

UDC 523.9 The Sun. Solar physics Including: Active Sun. Solar activity. Sunspots

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО РАДИО – ОПТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Ш.Ш. Гусейнов

*Шемахинская Астрофизическая Обсерватория им. Н.Туси НАН Азербайджана  
shirin.guseyn@gmail.com*

### **Аннотация:**

*В работе продолжены на примере более 50 изолированных солнечных вспышек мощностью  $\geq 2$  баллов наблюдавшихся в 1979-82 гг. и 1989-90 гг. на радиотелескопе РТ-12 Института Ионосферы Республики Казахстан и РТ-22 Радиоастрономической станции физического института РАН. Были исследованы модуляции S-компоненты микроволнового излучения Солнца на частотах  $f=1-2$  ГГц и  $f=2-4$  ГГц. Показано, что при определенных условиях с приближением к вспышке турбулентный процесс постепенно переходит к детерминированным хаотическим процессам со средним периодом  $T \geq 25 \pm 2$  мин. Если известны относительные флуктуации спокойной атмосферы Солнца, то, проводя радиоспектрографические измерения в активных областях в широком диапазоне, появляется возможность исследовать низкочастотные пульсации с характерным временем  $t_x \approx 5-70$  мин. При исследовании предвспышечных состояний в центрах активности с развивающимися группами пятен, также в выбранные дни по Бюллетеню «Солнечные данные» визуально анализировались солнечные оптические карты и были вычислены числа пятен в каждой группе за 1-3 дня до вспышки с силой  $\geq 2$  баллов. Получено, что наблюдаемые пульсации в радиоспектрах сантиметрового радиоизлучения Солнца  $t_x \geq 25$  минутные изменения, увеличение и уменьшение количество пятен в группах, является эффективным критерием для предсказания мощных солнечных вспышек за 1-3 дня до начала вспышки.*

**Ключевые слова:** атмосфера Солнца, турбулентный процесс, солнечные вспышки

**Введение.** Проблема связи проявлений вспышечной активности групп пятен в оптическом и микроволновом излучениях уже длительное время привлекает внимание исследователей. Многолетним интенсивным исследованием в этих диапазонах подтверждено, что атмосфера Солнца существенно неоднородна. Эта неоднородность имеет как регулярную, так и нерегулярную составляющие. Исследователи в этой области основной внимание уделяли анализу стационарной составляющей, в частности в результате длительных исследований накоплен большой материал о существовании квазипериодических пульсаций (КПП) в «активных» и «спокойных» областях Солнца. Хотя к настоящему времени был ряд механизмов для объяснения этого явления, природа КПП до сих пор не установлена.

Основной трудностью является то, что в этих работах по анализу временных рядов (отношение сигнал к шуму) очень низок (амплитуда флуктуации составляет  $(10^{-3} \div 10^{-4})$ ) от уровня общего радиоизлучения Солнца. Кроме этого, данные для создания временных рядов были получены на фиксированной частоте, так называемым радиометрическим методом.

Вспышка на Солнце представляет собой обширный комплекс явлений с чрезвычайно сложным развитием в пространстве и во времени. Эволюция этих событий охватывает большой объем в атмосфере Солнца, начиная с нижней хромосферы и кончая короной. Из вышесказанного следует, что для точного решения поставленной задачи, несомненный

интерес представляет определение характерных параметров нестационарности, т.е. его предсказание. Многолетним интенсивным исследованиям в оптических и в радиодиапазонах подтверждено, что образование вспышки всегда тесно связано с магнитным полем. Доказано, что поведение земной атмосферы, животной и растительной жизни на Земле связаны с активностью Солнца. Поэтому, изучение их закономерностей имеет большое теоретическое и прикладное значение.

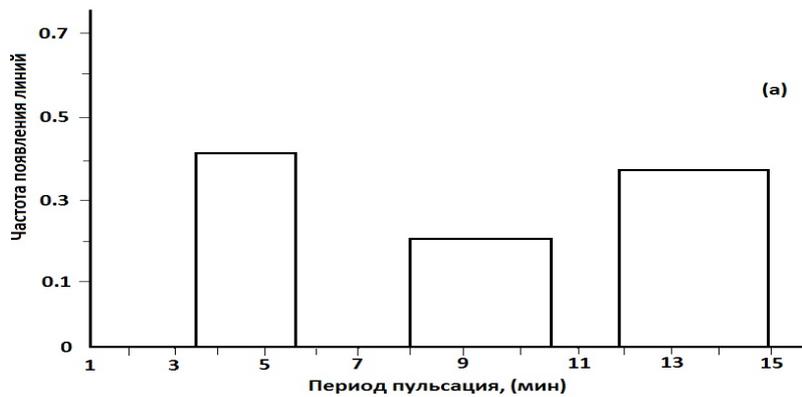
В данной работе для обработки нестационарности у временных рядов применялся спектрально-временной (СВАН), метод максимальной энтропии (ММЭ) и фрактальной анализ. С помощью применения модифицированного метода основанного на теории детерминированного хаоса, оценивается энтропия и фрактальное размерность анализируемого временного ряда. Этот ряд был получен в следствии флуктуаций на микроволнового радиоизлучения, флуктуации радиоизлучения S-компонента и отношениям потоков S-компоненты  $F_{7.5}/F_{15}$ , которые являются показателями вспышечной активности Солнца. Во всех 50-ти рассматриваемых вспышечных событиях мы не могли провести точные оценки для шести событий. В статье приводятся гистограммы, отражающие зависимость частоты появления пульсации от его характерного времени  $t_x$  для двух под диапазоне: 5-15 мин и 20-65 мин. А также, приведены усредненные относительные спектры S-компонента радиоизлучения Солнца в диапазоне 2-4 ГГц, отражающих развитие активных областей и дающих вспышку с мощностью  $\geq 2$  баллов за 1-3 дня до начала вспышки. Из графиков видно, что наибольшие изменения в спектре происходят в диапазоне  $3.1 \div 3.6$  ГГц. Другими словами, в активный период наклон спектров  $\alpha$  – колеблется от 5-ти до 10 процентов по сравнению с сигналами, полученным и на спокойном уровне (на неразвивающейся группе пятен) в солнечной атмосфере.

**Использованный экспериментальный материал и его обработка.** В качестве исходных данных использованы материалы наблюдений 1979-82 гг. и 1989-90 гг. Материал был получен на радиотелескопах РТ-22 (Радиоастрономическая станция физического института РАН) и РТ-12 (Института Ионосферы Республики Казахстан). На основании измерения интенсивности в диапазоне  $\lambda=3$  см и флуктуации наклона спектра медленно меняющегося S-компонента радиоизлучения Солнца в широких диапазонах  $f=1-2$  ГГц и  $f=2-4$  ГГц проведен сравнительный анализ наклона спектра S-компонента радиоизлучения активных областей с их вспышечной активностью. Радиоспектрографы, работающие последовательным режиме в диапазонах 1-2 ГГц и 2-4 ГГц были разработаны А.М. Гусейновым, соответственно 1975 и 1978 г. Наблюдения за Солнцем проводились с 8<sup>00</sup> утра до 18<sup>00</sup> часов вечера (по местному времени). Время снятия одного спектра по диапазону  $f=1-2$  ГГц и  $f=2-4$  ГГц составило 2 минуты в одну сторону. Далее, в спектре S-компонента радиоизлучения Солнца вычислялась разность между интенсивностью сигнала в начале и в конце спектра  $\Delta I_i(t)$ . Соответствующий временной ряд  $\Delta I_i(t)$  – содержит информацию за последовательные 7-8 часов в сутки, что составляет  $\sim 250-300$  значений, что является вполне достаточным для анализа модуляции изменяющихся с характерным временем  $t_x$  – в интервале от 5 мин до 70 минут.

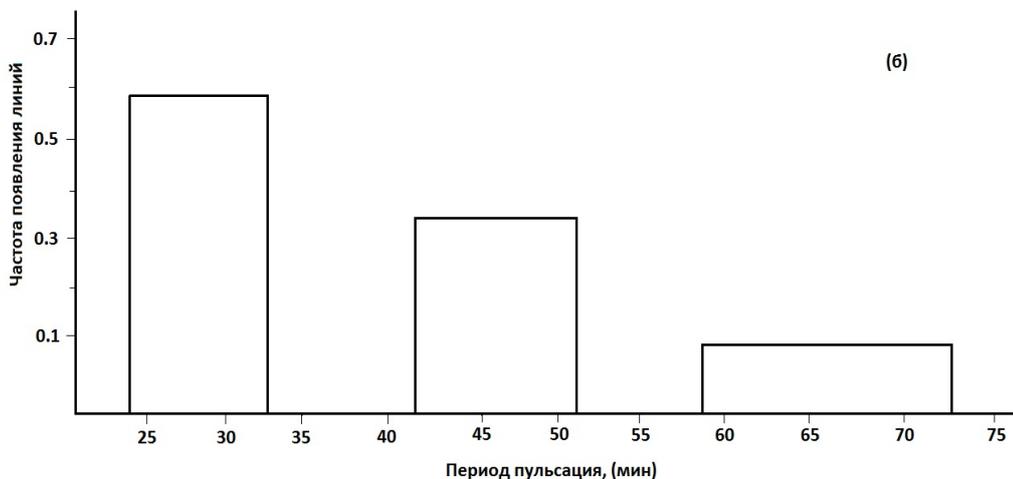
При исследовании предвспышечных состояний в центрах активности с развивающимся группами пятен, также в выбранные дни по Бюллетеню «Солнечные данные» и «Solar – Geophysical Data» визуально анализировались солнечные оптические карты и были вычислены числа пятен в каждой группе за 1-3 дня до вспышки с силой  $\geq 2$  баллов.

О методике измерений и результаты предварительной обработки полученных спектров более подробно было изложено в работе [1, 2]. Дальнейшая обработка полученных радиоспектров с помощью методов максимальной энтропии (ММЭ), спектрально-временного (СВАН) и фрактального анализ (МФА) были приведены в работах [3, 5].

**Экспериментальные результаты и обсуждение.** На рис.1 приведены две гистограммы, иллюстрирующие зависимость частоты появления пульсации от её характерного измерения. Были выделены два поддиапазона с характерным временем  $t_x \approx 5-15$  мин. (рис. 1 а) и  $t_x \approx 25-70$  мин. (рис. 1 б). Как видно из графиков рис. 1 а, наиболее часто встречаются пульсации с характерным временем  $t_x$ , близком к 5 мин. Исследователи в основном считают, что такая модуляция определяется глобальными осцилляциями Солнца как газового шара. Одним из возможных механизмов возбуждения пульсаций с периодами около 10 мин. является параметрический резонанс, возникающих в корональных магнитных петлях подходящей длины. В результате взаимодействия с ними возбуждения субгармоники с частотами  $\frac{\omega}{2}$  ( $\frac{\omega}{2}$  (10 мин)). На рис. 1 б приведена пульсации с характерным временем  $t_x \approx 25-70$  мин. Из графиков видно, что наибольшую частоту появления имеет осцилляция с характерным временем  $t_x \approx 30$  мин.



**Рис.1 (а)** – Частота появления пульсации с характерным времени ( $t_x \approx 5-15$  мин.) в радиоизлучении Солнца на частотах 1.25 ГГц ÷ (1.6 – 1.9) ГГц и (3.6 – 3.9) ГГц. Наибольшей частотой появления обладает 4-5 мин. пульсаций.



**Рис. 1 (б)** – Частота появления пульсации с характерным времени ( $t_x \approx 25-70$  мин) в радиоизлучения Солнца на частотах 1.25 ГГц ÷ (1.6 – 1.9) ГГц и (3.6 – 3.9) ГГц. Наибольшей частотой появления обладает 25-30 мин. пульсаций.

Для интерпретации полученных результатов, рассмотрим один из возможных механизмов возникновения пульсаций с характерным временем  $t_x \geq 25$  мин в области пятен, которые получили большую популярность среди специалистов за последние 8 лет.

Механизм, предложенный А.А. Соловьевом и Е.А. Кричком, называется моделью мелких солнечных пятен [6]. В этой модели имеется несколько типов собственных колебаний. Первый тип осцилляций представляет собой возвратные вращательные движения пятен, в целом или отдельных деталей их структуры. Второй тип пульсаций связан с изменением площади пятен или радиального расстояния между его фрагментами. С этим же типом пульсаций с характерным временем связаны изменения напряженности магнитного поля пятен и вариации интенсивности сантиметрового радиоизлучения. Первый и второй типы пульсаций относятся к пульсациям с характерным временем  $t_x \geq 25-70$  мин.

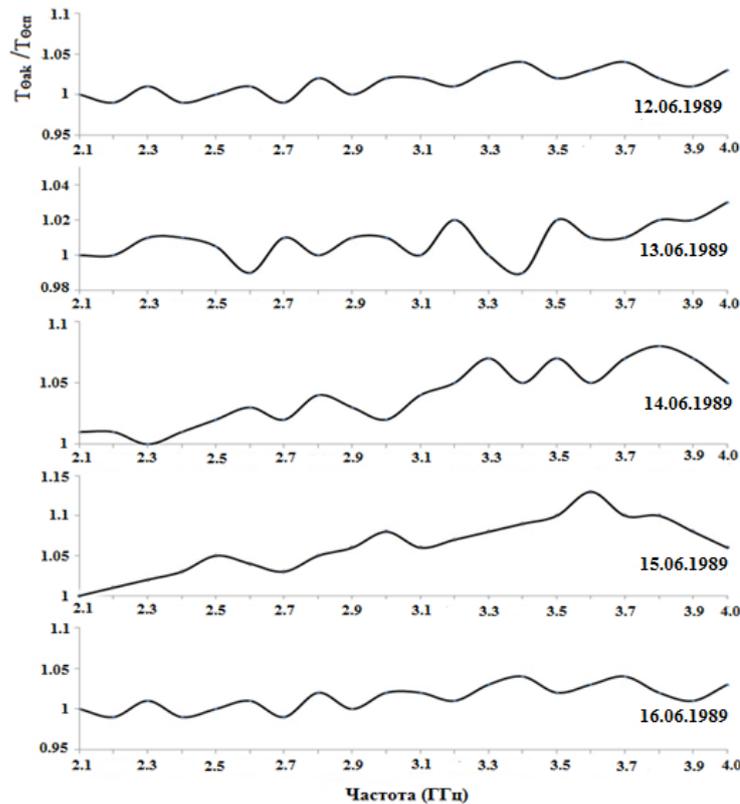
Помимо этого, можно наблюдать группу пятен с развивающейся активностью. Наши исследования показали, что спектр мощности, полученный при относительно спокойном состоянии пятен, показывает многочисленные неустойчивые пики, соответствующих разным пульсациям с характерным временем в интервале от 5 до 70 мин. В случае, когда группы пятен развиваются (увеличиваются площади отдельных пятен и число пятен) наблюдается спектр мощности, в котором исчезают многие периоды пульсаций в интервале от 5 до 15 минут и при этом остаются более длинные пульсации с характерным временем  $t_x \geq 25$  минут. Мы предполагаем, что причина исчезновения определенной части коротких периодов пульсаций является новые осцилляции, которые возникают в активизирующихся областях пятен и способствуют затуханию прежних флуктуаций. Вследствие такого затухания в спектрах мощности наблюдаются пики, соответствующие осцилляциям с характерным временем  $t_x \geq 25$  мин [7-9].

На рис. 2. приведены усредненные относительные спектры (спектры усреднялись за день) S-компоненты радиоизлучения Солнца в диапазоне 2-4 ГГц, полученные с 12/VI-1989 г. по 16/VI-1989 г. 15/VI-1989 г. произошли длительные вспышки (1.5 час) с мощностью  $>2$  п баллов. Как видно из рис. 2, наибольшие изменения в спектре (в зависимости от повышения солнечной активности) происходят в диапазоне  $f=3.4 \div 4.8$  ГГц.

**Заключение.** На основании проведенных исследований (в радио и оптических диапазонах) и полученных количественных оценок, были сделаны следующие выводы:

1. По обширным наблюдательным материалам подтверждено, что частотный спектр S-компоненты радиоизлучения Солнца в диапазонах  $f = 1-2$  ГГц и  $f = 2-4$  ГГц имеется «Тонкая структура» с размерами, соответственно, 70-120 МГц и 100-200 МГц.
2. Построенные временные ряды по отношениям потоков S-компоненты  $F_{7.5}/F_{15}$  – в основном содержат пульсации с характерным временем больше чем  $t_x \geq 25$  мин. за 1-3 дня до вспышки с уровнем  $\geq 2$  балла.
3. Из 50 мощных солнечных вспышек в 44 (~ 90%) случаях на поверхности Солнца число пятен в группах уменьшается (~ 20 ÷ 50%) за 1-3 дня до вспышки с силой  $\geq 2$  п балла.
4. На вспышки с силой  $\geq 2$  f и 2 b за 1-2 дня в группах количество пятен примерно стабильно или увеличивается (30- 50%).
5. Получено, что после мощных солнечных вспышек с силой  $\geq 2$  баллов количество пятен в группах увеличивается ~ 1.5 – 2 раза.

Резюмируя сказанное, можно прийти к выводу, что наблюдаемые пульсации в радиоспектрах сантиметрового радиоизлучения Солнца  $t_x \geq 25$  минутные изменения, увеличение и уменьшение количество пятен в группах, является эффективным критерием для предсказания солнечных вспышек с мощностью  $\geq 2$  баллов за 1-3 дня до начала вспышки.



**Рис.2.** Усредненные (за 1 день) относительные спектры S-компонента радиоизлучения Солнца в диапазоне 2-4 ГГц, полученные с 12.VI.1989 г. по 15.VI.1989 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гусейнов А.М. Диссерт. на соискан. канд. техн. наук. Москва (1987) 150.
2. Гусейнов А.М., Гусейнов Ш.Ш. и др. Астрон. цирк. АН СССР, (1982), №1242, 3-5.
3. Аббасов А.Р., Гусейнов Ш.Ш., Сомсиков В.М. Радиоизлучение Солнца. Изд. ЛГУ, гор. Ленинград, вып. 5, (1984), 164-170.
4. Гусейнов Ш.Ш. Диссерт. на соискан. канд. физ. мат. наук, Ашгабат (1993), 155.
5. Гусейнов А.М., Гусейнов Ш.Ш. Изв. НАН Азерб. (2002), XXII, №5, 127-131.
6. Соловьев А.А., Киричек Е.А. Солнечная и солнечно-земная физика – Тр. XII – Пулковской межд. конф. по физике Солнца, С.Петербург, Пулково (2008), 349.
7. Гусейнов Ш.Ш., Гахраманов И.Г. 95 лет БГУ, Современн. пробл. физики. Материалы VIII – Республ. конферен., 24-25 декабр 2014 г. 367-371.
8. Бюллетень «Солнечные данные», 1979-82 гг. и 1989-90 гг.
9. Solar – Geophysical Data, 1979-82, 1989-90.

Talks given in International Conference “Modern Trends in Physics” devoted to the 10 year celebration of Institute for Physical Problems of Baku State University, 25-26 December, 2015, Baku, Azerbaijan

**Article received: 2016-10-09**