ЭНТРОПИЙНО-МЕТРИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

З.Ж. Жанабаев, Н.Ш. Алимгазинова, А.С. Бейсебаева, А.Ж. Наурзбаева
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, НИИЭТФ, г.Алматы

Определены информационно-энтропийные и обобщенные метрические характеристики сигналов радиоизлучения Солнца и переменных звезд. Показано, что предлагаемый новый метод позволяет количественно классифицировать различные типы астрофизических сигналов.

Введение

В современной физике огромное внимание уделяется астрофизическим исследованиям. Особый интерес вызывают исследования звезд, так как материя в данных астрофизических объектах находится в экстремальных условиях, не достижимых при лабораторных экспериментах. К числу таких условий относятся сверхсильные электромагнитные и гравитационные поля, сверхвысокие и сверхнизкие плотности вещества, процессы мощного энерговыделения [1].

Достигнутый в последние годы прогресс в наблюдательной технике привел к качественно новому уровню исследований ближайшей к Земле звезды – Солнца, в частности солнечной активности. К числу таких проявлений активности можно отнести всплески в потоках радиоизлучения Солнца, в которых эффективно проявляются с различным энерговыделением нестационарные и быстропеременные процессы.

Большой интерес исследователей вызывают и переменные звезды, что связано с целым рядом факторов. Так, многие определения расстояний во Вселенной основываются на обнаруженных у переменных звезд закономерностях, связывающих их абсолютные величины с физическими характеристиками. Их изучение дает также неисчерпаемый материал для понимания природы строения звезд. При этом с течением времени проблемы, связанные с классификацией переменных звезд, становятся все сложнее: выясняется взаимосвязь различных типов переменности, в то же время нередко возникает необходимость отнесения одного и того же объекта сразу к нескольким типам переменности, поскольку они определяются разными физическими причинами [2].

Эффективность использования информации, содержащейся во временных потоках радиоизлучения Солнца и в кривых блеска переменных звезд, зависит от надлежащего уровня его интерпретации и методов анализа. Поскольку сигналы от радиовсплесков Солнца и кривых блеска переменных звезд являются перемежаемыми и хаотическими, новую интересную информацию об их физической природе может принести применение для их исследования методов нелинейной физики. Целью данной работы было установление закономерностей и классификация сигналов от радиовсплесков Солнца и переменных звезд с помощью новых методов теории динамического хаоса.

1 Теоретические основы исследований

1.1 Энтропии самоподобия и самоаффинности

Ранее в наших работах [3, 4] были установлены информационно-энтропийные критерии масштабной инвариантности в виде неподвижных точек нормированных функций плотности распределения вероятности информации и энтропии – среднего значения информации:

$$e^{-I_1} = I_1,\ I_1 = 0.567; (I_2 + 1)e^{-I_2} = I_2, I_1 = 0.806. \tag{1}$$

Эти неподвижные точки являются единственными и устойчивыми, так как они являются также и пределами бесконечных отображений, соответствующим (1), при любых начальных значениях информации $I_{1.0}, I_{2.0}$:

$$I_{1,i+1} = e^{-I_{1.i}},\ I_{2,i+1} = (I_{2,i+1} + 1)e^{-I_2},\ i = 0,1,2... \qquad (2)$$

Смысл чисел I_1, I_2 можно трактовать с различных точек зрения. Число I_1 является самоподобным значением нормированной информации: информация равна плотности вероятности своей реализации. По определению информации она рождается при нарушении симметрии (появление неоднородности) и вероятностном поведении процесса. Следовательно, самоподобие информации означает наличие самоаффинности процесса, объекта.

Информационная энтропия $S(I) = (1+I)e^{-I}$ является средним значением информации I по плотности вероятности e^{-I}. Поэтому число I_2 является критерием самоподобия структурно-однородной хаотической системы. Более кратко мы назовем число I_1 критерием самоаффинности, I_2 − критерием самоподобия. Самоаффинность (локальные свойства) проявляется при грубом разрешении, когда масштаб измерения физической величины сравним с характерными величинами для системы. Самоподобие проявляется при достаточно тонком разрешении.

Установим критерий перехода от самоподобия к самоаффинности. Условие для неподвижной точки энтропии (уравнение для I_2) при $I_2 << 1$ переходит в уравнение для I_1. В промежуточном случае $I_2 = I_{20} \le 1,\ e^{-I_2} \approx 1 - I_2$, имеем

$$I_{20}^2 + I_{20} - 1 = 0,\ I_{20} = 0.618\,. \qquad (3)$$

Общеизвестен факт о том, что при равенстве отношения частоты модуляции к собственной частоте системы именно к I_{20} может произойти качественное изменение в характере движения: переход от квазипериодического к хаотическому движению. Таким образом, числа I_1, I_2 расширяют применимость применения числа Фибоначчи I_{20} − золотого среднего динамической меры для описания самоаффинности, самоподобия вероятностных (стохастических и хаотических) явлений.

Самоаффинность и самоподобие являются проявлением масштабной инвариантности – основного свойства процесса самоорганизации, появления порядка в хаосе. При самоорганизации энтропия уменьшается и ее нормированное на единицу значение для структурно-равновесной, однородной системы принадлежит интервалу [I_1, I_2].

Неоднородность, структурную неравновесность системы можно учесть, используя статистику Цаллиса [3]. Суть метода заключается в использовании для канонического распределения Гиббса функции

$$\exp_{q-1}[-x] = (1-(q-1)x)^{\frac{1}{q-1}}\ ,\ 0 < q \le 1\ , \qquad (4)$$

которая при значении параметра неоднородности $q \to 1$ переходит в обычную экспоненту. Через функцию (4) отображения (2) запишутся в виде

$$I_{1,i+1} = \left(1-\left(q-1\right)I_{1,i}\right)^{(2-q)/(q-1)}, \qquad (5)$$

$$I_{2,i+1} = \frac{1}{q-1}\left(\left(1-(q-1)I_{2,i}\right)^{1/(q-1)} - \frac{1}{q}\left(1-(q-1)I_{2,i}\right)^{q/(q-1)} \right), \quad I_0 = 0,\infty; \quad i = 0,1,2,... \qquad (6)$$

В пределе $q \to 1$ $I_{1,i+1}$ стремится к I_1, снизу ($I_{1,i+1} \le I_1$), а $I_{2,i+1}$ к I_2 - сверху ($I_{2,i+1} \ge I_2$). С ростом неоднородности (внешнего возмущения) энтропия самоаффинной системы уменьшается, а у самоподобной системы – растет.

Таким образом, необходимо знать способ определения параметра неоднородности q из данных о системе. Результат не должен зависеть от масштаба измерения. Для этой цели заметим, что энтропия Реньи (с порядком мультифрактального момента q)

$$S_{R,q} = -\frac{1}{q-1}\ln \sum_i P_i^q \,, \qquad \sum_i P_i = 1\,, \qquad (7)$$

при условии

$$\sum_i (P_i^q - P_i) << 1 \qquad (8)$$

имеет вид

$$S_{R.q} = -\frac{1}{q-1}\sum_i \left(P_i^q - P_i\right), \qquad (9)$$

т.е. совпадает по форме с энтропией Цаллиса, записанной для плотности вероятности f_i. При наличии самоподобия и самоаффинности можно принять $P_i = f_i$. Следовательно, при выполнении условия (8) значения параметров неоднородности и порядка мультифрактального момента совпадают, их можно обозначать одной буквой q.

Для неоднородного фрактала, имеющего мультипликативную меру, обобщенная размерность определена в работе [5]:

$$D_{q,\xi} = D_0 + \frac{q}{q-1}\frac{\frac{1}{N(\delta)}\sum_{i=1}^{N(\delta)}\sum_{j=1}^{m_i(\delta)}\ln P_j}{\ln \delta}, \qquad (10)$$

где D_0 − фрактальная размерность Хаусдорфа, m_i -число точек, попавших в одну ячейку i с вероятностью P_i. Из формулы (10) q можно найти через величину $D_{q,\xi}$, которую нужно рассматривать как размерность самоаффинного фрактала. Если $D_{q,\xi}$ определить через подходящую фрактальную меру из экспериментальных данных (по временному ряду, сканированию и т.д.), то неоднородность учитывается автоматически.

На рис. 1 показана классификация хаотических систем (в терминах, принятых нами) по установленным критериям самоаффинности и самоподобия.

По экспериментальным значениям энтропию хаотических сигналов можно определить на основании мультифрактальной спектральной функции [6]:

$$f(\alpha(q=1)) = \alpha(q=1) = D_{q=1} = S = I_2^*, \qquad (11)$$

где q - порядок мультифрактального момента, $\alpha(q)$ - фрактальная размерность ячейки (структуры с минимальным масштабом δ), $f(\alpha(q))$ - фрактальная размерность множества ячеек с характеристикой $\alpha(q)$, D_q- обобщенная, мультифрактальная размерность. Отметим, что при определении энтропии непосредственно по формуле Шеннона остается проблематичной нормировка энтропии.

Энтропия $S = I_2^*$, определяемая по формуле (11), характеризует однородное множество без перемежаемости ($q=1$), т.е. соответствует состоянию самоподобия. Для произвольных значений q запишем формулу (11) в виде:

$$f / f_{\max} = \alpha / \alpha_{\max} = S = I_1^*, \tag{12}$$

где α_{max} - максимальное значение α, I_1^*, I_2^* - наблюдаемые значения энтропии, соответствующие самоаффинным и самоподобным состояниям.

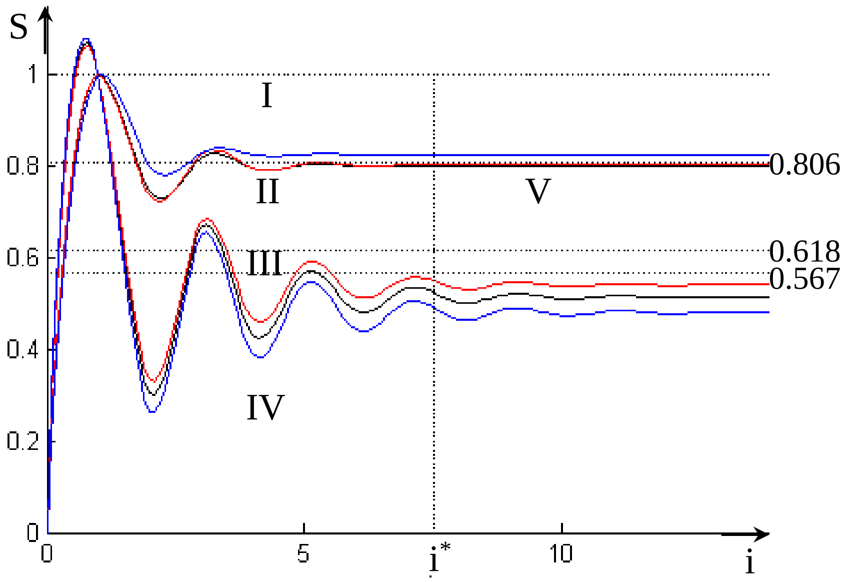


Рис. 1. Эволюция энтропии с изменением обобщенной метрической характеристики системы

$\frac{S}{S_m}$: $I -]I_2, 1]$, $II - [I_{20}, I_2]$, $III -]I_{20}, I_1]$, $IV -]I_1, I_{10}]$, $I_{10} = 0.466$, $V - [I_1, I_2]$ ï ðè $i > i_*$

Процессы: I − шумоподобные, II − самоподобные, III − самоаффинные, IV − неоднородные, V − самоорганизованные.

Режимы самоподобия и самоаффинности должны наблюдаться только в определенном интервале масштаба измерения δ. Этот интервал можно оценить, зная размерность фазового пространства n, соответствующего рассматриваемой динамической системе:

$$\delta = (I_2 - I_2^*)^n, \quad \delta = (I_1 - I_1^*)^n, \tag{15}$$

где $I_2 = 0.806$, $I_1 = 0.567$ [2]. Размерность фазового пространства n можно определить по теореме Такенса [7].

1.2 Обобщенная метрическая характеристика

Будем рассматривать изменения энтропии (топологической характеристики) в зависимости от чисто метрической характеристики. Интегральное неравенство Гельдера для двух произвольных функций $x_i(t)$, $x_j(t)$ может быть записано в виде равенства через некоторый коэффициент, который может быть назван обобщенной метрической характеристикой [8]:

$$K^{p,q}_{x_i,x_j} = \frac{\left(\left\langle |x_i|^p \right\rangle\right)^{1/p} \left(\left\langle |x_j|^q \right\rangle\right)^{1/q}}{\left\langle |x_i x_j| \right\rangle}, \ \frac{1}{p}+\frac{1}{q}=1. \tag{13}$$

Формула (13) является следствием существования метрических характеристик множества значений $x_i(t)$, $x_j\ (t)$ и справедлива для целых, дробных значений p, q. Значения $p=q=2$ соответствуют топологической размерности евклидовой поверхности. Можно использовать $p = D > 1$, где D — фрактальная размерность кривой $x_i(t)$, которая может быть самоподобной или самоаффинной в определенных интервалах масштабов измерения. Размерности самоаффинных фракталов D_n определены в работе [9].

В случае $x_i = x$, $x_j = 1$, $p = q = 2$ имеем $K^{2,2}_x = \sqrt{\left\langle x^2 \right\rangle / \left\langle |x| \right\rangle}$ коэффициент формы сигнала, используемый в радиофизике. Если принять $x_i = x(t)$, $x_j = t$, то мы получим характеристику аффинности, неоднородности сигнала $K^{p,q}_{x,t}$. Эта величина также может служить отношением сигнал/шум в динамическом хаосе, мерой афинности, мерой неравновесности, сложности и т.д. Поэтому в дальнейшем мы примем в качестве $K^{p,q}_{x_i,t_j}$ шаг итерации i .

Покажем, что через взаимосвязь чисто метрической характеристики $K^{p,q}_{x_i,t_j}$ и метрико-топологической характеристики − информационно-энтропийных критериев самоподобия и самоаффинности можно количественно описать закономерности динамического хаоса.

2 Приложение теории к генератору динамического хаоса с фазовым управлением

Для проверки теоретических выводов рассмотрим сигналы от разработанного нами генератора динамического хаоса с фазовым управлением (в развитие работы [10]). Динамика этого генератора описывается системой уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = (m - z)(x + \mu z) + \dfrac{y}{(1 + A\cos\varphi(\tau))^H} \\ \dfrac{dy}{dt} = -x, \qquad \dfrac{dz}{dt} = g(x^2 Hev(x) - z), \qquad \dfrac{d\varphi}{dt} = g\ sign(x) \end{cases}, \tag{13}$$

где x, y, z − токи через селективный элемент, усилитель, нелинейный преобразователь, m, g − параметры возбуждения и инерционности, μ − параметр учета тока через нелинейный преобразователь, A, φ − интенсивность и фаза флуктуаций технического шума, H – показатель Херста. Такая динамическая система позволяет получать сверхширокополосные, сверхвысокочастотные, перемежаемые (неоднородные, аффинные), хаотические колебания. В отличие от других известных динамических систем именно эта система дает широкий интервал изменения характеристик хаоса и возможность проверить диаграмму, представленную на рис. 1. На рис. 2 представлена зависимость информационной энтропии сигналов, соответствующей состоянию самоподобия I^*_2 и соответствующей состоянию самоаффинности I^*_1, рассчитанных по мультифрактальному спектру от обобщенной метрической характеристики. Видно, что при достаточной неравновесности (большие значения $K^{2,2}_{x,t}$) точки более отчетливо группируются именно в области самоподобия ($I \approx I_2$).

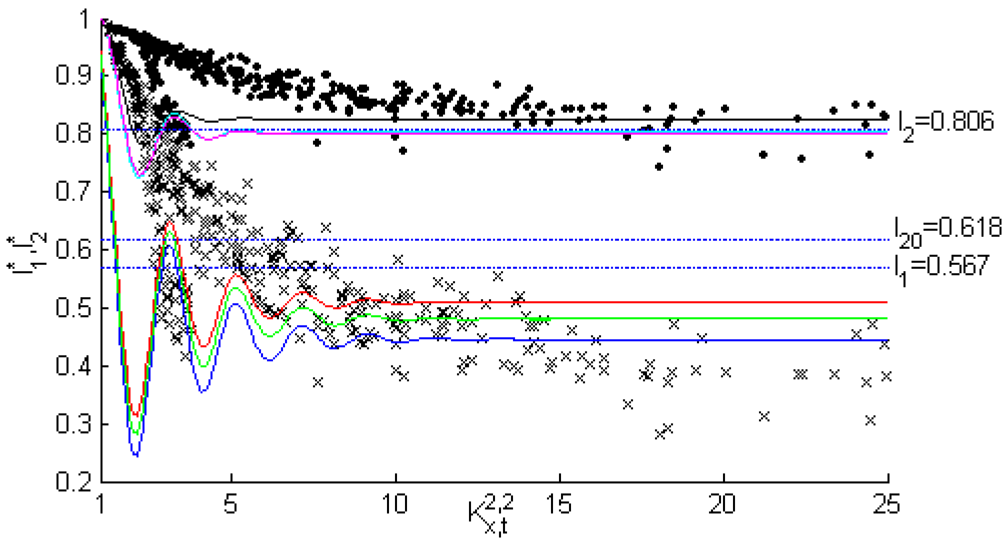


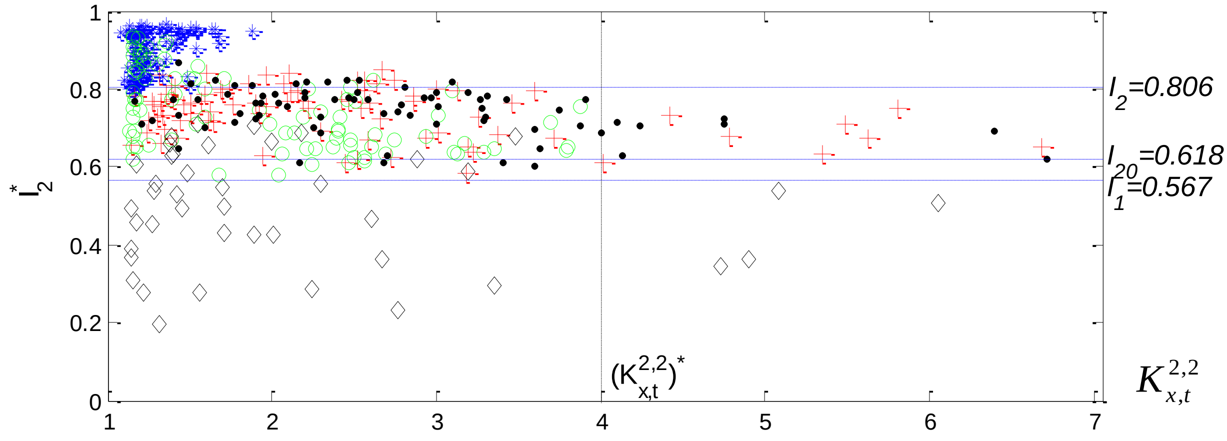
Рис. 2. Зависимость наблюдаемых самоаффинных значений I_1^* и самопободных значений I_2^* информационной энтропии от обобщенной метрической характеристики $K_{x,t}^{2,2}$ для сигналов от генератора динамического хаоса с фазовым управлением при различных $m, g,$ и $H = 1, A = 0.98, \mu = 10$; $\delta = 10^{-3}, \bullet - I_2^*, \times - I_1^*$.

3 Результаты численного анализа временного ряда радиоизлучения Солнца

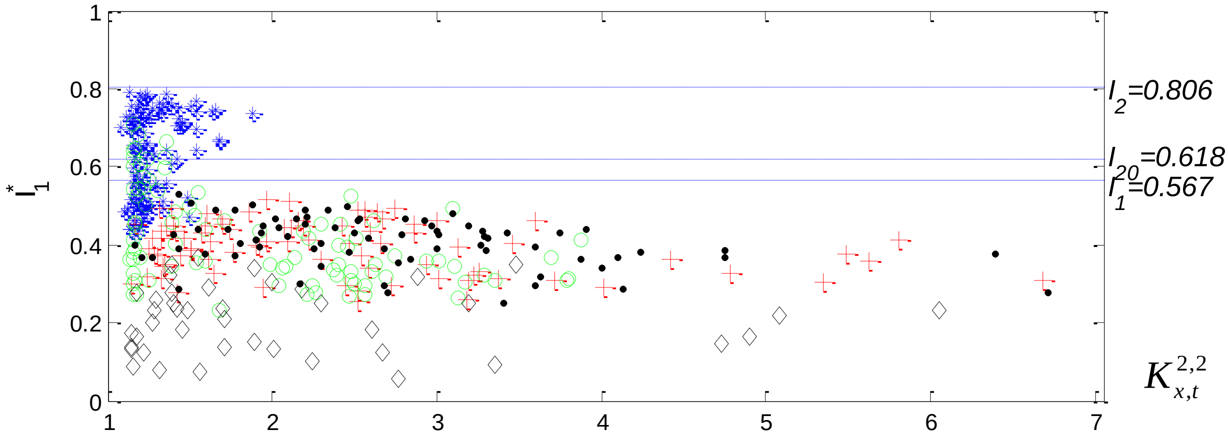
В работе использовались данные временных потоков солнечного радиоизлучения на частотах от 245 до 15400 МГц по данным обсерваторий Sagamore Hill (Massachusetts), Palehua (Haωaii), Learmonth (Australia), San Vito (Italy) для событий, имевших место с 2002 по 2008 годы [11]. В соответствии с общепринятой спектральной классификацией [12] из временного ряда секундных данных радиоизлучения Солнца были выделены по длительности и длине волны сигналы по типам I, II, III, IV и V. Вместе с тем, импульсы из временной последовательности (сигнала) были выбраны для каждого события (наблюдения) как имеющие максимальные значения обобщенной метрической характеристики $K_{x,t}^{2,2}$.

На рис. 3 представлены зависимости информационной энтропии радиовсплесков (импульсов и группы импульсов), рассчитанные по мультифрактальному спектру от обобщенной метрической характеристики с использованием различных обозначений для всплесков разных типов качественной спектральной классификации [12].

Горизонтальными линиями ($I_2 = 0.806$, $I_{20} = 0.618$, $I_1 = 0.567$) обозначены границы областей, характеризующих различные типы явлений. Вначале рассмотрим области при $K_{x,t}^{2,2} < K_{x,t}^{2,2\ *}$, где $K_{x,t}^{2,2\ *}$ характеризует пороговое значение обобщенной метрической характеристики, при котором изменение энтропии становится предельно малым, в данном случае $K_{x,t}^{2,2\ *} \geq 4$. Стохастические или шумоподобные явления имеют значения энтропии в интервале $]I_2, 1]$, для событий самоподобных явлений энтропия лежит в интервале $[I_{20}, I_2]$, область значений энтропии $]I_{20}, I_1]$ принадлежит самоаффинным явлениям, значения же энтропий для неоднородных явлений лежат в интервале $]I_1, 0]$. Энтропия самоорганизованных процессов находится в интервале $[I_1, I_2]$ при $K_{x,t}^{2,2} > K_{x,t}^{2,2\ *}$.



а)



б)

Рис. 3. Энтропийно-метрические диаграммы солнечных радиовсплесков
(* - I тип, + - II тип, ○ - III тип, • - IV тип, ◊ - V тип)

Из рис. 3(а) видно, что энтропия I_2^* для радиовсплесков типа I имеет максимальные значения, а их аффинность мала, т.е. предлагаемый метод относит эти явления к шумоподобным, что и соответствует их физической природе. Так как всплески I типа наблюдаются в основном на метровых волнах (λ ~ 2–4 м) и длятся несколько часов или суток их называют шумовыми бурями, состоящими в свою очередь из нескольких тысяч отдельных всплесков длительностью около одной секунды каждый и с полосой частот порядка нескольких Мегагерц [13].

Радиовсплески II типа, возникающие вследствие хромосферных вспышек (один раз в несколько суток), в основном лежат в области $I_2^* \in [I_{20}, I_2]$ и являются самоподобными явлениями. При особо сильных хромосферных вспышках всплески II типа имеют большие $K_{x,t}^{2,2}$ и относятся к самоорганизованным процессам.

Кратковременные всплески типа III происходят во время взрывной фазы хромосферных вспышек (даже очень слабых), поэтому ежедневно регистрируется несколько таких изолированных всплесков и группы всплесков [13]. В область шумоподобных явлений попадают всплески III типа объединенные в группы, а к самоподобным процессам относятся отдельные радиовсплески III типа.

По физической природе схожие всплески II и IV типов имеют близкие к друг другу значения информационной энтропии, т.е. всплески IV типа, возникающие при особо сильных хромосферных вспышках, также являются самоподобными и самоорганизованными явлениями.

Энтропия всплесков V типа, длительностью от 1 до 3 минут, находится в области неоднородных явлений $]I_1, 0]$, так как возникают на метровых волнах в верхних слоях короны, где напряженность магнитного поля $H \sim 1$ Гс [13].

На рис. 3(б) представлена зависимость энтропии самоаффинности от обобщенной метрической характеристики $K_{x,t}^{2,2}$. Как видно из рисунка энтропия I_1^* для радиовсплесков I типа лежит в основном в области самоподобия, в то время как изолированные по времени радиовсплески II, III, IV и V не имеют масштабно-инвариантной закономерности.

Таким образом, существующая спектральная качественная классификация количественно описывается предлагаемой нами методикой.

4 Результаты численного анализа сигналов от переменных звезд

Для исследования использовались данные об изменении блеска переменных звезд различных типов, представленные на сайте [14]. Для кривых блеска переменных звезд различных типов были вычислены значения энтропии, соответствующей состоянию самоподобия I_2^* и энтропии, соответствующей состоянию самоаффинности I_1^*, а также обобщенная метрическая характеристика $K_{x,t}^{2,2}$.

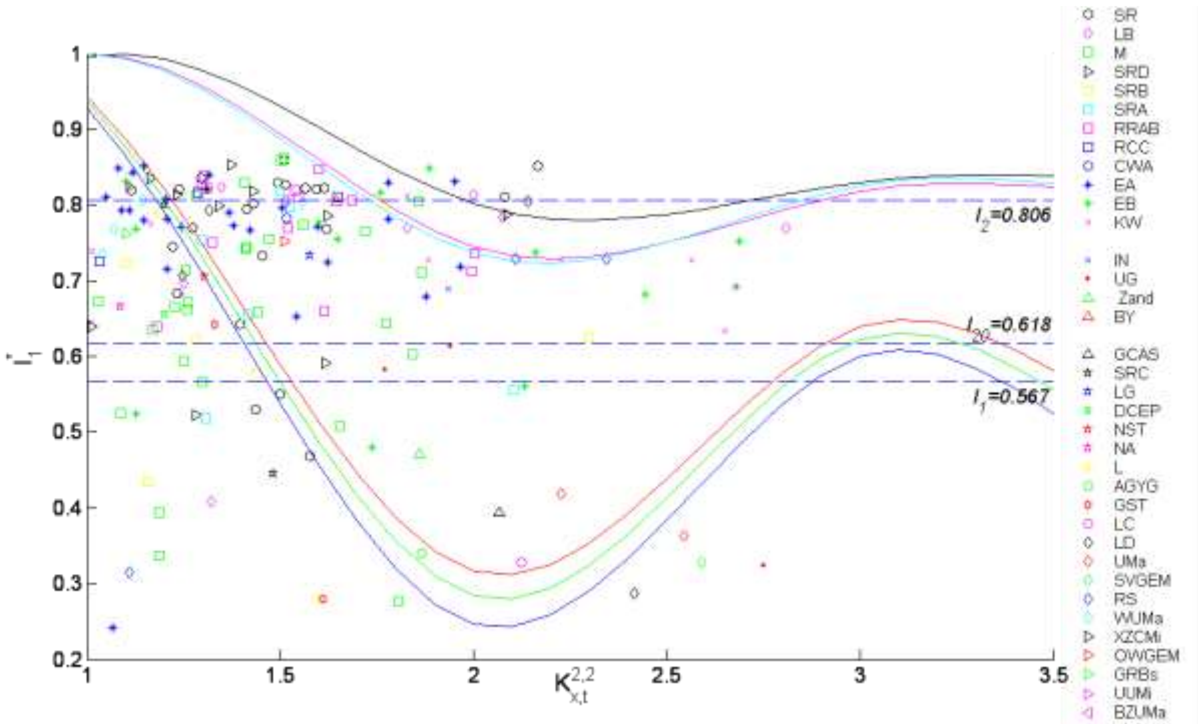
На рис. 4(а) и 4(б) представлены соответствующие результаты. Кривыми на рисунках представлена эволюция энтропии с изменением обобщенной метрической характеристики системы согласно пункту 1. Видно, что кривые блеска переменных звезд характеризуются более аффинными (неоднородными) закономерностями, чем радиоизлучение Солнца. При этом значения обобщенной метрической характеристики для всех исследованных нами типов переменных звезд невелики, т.е. ни один из этих типов не попадает в область самоорганизации. Затменные переменные типа EA попадают в основном в область самоподобия, а долгопериодические переменные звезды типа Миры Кита и полуправильные переменные поздних спектральных классов имеют более низкие значения энтропии и попадают в область самоаффинности и неоднородности. В область самоаффинности попадают и эруптивные переменные, а также звезды типа In, находящиеся на ранних стадиях эволюции. Учитывая, что сигналы солнечного излучения, в особенности, во время сильных хромосферных вспышек, лежат в области самоорганизации, можно заключить, что, по всей видимости, самоорганизованными системами являются звезды только главной последовательности, практически не меняющие своего блеска и находящиеся на основной стадии своей эволюции. Видимо, радиоизлучение переменных звезд также обладает этими закономерностями.

Предлагаемая нами энтропийно-метрическая диаграмма для переменных звезд отличается от известной диаграммы Герцшпрунга-Рассела следующими особенностями:

- вместо зависимости светимости звезды (абсолютной звездной величины) от спектрального класса (температуры) строится зависимость энтропии от коэффициента аффинности (неоднородности, сложности);
- используется только временной ряд звездной величины вместо данных по определению двух величин (абсолютной звездной величины, температуры);
- наша диаграмма классифицирует звезды по количественным критериям стохастичности, самоподобия, самоаффинности, регулярности, самоорганизации;

Из нашей теории следует, что обобщенную метрическую характеристику можно сопоставить шагу итерации (времени), следовательно, имеется возможность прогнозирования состояния эволюции конкретной звезды, выбранной на энтропийно-метрической диаграмме.

а)



б)

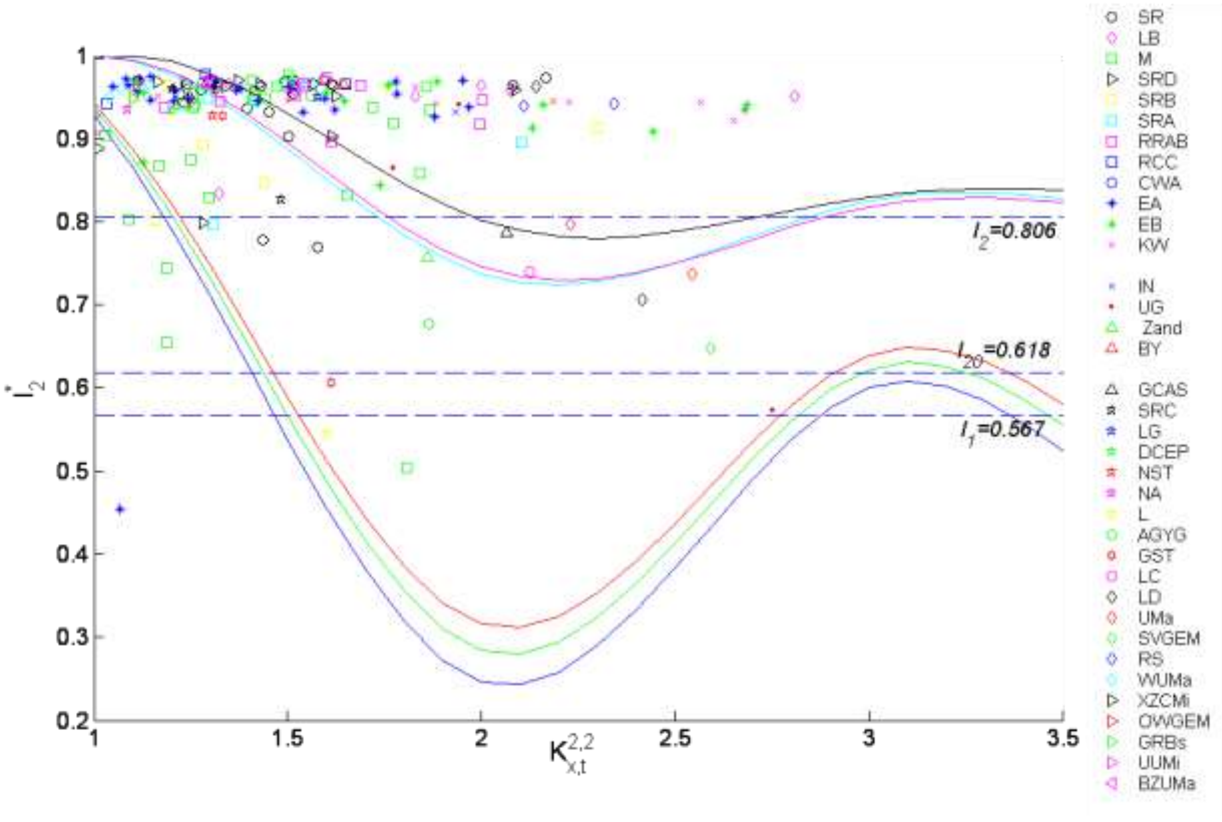


Рис. 4. Энтропийно-метрические диаграммы кривых блеска переменных звезд

Заключение

В настоящей работе показано, что на основании зависимости метрико-топологической характеристики − информационной энтропии самоподобия и самоаффинности, от чисто метрической характеристики $K_{x,t}^{p,q}$ можно количественно описать закономерности динамического хаоса. Строя такую зависимость для сигналов различной природы, можно классифицировать их по количественным критериям стохастичности, самоподобия, самоаффинности, регулярности, самоорганизации, и на основании этого делать выводы о физической природе соответствующих процессов.

Литература

1. Флейшман Г.Д., Мельников В.Ф. Солнечные миллисекундные радиоспайки // УФН, 1998. Т.168, №12, - С.1265-1301.
2. http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Samus/index.html
3. Zhanabaev Z.Zh. Information properties of self-organizing systems // Rep.Nat.Acad of Science RK. − 1996. - № 5. - P.14-19.
4. Жанабаев З.Ж. Квазиканоническое распределение Гиббса и масштабная инвариантность хаотических систем // Мат. 5-й межд.конф. «Хаос и структ. в нелин. сист.», 15-17 июня, 2006. Астана. – Ч.1. - С. 15-23.
5. Zhanabayev Z.Zh. Self-organization and multifractality in hydrodynamical turbulence // Dynamical systems and chaos. - Vol. 2. - Tokyo, World Scientific. – 1994. - P. 222-225.
6. Федер Ф. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
7. Schuster H.G. Deterministic chaos. Physic-Verlag, 1984.
8. Жанабаев З.Ж. Обобщенная метрическая характеристика динамического хаоса / Мат. VIII межд. школы «Хаотические автоколебания и образование структур». – Саратов, 2007. - С. 67-68.
9. Жанабаев З.Ж. Размерности самоаффинных фракталов // Фракталы и прикладная синергетика: Тр. ФиПС-03 / Под. ред. В.С.Ивановой и В.У.Новикова. – М.: МГОУ, 2003. – С. 198-201.
10. Жанабаев З.Ж., Тарасов С.Б. и др. Генератор сверхширокополосных хаотических сигналов с регулируемой базой / Радиолокация, навигация, связь. Сборник докладов XIII межд. н.-т. конф. Воронеж, 2007. - С. 1954-1959.
11. http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarradio.html (National Geophysical Data Center)
12. Цимахович Н.П. Большие радиовсплески Солнца. Рига: Зинатне, 1968.
13. http://comet.sai.msu.ru/~gmr/course/ivdex.htm - Г.М.Рудницкий. Конспект лекций по курсу «Радиоастрономия» // Нижний Архыз. CYGvUS. 2001.
14. http://www.astronet.ru/variable star

АСТРОФИЗИКАЛЫҚ ОБЪЕКТТЕРДІҢ ЭНТРОПИЯЛЫ-МЕТРИКАЛЫҚ ДИАГРАММАЛАРЫ

З.Ж. Жаңабаев, Н.Ш. Әлімғазинова, А.С. Бейсебаева, А.Ж. Наурзбаева

Күннің радиосәулеленуі мен айнымалы жұлдыздар сигналдарының информациялы-энтропиялық және жалпылама метрикалық сипаттамалары анықталған. Ұсынылған жаңа әдіс әр түрлі астрофизикалық сигналдарды сандық түрде топтастыруға мүмкіндік беретіні көрсетілген.

ENTROPIC-METRIC DIAGRAMS OF ASTROPHYSICAL OBJECTS

Z.Zh. Zhanabaev, N.Sh. Alimgazinova, A.S. Beisebayeva, A.Zh. Naurzbayeva

Informational - entropic and generalized metrical characteristics of solar radio-wave radiation and variable stars signals have been determined. It is shown, that suggested new method allows to classify different types of astrophysical signals quantitatively.