

36. *Stenflo J.O.* Magnetic-field structure of the photospheric network // *Solar Physics*. 1973. V. 32, N 1. P. 41–63.

37. *Stenflo J.O., Harvey J.W., Brault J.W., Solanki S.* Diagnostics of solar magnetic fluxtubes using a Fourier transform spectrometer // *Astron. and Astrophys.* 1984. V. 131, N 2. P. 333-346.

38. *Wiehr E.* A unique magnetic field range for non-spot solar magnetic regions // *Astron. and Astrophys.* 1978. V. 69, N 2. P. 279-284.

39. *Zirin H., Cameron R.* Properties of the quiet Sun magnetic fields as revealed through the Spectrovideomagnetograph // *IL Nuovo Cimento*. 2002. V. 25C, N.5-6. P. 557–575.

М.И. Фисенко

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В БЛИЖНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ СОЛНЦА, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ СОЛНЕЧНЫМ ВСПЫШКАМ

ВВЕДЕНИЕ

В солнечной атмосфере инфракрасное излучение возникает в условиях термодинамического равновесия, характеризуется истинной кинетической температурой и образуется в различных слоях солнечной атмосферы – от самых глубоких, наблюдаемых на 1,6 мкм частей фотосферы, до уровня температурного минимума в хромосфере, наблюдаемого в миллиметровой области.

Из-за ограниченного пространственного разрешения многих инфракрасных измерений в качестве хорошей оценки $B_{\lambda}(\mu=1)$ часто берется F_{λ} , поскольку значение $R_{\lambda}(\mu)$ по поверхности диска мало меняется из-за малости градиента $\partial T(\tau_{\lambda}=1)/\partial\lambda$. $B_{\lambda}(\mu=1)$ - монохроматическая яркость в центре диска, F_{λ} - полный солнечный поток и относительное изменение яркости от центра к лимбу $R_{\lambda}(\mu) = B_{\lambda}(\mu) / B_{\lambda}(1)$, где $\mu = \cos \theta$ [2].

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Наблюдения проведены на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ–5 в параллельном пучке в период с 1980 по 1984 г. фотоприемником, имеющим максимальную чувствительность на 1,6 мкм. Для наблюдений на длинах волн меньше 5 мкм можно использовать обычный телескоп [5]. Методика работы описана в [6]. При измерениях был использован компенсационный метод, он позволил уверенно выделять компоненту ИК-потока, связанную с активными процессами в солнечной атмосфере без всякой предварительной обработки записей. Постоянная времени на записях солнечного потока 1 с, поэтому разрешить более тонкую временную структуру

процессов мы не могли, и усиление системы было избыточным, поскольку во время вспышек в H_α приходилось загроублять пределы измерений.

Наблюдения велись в широкой полосе и в области длин волн более 1 мкм, калибровка сделана по центру солнца в фокусе Ньютона серым клином и набором калиброванных диафрагм. Абсолютный поток определялся из известного распределения энергии в непрерывном спектре солнца по данным Лабса и Неккела [3], в таком случае поток на приемнике определяется сверткой известного распределения энергии в спектре солнца F_λ в полосе чувствительности приемника и относительной спектральной характеристикой чувствительности приемника $S_{отн\lambda}$:

$$F = \int_0^{\infty} F_\lambda S_{отн\lambda} d\lambda.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Предвестники солнечных вспышек известны в разных диапазонах длин волн, они важны как с позиций физики вспышек, так и в прогнозном плане. В работе представлены результаты наблюдений волновых пакетов, предшествующих солнечным вспышкам на длине волны 1,6 мкм, рассмотрена их связь с субвспышками, одна из которых – вспышка в виде петли [7,] и вспышкой балла 1В.

Предвестниками одной из субвспышек и вспышки балла 1В были сложные волновые пакеты, отражающие эволюцию волн до и во время вспышки. Характерно, что до вспышки процессы начинались с пилообразных волн, имеющих разрывы на заднем фронте волны, особенно хорошо такой тип волны просматривается во время вспышки балла 1В – *рис.2*. В обоих случаях вспышки начались во время перехода разрыва с заднего фронта волны на передний, или близко к этому моменту, при этом амплитуда волнового процесса, предшествующего вспышке, достигает максимального значения.

Предвестником второй субвспышки был волновой пакет, имевший вид бесстолкновительной ударной волны, пакет состоит из

импульса и затухающих гармоник, имеющих форму волны. Вспышка началась после импульса.

Длительность волновых пакетов для субвспышек соизмерима с длительностью вспышки в H_α , для вспышки 1В она значительно меньше. Максимальная амплитуда обнаруженных предвестников для субвспышек порядка $6 \cdot 10^{-3}$, $6,5 \cdot 10^{-3}$ и для вспышки 1В – $1 \cdot 10^{-2}$ относительно непрерывного спектра в центре солнечного диска в полосе чувствительности приемника. Обнаруженные волны приведены в [7] и на *рис.1 и 2* в данной работе. В [7] волна связана с субвспышкой SF за 27.09.1983 г., координаты вспышки S15, E32, начало – в 00^h 36,2^m, конец – в 00^h 47^m UT.

Зафиксированная полоса частот в установившемся волновом режиме в волне, связанной с этой вспышкой, соответствует периодам 180 с, 165 с и 120 с, периоды определены методом быстрого преобразования Фурье с помощью пакета Origin 6.1.В принципе они просто измеряются и без обработки.

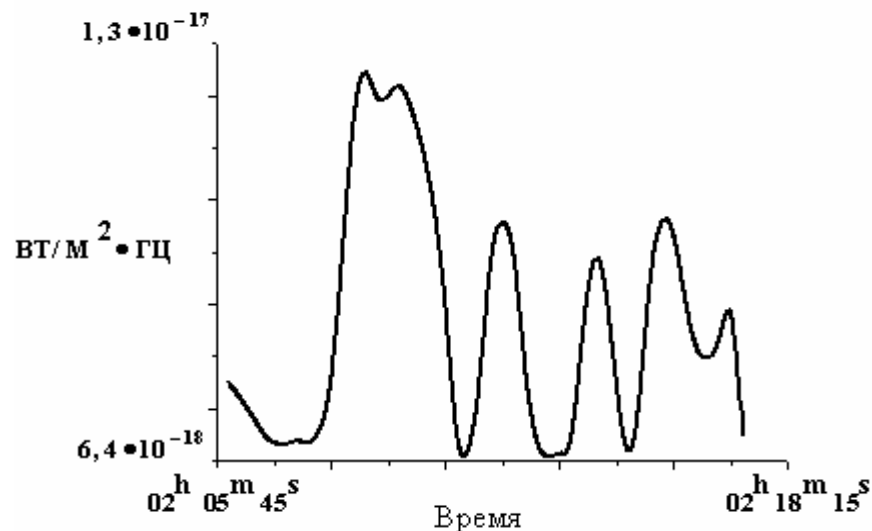


Рис.1. Волновой пакет, связанный с субвспышкой за 19.12.1980 г. Цена деления по оси времени – 75 с

Отношение длительности переднего фронта гармоник в волне к заднему соответственно – 1: 2.24, 1: 2, 1 : 1.7, видно, что с течением времени нелинейности в волновом пакете сглаживаются. Длительность волнового пакета составила 870 с, длительность импульса, предшествующего вспышке – 60 с.

Рисунок 1 – волновой пакет, имевший вид бесстолкновительной ударной волны, связанный с субвспышкой SN за 19.12.1980 г. Координаты вспышки N 07, W19, начало 02^h 10^m, конец 02^h 18^m UT. На графике по оси ординат отложена плотность потока (Вт/ м²•Гц), по оси абсцисс – время.

Цена деления на графике 75 с, начальный момент на графике 02^h 05^m 45^s.

Длительность импульса 150 с, гармоник, на которые он распался, имели длительность 120 с., длительность волнового пакета составила 550 с. Для этого события проведенные измерения показали, что суммарный поток в импульсе равен потоку в волновом компоненте за импульсом, разница $\cong 2\%$, и амплитуда колебаний в пакете с учетом амплитуды импульса медленно падает к концу события по линейному закону.

Диссипацию в этом волновом пакете обеспечивает периодическая волна [1].

Рисунок .2 – волна, связанная со вспышкой балла 1В за тот же день, что и предыдущая субвспышка, оси графика обозначены как и в первом случае. Цена деления на графике по времени – 150 с. Координаты вспышки S03, E60, начало вспышки 02^h30^m, конец 02^h55^m UT. Полоса частот в волновом пакете соответствует периодам – 300с, 240 с, видно сглаживание нелинейностей к концу процесса как и в [7].

Длительность волнового пакета составила 705 с, гармоника с максимальной амплитудой имела длительность 210 с.

Для обнаруженных волн была проведена оценка потоков по максимуму амплитуды, поток нормирован на длину волны, соответствующую максимальной чувствительности приемника излучения. Для первой субвспышки поток $\cong 6,24 \cdot 10^{-19}$ Вт/ м²•Гц, радиовсплески, наблюдавшиеся в это время, дали суммарный поток на

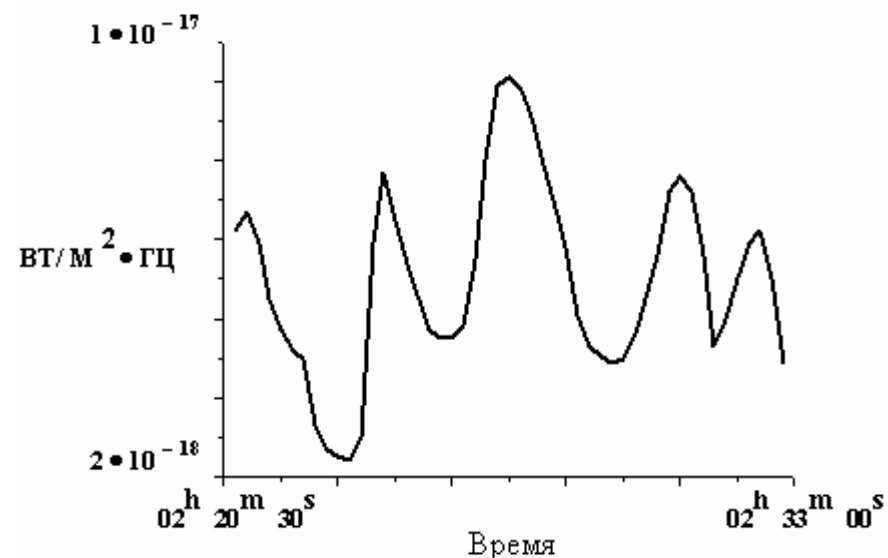


Рис.2. Волна, связанная со вспышкой балла 1В за 19.12.1980 г. Цена деления по оси времени – 150 с

частотах 3750 и 9400 МГц $\cong 10^{-21}$ Вт/ м²•Гц, и они возникли на стадии обнаруженной волны.

Для второй субвспышки поток оказался равным $\cong 6,4 \cdot 10^{-18}$ Вт/ м²•Гц, и он соизмерим с потоком радиовсплесков, действовавших в это время. Поток оказался равным $\cong 10^{-18}$ Вт/ м²•Гц, кроме того, длительность всплесков на частотах 245 и 100 МГц близка к длительности гармоник, на которые распалось уединенное возмущение и они появились в момент появления первой гармоники распавшегося возмущения. В дециметровом диапазоне, по данным Cui-googa, был всплеск длительностью 120 с в этот период событие захватило дециметровый, метровый и декаметровый диапазон, спектральный тип ||| G,V, интенсивность 3.

Вспышка балла 1В дала поток по максимуму амплитуды волны $\cong 10^{-17}$ Вт/ м²•Гц, радиовсплески дали поток $\cong 10^{-21}$ Вт/ м²•Гц.

Пилообразное возмущение формируется при распространении волн в средах, где нелинейность преобладает над конкурирующими факторами – дисперсией, дифракцией и поглощением [4]. На *рис.2* видно, что волна имеет пилообразный разрыв еще до начала вспышки в линии H_{α} , на разрывах должна происходить диссипация, это означает, что должен происходить нагрев солнечной плазмы до вспышки в нижних слоях солнечной атмосферы. На этом примере видно сглаживание профиля волны после обострения, что можно объяснить ее частичной диссипацией.

Второе событие, упомянутое в работе, представляет, на наш взгляд, бесстолкновительную ударную волну.

Интересно отметить следующие особенности рассмотренных волновых пакетов:

1. Волновые пакеты имеют конечную ширину спектра, полоса частот в волновых пакетах соответствует периодам 120 с, 150 с, 165 с, 180 с, 240 с, 300 с.

2. Наличие перехода разрыва с заднего фронта волны на передний и появление на этой фазе волнового пакета импульса или гармоника, превосходящей по амплитуде остальные гармоники, после которого возникает вспышка.

3. Во всех случаях видно уменьшение амплитуды волны к окончанию волнового пакета.

4. Равенство длительности радиовсплесков и длительности гармоник в волнах скорее всего говорит о волновом механизме возникновения радиовсплесков.

5. Волновые пакеты, обнаруженные нами по максимуму амплитуды, соизмеримы с оценками К. Ohki, H.S. Hudson, исследовавших различные механизмы, ответственные за эмиссию в инфракрасном диапазоне длин волн в солнечной атмосфере [8]. Нами описан еще один процесс, который наблюдается в инфракрасной области солнечного спектра и дает поток, соизмеримый с потоком, производимым известными механизмами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кингсен А.С.* Введение в нелинейную физику плазмы // М: МЗ Пресс, 2004. 264 с.

2. *Лена П.* Инфракрасные наблюдения Солнца // Инфракрасная и субмиллиметровая астрономия. М.: Мир, 1979. С.106–117.

3. *Пирс А.К., Аллен Р.Г.* Спектр солнца в области 3–10 мкм // Поток энергии Солнца и его изменения. М.: Мир, 1980. С. 187–211.

4. *Руденко Д.В.* Нелинейные пилообразные волны // Усп. физ. наук. 1995. Т. 165. N 9. С. 1011–1036.

5. *Фацио Дж.Дж.* Инфракрасная астрономия // На переднем крае астрофизики. М.: Мир, 1979. С.218–273.

6. *Фисенко М.И.* Обнаружение импульсных сигналов в ближней ИК области солнечного спектра, связанных с солнечными вспышками и радиовсплесками // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 126-133. (Тр. УАФО; т.4, вып. 4).

7. *Фисенко М.И.* Связь вспышки 27 сентября 1983 года с вариациями яркости в ближнем ИК-диапазоне длин волн // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 127-131. (Тр. УАФО; т. 7, вып. 7).

8. *Ohki K., Hudson H.S.* The solar-flare infrared continuum // Solar Physics.1975. V. 43. P. 405-414.