

*В.П.БУРМАКА, А.Н.ЕРЕМИН, Ю.И.ПОДЪЯЧИЙ*, канд. физ.-мат. наук,  
*В.И.ТАРАН*, д-р физ.-мат. наук

## **ВЫСОТНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ МОЩНОСТИ НЕКОГЕРЕНТНО РАССЕЯННОГО СИГНАЛА, СОПРОВОЖДАВШИХ ПРОХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ТЕРМИНАТОРА И СТАРТЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Описано результати дослідження варіацій коефіцієнта кореляції флукутацій потужності некогерентно розсіяного сигналу в діапазоні висот 100 – 500 км. Виявлено та пояснено квазіперіодичні зміни висотного коефіцієнта кореляції. Вони пов'язані з рухом сонячного термінатора та стартами космічних апаратів на космодромах Байконур і Мис Канаверал.

Correlation coefficient variations research results of incoherent scatter signal power fluctuations in the range of heights 100 – 500 km are described. Quasi-periodic changes of high-altitude correlation coefficient are detected and explained. They are connected with solar terminator movement and launch of space vehicles from the Baikonur and Cape Canaveral cosmodromes.

**1. Введение.** В последнее время значительное внимание уделяется исследованию волновых возмущений (ВВ) в околоземном космосе. ВВ генерируются в результате воздействия “снизу” и “сверху” источников естественного и искусственного происхождения (вспышки на Солнце, геокосмические бури, мощные атмосферные процессы, извержения вулканов, землетрясения, старты крупных ракет, мощные взрывы и др). Воздействия источников искусственного происхождения можно рассматривать как активные эксперименты с большим энерговыделением, которые занимают видное место в рамках системного подхода к исследованию физических процессов в геокосмосе [1]. При этом известны основные параметры воздействия: время, место, величина энерговыделения, продолжительность воздействия и др.

В настоящей работе в качестве источников с большим энерговыделением используются старты крупных ракет, происходившие 2002 г. на удалениях около 2000 и 10000 км, а также солнечный терминатор.

Целью работы является изложение результатов корреляционного анализа квазипериодических флукутаций мощности некогерентно рассеянного (НР) сигнала в ионосфере, возмущенной стартами ракет (СР) и прохождением солнечного терминатора (СТ).

**2. Средства наблюдения.** Радар НР расположен в Ионосферной обсерватории Института ионосферы вблизи г. Харькова (49°36' с.ш., 36°18' в.д.) [2,3]. Основные параметры радара следующие: частота – 158 МГц, диаметр параболической антенны – 100 м, эффективная площадь зенитной антенны – около 3700 м<sup>2</sup>, коэффициент усиления антенны – около 10<sup>4</sup>, ширина основного лепестка диаграммы направленности на уровне половинной мощности около 1°,

импульсная и средняя мощности радиопередающего устройства до 3,6 МВт и 100 кВт соответственно, длительность импульса до 800 мкс, частота следования импульсов – 24,4 Гц. Полоса пропускания фильтра радиоприемного устройства составляет 5,5 – 9,5 кГц. Эффективная шумовая температура системы, приведенная ко входу радиоприемного устройства, зависит от времени суток, сезона, уровня атмосферных и промышленных радиопомех и изменяется в пределах 1300 – 1800 К.

Радар с вычислительной сетью, образуют измерительно-вычислительный комплекс, осуществляющий предварительную обработку НР-сигнала в реальном масштабе времени на интервале  $\Delta T_0 = 1 - 1,5$  мин.

**3. Методика измерения и обработки.** С помощью антенны излучались радиоимпульсы мощностью 2,2 МВт, длительностью 65 и 135 мкс. Эти импульсы рассеивались тепловыми флуктуациями электронной концентрации  $N$  ионосферы и незначительная часть рассеянного сигнала принималась антенной. По мощности сигнала  $P_s$  и автокорреляционной функции обычно оцениваются параметры рассеивающей среды –  $N$ , температуры электронов  $T_e$  и ионов  $T_i$ .

В данном случае использовались высотно-временные зависимости  $P_s$ . Для каждой высоты на интервале времени  $10\Delta T_0$  со сдвигом  $\Delta T_0$  вычислялся нормированный коэффициент корреляции  $\rho = R_{nm} / \sigma_n \sigma_m$ . Здесь  $R_{nm}$  – коэффициент корреляции флуктуаций  $P_s$  для высот  $n$  и  $m$ ,  $\sigma_n^2$  и  $\sigma_m^2$  – дисперсии  $P_s$  для этих высот. В качестве опорной выбиралась высота  $z \approx 200$  км, где приблизительно находится центр атмосферного волновода.

**4. Результаты обработки. Обсуждение.** Результаты расчета  $\rho$  во время СР ракеты “Союз”, который произошел 30.10.2002 г. в 5:11 (здесь и далее время киевское) с космодрома Байконур, показаны на рис. 1. Восход Солнца имел место примерно в 4 – 6 час на высоте 450 км и на уровне Земли соответственно. Из рис. 1 видно, что до СР на всех высотах имели место хаотические вариации  $\rho$  в пределах  $\pm 0,5$ . Примерно через 40 – 50 мин после СР  $\rho$  на всех высотах существенно увеличился и достиг значений  $\pm 0,9$ . Важно, что при  $z \approx 110 - 280$  км изменения  $\rho(t)$  были квазипериодическими с преобладающим периодом 10 – 20 мин, продолжительность таких вариаций около 2 час. Хотя эффекты от терминатора и СР наложились, можно утверждать, что волновой процесс с запаздыванием 40 – 50 мин, скорее всего, связан со СР. Такому запаздыванию соответствует кажущаяся скорость  $\approx 700 - 800$  м/с. Менее четко выражено возмущение, запаздывающее примерно на 10 мин по отношению к моменту СР. Ему соответствует  $\approx 6$  км/с. Меньшее значение скорости свойственно акустико-гравитационным волнам (АГВ), большее значение – скорости медленных магнитогидродинамических (ММГД) волн с периодом в десятки минут [4,5,6]. Пример вариаций коэффициента  $\rho$  при старте космического аппарата (КА) “Space Shuttle”, имевшего место 7.10.2002 г. в 22:46 на

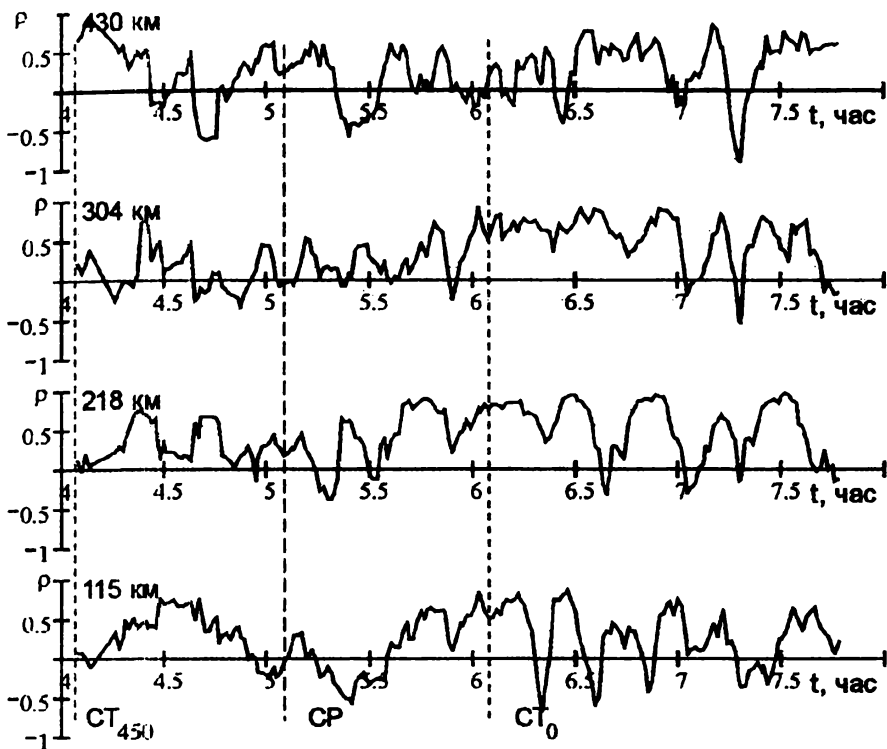


Рис. 1. Пример вариаций  $\rho(t)$  при старте ракеты “Союз” 30 октября 2002 г. ( $CT_0$  и  $CT_{450}$  – моменты прохождения терминатора на высотах 0 и 450 км)

Мысе Канаверал ( $R \approx 10000$  км), показан на рис. 2. К моменту старта КА, процессы связанные с терминатором, закончились. Возможные эффекты от старта КА наблюдались в ночное время, а значит при низком ( $0,05 - 0,5$ ) отношении сигнал/шум. До  $CP$   $\rho(t)$  изменялся во времени почти хаотически, значения  $\rho$  не превышали  $\pm 0,5$ . После  $CP$  вариации  $\rho(t)$  на высотах 140 – 320 км стали квазипериодическими (преобладающий период около 20 мин). Интересно, что в диапазоне высот 160 – 200 км эти квазипериодические процессы выражены слабее, чем ниже и выше. По-видимому, наблюдалось два характерных времени запаздывания возмущений: около 10 – 20 мин и 60 – 70 мин. Им соответствуют кажущиеся скорости 10 – 20 км/с и около 2,5 – 2,9 км/с. Такие скорости имеют гиротропные и ММГД-волны соответственно.

**Выводы. 1.** Коэффициент корреляции флуктуаций мощности ИР сигнала, принятого с разных высот, оказывается удобным параметром для выявления возмущений в ионосфере, вызванных мощными источниками энерговыделения.

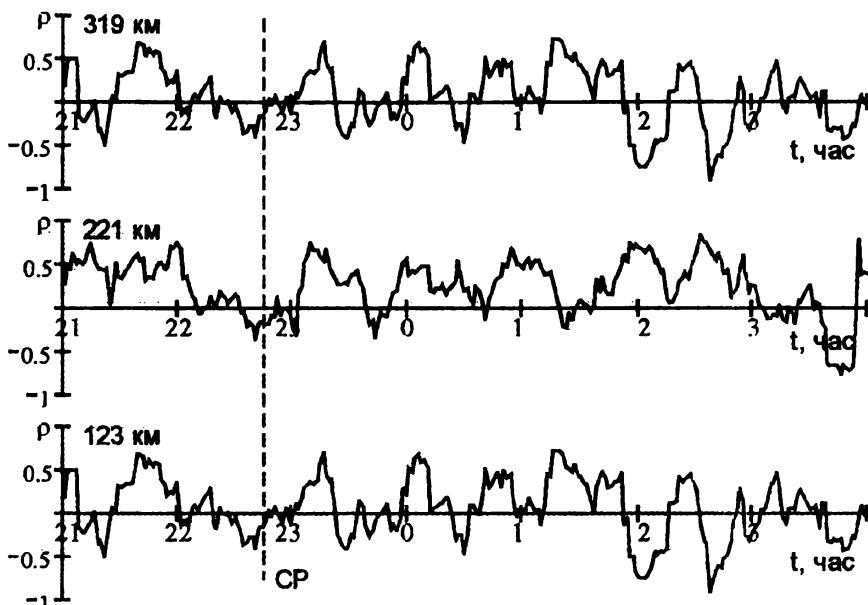


Рис. 2. Вариации  $\rho(t)$  во время старта КА "Space Shuttle" 7 октября 2002 г.

2. Обнаружены волновые процессы в ионосфере, сопровождавшие СР, на расстояниях около 2000 и 10000 км от космодромов. Переносчиками возмущений являются АГВ, ММГД и гиротропные волны. Им соответствовали скорости 0,7 – 0,8, 2,5 – 6 и 10 – 20 км/с.

Авторы благодарны Л.Ф.Черногору за ценные советы в ходе выполнения работы.

Список литературы: 1. Черногор Л.Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы. Радиофизика и радиоастрономия. 2003. Т. 8, № 1, с. 56 – 104. 2. Таран В.И. Измерительный комплекс некогерентного рассеяния Харьковского политехнического института. Радиотехника и электроника. 1976. Т.21, № 1, с. 1–4. 3. Таран В.И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния. Геомагнетизм и аэрономия. 2001. Т.41, № 5, с. 659–666. 4. Костров Л.С., Розуменко В.Т., Черногор Л.Ф. Доплеровское радиозондирование возмущений в средней ионосфере, сопровождающих старты и полеты космических аппаратов. Радиофизика и радиоастрономия. 1999. Т. 4, № 3, с. 227–246. 5. Бурмака В.П., Костров Л.С., Черногор Л.Ф. Статистические характеристики сигналов доплеровского ВЧ радара при зондировании средней ионосферы, возмущенной стартами ракет и солнечным терминатором. Радиофизика и радиоастрономия. 2003. Т. 8, № 2 (в печати). 6. Возмущения ионосферы после мощного взрывного взрыва по наблюдениям методом НР. Изв. АН СССР, Физика Земли. 1985, № 11, с. 75 – 79.

Поступила в редколлегию 15.04.03