

**АТМОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ  
АТМОСФЕРНЫХ РАДИОШУМОВ НА КАМЧАТКЕ ВО ВРЕМЯ ТРОПИЧЕСКИХ  
ЦИКЛОНОВ**

**ATMOSPHERIC EFFECTS IN THE LOWER IONOSPHERE ACCORDING TO  
ATMOSPHERIC RADIO NOISE OBSERVATIONS IN KAMCHATKA DURING  
TROPICAL CYCLONES**

*Ю.М. Михайлов<sup>1</sup>, Г.А. Михайлова<sup>1</sup>, О.В. Капустина<sup>1</sup>, Г.И. Дружин<sup>2</sup>, Н.В. Чернева<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В.Пушкова РАН*

*<sup>2</sup>Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

A temporal-spectral analysis of the diurnal variations in 4.65-kHz atmospheric radio noise, observed in Kamchatka in August and October, 2002 during strong tropical cyclones, has been performed. It has been indicated that tropical cyclones are powerful sources of internal gravity waves that can penetrate to altitudes of 60-90 km in the lower ionosphere. The maximums in the power spectra of atmospheric radio noise, the intensity of which is a factor of 1.5-2 as high as the background level and pronouncedly changes during the development of cyclones, fall on the periods  $T = 2-3$  h. The fundamental harmonic with  $T = 24$  h was distinguished in the spectral band with  $T = 0.5-36$  h, whereas the second and third harmonics have strongly variable periods and intensities. The direction-finding of the sources of electromagnetic emissions in the band 3-60 kHz was performed. The performed work demonstrated the effectiveness of the indirect methods for studying meteorological effects in the lower ionosphere.

Тропические циклоны способны воздействовать на самые нижние слои атмосферы, возбуждая широкий спектр атмосферных волн в вариациях таких метеорологических параметров, как температура, давление и ветер [2, 4]: планетарные, солнечно-суточные тепловые приливные, акустико-гравитационные. Известно, что эти атмосферные волны, усиливаясь с высотой, проникают в ионосферу. Поскольку на высотах нижней ионосферы ( $h = 60-90$  км) концентрация нейтральных частиц более чем на десять порядков превышает концентрацию заряженных частиц, сравнительно давно волновые движения в этой среде были уверенно обнаружены прямыми методами их измерения. Для исследований нижней ионосферы наряду с прямыми радиофизическими методами используются также косвенные методы, в качестве которых традиционно рассматриваются электромагнитные сигналы, генерируемые молниевыми разрядами, так называемые атмосферерики и атмосферные радиошумы. Свойства их распространения в волноводе Земля-ионосфера определяются параметрами нижней ионосферы ( $h = 60-90$  км) [3]. Ниже для изучения реакции нижней ионосферы на сильные атмосферные возмущения нами были использованы суточные вариации атмосферных радиошумов (АРШ) на частоте 4,65 кГц, наблюдаемые на Камчатке в августе и октябре 2002 г. во время сильных тропических циклонов в Тихом океане. В качестве пункта наблюдений был выбран район Левая Авача ( $\varphi=54^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=158^\circ\text{E}$ ). С применением ОНЧ-пеленгатора [1], разработанного и изготовленного в ИКИР ДВО РАН (Паратунка), осуществлялась регистрация импульсных ОНЧ-излучений, превышающих по интенсивности задаваемый уровень. Достоверность в определении пеленга проверялась по сигналам СДВ-радиостанций. При этом ошибка пеленга составляла  $2-3^\circ$ . Максимум в распределении частоты появления и интенсивности тропических циклонов в их сезонном распределении приходится на август-октябрь месяцы (<http://www.npmoc.navy.mil/jtwc/atcr>).

В это время в 2002 г. в западной части Тихого океана происходили такие тропические циклоны, как Phanfone (10.08-20.08), Rusa (22.08-01.09), Sinlaku (28.08-08.09), а в октябре – Bavi (07.10-14.10) и Maysak (25.10-30.10). Кроме того, были выделены дни со слабым циклоном (2-5 августа). Вместе с тем были и относительно спокойные дни: это 6-9

и 20-21 августа. Эти данные приняты нами как фоновые при анализе отклика нижней ионосферы на мощные атмосферные процессы.

На рис.1 в качестве примера приведена траектория циклона Rusa. Спектральная плотность мощности (ниже для краткости спектр мощности) суточных вариаций АРШ оценена методом периодограмм с прямоугольным временным «окном». Выполнена фильтрация исходного спектра для выделения полосы периодов 0,5-3 ч, совпадающей с периодами внутренних гравитационных волн (ВГВ), интенсивность которых, как показано ранее авторами [5], сильно изменяется в зависимости от различных геофизических параметров. Соответствующая этой спектральной полосе временная форма получена путем обратного преобразования Фурье. Во временной области ВГВ представляют собой короткопериодные нерегулярные колебания, наложенные на суточные вариации. Результаты детального спектрального анализа в полосе периодов 0,5-3ч показаны в динамике на рис.2 для циклонов Rusa и Sinlaku, совпадающих в период с 28 августа по 1 сентября (TY Sinlaku следует за TY Rusa почти по тому же маршруту с запаздыванием в шесть суток). На верхнем фрагменте показана последовательность суточных вариаций АРШ, на нижнем фрагменте –

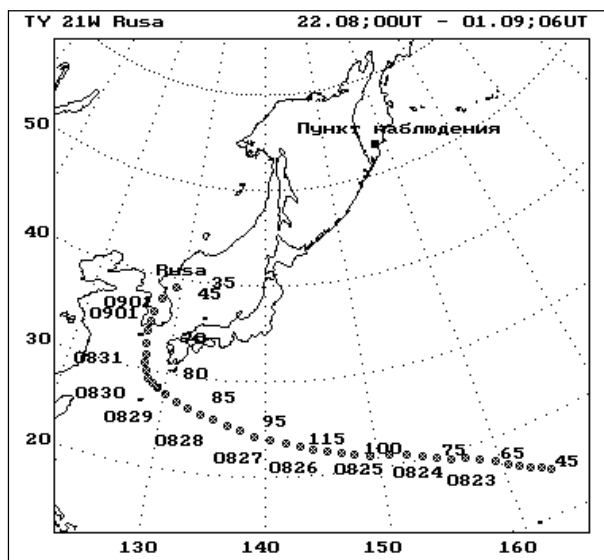


Рис.1. Траектория тайфуна Rusa в западной части Тихого океана в августе-сентябре 2002 г. Цифры вдоль трека: четырехзначные – дата (месяц, день), двух или трехзначные – значения скорости ветра в узлах (1 узел = 1,87 км/ч). В заголовках указаны дата и время начала и конца каждого циклона по версии **Naval Pacific Meteorology and Oceanography Center**.

Рис.2. Последовательность суточных вариаций интенсивности атмосферных радиозумов на  $f = 4,65$  кГц (в UT) во время тропических циклонов Rusa и Sinlaku (вверху) и соответствующих спектров наложенных атмосферных шумов в полосе периодов  $T=0,5-3$  ч (внизу).

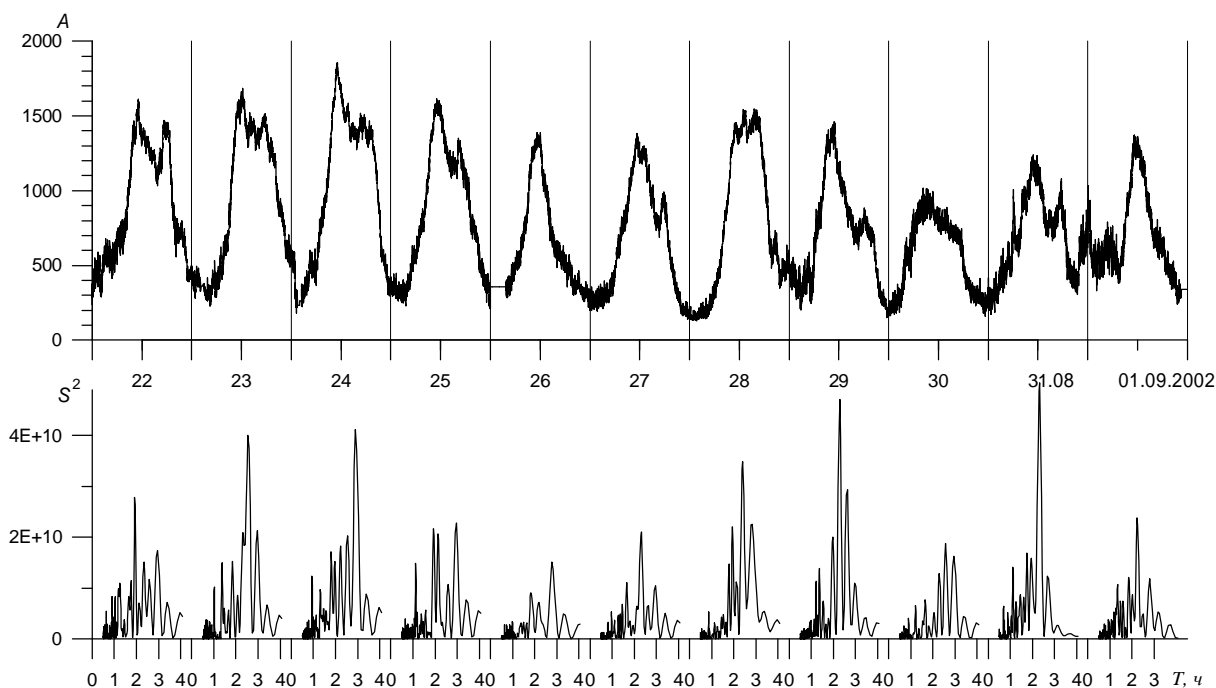


Рис.2. Последовательность суточных вариаций интенсивности атмосферных радиозумов на  $f = 4,65$  кГц (в UT) во время тропических циклонов Rusa и Sinlaku (вверху) и соответствующих спектров наложенных атмосферных шумов в полосе периодов  $T=0,5-3$  ч (внизу).

последовательность их спектров в полосе 0,5-3 ч. Видно, что интенсивность отдельных компонент спектра довольно случайным образом изменяется ото дня ко дню. Максимумы в спектрах приходятся на периоды  $T = 2-3$ ч, интенсивность которых заметно возросла 29 и 31 августа при совпадении по времени двух циклонов. Аналогичная последовательность спектров получена для всего периода наблюдений в разных условиях: спокойная метеорологическая обстановка, наличие слабых и умеренных циклонов, период зарождения мощного тайфуна, а также во время магнитной бури. Одновременно с развитием циклонов определялся их азимут с помощью ОНЧ-пеленгатора. Представляло интерес выделить в суточных вариациях АРШ наличие солнечно-суточных приливных тепловых колебаний, которые, как уже было показано ранее [5], постоянно присутствуют в нижней ионосфере. В качестве иллюстрации на рис. 3 показана последовательность суточных вариаций радишумов в период 27 – 30 августа. Выбор интервала обработки длительностью четверо суток необходим для надежного выделения первой суточной гармоники в атмосфере Земли. Результаты спектральной обработки приведены на рисунке в полосе периодов 0-48 ч (2); 0-18 ч (3); 0,5-3 ч (4). Гармоника с  $T = 24$  ч преобладает по интенсивности ( $S^2 \sim 3 \cdot 10^9$ ) над субгармониками ( $T \sim 15; 12; 10; 8$  ч) ( $S^2 < 3 \cdot 10^8$ ) и на три порядка превышает компоненты, совпадающие с периодами ВГВ ( $S^2 \sim 7 \cdot 10^6$ ). В последнем фрагменте (4) преобладают компоненты с  $T = 2-3$  ч. Август месяц был выделен не только наличием трех сильных тропических циклонов, но и спокойными геомагнитными и сейсмическими условиями. Вариации спектров АРШ во время магнитной бури 24-26 октября показаны на рис.4.

Анализ всей совокупности полученных нами спектров мощности атмосферных радиопомех на частоте 4,65 кГц в широкой полосе периодов 0,5-36 ч показал следующее:

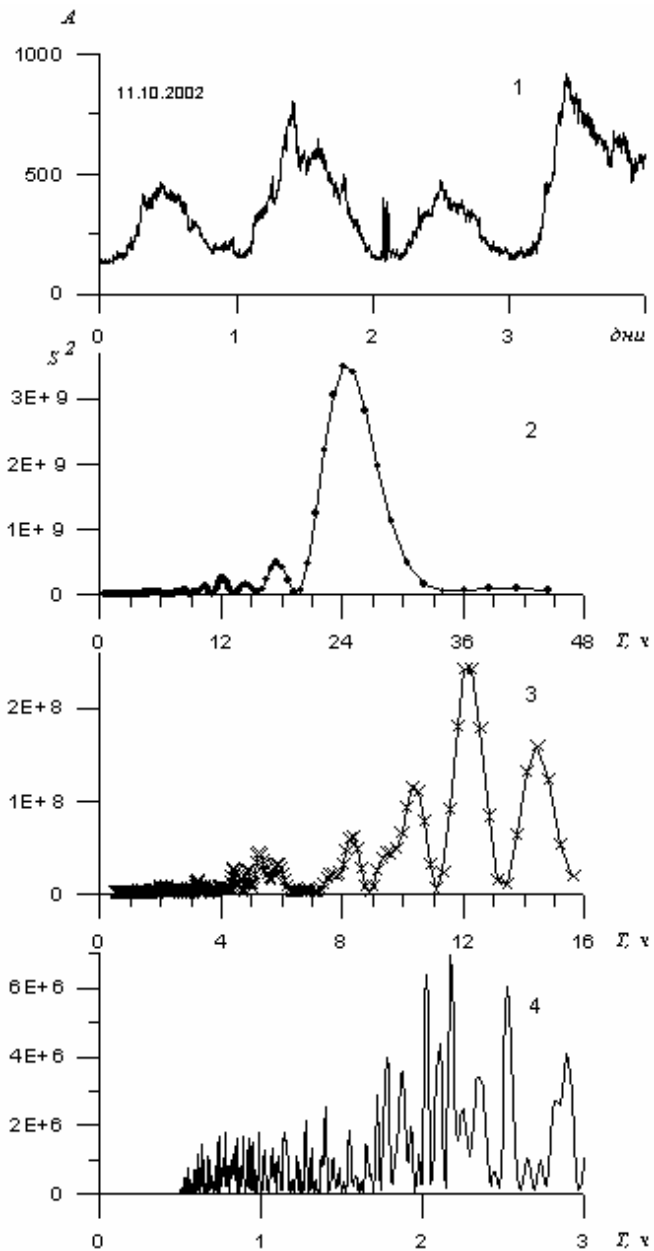


Рис.3. Спектры мощности атмосферных радишумов в полосе периодов 0-48 ч (2); 0-18 ч (3) и 0,5-3 ч(4) во время тропического циклона Bavi.

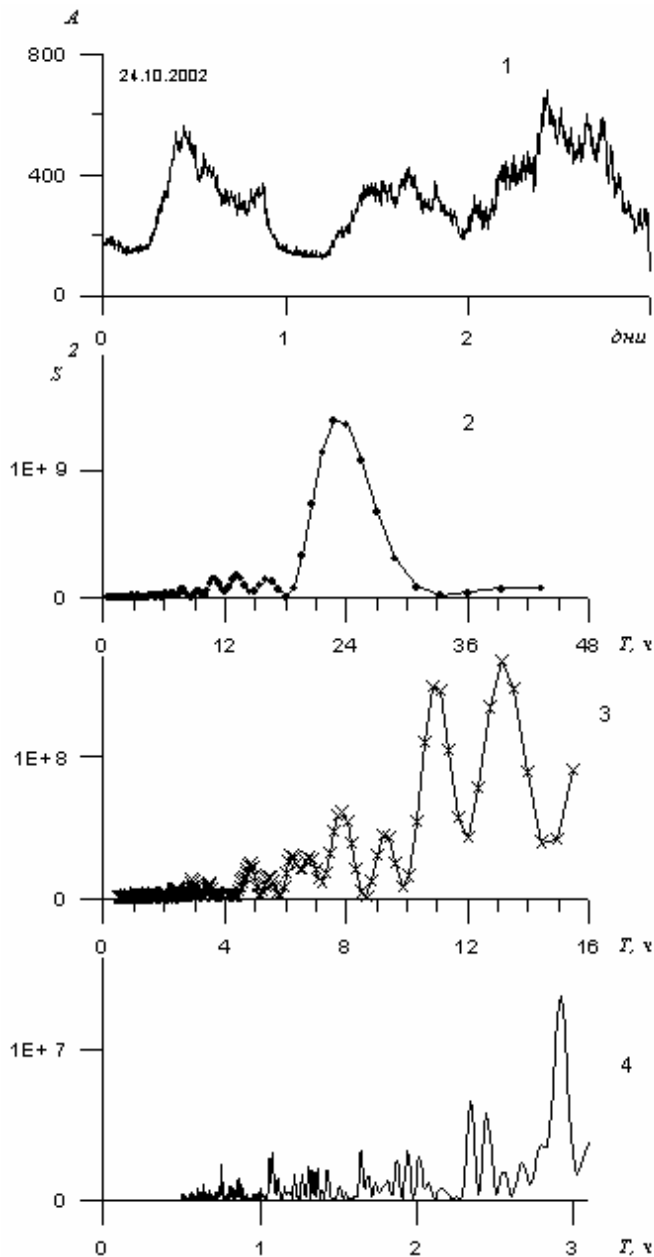


Рис.4. То же, что и на рис.3, но во время магнитной бури.

- во время тропических циклонов по мере их развития в течение нескольких суток наблюдалось усиление спектральных компонент в полосе 0,5-3 ч с максимумом с  $T=2-3$  ч. интенсивность максимума в 1,5-2 раза превышала фоновые значения;

- во время магнитной бури спектральная плотность мощности в полосе периодов 0,5-3 ч падала ниже фонового уровня;

- необычное поведение спектров мощности в полосе 0,5-36 ч проявилось в том, что только основная компонента с  $T=24$  ч оказалась очень устойчивой по периоду с незначительными изменениями по интенсивности. В тоже время, как при тропических циклонах, так и во время магнитной бури отмечена сильная изменчивость второй и третьей гармоник ( $T = 12, 8$  ч) как по величине периодов, так и по интенсивности. Детальный анализ этого эффекта выходит за рамки данной работы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 02-05-79066; 04-05-65100).

#### Список литературы

1. Вальков С.П., Громов Б.Н., Дружин Г.И., Козлов В.И., Лаптев А.Д. Однопунктовая пеленгация дальних атмосфериков // Геофизические явления на авроральных широтах / Ред. Е.Ф.Вершинин. –Якутск: ЯНЦ СО АН СССР. 1990. С.117-120.
2. Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. – М.: Мир, 1978. – 532 с.
3. Краснушкин П.Е. Проблема распространения длинных и сверхдлинных радиоволн вокруг Земли и нижние слои ионосферы (С, D, E) в свете теории информации // ДАН. 1961.Т.139, №1. С.67-70.
4. Метеорологические эффекты в ионосфере / Ред. А.Д. Данилов и др. – Л. : Гидрометеиздат. 1987. – 269 с.
5. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Дружин Г.И., Капустина О.В. Обнаружение атмосферных волн в спектрах мощности атмосферных помех на Камчатке // Геомагнетизм и аэронавигация. 2004. Т.44, №2. С.245-253.