена через 20 мин после начала вспышки, у нас не было возможности определить время начала развития выброса. Максимальные значения лучевой скорости в выбросе для всех моментов наблюдений даны в табл. 1 работы [3].

Данные наблюдений на спутнике GOES в рентгеновских диапазонах 0.05–0.4 нм и 0.1–0.8 нм приведены на рис. 2, б в работе [3]. Рентгеновский балл вспышки C9. Резкий рост потока рентгеновского излучения вспышки начался примерно в 7^h57^m и продолжался до 8^h03^m . Максимум его интенсивности в диапазоне 0.05–0.4 нм зарегистрирован в $8^h10^m48^s$, а в диапазоне 0.1–0.8 нм — в 8^h12^m .

Согласно [7] в 7^h40^m UT наблюдался радиовсплеск III типа, продолжавшийся 5 мин, с максимумом интенсивности в $7^h41^m30^s$ UT. Известно, что радиовсплески этого типа характеризуют импульсную фазу вспышки и сопровождаются жестким рентгеновским излучением, которое генерируется высокоэнергичными электронами. Следует отметить, что и в диапазонах рентгеновского излучения 0.05—0.4 нм и 0.1—0.8 нм наблюдались резкие всплески в $7^h41^m46^s$ и в $7^h42^m10^s$ UT соответственно (рис. 2, б в работе [3]). Всплеск зарегистрирован также в 7^h57^m UT, перед резким увеличением потока рентгеновского излучения в диапазоне 0.05—0.4 нм. О подобном всплеске в начальной фазе вспышки 7 октября 1979 г. сообщается и в работе [1].

В начальной стадии развития вспышки спектры были получены в моменты $8^h00^m48^s$, $8^h01^m38^s$, $8^h02^m20^s$, $8^h02^m43^s$ (фаза быстрого роста интенсивности рентгеновского излучения), $8^h03^m27^s$, $8^h04^m14^s$, $8^h05^m33^s$ (фаза постепенного роста интенсивности рентгеновского излучения).

В процессе наблюдений щель спектрографа пересекала участок АО, включающий несколько ярких узлов одной из лент вспышки и выброс, ассоциируемый с этой вспышкой. Для двух наиболее ярких узлов вспышки А и Б в [3] приведены световые кривые, полученные по линии H α , которые показывают, что в начальной фазе вспышки более ярким был узел Б.

Для определения скорости вещества в АО на разных уровнях фотосферы (115—580 км) были использованы восемь фраунгоферовых линий Fe I, Si I, Ni I, Cl I на участке спектра $\lambda = 658...660$ нм, характеристики которых приведены в табл. 2 работы [3]. Методика фотометрической обработки и измерений лучевых скоростей описана в этой же работе. Фотометрические сечения были сделаны на участках спектра, включающих хромосферную линию H α и фотосферные линии. Шаг между сечениями составлял 0.1—0.3 мм, что соответствует расстоянию на поверхности Солнца 0.85—2.55 Мм. Погрешность измерений скорости фотосферных движений составляет ± 0.3 км/с, а хромосферных — ± 0.5 км/с.

ДВИЖЕНИЯ ФОТОСФЕРНОГО И ХРОМОСФЕРНОГО ВЕЩЕСТВА В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ВСПЫШКИ

В результате обработки были получены горизонтальные скорости движения фотосферного и хромосферного вещества на участке АО, вырезанном щелью спектрографа. На рис. 1 показаны изменения лучевых скоростей вдоль разреза АО: в нижних и средних слоях фотосферы (панель а), в верхних слоях фотосферы и в хромосфере (панель б) для разных моментов начальной фазы. Лучевые скорости хромосферного вещества (штриховая линия, обрезанная в области выброса) измерены по смещениям центра линии H α в спектрах относительно ее

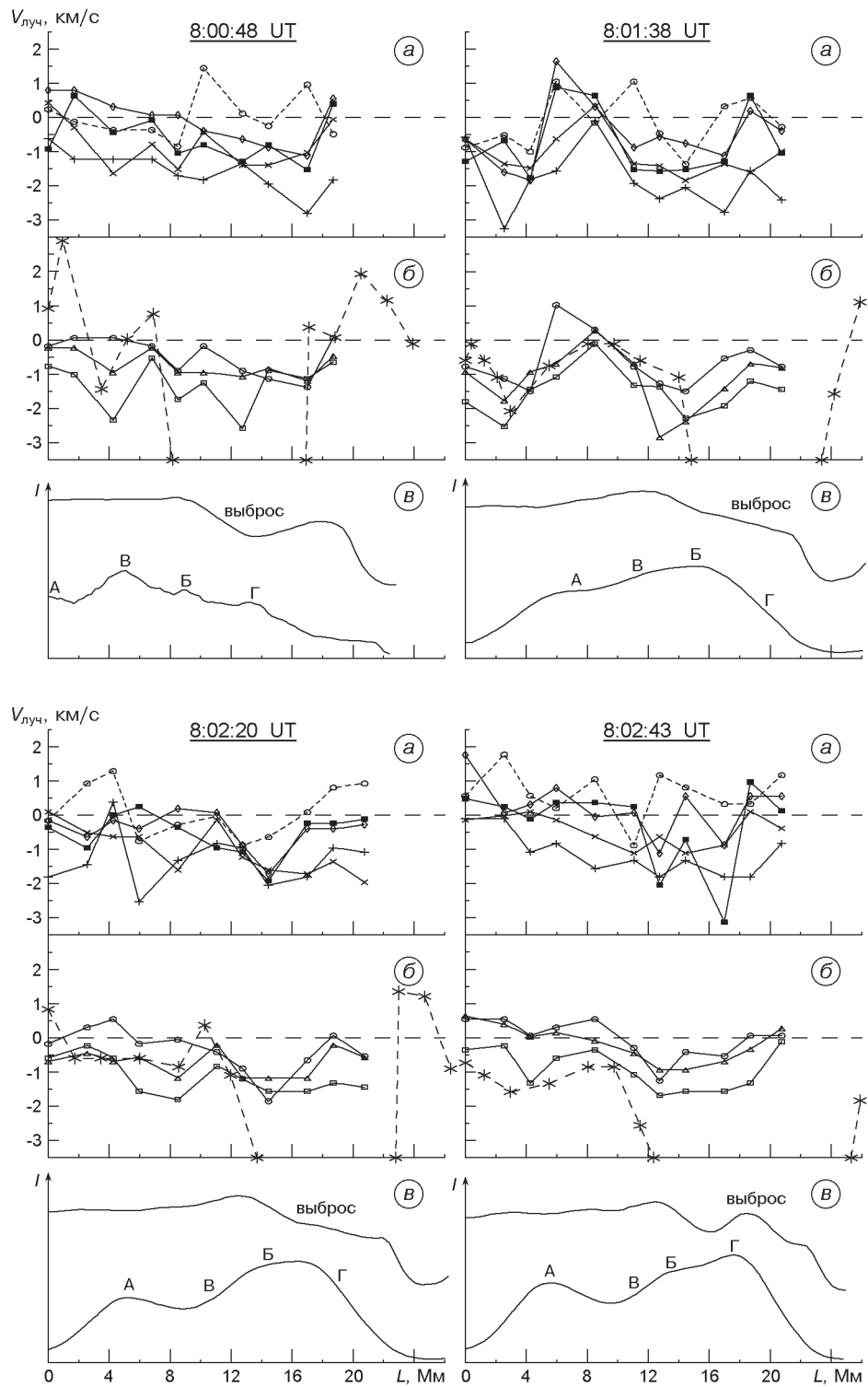


Рис. 1 (начало). Распределение лучевых скоростей $V_{\text{луч}}$ и интенсивности I в центре линии Н вдоль разреза АО для семи последовательных моментов времени (описание см. на следующей странице)

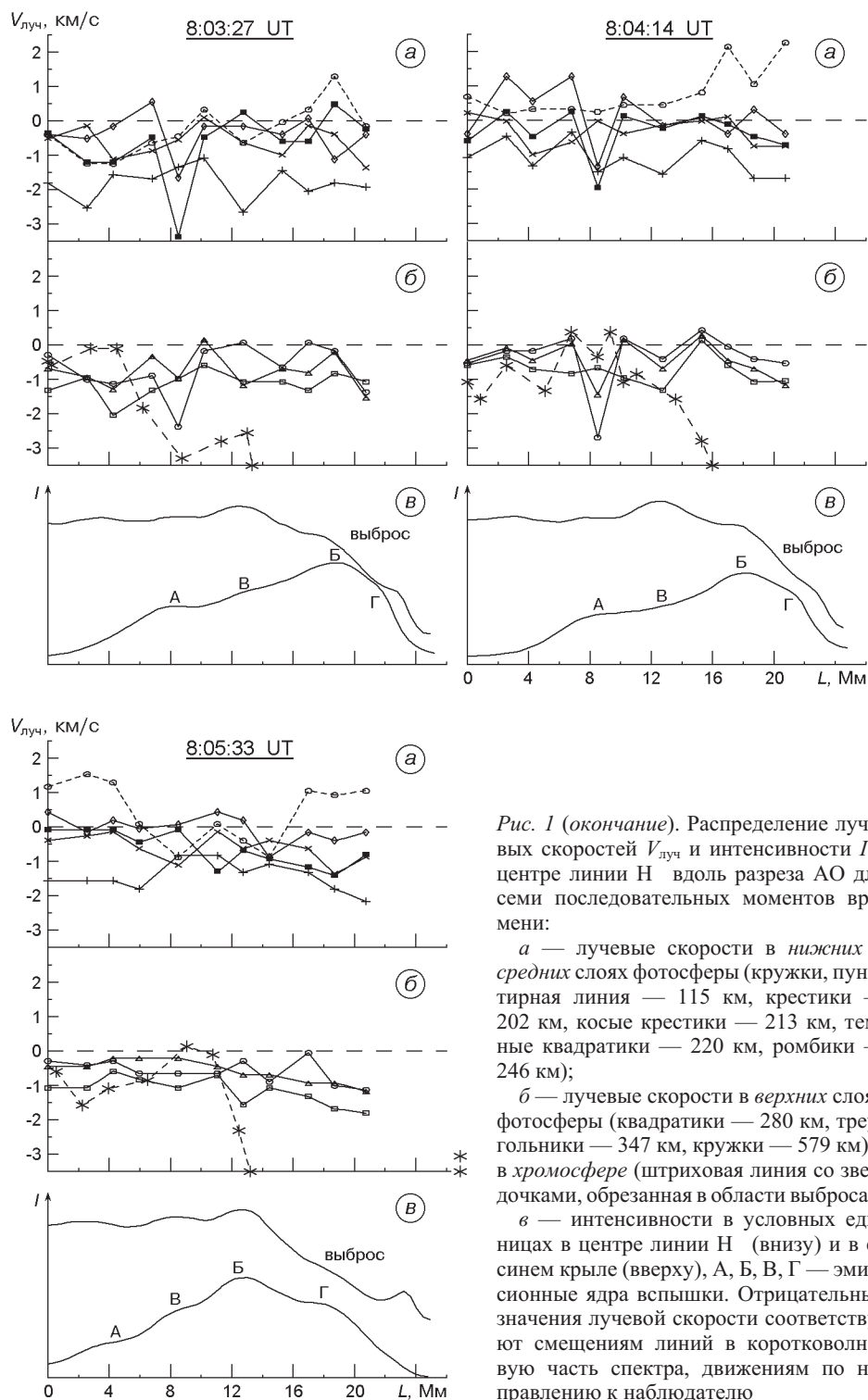


Рис. 1 (окончание). Распределение лучевых скоростей $V_{\text{луч}}$ и интенсивности I в центре линии H вдоль разреза АО для семи последовательных моментов времени:

a — лучевые скорости в нижних и средних слоях фотосферы (кружки, пунктирная линия — 115 км, крестики — 202 км, косые крестики — 213 км, темные квадратики — 220 км, ромбики — 246 км);

б — лучевые скорости в верхних слоях фотосферы (квадратики — 280 км, треугольники — 347 км, кружки — 579 км) и в хромосфере (штриховая линия со звездочками, обрезанная в области выброса);

в — интенсивности в условных единицах в центре линии H (внизу) и в ее синем крыле (вверху), А, Б, В, Г — эмиссионные ядра вспышки. Отрицательные значения лучевой скорости соответствуют смещениям линий в коротковолновую часть спектра, движениям по направлению к наблюдателю

положения в лабораторном спектре. Также на этих рисунках показаны изменения интенсивности в центре линии Н_β (панель *в*, нижняя линия) и в ее синем крыле с указанием положения выброса (панель *в*, верхняя линия). В щель спектрографа в течение наблюдений попадало излучение от четырех узлов вспышки А, Б, В и Г. Из-за того что АО находилась близко к краю солнечного диска, сказывалось влияние дрожания, поэтому в разные моменты вид нижней кривой различен, и незначительные изменения скорости (в пределах ошибок измерения) могут быть связаны с этим фактом.

Момент $8^h00^m48^s$. Первый момент наблюдений приходится на стадию резкого роста потока рентгеновского излучения в диапазонах $\lambda = 0.05\text{—}0.4$ нм и $0.1\text{—}0.8$ нм. Фотосферное вещество АО движется преимущественно к наблюдателю. На верхних уровнях фотосферы движение было направлено только к наблюдателю, значения скорости находились в пределах $2.6\text{—}0$ км/с (фрагмент *б*). В средних слоях фотосферы скорость изменялась от 2.8 до 0.8 км/с, а в нижнем слое — от 1 до 1.4 км/с (фрагмент *а*). В среднем значение скорости на высотах 202 и 213 км больше, чем на высотах 220 и 246 км. В средних и нижних слоях фотосферы вдоль участка АО на некоторых высотах направление движения несколько раз изменялось, что свидетельствует о его вихревом характере. Особенно четко это проявилось на нижнем уровне фотосферы $h = 115$ км в области узлов Б и Г.

В распределении горизонтальной фотосферной лучевой скорости вдоль участка АО можно выделить кинематические элементы размером $7\text{—}12$ Мм. Сопоставляя фотосферные лучевые скорости (фрагменты *а*, *б*) и интенсивности в центре линии Н_β (*в*), можно отметить, что в основном областям узлов вспышки соответствуют большие, а промежуткам между ними — меньшие значения скоростей.

В этот же момент наблюдений в хромосфере, на уровне образования ядра линии Н_β, движения на разных участках АО имели разное направление. Так, в области узла А и его ближайших окрестностях вещество двигалось от наблюдателя. В центре области узла В скорость близка к нулю, а по разные стороны от нее направление скорости было противоположным. По-видимому, в области этого узла имело место вихревое движение (фрагмент *б*). В выбросе движение было направлено к наблюдателю, и скорости достигали нескольких десятков км/с. За границами области выброса в хромосфере направление движения было противоположным, от наблюдателя. Таким образом, в хромосфере и на некоторых высотах нижней фотосферы по всему разрезу АО наблюдались вихревые движения.

Момент $8^h01^m38^s$. К этому моменту в распределении интенсивности в линии Н_β вспышечные узлы выделяются менее четко. В изменении фотосферных скоростей по участку АО хорошо видны структурные элементы размером около 10 Мм. Характер движений в этих элементах сохранялся по высоте от самых нижних фотосферных до хромосферных слоев. В центрах элементов горизонтальное движение

фотосферного вещества направлено к наблюдателю, а на границах его скорость уменьшается и на некоторых высотах изменяет направление. В области узла А на разных высотах фотосферы наблюдалось движение вещества как к наблюдателю (202, 213, 280, 347 км), так и в противоположную сторону (115, 220, 246, 580 км). В ближайших окрестностях узла в верхних слоях фотосферы с внешней его стороны скорости были значительно больше, чем с внутренней. В средних и нижних слоях с внутренней стороны направление движения было от наблюдателя.

Более яркий узел Б находится в центральной части второго элемента. Максимальная величина фотосферной скорости наблюдалась в слое $h = 202$ км, где она достигала 3.3 км/с. Амплитуда скорости на всех высотах немного увеличилась по сравнению с ее величиной в первый момент наблюдений. На краях выброса движение хромосферного вещества имело разное направление.

Момент $8^h02^m20^s$. В спектрах отчетливо видны два эмиссионных элемента — узлы вспышки А и Б. Хорошо выделяются элементы движения размером примерно 8 Мм. Расположение узлов относительно элементов движения осталось таким же, как и в предыдущий момент наблюдений. Скорости в верхней фотосфере в целом уменьшились. Амплитуда скорости почти на всех высотах уменьшилась по сравнению с ее значениями в предыдущий момент. В области узла А в фотосфере наблюдались вихревые движения, которые проявлялись в смене направления движения и изменении величины скорости. Особенно это заметно для высоты 115 км, на которой такие же изменения отмечались и в области узла Г. В ближайших окрестностях выброса хромосферное вещество двигалось от наблюдателя.

Момент $8^h02^m43^s$. Сильно увеличилась площадь, занимаемая выбросом. Согласно работе [4], в которой исследованы хромосферные движения в рассматриваемой АО, в центральной части выброса в это время появились фрагменты вещества, скорость движения которых достигала 60 км/с. В окрестностях выброса хромосферная скорость также увеличилась и направлена к наблюдателю.

На уровне верхней фотосферы скорости уменьшились. Как и в предыдущие моменты наблюдений, элементы движения хорошо проявляются. Вспышечные узлы А, Б и Г расположены в областях с большими скоростями.

Характер распределений скоростей по участку АО в нижних слоях изменился: нарушилась их структурность. В то же время увеличилась скорость движения от наблюдателя. На высоте 115 км вдоль всего участка АО движение в основном было направлено от наблюдателя и только в области узла В его направление было другим.

Все описанные особенности поля скоростей относятся к фазе быстрого роста интенсивности рентгеновского излучения. На этой стадии развития вспышки четко выделяются фотосферные элементы движения. Можно отметить, что от момента к моменту наблюдений

расположение узлов относительно этих элементов изменялось. По всему разрезу АО наблюдались интенсивные вихревые движения как в фотосфере, так и в хромосфере. Представляется интересным, что во всех случаях левая граница выброса проектировалась на левую границу одного из фотосферных элементов движения.

Момент $8^h03^m27^s$. Всплеск потока рентгеновского излучения в диапазоне 0.05—0.4 нм достиг максимума, еще больше увеличилась скорость движения отдельных фрагментов в выбросе. Значительно изменился характер распределений лучевой скорости вдоль АО в фотосфере. В верхних слоях движение вещества направлено только к наблюдателю, а в нижних слоях в целом сильно уменьшилась скорость движения от наблюдателя. Размер элементов движения уменьшился до 4—6 Мм. Элемент движения, объединявший области узлов В, Б, Г, очень четко видимый в предыдущие моменты наблюдений, перестал выделяться. В области узла А как в хромосфере, так и в фотосфере скорость сильно увеличилась — образовался мелкомасштабный локальный поток (фрагменты *а*, *б*). Так, на высоте 220 км скорость изменилась в сравнении с ее значением в предыдущий момент наблюдений на 3.5 км/с. Интересно, что в слое $h = 202$ км вдоль всего участка АО скорости были наибольшими, как и в предыдущий момент наблюдений.

Момент $8^h04^m14^s$. В средней и нижней фотосфере увеличились скорости движения от наблюдателя. В хромосфере и фотосфере четко выделяются мелкомасштабные элементы движения размером 4—5 Мм. В области узла А сохранился локальный поток. В целом в области узлов скорости больше, чем между ними. На высоте 115 км движение на всем участке АО направлено от наблюдателя с наибольшими скоростями в области узлов Б и Г. Как и в предыдущий момент, в фотосфере наибольшие скорости наблюдались в слое 202 км.

Момент $8^h05^m33^s$. Это момент, самый близкий к максимуму вспышки в линии Н . Амплитуда фотосферной лучевой скорости уменьшилась, особенно в верхней фотосфере, произошло выравнивание значений скорости. Это не коснулось высоты 115 км, на которой наблюдались выраженные вихревые движения в области узлов.

Таким образом, в постепенной фазе роста рентгеновского излучения, структурные элементы движения стали менее выраженными, их размер уменьшился. Уменьшилась также амплитуда фотосферной скорости. Вихревые движения наблюдались только в нижней фотосфере. Интересно отметить, что в работах [2, 6] выявлены элементы движения в структуре поля вертикальных лучевых скоростей в активных областях во время вспышек, размер которых уменьшался по мере развития вспышек.

На рис. 2 с целью сравнения приведены временные изменения горизонтальной скорости на разных высотах фотосферы в области ярких узлов А и Б (фрагменты *б* и *д* соответственно) и в их ближайших окрестностях на расстоянии от узлов 1.7 Мм (фрагменты *а*, *г* — слева

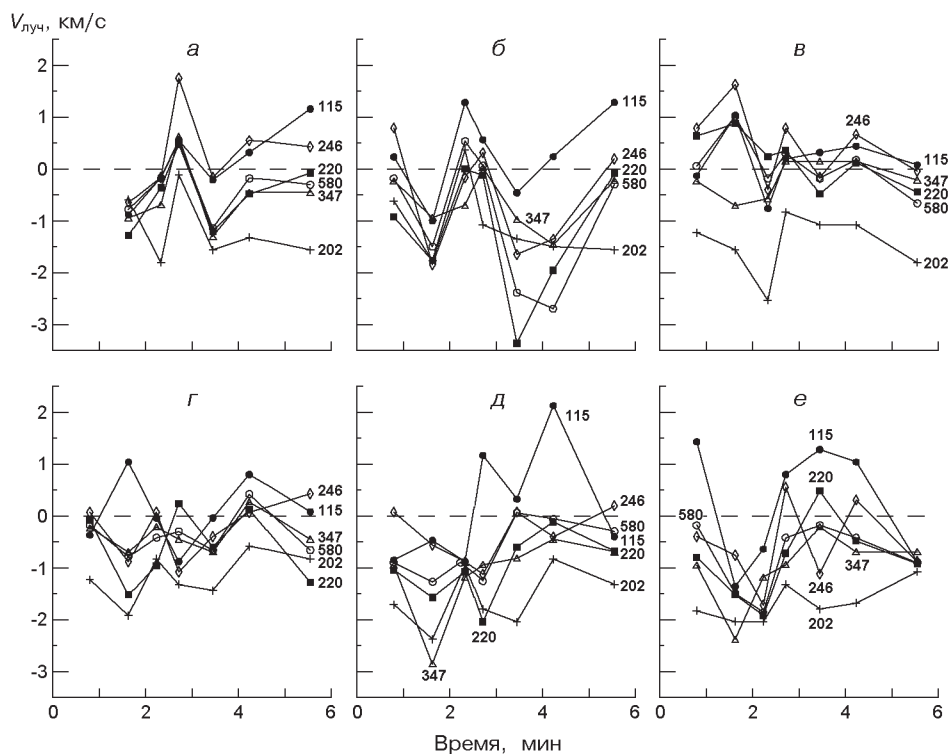


Рис. 2. Временные изменения лучевой скорости в области узлов А и Б (б, д) и в их ближайших окрестностях (а, г слева и в, е справа от узлов) на разных высотах фотосферы (значения высот указаны числами у кривых)

по разрезу АО, фрагменты в, е — справа). На каждом из отобранных участков АО отмечаются резкие временные изменения скоростей, которые носили колебательный характер. Движение преимущественно направлено к наблюдателю. Наибольшие изменения скорости наблюдались в области узлов.

Видно, что в области узла А и в его окрестностях изменения скорости происходили синхронно по всей высоте фотосферы, т. е. сохранялась вертикальная структура. Отметим, что в гомологической вспышке 3 сентября 1990 г. фотосферные лучевые скорости на трех исследованных высотах изменялись по величине и знаку также синхронно [8]. Резкое увеличение скорости движения вещества по направлению к наблюдателю в области этого узла и с внешней стороны (рис. 2, а) от нее наблюдались в $8^h01^m38^s$ и в $8^h03^m27^s$. Однако с внешней стороны от узла скорости были меньшими, чем в области узла. В эти же моменты наблюдений с внутренней стороны от узла А (рис. 2, в) имели место движения от наблюдателя, т. е. вокруг узла происходили вихревые движения. Они были более выраженными в $8^h01^m38^s$. Затем, в $8^h02^m20^s$ — $8^h02^m43^s$, в области узла и его окрестностях скорости уменьшились и в среднем мало отличались по величине.

На разных высотах наблюдалось разнонаправленное движение, что свидетельствует о спиральном характере движений. В $8^h03^m27^s$ и $8^h04^m14^s$ в области узла А вещество двигалось к наблюдателю с большими скоростями (до 3.5 км/с). В окрестностях узла в $8^h04^m14^s$ скорость движения к наблюдателю уменьшилась, а на отдельных высотах даже изменила свое направление. В $8^h05^m33^s$ скорости в области узла А и с внешней стороны от нее были приблизительно одинаковыми на каждой из высот, а с внутренней преобладало движение к наблюдателю с небольшими скоростями. Как отмечалось раньше, исключение составляла высота 202 км, скорости на которой были значительно больше.

Изменения скорости в области узла Б и его окрестностях также носили колебательный характер (рис. 2, з, д, е). В $8^h01^m38^s$ наблюдалось резкое увеличение скорости движения к наблюдателю, как и в области узла А, однако амплитуда скорости в области узла Б была значительно больше. В это время скорости были максимальными. На высоте 115 км вокруг узла Б наблюдались сильные вихревые движения. В дальнейшем по мере развития вспышки происходили колебания скорости на фоне постепенного их уменьшения. С внутренней стороны (рис. 2, з) от узла Б в $8^h04^m14^s$ движение изменило направление, движения вокруг узла были вихревыми, а в конце этой серии наблюдений скорости в направлении наблюдателя увеличились.

Представляет интерес тот факт, что активизация выброса (появление в нем фрагментов вещества, которые двигались со скоростями 60—65 км/с) зарегистрирована в моменты наблюдений $8^h02^m43^s$ и $8^h03^m27^s$ — после того, как в $8^h01^m38^s$ произошло резкое усиление горизонтальных движений в области узла Б, что, вероятно, и вызвало повышение скорости выброса. Как отмечено в работе [9], перед и при появлении хромосферных выбросов происходит усиление вихревых движений в подножиях петель в фотосфере.

Итак, в областях узлов и их окрестностях наблюдались довольно сильные временные изменения поля горизонтальных скоростей, которые носили колебательный характер. В области узла А они происходили синхронно по всей высоте фотосферы на всем протяжении наблюдений, а в области узла Б синхронность в некоторые моменты нарушалась. В окрестностях узлов выявлены вихревые движения, особенно заметные в области узла А в $8^h01^m38^s$, $8^h03^m27^s$ и $8^h04^m14^s$, в области узла Б) в $8^h04^m14^s$. На отдельных высотах вихревые движения появлялись и в другие моменты.

Для того чтобы выявить временную связь между фотосферными движениями в разных местах АО, включая область выброса, на рис. 3 приведены изменения горизонтальной лучевой скорости для слоев фотосферы 580, 347 и 220 км в трех местах АО: в области узла Б (кружки), на расстоянии 1.7 Мм от него в сторону выброса (треугольники) и в области выброса (штриховые линии). Из рис. 2 и 3 видно, что в $8^h01^m38^s$ наблюдалось увеличение фотосферной горизонтальной ско-

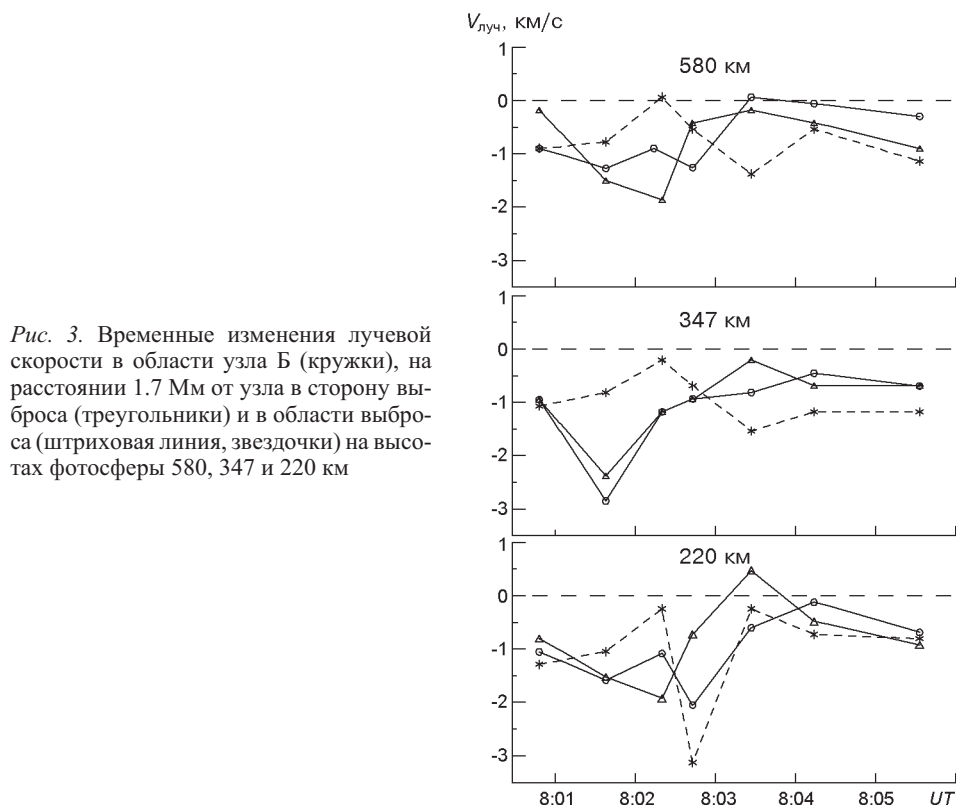


Рис. 3. Временные изменения лучевой скорости в области узла Б (кружки), на расстоянии 1.7 Мм от узла в сторону выброса (треугольники) и в области выброса (штриховая линия, звездочки) на высотах фотосферы 580, 347 и 220 км

рости в области узла Б и его окрестностях. После этого, в $8^{\text{h}}02^{\text{m}}43^{\text{s}}$, скорость была увеличена и в области выброса в верхних слоях фотосферы (347 и 580 км), а в $8^{\text{h}}03^{\text{m}}27^{\text{s}}$ достигла максимальных значений. В среднем слое фотосферы 220 км максимальное значение скорости в области выброса отмечалось в $8^{\text{h}}02^{\text{m}}43^{\text{s}}$, а в дальнейшем скорость уменьшилась. Как отмечено выше, в $8^{\text{h}}02^{\text{m}}43^{\text{s}}$ и $8^{\text{h}}03^{\text{m}}27^{\text{s}}$ в выбросе наблюдались фрагменты вещества с большими хромосферными скоростями (до 65 км/с). Возможно, увеличение фотосферной скорости в области узла Б вызвало изменения конфигурации магнитного поля, что привело к активизации выброса и обратной реакции верхних слоев фотосферы.

ВЫВОДЫ

В работе изучены горизонтальные движения вещества на уровне фотосферы вдоль участка активной области, вырезанного щелью спектрографа, в начальной фазе двухленточной солнечной вспышки 4 сентября 1990 г., сопровождавшейся выбросом. Выявлены следующие особенности временных и структурных изменений поля горизонтальных скоростей в большом интервале высот фотосферы.

1. Горизонтальные фотосферные скорости на исследуемом участке АО изменялись в интервале 3.5...2.5 км/с. Преимущественное на-

правление движений как в фотосфере, так и в хромосфере — к наблюдателю.

2. Структура поля горизонтальных скоростей изменялась в течение вспышки. В первые моменты наблюдений четко выделялись кинематические элементы размером 7—12 Мм. По мере приближения к Н -максимуму вспышки их размер уменьшился до 4—5 Мм, уменьшилась и амплитуда скоростей.

3. В областях узлов вспышки горизонтальные скорости в основном были больше, чем в промежутках между ними.

4. На всем исследуемом участке АО как в фотосфере, так и в хромосфере наблюдались вихревые движения.

5. Временные изменения поля горизонтальных скоростей в области узла А, расположенного вдали от выброса, и его окрестностях носили колебательный характер и происходили синхронно по всей высоте фотосферы.

6. Интересной особенностью рассматриваемой вспышки было то, что на высоте 202 км скорости в окрестностях узлов были значительно больше, чем на других высотах фотосферы.

7. В один из первых моментов наблюдений, в $8^h01^m38^s$, в области узла Б вспышки отмечено резкое увеличение фотосферной скорости движения к наблюдателю, а затем сильно увеличилась скорость в хромосферном выбросе и в верхних слоях фотосферы. Возможно, рост горизонтальной фотосферной скорости в области вспышечного узла вызвал активизацию выброса и обратную реакцию верхней фотосферы. Вероятно также, что оба эти изменения могут иметь общую физическую причину.

Результаты работы свидетельствуют о тесной связи процессов, происходивших на фотосферном и хромосферном уровнях во время рассматриваемой вспышки и ассоциируемого с ней выброса.

Авторы благодарят В. Л. Костюченко за фотометрию спектрограмм вспышки.

1. Аликаева К. В., Кондрашова Н. Н. Возмущение фотосферы в процессе развития солнечной двухленточной вспышки // Кинематика и физика небес. тел.—2006.—22, № 3.—С. 163—172.
2. Кондрашова Н. Н., Пасечник М. Н. Фотосферные слои вспышки и флоккула. III. Поле скоростей // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—15, № 4.—С. 310—317.
3. Кондрашова Н. Н., Пасечник М. Н. Лучевые скорости фотосферного вещества в солнечной вспышке с выбросом // Кинематика и физика небес. тел.—2010.—26, № 1.—С. 57—73.
4. Пасечник М. Н. Рух хромосферної речовини активної області під час спалаху з викидом // Вісн. Київ нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Астрономія.—2003.—Вип. 39—40.—С. 13—16.
5. Прист Э. Р. Солнечная магнитогидродинамика. — М.: Мир, 1985.—589 с.
6. Редюк Т. И. Движение вещества на уровне фотосферы во вспышечно-активных областях // Вестн. Киев. ун-та им. Тараса Шевченко. Астрономія.—1990.—Вып. 32.—С. 28—35.

7. *Солнечные* данные. Бюллетень.—1990, № 9.
8. Черногор С. Н., Аликаева К. В. Поле лучевых скоростей в H⁻ петлях в процессе развития яркой солнечной вспышки // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—**19**, № 5.—С. 417—430.
9. Canfield R. C., Reardon K. P., Leka K. D., et al. H⁻ surges and X-ray jets in AR 7260 // *Astrophys. J.*—1996.—**464**, N 2.—P. 1016—1029.
10. Gorbachev V. S., Somov B. V. Photospheric vortex flows as a cause for two-ribbon flares. A topological model // *Solar Phys.*—1988.—**117**, N 1.—P. 77—88.
11. Harvey K. L., Harvey J. W. A study of the magnetic and velocity fields in an active region // *Solar Phys. J.*—1976.—**47**, N 1.—P. 233—246.
12. Roumeliotis G., Moore R. L. A linear solution for magnetic reconnection driven by converging or diverging footpoint motions // *Astrophys. J.*—1993.—**416**, N 1.—P. 386—391.
13. *Solar Geophys. Data.*—1991.—**559**, p. II.
14. Somov B. V., Kosugi T., Hudson H. S., et al. Magnetic reconnection scenario of the Bastille Day 2000 flare // *Astrophys. J.*—2002.—**579**, N 2.—P. 863—873.

Поступила в редакцию 22.06.10