

26. Pulinets S.A., Boyarchuk K.A., Hegai V.V., Karelin A.V. Conception and model of seismo-ionosphere-magnetosphere coupling// Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling / Ed. M. Hayakawa and O.A. Molchanov. Tokyo: Terrapub. 2002. P. 353–361.
27. Pulinets S.A., Boyarchuk K.A., Hegai V.V., Kim V.P. and Lomonosov A.M. Quasielectrostatic model of atmosphere-thermosphere-ionosphere coupling//Adv. Space Res. 2000. V.26.N 8. P.1209-1218.
28. Tronin A.A., Hayakawa M., Molchanov O.A. Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China//Journal of Geodynamics. 2002. V.33. P.519-534.

## **СЕЙСМОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СИГНАЛЫ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ НА КАМЧАТКЕ**

### **SEISMOELECTROMAGNETIC SIGNALS BEFORE EARTHQUAKES IN КАМЧАТКА**

*Ю.М. Михайлов*

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова РАН*

Results of the analysis of occurrence times of earthquake precursors in a quasistatic electric field of the surface atmosphere in Kamchatka peninsula [5] are described. For sequence of earthquakes in March 1992 harmonics of horizontal component of Earth magnetic field were found, their periods coincided with aftershock periods. Velocity of precursor propagation is in the range from 0.87 to 1.8 ms<sup>-1</sup>. The same values were received from the analysis of variation of ionospheric F2- and E-layers by calculation on the base of logarithmic relation between appearance time of moderate-term EQ precursors and different distances from epicenter.

Одной из первых публикаций была работа, в которой анализировалась зависимость времени появления предвестников землетрясения (ЗТ) от эпицентрального расстояния [4]. По данным многочисленных и разнородных наблюдений предвестников ЗТ была получена эмпирическая формула  $\lg(TR) = 0,72 \cdot (M - 1)$ , где T - время наблюдения предвестника в сутках; R – расстояние от будущего эпицентра ЗТ до точки наблюдения в км; M - магнитуда ЗТ. В той же работе было выделено два класса предвестников: долгосрочных и краткосрочных. Вышеприведенная формула оказалась справедливой для первых, для вторых же зависимость была более сложной, и не удалось получить подходящей аппроксимирующей функции.

Пользуясь результатами наблюдений электростатического поля на Камчатке, где было обнаружено подобие временной формы предвестников, нам удалось оценить скорость распространения предвестников, которая оказалась равной ~1 мс<sup>-1</sup>. Подробно исследуя интервал наблюдений горизонтальной компоненты земного магнитного поля в период сильных серийных землетрясений (март 1992) нам удалось обнаружить в Н-компоненте поля гармоника, соответствующие периоду афтершоков. Целью работы является изучение физической природы электромагнитных процессов, предшествующих ЗТ.

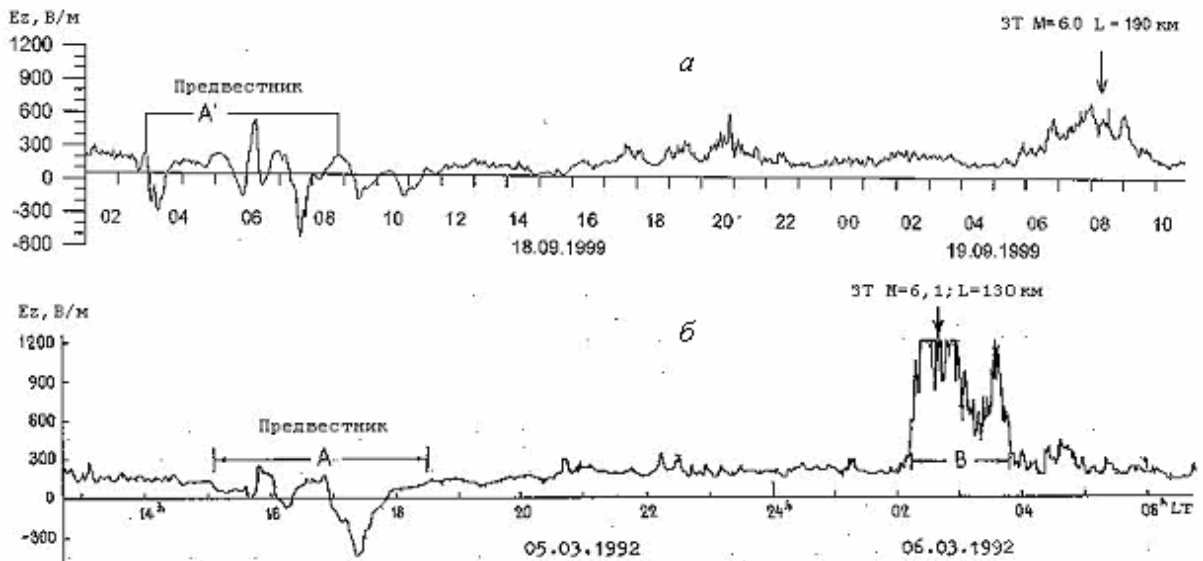


Рис.1. Изменения квазистатического электрического поля  $E_z$  по измерениям на Камчатке в периоды подготовки и развития землетрясений 19 сентября 1999 г. (а) и 6 марта 1992 г. (б). А и А' - предполагаемые предвестники землетрясений.

Представлены результаты анализа предвестников землетрясений (ЗТ), наблюдаемых в разные периоды в квазистатическом электрическом поле в приземной атмосфере на Камчатке в ИКИР ДВО РАН (пос. Паратунка,  $\varphi = 52^\circ 58.3'N$ ;  $\lambda = 158^\circ 14.9'E$ ). В качестве иллюстрации появления предвестников перед ЗТ на рис.1 приведены два случая.

В период, предшествовавший ЗТ 6 марта 1992 г. с магнитудой  $M=6.1$  и эпицентром в Авачинском заливе на глубине 30 км на расстоянии 130 км от пункта регистрации, наблюдалось бухтообразное понижение квазистатического поля величиной до  $-300$  В/м (Рис.1б). Аналогичное понижение величины квазистатического электрического поля наблюдалось также перед ЗТ 18 сентября 1999 г. с магнитудой  $M=6.0$  и эпицентром на глубине 60 км на расстоянии 190 км от пункта регистрации (Рис.1а). Обращает на себя внимание подобие временных форм предвестников, однако время упреждения ЗТ несколько различно: в первом случае - 10 ч, во втором - 29 ч. Полагая, что разность времен зависит от скорости распространения предвестника, находим ее:  $V = 0.87$  м/с [5].

Рассмотрим подробнее рис.1 и проанализируем сейсмическую обстановку на Камчатке в начале марта 1992 г. Этот период характеризовался двумя сериями ЗТ: 2 и 5 марта (табл.1, в которой данные приведены по каталогу NEIC).

Таблица 1.

Землетрясения вблизи п-ова Камчатка а марте 1992 г.

Номер	Дата	Время, UT	$\varphi, ^\circ N$	$\lambda, ^\circ E$	D, км	Mp
1	02	12:29:39.59	52.92	159.89	38	6.9
2	02	12:49:18.08	52.92	159.75	33	4.6
3	02	14:07:59.57	52.83	159.88	34	6.0
4	04	08:44:59.13	53.09	159.87	33	4.9
5	05	14:39:10.25	52.90	159.62	45	6.4
6	05	15:14:33.23	52.86	159.50	33	4.7
7	05	16:01:44.27	54.12	157.73	33	4.4

Обе серии состояли из одного главного толчка ( $M=6.9$  и  $M=6.4$ ) и двух афтершоков. Глубина очагов была приблизительно одинаковой - в пределах  $37 \pm 5$  км.

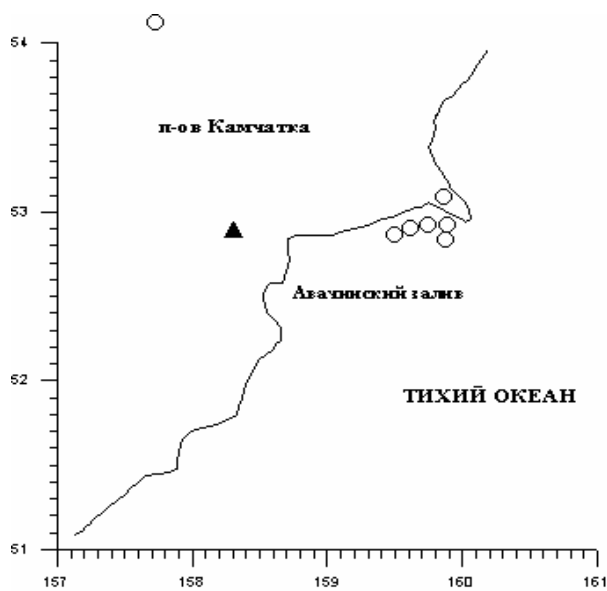


Рис.2. Расположение очагов землетрясений, приведенных в табл.1. Треугольник – пункт регистрации.

методика обработки. Из исходной суточной вариации (кривая 1) исключалось среднесуточное значение (кривая 2) и методом периодограмм с прямоугольным временным «окном» оценивался спектр мощности кривой 2, дополненной нулями до 2048 точек, необходимых для использования алгоритма БПФ. Этот способ аналогичен ранее использованному методу для оценки спектра мощности суточных вариаций квазистатического электрического поля [2] и атмосферных ОНЧ-радишумов [3]. Результирующий спектр показан на фрагменте 4 рисунка. На фрагменте 5 две спектральные полосы выделены в зависимости от периодов  $T$ , причем справа показан спектр данных, отфильтрованных в полосе 0,1-36 мин. Временные вариации этих спектральных составляющих, полученные обратным БПФ и приведенные на фрагменте 3, представляют собой короткопериодные колебания, представляющие интерес. Для оценки спектра мощности этих колебаний использован метод модифицированных периодограмм Уэлча [6], в котором исходная суточная вариация разбивается на короткие интервалы введением временного «окна» Ханна  $u(t) = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\pi t/T_i)$  при  $0 \leq t \leq T_i$ . Чтобы уменьшить дисперсию оценки спектра, используется прием вычисления выборочных спектров на перекрывающихся на половину коротких отрезках исходной реализации. Далее оценивается средний спектр исходной

Аномалия квазистатического электрического поля, предшествовавшая ЗТ, наблюдалась 5 марта в 3:39 UT, а само ЗТ произошло в 14:39 UT. Хотя ЗТ 2 марта по интенсивности было сильнее, чем 5 марта, неблагоприятные метеорологические условия, по-видимому, не позволили выделить его эффект в вариациях квазистатического электрического поля. На рис.2 приведена карта Авачинского залива, на которой нанесены эпицентры ЗТ. Обращает на себя внимание тот факт, что практически из одного очага в обеих сериях ЗТ афтершоки следовали с интервалом порядка получаса.

Нами сделана попытка проанализировать записи горизонтальной компоненты магнитного поля для ст.Петропавловск-Камчатский. На рис.3 показана

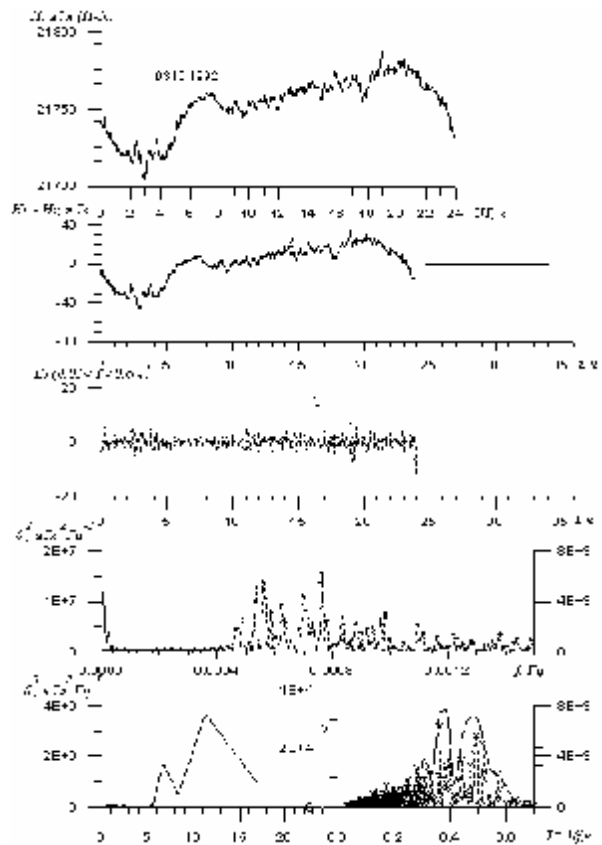


Рис.3. Методика спектрального анализа магнитных данных.

реализации путем усреднения спектров на этих коротких интервалах. Длительность коротких интервалов выбрана равной  $T_i=6$  ч. Количество интервалов усреднения при общей длительности исходной реализации в 24 ч равно 7. Для увеличения дискретности по частоте исходные данные дополнялись нулями. Пример результирующего сглаженного спектра мощности в полосе периодов 0,1-36 мин приведен на правом фрагменте 5 рис.1 жирной линией.

Результаты анализа данных за период 1-10 марта 1992 представлены на рис.4. Справа приведена по вертикали снизу вверх шкала времени (UT) для этого интервала. Горизонтальными линиями указаны ЗТ с магнитудой  $M>5$  (шкала внизу). Обращают на себя внимание триплеты и дуплеты ЗТ 3.03.92 и 6.03.92. Слева на горизонтальной шкале приведены спектры Н-компоненты магнитного поля для станции Петропавловск-Камчатский в интервале периодов от 6 до 40 мин. Обращает на себя внимание гармоника с периодом 35 мин, которая наиболее ярко выражена в те дни, когда происходит ЗТ или реагирует на него с запаздыванием. Малый интервал данных не позволяет достаточно корректно оценить это запаздывание, но, по предварительным оценкам, оно соответствует скорости  $1\text{ мс}^{-1}$ .

В работе [1] сделана попытка определения вариаций параметров ионосферных слоёв F2 и Es в течение 7 дней перед ЗТ.

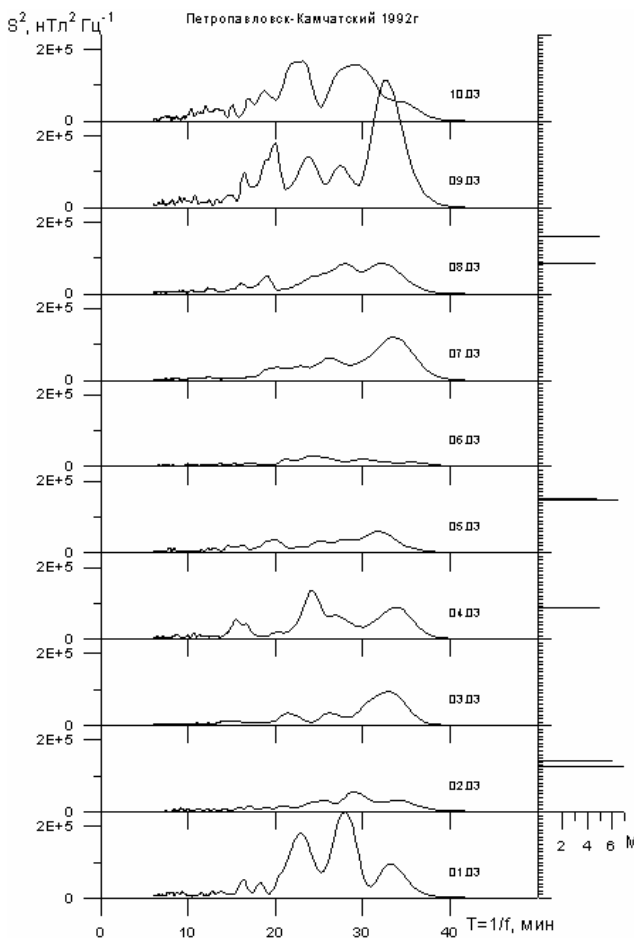


Рис.4. Последовательность спектров мощности горизонтальной компоненты магнитного поля в зависимости от периода. Справа – серия землетрясений.

Рассматривались ЗТ с магнитудой  $>6$  в Тихом океане вблизи Японии. Использовались часовые данные станции Кокубунджи для 40 ЗТ с эпицентрами на расстоянии  $R<1000$  км, для которых ЗТ величина скорости распространения среднесрочных предвестников даёт значение 3 км/час, что совпадает с вышеприведённой оценкой для электростатических полей. В заключение сформулируем основные выводы:

- оценки скорости предвестников ЗТ в электростатическом поле и среднесрочных предвестников в слоях F2 и Es в ионосфере дают близкие значения скорости распространения, что свидетельствует об общем механизме их возникновения;

- при наблюдении последовательных серий ЗТ в горизонтальной компоненте магнитного поля Земли обнаруживаются гармоники, соответствующие периоду афтершоков. Для района Авачинского залива в марте 1992г. эти периоды равнялись  $\sim 0,2-0,4$  часа.

Автор благодарен О.В.Капустиной за помощь в обработке данных и подготовку рукописи.

**Список литературы**

1. Корсунова Л.П., Хегай В.В. Сейсмо-ионосферные эффекты сильных коровых землетрясений в Тихоокеанском регионе // Геомагнетизм и аэрономия. 2005. Т.45. №5. С.706-711.
2. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Вариации спектров мощности электрического поля приземной атмосферы на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. Т43. №3. С.422-428. 2003.
3. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Дружин Г.И., Капустина О.В. Обнаружение атмосферных волн в спектрах мощности атмосферных помех на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. Т44. №2. С. 245-253.2004.
4. Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния // ДАН СССР. 1979. Т.245. №4. С.825-828.
5. Mikhailov Yu.M. On the properties of earthquake precursors in the electrostatic field of the surface atmosphere // Izvestia Physics of the Solid Earth. 2005. V.43. No.4. P.336-339.
6. Welch P.D. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short modified periodograms // IEEE Trans. Audio and Electroacoustic. V.AU-15. N2. P.70-75.1967.