УДК 523.942-466

Р. И. Костык

Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

Волновые движения в необычном образовании солнечной атмосферы

Представлено 25.06.07

Наведено результати досліджень хвильової та конвективної складових полів швидкості та інтенсивності в яскравому фотосферному утворенні (plume), яке рідко спостерігається в сонячній грануляції. Спектральні спостереження проведені в спокійній ділянці поблизу центру сонячного диску на телескопі VTT (о. Тенерифе, Іспанія) в лінії Fe I λ 639.36 нм.

В августе 2001 г. на Германском башенном вакуумном телескопе (VTT), расположенном на о. Тенерифе (Испания), Е. Хоменко были проведены спектральные наблюдения спокойной области вблизи центра солнечного диска в линии нейтрального железа Fe I λ 639.36 нм. Наблюдения продолжались в течение 158 мин. Исследуемая область экспонировалась каждые 10 с. Во время наблюдений дрожание солнечной поверхности на входной щели спектрографа не превышало 0.40″.

Следуя стандартной процедуре, все 943 изображений (экспозиций) этой линии мы исправили за темновой ток, изменения прозрачности земной атмосферы во время наблюдений и за неодинаковую чувствительность отдельных пикселов. С помощью метода «лямбда-метр» [5] для каждого положения вдоль щели спектрометра и для каждого момента времени наблюдений на 11 разных уровнях профиля линии, что соответствует 11 разным высотам в атмосфере Солнца (от 5 до 490 км), мы измерили вариации интенсивности и скорости относительно их средних значений. Просматривая двумерные (положение вдоль щели — время) поля интенсивности, мы обнаружили на высотах H = 200—490 км яркое образование, которое существовало на протяжении всего времени наблюдений.

На рис. 1 приведен общий вид этого образования на высоте H = 490 км. Его размеры вдоль щели

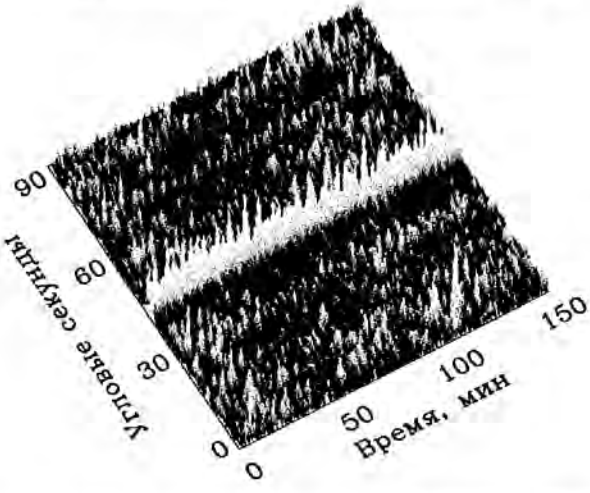

Рис. 1. Необычное яркое образование, наблюдаемое в линии нейтрального железа Fe I λ 639.36 нм в спокойной атмосфере вблизи центра солнечного диска на всоте H = 490 км над уровнем образования непрерывного спектра

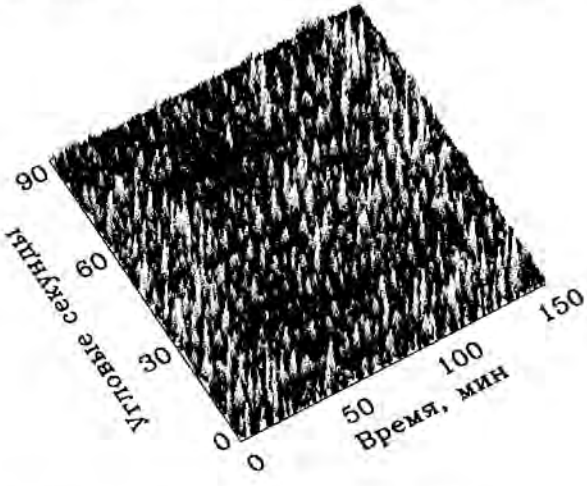

Рис. 2. То же, что и на рис. 1, но на высоте H = 5 км

© Р. И. Костык, 2007

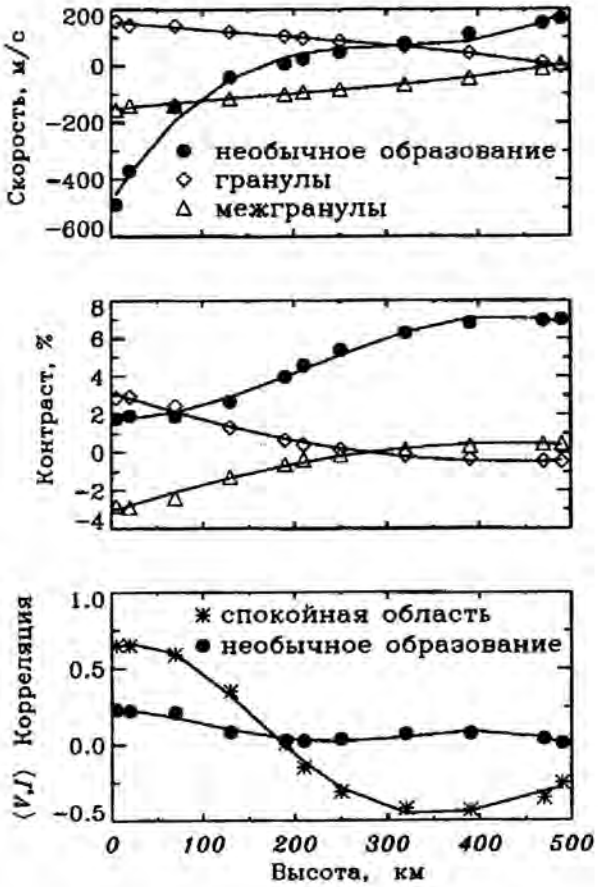

Рис. 3. Скорости (верхняя панель) и интенсивности (средняя панель) конвективных движений в гранулах (ромбы), межгранулах (кружки) и в необычном образовании (треугольники) в зависимости от высоты в солнечной атмосфере. На нижней панели — коэффициент корреляции между направленим скорости и относительным контрастом для спокойной области (звездочки) и для необычного образования (кружки). Средняя квадратичная погрешность приведенных данных составляет 7—10 %

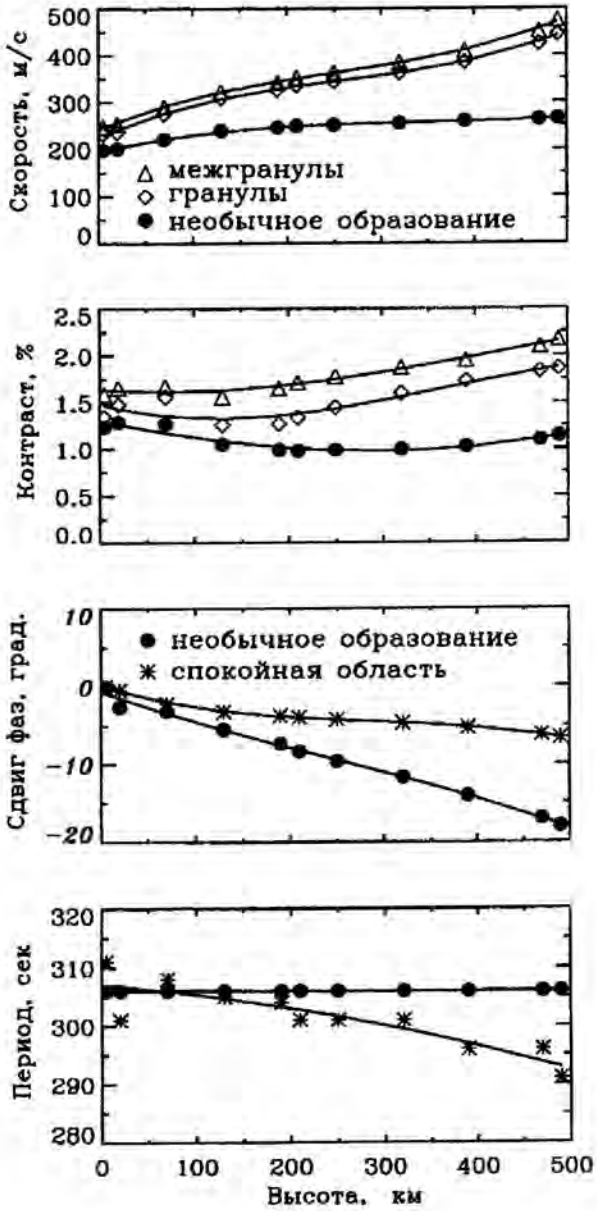

Рис. 4. Усредненные по времени и пространству скорости (верхняя панель) и интенсивности (вторая панель) волновых движений в гранулах (ромбы), межгранулах (треугольники) и необычном ярком образовании (кружки) на разных высотах в атмосфере Солнца. Третья панель — сдвиг фаз между колебаниями скорости на высоте $H = 5$ км и всеми другими высотами в невозмущенной фотосфере (звездочки) и необычном образовании (кружки). На нижней панели показана зависимость периода колебаний волновых движений от высоты в «спокойной» области (звездочки) и для необычного образования (кружки). Среднеквадратичная погрешность приведенных данных составляет 7—10 %

спектрографа составляли 2000—2500 км. Для сравнения на рис. 2 показана та же область на поверхности Солнца, но на высоте $H = 5$ км: яркое образование отсутствует. Мы нашли лишь две статьи, где описываются, на наш взгляд, аналогичные образования. Espagnet et al. [2] называют эти образования «bright sinking plumes». Их относительный контраст увеличивается с высотой и достигает максимума на $H = 250$—550 км, крупномасштабные скорости направлены вглубь фотосферы. Roudier et al. [4], наблюдая plumes в течение 16 мин, приводят величины интенсивности и скорости этих образований на разных высотах в атмосфере и в разные моменты времени наблюдений.

Авторы отмечают значительные нисходящие движения в plumes.

Цель нашей работы подробно исследовать волновые и конвективные поля интенсивности и скорости в plumes на разных высотах в атмосфере Солнца.

Построив диагностическую k-ω-диаграмму, на которой мощность представлена в зависимости от временной (ω) и пространственной (κ) частот, мы обнаружили, что в необычном образовании, аналогично спокойной области, присутствуют вариации интенсивности и скорости с периодами вблизи 5 и 10 мин. Как известно, в спокойной области за эти колебания ответственны 5-минутные волны, а также конвекция. Для удобства мы будем называть волновыми и конвективными движениями также и аналогичные колебания в необычном образовании.

В соответствии с диагностической диаграммой мы разделили конвективную и волновую составляющие полей интенсивности и скорости в необычном образовании и в спокойной области. Более подробно эта процедура описана в нашей предыдущей работе [3].

На рис. 3 приведены результаты наблюдений конвективной составляющей полей интенсивности и скорости, усредненные по времени и пространству, отдельно для гранул, межгранул и необычного образования. Мы приняли движения, направленные к наблюдателю, за положительные. На верхней панели нанесены средние квадратичные амплитуды скорости этих образований на разных высотах в атмосфере Солнца. Над гранулами вещество в основном поднимается, а над межгранулами — опускается. В необычном образовании на высотах 5—200 км преобладают нисходящие движения, а выше 200 км — восходящие, причем в отличие от гранул и межгранул, последние движения с высотой увеличиваются.

На средней панели мы сравниваем средние квадратичные амплитуды интенсивности для разных образований в зависимости от высоты. Как и следовало ожидать, контраст гранул и межгранул постепенно уменьшается от уровня образования континуума к уровню температурного минимума. Причем, на высоте около H = 280 км вещество над гранулой становится холоднее, чем над межгранулой (более подробно см. [1]). Отметим, что классическое определение понятий гранула и межгранула относится лишь к уровню образования континуума. На всех других высотах такое определение теряет свой первоначальный смысл. Относительный же контраст необычного образования непрерывно увеличивается с высотой. Такое поведение полей интенсивности и скорости в необычном образовании свидетельствует о его неконвективном происхождении. Окончательное подтверждение можно найти на нижней панели рис. 3, из которого видно, что корреляция между интенсивностью и скоростью не превышает 0.25, а на высотах H = 100—490 км она практически равна нулю.

На рис. 4 на разных высотах в атмосфере Солнца мы сравниваем усредненные по времени и пространству, волновые характеристики необычного образования и спокойной области. Из двух верхних панелей этого рисунка видно, что средние квадратичные амплитуды колебаний интенсивности и скорости в необычном образовании почти не зависят от высоты в солнечной атмосфере, в то время как в спокойной области — увеличиваются в полтора-два раза как над гранулами, так и над межгранулами. Сдвиг фаз между колебаниями скорости на высоте образования континуума и всеми другими высотами показывает (третья панель рис. 4), что волны, как в необычном образовании, так и в спокойной области близки к стоячим и распространяются снизу вверх, однако в необычном образовании сдвиг фаз больше, нежели в невозмущенных участках. Что касается периода колебаний, то в спокойной области, как и следовало ожидать, он незначительно уменьшается с высотой, в то время как в необычном образовании он практически постоянный (нижняя панель рис. 4).

В дальнейшем мы предполагаем определить физические условия в этом необычном фотосферном образовании и сравнить их с условиями в окружающей невозмущенной атмосфере Солнца.

1. Костык Р. И., Щукина Н. Г. Тонкая структура конвективных движений в фотосфере Солнца: наблюдения и теория // Астрон. журн.—2004.—81, № 9.—С. 846—858.
2. Espagnet O., Muller R., Roudier T., et al. Penetration of the solar granulation into the photosphere: height dependence of intensity and velocity fluctuations // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1995.—109.—P. 79—108.
3. Khomenko E. V., Kostik R. I., Shchukina N. G. Five-minute oscillations above granules and intergranular lanes // Astron. and Astrophys.—1989.—369.—P. 660—671.
4. Roudier Th., Eibe M. T., Malherbe J. M., et al. Temporal height properties of the exploding granules // Astron. and Astrophys.—2001.—368.—P. 652—661.
5. Stebbins R. S. T., Goode P. R. Waves in the solar photosphere // Solar Phys.—1987.—110.—P. 237—253.

WAVE MOTIONS IN AN EXTRAORDINARY OBSERVED SOLAR PHENOMENON

R. I. Kostik

Flow and wave motions are analysed in a rather rare bright phenomenon (so-called plume) observed in the solar granulation. The spectral observations were made in the iron line Fe I 639.36 nm in a quiet granulation area near the solar disc centre with the German Vacuum Tower telescope in Tenerife.