

УДК 523.4-854

А. В. Дудник

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ ЗЕМЛИ В МАЕ 2009 ГОДА НА НИЗКООРБИТАЛЬНОМ СПУТНИКЕ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА СТЭП-Ф

Аналізуються варіації потоків електронів у радіаційних поясах Землі у травні 2009 р., виміряних супутниковим телескопом електронів і протонів СТЭП-Ф комплексу наукової апаратури ФОТОН космічного апарата КОРОНАС-ФОТОН. Досліджується взаємозв'язок змін інтенсивності часток в поясах біля основи дрейфових оболонок з різними фазами слабкої магнітної бурі 8 травня, а також з динамікою параметрів високошвидкісного потоку сонячного вітру, що передувала цій магнітній бурі. Визначаються емпіричні значення часу життя електронів з різними енергіями у основному внутрішньому і зовнішньому радіаційних поясах. Досліджується частота появи і залежність від геомагнітної активності додаткового внутрішнього радіаційного поясу, що виникає спорадично.

ВВЕДЕНИЕ

Научный эксперимент с использованием спутникового телескопа электронов и протонов СТЭП-Ф проводился в 2009 г. в составе комплекса научной аппаратуры ФОТОН на борту российского научного специализированного спутника КОРОНАС-ФОТОН. Прибор СТЭП-Ф создан на основе договора о научно-техническом сотрудничестве между Харьковским автономным исследовательским национальным университетом имени В. Н. Каразина и национальным исследовательским ядерным университетом «Московский инженерно-физический институт». Основаниями для реализации эксперимента были также решения четырехсторонних совещаний полномочных представителей академий наук и космических агентств России и Украины. Научный эксперимент КОРОНАС-ФОТОН — один из немногих научных спутниковых проектов, входящих в совместную программу Российской академии наук, Национальной академии наук Украины и космических агентств обеих стран по фундаментальным космическим исследованиям с использованием автоматических космических аппаратов [1].

Спутниковый телескоп электронов и протонов СТЭП-Ф создан Харьковским национальным университетом им. В. Н. Каразина Министерства образования и науки Украины в кооперации с ОАО «АО Институт радиотехнических измерений» (г. Харьков), Институтом сцинтилляционных материалов (г. Харьков) и НИИ микроприборов Национальной академии наук Украины (г. Киев). Главными задачами проведения эксперимента на борту космического аппарата КОРОНАС-ФОТОН были изучение динамики солнечных космических лучей и радиационных поясов Земли на этапе роста 24-го цикла солнечной активности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одной из задач эксперимента с прибором СТЭП-Ф на борту космического аппарата (КА) КОРОНАС-ФОТОН было изучение динамики частиц разных сортов в магнитосфере Земли в различных ее слоях как результат воздействия солнечных вспышек и других проявлений солнечной активности. Ввиду низкой орбиты спутника потоки частиц, регистрируемые с помощью прибора СТЭП-Ф, были либо высыпаяющимися в атмосферу Земли, или же квазизахваченными. Процентное соотношение захваченных частиц с

малыми питч-углами на геомагнитном экваторе на L -оболочке (L — параметр Мак-Илвайна), вдоль которой они дрейфуют, было малым. Поэтому изучение поведения частиц у основной дрейфовых L -оболочек на низколетящем спутнике с высоким наклоном (82.5°) имеет свои преимущества. Другой особенностью эксперимента с прибором СТЭП-Ф было непрерывное изменение угла между осью обзора прибора и перпендикулярной к поверхности Земли линией от спутника в каждый момент времени в ходе текущего 96-мин витка. В итоге прибор попеременно фиксировал потоки частиц, направленные то к поверхности планеты, то от нее, то дважды за виток — вдоль поверхности Земли, что делает данные, полученные с прибора, еще более ценными.

В первой половине 2009 г. солнечная активность была очень низкой, а геоэффективные слабые вспышки и корональные выбросы массы были зафиксированы только в мае, в результате чего появилась возможность изучить динамику потоков частиц во внутренней магнитосфере. Поскольку в мае 2009 г. не было зафиксировано ни протонных вспышек на Солнце, ни сильных магнитных бурь в магнитосфере Земли, основное внимание было сосредоточено на изучении измерений потоков электронов в трех энергетических диапазонах. Анализ поведения электронов проведен для периода с 1 по 31 мая 2009 г. с 30-с временным разрешением данных.

СПУТНИКОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР-ТЕЛЕСКОП ЭНЕРГИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ СТЭП-Ф

Конструкция прибора и его составных частей.

Спутниковый телескоп электронов и протонов СТЭП-Ф включал в себя блок детекторов СТЭП-ФД, установленный на внешней площадке космического аппарата вне герметичного отсека, и блок обработки цифровой информации СТЭП-ФЭ, находившийся вместе с другими блоками электроники внутри термоотсека, заполненного аргоно-воздушной смесью под давлением 1 атм [2, 6, 4].

Основой блока детекторов СТЭП-ФД служила детекторная головка из 69 каналов аналоговой обработки сигналов, включающих в

себя зарядочувствительные предварительные усилители слабых сигналов от частиц и усилители-формирователи, обеспечивающие на выходах параметры сигналов, необходимые для дальнейшей оцифровки. Детекторная головка блока детекторов СТЭП-ФД была выполнена в виде телескопической системы и представляла собой отдельный механический модуль. Она содержала два идентичных кремниевых позиционно-чувствительных матричных детектора D1 и D2, каждый из которых имел активную зону 45×45 мм и толщину 380 мкм [7], и два сцинтилляционных детектора на основе монокристаллов CsI(Tl), просматриваемых кремниевыми фотодиодами большой площади в детекторном слое D3 и фотоэлектронным умножителем в детекторе D4. Общий угол зрения телескопа — $108 \times 108^\circ$ для малых энергий частиц и $98 \times 98^\circ$ для высоких энергий. Размер каждого из 36 квадратных элементов матричного полупроводникового детектора составлял 7.3×7.3 мм, что позволяло получить среднее угловое разрешение около 8° в общем поле зрения телескопа для высокоэнергетических частиц [3]. Эффективные площади каждого из полупроводниковых детекторов — 17 см^2 , сцинтилляционных кристаллических детекторов — 36 и 49 см^2 соответственно. Угол прихода частицы вычислялся в ходе формирования выходных информационных цифровых массивов по значениям номеров элементов кремниевых матриц детекторов D1 и D2, через которые прошла данная частица. Номера элементов определялись соответствующими коммутаторами-компараторами, записывались в регистр угла и при вычислении угла прихода считывались микропроцессором по шине данных.

Информационные кадры формировались в блоке электроники СТЭП-ФЭ с периодом 30 с и передавались через интерфейс связи в систему сбора и регистрации научной информации спутника. Время формирования информационного кадра привязано (синхронизировано) к бортовому времени спутника с точностью до 1 мс. Время передачи информационного кадра с учетом времени ожидания обслуживания не превышало 4.5 с. Объем информационного кадра с учетом вспомогательных сигналов (сигналы синхрони-

зации; сигналы, несущие информацию о значении бортового времени) составлял 2.6 Кбайт. Управление прибором осуществлялось в ходе летного эксперимента разовыми функциональными командами от наземной станции контроля и управления. Во время работы уровни порогов компараторов, влияющих на граничные значения энергетических окон регистрации трех сортов частиц, изменялись с помощью этих команд. Информация, посылаемая с прибора в систему сбора и регистрации научной информации через каждые 30 с, содержала данные о сортах, потоках и угловых распределениях частиц. Минимальное временное разрешение данных составляло 2 с, с целью изучения тонкой структуры временной динамики потоков частиц с высокой плотностью потока во время прохождения кос-

Таблица 1. Диапазоны энергий и геометрические факторы прибора СТЭП-Ф для электронов и каналов смешанной регистрации

Энергетический диапазон, МэВ	Геометрический фактор, см ² -стер	Энергетический диапазон, МэВ	Геометрический фактор, см ² -стер
<i>Электроны</i>		<i>Каналы смешанной регистрации</i>	
0.35—0.95	19.5	e ($E_e = 0.18...0.51$ МэВ) + + p ($E_p = 3.5...3.7$ МэВ)	21.7
1.2—2.3	17.4	p ($E_p = 3.7...7.4$ МэВ) + + e ($E_e = 0.55...0.95$ МэВ)	21.7
>2.3	16.2	α ($E_\alpha = 15.9...29.8$ МэВ) + + p ($E_p = 7.4...10.0$ МэВ)	21.7

Таблица 2. Диапазоны энергий и геометрические факторы прибора СТЭП-Ф для протонов и альфа-частиц

E_p , МэВ	E_α , МэВ	Геометрический фактор, см ² -стер
7.4—10.0	29.8—40.5	19.5
15.6—17.5	63.8—65.2	17.4
17.5—19.6	65.2—68.5	16.2
19.6—22.2	68.5—75.4	15.9
22.2—25.4	75.4—82.0	15.5
25.4—29.3	82.0—90.0	15.0
29.3—33.2	90.0—100.0	14.5
33.2—38.9	100.0—112.0	13.9
38.9—46.5	112.0—132.0	13.2
46.5—55.2	132.0—160.0	12.6
>55.2	>160.0	12.4

мического аппарата через радиационные пояса, Южно-Атлантическую магнитную аномалию и околополярные области.

Существовали ограничения по определению направления прихода для электронов субрелятивистских энергий ввиду их отклонения от первоначального направления движения вследствие кулоновского рассеяния в защитной фольге толщиной 100 мкм и материале первого позиционного-чувствительного кремниевого детектора толщиной 375 мкм.

Настройка электрических параметров, испытания и градуировочные измерения. Настройка прибора проводилась с помощью специально разработанной и изготовленной контрольно-испытательной аппаратуры, позволившей не только отрегулировать 69 каналов аналоговой обработки сигналов от детекторов, но и проверить правильность формирования выходных информационных массивов по различным интерфейсам связи с бортовыми системами космического аппарата.

В лабораторных условиях стабильные и короткоживущие радиоактивные изотопы использовались при проверке работоспособности детекторов частиц высоких энергий; с их помощью проведена градуировка аналоговой части прибора на выходах усилителей-формирователей в начальной части амплитудной шкалы откликов детекторов. Калибровка для более высоких энергий была продолжена на ускорителях заряженных частиц высоких энергий!

1) ионном циклотроне Института физических и химических проблем RIKEN вблизи Токио (Япония), где были использованы пучки альфа-частиц с энергией 400 МэВ и нестабильных ионов H_2^+ с энергией 140 МэВ [6];

2) ионном циклотронном ускорителе НИИ ядерной физики им. Д. В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова (Россия), где работа была проведена с пучками дейтронов энергией 15.3 МэВ и альфа-частицами энергией 30 МэВ.

Автономные испытания трех макетов прибора — лабораторного, технологического и летного — проводились как в организации-разработчике прибора, так и на сертифицированной испытательной базе Харьковских предприятий

космической отрасли Украины — в акционерном обществе «НИИ радиотехнических измерений» и научно-производственном предприятии «Хартрон-Сигма», которые обеспечили вакуумные, климатические, механические и акустические воздействия. Стыковочные и комплексные испытания четырех макетов прибора осуществлены как в составе комплекса научной аппаратуры ФОТОН в Институте астрофизики национального исследовательского ядерного университета МИФИ, так и в составе космического аппарата в целом в организации-разработчике космического аппарата.

Каналы регистрации частиц и геометрические факторы. В ходе наземных градуировочных измерений, а также в процессе предварительного анализа первых научных данных во время летных испытаний получены и уточнены диапазоны регистрируемых энергий и типы заряженных частиц. Уточненные данные о диапазонах регистрируемых энергий и геометрических факторах представлены в табл. 1 и 2.

ОБЩИЙ ВИД ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Обоснование подхода к анализу временных вариаций потоков частиц. Характерной особенностью орбиты космического аппарата КОРОНАС-ФОТОН является его движение через практически одни и те же области околоземного пространства через каждые 15 витков, которые совершаются в течение 1 сут. Количество витков определяется высотой полета спутника и его круговой орбитой. Поскольку распределение потоков частиц высоких энергий внутри магнитосферы зависит от долготы, широты и высоты, то правомерным является сравнение интенсивностей в одних и тех же или близких по координатам точках пространства в разные промежутки времени. Ввиду того, что орбита спутника близка к круговой, эти требования ограничиваются двумя параметрами — широтой и долготой. В рассматриваемом случае с космическим аппаратом КОРОНАС-ФОТОН одни и те точки пространства, куда он попадает периодически, наступают почти ровно через 24 ч. При этом сдвиг по

долготе при фиксированной широте составляет не более 2.5° . При малых энергиях такой сдвиг практически не играет никакой роли, в то время как с увеличением энергии частиц требования по близости координат усиливаются ввиду проявления более выраженных особенностей в распределениях частиц и их небольшой популяции. Объединение всех данных в течение одного и того же витка орбиты космического аппарата на протяжении периода с 1 по 31 мая 2009 г. дало возможность проследить динамику изменений потоков электронов высоких энергий в зависимости от условий в межпланетном пространстве и внутри магнитосферы Земли.

На рис. 1 в качестве примера показан временной ход спектральной плотности потока электронов с энергиями $E_e = 0.35 \dots 0.95$ МэВ на первых с начала суток витках орбиты спутника в период с 1 по 31 мая 2009 г. В период с 7 по 15 мая заметно увеличение потоков частиц и их продолжительная жизнь во внешнем поясе. Были зарегистрированы также быстро изменяющиеся потоки во внутреннем поясе в периоды 7—10 и 15—16 и 24 мая в низкоэнергетическом диапазоне энергий вне области Бразильской магнитной аномалии. Заметна также асимметрия потоков во внешнем поясе в южном и северном полушариях на протяжении каждого витка орбиты космического аппарата. Такая асимметрия связана со стабилизацией оси OZ спутника по направлению на Солнце и направленностью оси обзора блока детекторов СТЭП-ФД перпендикулярно к оси OZ . Ось OX спутника, вдоль которой направлена ось конуса обзора блока детекторов СТЭП-ФД, совершала медленный дрейф по отношению к гелиоцентрической системе координат. Медленное вращение осей OX и OY космического аппарата было заметно по показаниям приборного комплекса СТЭП-Ф только между начальными и последними днями месяца, в основном, для электронов с энергиями $E_e > 1.2$ МэВ. Эта ось, как и ось OY , была попеременно направленной то к Земле, то в противоположную сторону. Это означает, что если в какой-то произвольно взятый момент времени t , витка спутника ось конуса приема прибора была направлена от поверхности Земли, то через время $t = t_i \pm T_p/2$ ось блока

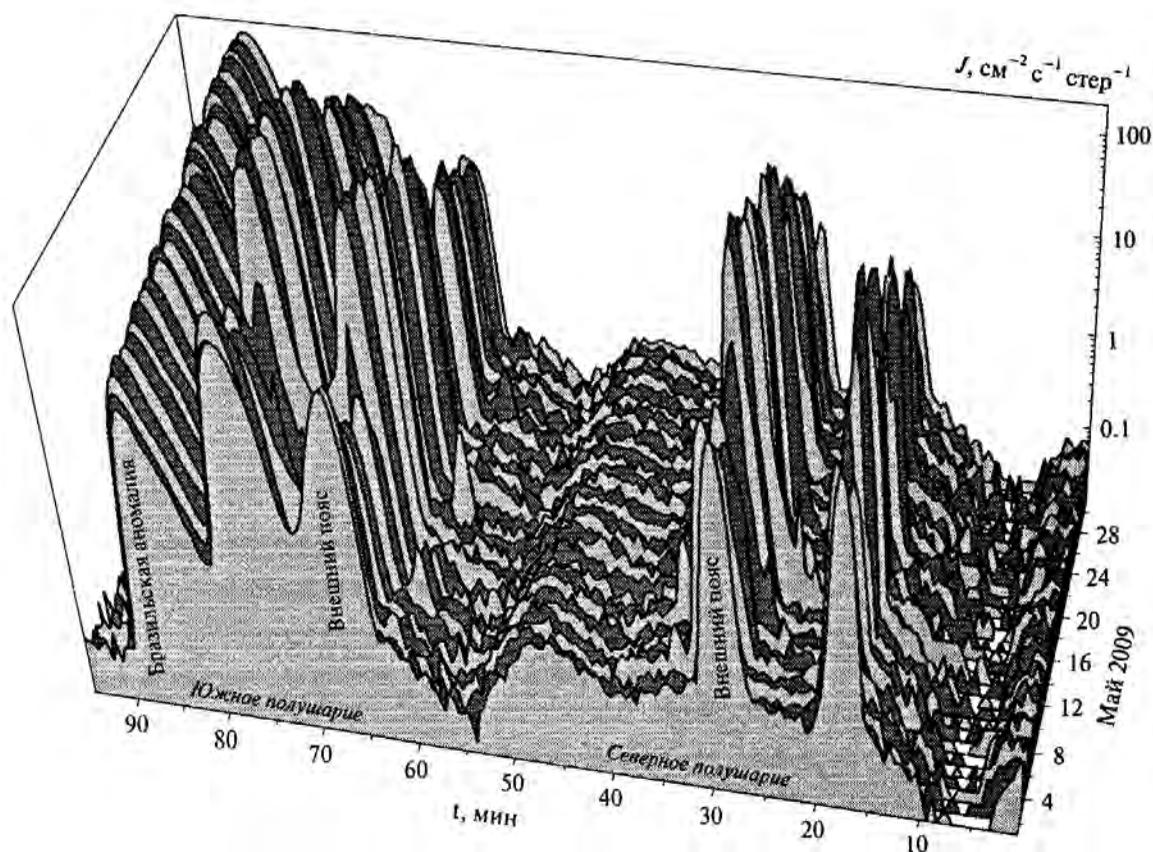


Рис. 1. Изменение спектральной плотности потока электронов с энергиями $E_e = 0.35...0.95$ МэВ в период с 1 по 31 мая 2009 г. на одном и том же, первом с начала суток витке орбиты спутника КОРОНАС-ФОТОН

детекторов СТЭП-ФД оказывалась направленной в сторону поверхности Земли, где T_b — период обращения спутника в течение первого витка. В результате на протяжении каждого витка прибор регистрировал потоки частиц, направленные как от поверхности Земли, так и летящие к поверхности планеты.

Направленностью телесного угла обзора в плоскости XU спутника обусловлена асимметрия и в регистрации фоновых потоков вне радиационных поясов и Бразильской магнитной аномалии. Судя по значениям зарегистрированных фоновых потоков в диапазонах энергий электронов $E_e = 0.18...0.51$ МэВ и $E_e = 0.35...0.95$ МэВ, можно предположить, что в рассматриваемый период прибор регистрировал потоки, направленные преимущественно от Земли в течение 5—15-й мин с момента начала каждого витка. В

течение же 52—62-й мин прибор регистрировал потоки, направленные преимущественно к Земле. Ввиду непрерывного перемещения оси угла зрения телескопа прибор регистрировал потоки, направленные преимущественно вдоль поверхности Земли, в течение 29—39-й и 75—85-й мин с момента начал витков. Последние два временных интервала указывают на более вероятную регистрацию захваченных и квазизахваченных электронов с большими питч-углами на малой высоте орбиты спутника, в то время как первые два временных интервала говорят о более вероятной регистрации высыпающихся и квазизахваченных частиц.

Суточные распределения электронов низких энергий. Анализ значений интенсивностей частиц на одном из 15 витков за каждые сутки в течение одного месяца показывает динамику

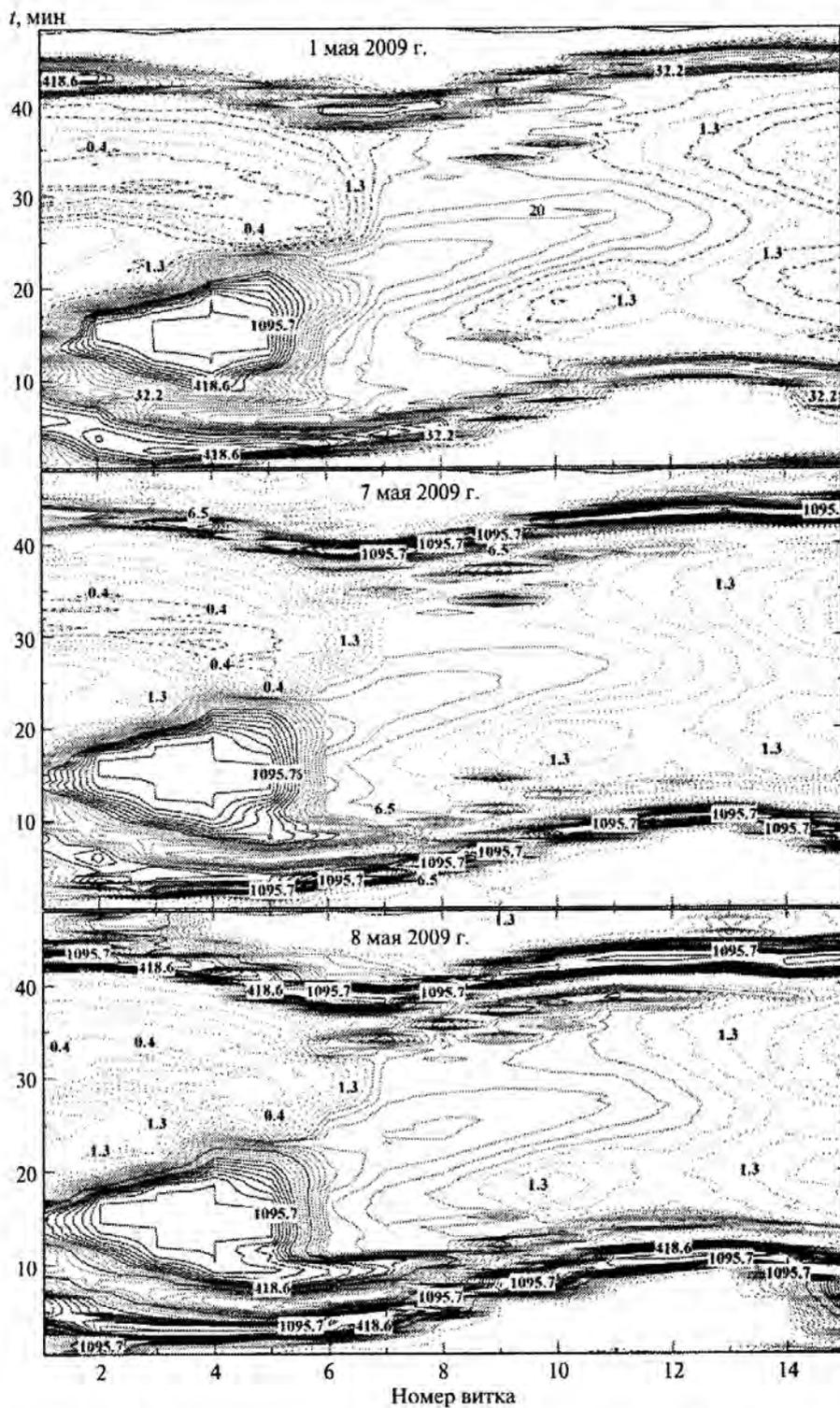


Рис. 2. Изолинии равной спектральной плотности потока электронов с энергиями $E_e = 0.18...0.51$ МэВ и протонов с энергиями $E_p = 3.5...3.7$ МэВ для каждого из 15 полувитков восходящих узлов орбиты спутника для 1, 7 и 8 мая 2009 г.

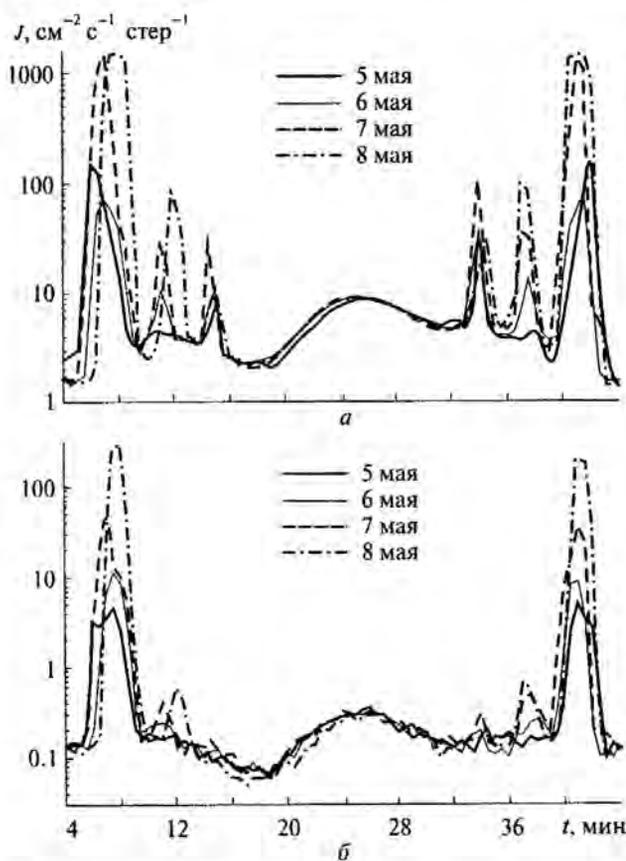


Рис. 3. Ход интенсивности частиц на 4–44-х минутах от начал восходящих узлов орбиты космического аппарата на протяжении 5–8 мая 2009 г. в канале регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.18...0.51$ МэВ и протонов с энергиями $E_p = 3.5...3.7$ МэВ (а), и в канале регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.35...0.95$ МэВ (б). Данные обработаны для девятих ежесуточных витков орбиты спутника

потоков только на одной узкой группе географических долгот. Ввиду долготного хода распределений частиц такой подход может привести к тому, что рискуют быть пропущенными локальные события на других витках в течение суток, или же более ярко выраженная, а то и носящая иной характер, динамика потоков на других группах долгот в течение длительного (несколько суток) промежутка времени. Чтобы не допустить такие пропуски, мы построили распределения спектральной плотности потоков частиц канала регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.18...0.51$ МэВ и протонов с энергиями

$E_p = 3.5...3.7$ МэВ в период с 1 по 31 мая 2009 г. Результат представлен в виде изолиний равных плотностей потоков 1, 7 и 8 мая 2009 г. (рис. 2). В построении участвовали временные интервалы восходящих узлов орбиты спутника, при этом в качестве начал 48-мин полувитков принимались не моменты пересечений экватора космическим аппаратом, как это обычно принято, а моменты перехода от нисходящих к восходящим виткам, т. е. моменты с минимально достижимой спутником широтой в южном полушарии. Окончания же полувитков соответствовали моментам максимально достижимых широт в северном полушарии.

Рис. 2 отчетливо демонстрирует три глобальных зоны повышенных потоков частиц на высоте 600 км: внешний радиационный пояс Земли в а) южном (2–10 мин) и б) северном (37–45 мин) полушариях на всех 15 витках; в) область Бразильской магнитной аномалии (7–25 мин) на первом – шестом суточных витках. Кроме того, фоновые потоки частиц вне указанных зон на 13–6 витках в северном полушарии меньше в 10–50 раз, чем фоновые потоки на 7–12 витках как в южном, так и в северном полушарии. Видны отдельные участки с увеличенными значениями потоков на 9–10-м витках на 33–37 мин с начала витков (1 мая), которые можно отнести к регистрации электронов внутреннего радиационного пояса Земли. Причем в северном полушарии внутренний радиационный пояс виден более отчетливо, чем в южном для всех отображенных дней. Этот факт только подтверждает сделанный выше вывод о том, что на 29–39-й и 75–85-й мин с момента начала витков прибор с большей вероятностью регистрирует захваченные и квазизахваченные электроны с большими пичч-углами.

Обращает на себя внимание еще одна особенность: 7 и 8 мая наблюдались два внутренних радиационных пояса на тех витках, которые проходили вне области Бразильской магнитной аномалии, т. е. от 7-го до 13-го витков. Дополнительный внутренний пояс возникал на широтах, меньших тех, которые соответствуют основному внутреннему радиационному поясу, как в южном, так и в северном полушариях. Рис. 3

демонстрирует динамику потоков частиц в двух энергетических диапазонах в течение 4—44 мин от начала восходящих узлов орбиты космического аппарата на каждом 9-м суточном витке на протяжении 5—8 мая. Отчетливо видны внешний радиационный пояс в южном (8-е мин) и северном (41-е мин) полушариях; основной внутренний радиационный пояс в южном (12-е мин) и северном (37-е мин) полушариях, а также дополнительный внутренний радиационный пояс в южном (15-е минуты) и северном (34-е мин) полушариях Земли в обоих энергетических диапазонах. Следует отметить, что вариации интенсивности частиц в дополнительном поясе происходят с большими амплитудами, чем в основном. Интересной особенностью явилось то, что 5 мая дополнительный пояс был замечен, в то время как в пространственной области местоположения основного пояса интенсивность частиц не отличалась от фоновых значений. А уже 8 мая интенсивность частиц в основном поясе увеличилась примерно в 50 раз и стала выше, чем в дополнительном внутреннем поясе. 7 и 8 мая также увеличилась интенсивность частиц и во внешнем радиационном поясе Земли более чем в десять раз.

Последующий анализ временного хода потоков частиц показал, что возникновение третьего радиационного пояса происходит на протяжении всего месяца, а быстрые вариации интенсивности определяются уровнем геомагнитной возмущенности.

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

Для определения причин очень сильных изменений интенсивности частиц в первой половине мая в околоземном пространстве была проанализирована геофизическая обстановка. На рис. 4 изображен временной ход основных параметров, характеризующих геофизическую обстановку в первой половине мая 2009 г.: полярного AA -индекса, среднеширотного K_p -индекса, экваториального D_{st} -индекса, скорости $V_{св}$ и плотности n солнечного ветра по данным протонного монитора CELIAS/MTOF/PM, установленного на спутнике SOHO. Здесь же приведены данные о потоках электронов с энергиями более $E_e > 2$ МэВ

и протонов с энергиями $E_p = 0.8...4.0$ МэВ на геостационарной орбите, измеренные на космическом аппарате GOES11. Потоки частиц во внешних слоях магнитосферы измерялись одновременно тремя спутниками серии GOES-10, 11 и 12, однако общий тренд временного хода интенсивности частиц в целом повторялся, поэтому на рис. 4, *д*, *е* приведены результаты измерений только с одного спутника.

Видно, что в период с 6 по 14 мая произошла слабая магнитная буря с $D_{st} > -30$ нТл, главная фаза которой наступила 8 мая в 6—9 ч UT. В это время значения AA - и K_p -индексов были максимальными. Начальная фаза бури была зафиксирована в начале суток 6 мая и, скорее всего, не имела выраженного внезапного импульса: резкое повышение плотности солнечного ветра, увеличение значения D_{st} -индекса произошли в 0—2 ч UT 6 мая. Локальное же повышение значений индексов магнитного поля Земли в начальной фазе развития бури, совпавшее с максимальным градиентом роста скорости солнечного ветра, наблюдалось между 6 и 7 мая. Именно 6 и 7 мая, сразу после локального повышения плотности солнечного ветра, на протяжении всей начальной фазы наблюдалось увеличение потоков электронов как в основном, так и в дополнительном внутренних радиационных поясах Земли (рис. 3).

Наступление главной фазы магнитной бури 8 мая совпало с резким и значительным, более чем в десять раз, увеличением интенсивности электронов во внешнем радиационном поясе в двух энергетических диапазонах по данным прибора СТЭП-Ф (рис. 3), а также с увеличением потоков электронов с $E_e > 2$ МэВ на геостационарной орбите по данным КА серии GOES. Увеличение интенсивности по данным прибора СТЭП-Ф произошло не на L -оболочке, отвечающей максимуму в распределении частиц за сутки до главной фазы магнитной бури, а на $L \approx 6.5$. Более того, на $L \approx 4.5$ произошло уменьшение числа частиц во время главной фазы магнитной бури. Уменьшение интенсивности электронов с энергиями $E_e = 1.2...2.3$ МэВ 8 мая произошло даже в максимуме распределений их числа независимо от смещения по дрейфовой L -оболочке. Такое

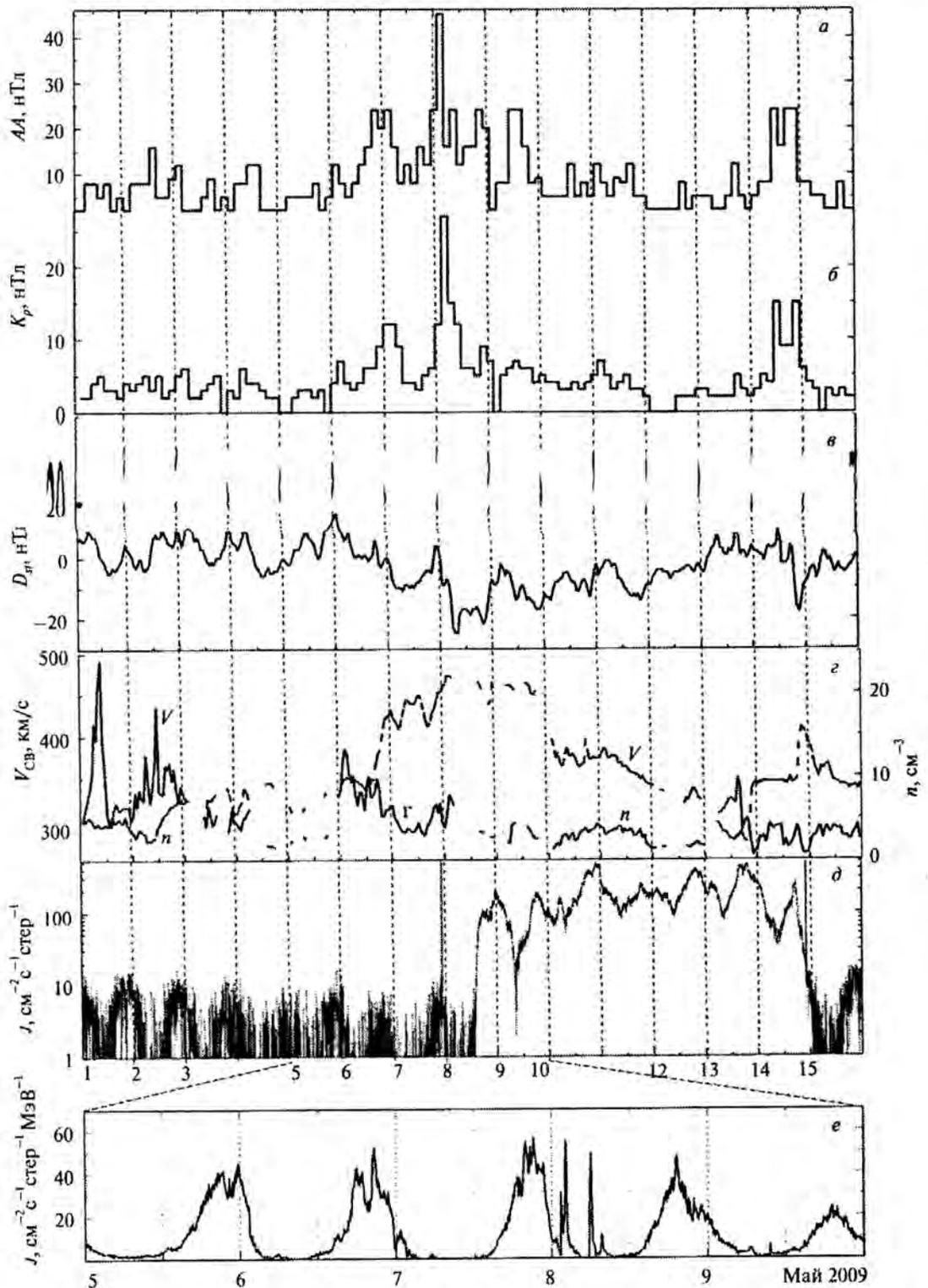


Рис. 4. Геофизическая обстановка в первой половине мая: а — AA-индекс, б — K_p -индекс, в — D_{st} -индекс, г — плотность n и скорость $V_{св}$ солнечного ветра по данным протонного монитора эксперимента CELIAS/MTOF/PM/SOHO; потоки частиц на геостационарной орбите по данным аппаратуры спутника GOES11 (д — поток электронов с энергиями $E_e > 2$ МэВ; е — поток протонов с энергиями $\Delta E_p = 0.8...4.0$ МэВ)

поведение частиц во время наступления главной фазы магнитной бури было отмечено и ранее. Например, на японском спутнике «Акебон», имевшем сильно вытянутую эллиптическую орбиту, с помощью монитора RDM было зарегистрировано значительное уменьшение числа электронов в диапазонах энергий $E_e = 0.3...0.95$ МэВ и $E_e = 0.95...2.5$ МэВ [9]. Это уменьшение, как и почти полное исчезновение потоков электронов с энергиями $E_e > 2.5$ МэВ, наблюдалось во внешнем радиационном поясе Земли во время наступления главной фазы магнитной бури 4 ноября 1993 г. с $D_{st} = -116$ нТл.

Рис. 4, д демонстрирует сохранение повышенных потоков электронов на геостационарной орбите на протяжении всей фазы восстановления магнитной бури, до конца 14 мая. Почти такую же неизменность усиленных потоков показал и прибор СТЭП-Ф в тот же самый временной интервал. На рис. 5 изображен временной ход интенсивности электронов во внешнем радиационном поясе в максимуме потоков при пересечении пояса на первом витке орбиты в северном (1) и южном (2, 3) полушариях. И только начиная с 16—17 мая на космическом аппарате КОРОНАС-ФОТОН начало фиксироваться уменьшение максимумов потоков электронов внешнего пояса. Таким образом, наблюдалась не только хорошая корреляция данных, полученных со спутников серии GOES и с прибора СТЭП-Ф на борту космического комплекса КОРОНАС-ФОТОН, но и заметна связь динамики частиц во внешнем поясе с фазой восстановления магнитной бури (рис. 4, в), причем взаимосвязь с D_{st} -индексом в данном случае проявляется в большей степени, чем с параметрами солнечного ветра, в частности с его скоростью (рис. 4, г).

На рис. 4, е виден ярко выраженный суточный ход потоков протонов на геостационарной орбите с энергиями, включающими в себя диапазон регистрации протонов прибором СТЭП-Ф: $E_p = 3.5...3.7$ МэВ. Видно, что только в момент главной фазы развития магнитной бури наблюдались кратковременные повышения интенсивности протонов. В то же время канал регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.18...0.51$ МэВ

и протонов с энергиями $E_p = 3.5...3.7$ прибора СТЭП-Ф зафиксировал повышение потоков в десятки раз в гораздо более длительный период, с 8 по 15 мая. Таким образом, можно с уверенностью констатировать, что этот канал отражает поведение электронов низких энергий, а относительный вклад числа протонов в узком энергетическом окне $E_p = 3.5...3.7$ МэВ ничтожно мал.

ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СЛАБОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ

Вариации потоков электронов на начальной фазе магнитной бури. Рис. 5 показывает, что в максимуме внешнего пояса изменений потоков в начальной фазе развития магнитной бури 7 мая на первом с начала суток витке не наблюдалось. А уже на девятом витке в тот же день произошло увеличение интенсивности частиц во внешнем поясе в более чем в десять раз в обоих диапазонах энергий (рис. 3). После наступления главной фазы магнитной бури 8 мая и на фазе ее восстановления число частиц во внешнем поясе возросло еще больше и продолжало оставаться высоким в течение нескольких суток, в то время как дальнейшее кратковременное увеличение наблюдалось только в основном внутреннем радиационном поясе (9-й виток). В дополнительном же внутреннем поясе интенсивность частиц начала понижаться.

Можно предположить, что неоднородности солнечного ветра, передавшиеся и трансформированные в магнитосфере Земли, воздействуют непосредственно на поведение частиц во внутреннем поясе более эффективно, чем во внешнем поясе, как это показывает поведение частиц 6 мая. Второе повышение потоков электронов во внутреннем поясе 15 мая также ассоциируется с кратковременным повышением скорости солнечного ветра, увеличением значений A_A - и K_p -индексов, и только подтверждает ранее сделанное предположение. Магнитная же буря в эти дни (14—16 мая) была очень слабой и едва заметной.

Диффузия электронов внешнего пояса. Рис. 5 демонстрирует не только длительное наличие во внешнем поясе увеличенных потоков элект-

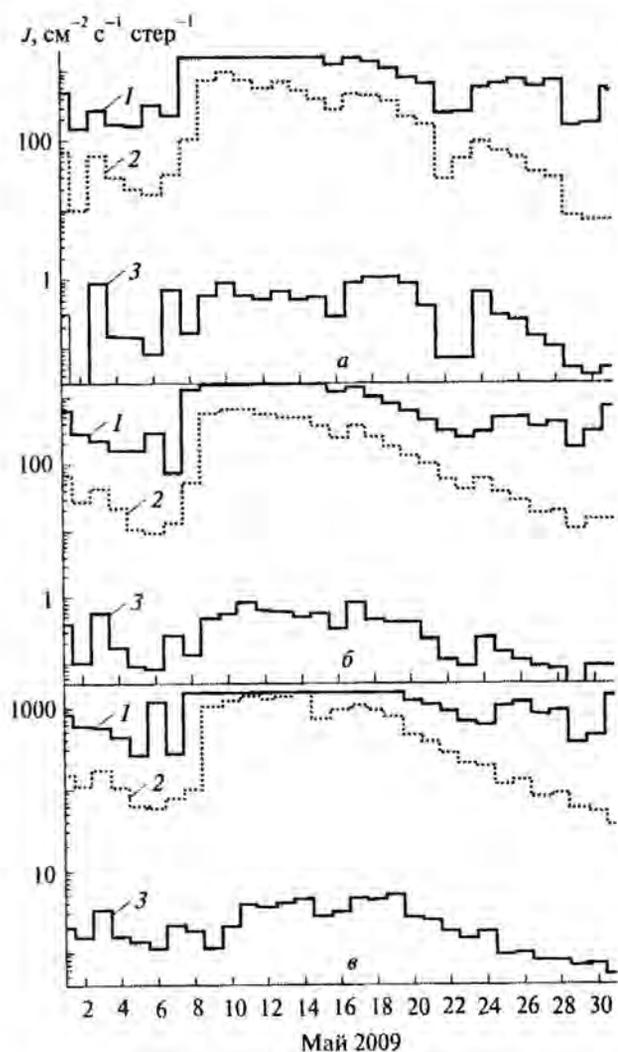


Рис. 5. Временной ход спектральной плотности потоков электронов в трех энергетических диапазонах во внешнем радиационном поясе в максимумах его потоков при пересечении спутником пояса в северном (1) и южном (2, 3) полушариях; а — канал регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.18...0.51$ МэВ и протонов с энергиями $E_p = 3.5...3.7$ МэВ; б и в — каналы регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.35...0.95$ МэВ и $\Delta E_e = 1.2...2.3$ МэВ соответственно

ронов на фазе восстановления магнитной бури 8 мая, но и экспоненциальный характер спада интенсивности частиц после окончания этой бури. Скорость спада интенсивности частиц практически одинакова для всех энергий, за исключением случая пересечения пояса в север-

ном полушарии (рис. 5, 1), где просматривается тенденция уменьшения времени жизни с увеличением энергии частиц. Наиболее отчетливо эта тенденция видна для периода с 24 по 29 мая. Спад интенсивности частиц может быть аппроксимирован функцией $J = K \exp(-t/\tau)$, где τ — время жизни электронов в радиационном поясе [5]. Заметно наличие двух составляющих во времени восстановления стационарного распределения потоков электронов внешнего пояса: τ_1 — в период с 10 по 16 мая и τ_2 — в период с 17 по 30 мая. Участок τ_1 относится к фазе восстановления слабой магнитной бури и не может участвовать в оценке времени жизни электронов ввиду непрерывной подпитки все новым количеством частиц за счет механизмов ускорения во время распада кольцевого тока. Эмпирическое время жизни электронов с энергиями $E_e = 0.35...0.95$ МэВ оказалось приблизительно одинаковым для всех трех прохождений внешнего пояса и составило $\tau_2 = 4.4 \pm 0.9$ дня. Оценки времени жизни для электронов внешнего пояса с энергиями $E_e = 0.18...0.51$ МэВ дают значение $\tau_2 = 4.1 \pm 1.1$ дня, которое практически совпадает с таким же значением для электронов с энергиями $E_e < 1$ МэВ.

Для канала регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.18...0.51$ МэВ и протонов с энергиями $E_p = 3.5...3.7$ МэВ действительные потоки в период с 8 по 19 мая неизвестны в связи с ограниченными возможностями прибора по регистрации больших темпов счета. И если бы не было следующего повышения числа частиц в период с 23 по 29 мая, то потоки вернулись бы к уровню фоновых колебаний захваченных электронов, которые наблюдались в период с 2 по 7 мая. Продолжение прямых экспоненциальной аппроксимации в сторону начала резкого повышения 8 мая указывает на возможность восстановления максимальных плотностей потоков $I_{max} \approx 2500...3800$ эл/см²·с·ср.

Вероятнее всего, разные времена жизни для электронов больших энергий связаны с вращением конуса приема прибора СТЭП-Ф относительно оси OZ спутника и регистрацией в связи с этим популяций частиц с разными питч-углами. Во время пересечения внешнего пояса в се-

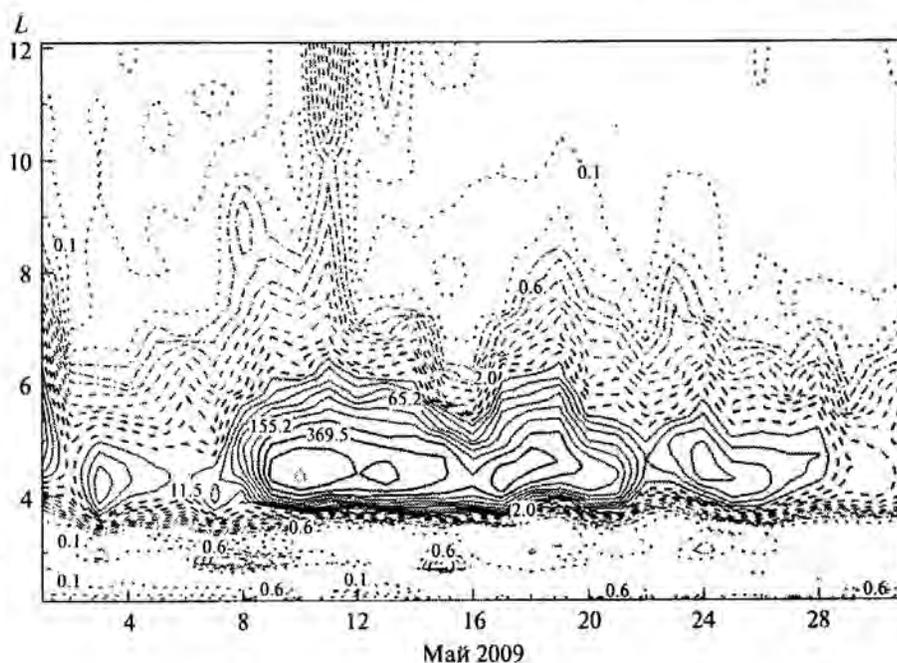


Рис. 6. Распределение спектральной плотности потоков электронов в диапазоне энергий $E_e = 0.35...0.95$ МэВ по дрейфовым L -оболочкам для одного (первого с начала текущих суток) из 15 ежесуточных витков орбиты спутника на нисходящем витке в северном полушарии в период с 1 по 31 мая 2009 г.

верном полушарии на 29—32 мин конус приема проворачивался от направления со стороны поверхности Земли к плоскости, параллельной ее поверхности в данный момент времени, регистрируя таким образом с большей вероятностью высыпавшиеся и квазизахваченные частицы.

Таким образом, есть зависимость времени жизни электронов с фиксированными энергиями от распределения их скоростей по отношению к направлению магнитного поля Земли. Иными словами, соотношение числа захваченных и высыпавшихся электронов непрерывно изменяется на фазе восстановления стационарного распределения внешнего радиационного пояса Земли.

Время жизни электронов внутреннего радиационного пояса. Распределение спектральной плотности потоков электронов в диапазоне энергий $E_e = 0.35...0.95$ МэВ по дрейфовым L -оболочкам в течение всего месяца (рис. 6) на нисходящем витке орбиты спутника в северном полушарии показали быстрое уменьшение интенсивности частиц на $L \approx 2.5$ после 7 и 15 мая. Типичное соотношение плотностей потоков во внутреннем и внешнем радиационных поясах на высоте около 600 км составило $J_{\text{внеш}}/J_{\text{внутр}} \approx 40...100$ для 7 и

15—17 мая и 2000—4000 для периодов возмущенного внешнего пояса, после 9 мая. Отличительной особенностью динамики потоков электронов явилось то, что быстрая инжекция и распад популяции частиц во внутреннем радиационном поясе предшествовали на 1.5—2 сут ускорительным процессам и медленному распаду внешнего пояса для обоих периодов — 7—9 и 15—18 мая.

Рис. 7 демонстрирует динамику плотности потока электронов внутреннего радиационного пояса в максимуме темпа счета в северном полушарии в двух диапазонах энергий для первых с начала суток витков. Заметен экспоненциальный характер спада интенсивности после 8 и 17 мая для низших энергий, и после 8 мая для субрелятивистских энергий. Эмпирическое значение времени жизни электронов внутреннего пояса для этих трех временных участков составило $\tau = 1.5 \pm 0.8$ сут. Таким образом, соотношение времен жизни электронов внешнего и внутреннего поясов в мае 2009 г. составило около трех.

Вариации потоков электронов во внешних слоях магнитосферы. Период времени, предшествующий и совпадающий с началом повышений потоков во внутреннем и внешнем радиационных поясах в первой половине мая, был проанали-

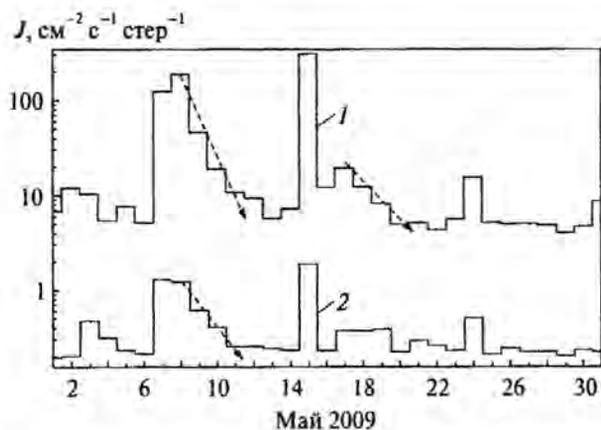


Рис. 7. Динамика плотности потоков частиц во внутреннем радиационном поясе в максимуме темпа счетов в северном полушарии 1 — в канале регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.18...0.51$ МэВ и протонов с энергиями $E_p = 3.5...3.7$ МэВ; 2 — в канале регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.35...0.95$ МэВ

зировав более детально. 5 мая было обнаружено повышение интенсивности частиц в десятки раз во временном окне между двумя соседними прохождениями спутником внешнего радиационного пояса в южном полушарии. С целью поиска источника генерации повышенного числа частиц была построена временная зависимость отношений потоков в области временного зазора между двумя прохождениями внешнего пояса в южном полушарии на $L \geq 7.5$ к потокам в максимумах значений соседнего прохождения внешнего пояса на 65–70-й мин витков (рис. 8, а). Видно, что 5 мая интенсивности частиц в максимуме пояса и в области между прохождениями пояса были одинаковыми для низкоэнергетических электронов.

Одним из возможных источников повышенных потоков частиц во внешних слоях магнитосферы могли быть потоки электронов низких и субрелятивистских энергий в межпланетном пространстве. Аппаратура EPNIN прибора COSTEP, установленная на спутнике солнечного патруля SOHO, зарегистрировала 5 мая увеличение потоков электронов в диапазоне энергий $E_e = 0.25...0.7$ МэВ в 10–20 раз, и в диапазоне энергий $E_e = 0.67...3.0$ МэВ — в 3–4 раза. Увеличение потоков электронов произошло во вре-

менном интервале между 8 и 12 ч UT (рис. 8, б, в). Такое же повышение потоков было надежно зафиксировано на спутнике STEREO Ahead, в то время как на его двойнике STEREO Behind аппаратура IMPACT не зафиксировала измерений потоков электронов, что подтверждает направленное распространение электронов вдоль паркеровских спиралей по направлению к Земле как результат одной из вспышек на Солнце.

С другой стороны, прибором СТЭП-Ф повышение потоков электронов на $L \approx 7.5$ было зарегистрировано в короткий промежуток времени от 01 ч 28 мин UT до 01 ч 35 мин UT, т. е. за 7–8 ч до прихода электронов солнечного происхождения к границам магнитосферы Земли. Анализ же потоков на других витках орбиты КА КОРОНАС-ФОТОН в течение 5 мая с $L \geq 10$ не показал даже незначительных повышений потоков электронов. Последнее обстоятельство указывает на то, что электроны солнечного или межпланетного происхождения, зафиксированные приборными комплексами COSTEP/SOHO и IMPACT/STEREO Ahead, не послужили источником пополнения магнитосферных электронов 5 мая.

Привлечение данных о параметрах солнечного ветра со спутников ACE и SOHO (рис. 8, г–е) показало, что увеличению скорости 6 мая и плотности ветра на исходе 5 мая по данным протонного монитора эксперимента CELIAS/MTOF/PM предшествовало увеличение разброса отношений компонентов скорости ветра к ее средней величине, в частности V_x/V . Различного типа нерегулярности, в том числе и волны разной природы в высокоскоростных потоках солнечного ветра, исследуются на протяжении многих лет. Например, на спутниках миссии STEREO были обнаружены и исследованы сильные узкополосные ионно-циклотронные волны в солнечном ветре вблизи орбиты Земли, появляющиеся чаще в тех случаях, когда межпланетное магнитное поле имеет более радиальную структуру, чем известную паркеровскую спираль [8]. Эти волны с большей вероятностью рождаются вблизи Солнца и переносятся сверхальвовенским солнечным ветром. Флуктуации турбулентности магнитного поля в солнечном ветре имеют неодинаковые скорости распространения в

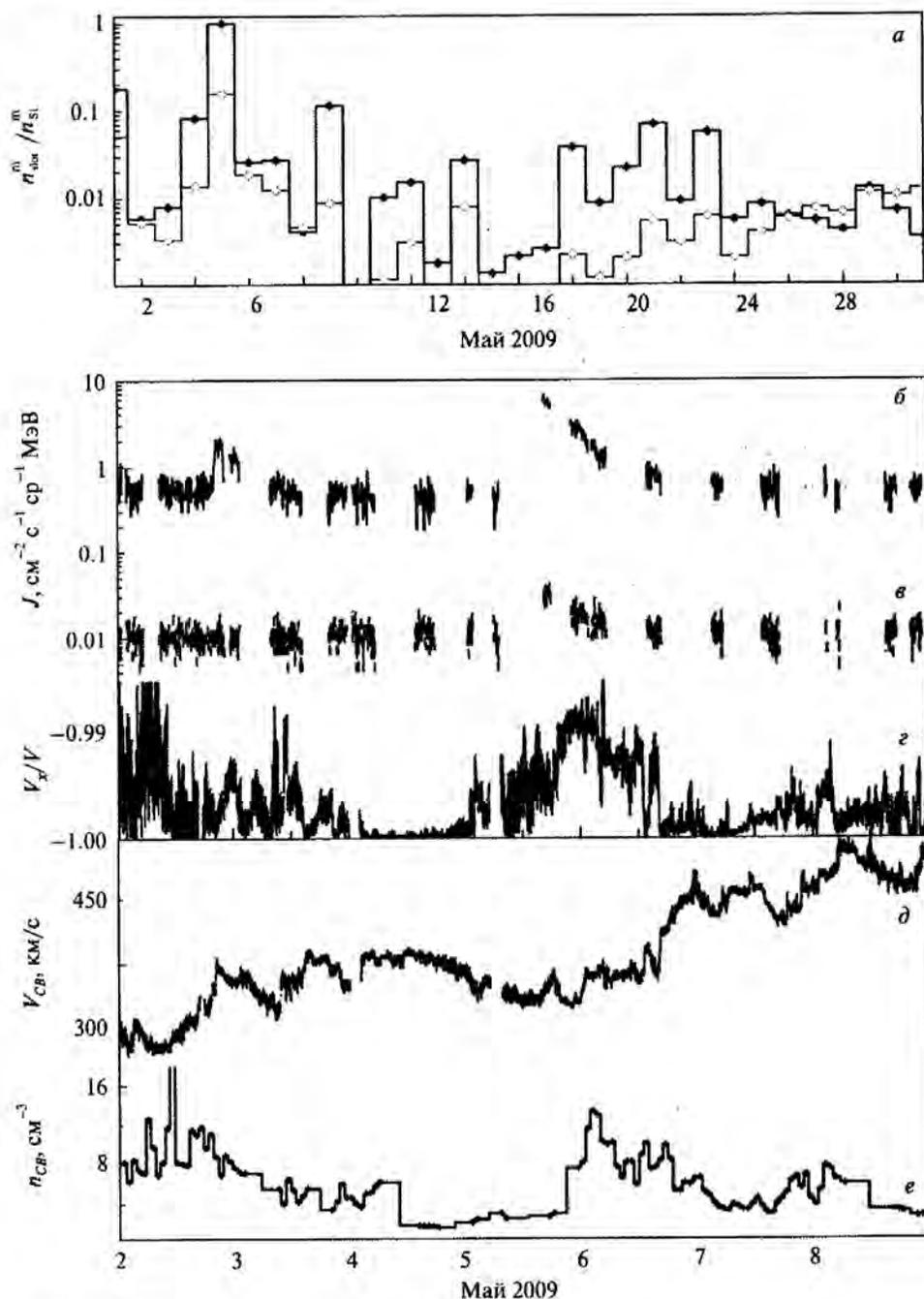


Рис. 8. Вариации: а — отношений темпов счета числа частиц во временном промежутке между двумя пересечениями внешнего радиационного пояса в южном полушарии на $L \geq 7.5$ и в максимуме внешнего пояса по данным прибора СТЭП-Ф для канала регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.18 \dots 0.51$ МэВ и протонов с энергиями $E_p = 3.5 \dots 3.7$ МэВ, и канала регистрации электронов с энергиями $E_e = 0.35 \dots 0.95$ МэВ (данные по СТЭП-Ф обработаны для первых ежесуточных витков орбиты спутника); б, в — интенсивности электронов в двух энергетических диапазонах в межпланетном пространстве вблизи магнитосферы Земли по данным эксперимента COSTEP/SOHO (б — $E_e = 0.25 \dots 0.7$ МэВ, в — $E_e = 0.67 \dots 3.0$ МэВ), г — отношений скоростей V_p/V_e , д — средней скорости $V_{\text{св}}$, е — плотности $n_{\text{св}}$ солнечного ветра по данным аппаратуры спутников ACE и SOHO

различных направлениях, как показали недавно коррелированные исследования спектральных флуктуаций межпланетного магнитного поля на четырех спутниках миссии «Cluster» [10]. Экспериментально было обнаружено, что волны турбулентности, движущиеся перпендикулярно к магнитному полю, имеют большую мощность, чем волны, направленные в сторону вектора межпланетного магнитного поля. Коэффициент анизотропии составляет около 1.6. Обнаруженное явление может означать, что в случае нерадиальной направленности межпланетного поля вблизи магнитопаузы Земли следует ожидать сначала прихода волн турбулентности поля, и только с некоторым запозданием — увеличения плотности, а затем и скорости солнечного ветра. Эти волны, проникнув вглубь магнитосферы Земли, могут взаимодействовать с частицами внешней оболочки внешнего радиационного пояса и изменить ихpitch-угловое распределение. В результате частицы могут рассеяться в конус по-

терь, а волны — потерять свою мощность на внешних границах внешнего радиационного пояса.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ВНУТРЕННИЙ РАДИАЦИОННЫЙ ПОЯС ЗЕМЛИ

Спорадическое появление дополнительного внутреннего радиационного пояса Земли и интенсивность электронов в нем зависят от уровня геомагнитной возмущенности. Однако даже при самой малой активности земного магнитного поля, граничащей с ее отсутствием, дополнительный внутренний пояс регистрировался прибором СТЭП-Ф в низкоэнергетическом диапазоне электронов достаточно уверенно. На верхней панели рис. 2 видно, что 1 мая при низких значениях A_A - и K_p -индексов на 9–12 витках орбиты спутника дополнительный пояс проявился гораздо отчетливее, чем основной. При повышении магнитосферной активности 7 и 8 мая оба пояса стали видны более уверенно и регистрироваться на большем количестве суточных витков

Таблица 3. Времена регистрации, географические и геомагнитные координаты максимумов интенсивности электронов в диапазоне энергий $E = 0.18...0.51$ МэВ в основном и дополнительном внутренних радиационных поясах Земли для восходящих узлов в северном полушарии 6–15 витков 8 мая 2009 г.

Номер витка	УТ, час:мин	Широта, град	Долгота, град	L	B/B_0
<i>Основной внутренний радиационный пояс</i>					
6	08:16	33.7	-81.5	2.16	12.9
7	09:52	36.5	-105.1	2.18	13.8
8	11:29	41.3	-128.4	2.18	13.3
9	13:07	47.8	-151.2	2.33	15.9
10	14:43	50.6	-174.6	2.24	13.9
11	16:20	53.5	162.1	2.29	15.8
12	17:55	52.7	137.8	2.19	14.4
13	19:31	53.7	114.1	2.34	19.4
14	21:07	52.8	89.8	2.34	19.6
15	22:43	53.8	66.0	2.52	23.2
<i>Дополнительный внутренний радиационный пояс</i>					
6	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—
8	11:26	28.3	-130.1	1.50	3.7
9	13:03	34.8	-153.4	1.57	4.1
10	14:41	41.4	-176.5	1.67	5.1
11	16:17	44.3	159.9	1.68	5.57
12	17:53	43.5	135.7	1.61	5.45
13	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—

орбиты спутника. Однако во всех случаях оба пояса регистрируются на долготях, не совпадающих с долготами местоположения Бразильской магнитной аномалии. В табл. 3 представлены времена регистрации (UT), географические координаты и дрейфовые L -оболочки максимумов спектральной плотности потоков электронов в диапазоне энергий $E_e = 0.18...0.51$ МэВ в обоих внутренних радиационных поясах для восходящих узлов орбиты спутника в северном полушарии 8 мая. В этот день K_p -индекс был максимальным для первой половины мая, зафиксирована главная фаза и начальный этап фазы восстановления слабой геомагнитной бури. Как видно из табл. 3, на 1–5-м витках орбиты космического аппарата поясов не было видно, на 6–7-м и 13–15-м витках были отмечены незначительные повышения темпов счета в основном внутреннем поясе, а на 8–12-м витках оба пояса проявили себя значительным повышением интенсивности потоков. Параметр Мак-Илвайна для основного пояса составил $L \approx 2.28$, и для дополнительного пояса $L \approx 1.61$, причем временной интервал между регистрацией максимальных интенсивностей составил в поясах $\Delta t \approx 2...4$ мин. Табл. 3 также показывает, что всплески интенсивности происходили на принципиально разных магнитных оболочках, о чем свидетельствуют разные отношения B/B_0 напряженностей магнитного поля в точке измерения и на экваторе для данной силовой линии.

Сравнительный анализ потоков, зарегистрированных на девятих ежедневных витках в северном полушарии в максимумах числа частиц поясов, показал, что соотношение интенсивностей в дополнительном и основном поясах превышает 1 в 25 случаях из 31 для низких энергий, и меньше 1 в 26 случаях из 31 для высоких энергий электронов. Это говорит о том, что энергетические спектры в обоих поясах сильно отличаются: в основном поясе наблюдается более жесткий спектр в сравнении с дополнительным спорадически появляющимся поясе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В период с 1 по 31 мая 2009 г. прибором СТЭП-Ф на борту космического аппарата КОРОНАС-

ФОТОН были зарегистрированы изменяющиеся потоки электронов радиационных поясов Земли в широком диапазоне энергий, ассоциированные с динамикой параметров солнечного ветра и повышением уровня магнитосферной активности. На протяжении всего месяца в диапазоне низких и средних энергий регистрировались два внутренних радиационных пояса — основной, на $L \approx 2.28$, и спорадически возникающий дополнительный пояс на $L \approx 1.61$. Появление последнего пояса, как и уровень интенсивности частиц в обоих поясах, зависели от степени геомагнитной активности. Оба пояса заметны на долготях, не совпадающих с долготами географического местоположения Бразильской магнитной аномалии.

Внезапное увеличение потоков частиц во внутреннем радиационном поясе на $L \approx 2.5$ вне области Бразильской магнитной аномалии 7 мая на начальной фазе слабой магнитной бури обусловлены волновыми процессами, источниками которых являются волны, переносимые солнечным ветром. Дальнейшая динамика частиц, связанная с ускорительными механизмами и перераспределением их в конус потерь в главной фазе бури, более ассоциируются с процессами формирования и распада кольцевого тока и генерацией в связи с этим низкочастотных волн во внутренней магнитосфере. Фазы восстановления магнитной бури, как ранняя, так и более поздняя, характеризуются также процессами генерации волн различного типа, а значит, продолжением их взаимодействия с захваченными частицами и дальнейшими высыпаниями последних на низкие высоты. Этим объясняется продолжительная, до конца магнитной бури, регистрация повышенных потоков электронов прибором СТЭП-Ф.

Эмпирические значения времен жизни электронов радиационных поясов для экспоненциального характера спада плотности потока частиц для внутреннего пояса составили $\tau \sim 1.5$ сут, а для внешнего — $\tau \sim 4.5$ сут для одних и тех же энергетических диапазонов. Отмечена тенденция уменьшения времени жизни во внешнем радиационном поясе с увеличением энергии электронов, а также зависимость времени жизни от питч-угла при фиксированной энергии.

Автор благодарит коллектив Института Астрофизики национального исследовательского ядерного университета МИФИ за помощь в обеспечении научными и служебными данными с прибора СТЭП-Ф и космического аппарата в целом, И. Н. Мякову за полезные обсуждения, Е. В. Курбатова за наземное техническое сопровождение летных испытаний прибора СТЭП-Ф. Работа выполнена при частичной поддержке Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина.

1. Дудник А. В., Гока Т., Матsumото Х. и др. Разработка спутникового спектрометра-телескопа энергичных заряженных частиц СТЭП-Ф для космического проекта «Коронас-Фотон» и его тестирование на ионном циклотронном ускорителе RIKEN, Япония // Сб. тез. 3-й Украинской конф. по перспективным космическим исследованиям. — 2003. — С. 37.
2. Дудник А. В., Залобовский И. И. Научные задачи международного космического эксперимента КОРОНАС-ФОТОН // Космічна наука і технологія. — 2000. — 6. — № 2/3. — С. 3—12.
3. Дудник А. В., Малыгина Т. В. Компьютерное моделирование поглощенной энергии и пробегов частиц в спектрометре СТЭП космического проекта «Попередження» // Космічна наука і технологія. — 2003. — 9, № 1. — С. 15—21.
4. Дудник А. В., Персиков В. К., Бошер Д. и др. Экспериментальные возможности спектрометра-телескопа СТЭП-Ф и первые результаты радиационного картографирования // Первые этапы летных испытаний и выполнение программы научных исследований по проекту КОРОНАС-ФОТОН: Тр. рабочего совещания. — М., 2010. — С. 217—228.
5. Baker D. N., Kanekal S. G., Horne R. B., et al. Low-altitude measurements of 2–6 MeV electron trapping lifetimes at $1.5 \leq L \leq 2.5$ // Geophys. Res. Lett. — 2007. — 34 (20). — P. L20110.5, doi: 10.1029/2007GL031007.
6. Dudnik O. V., Goka T., Matsumoto H., et al. Computer simulation and calibration of the charge particle spec-

trogram- telescope STEP-F // Adv. Space Res. — 2003. — 32, N 11. — P. 2367—2372.

7. Frolov O. S., Dudnik A. V., Sadovnichiy A. A., et al. Development of silicon matrixes and channels of amplification of signals for a telescope — spectrometer of charged particles // Proceedings of Intern. Cosmic Ray Conf., August, 2001, Hamburg, Germany, Copernicus Gesellschaft, — P. 2305—2308.
8. Jian L. K., Russell C. T., Luhmann J. G., et al. Ion cyclotron waves in the solar wind observed by STEREO near 1 AU // Astrophys. J. Lett. — 2009. — 701, N 2. — doi: 10.1088/0004-637X/701/2/L105.
9. Narita Y., Glassmeier K. H., Sahraoui F., Goldstein M. L. Wave-vector dependence of magnetic-turbulence spectra in the solar wind // Phys. Rev. Lett. — 2010. — 104, N 17. — doi: 10.1103/PhysRevLett.104.171101.
10. Obara T., Nagatsuma T., Den M., et al. Main-phase creation of “seed” electrons in the outer radiation belt // Earth Planets Space. — 2000. — 52. — P. 41—47.

Надійшла до редакції 30.08.10

O. V. Dudnik

INVESTIGATION OF THE EARTH'S RADIATION BELTS IN MAY 2009 AT THE LOW ORBIT SATELLITE WITH THE STEP-F INSTRUMENT

An analysis of electron flux variations in the Earth's radiation belts in May 2009 is performed on the basis of the data obtained from the satellite telescope of electrons and protons STEP-F as a part of scientific apparatus complex PHOTON aboard the spacecraft CORONAS-PHOTON. We investigate the temporal connection of particle intensity changes that were detected by the view cone of the device in the radiation belts at the bases of drift shells with various phases of the weak magnetic storm on 8 May, as well as with parameters of high speed solar wind streams. The empirical values of various energy electron life times in the basic inner and outer radiation belts are determined. The appearance frequency and dependence on the geomagnetic activity of the additional inner radiation belt appearing sporadically are studied.