

## ЭВОЛЮЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН И ПОР И ИХ ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ

Определены значения фрактальной размерности 138 пор и 135 теней пятен. Установлено, что структурные и динамические преобразования, которые происходят в процессе развития пятен и пор, приводят к изменениям значений их фрактальной размерности.

Для практической оценки фрактальной размерности физических структур широко используется анализ связи: поверхность – объем или длина сечения – площадь. Этот способ применяется, например, для изучения лабораторной турбулентности или для оценки фрактальной структуры грозовых и градовых облаков [1]. Было установлено, что по значениям фрактальной размерности границ облаков можно охарактеризовать их физическую природу: дождевые, ливневые или градовые.

Целью нашей работы является вычисление значений фрактальной размерности теней пятен и пор и сопоставление их с качественными и количественными изменениями в структуре пятен и пор.

Фрактальную размерность теней пятен  $D$  можно определить, если их площадь  $s$  фрактально зависит от длины внешней границы  $L$ , т.е. величина соотношения [2]:  $s = L^{1/D}/s^{1/2}$  остается постоянной.

При определении фрактальной размерности макроскопических объектов существует требование к качеству наблюдательного материала – он должен быть высокого качества и обладать одинаковым пространственным разрешением. Поэтому в обработку были приняты лучшие снимки фотосферы с разрешением  $0''.7\text{--}1''.0$  (масштаб изображения  $1''=0.15\text{мм}$ ), полученные на Высокогорной солнечной станции АФИФ. Все пятна и поры имели правильную круглую форму и располагались в центральной части диска Солнца. Определялась фрактальная размерность только теней пятен и пор. Это вызвано тем, что, во-первых, границу между тенью и полутенью пятна можно установить с гораздо большей точностью, чем между полутенью и фотосферой, а, во-вторых, тень пятна является более важной характеристикой, по сравнению с полутенью, которую обычно рассматривают в качестве промежуточной структуры между фотосферой и тенью пятна. Кроме того, очень важно, что в рассмотр-

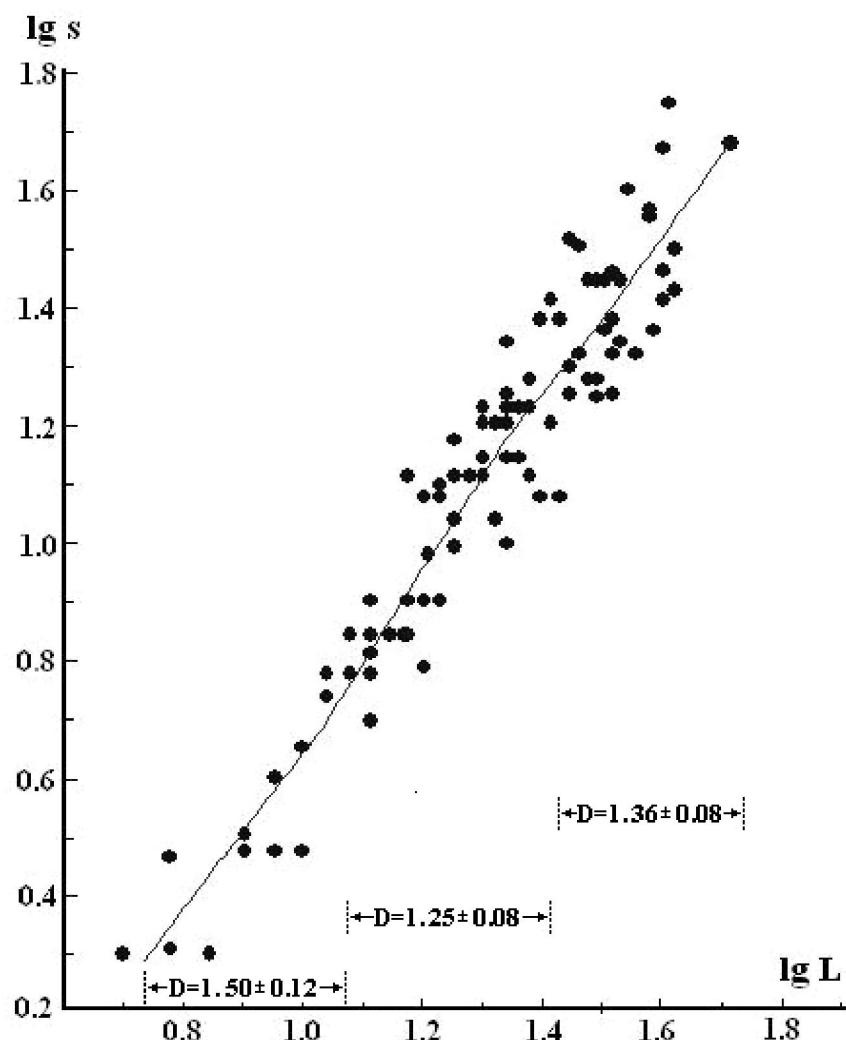


Рис. 1. Зависимость периметр-площадь для пор. Внизу указаны диапазоны значений фрактальной размерности, соответствующие порам различной площади.

рение приняты физически подобные образования (поры и тени пятен), обладающие схожей интенсивностью и напряженностью магнитного поля.

На увеличенных зарисовках были подсчитаны длины внешних границ теней пятен и пор  $L$  в мм и их площади  $s$  в  $\text{мм}^2$ . Для надежного определения фрактальной размерности интервал выбранных площадей составлял 3 порядка: от 0.2 до 200 м.д.п. Благодаря хорошему пространственному разрешению впервые для пор, имеющих угловые размеры от  $1''.2$  (самые мелкие) до  $9''$  (самые крупные) определена фрактальная размерность. Всего в рассмотрение принято 138 пор и 135 пятен. За единицу измерения длины взят эталон, соответствующий величине разрешения на снимках ( $d=0''.73$ ).

На рисунках 1 и 2 представлена зависимость между логарифмами периметра пор и теней пятен ( $\lg L$ ) и логарифмами их площадей ( $\lg s$ ) соответственно. Сплошные кривые на рисунках относятся к средневзвешенным значениям, полученным методом наименьших квадратов. Чем меньше угол между прямолинейным участком соотношения  $\lg L \leftrightarrow \lg s$  и осью абсцисс, тем большее значение фрактальной размерности получается. На результирующей кривой рисунка 1 четко просматриваются три прямолинейных участка, которые соответствуют различным значениям фрактальной размерности, относящимся к внешней границе пор (линия раздела структуры поры и окружающей фотосфера). По мере изменения размеров пор, фрактальная размерность

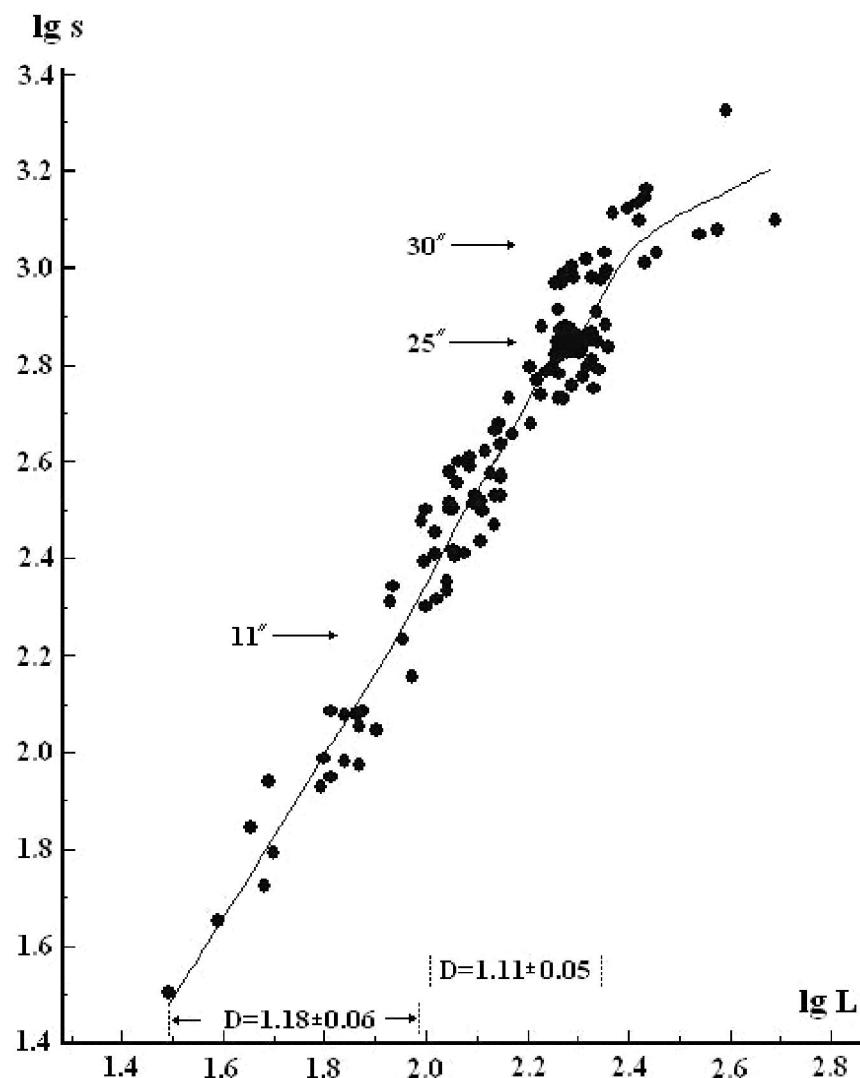


Рис. 2. Зависимость между периметрами теней пятен и их площадями. Каждая точка соответствует отдельному пятну. Внизу указаны диапазоны значений фрактальной размерности, соответствующие теням различной площади

претерпевает существенные изменения в пределах  $D=(1.50-1.25)$ . Большинство пор, у которых  $D=1.50$ , являются короткоживущими. Второй диапазон фрактальной размерности ( $D=1.25$ ) представлен порами большей площади, у которых, начиная с размера  $\sim 7''$ , начинает образовываться полутень. И третий ( $D=1.36$ ) – объединяет поры самого большого размера, у которых, по какой-то причине, не возникла полутень, хотя они еще увеличивали свою площадь.

При переходе от пор к теням пятен, когда внешней границей становится линия раздела тени и полутени, резко меняется значение фрактальной размерности (рис.2). Как показали исследования Кношки [3] поры и пятна в процессе эволюции имеют периоды устойчивых состояний с

характерными значениями напряженности магнитного поля. Однако на стадии появления полутени напряженность магнитного поля испытывает резкие скачки до 500-800 Гс менее чем за сутки. Структурная перестройка внутри тени отражается на изменении фрактальной размерности при переходе от пор к развитым пятнам. Причем в начальный период развития полутени, фрактальная размерность несколько выше ( $D=1.18\pm 0.06$ ), вплоть до момента, когда выравниваются скорости роста диаметра тени и ширины полутени. Это обычно происходит для теней, имеющих диаметры  $\sim 11''=16.5$  м.д.п. [4]. Для теней пятен с размерами от  $11''$  до  $25''$   $D=1.11\pm 0.05$ .

В дальнейшем с увеличением периметра тени пятен наблюдается тенденция усиления роста

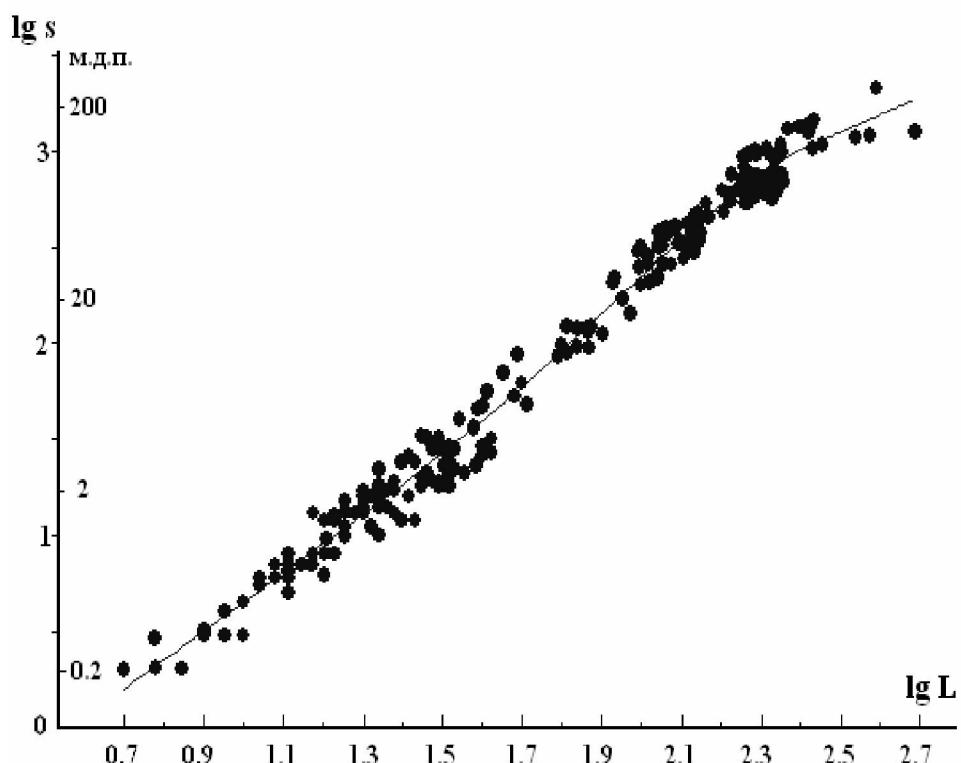


Рис. 3. Зависимость периметр-площадь совместно для отдельных теней пятен и пор.

значений фрактальной размерности, что, по-видимому, связано со структурной особенностью эволюции пятен большого размера, при которой происходит замедление роста ширины полутени при увеличении площади тени. Для пятен с площадью тени  $s > 120$  м.д.п. ( $30''$ ), оценить фрактальную размерность не позволяет слишком маленькая статистика.

На общем графике для пор и теней пятен (рисунок 3) можно наглядно оценить среднюю фрактальную размерность для пор  $D_{\text{pore}}^{\text{pore}} = 1.35 \pm 0.06$  и для пятен  $D_{\text{umbra}}^{\text{umbra}} = 1.13 \pm 0.06$ . Для привязки на оси  $\lg s$  приведены значения площадей теней выраженных в м.д.п.

Таким образом, проведенное изучение детальных изменений индекса фрактальной размерности показывает, что они отражают структурные и динамические преобразования, которые происходят в процессе развития пятен и пор. Установлена интересная особенность – минимальные значения фрактальной размерности соответствуют периодам устойчивого развития, как для пятен, так и для пор. Для начального и заверша-

ющего этапов их эволюции – значения размерности существенно выше.

При сопоставлении значений фрактальной размерности теней пятен и пор можно было ожидать, что значения фрактальной размерности для пор окажутся ниже, чем для теней. Это связано с тем, что внешнюю границу пор определяют фотосферные гранулы, имеющие относительно большие размеры, довольно правильной округлой формы, тогда как внешняя граница теней пятен проходит по внутренним окончаниям тонкоструктурных волокон полутени. Однако для 138 отдельных пор среднее значение фрактальной размерности составляет  $D_{\text{cp}} = 1.35 \pm 0.06$ , что существенно превышает соответствующее значение по 135 пятнам,  $D_{\text{ep}} = 1.13 \pm 0.06$ .

Фрактальная размерность для самых мелких короткоживущих пор ( $1.2''$ - $3''$ ) составляет в среднем  $D = 1.5$ . Значение  $D = 1.25$  соответствует порам средней площади, небольшое количество из которых, достигнув размера  $\sim 7''$ , с появлением полутени, начинают превращаться в развитые пятна. Те поры, которые не превратились в пят-

на, а продолжили развитие, увеличивая свои размеры (максимально до 9"), имеют  $D = 1.36$ .

Таким образом, эволюционные изменения в структуре теней пятен и пор находят свое отражение во фрактальной размерности их внешних границ.

*Работа выполнена в рамках ПФИ, ишифр Ф-0351.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lovejoy S., Area – perimeter relation for rain and cloud areas. // Science, 1982. V. 216. P. 185.
2. Пьетронеро А., Тозати Э. Фракталы в физике. // Италия. Триест. 1988. 672 с.
3. Knoska S., // ВАС, 1976, V.27. №53. P. 159.
4. Обашев С.О., Минасянц Г.С. Новые закономерности между структурными элементами пятен. // Докл. НАН РК. 1993. №5. С. 28-32.

#### Резюме

138 саңылаудың және 135 дақ көлеңкенің фракталдық өлшемдіктері анықталды. Дақтардың және саңылаулардың даму процесінде пайда болған құрылымдық пен динамикалық түрлендірулер белгіленді. Олар дақтардың және саңылаулардың фракталдық өлшемдіктерін өзгертеді.

#### Summary

The values of fractal dimension of 138 pores and 135 sunspots were determined. It was found that structural and dynamic changes which occur during the development of spots and pores, are leading to changes of the values of their fractal dimension.

*Астрофизический институт  
им. В.Г. Фесенкова МОН РК  
г. Алматы*

*Поступила в печать 20.04.2009 г.*