

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ОЛЮТОРСКОГО И ОХОТОМОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

*Щекотов А.Ю.<sup>1</sup>, Чебров В.Н.<sup>2</sup>, Берсенёва Н.Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт Физики Земли РАН, г. Москва, sasha.schekotov@gmail.com*

<sup>2</sup> *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, chebr@emsd.ru, nata@emsd.ru*

### Введение

Исследования последних десятилетий показали, что процессы подготовки землетрясений имеют отклик в электромагнитных полях, регистрируемых в окрестности их очагов. Такие эффекты были обнаружены на Камчатке в период проведения исследований в 1999-2008 гг. в рамках проектов МНТЦ. Это депрессия (уменьшение) вариаций ультра низко частотного (УНЧ) поля на частотах 0.01-0.1 Гц [5] и УНЧ-КНЧ излучение на частотах от 1 до 30 Гц [6]. Оба явления регистрируются обычно за несколько (1-10) дней до будущего землетрясения.

Величина депрессии зависит от локальной сейсмичности, что позволяет грубо оценить величину грядущего события. В свою очередь источник излучения обычно находится вблизи эпицентра будущего неглубокого (до 250 км) землетрясения, что позволяет в некоторых случаях определить направление, а при многопунктовой регистрации поля оценить вероятное положение эпицентра [7].

В настоящей работе представлены результаты поиска краткосрочных электромагнитных предвестников перед двумя землетрясениями: Олюторским, которое произошло 20 апреля 2006 г. на юге Корякского нагорья с магнитудой  $M_w=7.6$  и Охотоморским глубоким землетрясением с  $M_w=8.3$ , которое произошло 24 мая 2013 года в 360 км к северо-западу от г. Петропавловска-Камчатского на глубине 630 км. Подробно эти события описаны в работах сотрудников КФГСРАН [1-4].

### Методика

Оба землетрясения предварялись аномалиями в геомагнитном поле, зарегистрированными 3-х компонентным индукционным магнитометром, установленном на комплексной геофизической обсерватории (КГО) «Карымшина» (52.83 N, 158.13 E).

В работе оценивались: локальная сейсмичность, депрессия УНЧ поля и различные характеристики излучения ( величина  $\Delta S$ , применяемая для обнаружения излучения, азимутальное распределение источников и плотность потока импульсов).

Локальная сейсмичность была представлена индексом  $K_{LS}$  [5], который пропорционален энергии землетрясения и обратно пропорционален расстоянию до эпицентра:

$$K_{LS} = \frac{10^{0.75M}}{10(R+100)} \quad (1)$$

здесь  $M$  – локальная магнитуда,  $R$  расстояние в км до эпицентра.

Для оценки депрессии, рассчитывался спектр  $H$  – компоненты поля, далее он вычислялся умножением на частоты спектральных составляющих. Обратная величина результата этой процедуры являлась спектром депрессии:

$$Dep = \frac{1}{S_H} \quad (2)$$

где  $S_H$  - спектр  $H$  - компоненты геомагнитного поля в диапазоне частот 0.01 -0.1 Гц.

Далее эти спектры усреднялись в течение суток по 47-ми часовым интервалам, сдвинутым на 30 минут, и для каждого интервала находилась максимальная частотная компонента депрессии. В свою очередь максимальная ее величина за сутки наблюдений, как и среднесуточная, рассчитанная по значениям в этих интервалах и показывалась на 3-й и 4-й панелях рисунков отражающих недельную и четырёх недельную эволюции исследуемых характеристик. Такие рисунки получались ежедневно и отправлялись на сервер КФ ГС РАН.

Для обнаружения УНЧ-КНЧ излучения использовалась комбинированная характеристика поля  $\Delta S$ :

$$\Delta S = \frac{\left( \frac{P_{tt}}{P_{rr}} - 1 \right)}{rms(\tan(\beta))} \quad (3)$$

где  $P_{tt}$ ,  $P_{rr}$  – тангенциальная и радиальная компоненты поля, полученные программным вращением исходных сигналов до достижения максимума числителя. В знаменателе – дисперсия эллиптичности [6].

Каждые сутки рассчитывался спектр и максимальные значения  $\Delta S$  на 8-ми 3-х часовых интервалах.

Азимут источника излучения  $\alpha$  определяется, как перпендикуляр к большой оси эллипса поляризации сигнала. Его значение:

$$\alpha = 180 - \theta \quad (4)$$

где  $\theta$  – угол между направлением на восток и большой осью эллипса поляризации.

Значения этого угла находится из выражения [7]:

$$\tan(2\theta) = \frac{2A_d A_h}{A_d^2 - A_h^2} \cos(\varphi_h - \varphi_d) \quad (5)$$

где  $A_d$ ,  $A_h$ ,  $\varphi_h$ ,  $\varphi_d$  – амплитуды и фазы компонент поля в полосе 2-6 Гц.

Плотность потока импульсов  $N$  определялась, как количество импульсов за час, амплитуда которых, хотя бы в одном отсчёте, превышает пороговое значение. Его значение выбирается в 2-3 раза больше стандартного отклонения сигнала в самый спокойный день на предшествующем интервале наблюдения.

### **Олюторское землетрясение**

Эволюция сейсмичности и предвестников в течение 4 недель перед Олюторским землетрясением показана на рис. 1. На карте отображено Олюторское землетрясение и его афтершоки, а также сейсмический рой 12.04-19.04 в районе Командорских островов. Оба эти события предвещались аномалиями в геомагнитном поле. Так перед апрельским роем наблюдаются предвестники в депрессии и излучении ( $\Delta S$ ), отмеченные буквами А и С соответственно, а перед Олюторским землетрясением, буквами В и D. Депрессия (В) увеличилась в последние три дня перед землетрясением, а  $\Delta S$  (С) в течение двух последних дней перед ним. Следует отметить рост плотности потока импульсов только перед началом апрельского роя, показанный на нижней прямоугольной панели.

На рис. 2 показана эволюция тех же параметров, что и на рис. 1, но вместо плотности потока импульсов отражена эволюция азимутального распределения крайне низко частотного (КНЧ) излучения. Главные моды излучения на всем отрезке рассматриваемого времени направлены в сторону Командорских островов, где, вероятно, продолжается сейсмическая активность и откуда идёт излучение. Идет ли излучение со стороны Олюторского землетрясения неизвестно удаленности эпицентра события и маскирующего действия ближних источников. 17 и 18-го мая регистрировалась слабая мода в более северном направлении.

### **Охотоморское землетрясение**

Эволюция сейсмичности и параметров геомагнитного поля в течение 10 дней до и одного дня после Охотоморского землетрясения показаны на рис. 3. Период с 14 до 21го апреля свободен от промышленных помех и пригоден к обработке. Предвестник в депрессии возникает за 3 дня до землетрясения синхронно с  $\Delta S$  (длится 3 дня) и максимумом плотности потока импульсов, показанной на нижней прямоугольной панели рис. 3. Перед роем 19-21 мая наблюдается более высокий фоновый уровень депрессии, чем после скачка депрессии 21 мая, который, как мы считаем, является предвестником Охотоморского землетрясения.

На рис. 4. отображены параметры, что и на рис. 3, но вместо плотности потока импульсов отражена эволюция азимутального распределения КНЧ излучения. Главные моды преимущественно

направлены в направлении Командорских островов. Также присутствует мода в восточном и северном направлениях. Излучение из района эпицентра глубокого землетрясения не наблюдается.

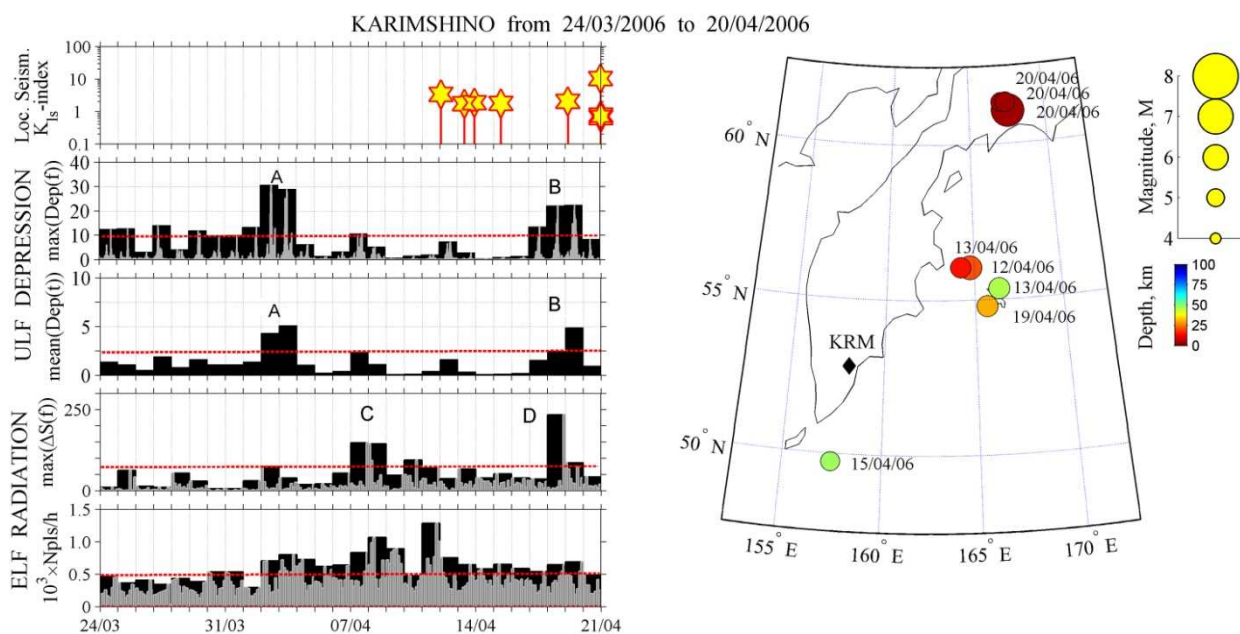


Рис. 1. Эволюция сейсмичности и параметров геомагнитного поля в течение 4 недель перед Олюторским землетрясением. На верхней панели – индекс локальной сейсмичности. Далее, максимальная и среднесуточная депрессии. На 4-й панели – максимальные суточные значения характеристики излучения  $\Delta S$ . Эволюция плотности потока импульсов показана на нижней панели, карта региона с землетрясениями ( $M_L > 5$ ) – справа. Горизонтальные пунктирные линии отражают фоновые значения характеристик магнитного поля.

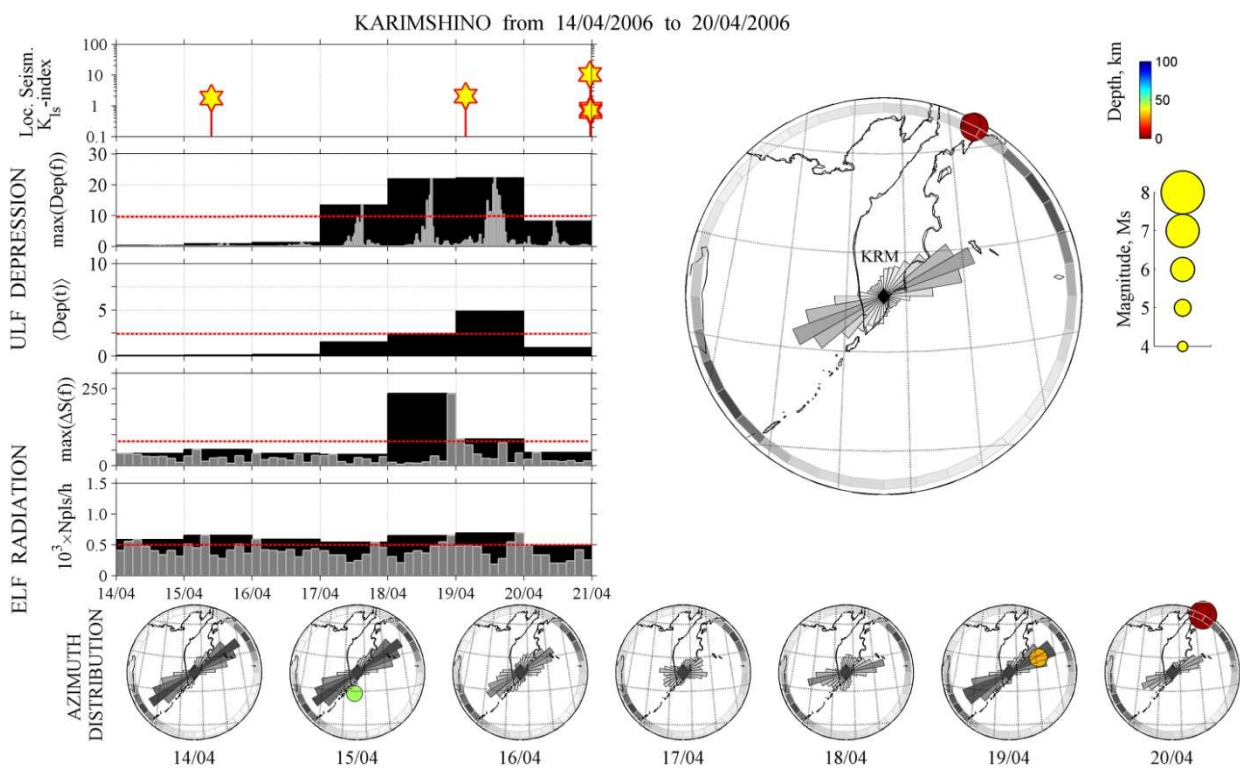


Рис. 2. Эволюция сейсмичности и предвестников в течение 7 дней перед Олюторским землетрясением. На верхней панели – индекс локальной сейсмичности. Далее, максимальная и среднесуточная депрессии. На 4-й панели – максимальные суточные значения характеристики излучения  $\Delta S$ . Эволюция плотности потока импульсов показана на нижней прямоугольной панели. Эволюция азимутальных распределений показана на семи нижних круглых панелях, для последнего дня – на большой круглой панели справа.

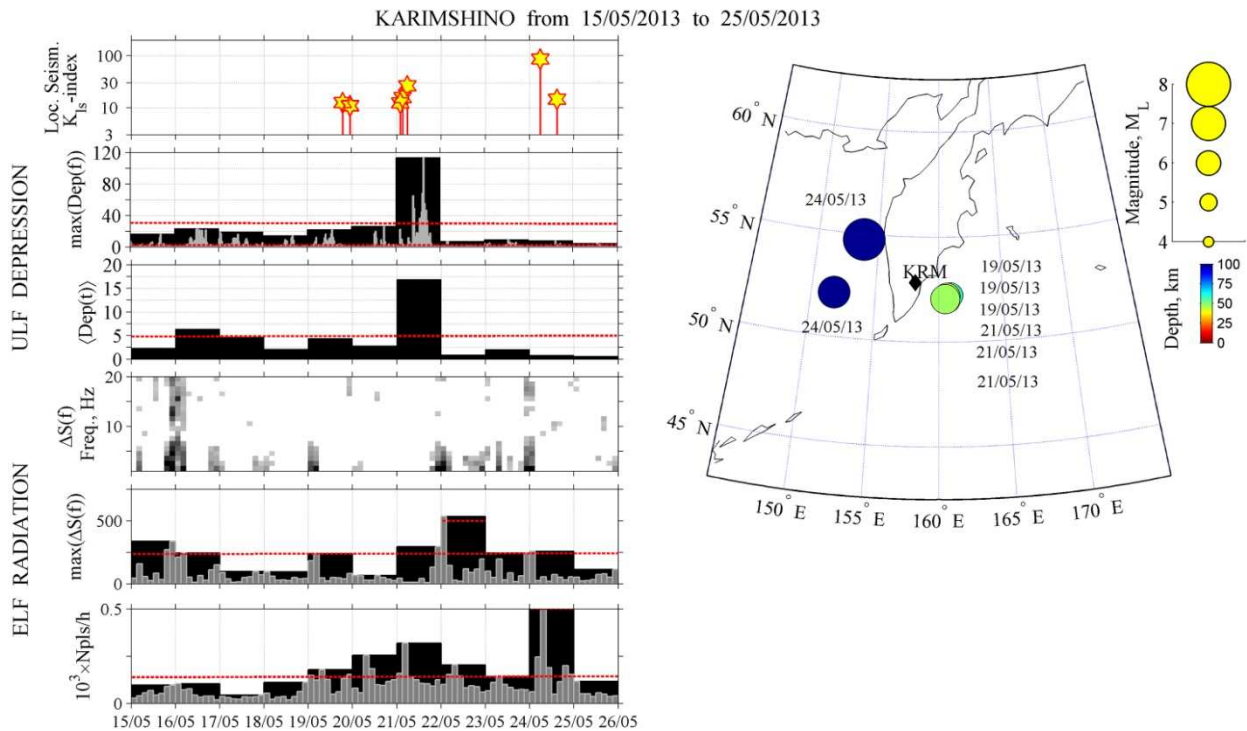


Рис. 3. Эволюция сейсмичности и предвестников в течение 10 дней перед и одного дня после Охотоморского землетрясения. На верхней панели – индекс локальной сейсмичности. На второй - максимальная и среднесуточная депрессии. На 4-й и 5-й панелях – спектр и максимальные суточные значения характеристики излучения  $\Delta S$ . Эволюция плотности потока импульсов показана на нижней панели, карта региона с землетрясениями  $M_L > 6$  - справа. Горизонтальные пунктирные линии отражают фоновые значения характеристик магнитного поля.

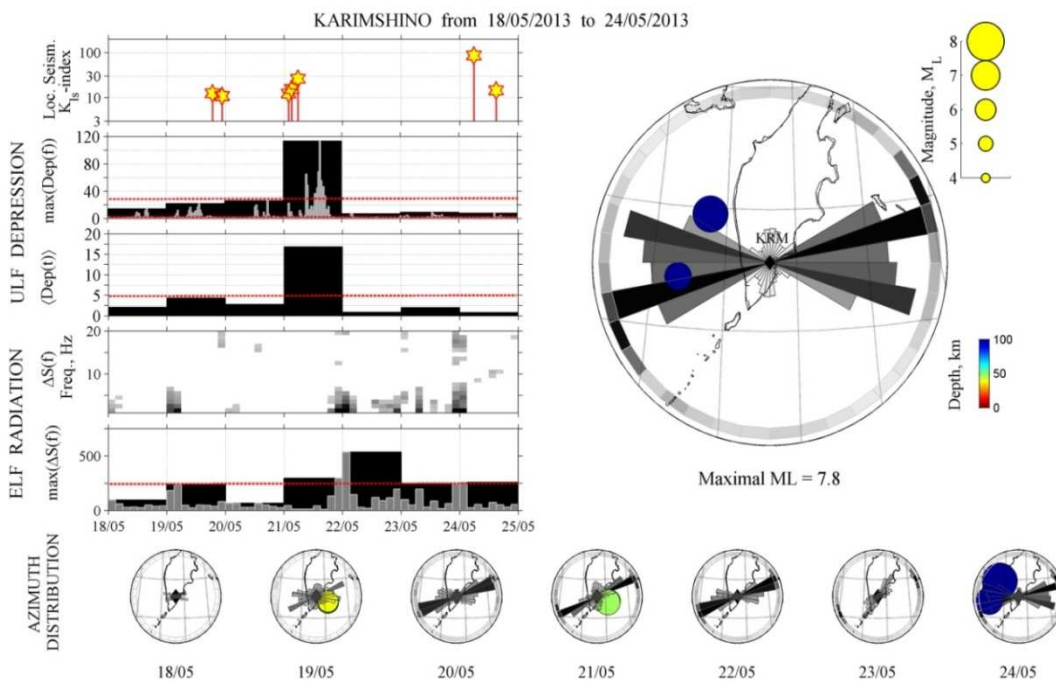


Рис.4. Эволюция сейсмичности и предвестников в течение 7 дней перед Охотоморским землетрясением. Значения графиков аналогичны рис. 2.

### **Обсуждение результатов и выводы**

1. Перед исследуемыми сильными сейсмическими событиями наблюдался рост УНЧ депрессии и характеристики УНЧ-КНЧ излучения  $\Delta S$ .

2. Рост депрессии и  $\Delta S$  предвещает землетрясения на 1-3 дня.

В обоих случаях не обнаружено излучения, исходящего из района землетрясения.

Мы полагаем, что оба вида аномалий в магнитном поле вызваны извержением газов в процессе подготовки землетрясений. В случае депрессии, это в основном интенсивные извержения нейтральных газов, вызывающие гравитационные волны в атмосфере, которые, достигая ионосферы, изменяют её характеристики. В результате, либо изменяется коэффициент прохождения излучений из магнитосферы, либо разрушаются ионосферные источники, результатом чего становится уменьшение флуктуаций поля преимущественно в ночные часы.

Причиной КНЧ излучения, вероятно, является радон, который косвенно способствует разделению зарядов в атмосфере, провоцируя атмосферные разряды, которые и являются источниками излучения.

### **Список литературы**

1. Левина В.И., Ландер А.В., Иванова Е.И. Сейсмичность очага Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. // Проблемы комплексного мониторинга ДВ России 12-16 ноября 2007 г. Труды регион. науч.-технич. конф. П.-Камчатский: ГС РАН. 2008. С. 184-188.
2. Ландер А.В., Пинегина Т.К. Парадоксы очага Олюторского землетрясения 2006 г. – глубинная структура и динамика // Сборник трудов Второй регион. научно-технической конф. «Проблемы комплексного геофизического мониторинга ДВ России». Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010, С. 131-136.
3. Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Раевская С.В., Чебров А.Ю. Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г. ( $M_w = 8.3$ ) и его макросейсмический эффект // Сборник трудов Четвертой регион. научно-технической конф. «Проблемы комплексного геофизического мониторинга ДВ России» 30 сентября – 4 октября 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2014, С. 126-130.
4. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулин С.А. и др. Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой  $M_w = 8.3$  – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. выпуск № 21. С. 17-24.
5. Schekotov A., Molchanov O., Hattori K., et al. Seismo-Ionospheric Depression of the ULF Geomagnetic Fluctuations at Kamchatka and Japan // Physics and Chemistry of the Earth. 2006. №31. P. 313-318.
6. Schekotov A., Molchanov O., Hayakawa M. et al. ULF/ELF magnetic field variations from atmosphere induced by seismicity // Radio Science. 2007. №42. doi:10.1029/2005RS003441.
7. Schekotov A., Molchanov O., Chebrov V. et al. About possibility to locate an EQ epicenter using parameters of ELF/ULF preseismic emission // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2008. №8. P. 1237-1242.