

УДК 523.985.3

**Э. А. Барановский¹, Н. Н. Кондрашова², М. Н. Пасечник²,
В. П. Таращук¹**

¹Научно-исследовательский институт «Крымская астрофизическая обсерватория»
п. Научный, Крым, 98409

²Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680

Физические условия в хромосфере солнечной двухленточной вспышки, сопровождавшейся выбросом. I

Изучаются изменения термодинамических параметров хромосферы в начальной стадии двухленточной солнечной вспышки 4 сентября 1990 г., сопровождавшейся выбросом. Построены неоднородные полумпирические модели хромосферы вспышки и выброса для четырех моментов наблюдений. Спектры получены на солнечном горизонтальном телескопе АЦУ-26 ГАО НАН Украины (пик Терскол). Фотометрические сечения спектров проходили через два ярких узла одной из лент вспышки и выброса. Сравнение наблюдаемых профилей линии H в активной и невозмущенной областях Солнца обнаруживает значительную эмиссию в крыльях линии (до 1...1.2 нм) при остаточной интенсивности в центре профилей линии 0.6...0.77. Расчеты в рамках двухкомпонентных моделей хромосферы показали, что это может свидетельствовать о наличии не разрешаемых телескопом деталей с глубоким прогревом хромосферных слоев, занимающих 5...12 % общей площади. Сильная асимметричность профилей линии и смещение по отношению к профилю линии для невозмущенной области Солнца объясняется особенностями распределения лучевых скоростей по высоте. Получено, что на большей исследуемой части активной области движение направлено к наблюдателю в верхней хромосфере (10-30 км/с) и от наблюдателя в нижней хромосфере (5-20 км/с). Согласно моделям, рассчитанным для выброса, лучевые скорости достигают 70 км/с.

ФІЗИЧНІ УМОВИ У ХРОМОСФЕРІ СОНЯЧНОГО ДВОСТРІЧКОВОГО СПАЛАХУ, ЯКИЙ СУПРОВОДЖУВАВСЯ ВИКИДОМ. I, Барановський Е. О., Кондрашова Н. М., Пасечник М. М., Таращук В. П.

Вивчаються зміни термодинамічних параметрів хромосфери у початковій стадії двострічкового сонячного спалаху 4 вересня 1990 р., який супроводжувався викидом. Побудовано неоднорідні напівемпіричні моделі хромосфери спалаху і викиду для чотирьох моментів спостережень. Спектри отримано на сонячному горизонтальному телескопі АЦУ-26 ГАО НАН України (пік Терскол). Фотометричні розрізи спектрів проходили через два яскравих вузли однієї із стрічок спалаху і викид. При порівнянні спостережуваних H в активній і незбуреній областях Сонця виявляється значна емісія у крилах лінії H (до 1...1.2 нм) при залишковій інтенсивності в центрі профілів лінії 0.6...0.77. Розрахунки в рамках двокомпонентних моделей хромосфери показали, що це може свідчити про наявність не розділених телескопом деталей з глибоким прогрівом хромосферних шарів, які займають 5...12 % загальної площі. Сильна асиметрія і зсув профілів лінії відносно профілю лінії, отриманого для незбуреної області Сонця, пояснюється особливостями розподілу променевих швидкостей по висоті. Отримано, що на більшій досліджуваній частині активної області рух спрямовано до спостерігача у верхній хромосфері (10...30 км/с) і від спостерігача у нижній хромосфері (5...20 км/с). Згідно з моделями, розрахованими для викиду, променеві швидкості досягають 70 км/с.

PHYSICAL CONDITIONS IN THE CHROMOSPHERE OF A SOLAR TWO-RIBBON FLARE ACCOMPANIED BY A SURGE. I, by Baranovskyi E. A., Kondrashova N. N., Pasechnik M. N., Tarashchuk V. P.

We study some variations of chromospheric thermodynamic parameters at the initial stage of the two-ribbon flare occurred on 4 September 1990 and accompanied by a surge. Nonhomogeneous semiempirical models of the flare chromosphere and surge were built for four moments of the flare observations. The spectra were obtained with the solar horizontal telescope ATsU-26 at the Terskol Peak Observatory. Two bright kernels of one of the ribbons and the surge were studied. Our comparison of the observed H line profiles with the quiet-Sun region line profile in the same position on the solar disk as the active region revealed some significant emission in the H line wings (up to 1...1.2 nm) at the residual intensity 0.6...0.77 in the H line centre. Our calculations in the framework of two-component chromospheric models point to a possible existence of some details with deep heating chromospheric layers. These details occupy 5...12 % of the total area and can not be resolved with a telescope. A strong asymmetry of the line profiles and the shift with respect to the quiet-Sun line profile can be interpreted by height distribution peculiarities of line-of-sight velocities. It is derived that for the majority of the active region cuts the motion is directed to the observer in the upper chromosphere (10...30 km/s) and from the observer in the lower chromosphere (5...20 km/s). The models calculated for the surge give the value of line-of-sight velocities up to 70 km/s.

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные наблюдения показывают, что вспышки часто сопровождаются разного вида хромосферными выбросами плазмы, которые продолжаются от нескольких секунд до нескольких часов [16, 22, 26, 30]. Скорости выбросов составляют от 50 до 200 км/с.

Физические процессы, приводящие к формированию и развитию двухленточной вспышки и сопровождающего ее выброса хромосферного вещества, рассмотрены во многих работах [5, 14, 18]. Согласно современным представлениям появление выбросов и вспышек связано с процессами магнитных пересоединений. Магнитные пересоединения могут быть вызваны взаимодействием нового выходящего магнитного потока с уже существующим магнитным полем активной области [8, 9, 16, 19, 22, 24], а также вихревыми движениями в фотосфере у оснований арок и горизонтальными течениями вещества фотосферы вдоль и перпендикулярно к нейтральной линии [11, 25, 28]. В работах [13, 23] сделан вывод о том, что выбросы могут быть следствием магнитных пересоединений также и в нижних слоях — хромосфере и фотосфере.

Известно также, что двухленточные вспышки часто сопровождаются активизацией волокна, лежащего вдоль нейтральной линии раздела полярностей и выбросом его вещества. К активизации и выбросу вещества в волокне приводит всплывание в данном месте нового магнитного потока, и самые яркие вспышечные узлы появляются вблизи области всплывающего потока [4, 5].

Результаты численного моделирования выбросов, вызванных выходом нового магнитного потока, доказывают, что магнитные пересоединения в нижней атмосфере Солнца, включая хромосферу, являются эффективным механизмом, вызывающим наблюдаемое в выбросах движение плазмы в хромосфере и переходном слое [10, 15, 21].

Изменения физических условий в хромосфере активной области во время таких событий изучены недостаточно. В большинстве работ исследуются динамические особенности плазмы в выбросах [12, 29, 33]. Вращательные движения в выбросах исследованы в работах [7, 13, 17].

В то же время изменения температуры и давления в возмущенной хромосфере при появлении выбросов мало изучены. В работе [20] исследован крупный хромосферный выброс в активной области 5395 19 марта 1989 г. Для интерпретации профилей хромосферной линии H использована модель двух облаков. Были определены температура возбуждения, давление, плотность и микротурбулентная скорость в разных местах выброса. Получен вывод, что температура и плотность уменьшались от центра к периферии выброса. В выбросе вещество имело более высокую температуру и плотность, чем в его окружении. В среднем температура возбуждения в нем составляла около 8500 К, электронное давление 2.3 мПа. Значения микротурбулентной

скорости в выбросе находились в пределах от 10 до 30 км/с, скорость уменьшалась с высотой хромосферы.

Данная работа является продолжением серии работ по исследованию физических условий в хромосфере и фотосфере активной области NOAA 6233, в которой 4 сентября 1990 г. произошла двухленточная вспышка балла 2N/C9, сопровождавшаяся выбросом хромосферного вещества. В наших предыдущих работах [1–3], основанных на спектральном наблюдательном материале, исследовано изменение поля хромосферных и фотосферных лучевых скоростей на разных участках этой активной области, в том числе в области выброса. В данной работе представлены результаты моделирования хромосферы вспышки и выброса. Неоднородные полуэмпирические модели хромосферы построены для начального периода вспышки.

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Данные наблюдений вспышки и выброса 4 сентября 1990 г. подробно описаны в работах [1, 2]. Исследуемая активная область NOAA 6233 находилась на западном краю солнечного диска. Область имела сложную магнитную структуру, вкрапления паразитных полярностей. Согласно Solar Geophysical Data [27] в 7^h41^m UT в ней возникла двухленточная вспышка балла 2N, которая длилась 1 ч 20 мин. Максимум в линии H α наблюдался в 8^h06^m , координаты вспышки — N12W67, $\cos \theta = 0.3$.

Согласно данным GOES рост потока рентгеновского излучения вспышки в диапазонах 0.05–0.4 нм и 0.1–0.8 нм начался примерно в 7^h57^m и продолжался примерно 14–15 мин. 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 . До $8^h03.3^m$ наблюдалось резкое увеличение потока со временем, затем оно стало постепенным.

Спектральные наблюдения активной области на солнечном горизонтальном телескопе АЦУ-26 ГАО НАН Украины (Кавказ, пик Терскол, 3100 м) выполнила Т. И. Редюк. Спектры были получены в начальной и главной фазах вспышки.

В данной работе использованы спектры, полученные в начальной стадии развития вспышки в моменты $8^h00^m48^s$, $8^h01^m38^s$, $8^h02^m20^s$, $8^h02^m43^s$ (фаза быстрого роста интенсивности рентгеновского излучения). В процессе наблюдений щель спектрографа пересекала участок АО, включающий четыре узла одной из лент вспышки и выброс, ассоциируемый с этой вспышкой. Хромосферный выброс был виден в спектре в линии H α уже в первый момент наблюдений в $8^h00^m48^s$. Он проецировался на узлы вспышки.

Максимальные значения лучевой скорости в выбросе для всех моментов наблюдений даны в табл. 1 работы [1]. Представляет интерес тот факт, что активизация выброса (появление в нем фрагментов ве-

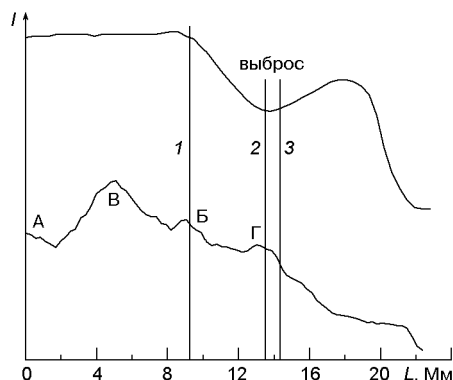


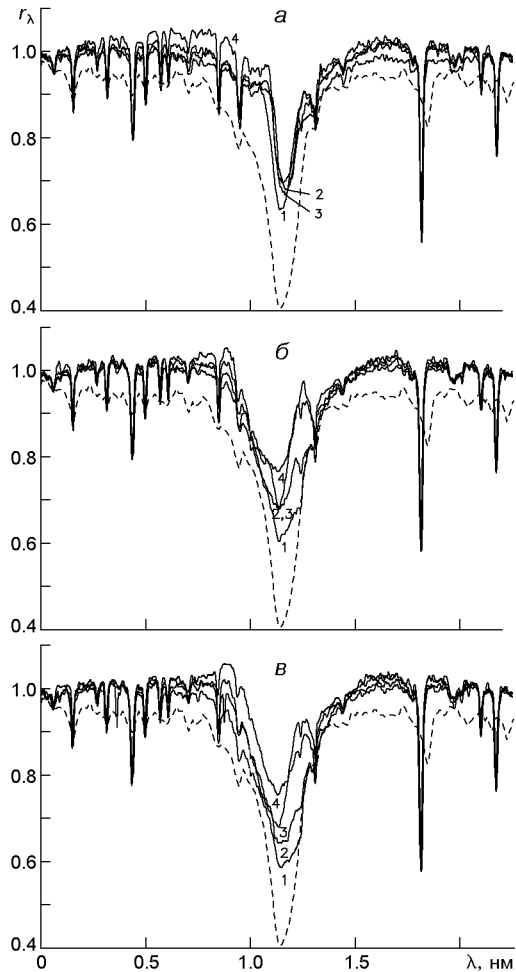
Рис. 1. Изменение интенсивности I в центре линии H (внизу) и в ее синем крыле (вверху) вдоль разреза активной области в $8^h00^m48^s$ UT. А, Б, В, Г — эмиссионные ядра вспышки. Вертикальными линиями 1—3 отмечены места сечений АО: 1 — край выброса, 2 и 3 — центр выброса

щества, 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 фотосферы в узле Б, что, вероятно, и вызвало повышение скорости выброса.

Фотометрия спектров была сделана в области линии H , с шагом поперек дисперсии 0.1—0.3 мм, что соответствует расстоянию на поверхности Солнца 0.85—2.55 Мм. На рис. 1 показаны изменения интенсивности поперек дисперсии в центре линии H (внизу) и в ее синем крыле (вверху) с указанием положения выброса для первого момента наблюдений $8^h00^m48^s$ UT. Буквами А, Б, В, Г отмечены эмиссионные ядра вспышки. Вертикальными линиями на рисунке обозначены места трех сечений АО, использованных в данной работе. Сечение I проходит через край выброса и яркий узел вспышки Б, а сечения 2, 3 через центральную часть выброса и узел Г. Соответствующие сечения взяты и для остальных рассмотренных моментов.

На рис. 2 приведены полученные из наблюдений профили линии H для всех трех сечений АО для четырех моментов наблюдений. Для сравнения приводится профиль линии, полученный для участка невозмущенной хромосферы, расположенного на таком же расстоянии от центра диска Солнца, что и изучаемая АО. Видно, что профили значительно различаются по величине остаточной интенсивности, ширине и характеру асимметрии. Центральная часть профилей в большинстве случаев смещена в сторону коротких длин волн. Профили, полученные для края выброса и его центра, сильно различаются. При этом профили для края выброса на 30 % уже, чем профиль линии для невозмущенного участка Солнца. Остаточная интенсивность профилей, полученных как для центра выброса (рис. 2, б, в), так и для его края (рис. 2, а) увеличивается со временем. Для всех сечений в момент наблюдений $8^h00^m48^s$ UT ее величина находится в пределах 0.6—0.63, для моментов $8^h01^m38^s$, $8^h02^m20^s$ UT — 0.64—0.68, а к $8^h02^m43^s$ UT она достигает 0.7—0.77. Все полученные из наблюдений АО профили линии H обнаруживают значительную эмиссию в крыльях, которая различна для разных моментов и изменяется от 6 до 9 %.

Рис. 2. Профили линии Н для четырех моментов наблюдений $8^h 00^m 48^s$, $8^h 01^m 38^s$, $8^h 02^m 20^s$ и $8^h 02^m 43^s$ UT (сплошные линии 1—4): а — край выброса (сечение 1), б, в — центр выброса (соответственно сечения 2 и 3). Штриховая линия — профиль линии Н для участка невозмущенной хромосферы, расположенного на таком же расстоянии от центра диска Солнца, что и изучаемая АО



Для интерпретации наблюдаемых особенностей профилей линии Н были построены полуэмпирические модели хромосферы.

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЕ ХРОМОСФЕРНЫЕ МОДЕЛИ ВСПЫШКИ И ВЫБРОСА

Изменения физических условий в хромосфере в области вспышки и выброса изучались путем анализа полуэмпирических моделей. Моделирование хромосферы активной области выполнено для четырех моментов начальной фазы вспышки, при этом использованы профили линии Н, полученные для центра и края выброса. Расчеты велись по программе типа ПАНДОРА с учетом отклонений от локального термодинамического равновесия. Описание методики вычислений приведено в работе [6]. Для построения моделей численно решались уравнения переноса и стационарности для атома водорода с восьмью уровнями и континуумом. При этом учитывались все механизмы уширения линий. Модели подбирались таким образом, чтобы вычисленные профили, полученные при заданном распределении температуры,

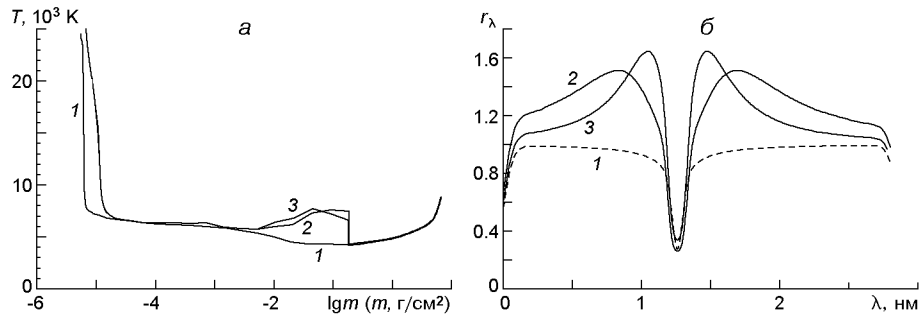


Рис. 3: *a* — зависимости температуры от колонковой плотности m в двух моделях с глубоким прогревом хромосферы (2, 3) и в модели спокойного Солнца VAL-C (1), *б* — профили линии H, вычисленные с помощью моделей 1, 2, 3

плотности атомов водорода и турбулентной скорости, наилучшим образом совпадали с профилями линии, полученными из наблюдений. В результате расчетов найдены зависимости от глубины параметров моделей — температуры, плотности, турбулентной скорости, лучевой скорости.

Как отмечено выше, полученные из наблюдений профили линии H имеют эмиссию в крыльях. Для интерпретации этой особенности профилей оказалось необходимым использовать двухкомпонентные модели. Компоненты модели описывают физические условия в двух мелкомасштабных площадках, которые наблюдаются как одно целое. В одном из компонентов имеется увеличение температуры на 1000

500 K на уровне нижней хромосферы и температурного минимума.

Этот компонент занимает от 5 до 12 % общей площади. На рис. 3, *a* показаны распределения с глубиной температуры в хромосфере для двух таких моделей. Для сравнения дана модель спокойного Солнца VAL-C [31]. Соответствующие профили линии H, при вычислении которых использованы представленные на рис. 3, *a* модели, приведены на рис. 3, *б*.

Необходимость использования в расчетах двухкомпонентной модели иллюстрирует рис. 4. На рис. 4, *б* показаны полученный из наблюдений профиль линии H для момента $8^{\text{h}}00^{\text{m}}48^{\text{s}}$ UT и профили, вычисленные с однокомпонентной и двухкомпонентной моделями, приведенными на рис. 4, *a*. Видно, что центральная часть профиля, полученного из наблюдений, хорошо описывается одной моделью, а эмиссия в крыльях вторым компонентом двухкомпонентной модели. Этот компонент занимает 7 % общей площади и характеризуется прогревом нижних слоев хромосферы.

При расчетах моделей изменение температуры и лучевой скорости с глубиной в основном компоненте, занимающем 88—95 % общей площади, подбиралось так, чтобы согласовать вычисленные и полученные из наблюдений профили с учетом их ширины, смещения и асимметричности. Дополнительный компонент моделей, в котором увеличена температура в нижней хромосфере, описывает эмиссию в

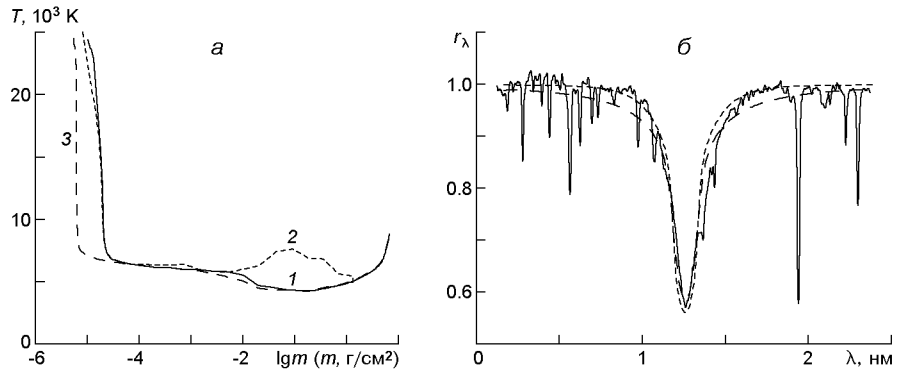


Рис. 4: а — зависимости температуры от колонковой плотности m в однокомпонентной (1) и двухкомпонентной (1, 2) моделях: 1 — для основного компонента, 2 — для дополнительного компонента с глубоким прогревом хромосферы, 3 — в модели спокойного Солнца VAL-C; б — профили линии Н : сплошная линия — полученный из наблюдений в $8^{\text{h}}00^{\text{m}}48^{\text{s}}$ UT, длинные штрихи — рассчитанный в рамках однокомпонентной модели, короткие штрихи — рассчитанный в рамках двухкомпонентной модели

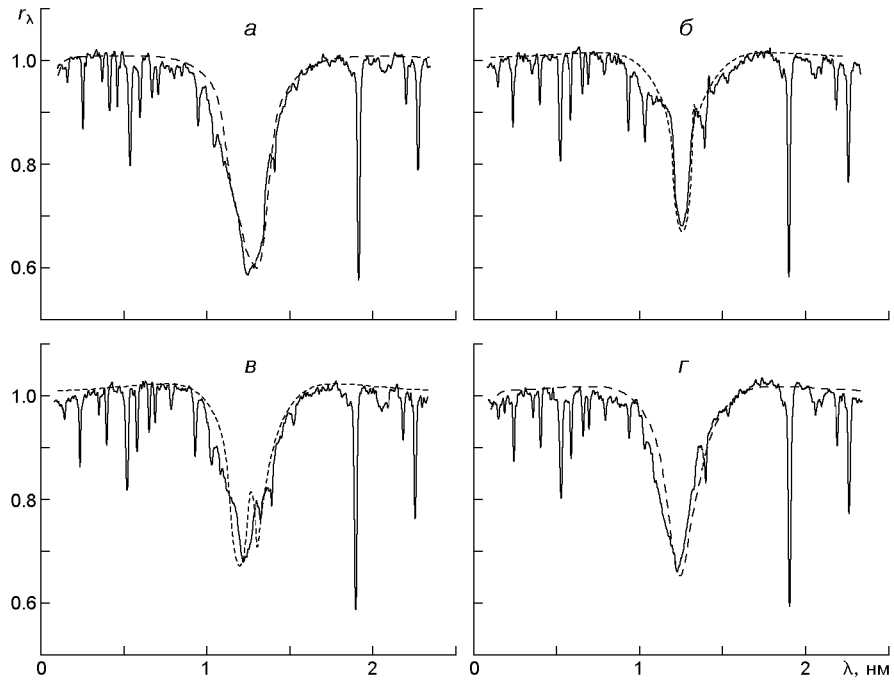


Рис. 5. Вычисленные (штриховые линии) и полученные из наблюдений (сплошные линии) профили линии Н : а — $8^{\text{h}}00^{\text{m}}48^{\text{s}}$ UT (центр выброса), б — $8^{\text{h}}01^{\text{m}}38^{\text{s}}$ (край выброса), в — $8^{\text{h}}01^{\text{m}}38^{\text{s}}$ и г — $8^{\text{h}}02^{\text{m}}20^{\text{s}}$ (центр выброса)

крыльях линии. На рис. 5 показаны примеры согласования вычисленных и полученных из наблюдений профилей линии Н . Как видно, согласие профилей хорошее.

На рис. 6 приведены полученные нами зависимости температуры от колонковой плотности m в основном и дополнительном компонентах моделей. Фактор заполнения дополнительного компонента со-

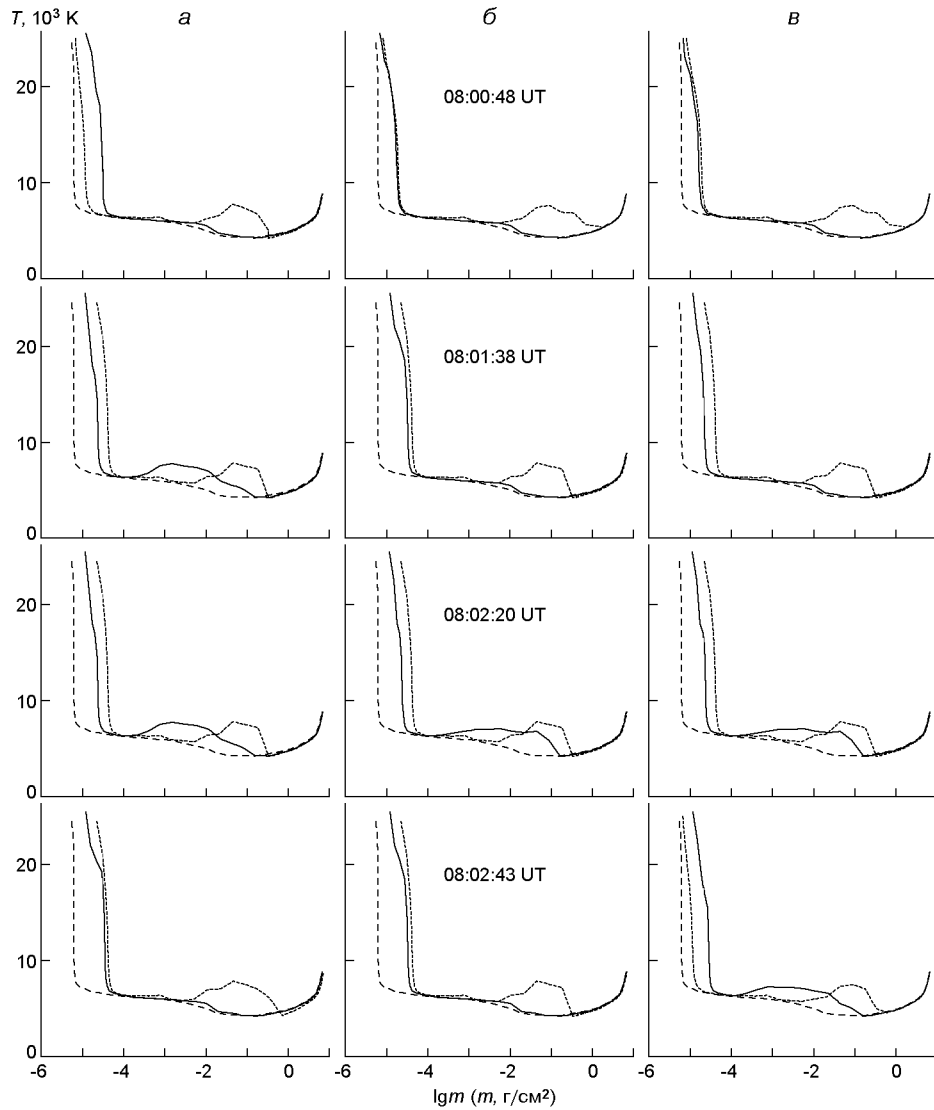


Рис. 6. Зависимости температуры от колонковой плотности m в моделях, полученных для края (a) и центра выброса ($б$ и $в$) для четырех моментов начальной фазы вспышки: сплошная линия — основной компонент, пунктирная линия — дополнительный, штриховая линия — модель спокойного Солнца VAL-C

ставлял от 5 до 12 %. Для сравнения дана модель невозмущенного Солнца VAL-C. Видно, что все полученные модели сильно отличаются от модели VAL-C. В верхних слоях хромосферы температура в них значительно больше, чем в модели спокойного Солнца. В первый момент наблюдений, $8^h00^m48^s$ UT, температурные зависимости в компонентах моделей для центра выброса в этих слоях были почти одинаковыми. В последующие моменты они значительно различались (рис. 6, б, в). Температурные распределения в моделях, полученных для края выброса, также различны (рис. 6, а). В целом имеется тенденция к уве-

личению температуры в верхнем слое хромосферы по мере развития вспышки. Сравнение основных моделей для центра и края выброса показывает, что в $8^h00^m48^s$ UT и $8^h02^m43^s$ UT хромосфера была более прогрета на краю выброса, в узле Б, а в $8^h01^m38^s$ UT в центре выброса (узел Г).

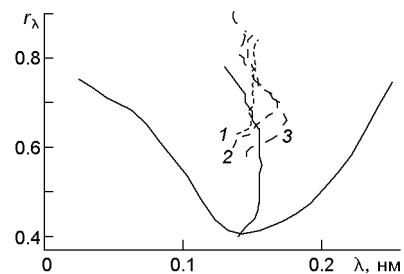
В области $10^{-1} < m < 10$ г/см² температура в основном компоненте модели в первые два момента наблюдений не отличается или очень мало отличается от температуры в модели VAL-C. В моделях для момента $8^h02^m20^s$ UT отмечается прогрев области $10^{-1} < m < 10$ г/см² во всех изучаемых местах АО примерно на 2000 К.

В изменении температуры в основном компоненте моделей для края выброса с развитием вспышки можно отметить такую закономерность: в первый момент наблюдений оказался сильно прогретым верхний слой хромосферы, в два следующих момента ($8^h01^m38^s$, $8^h02^m20^s$ UT) температура в верхнем слое несколько уменьшилась, но увеличилась в среднем слое ($10^{-1} < m < 10$ г/см²) (рис. 6, а). В $8^h02^m43^s$ UT снова увеличилась температура в верхнем слое и уменьшилась в среднем. Такие изменения температуры могут свидетельствовать о прохождении прогретых фрагментов вещества из нижних слоев хромосферы в верхние. На это указывают и изменения лучевых скоростей, изученные в работах [1, 2, 20].

Все дополнительные модели показывают прогрев области нижней хромосферы и области температурного минимума на 1000—2500 К по сравнению с моделью VAL-C, что позволило объяснить имеющуюся в крыльях линии H эмиссию. Наиболее глубоко прогрета нижняя хромосфера для первого момента наблюдений $8^h00^m48^s$ UT.

Как уже отмечалось, большинство профилей, полученных из наблюдений, были асимметричными. На рис. 7 приведены бисекторы профилей линии H для момента наблюдений $8^h00^m48^s$, соответствующие фотометрическим сечениям 1, 2, 3 (рис. 1). Для сравнения дан профиль линии, полученный из наблюдений невозмущенной хромосферы, и его бисектор. Видно, что нижняя часть бисекторов 1, 2, 3 смещена в синюю сторону спектра относительно бисектора профиля линии для невозмущенной хромосферы. В средней части профилей знак асимметрии изменяется, верхняя часть бисекторов смещена в красную сторону спектра. Для интерпретации таких профилей можно предположить наличие участков вспышечной области, в которых имеются движения противоположных направлений с большими скоростями.

Рис. 7. Бисекторы профилей линии H (штриховые линии), соответствующие сечениям АО 1, 2, 3, для момента наблюдений $8^h00^m48^s$ UT. Сплошные линии — профиль линии и его бисектор для участка невозмущенной хромосферы на таком же расстоянии от центра диска Солнца, что и наблюдаемая АО



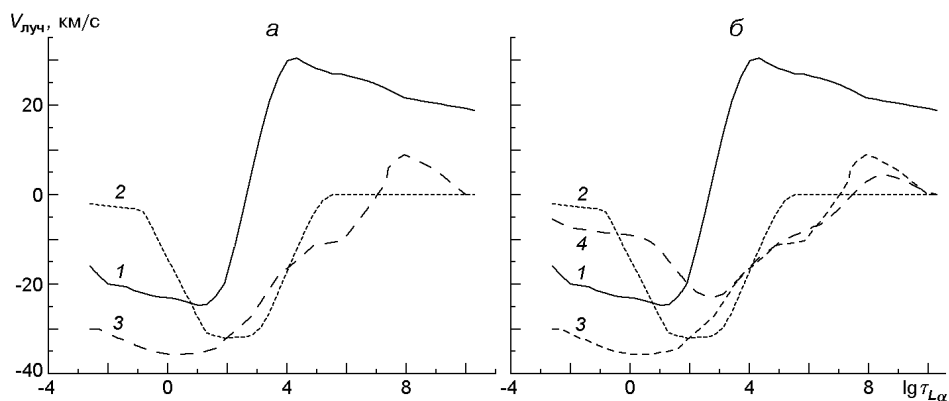


Рис. 8. Зависимости лучевых скоростей от оптической глубины в линии L в полученных моделях хромосферы в центре выброса: а — сечение 2, б — сечение 3. Линии 1—4 — для четырех моментов наблюдений ($8^h00^m48^s$, $8^h01^m38^s$, $8^h02^m20^s$, $8^h02^m43^s$ UT). Отрицательные значения лучевых скоростей соответствуют движению вещества к наблюдателю

Наличие противоположно направленных движений оказалось существенным при подборе лучевой скорости. На рис. 8 показаны полученные при моделировании зависимости лучевых скоростей от глубины в центральной части выброса и узле Г (а и б) для четырех моментов наблюдений. В большинстве случаев движение направлено к наблюдателю в верхней хромосфере (максимальная скорость 36 км/с) и от наблюдателя в нижней хромосфере (максимальная скорость 30 км/с). Толщина участка верхней хромосферы, в котором движение направлено к наблюдателю, равна 10—20 км, в то время как область хромосферы, где движение направлено от наблюдателя, имеет протяженность по глубине 200—300 км.

Совокупность данных об изменениях температуры и лучевой скорости подтверждает вывод предыдущей работы [2] об активизации выброса и появлении в нем фрагментов вещества с повышенной температурой, которые двигались из нижних слоев вверх и прогревали верхнюю хромосферу.

ВЫВОДЫ

Выполнено моделирование хромосферы двухленточной вспышки 4 сентября 1990 г., сопровождавшейся выбросом, на основе полученных из наблюдений профилей линии H для четырех моментов начальной фазы вспышки.

Для наблюдаемых профилей характерна сильная асимметричность и наличие эмиссии в крыльях линии. Для объяснения этих особенностей рассчитаны двухкомпонентные модели. Компоненты моделей описывают физические условия в двух площадках области вспышки, которые не разрешаются и наблюдаются как одно целое. Площадки с глубоким прогревом хромосферы занимают 5—12 % об-

щей площади вспышки. В них температура нижней хромосферы и температурного минимума увеличена на 1000–2500 К по сравнению с моделью VAL-C. Такой прогрев солнечной хромосферы объясняет наблюдаемую эмиссию в крыльях линии.

Особенности асимметрии профилей линий объясняются распределением лучевых скоростей. Области вспышки с большими лучевыми скоростями занимают 88–95 % общей площади. В верхней хромосфере скорости (10 ... 30 км/с) направлены к наблюдателю, а в нижней хромосфере — от наблюдателя (5 ... 20 км/с). Разное направление лучевой скорости в разных слоях свидетельствует о вихревом характере движения вещества в выбросе.

1. 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.
2. Кондрашова Н. Н., Пасечник М. Н. Поле лучевых скоростей в нижней атмосфере солнечной активной области во время вспышки с выбросом. Начальная фаза вспышки // Кинематика и физика небес. тел. 2011. 27, № 5. С. 12–25.
3. 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.
4. Порфирьева Г. А., Якунина Г. В., Делоне А. Б. Вспышки и активизация волокон в активных областях на Солнце // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 1. С. 6–7.
5. Прист Э. Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985. 589 с.
6. Avrett E. H., Loeser R. Formation of line and continuous spectra. I. Source-function calculations // Spec. Report SAO. 1969. N 303.
7. Brooks D. H., Kurokawa H., Berger T. E. An H α surge provoked by moving magnetic features near an emerging flux region // Astrophys. J. 2007. 656, N 2. P. 1197—1207.
8. Canfield R. C., Reardon K. P., Leka K. D., et al. H α -surges and X-ray jets in AR 7260 // Astrophys. J. 1996. 464, N 2. P. 1016–1029.
9. Chae J., Qiu J., Wang H., Goode P. R. Extreme-ultraviolet jets and H α surges in solar microflares // Astrophys. J. 1999. 513.—P. L75—L78.
10. Ding J. Y., Madjarska M. S., Doyle J. G., et al. Magnetic reconnection resulting from flux emergence: implications for jet formation in the lower solar atmosphere? // Astron. and Astrophys. 2011.—535.—P. 1—10.
11. 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.
12. Gu X. M., Lin J., Li K. J., et al. Kinematic characteristics of the surge on March 19, 1989 // Astron. and Astrophys. 1994. 282.—P. 240–251.
13. Guglielmino S. L., Bellot Rubio L. R., Zuccarello F., et al. Multiwavelength observations of small-scale reconnection events triggered by magnetic flux emergence in the solar atmosphere // Astrophys. J. 2010. 724. P. 1083–1098.
14. Heyvaerts J., Priest E. R., Rust D. M. An emerging flux model for the solar flare phenomenon // Astrophys. J. 1977. 216, N 1. P. 123–137.
15. Innes D. E., Toth G. Simulations of small-scale explosive events on the Sun // Solar. Phys. 1999. 185, N 1. P. 127–141.

16. Jiang Y. C., Chen H. D., Li K. J., et al. The H surges and EUV jets from magnetic flux emergences and cancellations // *Astron. and Astrophys.* **469**.—P. 331–337.
17. Jibben P., Canfield R. C. Twist propagation in H surges // *Astrophys. J.* 2004. **610**.—P. 1129–1135.
18. Kopp R. A., Pneuman G. W. Magnetic reconnection in the corona and the loop prominence phenomenon // *Solar Phys.* 1976. **50**, N 1. P. 85–98.
19. Kurokawa H., Kawai G. H surge activity at the first stage of magnetic flux emergence // *ASP Conf. Ser.* 1993. **46**. P. 507. (The magnetic and velocity fields of solar active regions / Eds H. Zirin, G. Ai, H. Wang).
20. Li K., Li J., Gu X., Zhong S. H. A quantitative analysis of the surge on March 19, 1989 // *Solar Phys.* 1996. **168**, N 1. P. 91–103.
21. Litvinenko Y. E., Chae J. Signatures of Sweet-Parker magnetic reconnection in the solar chromosphere // *Astron. and Astrophys.* 2009. **495**, N 3. P. 953–957.
22. Liu W., Berger T. E., Title A. M., et al. Chromospheric jet and growing “loop” observed by HINODE: new evidence of fan-spine magnetic topology resulting from flux emergence // *Astrophys. J.* 2011. **728**, N 103. P. 1–16.
23. Liu Yu., Kurokawa H. On a surge: properties of an emerging flux region // *Astrophys. J.* 2004. **610**.—P. 1136–1147.
24. Morita S., Shibata K., Ueno S., et al. Observations of chromospheric anemone jets with Hinode CaII broadband filtergraph and Hida CaII spectroheliograph // *Publs Astron. Soc. Jap.*—2010.—62.—P. 901–920.
25. 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.
26. Schmieder B., Golub L., Antiochos S. K. Comparison between cool and hot plasma behaviors of surges // *Astrophys. J.* 1994. **425**. P. 326–330.
27. *Solar Geophys. Data.* 1991. **559**, p. II.
28. 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.
29. Tziotziou K., Tsiropoula G., Sitterlin P. DOT tomography of the solar atmosphere. V. Analysis of a surge from AR 10489 // *Astron. and Astrophys.* 2005. **444**. P. 265–274.
30. Uddin W., Schmieder B., Chandra R., et al. Observations of multiple surges associated with magnetic activities in AR 10484 on 25 October 2003 // *Astrophys. J.* 2012. **752**, N 1. P. 1–10.
31. Vernazza J. E., Avrett E. H., Loeser R. Structure of the solar chromosphere. III. Models of the EUV brightness components of the quiet Sun // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1981. **45**, N 4. P. 635–725.
32. Yoshimura K., Kurokawa H., Shimojo M., Shine R. Close correlation among H surges, magnetic flux cancellations, and UV brightenings found at the edge of an emerging flux region // *Publs Astron. Soc. Jap.* 2003. **55**, N 1. P. 312–320.
33. Zhang J., Wang J., Liu Y. An H surge and X-ray jet magnetic properties and velocity patterns // *Astron. and Astrophys.* 2000. **361**. P. 759–765.

Статья поступила в редакцию 30.07.12