

УДК 550.343

Вольвач Александр Евгеньевич¹, зам. директора по науке КрАО РАНe-mail: volvach@bk.ru**Григорьев Геннадий Иванович**², ведущий научный сотрудникe-mail: grig19@list.ru**Заборонкова Татьяна Михайловна**^{3,4}, профессорe-mail: t.zaboronkova@rambler.ru**Коган Лев Петрович**⁵, доцентe-mail: l_kog@list.ru¹ Крымская астрофизическая обсерватория, Республика Крым, Россия² ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия³ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия⁴ ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия⁵ Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, Россия

РЕГИСТРАЦИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИЕЙ

Аннотация. Исследуются статистические свойства распределения измерений X-компоненты геомагнитного поля, проведенных в на Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) в период перед трагическим землетрясением магнитудой 7.8, произошедшим на востоке Турции в 01:17:35 6 февраля 2023.

Ключевые слова: землетрясения, статистический функционал, предвестники землетрясения.

Для выявления предвестников землетрясения применен статистический функционал, рассмотренный ранее в [1]:

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

Коэффициент $A = 1000$ дает возможность перейти к удобной для анализа области значений функционала $L(n)$ при заданной ширине $M = 100$ интервала усреднения по отрезкам реализации. Коэффициенты $P_{m,l}$ являются вероятностями попадания в интервал с номером m вида

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

для значений используемой вспомогательной функции $F[x] = \sin[x]$, обладающей, в отличие от вероятностного распределения непосредственно измеряемой случайной величины $x = x(t)$, интегрируемыми особенностями плотности вероятности. В (2) полагаем $h = 0.1$ и $N = 2h^{-1} = 20$. Статистика (2) строится по совокупности измерений X-компоненты геомагнитного поля (в единицах нТл). Продолжительность любого отрезка принята равной 300 секунд; каждой секунде отвечает одно измерение. Применяемый подход основан на отмеченном в [1] эффекте уменьшения амплитуды флуктуаций плотности вероятности магнитного поля при наличии в составе измеряемого поля

случайного процесса, независимого (или слабо зависимого) от фонового шума. При анализе статистических свойств магнитного поля используются понятия, ранее введенные в [1]. *Локальные тренды*: точки, соответствующие максимуму и минимуму локального тренда (например, точки "а" и "b" на рис. 1), называются направляющими точками. *Каналы*: пара квазипараллельных прямых, проведенных на плоскости $\{n, L(n)\}$ через направляющие точки (например, каналы 1–2 или 4–5 на рис. 1). *Тестирование* означает либо пересечение кривой $L(n)$ и одной из границ канала, либо прохождение этой границы канала на таком расстоянии ΔL_t по вертикали от направляющей точки с координатами $\{n_t, L(n_t)\}$, при котором коэффициент отклонения $\delta = \frac{\Delta L_t}{L(n_t)} \cdot 100\% \leq 1.2\%$. Момент последнего тестирования границ канала зависимостью $L(n)$ в некоторой точке (например, точка "с" для канала 1–3 или точка "е" для канала 4–5) будем рассматривать как время регистрации предвестника сейсмического события. *Скользящую границу* определим как прямую линию, которая проходит строго через две направляющие точки и тестируется кривой $L(n)$ еще в одной подобной точке (назовем ее дополнительной) при выполнении условия $\delta \leq 1.2\%$. Момент последнего тестирования скользящей границы также считаем временем регистрации предвестника.

На рис. 1 приведены зависимости функционала $L(n)$, которые соответствуют измерениям Х-компонента геомагнитного поля на магнитометре SIM, расположенном в Крыму недалеко от Ялты, в период с 00:00:00 22.01.2023 по 23:59:59 06.02.2023. По горизонтальной оси отложены дискретные значения времени n в часах, отсчитываемые от начала измерений. Сплошной вертикальной линией отмечен момент начала землетрясения с магнитудой 7.8, произошедшего на востоке Турции в 01:17:35 06.02.2023 UTC.

Интервалы $T_1 = 136$ ч, $T_2 = 127$ ч и $T_5 = 41$ ч соответствуют промежуткам времени между началом землетрясения и моментом последнего тестирования для скользких границ 2, 7 и 6, а промежутки времени $T_3 = 80$ ч, $T_4 = 41$ ч и $T_6 = 23$ ч – аналогичным моментам времени для каналов 1–2, 4–5 и 1–3. На этом рисунке сплошными и пунктирными эллипсами выделены области дополнительных и соответственно критических точек. Последний термин означает направляющие точки, через которые проведены и/или которые тестируются одновременно несколькими линейными объектами в виде границ каналов и/или скользких границ (например, точки А и В на рис. 1).

Как следует из анализа рис. 1, перед рассматриваемым землетрясением имело место возникновение серии краткосрочных предвестников. Все скользкие границы или хотя бы одна граница каждого канала проходят либо через три направляющие точки, выделенные пунктирными эллипсами, либо их тестируют. Это факт может быть интерпретирован как доказательство высокой связности сейсмических процессов на этапе «итоговой подготовки» приближающегося землетрясения.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-12-00385).

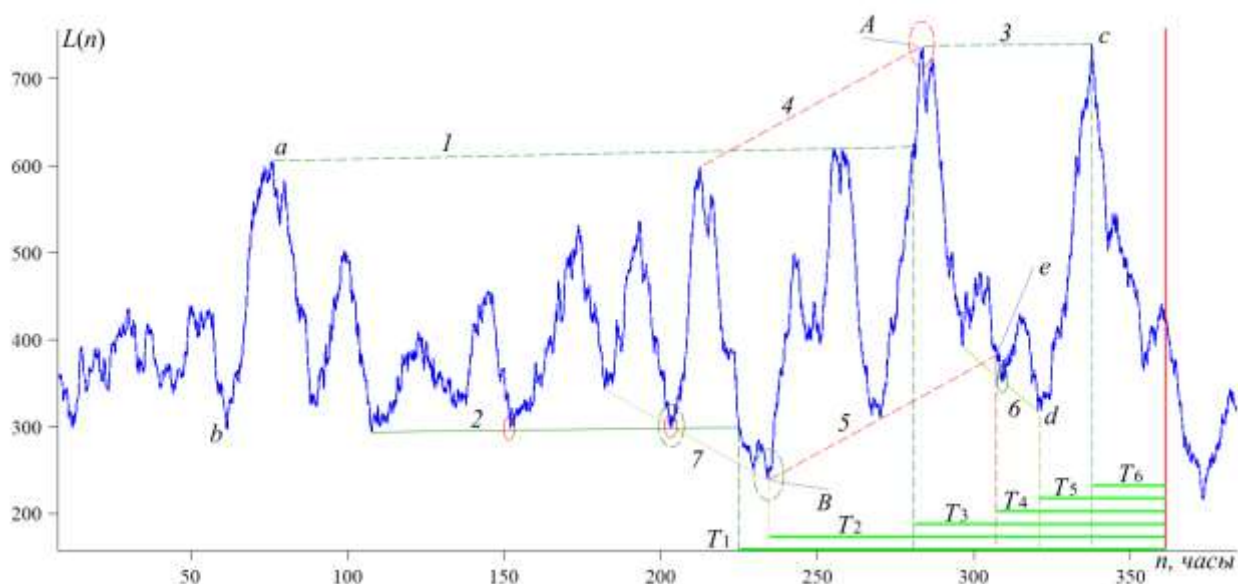


Рисунок 1 – Зависимость $L(n)$, соответствующая X-компоненте геомагнитного поля

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. – V. 108. – P. 106200 - 1 – 106200 - 18.
2. Amitrano D. Variability in the power-law distributions of rupture events, how and why does b-value change // Eur. Phys. J. – 2012. – V. 205. – P. 199 –215.3.
3. Cao, A. M., and S. S. Gao. Temporal variation of seismic b-values beneath northeastern Japan island arc // Geophysical Research Letters. – 2002. – V. 29. – № 9. – P. 1–3.

REGISTRATION OF EARTHQUAKE PRECURSORS BY THE CRIMEAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY

Aleksandr E. Volvach, Gennadii I. Grigorjev, Tatyana M. Zaboronkova, Lev P. Kogan

Abstract. The properties of the statistical distribution of X-component of geomagnetic field measurements observed at the Crimean Astrophysical Observatory (CrAO) in the period before the earthquake of magnitude 7.8 that is occurred in eastern Turkey at 01:17:35 on February 6, 2023 is studied.

Keywords: earthquakes, statistical functionality, precursor of earthquake.