

## Полуэмпирические модели фотосферы вспышечно-активной области Солнца

Н.Н. Кондрашова<sup>1</sup>, М.Н. Пасечник<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Главная Астрономическая Обсерватория НАНУ, 03680, Украина, Киев

<sup>2</sup> Астрономическая Обсерватория КНУ, 04053, Украина, Киев

Поступила в редакцию 23 июля 2003 г.

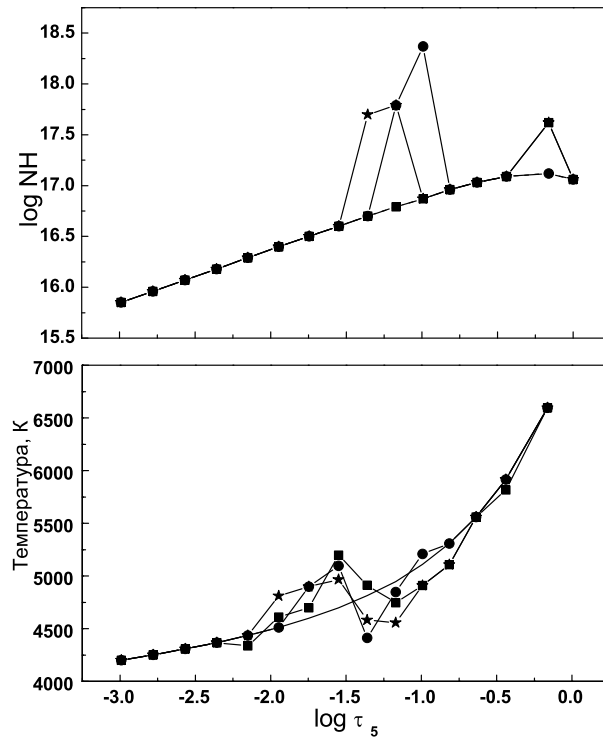
**Аннотация.** Построены неоднородные полуэмпирические фотосферные модели активной области (АО) для мест, прилегающих к слабой компактной вспышке 24 мая 1979 года. Моделирование выполнено для трех моментов наблюдения вспышки в главной фазе. Модели состоят из трех компонентов – гранулы, межгранульного промежутка и магнитной силовой трубки. Термодинамические параметры фотосферы АО определялись путем согласования вычисленных и наблюдаемых профилей четырех фраунгоферовых линий *FeI*  $\lambda\lambda$  630.15, 630.25, 630.35 и *TiI*  $\lambda$  630.38 нм. Полученные модели показывают, что физическое состояние вещества фотосферы АО изменялось в течение главной фазы развития вспышки, причем изменения температуры, плотности и скорости происходили неравномерно как по высоте, так и по площади.

SEMIEMPIRICAL MODELS OF SOLAR FLARE-ACTIVE REGION PHOTOSPHERE, by N.N. Kondrashova, M.N. Pasechnik. Semiempirical inhomogeneous photospheric models of an active region (AR) for locations, surrounding small flare May 24, 1979 are constructed. The modeling was made for three moments of the main phase flare observation. The models include three components – granula, intergranular lane and magnetic flux tube. Thermodynamical parameters of AR photosphere were determined by fitting the calculated and observed profiles of four Fraunhofer lines – *FeI*  $\lambda\lambda$  630.15, 630.25, 630.35 and *TiI*  $\lambda$  630.38 nm. The models show that physical condition of the photospheric matter of AR changed during the flare main phase. The variations of temperature, density and matter motion velocity were irregular as both height and square.

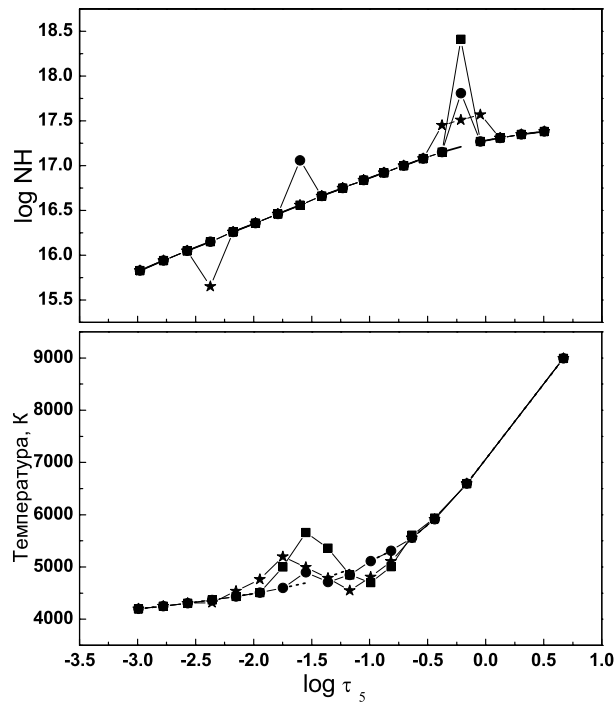
**Ключевые слова:** солнечные вспышки, фотосфера, полуэмпирические модели

---

Для понимания физических процессов, происходящих в атмосфере Солнца во время вспышек, важное значение имеет исследование крупномасштабных изменений состояния фотосферного вещества активных областей. Однако работ, посвященных этой проблеме, довольно мало. В частности, неизвестна площадь активного комплекса, которую охватывает вспышечное возмущение. Цель нашей работы – изучить изменения физического состояния фотосферного вещества АО, происходящие в окрестностях вспышки в процессе ее развития и сравнить с ранее полученными аналогичными данными для вспышки. Исследуемая вспышка возникла 24 мая 1979 года вблизи центра диска Солнца в 12:56 UT и продолжалась 33 минуты, максимум зафиксирован в 13:02 UT. В мягком рентгеновском диапазоне излучение не превышало уровня фона. Спектры были получены с помощью горизонтального солнечного телескопа АЦУ-5 ГАО НАНУ во время главной фазы ее развития: 13:06, 13:18 и 13:27 UT. Для расчета моделей были использованы четыре фраунгоферовы линии: три линии *FeI* и линия *TiI* на участке спектра  $\lambda\lambda$  630.0 – 630.4 нм. Высоты формирования



**Рис. 1.** Зависимости температуры и концентрации атомов водорода от оптической глубины для трех моментов наблюдения вспышки на расстоянии 10 000 км от нее: 13:06 UT – звездочки, 13:18 UT – кружочки, 13:27 UT – квадраты



**Рис. 2.** То же самое на расстоянии 20 000 км от вспышки

этих линий охватывают большую толщину фотосферы от 140 до 490 км. В результате фотометрической обработки были получены параметры профилей фраунгоферовых линий для ряда разрезов по высоте спектра. Анализ отклонений центральных глубин, полуширин профилей линий от их значений для невозмущенной фотосферы, а также смещений линий в спектрах позволил выделить два крупномасштабных элемента протяженностью около 30 000 км каждый, что соответствует характерному размеру супергранул (Кондрашова, Пасечник, 1998). Вспышка возникла на границе этих элементов. Для исследования использованы профили линий, полученные для двух мест АО, расположенных на расстоянии 10 000 по одну и 20 000 км по другую сторону от вспышки. В этих местах выявлены максимальные отклонения параметров профилей линий в спектрах. Фотосферные модели АО находились путем согласования вычисленных и наблюдаемых профилей линий методом подбора, пока не достигалось их наилучшее совпадение. Теоретические профили вычислялись по программе, любезно предоставленной нам Э.А. Барановским. Модели состоят из трех компонентов: гранулы, межгранульного промежутка и магнитной силовой трубки. В качестве исходной модели невозмущенной фотосферы была взята модель солнечной грануляции А.С. Гадуна (Гадун, 1995), усредненная по времени, а модели силовой трубки – модель PLA (Соланки, Бриглевик, 1992). Принималось, что напряженность магнитного поля в трубке изменяется от 1500 Гс в нижних до 500 Гс в верхних слоях фотосферы, лучевая скорость – 0.2 км/с, а микротурбулентная скорость – 1 км/с. Для каждого из трех компонентов модели вычислялся профиль линии. Затем полученные профили суммировались с учетом долей занимаемой компонентами площади. При этом подбирались такие распределения температуры, плотности атомов водорода, макротурбулентная и лучевая скорости, при которых теоретические профили наилучшим образом совпадали с наблюдаемыми. Оказалось, что макротурбулентная скорость во вспышке и ее окрестностях меньше, чем ее значение (1.8 км/с) для невозмущенной фотосферы. Доля площади, занимаемая магнитными силовыми трубками, больше в области вспышки, чем вне ее.

Полученные зависимости температуры и концентрации атомов водорода от оптической глубины для двух вышеупомянутых мест АО в окрестностях вспышки для трех моментов ее наблюдения приведены на рисунках 1 и 2. Они показывают, что в течение главной фазы развития вспышки вспышечным возмущением была охвачена обширная область АО не менее, чем 30 000 км. Видно, что изменения термодинамических параметров, как и во вспышке (Барановский и др., 2000), были неравномерными по высоте – выделились слои с пониженными или повышенными их значениями относительно модели невозмущенной фотосферы. В процессе развития вспышки происходило продвижение прогретого слоя в глубь фотосферы, что указывает на распространение вспышечного возмущения сверху вниз. В окрестностях вспышки оно проникло на меньшую глубину, и изменения физических параметров было меньшим, чем в области вспышки. Так, если в области вспышки увеличение температуры достигало 1000 К, то в ее окрестностях она была увеличена на 300 – 500 К. Концентрация атомов водорода в области вспышки была изменена примерно на три порядка, а вне ее изменение не превышало 1.5 порядков.

- Итак, проведенные исследования позволяют сделать выводы:
- вспышечным возмущением была охвачена область фотосферы размером не менее площади супергранулы;
- в окрестности вспышки изменение термодинамических параметров было меньшим и затронуло меньшую толщину фотосферы, чем в области вспышки;
- доля площади, занимаемая магнитными силовыми трубками, во вспышке была большей, чем вне ее;
- построенные модели показывают, что изменение термодинамических параметров было неравномерным – выделялись слои с разными физическими условиями.

## Литература

Барановский Э.А., Кондрашова Н.Н., Пасечник М.Н. // Кинематика и физика небес. тел. 2000. Т. 16. N. 5. С. 387.

Гадун А.С. // Кинематика и физика небес. тел. 1995. Т. 11. N. 3. С. 54.

Кондрашова Н.Н., Пасечник М.Н. // Кинематика и физика небес. тел. 1998. Т. 14. N. 3. С. 234.

Соланки, Бриглевик (Solanku S.K., Brigljevic V.) // Astron.Astrophys. 1992. V. 262. N. 2. P. L29.