

УДК 523.985.355.3

Н. Н. Кондрашова¹, М. Н. Пасечник²

¹ Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук
03680 Киев, ул. акад. Заболотного, 27

² Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
04053 Киев, ул. Обсерваторная, 3

Фотосферные слои вспышки и флоккула.

V. Физические условия в окрестностях вспышки

Построены неоднородные полумпирические фотосферные модели активной области в окрестностях слабой вспышки для главной фазы ее развития. Они показали, что вспышечным возмущением была охвачена область фотосферы не меньше, чем размер супергранулы (30 тыс. км). Как и во вспышке, возмущение постепенно распространялось из верхних слоев фотосферы в нижние, но в ее окрестностях проникло на меньшую глубину, и вариации термодинамических параметров были меньшими. Прогрев некоторых фотосферных слоев в окрестностях вспышки достигал 300—500 К относительно невозмущенной фотосферы. Концентрация атомов водорода была изменена не более чем на 1.5 порядка.

ФОТОСФЕРНІ ШАРИ СПАЛАХУ ТА ФЛОКУЛА. V. ФІЗИЧНІ УМОВИ В ОКОЛІ СПАЛАХУ, Кондрашова Н. М., Пасечник М. М. — Побудовано неоднорідні напівемпіричні фотосферні моделі активної області околу слабого спалаху для головної фази його розвитку. Вони показали, що спалаховим збуренням була охоплена область фотосфери, за величиною не менша, ніж характерний розмір супергранули (30 тис. км). Як і в області спалаху, збурення поступово розповсюджувалося з верхніх шарів фотосфери у нижні, але в околі спалаху проникло на меншу глибину, і зміни термодинамічних параметрів були меншими. Прогрів деяких фотосферних шарів в околі спалаху досягав 300—500 К відносно незбуреної фотосфери. Концентрація атомів водню була змінена не більше ніж на 1.5 порядки.

PHOTOSPHERIC LAYERS OF A FLARE AND A PLAGE. V. PHYSICAL CONDITIONS IN THE VICINITY OF THE FLARE, by Kondrashova N. N., Pasechnik M. N. — Semiempirical inhomogeneous photospheric models of the active region in the vicinity of a small flare (for its main phase) are constructed. They showed that the flare disturbance covered a photospheric region of sizes no less than the square of a supergranule (30 thousand kilometers). As in the flare, the disturbance gradually propagated from the upper to the lower photospheric layers, but it penetrated to lesser depth in the flare vicinity and the variations of the thermodynamical parameters were lesser. Some photospheric layers were heated by 300—500 K in the flare vicinity relative to the quiet photosphere. The concentration of hydrogenic atoms was changed no more than to 1.5 orders.

ВВЕДЕНИЕ

Морфологические и динамические изменения в атмосфере активных областей (АО) во время вспышек: движение пятен, волокон, возникновение разных видов протуберанцев, корональных выбросов (СМЕ) описаны в ряде работ, например [5, 7, 8, 14]. Детально изучались поля скоростей и магнитные поля в окрестностях вспышек разных баллов. Недавние космические и наземные наблюдения с высоким пространственным разрешением свидетельствуют о том, что даже маленькие вспышки связаны с изменениями структуры и динамики АО, происходящими как до вспышки, так и в процессе ее развития. Например, в работе [13] показано, что слабая вспышка балла В3.2, возникшая в АО 19 октября 1995 г., заметно повлияла на состояние верхних слоев ее атмосферы: наблюдались сильные восходящие и нисходящие потоки вещества вдоль фибрилл и волокон, связанные с протяженными петлями. Крупномасштабные изменения в хромосфере активной области, которые произошли перед двухленточной вспышкой балла 1N 16 марта 1981 г., и, возможно, отвечали за ее возникновение, исследованы в работе [7]. В ней показано, что уже за четыре часа перед вспышкой возмущением была охвачена хромосфера площадью около 120 кв. градусов. Наблюдались изменения тонкой структуры ячеек супергрануляции. Установлена связь вспышечных узлов с границами хромосферной и магнитной сеток. Ленты вспышки были расположены на границах ячеек. Сделан вывод, что одним из факторов, которые отвечают за возникновение вспышек, было изменение крупномасштабного магнитного поля хромосферной сетки.

Используя наблюдательный материал, полученный на спутниках Yohkoh и TRACE в мягком рентгене, МакКензи и Хадсон [9] изучили систему вспышечных петель и обнаружили над ней токовый слой, имеющий дискретную структуру с пространственным интервалом между неоднородностями около 30 000 км. Прист [12] считает наличие таких структур следствием концентрации фотосферного потока на границах супергранул, т. е., возможно, крупномасштабная структура фотосферы определяет вспышечные структуры на более высоких уровнях атмосферы Солнца — хромосфере и короне.

Однако изменения термодинамических параметров состояния фотосферного вещества АО во время вспышек почти не исследованы. Цель данной работы — используя метод построения полуэмпирических неоднородных моделей, изучить изменения физического состояния фотосферного вещества активной области, произошедшие в окрестностях вспышки в главной фазе ее развития, и сравнить с моделями, полученными ранее для вспышки [1].

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Спектральные наблюдения вспышки 24 мая 1979 г. на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ-5 Главной астрономической обсерватории НАН Украины описаны в работе [3]. В работе [4] приведен рисунок активного комплекса McMath 16025+16030, там же показано положение щели спектрографа во время наблюдений вспышки. Вспышка балла sf появилась в 12^h56^m UT, закончилась в 13^h29^m UT. Максимум ее интенсивности в линии H_{α} был зафиксирован в 13^h02^m UT. Были использованы спектрограммы, полученные в главной фазе развития вспышки в 13^h06^m, 13^h18^m и 13^h27^m UT.

Для расчета моделей было выбрано четыре фраунгоферовых линии — три линии Fe I и линия Ti I на участке спектра $\lambda\lambda$ 630.0—630.4 нм. Линии формируются в разных слоях солнечной фотосферы и имеют разные интенсивности. Список линий и их характеристики приведены в табл. 1: длина волны фраунгоферовой линии и элемент [11], номер мультиплета и

Таблица 1. Характеристики использованных линий

λ , нм	Элемент	N	EPL, эВ	$g_{\text{эф}}$	d_0	h_d , км	h_w , км
630.15091	Fe I	816	3.65	1.67	0.719	489	286
630.25017	Fe I	816	3.69	2.50	0.650	381	264
630.34671	Fe I	1140	4.32	1.50	0.045	139	130
630.37619	Ti I	104	1.44	0.92	0.075	180	173

потенциал возбуждения нижнего уровня [10], эффективный фактор Ланде [6], центральные глубины профилей линий и высоты образования линий (рассчитанные по центральной глубине и эквивалентной ширине) в невозмущенной фотосфере в центре солнечного диска [2].

Высоты образования линий охватывают средние и верхние слои фотосферы — их центральные части образуются в широком интервале высот (см. табл. 1).

В работе [4] представлены результаты обработки спектров, фотометрические разрезы сделаны через 1 мм, что соответствует расстоянию на Солнце 8700 км. Рассмотрены изменения параметров профилей фраунгоферовых линий (центральных глубин линий, полуширин и эквивалентных ширин) и их сдвигов относительно их значений для невозмущенной фотосферы на участке АО, вырезанном щелью спектрографа. Анализ этих изменений показал, что вспышка возникла на границе двух крупномасштабных структурных элементов фотосферы, размер которых составлял в зависимости от фазы развития вспышки от 20 до 30 тыс. км, что согласуется с характерным размером супергранул.

В данной работе для изучения изменения термодинамического состояния фотосферы АО в окрестностях вспышки в главной фазе ее развития были взяты фотометрические разрезы, которые соответствуют центральным частям выделенных структурных элементов. На рис. 1 показано распределение интенсивности в линии H_α в спектре активного комплекса вдоль щели спектрографа для момента наблюдений 13^h06^m UT. По оси абсцисс отложено расстояние L на Солнце от верхней границы щели. Вертикальными штри-

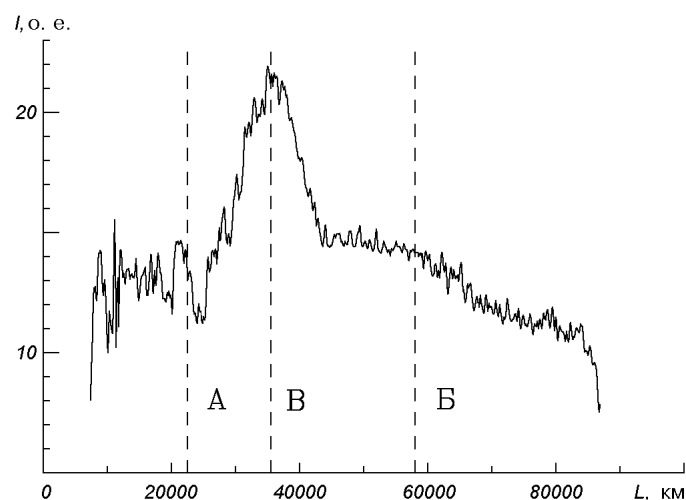


Рис. 1. Распределение интенсивности в линии H_α в спектре активного комплекса вдоль щели спектрографа для момента наблюдений в 13^h06^m UT. Места фотометрических разрезов — А, Б и В

ховыми отрезками показано, где проходили фотометрические сечения. Разрез А соответствует расстоянию на Солнце примерно 10 тыс. км к северу от места максимальной интенсивности вспышки в линии H_{α} (разрез В), а разрез Б — примерно 20 тыс. км к югу.

ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ФРАУНГЕФЕРОВЫХ ЛИНИЙ

Рассмотрим отклонения центральных глубин δd_0 и полуширин $\delta \Delta\lambda_{1/2}$ профилей исследуемых линий относительно их значений для невозмущенной фотосферы, полученные для разрезов А и Б, и сравним их с аналогичными величинами для вспышки (разрез В). Их изменения со временем представлены на рис. 2. Поведение параметров профилей линий было различным в зависимости от высоты их образования. Видно, что в большинстве случаев центральные глубины профилей линий для разрезов А и Б были увеличены: линии, образующиеся в верхних слоях фотосферы (табл. 1), изменены не более чем на 8 %, а изменения линий, формирующихся в средней фотосфере, достигли 57 %. При этом первые уширены, а вторые — преимущественно сужены. Линия нейтрального железа λ 630.35 нм, образующаяся в самом нижнем из рассматриваемых слоев, во многих случаях сужена на 48 %. В то же время в спектрах вспышки все рассматриваемые линии были преимущественно ослаблены и расширены. Для наглядности на рис. 3 приведены профили линии Fe I λ 630.25 нм: для разреза А — сплошной, а разреза Б — штриховой линией. Для сравнения на рисунке дан профиль этой линии для невозмущенной фотосферы.

Сравним также форму бисекторов профилей линий, полученных для вспышки и ее окрестностей (спектральные разрезы А и Б), а также для невозмущенной фотосферы. Бисекторы профилей линий для разных разрезов имеют разную форму. Для примера на рис. 4 показан вид бисекторов профилей линий Fe I $\lambda\lambda$ 630.15 и 630.25 нм для невозмущенной фотосферы и фотометрических разрезов А, Б и вспышки для момента наблюдений 13^h06^m UT. Из рис. 4 видно, что бисекторы профилей линии Fe I λ 630.25 нм как в спектре вспышки, так и в спектре ее окрестностей имели С-подобную форму. Максимальный прогиб бисекторов в их средней части наибольший в разрезе Б. В верхней части бисекторов профилей линии Fe I λ 630.15 нм наблюдался прогиб в коротковолновую сторону спектра, максимальную величину он имел в разрезе, проходящем через центральную часть вспышки. Форма бисекторов профилей этой линии разная — в разрезе А бисектор имел S-подобную форму, а в месте вспышки, как и в спектре невозмущенной фотосферы — С-подобную форму, а в разрезе Б нижняя часть бисектора спрямлена. Отклонения бисекторов профилей от центра линий большие в верхней их части. Со временем форма бисекторов изменялась. В 13^h18^m и 13^h27^m UT увеличилась кривизна бисекторов линий, их верхние части в целом сместились в длинноволновую сторону спектра.

Что касается линии Ti I λ 630.38 нм, все ее профили в нижней части в моменты 13^h18^m и 13^h27^m UT были симметричными, а в их верхней части наблюдалась коротковолновая асимметрия во все моменты наблюдений. Бисектор линии Fe I λ 630.35 нм имел синюю асимметрию лишь в 13^h06^m UT, а в следующие моменты наблюдений — большой прогиб в длинноволновую сторону спектра.

Таким образом, профили рассматриваемых линий и их бисекторы, полученные для разрезов А и Б, отличаются от них же для вспышки и невозмущенной фотосферы и изменяются во времени. Это свидетельствует о значительных пространственных и временных изменениях физических условий и структуры фотосферы АО в процессе развития вспышки.

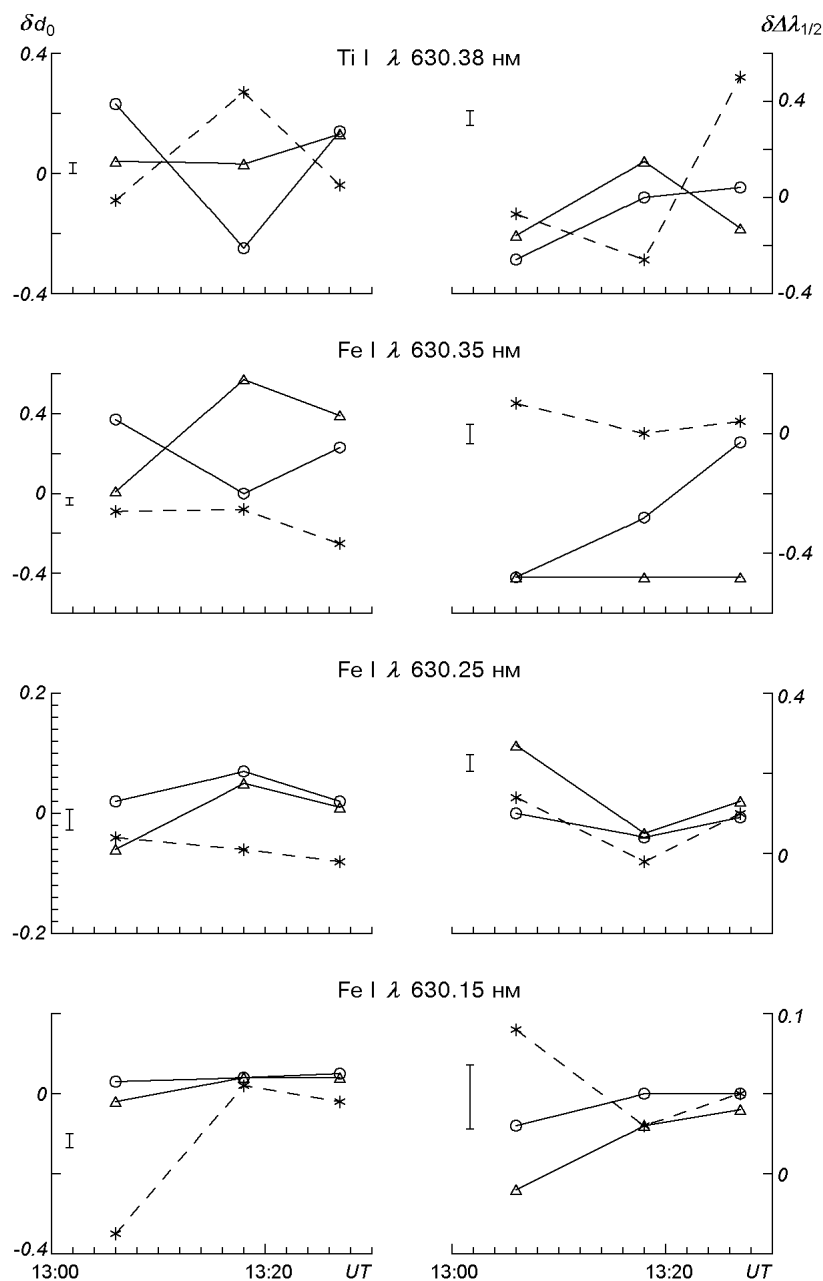


Рис. 2. Изменения отклонений центральных глубин δd_0 и полуширин $\delta \Delta \lambda_{1/2}$ профилей линий относительно их значений для невозмущенной фотосферы в главной фазе развития вспышки для разрезов А (кружки), Б (треугольники) и В (штриховая линия, звездочки). Вертикальными штрихами отмечены ошибки измерений

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОТОСФЕРЫ АО В ОКРЕСТНОСТЯХ ВСПЫШКИ

С использованием вышеописанных профилей фраунгоферовых линий были построены полуэмпирические неоднородные модели фотосферных слоев АО в окрестностях вспышки в разные моменты ее главной фазы. Методика вычислений описана в работе [1]. Модели состоят из трех компонентов — гранулы, межгранульного промежутка и магнитной силовой трубки. Они

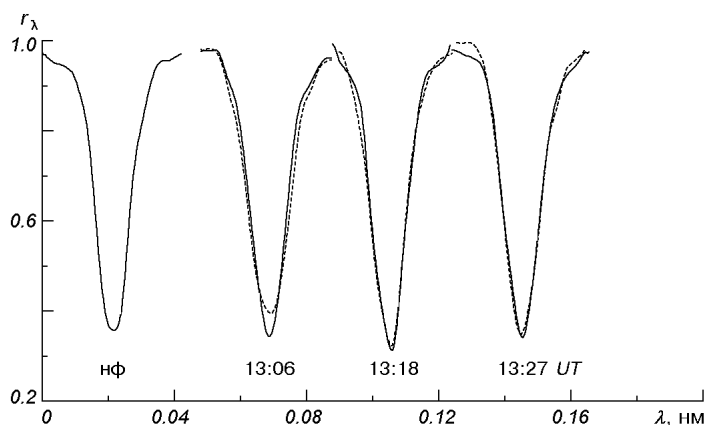


Рис. 3. Профили линии Fe I λ 630.25 нм для разных моментов наблюдений. Для фотометрического разреза А — сплошная линия, для разреза Б — штриховая линия, нф — для невозмущенной фотосферы

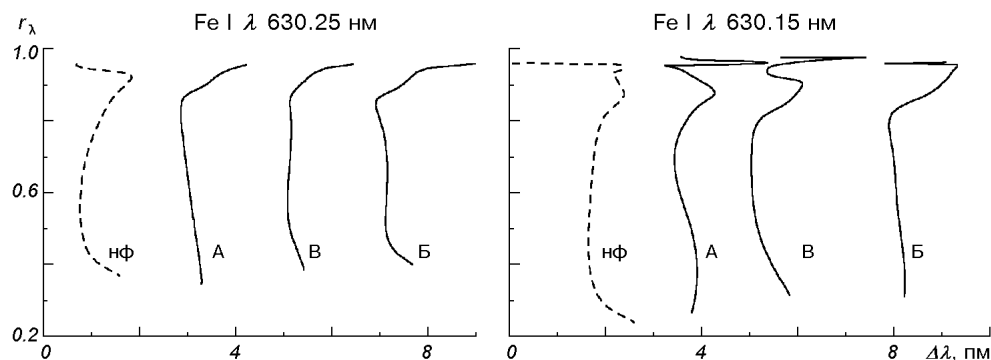


Рис. 4. Бисекторы профилей двух фраунгоферовых линий в момент наблюдений $13^{\text{h}}06^{\text{m}}$ UT для фотометрических разрезов А, Б, В и невозмущенной фотосферы (нф)

Таблица 2. Факторы заполнения и макротурбулентная скорость для вспышки и ее окрестностей

Время, UT	Вспышка (гранула/ межгранула/ трубка)	$V_{\text{ша}}$, км/с	Разрез А (гранула/ межгранула/ трубка)	$V_{\text{ша}}$, км/с	Разрез Б (гранула/ межгранула/ трубка)	$V_{\text{ша}}$, км/с
$13^{\text{h}}06^{\text{m}}$	66:24:10	0.8	70:25:5	1.5	70:25:5	0.8
$13^{\text{h}}18^{\text{m}}$	65:25:10	0.3	66:28:6	0.8	66:28:6	0.7
$13^{\text{h}}27^{\text{m}}$	66:27:7	1.0	66:28:6	0.8	70:25:5	0.8

получены путем подбора такого распределения физических параметров атмосферы с высотой, при котором вычисленные профили наилучшим образом согласуются с наблюдаемыми. В первом приближении в качестве неоднородной модели невозмущенной фотосферы была использована гидродинамическая модель солнечной грануляции А. С. Гадуна. Из нее были выделены два компонента — модели гранулы и межгранульного пространства. Считалось, что в грануле вещество поднимается, а между гранулами опускается. В качестве третьего компонента мы взяли полуэмпирическую модель силовой трубки PLA [1]. При расчетах принималось, что магнитное

поле в силовой трубке изменялось от 50 мТл в верхних слоях фотосферы до 150 мТл в нижних, лучевая скорость составляла 0.2 км/с, а микротурбулентная скорость считалась постоянной и равной 1 км/с.

Для каждого из трех компонентов модели рассчитывались профили исследуемых линий. Затем для каждой линии получали средний профиль и сравнивали его с наблюдаемым. С помощью метода проб и ошибок были получены температура T , плотность атомов водорода N_H , макротурбулентная скорость $V_{ма}$, лучевая скорость движения вещества V_r (так как исследуемая вспышка произошла вблизи центра диска Солнца, то лучевая скорость совпадает с радиальной скоростью) и напряженность магнитного поля H . При расчетах мы изменяли параметры так, чтобы интенсивность непрерывного спектра не отличалась от ее величины в спектре невозмущенной фотосферы.

Построение моделей мы начинали подбором площадей компонентов, при этом использовалась сильная зависимость величины контраста интенсивности континуума от фактора заполнения. В табл. 2 приведены соотношения, которые мы получили для площадей, занятых гранулами, межгранульными промежутками и силовыми трубками, а также вычисленные значения $V_{ма}$ (для невозмущенной фотосферы $V_{ма} = 1.8$ км/с). Видно, что макротурбулентная скорость в области вспышки и ее окрестностях меньше, чем в невозмущенной фотосфере. Площади, занимаемые силовыми трубками, во вспышке больше, чем в окрестностях.

Рассчитанные зависимости термодинамических параметров T и N_H от оптической глубины для одного из компонентов (а именно гранулы) моделей фотосферы АО в окрестностях вспышки приведены на рис. 5. Аналогичные изменения получены во всех трех компонентах соответствующей модели. Там же показаны изменения лучевой скорости в моделях гранулы и межгранульного промежутка для разрезов А и Б. Для сравнения приведены также зависимости параметров от $\lg \tau_5$ для моделей невозмущенной фотосферы.

Модели показывают, что физическое состояние вещества фотосферы в окрестностях вспышки изменялось в течение главной фазы ее развития. Видно, что все термодинамические параметры изменены по сравнению с их значениями для невозмущенной фотосферы, причем, как и в области вспышки [1], их изменения с высотой происходили неравномерно — выделялись слои с пониженными или повышенными значениями T , N_H , V_r .

Из рис. 5, а видно, что в области фотосферы, соответствующей фотометрическому разрезу А, в первый момент наблюдений в 13^h06^m UT был слой $\lg \tau_5 = -1.5 \dots -2.0$, в котором температура была на 250 К больше, чем на этих же высотах в невозмущенной фотосфере. Рядом с ним выделился слой ($\lg \tau_5 = -0.7 \dots -1.5$), в котором вещество имело температуру на 100—300 К меньшую, чем в невозмущенной фотосфере. С развитием вспышки прогревались все более глубокие слои фотосферы. К моменту наблюдения в 13^h18^m UT в первом слое температура повысилась на 100—150 К, и излишек температуры в нем составил 500 К. Слой продвинулся вглубь фотосферы, и произошло это за счет уменьшения соседнего слоя с пониженной температурой. Выделился еще один слой с повышенной температурой в области около $\lg \tau_5 = -1$, где в предыдущий момент температура была понижена. В 13^h27^m UT первый прогретый слой продвинулся еще глубже, а в областях фотосферы около $\lg \tau_5 = -2.2$ и -0.4 температура немного понизилась. То есть, к концу вспышки фотосфера на расстоянии 10 тыс. км от нее представляла собой чередование слоев с пониженной или повышенной температурой по сравнению с ее значением на соответствующих высотах в невозмущенной фотосфере.

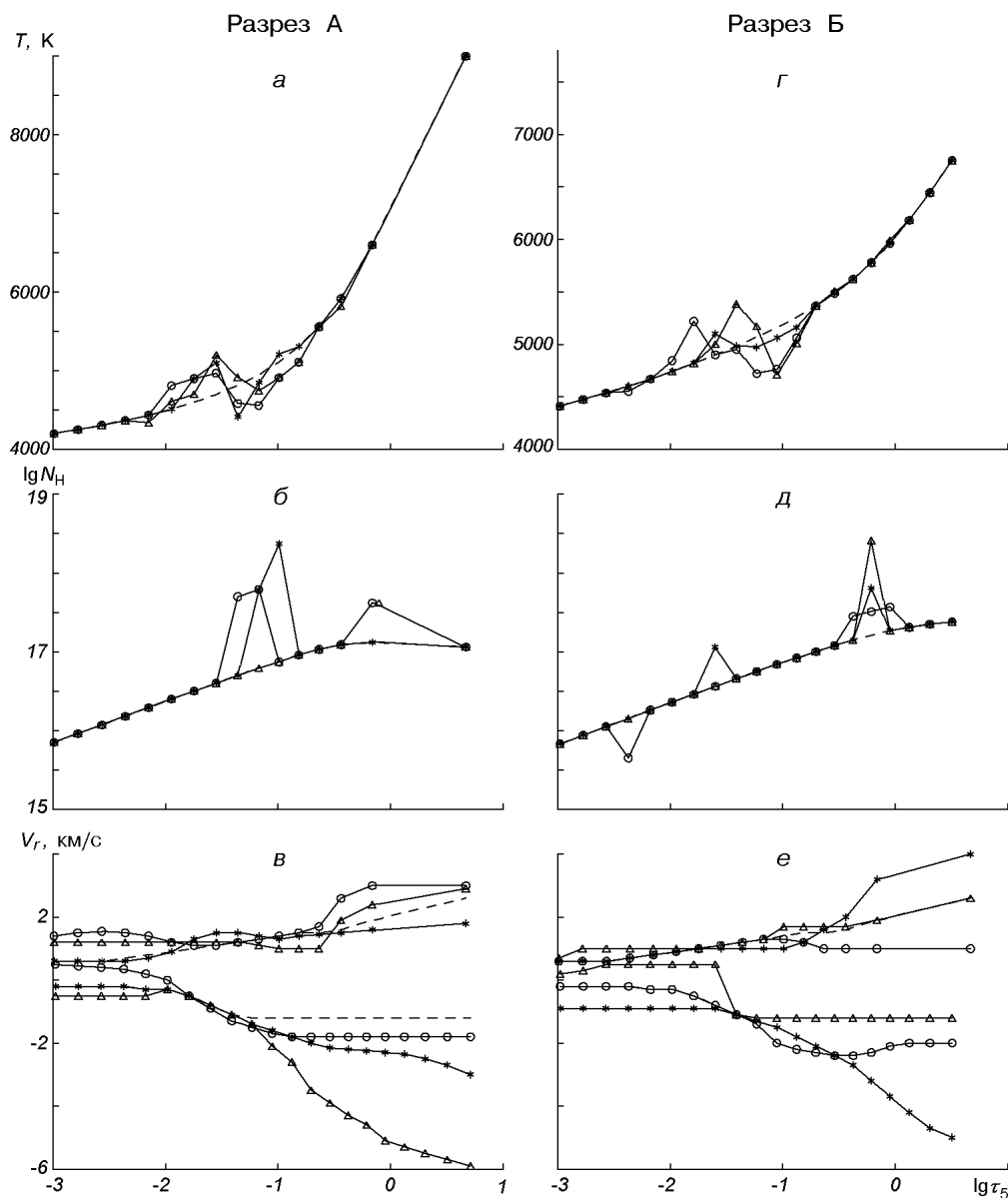


Рис. 5. Зависимости температуры (а, г) и концентрации атомов водорода (б, д) от оптической глубины для разрезов А и Б в модели гранулы, а также лучевой скорости (в, е) в моделях гранулы и межгранульного промежутка для трех моментов наблюдений вспышки: 13^h06^m (кружки), 13^h18^m (звездочки) и 13^h27^m УТ (треугольники). Для сравнения штриховой линией приведена модель невозмущенной фотосферы

Аналогичная картина наблюдалась и в месте активной области, соответствующем разрезу Б, но в этом месте прогрев фотосферы, как и ее охлаждение не превышали 300 К. При этом в отличие от модели для разреза А через 12 минут после первого момента наблюдения температура в прогретом слое была понижена на 150 К, а в следующий момент наблюдений стала опять выше на 300 К, чем в модели невозмущенной фотосферы.

Изменения концентрации атомов водорода N_H в зависимости от оптической глубины для окрестностей вспышки приведены на рис. 5, б, д. Зависимости оказались разными. В области фотосферы, соответствующей разрезу А в первый момент наблюдений существовал слой $-1.6 < \lg \tau_5 < -1.0$, в котором плотность была выше на порядок по сравнению с ее значением в модели невозмущенной фотосферы. В следующий момент наблюдений этот слой продвинулся вглубь фотосферы ($-1.4 < \lg \tau_5 < -0.8$), концентрация атомов водорода в нем повысилась еще на 0.5 порядка. К последнему моменту наблюдений плотность фотосферы в этом слое уменьшилась, и он больше продвинулся в нижние слои фотосферы.

В области фотосферы АО, соответствующей разрезу Б изменения ее плотности во время основной фазы развития вспышки были более мелко-масштабными и носили несколько другой характер. Величина их в моменты наблюдения 13^h06^m и 13^h18^m UT не превышала 0.6 порядка. Слой с повышенной плотностью в нижней фотосфере около $\lg \tau_5 = -0.1$ не изменял своего местоположения, но плотность в нем постепенно увеличивалась, и в последний момент наблюдения ее значение было выше на 1.2 порядка, чем в невозмущенной фотосфере.

Изменения лучевой скорости движения фотосферного вещества АО в грануле и межгранульном промежутке (для разрезов А и Б) в разные моменты наблюдения вспышки приведены на рис. 5, в, е. Изначально предполагалось, что в грануле вещество поднимается, что соответствует положительным значениям V_r на рисунках, а в межгранульном промежутке оно опускается — отрицательные значения.

В первый момент наблюдений в разрезе А в средних и нижних слоях фотосферы (рис. 5, в) изменения V_r относительно скорости в невозмущенной фотосфере не превышали 1.5 км/с. В верхних слоях фотосферы и в грануле, и в межгранульном промежутке вещество поднималось, причем скорость его движения была увеличена на 0.8 км/с. С развитием вспышки в межгрануле скорость опускания вещества в нижних слоях фотосферы увеличилась от -2 до -6 км/с. В грануле в этой области происходил подъем вещества со скоростью 1.5—3 км/с, наибольшее значение V_r было в 13^h06^m UT.

Другой характер носили временные изменения V_r в разрезе Б (рис. 5, е). В 13^h06^m UT в нижних и средних слоях фотосферы скорость подъема вещества в грануле была уменьшена, а скорость опускания в межгранульном промежутке — увеличена по сравнению с ее значением для невозмущенной фотосферы. Максимальная скорость опускания (около -5 км/с) наблюдалась в 13^h18^m UT. В это же время увеличена скорость подъема в грануле до 4 км/с, к концу вспышки она уменьшилась. В последний момент наблюдений в средних и нижних слоях фотосферы скорость вернулась к ее значениям для невозмущенного участка Солнца, а в верхних слоях в межгранульном промежутке направление движения изменилось — вещество поднималось со скоростью примерно 0.5 км/с.

Сравнивая модели, полученные для вспышки [1] и для ее окрестностей, можно отметить, что вспышечное возмущение в окрестностях вспышки проникло на меньшую глубину, чем в области вспышки, и отклонения термодинамических параметров от их значений для невозмущенной фотосферы были меньшими. Так, если в области вспышки увеличение температуры достигало 1000 К, то в исследуемых окрестностях вспышки она была увеличена на расстоянии 10 тыс. км к северу на 300—500 К, а на 20 тыс. км к югу — не больше чем на 300 К. Изменение концентрации атомов водорода в области вспышки достигло трех порядков, а вне ее изменение N_H не превышало 1.5 порядков. Лучевая скорость достигала в области вспышки 7 км/с, вне ее не превышала 5 км/с.

ВЫВОДЫ

Изучение физических условий в фотосфере АО во время главной фазы развития вспышки показало следующее.

1. Вспышечным возмущением была охвачена область фотосферы активного комплекса размером не меньше, чем размер супергранулы (30 тыс. км).

2. С развитием вспышки физические условия в ее окрестностях изменялись.

3. Как и во вспышке, возмущение распространялось из верхних слоев фотосферы в нижние, но в окрестностях вспышки проникло на меньшую глубину, чем в области вспышки.

4. Изменения термодинамических параметров с высотой были неравномерными: выделялись слои с разными физическими условиями. В целом в окрестностях вспышки их вариации были меньшими, чем в области вспышки.

5. Доля площади, занимаемой магнитными силовыми трубками, в окрестностях вспышки была меньше, чем во вспышке, и изменения термодинамических параметров (температуры, плотности, лучевой скорости) были меньшими. Фотосферные слои в окрестностях вспышки были прогреты на 300—500 К относительно невозмущенной фотосферы. Концентрация атомов водорода была изменена не более чем на 1.5 порядка.

Наше исследование подтверждает, что вспышка — не локальный объект, и изменения физического состояния фотосферы во время даже слабой вспышки носят крупномасштабный характер.

1. Барановский Э. А., Кондрашова Н. Н., Пасечник М. Н. Фотосферные слои вспышки и флоккула. IV. Полуэмпирические модели // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—16, № 5.—С. 387—399.
2. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И. Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов. — Киев: Наук. думка, 1989.—200 с.
3. Кондрашова Н. Н., Пасечник М. Н. Фотосферные слои вспышки и флоккула. I. Профили, асимметрия и смещения фраунгоферовых линий // Кинематика и физика небес. тел.—1997.—13, № 4.—С. 61—75.
4. Кондрашова Н. Н., Пасечник М. Н. Фотосферные слои вспышки и флоккула. II. Профили, асимметрия и смещения фраунгоферовых линий в спектрах окрестностей вспышки и флоккула // Кинематика и физика небес. тел.—1998.—14, № 3.—С. 234—244.
5. Aulanier G., DeLuca E. E., Antiochos S. K., et al. The topology and evolution of the Bastille Day flare // Astrophys. J.—2000.—540, N 2.—P. 1126—1142.
6. Beckers J. M. A table of Zeeman multiplets // Phys. Sci. Res. Papers.—1969.—N 371.—193 p.
7. Borovik A. V., Myachin D. Yu. The spotless flare of 16 March 1981 I. Pre — flare activations of chromospheric fine structure // Solar Phys.—2002.—205, N 1.—P. 105—116.
8. Deng Y. Y., Schmieder B., Mandrini C. H., et al. The evolution from birth to decay of a short-lived active region // Astron. and Astrophys.—1999.—349.—P. 927—940.
9. McKenzie D. E., Hudson H. S. X-ray observations of motions and structure above a solar flare arcade // Astrophys. J. Lett.—1999.—519, N 1.—P. L93—L96.
10. Moore C. E., Minnaert M. G. J., Houtgast J. The solar spectrum 2935 to 8770 Å. — Washington: National Bureau of Standards, 1966.—349 p.
11. Piers A. K., Breckinridge J. B. The Kitt Peak table of photographic solar spectrum wavelengths // Kitt Peak Contribution.—1972.—N 559.—43 p.
12. Priest E. R. Solar flare theory and the status of flare understanding // High Energy Solar Physics: Anticipating HESSI ASP Conf. Ser.—2000.—30.—P. 1—14.
13. Rudawy P., van Driel-Gesztelyi L., Cader-Sroka B. Analysis of evolution of NOAA 7912 active region on 19 October 1995 // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1999.—139.—P. 89—96.
14. Wang H., Gallagher P., Yurchyshyn V., et al. Core and large-scale structure of the 2000 November 24 X-class flare and coronal mass ejection // Astrophys. J.—2002.—569, N 2.—P. 1026—1031.

Поступила в редакцию 25.03.04