

УДК 550.343

**Вольвач Александр Евгеньевич**<sup>1</sup>, зам. директора по науке КрАО РАН  
e-mail: volvach@bk.ru

**Коган Лев Петрович**<sup>2</sup>, доцент кафедры Физика ФБГО ВО «НГАСУ»  
e-mail: l\_kog@list.ru

**Заборонкова Татьяна Михайловна**<sup>3</sup>, профессор кафедры Общая и Ядерная Физика,  
ФБГО ВО «НГТУ» им. Р.Е. Алексеева  
e-mail: t.zaboronkova@rambler.ru

**Мясников Евгений Николаевич**<sup>4</sup>, профессор кафедры Физика ФБГО ВО «ВГУВТ»  
e-mail: myasnikov.ev@yandex.ru

<sup>1</sup>Крымская астрофизическая обсерватория, Россия, Республика Крым, Бахчисарайский р-н, 298409, пгт. Научный,

<sup>2</sup>Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Нижний Новгород, 603950, ул. Ильинская 65,

<sup>3</sup>Нижегородский государственный политехнический университет им. Р.Е.Алексеева, Россия, г. Нижний Новгород, 603950 ул. Минина 24,

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр ИПФ РАН, Россия, г. Нижний Новгород, 603950 ул. Ульянова 46,

<sup>4</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, Россия, г. Нижний Новгород, 603950 ул. Нестерова 5.

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ, СОПРОВОЖДАЕМЫМ ЦУНАМИ

*Аннотация.* Приводится методика предсказания землетрясений, сопровождаемых цунами, основанная на изменении статистических свойств магнитного поля Земли. Изменения мелкомасштабных флуктуаций плотности вероятности магнитного поля анализируются по статистике измерений, проведенных за несколько суток до землетрясения в Тихом океане. Выявлены статистические свойства магнитного поля, которые могут быть интерпретированы как предвестники цунами.

*Ключевые слова:* землетрясения, цунами, статистический функционал, предвестники землетрясения.

В работе [1] на основании изучения свойств мелкомасштабных флуктуаций плотностей вероятности критической частоты ионосферы в сейсмоактивных регионах была предложена и апробирована методика выявления предвестников приближающихся землетрясений. Предложенный подход позволяет, в частности, определять предвестники сейсмических событий на значительно меньших интервалах времени, чем предсказание на основании теоремы Гутенберга-Рихтера [2, 3]. В рамках аналогичной методики [1] в данной статье проанализированы свойства статистического функционала, описывающего свойства мелкомасштабных флуктуаций плотности вероятности измерений магнитного поля, проведенных с 12 по 16 марта 2022 года на магнитовариационной станции KNY,

расположенной на юге Японии. Изменение амплитуды флуктуаций плотности вероятности поля, измеренного в сейсмоактивных регионах за несколько суток перед началом землетрясения, связано с появлением в процессе измерений случайной составляющей, вызванной, например, разломом литосферных плит на наиболее ослабленных участках земной коры перед началом предстоящего сейсмического события. Этот случайный процесс предполагается слабо зависимым от фонового шума, обусловленного совокупностью явлений, обычно имеющих место в соответствующем регионе мира. Целью данного исследования является определение совокупности статистических явлений, являющихся предвестниками приближающегося землетрясения, сопровождаемого цунами. Изменения статистики флуктуаций магнитного поля, происходящие перед землетрясениями, интерпретируются как предвестники приближающихся сейсмических событий.

Для выявления предвестников землетрясения, приведшего к сильному цунами, используется статистический функционал, ранее введенный и апробированный в [1]:

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

при  $A = 1000$  и  $M = 100 \text{ min}$ . Выбранное значение коэффициента  $A$  позволяет перейти к удобной для анализа области значений функционала  $L(n)$  при принятой ширине  $M$  временного интервала усреднения. Коэффициенты  $P_{m,l}$  – вероятности попадания в интервал с номером  $m$

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

значений используемой вспомогательной функции  $F[x]$ , обладающей, в отличие от плотности вероятности измеряемой случайной величины  $x = x(t)$ , интегрируемыми особенностями плотности вероятности при выполнении операции усреднения. В работе для расчетов выбрана функция  $F[x] = \sin[x(t)]$ , значение ширины интервала дискретизации  $N = 2h^{-1} = 20$  при  $h = 0.1$ . Статистика (2) строится по совокупности измерений  $X$ -,  $Y$ - и  $Z$ - компонент геомагнитного поля (в нТл). Продолжительность любого отрезка реализации составляет 60 секунд, за которые проводится 60 измерений. Таким образом, значение  $n$  в (1) равно количеству минут от момента 00:00 12.03.2022 (UTC). Следует обратить внимание на отмеченный в [1] эффект уменьшения амплитуды флуктуаций плотности вероятности магнитного поля при существовании случайного процесса, слабо связанного с фоновым шумом. Для проведения анализа статистических свойств магнитного поля используются понятия, ранее введенные в [1]: локальные тренды (точки  $a$  и  $b$  на рис. 1 соответствуют максимуму и минимуму зависимости  $L(n)$  в точках границ локального тренда); каналы (квазипараллельные прямые, проведенные на плоскости  $\{n, L(n)\}$  через направляющие точки; например, каналы 1–3 или 4–5 на рис. 1); тестирование; скользящие границы. Термин тестирование означает либо пересечение в некоторой точке кривой  $L(n)$  и соответствующей границы канала, либо прохождение границы канала на таком расстоянии  $\Delta L_t$  по вертикали от направляющей точки с координатами  $\{n_t, L(n_t)\}$ , что коэффициент отклонения  $\delta = \frac{\Delta L_t}{L(n_t)} \cdot 100\% \leq 1.2\%$ . Время пятого тестирования границ канала зависимостью  $L(n)$  в некоторой точке с координатами  $\{n_e, L(n_e)\}$  (точка "с" для канала 4–5) будем рассматривать как момент фиксации предвестника приближающегося землетрясения. Скользящая граница – прямая линия, проведенная через две направляющие точки и тестируемая кривой  $L(n)$  еще как минимум в двух точках, одна из которых также должна быть направляющей (назовем ее дополнительной) и удовлетворять условию  $\delta \leq 1.2\%$ . Момент четвертого тестирования скользящей границы также полагаем временем выявления предвестника.

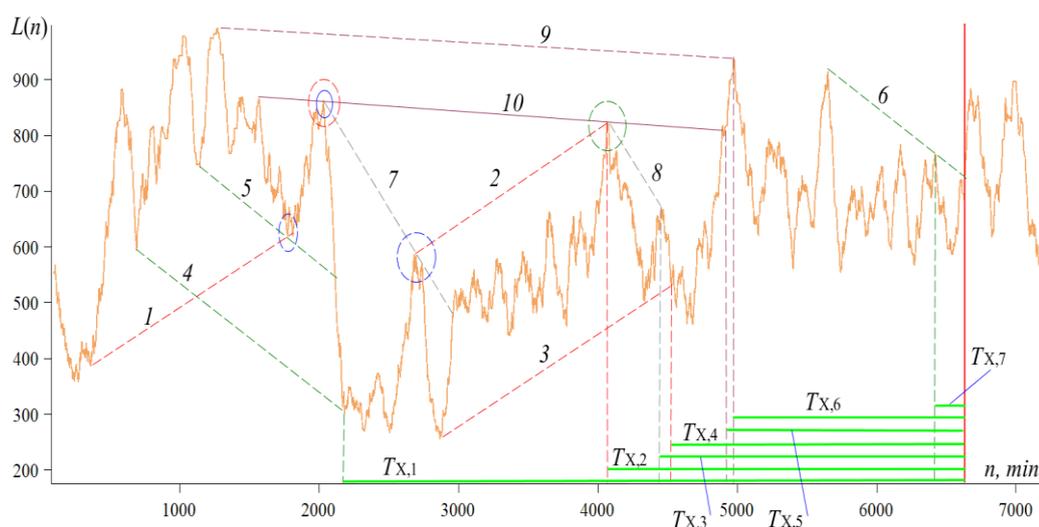


Рисунок 1 – Зависимость  $L(n)$ , соответствующая измерениям X-компоненты геомагнитного поля на магнитометре KNY в период с 00:00 12.03.2022 по 23:59 16.03.2022.

На рис. 1 приведена зависимость  $L(n)$ , соответствующая измерениям X-компоненты геомагнитного поля на магнитометре KNY, расположенном на юге Японии, в период с 00:00 12.03.2022 по 23:59 16.03.2022. По горизонтальной оси отложено время  $n$  в минутах  $n \geq M = 100 \text{ min}$ , отсчитываемое от момента начала измерений. Сплошной красной вертикальной линией обозначен момент начала землетрясения с магнитудой 7.3, произошедшего 16.03.2022 в 14.37 UTC, координаты эпицентра  $37.702^\circ\text{N}$ ,  $141.587^\circ\text{E}$ . Область вблизи дополнительной точки для скользящей границы прямой 10 обозначена эллипсом. На рис. 1 интервалы  $T_{X,1} = 4451 \text{ min}$ ,  $T_{X,2} = 2565 \text{ min}$ ,  $T_{X,3} = 2178 \text{ min}$ ,  $T_{X,4} = 2104 \text{ min}$ ,  $T_{X,6} = 1659 \text{ min}$  и  $T_{X,7} = 213 \text{ min}$  отвечают промежуткам времени между началом землетрясения и моментом пятого тестирования для границ каналов 4–5, 1–2, 7–8, 2–3, 9–10 и соответственно 4–6, а промежуток времени  $T_{X,5} = 1473 \text{ min}$  отвечает точке четвертого тестирования для скользящей границы 10. Для всех каналов выполняется соотношение  $\Delta\alpha \leq 1.4^\circ$  (детали см. [1]). Как следует из анализа полученных результатов, основная группа из пяти рассматриваемых «статистических предвестников» сосредоточена на небольшом промежутке времени от 43 до 18 часов перед землетрясением, ставшим причиной цунами. Таким образом, совокупность анализируемых свойств статистического функционала  $L(n)$  может быть индикатором вероятного возникновения последующего за ним цунами.

Работа была выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-12-00-385). Авторы выражают благодарность сотруднику ИЗМИРАН Канониди К.Х. за предоставленные данные измерений магнитного поля Земли.

#### 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.

## **PROPERTIES OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD BEFORE AN EARTHQUAKE ACCOMPANIED BY A TSUNAMI**

Alexander E. Volvach, Lev P. Kogan, Tatiana M. Zaboronkova, Evgeny N. Myasnikov

*Abstract.* A method for predicting earthquakes accompanied by tsunamis based on changes in the statistical properties of the Earth's magnetic field is given. Changes in small-scale fluctuations of the probability density of the magnetic field are analyzed according to the statistics of measurements carried out a few days before the earthquake in the Pacific Ocean. Statistical properties of the magnetic field have been revealed, which can be interpreted as precursors of a tsunami.

*Keywords:* earthquakes, tsunamis, statistical functionality, precursor of earthquake.