

## ВОЛНООБРАЗНЫЕ ВАРИАЦИИ НЕВОЗМУЩЁННОГО УРОВНЯ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОСИГНАЛА С ПЕРИОДАМИ В НЕСКОЛЬКО СУТОК

В.А. Ульев, А.В. Франк-Каменецкий, Ю.А. Серов, В.В. Титов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Россия, 199397,  
Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38

**Аннотация.** Проведён анализ вариаций невозмущённого уровня сигнала космического радиоизлучения, на частоте 32 МГц, и приземной температуры на ст. Восток в течение 2012 – 2013гг. Установлено наличие вариаций с периодом 3 – 27 дней, которые противоположны по фазе и наиболее ярко выражены в зимний сезон. Предполагается, что вариации космического шума обусловлены планетарными волнами, распространяющимися в приземной атмосфере и проникающими на высоты средней атмосферы в нижнюю ионосферу.

### 1. Введение

В ряде работ показано влияние планетарных волн на процессы в ионосфере. Так в работе [Pancheva, 1989] по данным наблюдений поглощения радиоволн на радиотрассах в диапазоне 164 – 272 кГц на средних широтах, а так же поглощения при вертикальном зондировании [Abraham, 1998] установлено наличие вариаций поглощения с периодами от 2 – 30 дней. Считается, что такие вариации вызваны планетарными волнами. По данным панорамного риометра на высокоширотной ст. Сёва в Антарктиде установлено наличие вариаций регулярного поглощения с периодами около 0.5 час. Предполагается, что эти вариации обусловлены гравитационными волнами [Jarvis et al, 2003].

В настоящей работе впервые анализируются вариации невозмущённого уровня космического радиоизлучения с периодами 3 - 27 дней по материалам риометрических наблюдений на частоте 32 МГц на высокоширотной антарктической станции Восток ( $\varphi = 78^{\circ}27'S$ ,  $\lambda = 106^{\circ}52'E$ ,  $\Phi' = -83.26^{\circ}$ ).

Исследование длиннопериодных вариаций интенсивности космического радиоизлучения имеет важное значение для более глубокого понимания связи между тропосферой и мезосферой (нижней ионосферой) при вертикальном распространении планетарных и гравитационных волн из тропосферы в мезосферу.

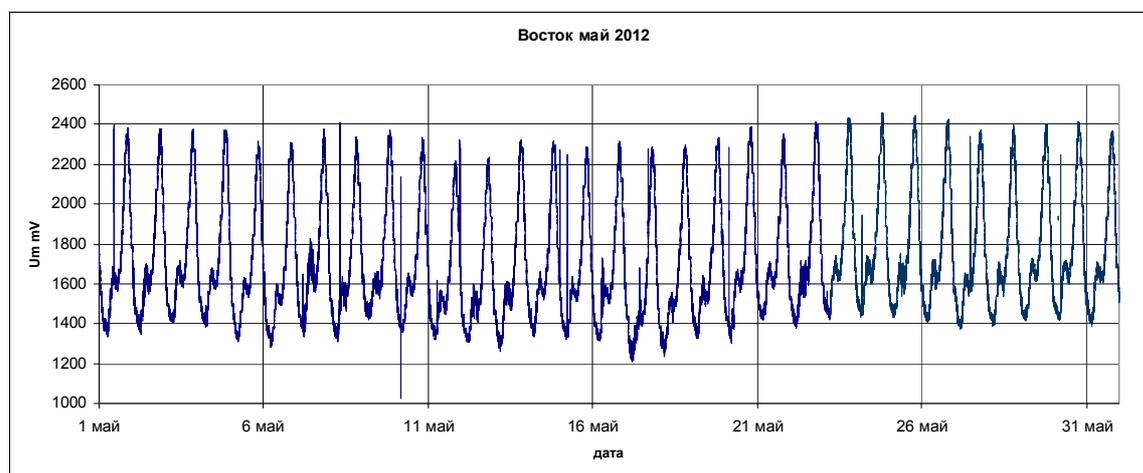


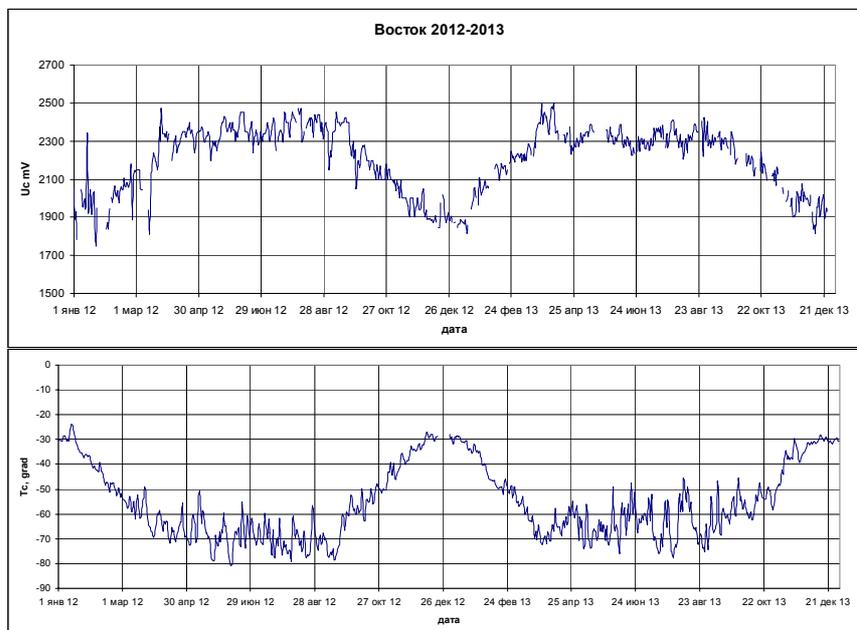
Рисунок 1. Вариации космического шума на ст. Восток в мае 2012 г.

### 2. Экспериментальные данные

При проведении данного исследования использованы материалы стандартных риометрических наблюдений космического радиоизлучения на частоте 32 МГц и приземной температуры на ст. Восток в 2012 – 2013гг. Рассматривались среднeminутные значения выходного напряжения риометра ( $U_m$ ) и приземной температуры ( $T_m$ ). Использование данных интенсивности космического шума, вместо поглощения, обусловлено тем, что при расчёте поглощения могут возникать существенные ошибки, связанные с неточностью автоматической обработки риометрических данных, в частности при вычислении кривой

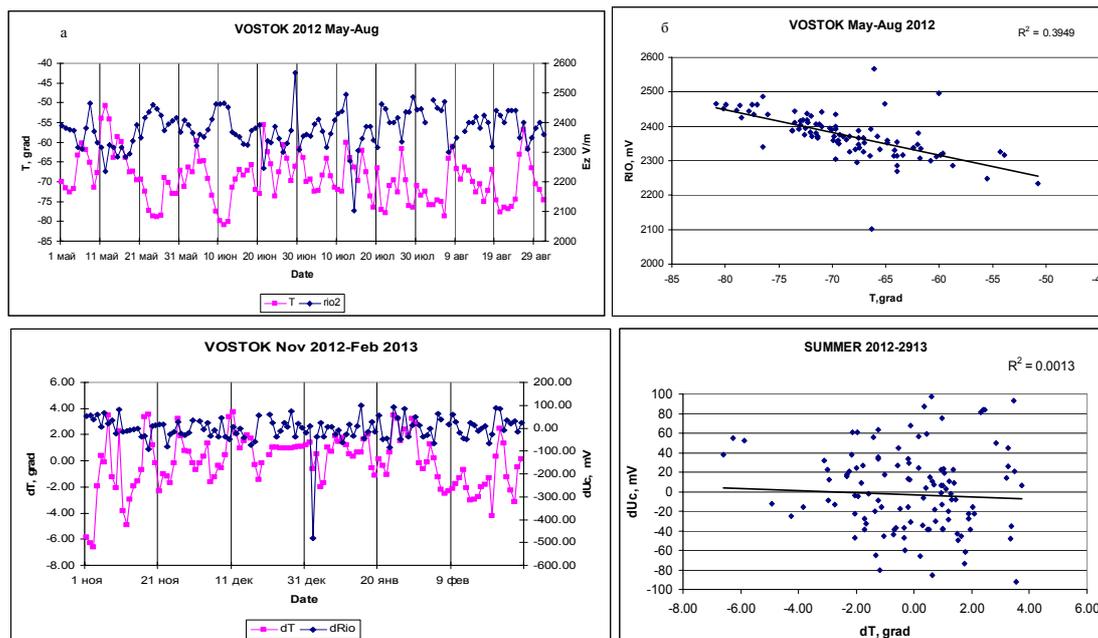
спокойного дня. Ошибки могут быть соизмеримы с амплитудой вариаций космического шума. Первичные данные, использованные в работе, приведены на рис. 1, где показаны среднeminутные значения интенсивности космического шума (выходное напряжение риометра  $U_m$ ) в мае 2012г. Видно наличие вариаций с периодом около 7 суток.

В дальнейшем для анализа использовалась величина максимального за сутки выходного напряжения риометра ( $U_c$ ) и среднесуточных значений приземной температуры ( $T_c$ ) за 2012 – 2013гг. Результат приведены на рис. 2, где показаны вариации максимальных за сутки значений уровня космического шума и среднесуточных значений приземной температуры ( $T_c$ ) за 2012 – 2013гг.



**Рисунок 2.** Годовой ход интенсивности космического шума ( $U_c$ ) (верхняя панель) и приземной температуры ( $T_c$ ) (нижняя панель) за 2012 – 2013гг.

Хорошо видно, что зимой (май-август) амплитуда вариаций  $U_c$  и  $T_c$  выше, чем летом. Зимой она  $\pm 0.5$  дБ, а летом меньше  $\pm 0.3$  дБ.



**Рисунок 3.** Связь между вариациями  $U_c$  и  $T_c$  в зимний (май – август 2013г.) (верхняя панель) и в летний (ноябрь 2012г. – февраль 2013г) периоды (нижняя панель).

На рис. 3 приведены вариации  $U_c$  и  $T_c$  в зимний (май – август 2013г.) (верхняя панель) и в летний (ноябрь 2012г. – февраль 2013г.) периоды (нижняя панель). Справа приведена зависимость интенсивности космического шума от приземной температуры. Проведены линии регрессии и определены коэффициенты корреляции:  $R_z = -0.6$  (для зимы) и  $R_l = -0.03$  (для лета). ( $dU_c$  и  $dT_c$  – это значения  $U_c$  и  $T_c$  после исключения годового тренда в летний период).

### 3. Анализ экспериментальных данных

Поскольку изменение приземной температуры не может быть причиной вариаций интенсивности космического радиоизлучения, то следует предположить существование единого источника наблюдаемых вариаций. Были рассчитаны спектры мощности  $U_c$  и  $T_c$  для зимы (левая панель), и для лета (правая панель) (Рис. 4). Спектры вычислялись по методике, изложенной в работе [Любушин, 2006]. Спектральная мощность приведена в логарифмическом масштабе.

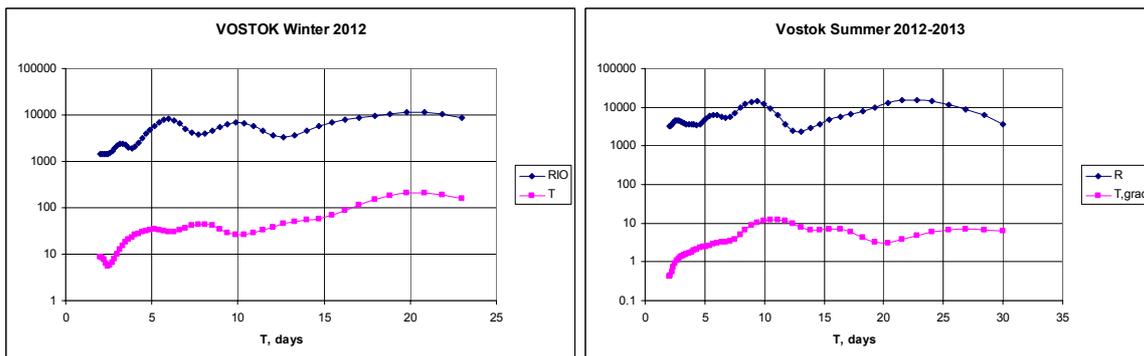


Рисунок 4. Спектры мощности  $U_c$  и  $T_c$  для зимнего (слева) и для летнего сезонов (справа).

В таблице 1 приведены основные периоды, наблюдаемые в вариациях уровня космического шума и приземной температуры на станции Восток.

Таблице 1

	T, дни				
	3	6	10	16	20
Зима $U_c$	3	6	10		20
Зима $T_c$		5	8		20
Лето $U_c$	2	6	9		23
Лето $T_c$			11	16	27
Планет. волны	2	5	10	16	

На основании проведенного анализа выявлены два основных типа долгопериодных вариаций невозмущенного уровня космического радиоизлучения и приземной температуры.

- **Сезонный ход.** Значения  $U_c$  и  $T_c$  меняются в противофазе. Наличие сезонного хода обусловлено сезонным изменением параметров атмосферы (температуры, давления) под влиянием сезонных изменений освещенности атмосферы [Лукашкин, 1969]. Вследствие изменения температуры и давления в ионосфере меняется скорость ионизации и скорость рекомбинации, что приводит к изменению поглощения радиосигнала, а следовательно и значений  $U_c$ . Противофазное изменение  $U_c$  и  $T_c$  обусловлено тем, что в мезосфере (где происходит поглощение радиоволн) температура меняется в противофазе с приземной температурой.

- В течение всего года, как в уровне космического шума, так и в значениях приземной температуры наблюдаются медленные волнообразные колебания с периодами от 3 до 27 суток, что соответствует известным периодам планетарных волн. Кроме того, амплитуда этих колебаний зимой значительно выше, чем летом, что так же характерно для планетарных волн. [Vincent, 1990]. Наблюдаемая высокая отрицательная корреляция между значениями  $U_c$  и  $T_c$ , большие амплитуды вариаций этих параметров зимой указывают на то, что зимой активность планетарных волн в тропосфере очень высокая. Большие амплитуды  $U_c$ , высокая корреляция между  $U_c$  и  $T_c$  и отсутствие временного сдвига между этими параметрами указывают на то, что планетарные волны, возникающие в тропосфере (на что указывают вариации приземной температуры  $T_c$ ), быстро распространяются вверх в мезосферу (нижнюю ионосферу). Это может быть объяснено тем, что зимой направление стратосферных зональных ветров (с запада – на восток) такое, при котором планетарные волны из тропосферы могут свободно проникать вертикально вверх [Vincent, 1990]. На возможность быстрого вертикального распространения планетарных волн из тропосферы

в нижнюю ионосферу и влияния этих волн на поглощение космического шума в нижней ионосфере указывают результаты модельных расчётов [Lastovicka et al, 1994].

- Летом наблюдаются вариации  $U_s$  и  $T_s$  с периодами близкими к периодам планетарных волн (от 5 – 27 дней). Однако амплитуда этих вариаций существенно меньше, чем зимой. Отсутствие корреляция между  $U_s$  и  $T_s$ , малые амплитуды вариаций указывают на то, что летом активность планетарных волн в тропосфере незначительна. Отсутствие корреляции указывает на то, что волны, возникающие в тропосфере, не проникают вертикально в мезосферу (нижнюю ионосферу). Это связано с тем, что летом направление стратосферных зональных ветров такое (с востока – на запад), при котором волны из тропосферы не могут проникнуть вверх. С другой стороны, летом наблюдаются вариации с периодами, близкими к периодам планетарных волн в зимний период. Это можно объяснить тем, что регистрируемые летом вариации  $U_s$ , представляют собой планетарные волны, которые проникли из зимней мезосферы в летнюю горизонтально (вдоль меридиана) [Siddarth Shankar Das, 2012].

#### 4. Заключение

На основании проведённого анализа вариаций интенсивности невозмущённого уровня космического радиосигнала и значений приземной температуры, на высокоширотной антарктической станции Восток в течение 2012 – 2014 гг. установлено:

1. Существуют вариации интенсивности космического шума с периодами 3 – 27 суток.
2. Амплитуда вариаций космического шума может достигать  $\pm 0.5$ дБ.
3. Частота появления и амплитуда этих вариаций выше в зимний сезон, чем в другие сезоны года.
4. Вариации интенсивности космического радиоизлучения имеют высокий отрицательный коэффициент корреляции с приземной температурой зимой и низкий летом.

Сопоставление особенностей проявления медленных волнообразных вариаций космического шума на частоте 32 МГц и приземной температуры с экспериментальными данными по морфологии планетарных волн, а так же с результатами модельных расчётов, показывает, что эти вариации представляют собой проявление планетарных волн, возникающих в тропосфере и распространяющихся вверх на высоты нижней ионосферы.

Таким образом, наблюдения невозмущённого уровня космического радиосигнала (риометрические наблюдения регулярного поглощения) могут быть использованы для исследования связи между нижней ионосферой и нижней атмосферой.

#### Литература

- Лукашкин В.М. 1969, Оценка регулярного поглощения в высоких широтах по данным риометрических наблюдений. Проблемы Арктики и Антарктики, том 39, с. 77-83.
- Любушин А.А. 2006, Разведочный анализ свойств временных рядов (на основе использования интерактивной программы Spectra Analyzer). Учебное пособие для старших курсов геофизических факультетов. Москва.
- Jarvis, M.J., Hibbins, R.E., Taylor, M.J. & Rosenberg T.J. 2003, Utilizing riometry to observe gravity waves in the sunlit mesosphere. *Geophys. Res. Lett.*, 30,.
- Lastovicka, J., Ebel, A., and Ondraskova, A.: 1994, On the transformation of planetary waves of tropospheric origin into waves in radio wave absorption in the lower ionosphere. *Studia Geoph. Geodet.* 38, 71–81.
- Pancheva, D., E. Apostolov, J. Lasitovicika, and J. Bosika, 1989, Long-period fluctuations of meteorological origin observed in the lower ionosphere. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 51, 381-388.
- Saji Abraham, et al. 1998, Planetary wave effect on ionospheric absorption. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* Volume 60, Issue 4, March, Pages 441–453. doi:10.1016/S1364-6826(97)00072-2
- Siddarth Shankar Das, 2012. Characteristics of the quasi-16 day waves in the mesosphere and lower thermosphere (MLT): A review over an equatorial station Thumba (8.5N, 76.5E). Modern Climatology, DR. Shih-Yu Wang (Ed) ISBN: 978-953-51-0095-9.
- Vincent, R. A. 1990, Planetary and gravity waves in the mesosphere and lower thermosphere. *Adv. Space Res.*, 10, (12) (CIRA 1986), 93-101.