

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДИАПАЗОНЕ 0-20 кГц, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ
НА ИСЗ «ДЕМЕТЕР» (ФРАНЦИЯ) НАКАНУНЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КОРЯКИИ
20.04.2006 г.**

Богданов В.В., Шумилова А.Л.

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка,
Камчатский край, als41@mail.ru*

В докладе приводятся и обсуждаются результаты вейвлет-обработки временных рядов ОНЧ-излучения электромагнитного поля в интервале 0-20 кГц, зарегистрированного в верхней атмосфере за неделю до Олюторского землетрясения, произошедшего в Корьякии (20.04.2006 г. 23:24:55 UT, $\varphi=61.06^\circ$ $\lambda=167.58^\circ$, $h=3.5$ км, $M_w=7.6$, энергетический класс $K=15$). Использовались данные, полученные микроспутниковой платформой «ДЕМЕТЕР». Рассматривались полуорбиты, траектории которых проходили вблизи эпицентра землетрясения. Соответствующие блоки данных были представлены в виде непрерывного вейвлет-преобразования, получены вейвлет-коэффициенты. Далее выполнялся расчет суммы вейвлет-коэффициентов по всем масштабным уровням, показывающей распределение энергии сигнала по частоте.

Введение

Электромагнитные явления, зарегистрированные в тектонически активных регионах, часто связывают с сейсмичностью. Имеются данные о генерации перед землетрясениями электромагнитных волн, инициированных ионосферными возмущениями в масштабе 1000 км и более [5].

Для изучения явлений, относящихся к землетрясениям и возбуждающих электромагнитные волны в верхней атмосфере, Французским Космическим Агентством (CNES) 29 июня 2004 г. в 6:30 (UT) с космодрома Байконур была запущена микроспутниковая платформа «ДЕМЕТЕР» для обнаружения электромагнитной эмиссии из сейсмоактивных регионов. Масса платформы составляет 130 кг, высота круговой орбиты – 710 км.

Основные научные цели миссии «ДЕМЕТЕР»:

- поиск электрических и магнитных сигналов в верхней атмосфере, связанных с сейсмическими или вулканическими событиями на Земле, а также сигналов, относящихся к подготовительной фазе вулканического извержения;
- определение аномалий в нейтральной атмосфере и ионосфере накануне сейсмических или вулканических событий.

Для этих целей «ДЕМЕТЕР» измеряет шесть компонентов электромагнитных волн в широком частотном диапазоне и определяет плазменные параметры, ионные компоненты, электронную плотность и температуру.

Работа, представленная в докладе, проводилась в рамках экспериментов ICE (Instrument Capteur Electrique) и IMSC (Instrument Magnétomètre Search-Coil).

Инструмент ICE на «ДЕМЕТЕР» выполняет непрерывную съемку электрического поля в широком частотном диапазоне и с высокой чувствительностью для выявления возможных электростатических или электромагнитных волн в ионосфере. Четыре электрических сенсорных системы измеряют три компоненты электрического поля в диапазоне от DC до 3.25 МГц.

Инструмент IMSC представляет собой трехосную установку из трех магнитных сенсоров, которая измеряет компоненты магнитного поля в частотном диапазоне от нескольких Гц до 17.4 кГц.

Методика и результаты обработки

Для представленного эксперимента использовались спектры ОНЧ (0-20 кГц) электрического и магнитного полей, зарегистрированных спутником. Спектры закодированы как 8-битовые образы по алгоритму:

$$S_{TM}(k) = (10 \log S(k) - S_{min}) \times \frac{255}{(S_{max} - S_{min})} \quad (1)$$

где $S_{TM}(k)$ – значение спектра на выходе, $S(k)$ – величина спектра на входе, S_{min} , S_{max} – границы спектра. Значения S_{min} и S_{max} задаются инструментами ICE и IMSC. Массив данных $S_{TM}(k)$ образует

«DEMETER» пакет [4]. Для каждой полуорбиты пакеты предоставлены через каждые 4.096 с с частотным разрешением 19.53 Гц (всего 1024 значений частоты).

Полуорбиты выбирались таким образом, чтобы ИСЗ пролетал над областью вблизи эпицентра Олюторского землетрясения. Для сравнения использовались спектры в сейсмически спокойное время. В каталоге землетрясений Камчатки были выбраны в случайном порядке дни, за неделю до которых и в течение недели после энергетический класс землетрясений не превышал $K=12$. Полуорбиты также выбирались в случайном порядке. Полученные данные регистрации параметров электромагнитного поля были представлены в виде непрерывного вейвлет-преобразования.

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала – это его представление в виде обобщенного ряда по системе базисных функций, сконструированных из материнского (исходного) вейвлета, обладающего определенными свойствами за счет операций сдвига во времени и изменения временного масштаба:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in R, \quad a \neq 0 \quad (2)$$

где $\psi(t) \in L^2(R)$ – материнский вейвлет, $\psi_{ab}(t) \in L^2(R)$ – вейвлет, порождаемый вейвлетом $\psi(t)$, a – временной масштаб, b – параметр сдвига [3].

Непрерывное (интегральное) вейвлет-преобразование функции $S(t) \in L^2(R)$ определяется формулой:

$$W_s(a, b) = (S(t), \psi_{ab}(t)) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (3)$$

где $W_s(a, b)$ – вейвлет-спектр [3].

Для обработки использовался материнский вейвлет Добеши третьего порядка до 512-го масштабного уровня [2]. Результатом разложения являются вейвлет-коэффициенты, которые характеризуют распределение энергии сигнала по масштабным уровням. Чтобы получить распределение энергии сигнала по частоте, коэффициенты по всем масштабным уровням суммировались [1].

Далее были найдены средние суммы коэффициентов за неделю до Олюторского землетрясения и за период сейсмического спокойствия (16 дней). Полученные результаты представлены на рис. 1-6. На графиках на оси абсцисс отложено 1024 отчета (f), которые соответствуют частотам от 19.53 Гц с частотным разрешением 19.53. По оси ординат отложена сумма вейвлет-коэффициентов ($Sum = \sum_{a=1}^{512} W_s(a, b)$).

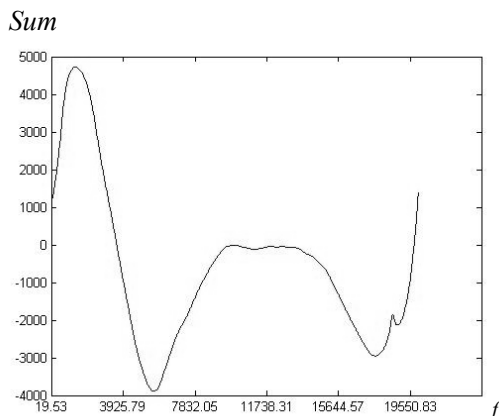


Рис. 1. Сумма вейвлет-коэффициентов для электрического поля 8.04.2006 г.

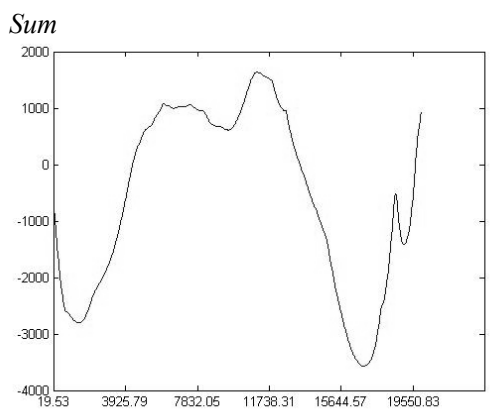


Рис. 2. Сумма вейвлет-коэффициентов для электрического поля 07.10.2004 г.

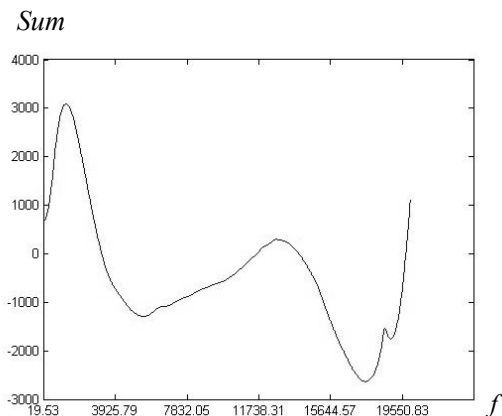


Рис. 3. Средняя сумма вейвлет-коэффициентов для электрического поля за период 13.04-20.04.2006 гг.

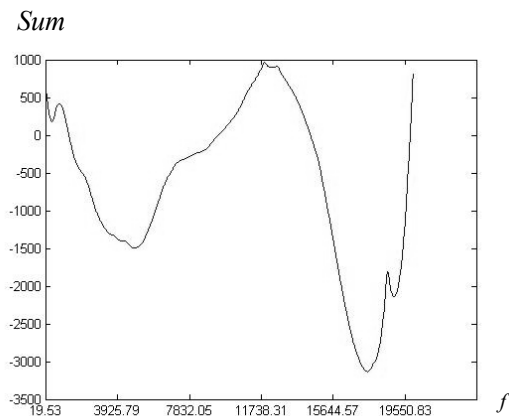


Рис. 4. Средняя сумма вейвлет-коэффициентов для электрического поля в сейсмически спокойное время (16 дней).

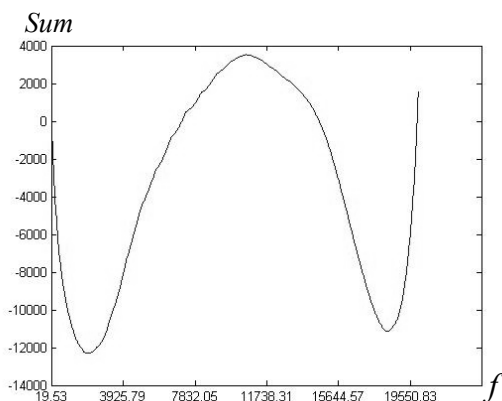


Рис. 5. Сумма вейвлет-коэффициентов для магнитного поля за период 13.04-20.04.2006 гг.

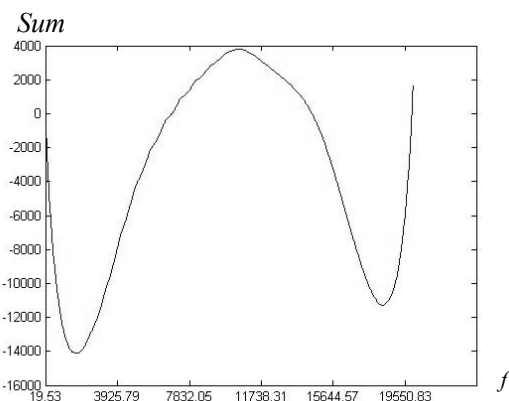


Рис. 6. Средняя сумма вейвлет-коэффициентов для магнитного поля в сейсмически спокойное время (16 дней).

Выводы

Предварительные результаты обработки ОНЧ электрического поля показали, что перед Олюторским землетрясением 20.04.2006 г., основная энергия сигнала приходится на малые частоты. В среднем пик приходится на отсчеты, соответствующие интервалу 500-2500 Гц (рис. 3). В сейсмически спокойное время и после землетрясения наибольшая интенсивность излучения приходится на средний диапазон ОНЧ (приблизительно 8000-15000 Гц). Для магнитного поля наибольшая интенсивность приходится на средний интервал ОНЧ (рис. 6). Перед землетрясением в Корякии смещение наибольшей энергии в сторону меньших частот не наблюдалось (рис. 5).

В перспективе развития данной работы для лучшего выявления аномалий в ОНЧ-излучении электромагнитного поля, возникающего в ионосферных слоях, возможен комбинированный подход, основанный на спутниковых наблюдениях и измерениях, выполняемых наземными станциями.

Список литературы

1. Богданов В.В., Геппенер В.В., Мандрикова О.В. Моделирование временных рядов геофизических параметров на основе вейвлет-преобразования. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. 108 с.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.
3. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования: Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 104 с.
4. Lagoutte D., Brochot J.Y., Madrias L., Parrot M., Poirier B. DEMETER Microsatellite: WAVE DATA PROCESSING (LEVEL 1). 2005.
5. <http://demeter.cnrs-orleans.fr/>