

УДК 550.388.2

**ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ  
В ПЕРИОД МАРТ–МАЙ 2005 г. ПО ДАННЫМ ИСЗ «КОРОНАС-Ф»  
И «УНИВЕРСИТЕТСКИЙ-ТАТЬЯНА»**

**С.Н. Кузнецов, Е.А. Муравьева, И.Н. Мягкова**

**VARIATIONS OF THE OUTER EARTH'S RADIATION BELT DURING THE PERIOD  
OF MARCH–MAY, 2005 ACCORDING TO CORONAS-F AND UNIVERSITETSKY-TATIANA  
SATELLITES DATA**

**S.N. Kuznetsov, E.A. Muravieva, I.N. Myagkova**

В работе представлены результаты экспериментального исследования вариаций внешнего радиационного пояса Земли (РПЗ) для электронов с энергией  $>1.5$  МэВ в марте–мае 2005 г., выполненного по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» и «Университетский-Татьяна».

In work are presented results of an experimental research of variations of the outer radiation belt of Earth (ERB) for electrons with energy  $> 1.5$  MeV in March - May, 2005. Data obtained onboard the CORONAS-F and "Universitetsky-Tatiana" satellites was used to study radiation belt dynamics both during magnetic storms, after them and during the quiet time.

### 1. Введение

Достаточно давно известно, что во время возмущений магнитосферы Земли в структуре ее радиационных поясов наблюдаются сильные изменения [3–9]. Причиной наиболее сильных возмущений, приводящих к значительным изменениям структуры радиационных поясов Земли, чаще всего являются вспышки на Солнце, сопровождающиеся корональными выбросами массы (например, [8]). Однако значительно более слабые магнитные бури, возникающие при пересечении Землей секторной границы межпланетного магнитного поля (ММП), также становятся причиной заметных изменений структуры РПЗ.

В настоящей работе исследуется динамика потоков релятивистских электронов внешнего РПЗ с энергией от 1.5 до 6 МэВ по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» и с энергией  $> 3.5$  МэВ по данным ИСЗ «Университетский-Татьяна» в период с марта по май 2005 г. в связи с различными параметрами магнитного поля Земли и солнечного ветра.

### 2. Данные

#### 2.1. ИСЗ «КОРОНАС-Ф»

ИСЗ «КОРОНАС-Ф» был запущен 30 июля 2001 г. на практически круговую полярную орбиту с наклоном  $\sim 82.5^\circ$ , начальная высота орбиты равнялась 500–530 км; в 2005 г. высота орбиты составляла  $\sim 350$  км. Анализируемые данные получены с помощью датчика, состоящего из двух полупроводниковых детекторов толщиной 0.05 мм (D1) и 2.0 мм (D2) и CsI-кристалла толщиной 1.0 см (D3). Последний был окружен антисовпадательным пластическим сцинтиллятором толщиной 0.5 см. Детектируемые частицы считались электронами, если энергоделиение в D1 меньше, чем 0.5 МэВ. Энергия регистрируемых электронов определяется энергоделиением в D2 и D3; таким образом, регистрировались электроны в 5 энергетических диапазонах: 0.3–0.6, 0.6–1.5, 1.5–3, 3–6 и 6–12 МэВ. Апертура телескопа равна  $\sim 23^\circ$ . Телескоп был ориентирован в антисолнечном направлении [1]. В настоящей работе использовались данные о потоках электронов с  $E_e=1.5\text{--}3$  и  $3\text{--}6$  МэВ

#### 2.2. ИСЗ «Университетский-Татьяна»

ИСЗ «Университетский» запущен на круговую полярную орбиту с высотой  $\sim 1000$  км и наклоном  $\sim 83^\circ$ . Ось ИСЗ ориентирована по радиус-вектору «спутник–Земля». Анализируемые данные получены с помощью сцинтилляционного детектора (Сц-1). Детектор представляет собой цилиндр ( $\phi=15$  мм,  $h=20$  мм) из кристалла CsJ(Tl), со всех сторон окруженный защитой – слоем Al (толщиной  $\sim 2$  мм). Ось детектора составляет  $\sim 15^\circ$  с направлением от Земли. В настоящей работе использовался канал, измеряющий потоки электронов с  $E_e > 3.5$  МэВ и протонов с  $E_p > 20$  МэВ [2]. На  $L > 2.5$  протоны с  $E_p > 20$  МэВ практически отсутствуют. Для анализа использовались данные, полученные спутниками при прохождении Бразильской аномалии.

### 3. Анализ данных

На рис. 1 показан временной ход параметров магнитосферы, солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. На рисунке хорошо видно, что магнитные возмущения происходили после перехода от низкоскоростных потоков солнечного ветра к высокоскоростному. Для анализа были выбраны наиболее сильные за рассматриваемый период магнитные возмущения, для которых  $|D_{st}| > 50$  нТл: 6.03.05 ( $D_{st}=-65$  нТл), 5.04.05 ( $D_{st}=-85$  нТл), 12.04.05 ( $D_{st}=-70$  нТл), 8.05.05 ( $D_{st}=-127$  нТл), 13.05.05 ( $D_{st}=-54$  нТл), 15.05.05 ( $D_{st}=-263$  нТл), 20.05.05 ( $D_{st}=-103$  нТл). Вертикальными линиями на всех рисунках показаны моменты рассматриваемых магнитных бурь. Бури 8.05.05, 13.05.05 и 15.05.05 были вызваны корональными выбросами массы, связанными с солнечными вспышками. Мы видим также существенное увеличение потоков солнечных энергичных электронов (с энергией 0.175–0.315 МэВ, по данным ИСЗ ACE) в межпланетном пространстве в периоды 5–8 мая и 13–14 мая и небольшие увеличения 14 и 20 марта.

На рис. 2 приведены данные о потоках электронов во внешнем РПЗ (электроны с  $E_e=1.5\text{--}3$  МэВ и  $E_e=3\text{--}6$  МэВ по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» и электроны с  $E_e > 3.5$  МэВ по данным ИСЗ «Университетский-Татьяна») в период март–май 2005 г. (в координатах (день года –  $L$ ); цветом показана интенсивность).

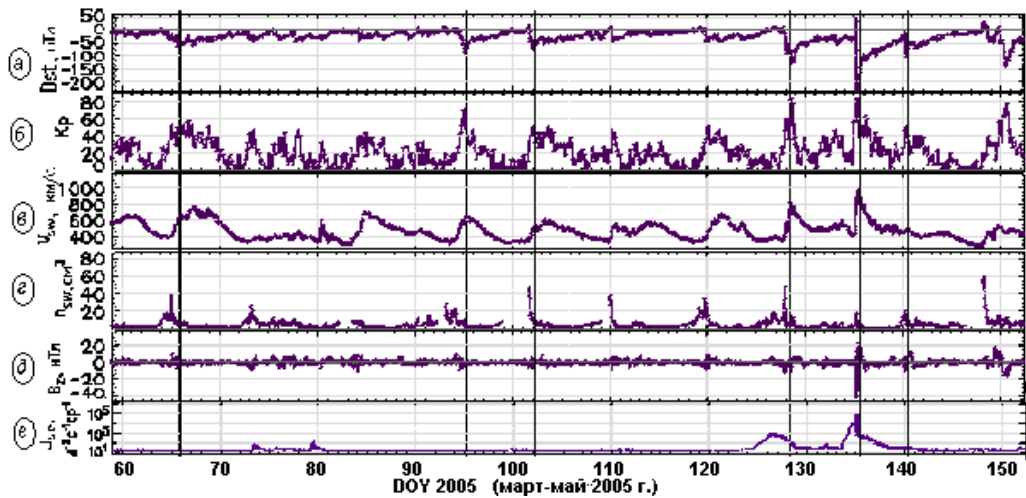


Рис. 1. Временной ход параметров магнитосферы и солнечного ветра в марте – мае 2005 г.: а –  $D_{st}$ , б –  $K_p$ , в, г – скорость и плотность солнечного ветра, д –  $B_z$ , е – поток электронов с  $E_e=0.175-0.315$  МэВ по данным ИСЗ АСЕ.

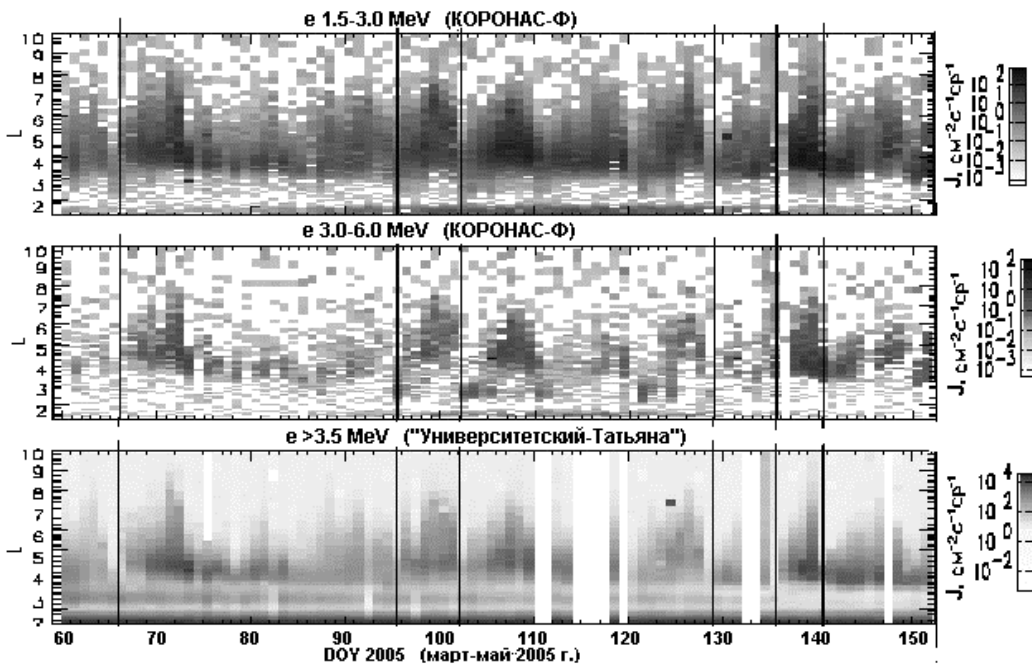


Рис. 2. Динамика потоков релятивистских электронов внешнего РПЗ в марте–мае 2005 г. по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» и «Университетский-Татьяна»

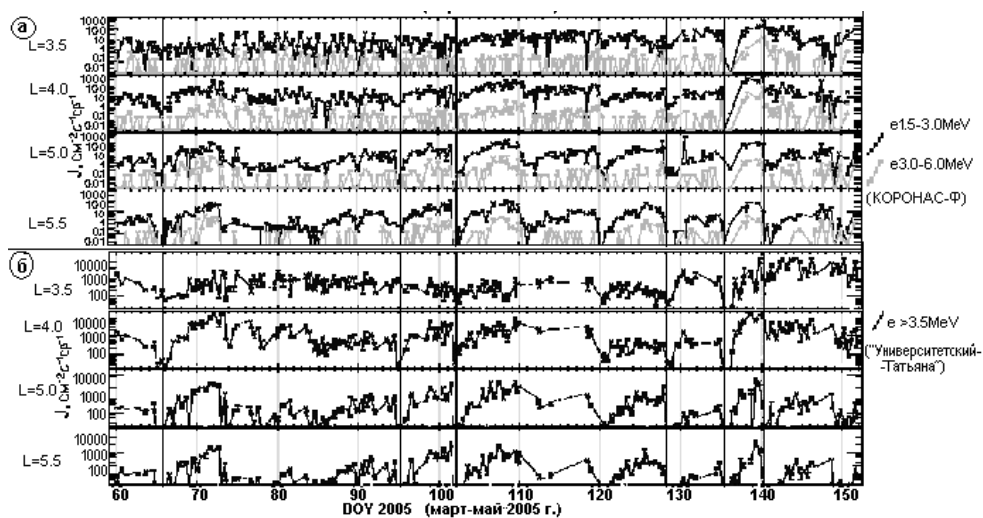


Рис. 3. Динамика потоков релятивистских электронов внешнего РПЗ на  $L=3.5, 4.0, 5.0, 5.5$  в марте–мае 2005 г. по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» (а) и ИСЗ «Университетский-Татьяна» (б).

На рис. 3 показана динамика потоков релятивистских электронов на  $L = 3.5, 4.0, 5.0, 5.5$  (по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» и «Университетский-Татьяна»). Во время геомагнитных возмущений на больших  $L$  происходят более сильные уменьшения интенсивности и после геомагнитных возмущений – более быстрое восстановление. В период с 70-й по 100-й день 2005 г. на  $L=3.5$  по данным, полученным на ИСЗ «Университетский-Татьяна», мы практически не видим отклика внешнего РПЗ на геомагнитные возмущения. Сильные колебания интенсивности на ИСЗ «КОРОНАС-Ф» на  $L=3.5$  в этот период связаны с ориентацией детектора на спутнике.

Как видно, данные, полученные ИСЗ «КОРОНАС-Ф» и «Университетский-Татьяна» (высота орбиты  $\sim 350$  км и  $\sim 1000$  км соответственно), достаточно хорошо согласуются между собой.

В предыдущих работах (например, [8–9]) было получено, что для сильных магнитных бурь происходит существенное уменьшение потоков электронов внешнего РПЗ на главной фазе бури; на фазе восстановления интенсивность потоков электронов внешнего РПЗ увеличивается. Это наблюдается и в рассматриваемый период для относительно слабых магнитных бурь (с  $|D_{st}| \sim 50 \div 200$  нТл).

Сравнивая данные о потоках релятивистских электронов внешнего РПЗ с потоками солнечных энергичных электронов, мы видим, что увеличение интенсивности потоков релятивистских электронов внешнего РПЗ происходило после всех рассмотренных бурь, независимо от наличия потоков солнечных энергичных электронов (см. рис. 1–3).

Все рассмотренные магнитные бури были вызваны приходом потоков высокоскоростного солнечного ветра (см. рис. 1); увеличение интенсивности потоков релятивистских электронов наблюдается через несколько дней после них. Особенно сильно это увеличение интенсивности наблюдается на  $L \geq 4$  (см. рис. 3). Таким образом, мы видим корреляцию (со сдвигом в несколько дней) между потоками релятивистских электронов внешнего РПЗ и скоростью солнечного ветра. Следует также отметить, что существенное увеличение интенсивности потоков релятивистских электронов внешнего РПЗ (до  $10 \div 50$  раз по сравнению с добуравым состоянием) происходит в том числе и после относительно слабых геомагнитных возмущений ( $D_{st} \sim -50 \div 100$  нТл).

#### 4. Выводы

В настоящей работе было получено, что для относительно слабых магнитных бурь (величина  $D_{st}$  от  $-50$  нТл), так же как и для более сильных бурь, происходит уменьшение интенсивности потоков релятивистских электронов внешнего РПЗ на главной фазе бури и ее увеличение на фазе восстановления. Рассматривая различные параметры, характеризующие состояние магнитосферы, солнечного ветра и интенсивность потоков солнечных энергичных электронов, мы видим отсутствие корреляции потоков релятивистских электронов внешнего РПЗ с потоком солнечных энергичных электронов и корреляцию (со сдвигом в несколько дней) со скоростью солнечного ветра. Можно сделать предположение об ускорении до релятивистских энергий электронов внешнего РПЗ, связанном с приходом к Земле высокоскоростных потоков солнечного ветра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuznetsov S.N., Kudela K., Ryumin S.P., Gotselyuk Y.V. / CORONAS-F satellite – tasks for study of particle acceleration // Adv. Sp. Res. 2002. V. 30.
2. Космический научно-образовательный проект МГУ им. М.В. Ломоносова «МГУ-250» / <http://cosmos.msu.ru>.
3. Емельяненко С.П., Кузнецов С.Н., Столповский В.Г. Внешний радиационный пояс во время сильной магнитной бури // Космич. исслед. 1978. Т. 16, № 4. С. 529–543.
4. Tverskaya L.V. The latitude position dependence of the relativistic electron maximum as a function of Dst // Adv. Space Res. 1996. V. 18. P. 135–138.
5. Williams D.J., Arens J.F., Lanzerotti L.J. Observations of trapped electrons at low and high altitudes // J. Geophys. Res. 1968. V. 73. P. 5673–5696.
6. Li X., Temerin M.A. The electron radiation belt // Space Sci. Rev. 2001. V. 95. P. 569–580.
7. Friedel R.H.W., Reeves G.D., Obara T. Relativistic electron dynamics in the inner magnetosphere - a review // J. Atmos. Solar Terr. Phys. 2002. V. 64. P. 593–618.
8. Панасюк М.И., Кузнецов С.Н., Лазутин Л.Л. и др. Магнитные бури в октябре 2003 года // Косм. исслед. 2004. Т. 42, № 5. С. 509–554.
9. Myagkova I.N., Kuznetsov S.N., Yushkov B.Yu., et al. Dynamics of the Earth's radiation belts during the time period April, 14–24 2002 – experimental data // The Inner Magnetosphere: Physics and Modelling. Geophysical Monograph. N 155. AGU, 2005. P. 127–134.