

УДК 523.9

О предвестниках солнечных вспышек в сентябре 2017 года

¹ Вольвач А. Е., ² Коган Л. П., ¹ Вольвач Л. Н., ¹ Якубовская И. В.

¹ Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория РАН,
Ялта, 298688, Российская Федерация

² Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
ул. Ильинская, д. 65, г. Нижний Новгород, 603000, Российская Федерация
volvach@bk.ru

Получено: 3 июля 2023 г.

Отрецензировано: 7 июля 2023 г.

Принято к публикации: 12 июля 2023 г.

Аннотация: Рассмотрена солнечная вспышка X9.3, произошедшая 6 сентября 2017 года. Изучение вариаций свойств мелкомасштабных флуктуаций плотности вероятности потоков солнечного рентгеновского излучения с космического аппарата GEOS позволило выделить набор повторяющихся перед всяпышкой событий. За 20—70 часов до вспышки предшествует серия от 1 до 8 предвестников.

Ключевые слова: Солнце, рентгеновское излучение, вспышки, предвестник.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): О предвестниках солнечных вспышек в сентябре 2017 года / А. Е. Вольвач и др. // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2023. Т. 6, № 4. С. 367—373.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): О предвестниках солнечных вспышек в сентябре 2017 года / А. Е. Вольвач, Л. П. Коган, Л. Н. Вольвач и др. // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2023. Т. 6, № 4. — С. 367—373.

1. Введение

С двухленточной белой вспышки, которую зарисовал Кэррингтон 1 сентября 1859 года, начинается современная солнечно-земная физика. Последствия этой вспышки — полярные сияния на Кубе, выход из строя телеграфных аппаратов. Это была впервые документально зафиксированная техногенная катастрофа, вызванная вспышкой на Солнце.

С тех пор получено много подтверждений весьма существенного влияния Солнца на состояние межпланетной среды, околоземного космического пространства, атмосферы, биосферы и техносферы Земли.

Прогнозы солнечной активности разделяются по заблаговременности, т. е. по срокам, на которые дается прогноз. Каждый тип прогноза имеет свой набор прогнозируемых и исходных параметров. Обычно рассматриваются 4 типа прогнозов разной заблаговременности. Первый тип — диагностика: когда событие уже произошло и необходимо спрогнозировать последствия. Следующие 3 типа прогнозов и их заблаговременность: краткосрочный прогноз с заблаговременностью от нескольких часов до 3 дней; при среднесрочном прогнозе рассматривается время, соизмеримое с оборотом Солнца (27 дней) и долгосрочные прогнозы определяют характеристики 11-летнего солнечного цикла.

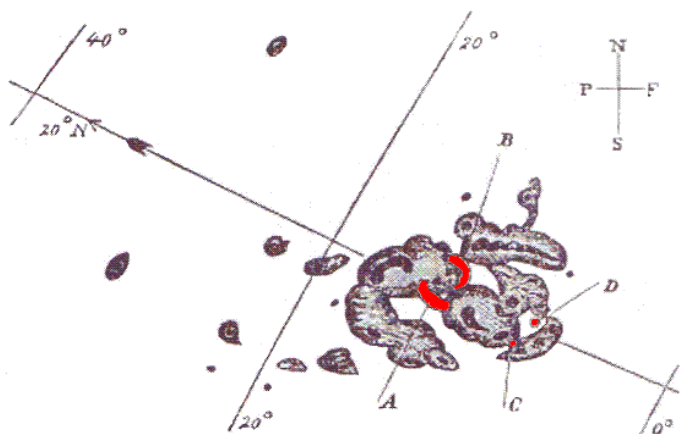


Рис. 1. Зарисовка Кэррингтона группы солнечных пятен со вспышкой в белом свете. Узлы вспышки обозначены буквами А, В, С, D и окрашены красным.

Fig. 1. Carrington's sketch of a group of sunspots with a flash in white light. Flash nodes are labeled A, B, C, D and colored red

Все типы прогнозов создаются на основе статистических исследований исходных параметров — отдельных характеристик солнечной активности, получаемых из регулярных наблюдений Солнца в разных спектральных диапазонах, от жесткого рентгена до длинноволнового радиоизлучения. Обычно для построения прогностического правила используется метод построения эпигноза. По многим наблюдениям, предшествующим реальным событиям (например, вспышкам), определяются каким-либо методом наиболее вероятные значения исходных параметров, за которыми последовала вспышка.

Задача получения физического прогноза событий солнечной активности занимала и занимает многих исследователей, но до сих пор не решена.

В этой статье с целью прогнозирования вспышек на Солнце используется подход, предложенный в [1—3] применительно к предсказанию приближающихся землетрясений. Далее рассматриваются свойства статистического функционала, введенного в указанных работах, применительно к измерениям интенсивности рентгеновского излучения Солнца, относящихся к периодам 15 августа — 6 сентября 2017 года. Данный промежуток включает как время подготовки, так и реализации вспышки большой интенсивности. Применяемая методика связана со статистическим эффектом уменьшения амплитуды мелкомасштабных вариаций плотности вероятности любого случайного процесса при появлении в его составе даже малого дополнительного слагаемого, которое можем считать независимым или слабо зависимым от фонового шума. Этот термин обозначает совокупность обычно наблюдаемых процессов (включая, в частности, шумы измерительной аппаратуры). Такие явления полагаем не связанными или слабо связанными с возмущениями, которые соответствуют процессам подготовки взрывов, далее происходящих в фотосфере Солнца.

2. Наблюдения и метод

Для анализа использовались данные солнечного рентгеновского излучения с космического аппарата *GEOS*. В 12:02UT 6 сентября 2017 года практически в центре солнечного диска в районе *AR2673* была зафиксирована вспышка *X9.3* (рис. 2). Вспышка сопровождалась ассиметричным полным ореолом коронального выброса массы, наблюдаемого в изображениях *SOHO/LASCO C2* в 06/1224 UTC. Мощной вспышке предшествовала более слабая (*X2.2*), которая произошла в той же области.

Как и в [1], в этом случае статистический функционал вида

$$L(n) = \frac{A}{M} \sum_{l=n-(M-1)}^n |\mathcal{L}_l|, \quad \mathcal{L}_l = \sum_{m=0}^{N-1} (-1)^m P_{m,l} \quad (1)$$

при $A = 1000$ и $M = 10$. Любой множитель $P_{m,l}$ (здесь l — номер отрезка реализации) есть вероятность попадания значений функции $\sin[x(t)]$ (см. [1, 2]) в l -й интервал диапазона значений вида

$$\sin[x(t)]_{\min} + mh \leq \sin[x(t)] < \sin[x(t)]_{\min} + (m+1)h, \quad 0 \leq m \leq N-1. \quad (2)$$

В (2) интервал дискретизации $h = 0.1$, что соответствует в (1) и (2) $N = 20$. В качестве случайного процесса $x(t)$, во всех случаях рассматриваются измерения интенсивности рентгеновского излучения Солнца.

3. Обработка и результаты

Далее во всех случаях при проведении статистического анализа с помощью методики [1] рассматриваются данные измерений в рентгеновских диапазонах (а) 0.5—4 Å, см. рис. 3а) и (b) (1.0—8.0 Å, см. рис. 3б). На всех рисунках первая точка кривой $L(n)$, с учетом усреднения по первым 10 интервалам в 3000 секунд (см. (1)) соответствует моменту времени $n = 500 \text{ min} \approx 8.33 \text{ h}$ от времени начала измерений. Определения локальных трендов (ЛТ) каналов, скользящих границ, дополнительных и направляющих точек в целом совпадают с [1].

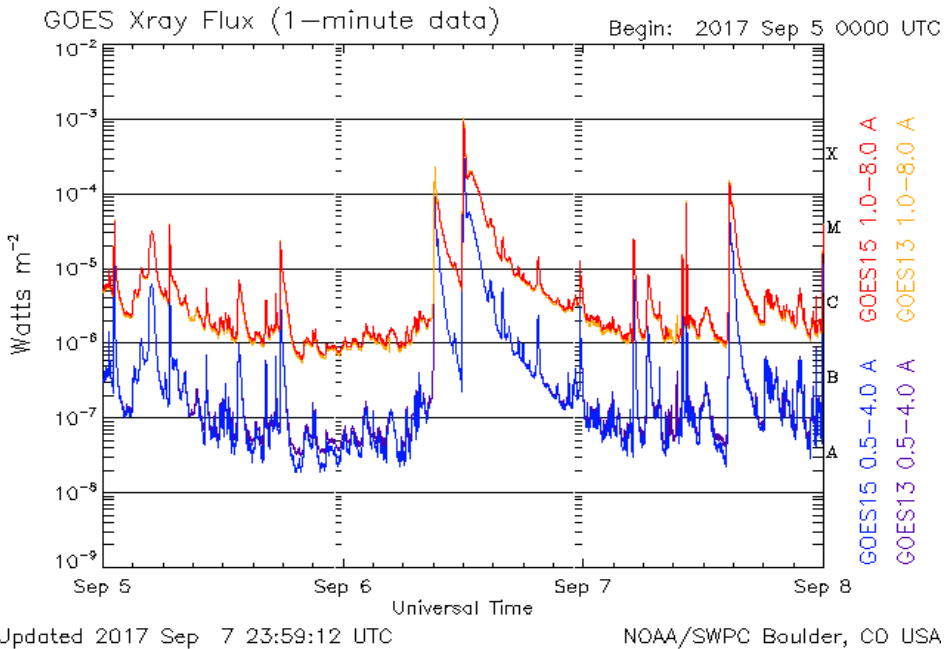


Рис. 2. Данные солнечного рентгеновского излучения GEOS с 5 по 7 сентября 2017 года.

Fig. 2. GEOS solar X-ray data from September 5 to 7, 2017

Полагаем, что определенные в [1] углы $\Delta\alpha$ между границами каналов, коэффициенты отклонения δ для дополнительных точек, минимально возможное удаление Δn по горизонтали от точки границы ЛТ до кривой $L(n)$, соотношение ζ расстояний по оси абсцисс между тремя направляющими точками, отвечающими скользящей границе и максимальное отклонение Δs кривой $L(n)$ от отрезка длиной Δl , соединяющего начальную и конечную точки любого ЛТ, удовлетворяют условиям $\Delta\alpha \leq 1.4^\circ$, $\delta \leq 1.2\%$,

$\Delta n \geq 12 h$, $\zeta \leq 7/2$, $\Delta s \leq 0.1 \Delta l$. На всех рисунках дополнительные точки выделены сплошными, а критические точки (в которых имеет место одновременное тестирование кривой $L(n)$ двух и более каналов и/или скользящих границ) — пунктирными эллипсами. Моменты фиксации предвестников обозначаются вертикальными пунктирами. При совпадении времени регистрации нескольких предвестников им сопоставляются на рисунках соответствующее число одинаковых по высоте и близко расположенных таких пунктирных линий. Любой интервал $T_1, T_2, T_3 \dots$ обозначает время от регистрации предвестника до начала серии вспышек (Fig. 3).

На рис. 3а,б построена зависимость $L(n)$ по измерениям за 00:00 15.08.2017 — 23:59 06.09.2017. (Исследуются вспышки класса X2.2, X9.3, M2.5, M1.4 и M1.2; моменты начала 06.09.2017 в 8.57, 11.53, 15.51, 19.21 и соответственно 23.33.) Для рис. 2а получаем $T_1 = 279 h, T_2 = 222 h, T_3 = 126 h, T_4 = T_5 = 113 h, T_6 = T_7 = 54 h$ и $T_8 = 37 h$. Здесь T_1, T_2, T_3, T_4, T_7 и T_8 соответствуют каналам 1–2, 3–4, 9–10, 5–6, 10–11 и 7–8, а промежутки T_4 и T_5 отвечают скользящим границам 4 и 9. Три из восьми моментов регистрации предвестников сосредоточены на промежутке длительностью 54 часа перед началом события. Для рис. 2б значения $T_1 = 245 h, T_2 = 228 h, T_3 = 102 h, T_4 = 88 h, T_5 = 64 h, T_6 = 10 h, T_7 = 7 h$ и $T_8 = 6 h$. Интервалы T_1 и T_2 отвечают четвертому и пятому тестированиям для скользящей границы 1, промежутков T_3 — четвертому тестированию для скользящей границы 3, тогда как T_{4-7} и T_8 соответствуют каналам 3–4, 7–8, 1–2, 9–10 и 5–6. Четыре из восьми моментов регистрации предвестников сосредоточены на промежутке длительностью 64 часа перед началом события.

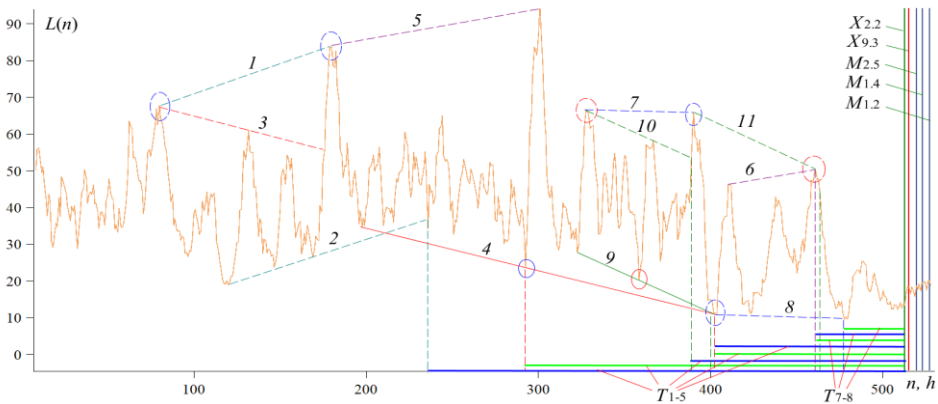


Рис. 3а. Серия вспышек 06.09.2017, диапазон (а).

Fig. 3a. Series of outbreaks 09/06/2017, range (a)

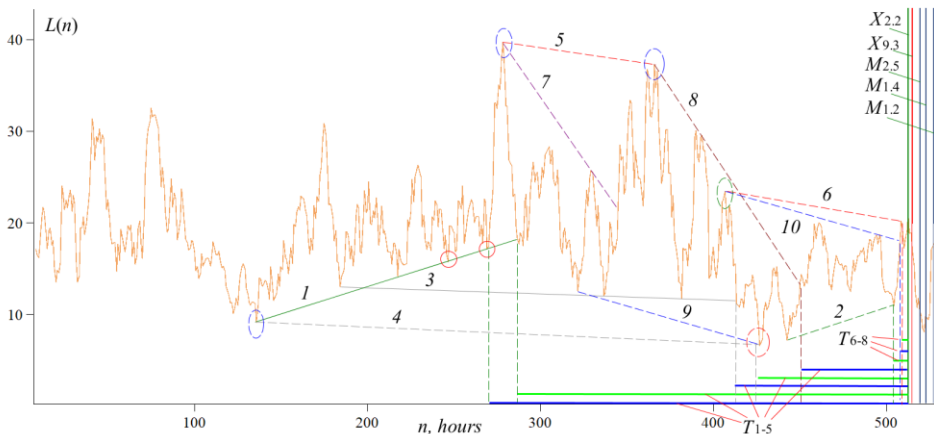


Рис. 3b. Серия вспышек 06.09.2017, диапазон (b).

Fig. 3b. A series of outbreaks on 09/06/2017, range (b)

4. Выводы

С помощью предлагаемого применения для зависимости $L(n)$ удалось выявить совокупность повторяющихся графических явлений, которые предшествуют солнечным вспышкам и поэтому могут быть интерпретированы как их предвестники. За 20—70 часов перед событием ему предшествует серия из трех и более предвестников.

Список литературы

1. Volvach A. E., Kogan L. P., Kanonidi K. H., et al. Changes in the properties of the statistics of physical and biophysical fields as earthquake precursor // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2022. Т. 108. 106200.
2. Kogan L. P., Bubukin I. T., Shtenberg V. B. To the question of calculating the probability of strong earthquakes in real time // *Chaos, Solitons and Fractals*. 2021. Т. 145. 110807.
3. Kogan L. P. Change in statistical functionals of critical frequency prior to strong earthquakes // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. Т. 55, № 4. С. 507—520.

Информация об авторах

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым.

Коган Лев Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, Россия.

Вольвач Лариса Николаевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым.

Якубовская Инна Валерьевна, младший научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым.

On the Precursors of Solar Flares in September 2017

A. E. Volvach¹, L. P. Kogan², L. N. Volvach¹, and I. V. Yakubovskaya¹

¹Department of Radio Astronomy and Geodynamics,
Crimean Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences,
Yalta, 298688, Russian Federation

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Ilinskaya str., Nizhny Novgorod, 603000, Russian Federation

volvach@bk.ru

Received: July 3, 2023
Peer-reviewed: July 7, 2023
Accepted: July 12, 2023

Abstract: The X9.3 solar flare that occurred on September 6, 2017 is considered. The study of variations in the properties of small-scale fluctuations in the probability density of solar X-ray fluxes from the GEOS spacecraft made it possible to identify a set of events that repeat before the flare. A series of 1 to 8 precursors precedes the outbreak 20–70 hours before.

Keywords: Sun, x-rays, flares, precursor.

For citation (IEEE): A. E. Volvach et al., “On the Precursors of Solar Flares in September 2017,” *Infocommunications and Radio Technologies*, 2023, vol. 6, no. 4, pp. 367–373, doi: 10.29039/2587-9936.2023.06.4.27. (In Russ.).

References

- [1] A. E. Volvach, L. P. Kogan, K. H. Kanonidi, et al. “Changes in the properties of the statistics of physical and biophysical fields as earthquake precursor,” *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 108, 106200, 2022, doi: 10.1016/j.cnsns.2021.106200.
- [2] L. P. Kogan, I. T. Bubukin, and V. B. Shtenberg, “To the question of calculating the probability of strong earthquakes in real time,” *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 145, 110807, 2021, doi: 10.1016/j.chaos.2021.110807.
- [3] L. P. Kogan, “Change in statistical functionals of critical frequency prior to strong earthquakes,” *Geomagnetism and Aeronomy*, vol. 55, no. 4, pp. 507–520, 2015, doi: 10.1134/S0016793215040064.

Information about the authors

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Lev P. Kogan, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia.

Larisa N. Volvach, Ph.D. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Yakubovskaya I. Valerevna, junior researcher of the Crimean Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, Nauchni, Crimea, Russian Federation.