

Были выполнены расчеты мультистепенных и обобщенных мультифрактальных спектров для 5-ти секундных интервалов записей амплитуды внутри сеансов 29.03.06 и 23.08.05 г. Они также показали существенные различия, которые присущи обоим моделям локальных фрактальных структур мелкомасштабной ионосферной турбулентности на указанных выше масштабах  $L_L \approx (12 \div 15)$  км внутри отдельных облаков электронной концентрации ионосферной плазмы с размерами  $L_0 \approx (200 \div 250)$  км. Это иллюстрирует рис. 3, на котором приведены обобщенные мультифрактальные спектры турбулентности  $D_N(p_{3_q})$  для трех последовательных (а, б, в) пятисекундных интервалов регистрации записи амплитуды сигнала в сеансе связи со спутником 29.03.06 г. Из рис. 3 следует, что распределение в пространстве мелкомасштабных неоднородностей может кардинально меняться для разных турбулентных структур с различными показателями мультистепенных спектров внутри отдельных облаков ионосферной плазмы.

Таким образом, исследования неоднородной структуры мелкомасштабной ионосферной турбулентности с применением метода многомерных структурных функций флуктуаций амплитуды сигналов обнаружили существенные различия в поведении показателей мультистепенных спектров неоднородностей и соответствующих обобщенных мультифрактальных спектров ионосферной турбулентности как для разных облаков электронной концентрации ионосферной плазмы с размерами  $\sim (200 \div 250)$  км, так и внутри отдельных облаков для локальной неоднородной структуры с размерами  $\sim (12 \div 15)$  км. Это принципиально новый результат в исследованиях неоднородной структуры ионосферной турбулентности.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ №09-02-97026-р\_поволжье\_a.

#### Литература

1. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. М.: Наука, 1984.
2. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967.
3. Алимов В.А., Выборнов Ф.И., Рахлин А.В. // Изв.ВУЗов. Радиофизика. 2008. Т. 51. № 4. С.287.
4. Алимов В.А., Выборнов Ф.И., Рахлин А.В. // Изв.ВУЗов. Радиофизика. 2008. Т. 51. № 7. С. 571.
5. Алимов В.А., Выборнов Ф.И., Рахлин А.В. // Изв.ВУЗов. Радиофизика. 2009. Т. 52. №1. С. 14.

### ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЕСТЕСТВЕННОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

#### INFLUENCE OF WIND CONDITIONS ON NATURAL ELECTROMAGNETIC EMISSION

Дружин Г.И., Санников Д.В., Уваров В.Н.

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

*Statistical relations of wind situation with level of natural electromagnetic radiation in a ELF-VLF range are considered. Closely-coupled statistical interface between the level of electric components of the field and wind field discovered. Existence of periodic temporal connection of the field of winds velocity and magnetic components of the radiation in a range 0.2-6.5 kHz with a day's and two day's by periods discovered.*

Естественное электромагнитное КНЧ-ОНЧ-излучение возникает за счет грозových, ионосферно-магнитосферных и литосферных источников [1–6], вклад которых в общую интенсивность поля определяются различными геофизическими факторами. Необходимость исследования этих излучений обусловлена тем, что они могут служить источником информации о процессах космического, планетарного и регионального масштабов. Полученная информация может быть использована не только в науке, но и в практической деятельности человека, например, в медицине, авиации, связи, при прогнозе сейсмической активности. Настоящая работа посвящена исследованию взаимосвязи естественного электромагнитного ОНЧ-излучения с ветровой обстановкой.

Регистрация естественного электромагнитного излучения проводится на Камчатском полуострове в пункте «Паратунка» ИКИР ДВО РАН, в диапазоне частот от единиц Гц до  $\sim 10$  кГц, с применением двух идентичных магнитных рамочных (компоненты  $H_x$ ,  $H_y$ ) и одной электрической штыревой (компонента  $E$ ) антенн. Многовитковые рамочные антенны с эквивалентной площадью каждой  $\sim 5600$  м<sup>2</sup> расположены вертикально и ориентированы в направлении север-юг ( $H_x$ ) и восток-запад ( $H_y$ ). Штыревая электрическая антенна (с емкостной насадкой) высотой 1 м расположена на мачте высотой 30 м в непосредственной близости от магнитных антенн. Диаграммы направленности рамочных антенн и в горизонтальной плоскости имеют вид «восьмерки», штыревой – круг. Сигналы с предварительных усилителей по кабельной

линии связи поступают в пункт аналого-цифровой обработки сигналов, расположенный на расстоянии около 100 м от антенной системы, где осуществляется для каждой компоненты усиление сигнала и цифровая фильтрация в частотных полосах пропускания: 30-60 Гц; 70-200 Гц; 200-600 Гц; 600-2,5 кГц; 2,5-6,5 кГц; 7-11 кГц. Аппаратура работает в режиме непрерывной регистрации сигналов с записью почасовых данных на компьютер, с периодом дискретизации 4 с, равного времени накопления отдельного результата измерения.

Влияние ветра в пункте «Паратунка» на КНЧ-ОНЧ-излучение было рассмотрено за первые шесть месяцев 2009 г., при среднем значении скорости ветра больше 4 м/с. Коэффициент корреляции вычислялся за период 48 часов. Для приведения метеорологических и электромагнитных данных к общей частоте дискретизации электромагнитные данные были усреднены по десятиминутным интервалам.

Анализ нормированных кросскорреляционных функций скорости ветра и ОНЧ-излучения проводился по формуле:

$$R_{xy}(m) = \left\{ \frac{\sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m} y_n}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (x_n)^2 \sum_{n=1}^N (y_n)^2}} \right.$$

Здесь  $x$ ,  $y$  – массивы данных ОНЧ и скорости ветра, соответственно,  $N$  – количество отсчетов в рядах данных.

В качестве типичных примеров статистической связи между электромагнитными излучениями и скоростями ветра приведены кросскорреляционные функции на два периода: 18—19 января (рис. 1—3) и 7—8 марта 2009г (рис. 4—6).

Из рис. 1, 4 видно существование выраженной статистической связи между вертикальной электрической компонентой поля  $E$  и скоростью ветра в момент регистрации на всех регистрируемых частотных диапазонах, поскольку отсутствует заметный временной сдвиг максимума корреляции. Особенно хорошо такая связь наблюдается на нижних регистрируемых частотах (рис. 1, панели 1-4, рис. 4, панели 1-5). Такое поведение можно объяснить влиянием сильных эффектов электризации в окрестностях приемных антенн. Интересно, что аналогичная сильная корреляционная связь прослеживается для магнитной компоненты  $H_x$  в диапазоне частот 30-60 Гц (рис. 3, панель 1, рис. 6, панель 1). Иная картина наблюдается для магнитных компонент в других частотных диапазонах. Например, на рис. 3 (панели 4,5) и рис.6, (панели 3-5) отчетливо прослеживается существование суточной и двухсуточной периодичности статистической связи излучения магнитной компоненты  $H_x$  в частотных диапазонах 0.6- 6.5 кГц, которая, по-видимому, связана с суточной периодичностью ветра. В чистом виде двухсуточная периодичность связи ветра с магнитной компонентой поля  $H_x$  хорошо выражена на рис. 3 (панели 2,3). Существует еще один интересный вид графиков, в виде ступени (рис. 1, панель 6, рис. 2, панели 5-6), показывающий значительное изменение уровня статистической связи на достаточно небольшом интервале времени в области верхних регистрируемых частот. Это можно объяснить влиянием метеорологических фронтов – достаточно выраженной границы перехода от одних метеорологических условий к другим.

По графикам взаимно-корреляционных функций видно, что существует зависимость между скоростью ветра и естественным электромагнитным излучением в КНЧ-ОНЧ диапазоне. Наибольшая зависимость проявляется для вертикальной электрической компоненты поля в диапазоне частот  $\sim 30 - 2500$  Гц, где отмечается максимум взаимно-корреляционных функций при нулевом сдвиге, что указывает на то, что повышение скорости ветра происходило синхронно с уровнем электрической компоненты, которая, по-видимому, может быть связана с электризацией снега ветром. На частотах выше 7 кГц такого четкого эффекта не наблюдается. Преобладает корреляция ветра с магнитной компонентой поля в направлении север-юг, что может свидетельствовать о зависимости КНЧ-ОНЧ-излучений не только от скорости ветра, но и от его направления.

Результаты этой работы показывают достаточно тесную связь скорости ветра с уровнем естественного электромагнитного КНЧ-ОНЧ-излучения в пункте его приема. В диапазоне 0.2-6.5

кГц обнаружено также существование периодической временной связи с суточным и двухсуточным периодами. Обнаружено и значительное ступенеобразное изменение взаимно-корреляционной функции, которое, по-видимому, свидетельствует об изменении в условиях образования или *прохождения* метеорологических фронтов.

### Литература

1. Лихтер Я.И., Осинин В.Ф. Характеристики пурговых радиопомех // Распространение декаметровых радиоволн. – М.: Наука, 1978. С. 120–122.
2. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн в ионосфере. – М.: Наука, 1972. – 564 с.
3. Муллаяров В.А., Музлов Е.О. Эффекты геомагнитных импульсов в среднеширотных ОНЧ-излучениях // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2001. – Т. 41 № 5 – С. 619–623.
4. Дружин Г.И., Шапаев В.И. Роль мировой грозовой активности в формировании амплитуды регулярного шумового фона // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1988. – Т. 28. – № 1. – С. 81–86.
5. Козлов В.И., Муллаяров В.А. Грозовая активность в Якутии. – Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН. 2004. – 104 с.
6. Дружин Г.И. Опыт прогноза камчатских землетрясений на основе наблюдений за электромагнитным ОНЧ излучением // Вулканология и сейсмология. – 2002. – №6, – С. 51-52.

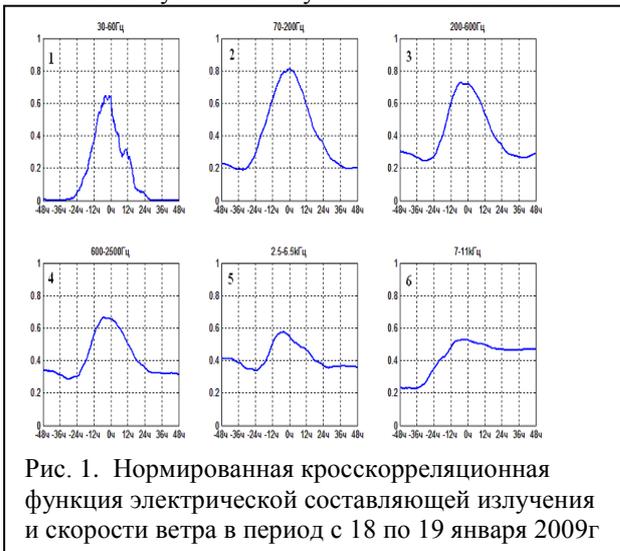


Рис. 1. Нормированная кросскорреляционная функция электрической составляющей излучения и скорости ветра в период с 18 по 19 января 2009г

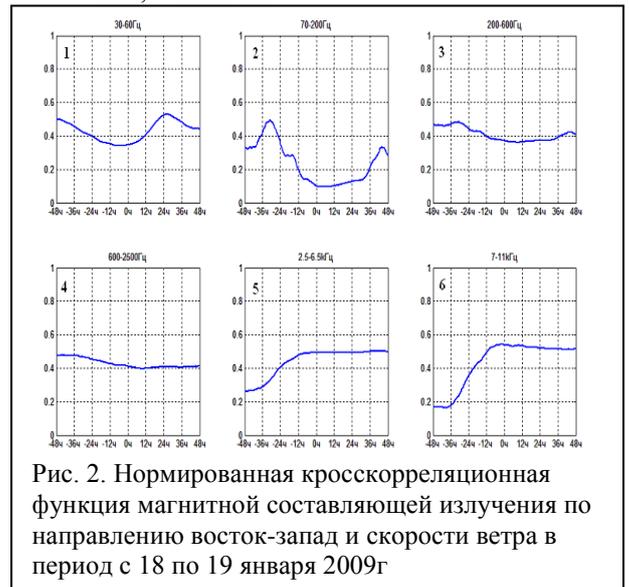


Рис. 2. Нормированная кросскорреляционная функция магнитной составляющей излучения по направлению восток-запад и скорости ветра в период с 18 по 19 января 2009г

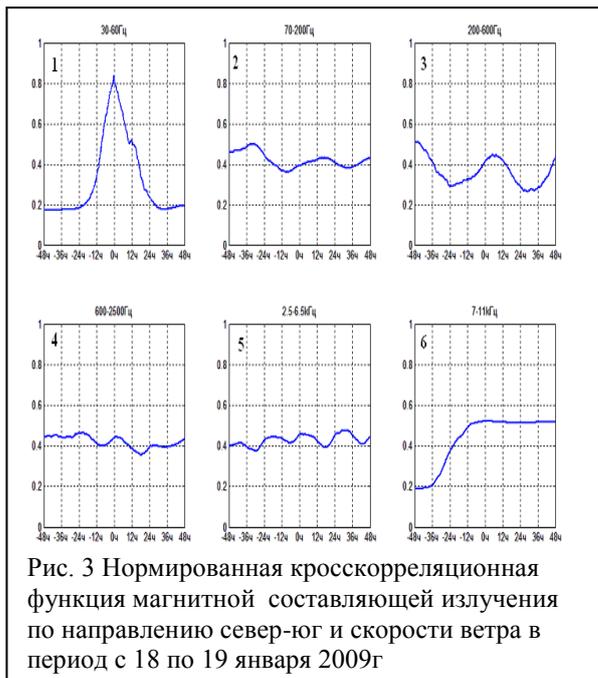


Рис. 3 Нормированная кросскорреляционная функция магнитной составляющей излучения по направлению север-юг и скорости ветра в период с 18 по 19 января 2009г

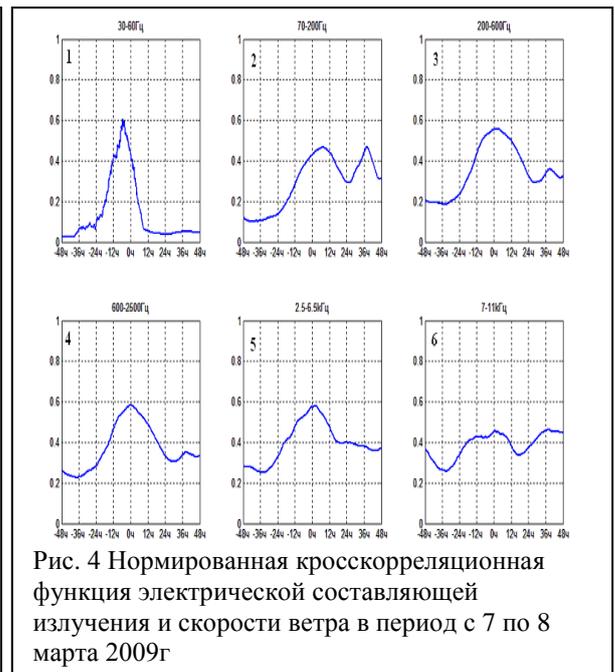
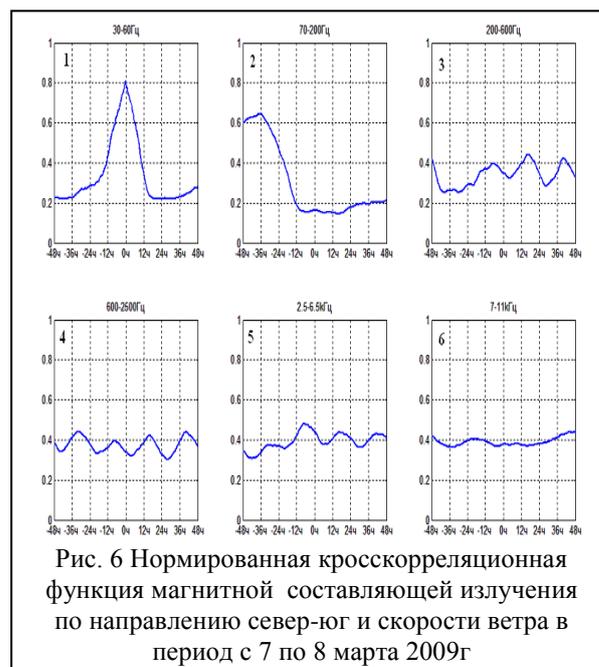
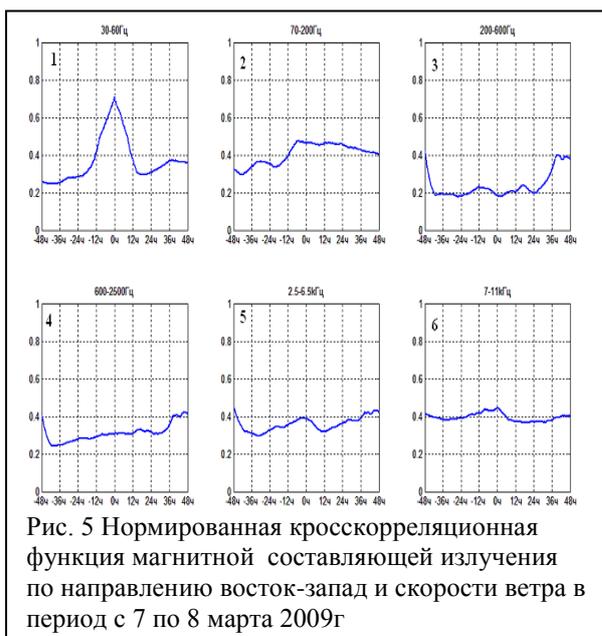


Рис. 4 Нормированная кросскорреляционная функция электрической составляющей излучения и скорости ветра в период с 7 по 8 марта 2009г



## МГД ПРИРОДА ИОНОСФЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ.

### MHD NATURE OF IONOSPHERE WAVE PACKETS GENERATED BY SOLAR TERMINATOR

Э.Л. Афраимович<sup>†</sup>, И.К. Едемский, С.В. Воейков, Ю.В. Ясюкевич

Институт солнечно-земной физики СО РАН

We analyzed the dynamic and spectral characteristics of the medium-scale travelling ionospheric disturbances (MS TID) in the form of travelling wave packets (MS TWP). We used total electron content (TEC) measurements from the global network of GPS receivers (up to 1500 stations) in 1998-2007 and the dense Japanese network GPS/GEONET (1220 stations) in 2008-2009. Diurnal, seasonal, spectral and spatial-temporal MS TWP characteristics are determined by the solar terminator (ST) dynamics and do not depend on the solar or geomagnetic activity. In the time field, TWPs are narrow-band TEC oscillations of duration of about 1-2 hours with oscillation periods of 10-20 minutes. In winter, TWPs in the northern hemisphere are observed 3-4 hours after the morning ST passage, when the TEC time derivative achieves his maximum. In summer, TWPs are recorded 1.5-2 hours before the evening ST occurrence at the point of observations, but at the moment of the evening ST passage in the magneto-conjugate area. The TWP spatial structure is of a high degree of anisotropy and coherence at the distance of more than 10 wavelengths; the TWP wavelength is about 100-300 km. Both the high Q-factor of oscillatory system and synchronization of TWP occurrence with solar terminator passage at the point of observations and in the magneto-conjugate area testify the MHD nature of ST-excited TWP generation. The obtained results are the first experimental evidence for the hypothesis for the ST-generated ion sound waves (Huba et al., GRL, 2000, 27, 19, 3181).

С использованием измерений полного электронного содержания (ПЭС) по данным глобальной сети GPS, авторы [1] обнаружили новый класс среднemasштабных перемещающихся ионосферных возмущений (СМ ПИВ) – перемещающиеся волновые пакеты (ПВП), проявляющиеся в форме узкополосных колебаний ПЭС. Период колебаний ПВП составил 10-20 мин, длина волны – порядка 150 км, длительность пакета – около 40 мин, пространственный масштаб – не более 500 км. В [2] впервые установлено, что ПВП вызваны движением солнечного терминатора (СТ). Согласно этой работе ПВП имеют длительность порядка 1-2 часа и регистрируются на 2-3 часа позже времени появления СТ на высоте 100 км.

Начиная с пионерских теоретических работ В.М. Сомсикова [3, 4], были проведены многочисленные эксперименты по наблюдению «терминаторных» волн самыми различными средствами ионосферного зондирования. Однако в основном все экспериментальные данные были получены на одиночных станциях с использованием косвенных методов спектрального анализа, и только для временных вариаций ионосферных параметров. Это затрудняет достоверную