

УДК 550.380, 551.308, 551.505

## ОЦЕНКИ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ ГЕОМАГНИТНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.В. Тертышников

Оценены вариации суточных (Kp) и трехчасовых (kp) индексов геомагнитной активности до и после сильных коровых землетрясений 2000–2006 гг. По результатам эксперимента в 2007 г. подтвержден скепсис в отношении практической значимости геомагнитных предвестников землетрясений. Отмечена тенденция снижения величины индексов геомагнитной активности перед сильными землетрясениями.

### ВВЕДЕНИЕ

В течение нескольких десятилетий в геофизике активно дискутируется вопрос о существовании возмущений характеристик магнитного поля Земли перед землетрясениями. Для объяснения выявленных сейсмомагнитных эффектов используется несколько концептуальных моделей [1-7]. Общая тенденция в результатах исследований предвестниковых сейсмомагнитных эффектов склоняется в область прогрессирующего скепсиса в отношении их практической значимости для мониторинга сейсмического риска.

### ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для оценивания предвестниковых эффектов сейсмической опасности традиционно используется метод «наложения эпох» или метод «обобщенного портрета», позволяющий получить осредненные тенденции характеристик анализируемого параметра. При этом сопоставляются выборки наблюдений за анализируемыми параметрами для серии реперных событий, например землетрясений, анализируются статистические характеристики полученных оценок. При оценивании статистической значимости аномальных вариаций «обобщенных портретов» часто используется метод «контрольных карт» и сравнение полученных оценок с естественными вариациями анализируемых параметров.

Доступные Интернет-архивы характеристик произошедших землетрясений имеются в National Earthquake Information Center [USGS; [http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic\\_global.html](http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html)]. При этом, сильные коровые землетрясения целесообразно разделить на землетрясения суши

и подводные, так как с первыми связаны наибольший материальный ущерб и жертвы. Кроме того, необходима разнесенность землетрясений по времени, чтобы уменьшить их возможное влияние на характеристики магнитной активности.

Указанным требованиям в 2000-2006 гг. удовлетворили 21 коровое землетрясение суши с магнитудой  $M > 6,5$  и 20 коровых подводных землетрясений с  $M > 7$  (табл. 1-2).

Планетарная геомагнитная активность чаще всего характеризуется трехчасовым (kp) и суточным (Kp) геомагнитными индексами, которые определяются осреднением местных K-индексов. K-индекс характеризует изменение геомагнитной активности на конкретной обсерватории в 3-часовых интервалах времени, начиная с 00 ч 00 мин. K-индекс выражается в баллах и принимает значения от 0 до 9, т.е. 0, 0+, 1, 1<sub>0</sub>, 1+, 2, 2<sub>0</sub> и т.д. [8]. Доступные Интернет-архивы индексов геомагнитной активности имеются в NOAA Space Environment Center [[ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC\\_DATA](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA)].

Относительно дат землетрясений формировались выборки наблюдений о вариациях трехчасового и суточного индекса геомагнитной активности. В указанный период наблюдались различные уровни геомагнитной активности. Длительность выборок составляла  $\pm 120$  часов и  $\pm 40$  суток от даты землетрясения. Анализируемые временные отрезки практически не пересекались.

Особенности фоновых вариаций индексов геомагнитной активности исследовались относительно 40 случайно выбранных реперных дат для суточных индексов и 50 реперных дат для трехчасовых индексов магнитной активности.

Оценки первых четырех моментов распре-

деления исследуемых временных рядов исследовались в интервале  $-30...+15$  суток для суточных и  $-90...+45$  часов для трехчасовых индексов магнитной активности.

Кроме этого, с помощью быстрого преобразования Фурье по 16-суточному (48-часовому для трехчасовых индексов магнитной активности) скользящему окну рассчитывался набор периодограмм для вариаций мощности геомагнитных индексов для каждого анализи-

руемого события. Размер окна был выбран с целью возможного совмещения оценок для трехчасовых и суточных индексов магнитной активности, а также с учетом продолжительности естественных 27-ми дневных вариаций возмущений магнитного поля Земли. Из практических соображений рассчитанные значения мощностей присваивались правой границе скользящего окна.

Таблица 1. Характеристики землетрясений суши ( $M > 6,5$ ;  $Z < 30$  км.)

№	Дата	Время	Широта, $\phi$	Долгота, $\lambda$	Глубина гипоцентра, $Z$	Магнитуда, $M$
1	17.06.2000	15.40	63.97	-20.49	10	6.80
2	04.08.2000	21.13	48.79	142.25	10	7.10
3	06.10.2000	04.30	35.46	133.13	10	7.40
4	06.12.2000	17.11	39.57	54.80	30	7.50
5	14.11.2001	09.26	35.95	90.54	10	8.00
6	03.02.2002	07.11	38.57	31.27	5	6.50
7	22.06.2002	02.58	35.63	49.05	10	6.50
8	08.09.2002	18.44	-3.30	142.95	13	7.80
9	23.10.2002	11.27	63.51	-147.91	4	6.70
10	21.05.2003	18.44	36.96	3.63	12	6.90
11	27.09.2003	11.33	50.04	87.81	16	7.50
12	28.08.2004	13.41	-35.17	-70.53	5	6.50
13	15.11.2004	09.06	4.70	-77.51	15	7.20
14	22.02.2005	02.25	30.75	56.82	14	6.50
15	08.10.2005	03.50	34.54	73.59	26	7.70
16	05.12.2005	12.19	-6.22	29.83	22	7.20
17	22.02.2006	22.19	-21.32	33.58	11	7.50
18	20.04.2006	23.25	60.95	167.09	22	7.60
19	22.05.2006	11.12	60.77	165.74	16	6.70
20	20.10.2006	10.48	-13.46	-76.68	23	6.70
21	30.12.2006	08.30	13.31	51.37	15	6.60

Таблица 2. Характеристики подводных землетрясений ( $M > 7$ ;  $Z < 30$  км.)

№	Дата	Время	Широта, $\phi$	Долгота, $\lambda$	Глубина гипоцентра, $Z$	Магнитуда, $M$
1	04.05.2000	04.21	-1.11	123.57	26	7.60
2	16.07.2000	21.13	-7.75	150.92	10	7.30
3	16.11.2000	07.42	-5.23	153.10	30	7.80
4	26.01.2001	03.16	23.42	70.23	16	8.00
5	12.12.2001	14.02	-42.81	124.69	10	7.10
6	18.12.2002	04.02	23.95	122.73	14	7.30
7	01.02.2002	17.22	-17.60	167.86	21	7.50
8	02.11.2002	01.26	2.82	96.08	30	7.60
9	22.01.2003	02.06	18.77	-104.10	24	7.60
10	15.07.2003	20.27	-2.60	68.38	10	7.60
11	04.08.2003	04.37	-60.53	-43.41	10	7.60
12	27.12.2003	16.00	-22.01	-169.77	10	7.30
13	03.01.2004	16.23	-22.25	169.68	22	7.10
14	07.02.2004	02.42	-4.00	135.02	10	7.50
15	05.09.2004	14.57	33.18	137.07	10	7.40
16	11.11.2004	21.26	-8.15	124.87	10	7.50
17	28.03.2005	16.09	2.09	97.11	30	8.60

№	Дата	Время	Широта, φ	Долгота, λ	Глубина гипоцентра, Z	Магнитуда, M
18	15.06.2005	02.50	41.29	-125.95	16	7.20
19	24.07.2005	15.42	7.92	92.19	16	7.50
20	15.11.2006	11.14	46.59	153.27	10	8.30

### ОЦЕНКИ СЕЙСМОМАГНИТНЫХ ЭФФЕКТОВ

Методом «наложения эпох» по 21 сильному коровому землетрясению были получены осреднённые вариации суточных ( $K_p$ ) и трёхчасовых ( $k_p$ ) индексов геомагнитной активности (рис. 1). При этом:

- за 7-6 суток до сильного землетрясе-

ния суши значение  $K_p$ -индекса выходит за границы 95% доверительного интервала полученной осредненной кривой, достигая границы 99% доверительного интервала ( $p = 0,025$  по критерию Стьюдента);

- в час сильного землетрясения суши оценка  $k_p$ -индекса выходит за границы 95 % доверительного интервала ( $p=0,027$  по критерию Стьюдента).

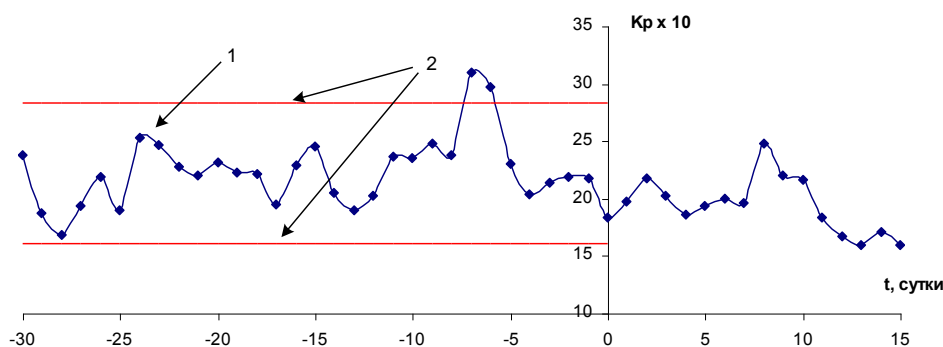


Рис. 1а. Осредненное изменение вариаций суточного  $K_p$ -индекса магнитной активности по 21 землетрясению суши с  $M > 6.5$  и глубиной гипоцентра  $0 < z < 30$ ; 0-сутки – дата землетрясения, 2 – границы  $\pm 95\%$  доверительного интервала кривой 1 до момента землетрясения

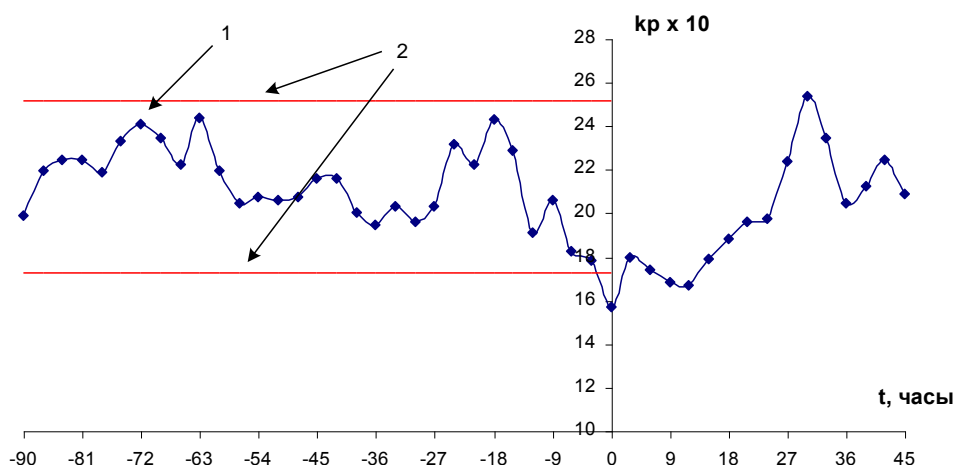


Рис. 1б. Осредненное изменение вариаций  $k_p$ -индекса по 21 землетрясению суши с  $M > 6.5$  и  $z < 30$ ; 0-сутки – дата землетрясения; 2 – границы  $\pm 95\%$  доверительного интервала кривой 1 до момента землетрясения

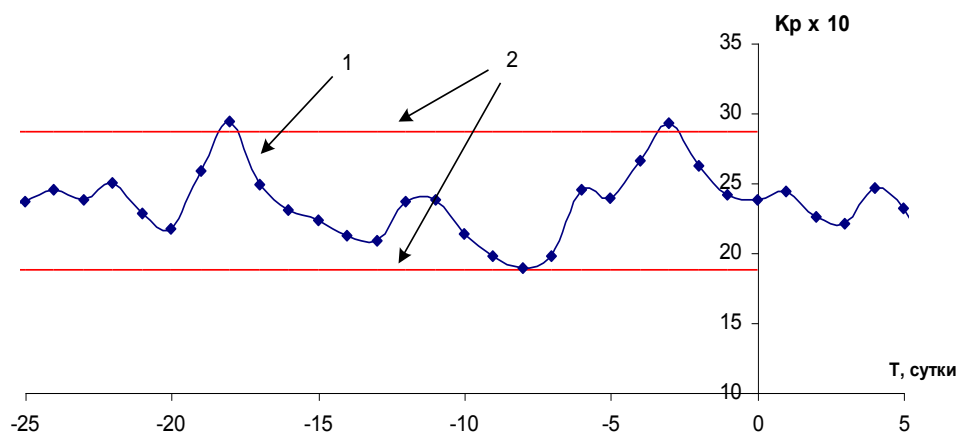


Рис. 2. Осредненное изменение вариаций Кр-индекса по 20 подводным землетрясениям с  $M > 7$  и  $z < 30$ ); 0 – сутки – дата землетрясения; 2 – границы  $\pm 95\%$  доверительного интервала кривой 1 до момента землетрясения

На рис. 2 представлены осредненные оценки вариаций Кр индексов, полученные методом «наложения эпох» для 20 сильнейших подводных коровых землетрясений ( $M > 7$ ,  $z < 30$  км). Выход кривой за 95% доверительный интервал за 3 и 18 суток до землетрясения мало заметен (величина Кр индекса на рис. 1 и 2 умножена на 10, то есть, величина 28 и 31 будет соответствовать одному и тому же индексу  $3_0$ ).

На рис. 3 представлены оценки периодограмм вариаций мощности осредненных кри-

вых суточных и трехчасовых индексов магнитной активности.

Значительное превышение мощности вариаций с периодом  $T=4$  суток до землетрясения по сравнению мощностью этого же периода после землетрясения может рассматриваться в качестве предвестникового эффекта, который требуется проверить.

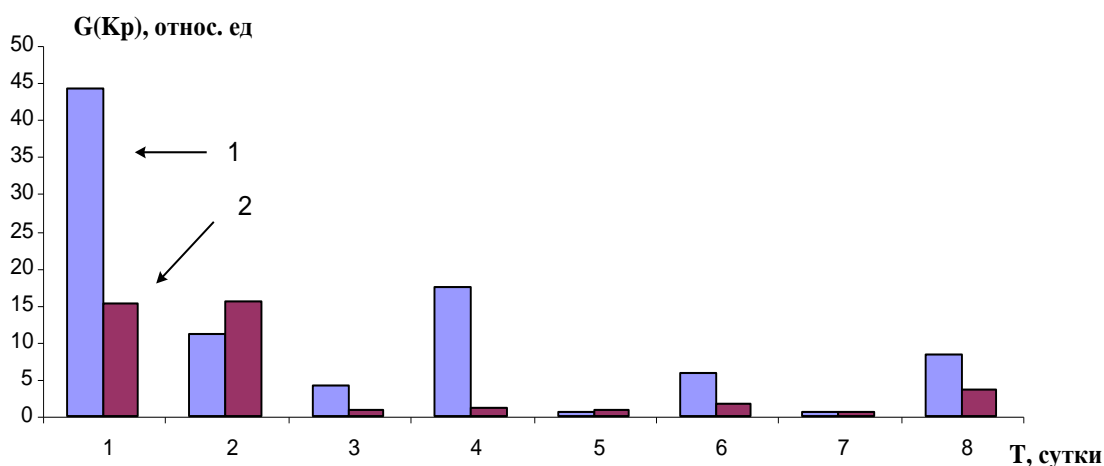


Рис. 3а. Оценки осредненной периодограммы суточных Кр индексов: 1 – до землетрясения; 2 – после землетрясения

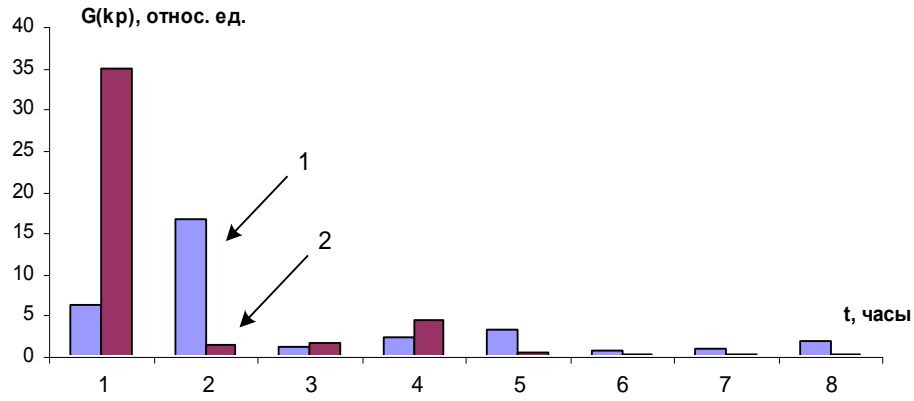


Рис. 3б. Оценки осредненной периодограммы трехчасовых кр индексов: 1 – до землетрясения; 2 – после землетрясения

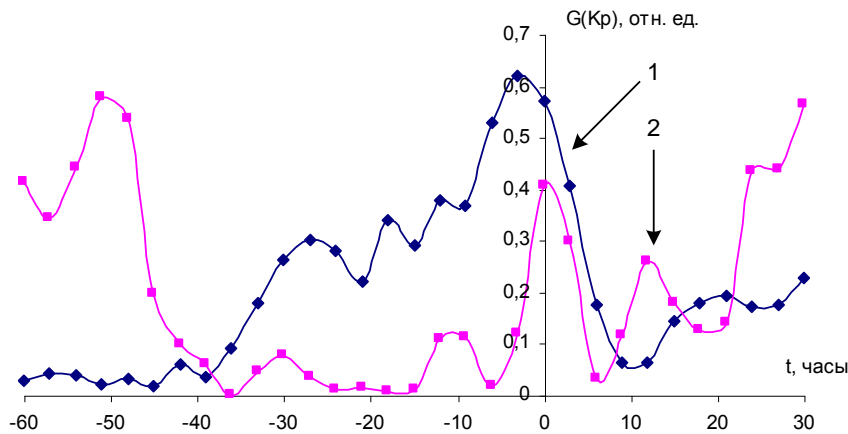


Рис. 4. Изменение осредненных нормированных значений мощности гармоник с  $T_{kp}=6$  ч (1) и  $T_{kp}=12$ ч (2) относительно землетрясений суши (0 — сутки)

Значительное превышение мощности вариаций с периодом  $T = 2$  часа до землетрясения по сравнению мощностью этого же периода после землетрясения может рассматриваться в качестве предвестникового эффекта, который также требуется проверить. А значительное повышение мощности вариаций с периодом  $T = 1$  и  $T = 6$  час после землетрясения показывает влияние произошедшего сильного сейсмического события на магнитное поле Земли.

В характеристиках обобщенной методом «наложения эпох» периодограмме за 7 суток до землетрясения суши проявился рост мощности высокочастотных гармоник и уменьшение мощности низкочастотных гармоник. Подобные эффекты выявлены и для трехчасовых индексов (рис. 4).

В момент землетрясения мощность всех гармоник больше средних значений. Статистическая значимость аномальных эффектов оценивалась сравнением с оценками расчи-

танных характеристик гармоник для естественных вариаций.

Обобщенные спектрально-временные диаграммы мощности вариаций гармоник анализируемых индексов геомагнитной активности представлены на рис. 5-6. Размер окна при этом также соответствовал 16 суткам для суточных индексов и 48 часам для трехчасовых индексов. Периодограммы присваивались правой границе окна.

Для суточных индексов аномальный выброс проявился за 6-7 суток до землетрясения, а для трёхчасовых – за 12-15 часов до землетрясения. Небольшое увеличение мощности высокочастотных гармоник проявилось через сутки после землетрясения.

В ходе эксперимента было отмечено, что перед сильными землетрясениями уменьшалась возмущенность магнитной активности и величины геомагнитных индексов.

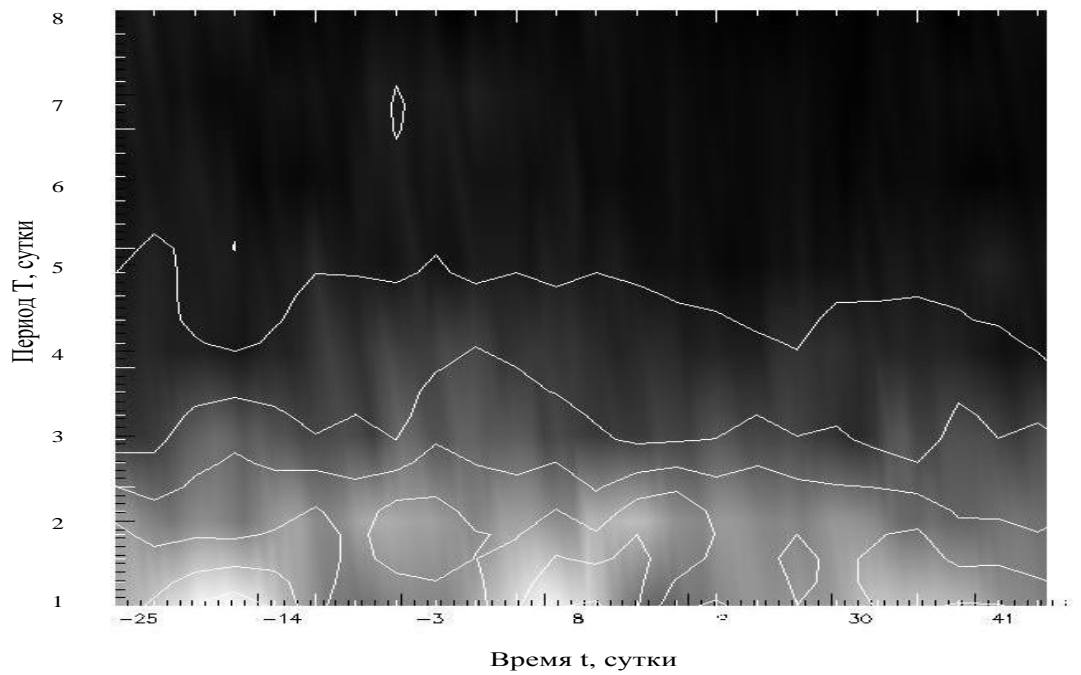


Рис. 5. Осредненная спектрально-временная диаграмма нормированных мощностей вариаций суточных значений Кр индексов; 16 сутки – с сильным землетрясением суши

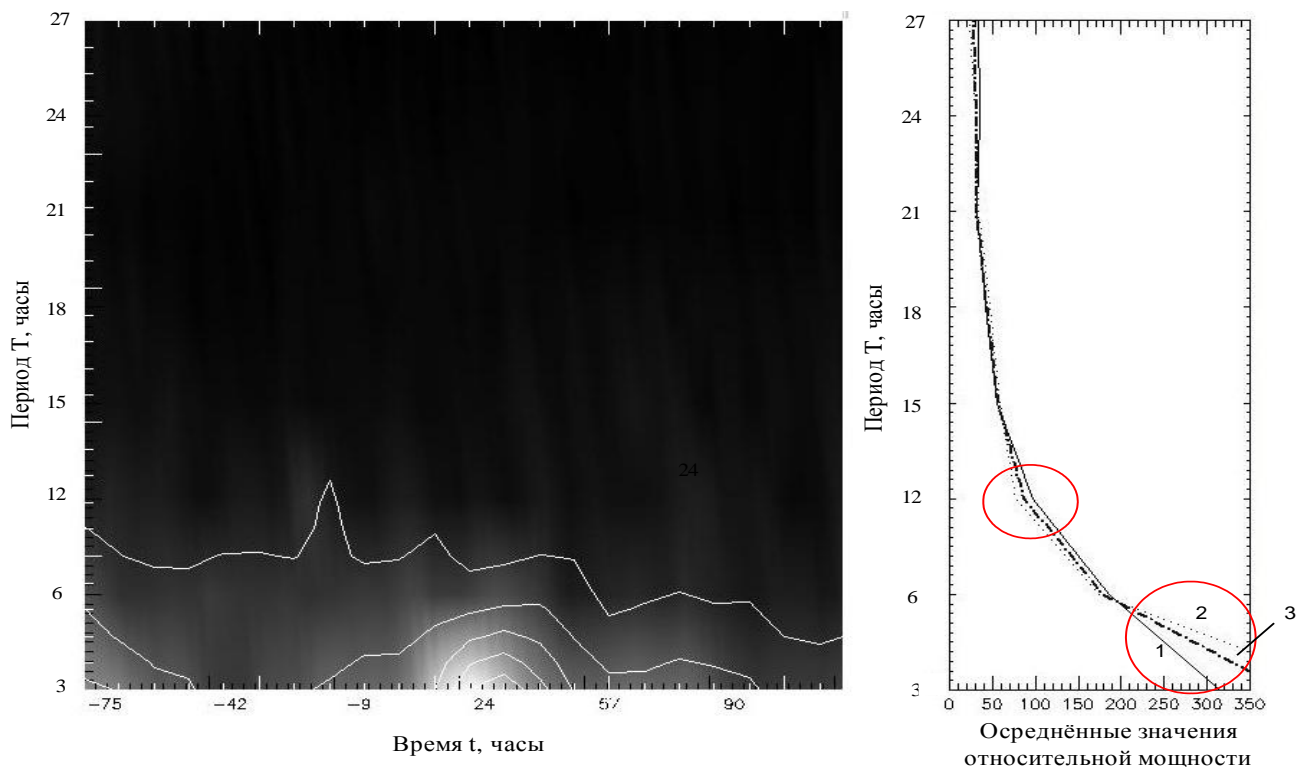


Рис. 6. Оценки мощности вариаций трёхчасового кр индекса относительно сильного землетрясения суши 2000-2006 гг в 48 час:

- обобщённая спектрально-временная диаграмма относительной мощности вариаций трёхчасовых значений кр-индексов в период обобщённого землетрясения;
- осреднённые значения относительной мощности гармоник (1 – на отрезке за 75 часов до землетрясения, 2 – до и после землетрясения (отрезок 150 часов), 3 - на отрезке 75 часов после землетрясения)

### ОЦЕНКИ ЗНАЧИМОСТИ ПРЕДВЕСТНИКОВЫХ СЕЙСМОМАГНИТНЫХ ЭФФЕКТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Для проверки полученных результатов и оценки практической значимости выявленных предвестниковых эффектов в вариациях индексов магнитной активности был проведен эксперимент. По оперативным данным о значениях геомагнитных индексов в 2007 г. ежедневно разрабатывался прогноз о планетарной сейсмической опасности на 48 часов с заблаговременностью в 2-3 суток. В качестве послабления допускались пропуски в прогнозировании после произошедших сильных землетрясений из-за предполагаемых возмущений магнитного поля Земли, влияющих на результаты прогнозирования. Результаты прогнозирования приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты прогнозирования 48-часовых периодов планетарной сейсмической опасности в 2007 г.

Прогноз сейсмоопасного периода времени	Факт		Σ
	Да	Нет	
Да	10	18	28
Нет	13	304	317
Σ	23	322	345

Оценка успешности прогноза рассчитывалась по критерию Багрова [2]:

$$H = \frac{U - U_0}{1 - U_0}, \tag{1}$$

где  $U = \frac{n_{11} + n_{22}}{n_{00}}$  – оправдываемость текущего прогноза;

$U_0 = \frac{m_1 + m_2}{n_{00}}$  – оправдываемость случайных прогнозов (угадывание),

$$m_1 = \frac{n_{10} \cdot n_{01}}{n_{00}} \quad \text{и} \quad m_2 = \frac{n_{20} \cdot n_{02}}{n_{00}},$$

где  $n_{11}$  и  $n_{12}$  – количество оправдавшихся и не оправдавшихся прогнозов сейсмической активности;

$n_{21}$  и  $n_{22}$  – количество оправдавшихся прогнозов о сейсмически стабильных условиях;

$n_{10}$  – количество составленных прогнозов сейсмической активности;

$n_{20}$  – количество прогнозов о сейсмически стабильных условиях;

$n_{01}$  – фактическое число случаев наблюдавшейся сейсмической активности;

$n_{02}$  – фактическое число случаев сейсмически стабильных условий.

По результатам эксперимента в 2007 г. оценка критерия Багрова  $H = 0,34$ . Для случайного отгадывания  $H < 0,33$ . Если продолжительность прогнозируемого сейсмоопасного периода увеличить до 72 часов, то значение  $H$  достигало 0,41. То есть, подтверждается прогрессирующий среди геофизиков скепсис в отношении практической значимости геомагнитных предвестников сильных землетрясений.

### ВЫВОДЫ

В данных Кр и кр индексов перед сильными коровыми землетрясениями суши ( $M > 6,5$ ,  $z < 30$  км) 2000-2006 гг. обнаружены статистически значимые вариации, выделяющиеся на фоне естественных вариаций. Они появляются за 6-7 суток до землетрясения во временных рядах характеристик геомагнитной активности и за 12-15 часов в спектрах вариаций характеристик геомагнитной активности.

Перед сильными землетрясениями выявлено снижение возмущенности характеристик геомагнитной активности. За 12 часов до землетрясения увеличивается мощность высокочастотных гармоник при уменьшении относительной мощности низкочастотных гармоник.

Для подводных землетрясений статистически значимые вариации в анализируемых временных рядах характеристик геомагнитной активности не обнаружены.

По результатам эксперимента в 2007 г. не удалось выявить практической значимости выявленных геомагнитных предвестников сильных землетрясений.

**Благодарности.** Автор благодарен Платонову В.В. за подготовку данных, помощь в проведении расчетов.

**AN ESTIMATION OF THE PRACTICAL SIGNIFICANCE FOR GEOMAGNETIC PRECURSORS OF THE STRONG EARTHQUAKES.**

A.V. Tertyshnikov

Variations of the diurnal  $K_p$  and 3-hours  $k_p$  geomagnetic indices are estimated for time spans before and after strong lithospheric earthquakes in 2000-2006. The year 2007 experiment confirms the skeptical attitude to any practical significance of the geomagnetic precursors. A tendency of the indices to decrease before the strong earthquakes is noted.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Тertyshnikov A.V., Platonov V.V. Перспективы мониторинга сейсмических условий из космоса // Исследовано в России, 2007, <http://zhurnal.gpi.ru/articles/2007/031.pdf>.
2. Тertyshnikov A.V. Предвестники сильных землетрясений в озоносфере // Гелиогеофизические исследования - <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=92>
3. Гогатишвили Я.М. Геомагнитные предвестники интенсивных землетрясений в спектре геомагнитных пульсаций с частотами 1–0.02 Гц // Геомагнетизм и аэрномия. 1974, № 2.
4. Альтгаузен Н.М. О корреляции геомагнитных возмущений с сейсмической активностью Земли // Геомагнетизм и аэрномия, 1974, № 4.
5. Сытинский А.Д. Связь сейсмичности земли с солнечной активностью и состоянием межпланетного магнитного поля. – Л., ГМИ, 1988. 206 с.
6. Погребников М.М, Комаровский Н.И., Копытенко Ю.А., Пушель А.П. О статической связи сильных землетрясений с планетарной активностью геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрномия. 1984, № 2.
7. Широков В.А., Фирстов П.П. О возможности краткосрочного прогноза сильных землетрясений Земли с магнитудой  $M \geq 7$  по данным изменения индекса геомагнитной возмущённости // Исследовано в России, 2005.
8. Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности: Справочное пособие. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. 88 с.