

ВАРИАЦИИ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ И ВСПЫШКИ

А.А. Головко, И.И. Салахутдинова

VARIATIONS OF FRACTAL CHARACTERISTICS OF ACTIVE REGIONS AND FLARE

A.A. Golovko, I.I. Salakhutdinova

Выполнен мультифрактальный анализ изображений активной области в линии $\text{H}\alpha$; для них рассчитаны спектры сингулярности и сегментированные изображения для узкого интервала значений фрактальной размерности. Сегментированные изображения показывают наличие особых участков, где показатель сингулярности принимает максимальные значения. Эти участки маркируют активные очаги вспышек.

The multifractal analysis of the images of active region in the $\text{H}\alpha$ line was carried out; the singularity spectra as well as the segmented images for the narrow interval of fractal dimension were computed. The segmented images display presence of specific areas where the singularity index takes on maximum values. These areas mark the active seats of flaring.

Приток новых данных о динамике солнечной атмосферы, прежде всего узкополосных изображений в различных спектральных полосах и линиях, требует привлечения новых методов анализа. В последнее время интенсивно используются методы нелинейной динамики, в частности, фрактального анализа. Такой подход обусловлен существованием в солнечной атмосфере развитой турбулентности.

В отличие от математических фракталов, структура которых сохраняется при любых масштабах ее рассмотрения, все природные квазифрактальные структуры являются порождением сложных хаотических природных процессов. В [1] предложено рассматривать природные фрактальные структуры как мгновенные «резы» самоорганизующихся критических процессов (явление самоорганизованной критичности – SOC), в которых нет строгого самоподобия.

В наших работах [2, 3] к сериям изображений в линии хромосферы был применен метод структурных функций. Исследованы вариации параметров структурных функций на предвспышечной стадии и найдены импульсные и квазипериодические изменения. Указанные вариации были обнаружены по одновременно полученным $\text{H}\alpha$ -фильтрограммам и полученным на спутнике «Trace» изображениям в линии FeXI 171 Å переходной зоны, что доказывает солнечное происхождение этих вариаций.

Фрактальные параметры, оцениваемые по структурным функциям, описывают исследуемый объект статистически в целом, и остается неясным, в каких участках активной области происходят изменения, ассоциируемые со вспышками. Чтобы дать ответ на этот вопрос, в данной работе применены другие методы анализа – метод расчета спектров сингулярности, использованный в гелиофизике впервые в работе [4], и согласующийся с ним микроканонический метод мультифрактального анализа, развитый в [5, 6].

Данная статья основана на наблюдениях 31 июля 2002 г. на хромосферном телескопе Байкальской астрофизической обсерватории в ядре линии $\text{H}\alpha$.

Мы используем здесь микроканонический формализм, использующий оценки параметров в малой окрестности текущей точки изображения. Если исследуемая природная система является мультифрактальной в рамках микроканонического формализма, она является таковой в соответствии с каноническим подходом [6].

В практических расчетах мы использовали пакет Fraclab 1.1 [7] для вычисления мультифрактальных спектров и сегментированных изображений.

На рис. 1 приведены исходное изображение (a), хаусдорфовские мультифрактальные спектры $f(\alpha)$, рассчитанные для суммарной меры μ_{sum} (б) и для емкости Шоке μ_{max} (в). Емкости Шоке являются простейшим обобщением меры, и для них применим мультифрактальный анализ [6]. Здесь α – показатель сингулярности, f – фрактальная размерность по Хаусдорфу. Спектры в максимуме достигают размерности плоской фигуры ($f_{\text{max}} = 2$), т. е. всего изображения. Спектр для суммарной меры имеет типичный вид колокола. Его узость отражает малый диапазон контраста исходных изображений. Спектр для μ_{max} похож на монотонно спадающую функцию – правую половину гауссова колокола, хотя для некоторых изображений в серии он приближается к прямой вида $y = 2 - ax$, где $a > 2$.

Несмотря на сплошной характер спектра $f(\alpha)$, разные его части описывают различные структуры в исходном изображении. Область $f < 1$ – прерывистые островные структуры, при $f \rightarrow 0$ вырождающиеся в пыль; показатель сингулярности для них достигает максимального значения.

Поскольку верхняя граница спектра α_{max} показывает временные вариации, практически совпадающие с обнаруженными в [2], мы выбрали диапазон $f = 0 \div 0.4$ для построения сегментированных, т. е. отфильтрованных из исходного изображения распределений.

На рис. 2 приведены три сегментированных изображения (левый ряд), а также исходные изображения в $\text{H}\alpha$ (правый ряд). Исследуемый комплекс активности состоял из восточного компонента – молодой АО № 10050 и западного компонента – тесно расположенных АО № 10039 (слева) и АО № 10044 (справа).

На сегментированных изображениях видны только черные участки, в которых высок показатель сингулярности. Эти «скопления сингулярности», или «пылевые кластеры», некоторым образом маркируют действующие очаги вспышечной активности. Как видно на рис. 2, в разные моменты времени активны (показано стрелками) различные части комплекса. Совмещение сегментированных изображений с исходными

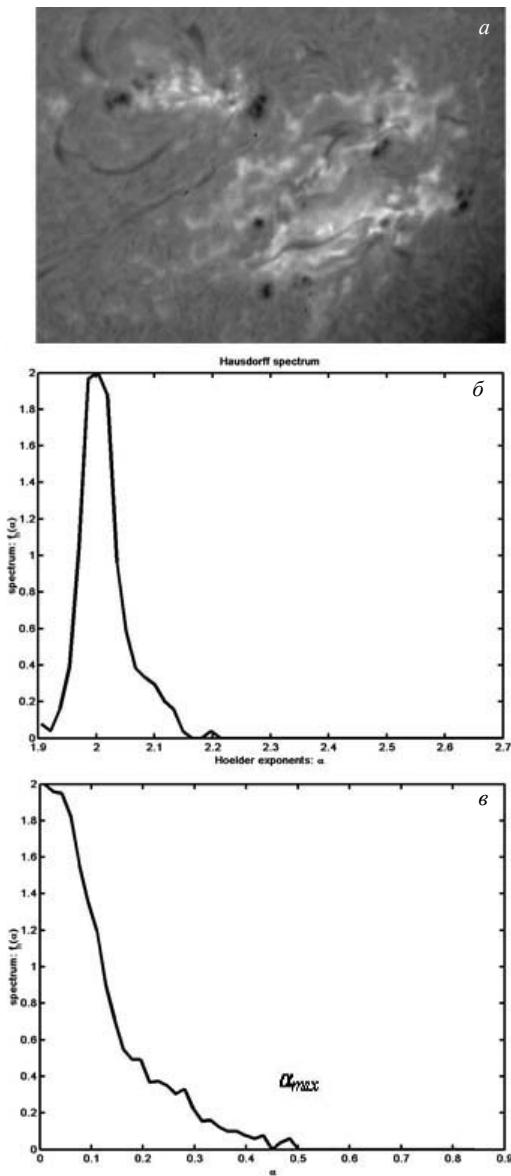


Рис. 1. Фильтрограмма комплекса активности 31 июля 2002 г. (а), мультифрактальные спектры данного изображения для μ_{sum} (б) и μ_{max} (в).

фильтрограммами показывает, что пылевые кластеры располагаются рядом с узлами эмиссии вспышек. В то же время существуют кластеры, расположенные далеко от эмиссионных деталей.

Приведенное рассмотрение позволило сделать следующий вывод.

Полученные путем мультифрактального анализа изображений хромосферы активной области сегментированные изображения при минимальных фрактальных размерностях выявляют существование особых участков с максимальным показателем сингулярности (пылевых кластеров), маркирующих активные очаги вспышек.

Работа поддержана грантом РФФИ 07-02-90101.

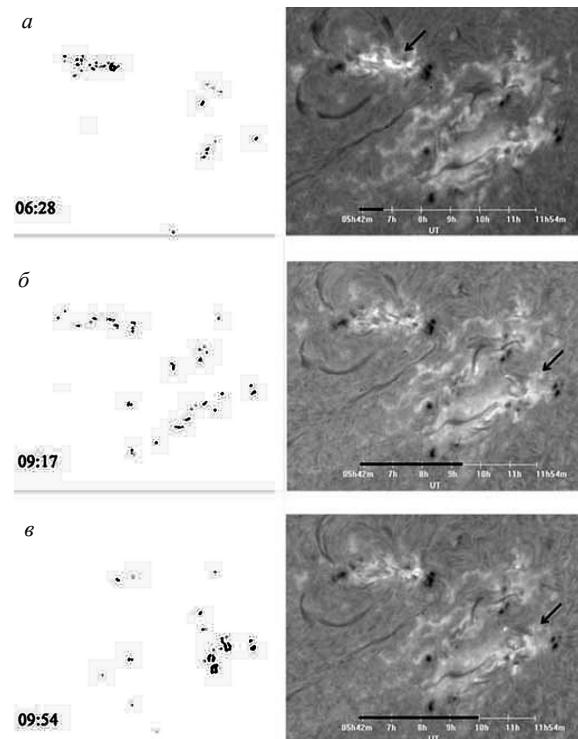


Рис. 2. Сегментированные изображения (слева) и исходные фильтрограммы (справа) для разных моментов времени (а–в).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // Physical Review A. 1988. V. 38, N 1. P. 364–374.
2. Salakhutdinova I.I., Golovko A.A.. The variations of the scaling parameters of the structure functions in solar active regions at the pre-flare stage // Solar Phys. 2005. V. 225. P. 59–74.
3. Головко А.А., Салахутдинова И.И., Хлыстова А.И. Фрактальные свойства активной области и вспышки // Солнечно-земная физика. 2006. Вып. 9. С. 47–55.
4. Lawrence J.K., Ruzmaikin A.A., Cadavid A.C. Multi-fractal measure of the solar magnetic field // Astrophys. J. 1993. V. 417. P. 805–811.
5. Levi-Vehel J., Vojak R. RR-2576: Multifractal Analysis of Choquet Capacities: Preliminary results // Rapport de recherche, INFRIA. <http://www.infria.fr/rrrt/rr-2576.html>
6. Круглун О.А., Каримова Л.М., Мухамеджанова С.А., Макаренко Н.Г. Мультифрактальный анализ и моделирование магнитограмм полного диска Солнца // Солнечно-земная физика. 2007. Вып. 10. С. 31–42.
7. <http://www.irccyn.ec-nantes.fr/hebergement/FracLab/>

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск