

Ш.Ш. Гусейнов¹, В.М. Сомсиков², С.Ш. Гусейнов¹, А. Б. Андреев², В.И. Капытин²

¹Шамахинская Астрофизическая Обсерватория им. Н. Туси;

²Национальная Академия Наук Азербайджана, Баку, Азербайджан;

ДТОО «Институт Ионосферы», Алматы;

shirin.guseyn@gmail.com, vmsoms@rambler.ru, sedi-huseynov@mail.ru,

alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕСТАЦИОНАРНЫХ И КОРОТКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация: В работе представлены результаты обработки временных рядов радиоизлучения Солнца методом динамического фрактального анализа. Необходимость использования данного метода продиктована нелинейностью и диссипативностью протекающих процессов. Обнаружено, что если найденные значения фрактальной оценки $1 < D_t < 1.5$, полученные на основе временных рядов флуктуаций радиоизлучения Солнца, то тогда существующий ряд имеет персистентный (инерционный) характер. Исследование 5-и протонных событий показало, что значение вычисленной степени фрактальной размерности обратно пропорционально мощности протонного события. Установлено, что использование динамического метода фрактального анализа в радиоастрономических временных рядах, позволяет учитывать управление сдержанной хаотичностью физического состояния, вызванным процессами, происходящими на Солнце, и его взаимодействием с атмосферой Земли. Это позволяет качественно и количественно оценить энергетический баланс исследуемого нами объекта. Таким образом, современный динамический метод - фрактальный анализ, дает более реалистичные результаты при исследовании нестационарных процессов, происходящих на Солнце. Применение на практике современного динамического метода фрактального анализа дало возможность определить динамические параметры (эволюция пятен, прогноз вспышечных событий и оценка их мощность и др.) на Солнце.

Ключевые слова: солнечная радиация, нестационарные временные ряды, синергетика, фрактальный анализ, прогнозирование, космическая погода.

Введение

К концу XX века российский радиофизик О.И. Юдин, исследовавший солнечное радиоизлучение, подтвердил существование его флуктуаций, связанных с физическими процессами, происходящими на Солнце. Научный сотрудник Радиофизического научно-исследовательского института, расположенного в Нижнем Новгороде в 70-х годах того же века, проф. М.М. Кобрин (вместе со своими сотрудниками) начал публиковать научные результаты, подтверждающие, что динамика этих флуктуаций связана с солнечными вспышками, которые не редко сопровождаются

протонными событиями [1,2]. Протонное событие – является одним из самых важных и опасных проявлений космической погоды и требует тщательного и всестороннего изучения. Несмотря на то, что эти наблюдения проводятся на радиоастрономических телескопах с диаметром 2÷100 метров и работающих на частотах $f=1\div 17$ ГГц на территориях разных стран, в настоящее время полученные результаты существенно противоречат друг другу. Основные причины этого были частично объяснены в работе [3]. Применение преобразования Фурье и его различных модификации на основе флуктуаций солнечного радиоизлучения

является наиболее важным из этих причин, хотя эти классические методы позволяют получить более реалистичные результаты при исследовании стационарных и линейных процессов.

За последние несколько десятилетий исследователи обнаружили, что в природе постоянно происходят процессы, которые не могут быть интерпретированы в рамках линейных теорий колебаний и волн. Это относится к процессам эволюции, то есть к процессам возникновения, развития и распада новых физических структур. Как правило, такие процессы сопровождаются ростом хаотичности. Причем хаотичность не редко имеет детерминированный характер.

Чтобы понять суть эволюционных процессов возникновения и развития физических структур, изучить их природу, необходимо использовать методы нелинейной динамики [8]. Эти методы позволяют изучать детерминированные процессы с учетом эволюционной нелинейности. Понятие эволюционной нелинейности возникло в теории «физики эволюции», в задачи которой входит описание процессов возникновения, эволюции и распада открытых неравновесных динамических систем (ОНДС) в рамках фундаментальных законов физики [6,13,14]. К ОНДС относятся все природные системы, включая солнечные вспышки. Постоянный процесс эволюции систем как раз и обусловлен их открытостью, изменениями внешних условий, неравновесностью природных систем [4, 6].

Для изучения временных рядов записи параметров, отражающих эволюционные динамические процессы, можно использовать различные нелинейные методы. В частности методы неравновесной динамики. Их особенность заключается в том, что они позволяют выявлять детерминированные процессы, разделять детерминированный хаос от случайного хаоса (часто случайный, или недетерминированный хаос называется шумом), определять размерность уравнений, которые описывают данные процесс [7].

За последние 30 лет специалисты и эксперты в различных областях науки разработали методы для изучения природы эволюционных процессов, происходящих в

живых и неживых объектах в мире. Некоторые из них широко освещены в монографиях и учебниках [5,6,7,8]. Исследование временных рядов записи интенсивности радиоизлучения Солнца, основанное на наших наблюдениях в любых ОНДС, состоит в определении его структуры и изучении процессов их эволюции.

Основываясь на вышеупомянутых научных работах, в предлагаемой работе путем применения методов фрактального анализа к временным рядам, полученным по радиоастрономическим наблюдениям Солнца, сделана попытка приблизиться к пониманию вспышечного процесса и его влияния на атмосферу Земли.

2. Обработка и использование данных наблюдений

В качестве наблюдательных данных использовались 12 изолированных солнечных радио всплесков с мощностью $2 \leq K \leq 3$ баллов. Нами использованы данные радио поляриметров, работающих на частотах $f=1, 2, 3$ и 4 ГГц, полученные в 2010-15 гг., в Нобеямской радио обсерватории (Япония) и данные австралийской обсерватории в Лермонтеза 2014 г. Информация для математической обработки взята с сайтов <https://solar.nro.nao.ac.jp/>, <http://www.sws.bom.gov.au>. Временные ряды основаны на дискретных значениях $\Delta t = 1$ мин. Кроме того, нами также были использованы материалы наблюдений проводимый на 12-метровом радиотелескопе на частотах $f=1$ ГГц и $f=3$ ГГц в Институте ионосферы Республики Казахстан за период 2010-15 гг.

Наблюдения за Солнцем, продолжались регулярно, с 08:00 до 18:00 (по местному времени) на длинах волн 10.7 и 27.8 см. Учитывая, что дискретный объем полученных данных составляет $\Delta t = 5$ секунд, количество ежедневных данных за 7-8 часов составляет $N= 5400-5700$. Эти материалы были использованы только для определение локального положение (начало, максимум и конец) солнечного вспышки (всплесков) и сравниваем его с уровнем радиоизлучение Солнца полученные с помощью радио поляриметра Нобеяма.

При исследовании предвспышечных состояний в центрах активности с разви-

вающимися группами пятен, дающими вспышки с силой ≥ 2 баллов, было установлено, что в радио спектрах сантиметрового радиоизлучения Солнца усиливаются пульсации с характерными времени $t_x \geq 25$ минут. Для подтверждения этого факта использовались материалы наблюдений с 1979-82 гг. и 1989-90 гг. на радиотелескопе РТ-12 Института Ионосферы Республики Казахстан, РТ-22 Радиоастрономической станции Физического института РАН. Предполагаемые радио-вспышки и данные их наблюдений вокруг них были обработаны с использованием метода динамического преобразования Фурье (ДФФ) и метода фрактального анализа (МФА) [3,9].

В период 24-ого цикла солнечной активности, благодаря совместным исследованиям, кроме протонных событий, имевших место 17 мая и 6 января 2014 года, были установлены три протонных события - 27 января, 7 марта и 13 марта 2012 года [9]. В период этих протонных событий произошло увеличение солнечной радиации на Земле.

Мы изучили временные ряды, связанные со вспышечными процессами, которые, в свою очередь, были связаны с эволюцией пятен (изменения полей, увеличение интенсивности) и вариацией в диапазоне $5.5 \leq M \leq 8.7$ баллов. В настоящее время интенсивность возмущений во время протонных событий оценивается по пятибалльной шкале от R1 (для M балловой вспышки), до R5 (M-12.5) для самой яркой вспышки.

3. Результаты обработки данных наблюдений и их анализ

За последние 25 лет в различных областях науки: в физике, геофизике, радиофизике, биологии, медицине и экономике, широко используются такие современные методы, как фрактальный анализ, вейвлет-преобразование. Они используются для анализа временных рядов, которые отражают динамику нестационарных процессов [3]. Применение метода фрактального анализа к радиоастрономическим временным рядам отражено в [3,10]. Определение степени хаотичности временных рядов является основной сутью фрактального анализа. Существуют различные способы определе-

ния степени фрактального измерения. Простой метод R/S для нестационарных временных рядов предложен английским гидрологом Херстом [11]. В этом методе, степень фрактального измерения - D_t основана на показателе H_t -Херста.

В данной работе с помощью модифицированного фрактального анализа были проанализированы радиоастрономические временные ряды, составленные на основе 12 мощных вспышек и 5 протонных событий (за 3 дня до события, день событий и через два дня после события).

Для анализа процесса солнечной вспышки нами использовались временные ряды на основе локальных скачков, когда число дискретных точек $100 \leq N \leq 300$ относительно незначительно, мы использовали усовершенствованную Эрик Нейманом эмпирическим методом формулу [12]:

$$H_t = \ln(R/S) / \ln(\pi + \frac{N}{2}) (-0,0011 * \ln N + 1.0136) \quad (1)$$

Здесь $a = \pi/2$ - заданная положительная постоянная.

Анализируя природные явления, Херст пришел к выводу, что, если число дискретных значений незначительно, то значение $a=0.5$ более реально отражает значение этой константы. Тогда $\pi = 2a = 2 \cdot 0.5 = 1$. Мы, в следующих вычислениях использовали формулу (1), где, N - количество данных наблюдения временных данных, S - средний квадрат наклона наблюдательных рядов, R - значение размаха внутри границы.

В качестве расчетной точки Херст использовал формулу $R = \sqrt{T}$, которую он взял из труда Эйнштейна о Броуновском движении частиц, где T - показатель времени. Оценки фрактального измерения по показателю Херст - D_t определяются по следующей простой формуле:

$$D_t = 2 - H_t \quad (2)$$

На основе временных рядов полученных до, во время и после вспышки определены оценки фрактального измерения - D_t :

$$0.5 < H_t \leq 1; \quad 1 < D_t < 1.5 \quad (3)$$

Показатели позволяют сделать вывод о том, что временные ряды, основанные на радиоастрономических колебаниях, это непрерывные временные ряды. Если $H_t \approx$

$0.5; D_t \approx 1.5$, то процесс определяется как случайный. Результаты статистической и динамической обработки данных наблюдений представлены на следующих таблицах:

В таблице 1, на основе радиоастрономических временных рядов на основе вспышечных событий представлены показатели Херста и оценки фрактальной размерности. Из Таблицы 1 видно, что при приближении дня событий (день вспышки) хаотичность заменяется более гладкой хаотичностью.

В Таблице 2 представлены оценки фрактальной размерности для произошедшего вспышечного события за разные временные интервалы в 07.03.2011 г.

В Таблице 3 в разные дни зависимость между мощностью протонных событий и оценкой фрактальной размерности

Таблица 1 – Показатели Херста и оценки фрактального анализа

Дата протонных событий (день, месяц и год)	05.03.2012	09.03.2012	13.03.2012	07.03.2012
Мощность протонных событий	M 5.5	M 6.3	M 7.9	X5.5; X1.5 α - β - γ
Оценки фрактальной размерности	1.272	1.260	1.246	1.193

Таблица 2 – Оценки фрактальной размерности

Дни, месяц, год	3.03.2011	4.03.2011	5.03.2011	6.03.2011	7.03.2011 День вспышки	8.03.2011	9.03.2011
Показатель Херста H_t	0.827	0.825	0.828	0.814	0.766	0.825	0.830
Фрактальная размерность D_t	1.172	1.174	1.171	1.185	1.233	1.174	1.169

В работе на основе анализов 5-ти протонных событий нам удалось сделать вывод, что между величиной фрактальной размерности и мощностью протонных событий имеет место обратная зависимость.

На рисунке 1 приведены значения показателя Херста за 2014г для обсерватории в Лермонте. Каждому дню в году соответствует единственное значение показателя Херста. Проводилось сравнение показателей Херста во время сильных вспышек, в дни после и перед вспышками, и в дни когда вспышек не было. Информация взята с сайта <https://www.spaceweatherlive.com/ru/>

Таблица 3 – Зависимость между мощностью протонных событий и оценкой фрактальной размерности

День вспышки	Продолжительность вспышка	Во время событий D_t
7.03.2011	1) 04.54÷05.40	1.157
	2) 07.55÷08.41	1.171
	3) 09.00÷09.50	1.168

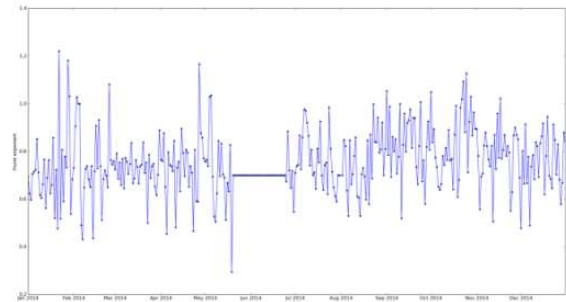


Рисунок 1 – Значения показателей Херста в зависимости от дня года(2014 г.)

Как видно из Таблицы 4 показатель Херста в период вспышки меняется.

Таблица 4 – Оценки показателей Херста для крупных солнечных вспышек за 2014 г.

дата	классификация	Показатель Херста
24.02.2014		0,647
25.02.2014	X4.9	1,082
26.02.2014		0,766
23.10.2014		1,097
24.10.2014	X3.1	0,882
25.10.2014		1,126
05.05.2014		1,034
06-09.05.2014	M1.8	0,694-0,626
10.05.2014		0,824
06.01.2014		0,722
07.01.2014	X1.25	0,852
08.01.2014		0,716

Он может как увеличиваться так и уменьшаться. В дни без вспышек показатель Херста меняется в пределах от 0,7 до

0,85, что соответствует показателю Херста для природных систем (Рисунок 2).

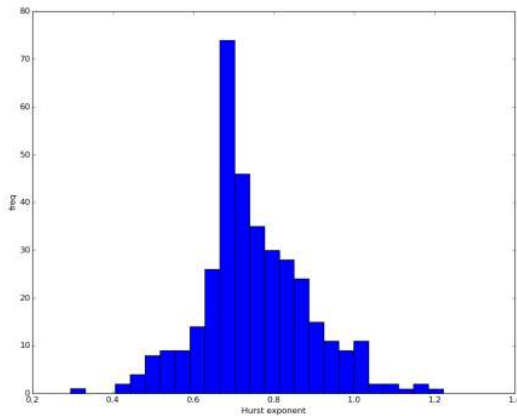


Рисунок 2 – Гистограмма распределения показателя Херста

Заключение

Анализ результатов статистической обработки данных о солнечных вспышках за несколько лет наблюдений позволяет сделать следующие выводы:

1. Установлено, что за 1-3 дня до вспышки мощностью $2 \leq K \leq 3$ баллов, преобладают пульсации с характерным временем изменения $t_x \geq 35$ мин.

2. Обнаружено, что временные ряды флуктуаций солнечного радиоизлучения, в соответствии с определенным значением фрактала $1 < D_t < 1.5$ являются непрерывными (инерционными) временными рядами. Другими словами, с приближением вспышечных процессов, хаотичность заменяется более гладко определенной хаотичностью.

3. Исследование 5-и протонных событий показало, что значение вычисленной степени фрактальной размерности обратно пропорционально мощности протонного события. Более точнее, за 1-3 дня до протонного события $D_{t(\text{сильная})} < D_{t(\text{слабая})}$ - условия сохраняются.

4. Установлено, что использование динамического метода фрактального анализа в радиоастрономических временных рядах, позволяет учитывать управление сдержанной хаотичностью физического состояния, вызванным процессами, происходящими на Солнце, и его взаимодействием с атмосферой Земли. Это позволяет качественно и количественно оценить энергетический баланс исследуемого нами объек-

та. Таким образом, современный динамический метод - фрактальный анализ, дает более реалистичные результаты при исследовании нестационарных процессов, происходящих на Солнце.

Литература

1. О.И. Юдин. Квазипериодические низкочастотные флуктуации радиоизлучения Солнца, Доклады АН СССР, 180 (1968) 821-823.
2. М.М. Kobrin, A.I. Korshunov. On quasi-periodic components with periodic from 30 to 60min of amplitude fluctuations of X-band solar radio emission, Sol. Phys., 25 (1972) 339-342.
3. Ş.Ş. Hüseyinov, S.Ş. Hüseyinov. Santimetrlik-destimetrlikdalğauzunluğundaGünəşradioşulalanmasıfluktuasiyalarınınzamansızlarınınstatistikvədinamiktədqiqi, "Aviakosmikproblemlərinhəllindəgənclərinayaradıcısıpotensialı" III-beynəlxalqelmi-praktikigənclərkonfransı, (2018) 171-173.
4. И. Пригожин. От существующего к возникающему, М.: Наука, (1980) 342.
5. И. Пригожин, И.Стингерс. Время - хаос, квант, К решению парадокса времени.-М.: Эдиториал УРСС, (2001) 239.
6. В.М. Сомсиков. К основам физика эволюции, Алматы, (2016) 306.
7. А.Ю. Лоскутов. Основы теории сложных систем, М.: Регулярная и хаотическая динамика, (2007) 311.
8. А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. Введение в синергетику, М: Наука, (1990) 272.
9. Ш.Ш. Гусейнов, И.Г. Гахраманов, С.Ш. Гусейнов, В.М. Сомсиков и др. Исследование характеристик параметров солнечных радио всплесков - как эффективный критерий прогнозирования космической погоды, AzarbaijanAstronomicalJournal, 11 №2 (2016) 20-26.
10. Ш.Ш. Гусейнов. Некоторые особенности характеристик хаотических колебаний, Fizika, AMEA-ninFizikaİnstitutu, №3 (2002) 31-34.
11. H.E. Hurst. Long Term Storage Capacity of Reservoirs: an experimental study, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 116 (1951) 770-799.
12. Э. Найман. Как покупать дешево и продавать дорого: Пособие для разумного ин-

вестора, М.: «Альпина Паблишерз», (2011) 552.
13. V.M. Somsikov Deterministic irreversibility and the matter structure. Journal of Advances in Physics. V. 16. (2019) ISSN: 2347-3487 <http://cirworld.com/index.php/jap> p. 21-33.

14. V.M. Somsikov. Deterministic mechanism of irreversibility. Journal of Advances in Physics. V. 14. Is. 3. 5708-5733p. DOI: 10.24297/jap.v14i3.7759 ISSN: 2347-3487 .

Принято к печати 10.05.2018

Ш.Ш. Гусейнов¹, В.М. Сомсиков², С.Ш. Гусейнов¹, А. Б. Андреев², В.И. Капытин²

¹Шамахинская Астрофизическая Обсерватория им. Н. Туси;
²Национальная Академия Наук Азербайджана, Баку, Азербайджан;
ДТО «Институт Ионосферы», Алматы;
shirin.guseyn@gmail.com, ymsoms@rambler.ru, sedi-huseynov@mail.ru,
alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕСТАЦИОНАРНЫХ И КОРОТКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация: В работе представлены результаты обработки временных рядов радиоизлучения Солнца методом динамического фрактального анализа. Необходимость использования данного метода продиктована нелинейностью и диссипативностью протекающих процессов. Обнаружено, что если найденные значения фрактальной оценки $1 < D_t < 1.5$, полученные на основе временных рядов флуктуаций радиоизлучения Солнца, то тогда существующий ряд имеет персистентный (инерционный) характер. Исследование 5-и протонных событий показало, что значение вычисленной степени фрактальной размерности обратно пропорционально мощности протонного события. Установлено, что использование динамического метода фрактального анализа в радиоастрономических временных рядах, позволяет учитывать управление сдержанной хаотичностью физического состояния, вызванным процессами, происходящими на Солнце, и его взаимодействием с атмосферой Земли. Это позволяет качественно и количественно оценить энергетический баланс исследуемого нами объекта. Таким образом, современный динамический метод - фрактальный анализ, дает более реалистичные результаты при исследовании нестационарных процессов, происходящих на Солнце. Применение на практике современного динамического метода фрактального анализа дало возможность определить динамические параметры (эволюция пятен, прогноз вспышечных событий и оценка их мощность и др.) на Солнце.

Ключевые слова: солнечная радиация, нестационарные временные ряды, синергетика, фрактальный анализ, прогнозирование, космическая погода.

¹Guseynov S.Sh., ²Somsikov V.M., ¹Guseynov S.Sh., ²Andreev A. B., ²Kapytin V.I.

¹Shamakhy Astrophysical Observatory named after N. Tusi;
National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan;

²Ionosphere Institute, Almaty;
shirin.guseyn@gmail.com, ymsoms@rambler.ru, sedi-huseynov@mail.ru,
alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru

SIMULATION OF THE STRUCTURE OF NON-STATIONARY AND SHORT TIME SERIES OF SOLAR RADIATION BASED ON FRACTAL ANALYSIS

Abstract. The paper presents the results of processing the time series of solar radio emission by the method of dynamic fractal analysis. The need to use this method is dictated by the nonlinearity and dissipativity of the processes. It was found that if the found values of the fractal estimate $1 < D_t < 1.5$, obtained on the basis of the time series of fluctuations in the solar radio emission, then the existing series has a persistent (inertial) character. The study of 5 proton events showed that the value of the calcu-

lated degree of fractal dimension is inversely proportional to the power of the proton event. It is established that the use of the dynamic method of fractal analysis in radio astronomy time series makes it possible to take into account the control of the restrained randomness of the physical state caused by the processes occurring on the Sun and its interaction with the Earth's atmosphere. This allows us to qualitatively and quantitatively evaluate the energy balance of the object we are studying. Thus, the modern dynamic method - fractal analysis, gives more realistic results in the study of unsteady processes occurring on the Sun. The practical application of the modern dynamic method of fractal analysis made it possible to determine the dynamic parameters (evolution of spots, forecast flare events and estimate their power, etc.) on the Sun.

Key words: solar radiation, non-stationary time series, synergetics, fractal analysis, forecasting, space weather.

Ш.Ш. Гусейнов¹, В.М. Сомсиков², С.Ш. Гусейнов¹, А. Б. Андреев², В.И. Капыгин²

¹*Н. Туси атындағы Шамахи астрофизикалық обсерваториясы;*

Әзірбайжан Ұлттық Ғылым Академиясы, Баку, Әзірбайжан;

²*“Ионосфера институты” ЕЖШС, Алматы;*

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы.

shirin.guseyn@gmail.com, vmsoms@rambler.ru, sedi-huseynov@mail.ru,

alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru

ФРАКТАЛЬДЫ АНАЛИЗ НЕГІЗІНДЕ КҮН РАДИОСЫ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫНЫҢ ТҰРАҚСЫЗ ЖӘНЕ ҚЫСҚА УАҚЫТТЫҚ ҚАТАРЛАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН МОДЕЛЬДЕУ

Аннотация. Мақалада күн радиосының шығарылуының уақыттық қатарларын динамикалық фракталдық талдау әдісімен өңдеу нәтижелері келтірілген. Бұл әдісті қолдану қажеттілігі процестердің сызықты емес және диссипативті болуына байланысты. Егер күн радиосының сәулеленуіндегі тербелістердің уақыт сериясы негізінде алынған $1 < D_t < 1.5$ фрактальды сметаның табылған мәндері табылса, онда бар сериялар тұрақты (инерциялық) сипатқа ие болатындығы анықталды. 5 протондық оқиғаны зерттеу фракталдық өлшемнің есептік дәрежесінің мәні протон оқиғасының күшіне кері пропорционал екенін көрсетті. Радиоастрономияның уақыттық қатарларында фракталдық анализдің динамикалық әдісін қолдану Күнде болып жатқан процестердің және оның Жердің атмосферасымен әрекеттесуінен туындаған физикалық күйдің шектелген кездейсоқтықты бақылауды ескеруге мүмкіндік беретіндігі анықталды. Бұл біз оқып жатқан объектінің энергетикалық балансын сапалы және сандық бағалауға мүмкіндік береді. Осылайша, заманауи динамикалық әдіс - фракталдық талдау, Күнде болып жатқан тұрақсыз процестерді зерттеуде анағұрлым нақты нәтижелер береді. Фрактальды талдаудың заманауи динамикалық әдісін тәжірибеде қолдану Күннің динамикалық параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді (дактар эволюциясы, алаудың алдын-алу шаралары және олардың қуатын бағалау және т.б.).

Түйінді сөздер: күн радиациясы, стационар емес уақыт қатарлары, синергетика, фракталдық талдау, болжау, ғарыш райы.