

УДК 550.388.2, 523.985.3

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА СПУТНИКЕ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ – ТАТЬЯНА

© 2007 г. В. А. Садовничий¹, М. И. Панасюк², С. Ю. Бобровников², Н. Н. Веденькин², Н. А. Власова², Г. К. Гарипов², О. Р. Григорян², Т. А. Иванова², В. В. Калегаев², П. А. Климов², А. С. Ковтюх², С. А. Красоткин², Н. В. Кузнецов², С. Н. Кузнецов², Е. А. Муравьева², И. Н. Мягкова², Н. Н. Павлов², Р. А. Ныммик², В. Л. Петров², М. В. Подзолко², В. В. Радченко², С. Я. Рейзман², И. А. Рубинштейн², М. О. Рязанцева, Е. А. Сигаева², Э. Н. Сосновец², Л. И. Старостин², А. В. Суханов², В. И. Тулупов, Б. А. Хренов², В. М. Шахпаронов², В. Н. Шевелева², А. В. Широков², И. В. Яшин², В. В. Маркелов³, Н. Н. Иванов³, В. Н. Блинов³, О. Ю. Седых³, В. П. Пинигин³, А. П. Папков⁴, Е. С. Левин⁴, В. М. Самков⁴, Н. Н. Игнатьев⁴, В. С. Ямников⁴

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

²Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ

³Конструкторское бюро “Полёт”, г. Омск

⁴Научно-исследовательская лаборатория аэрокосмической техники, г. Калуга

Поступила в редакцию 04.07.2006 г.

Описан комплекс научной аппаратуры установленной на борту научно-образовательного микро-спутника МГУ *Университетский – Татьяна*, предназначенный для изучения заряженных частиц в околоземном космическом пространстве и излучений атмосферы в ультрафиолетовой области спектра. Представлены данные измерений потоков заряженных частиц на орбите микро-спутника, рассчитаны спектры и изучена динамика границ проникновения протонов СКЛ во время геомагнитных возмущений 2005 г. Измерены интенсивности ультрафиолетового излучения во всем диапазоне изменения освещенности атмосферы, а также интенсивности полярных сияний в районах Северного и Южного полюсов. Рассмотрены экспериментальные данные о вспышках ультрафиолетового излучения – транзитных световых явлениях в верхней атмосфере, приводятся примеры осциллограмм их временного развития и их распределение по географическим координатам.

PACS: 94.30.Xy, 51.50.+v, 92.60.Pw, 94.30.C-, 96.50.Vg

ВВЕДЕНИЕ

В преддверии 250-летия Московского государственного университета, 20.1.2005, с космодрома “Плесецк” была успешно запущена ракета-носитель *Космос-3М*, оснащенная головным аэродинамическим обтекателем с увеличенной зоной полезного груза, с 2-мя спутниками на борту. Пуск РН *Космос-3М* прошел в штатном режиме. На расчетную орбиту были выведены основной спутник МО РФ и попутный микро-спутник *Университетский – Татьяна*, изготовленные в КБ “Полет”. Служебные системы микро-спутника были разработаны в КБ “Полет” и НИЛАКТ РОСТО, научная аппаратура – в НИИЯФ МГУ. Университетский спутник относится к классу микро-спутников, его полная масса – около 31 кг, а масса научной аппаратуры составляет 7.2 кг, габаритные размеры по силовым блокам, регистрирующие потоки заряженных частиц, блок регистрации ультрафиолетового излучения, а также информационный блок,

обеспечивающий накопление и передачу научной информации на наземные приемные пункты.

Научная программа проекта направлена на изучение процессов и явлений, происходящих в магнитосфере Земли, и опирается на данные непрерывного мониторинга радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, получаемые со спутника *Университетский – Татьяна*. Аппаратура спутника, запущенного на полярную орбиту, может регистрировать потоки заряженных частиц практически из всех основных структурных областей магнитосферы Земли: из радиационных поясов, из авроральной зоны, из высокоширотных полярных шапок. Это дает возможность проводить фундаментальные и прикладные исследования глобальных явлений, охватывающих всю магнитосферу, и проявляющихся в областях, существенно различающихся по своим свойствам. К таким явлениям относятся магнитные бури, которые являются откликом магни-

тосферы на взрывные процессы, происходящие на поверхности Солнца. Магнитные бури связаны с интенсивным энерговыделением в магнитосфере и в ионосфере и являются главным объектом исследований при прогнозировании состояния космической среды, которое в последнее время принято называть термином “космическая погода”.

Прикладная часть проводимых на борту спутника исследований направлена на изучение явлений типа эффектов одиночных сбоев, возникающих в электронных микросхемах под действием тяжелых заряженных частиц, присутствующих, как в составе радиационных поясов, так и космических лучей галактического и солнечного происхождения.

Микроспутник функционирует почти два года. В процессе эксплуатации КА выявлены особенности его поведения на орбите и отработана технология управления полетом. Система электропитания и связанная с ней система термостабилизации КА показали высокую надежность и стабильность в работе. В то же время, оказалось, что экспериментальная солнечная батарея из аморфного кремния, установленная на спутнике наряду с другими, обладает существенным некомпенсированным магнитным моментом, что внесло некоторые искажения в работу магнитометров и дестабилизировало систему ориентации и стабилизации КА. Тем не менее алгоритм БУСОС позволил стабилизировать микроспутник по показаниям солнечных датчиков.

1. НАУЧНАЯ АППАРАТУРА НА ИСЗ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ – ТАТЬЯНА

ИСЗ *Университетский – Татьяна* запущен на круговую полярную орбиту с высотой ~1000 км и наклоном ~83°. Ось ИСЗ ориентирована по радиусу-вектору “спутник-Земля”. При движении по такой орбите спутник регулярно пересекает (в северном и в южном полушариях) такие основные структурные образования магнитосферы Земли, как внешний и внутренний радиационные пояса, полярные шапки, авроральные области. Отметим, что тип частиц, их потоки и энергии в этих областях существенно различны и испытывают значительные вариации в зависимости от уровня гелиогеофизической активности.

Для регистрации излучений различных типов и энергий на ИСЗ *Университетский – Татьяна* был выбран следующий состав детекторов: три полупроводниковых детектора, два сцинтилляционных, два газоразрядных, один электростатический анализатор. Этот комплект детекторов обеспечивает регистрацию электронов и протонов с энергиями от десятков кэВ до сотен МэВ [1, 2].

Следует отметить, что в связи с ограниченными массогабаритными характеристиками аппаратуры, некоторые детекторы имеют недостаточную пассивную защиту. Поэтому на отдельных участках орбиты спутника электронные каналы в этом эксперименте присчитывают значительные потоки протонов, а протонные каналы – электронов. Например, во внутреннем радиационном поясе (РП) и в полярной шапке (ПШ) электронные каналы регистрируют в основном энергичные протоны, а в пограничной области – между РП и ПШ – протонные каналы могут присчитывать значительные потоки электронов. Показания некоторых каналов детекторов на таких участках требуют дополнительно методамического анализа.

Кроме детекторов заряженных частиц на борту ИСЗ *Университетский – Татьяна* установлен детектор ультрафиолетового излучения (ДУФ) [3], который предназначен для изучения оптических вспышек, измерения фона свечения атмосферы в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне длин волн 300–400 нм и фонового излучения, вызываемого заряженными частицами в оптических элементах детектора.

Полярная круговая орбита спутника позволяет проводить исследования практически в любой географической точке Земли, а рабочий диапазон чувствительности детектора – проводить измерения во всем диапазоне излучения атмосферы, как ночью, так и днем.

Измерения производятся как на теневом участке орбиты, так и на дневном в течение двух минут после выхода спутника из тени. Данные измерений передаются на Землю в виде осциллограмм. Система обнаружения вспышек света отбирает вспышки длительностью от десятков микросекунд до десятков миллисекунд. Канал передачи данных на Землю позволяет передать за виток спутника две осциллограммы по 256 точек каждая длительностью 4 и 64 мс от наиболее мощных вспышек, обнаруженных и отобранных по заданному алгоритму.

Приемниками излучения являются два ФЭУ. Оба ФЭУ своими полями зрения ориентированы в надир. Один из ФЭУ предназначен для изучения оптического излучения, другой – для регистрации света, возникающего при прохождении заряженных частиц в стеклянных элементах детектора. Поле зрения с углом обзора ~14° формируется с помощью многоканального коллиматора

В блоке для сбора, хранения и выдачи информации имеются два одинаковых устройства (основное и резервное). На входы этих устройств одновременно приходит информация из детекторных блоков, а подключение одного из этих устройств к

бортовой телеметрии происходит по команде с Земли.

Аппаратурный информационный кадр формируется раз в 10 с. Кадр начинается двухбайтным маркером для выделения информации научной аппаратуры из потока телеметрических данных с борта ИСЗ. Затем следуют 15 байтов счетных параметров детекторов заряженных частиц. Затем 5 байтов информации датчика ультрафиолета. Затем 1 байт – контрольная сумма. По ней на Земле может быть осуществлена проверка правильности принятого аппаратурного кадра.

После того, как аппаратурный кадр попадет в бортовую телеметрию, к нему добавляется временная посылка. Кадры, накопленные в бортовом ЗУ, передаются на Землю.

В состав научной бортовой аппаратуры спутника включен блок “Призма-3”, разработанный в КБ “Полет”. Он предназначен для контроля частоты одиночных сбоев в микросхемах статической памяти (K6X8008C, емкость 8 Мбит) и оптронов (МОСД217), находящихся за защитой различной толщины. Блок включает четыре независимых модуля (платы), которые конструктивно объединены в параллелепипед и помещены в алюминиевый стакан. Толщина стенок стакана ступенчато меняется, создавая защиту 10, 5, 2.5 мм соответственно для 3-х узлов каждого из модулей. 4-ые узлы модулей не имеют защиты. В каждом узле находится по одному контролируемому прибору (микросхема и оптрон) и цифровой датчик температуры (DS1820).

“Призма-3” записывает в испытываемую память тестовую информацию и циклически считывает ее, определяя число сбойных байтов. При этом, если байт сбойный, проводится трехкратная перезапись данного байта на правильный. Если перезаписать байт не удастся, то регистрируется устойчивый отказ ячеек памяти данного байта (по крайней мере, одной его ячейки). Результаты, полученные при анализе данных одиночных сбоев на борту ИСЗ *Университетский – Татьяна*, представлены в разделе 5.

2. НАЗЕМНЫЙ СЕГМЕНТ

Наземная станция управления и приема служебной телеметрической и научной информации с борта КА *Университетский – Татьяна* обеспечивает прием данных со скоростью 9600 бит/с в диапазоне 70 см и передачу управляющей информации на борт КА со скоростью 2400 бит/с в диапазоне 2 м. В состав антенного поста входят: две антенны типа волновой канал с круговой поляризацией, поворотное устройство и малошумящие антенные усилители.

Управляющее программное обеспечение производит баллистические расчеты траектории КА, управление приемопередатчиком с учетом доплеровского сдвига частоты, передачу полетного задания, прием и хранение научной и служебной телеметрии, а также отображение текущего положения КА.

Научная телеметрия со спутника *Университетский – Татьяна* поступает на пункты приема, расположенные в НИИЯФ МГУ и в НИЛАКТ РОСТО (г. Калуга). После обработки, включающей в себя очистку данных от сбоев, данные (как первичные, так и обработанные) передаются на ftp-сервер. На сервере создана система каталогов, облегчающая поиск данных. В частности, по отдельности хранятся файлы с первичной информацией, полученные каждым приемным пунктом, что позволит, при необходимости, восстанавливать информацию с минимальными потерями, используя независимо полученные данные телеметрии. Семь каналов, дающих наиболее достоверную и значимую для научных исследований и учебного процесса информацию о радиационных процессах в космическом пространстве, хранятся в реляционной базе данных.

Система хранения данных космических экспериментов, выполняемых на спутнике *Университетский – Татьяна* включает в себя: систему хранения первичных и обработанных данных на ftp-сервере; базу данных измерений потоков заряженных частиц в среде Oracle; средства загрузки данных в БД Oracle; средства доступа к данным через Интернет-браузер с использованием Web-форм.

Доступ к данным измерений потоков заряженных частиц осуществляется через интерактивную систему, размещенную на Интернет-сайте проекта “МГУ-250”: cosmos.msu.ru.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Специальная мониторинговая аппаратура на борту микроспутника *Университетский – Татьяна* предназначена для изучения влияния солнечной и геомагнитной активности на радиационную обстановку в магнитосфере Земли. Программа исследований разработана исходя из точки зрения, что основным фактором, определяющим “космическую погоду” и, в том числе, радиационную обстановку в околоземном космическом пространстве, является солнечная активность.

Солнечная активность двояким образом влияет на радиационную обстановку: непосредственно через потоки энергичных частиц (в основном протонов), приходящих на Землю после солнечных вспышек и через развитие в магнитосфере геомагнитных возмущений (магнитных бурь). Во время

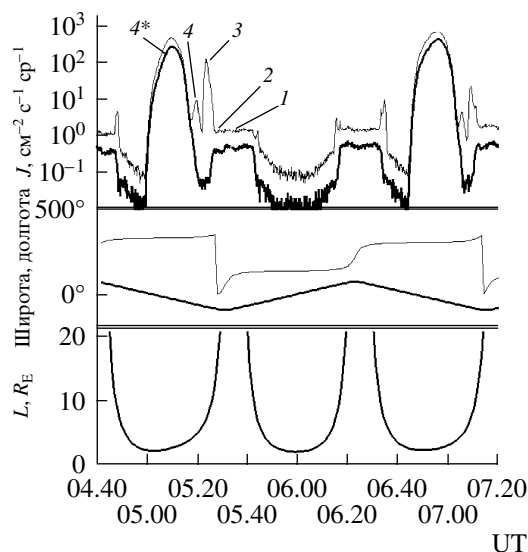


Рис. 1. Временной ход потоков электронов с $E > 3.5$ МэВ (тонкая кривая на верхней панели) и протонов с $E = 40\text{--}100$ МэВ (полужирная кривая) по данным ИСЗ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ – ТАТЬЯНА (4* – область радиационной аномалии – Южно-Атлантическая аномалия).

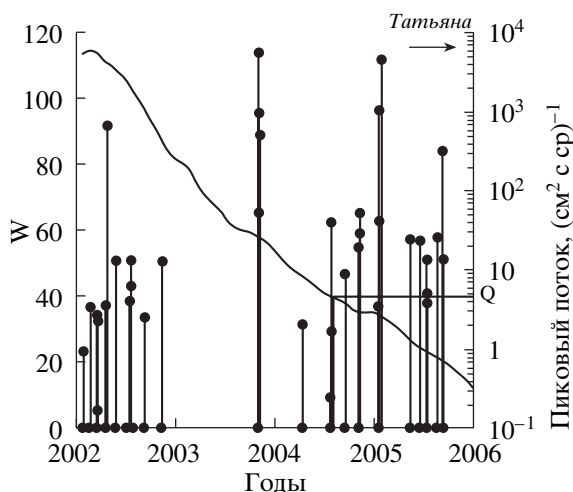


Рис. 2. Солнечная активность на спаде 23-го цикла СА и события СКЛ по данным спутников GOES-11 и УНИВЕРСИТЕТСКИЙ – ТАТЬЯНА.

геомагнитных возмущений генерируются мощные потоки энергичных частиц за счет внутримангнитосферных ускорительных процессов, одним из проявлений которых является образование радиационных поясов Земли. Несмотря на общую генетическую связь всех геофизических явлений с солнечной активностью, конкретные плазменные процессы, протекающие в различных областях магнитосферы, оказываются различными. Это позволяет выделить в околоземном космическом

пространстве, заполненном регулярным магнитным полем, четыре области: (1) – полярные шапки, (2) – авроральная зона, (3) – внешний и (4) – внутренний радиационные пояса. Орбита микроспутника *Университетский – Татьяна* такова, что ИСЗ регулярно пересекает все эти области, осуществляя непрерывный мониторинг радиационного состояния магнитосферы Земли (см. рис. 1).

3.1. Радиационная обстановка в 2005 году. Начало работы спутника пришлось на период спада цикла солнечной активности (СА). На рис. 2 приведены данные о солнечной активности во второй половине 23-го цикла СА – монотонно падающая кривая. Вертикальные линии – события СКЛ, высота которых отражает величину пиковых потоков протонов.

Можно видеть, что в июле 2004 г. солнечная активность упала ниже чисел Вольфа, равных 40 (линия Q на рисунке), и начался период спокойного Солнца. Однако наблюдавшаяся с конца 2003 г. высокая частота событий СКЛ, вопреки предположению модели [4], не прекратилась. Такую возможность предсказала другая модель потоков СКЛ, разработанная в НИИЯФ МГУ [5], согласно которой события СКЛ, даже самых больших, можно ожидать и в годы спокойного Солнца.

Прогноз модели [5] оправдался в полной мере, когда во время первого года полета микроспутника *Университетский – Татьяна* было зарегистрировано девять событий СКЛ, в том числе большое событие 20.I., 14–19.V. и 9.IX.2005 г.

3.2. Энергетические спектры солнечных космических лучей 9.IX.2005. В область полярных шапок, в силу особенностей строения магнитосферы Земли, имеют свободный доступ протоны (и электроны) СКЛ практически всех энергий, приходящие от Солнца к Земле. Для анализа энергетических спектров СКЛ, зарегистрированных на спутнике, были выбраны пиковые значения потоков протонов в событиях. Эти спектры были аппроксимированы степенной функцией по жесткости [6].

Степенной спектр по жесткости в энергетическом представлении имеет вид:

$$F_p(E)dE = F(R)\frac{dR}{dE}dE = C_p\left(\frac{R}{R_0}\right)^{-\gamma_R}\frac{dE}{\beta}, \quad (1)$$

где $\beta = R/\sqrt{R^2 + m^2}$ – относительная скорость, γ_R – спектральный индекс дифференциального спектра, $R = \sqrt{E(E + 2mc^2)}$ – жесткость и $R_0 = 239$ МВ. Набор измеряемых параметров с аппаратуры позволил исследовать как дифференциальные, так и интегральные спектры потоков солнечных протонов в широком диапазоне энергий, начиная с $E = 1$ МэВ. Для сравнения были проанализирова-

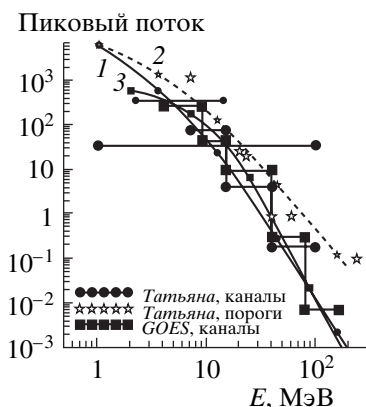


Рис. 3

ны энергетические спектры потоков солнечных протонов по экспериментальным данным с ИСЗ GOES (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GOES/>). На рис. 3 представлены энергетические спектры потоков солнечных протонов, рассчитанные по пиковым значениям для солнечного события 9.IX.2005. Непрерывные кривые – аппроксимация экспериментальных данных функцией (1); кривая 1 и 2 – аппроксимация дифференциального и интегрального спектров по данным со спутника *Университетский – Татьяна*, кривая 3 – аппроксимация дифференциального спектра по данным со спутника GOES.

Величина спектрального индекса дифференциального спектра зарегистрированного пикового потока солнечных протонов для события 9.IX.2005 г. составляет $\gamma_p = 5.9$ по данным со спутника *Университетский – Татьяна* и $\gamma_p = 5.1$ по данным с GOES-11.

Всего были проанализированы данные пяти наиболее значительных событий СКЛ, зарегистрированных на спутнике *Университетский – Татьяна* в 2005 г. Средняя величина спектрального индекса дифференциальных спектров зарегистрированных пиковых потоков солнечных протонов этих событий составляет $\gamma_p = 6.2 \pm 0.5$ (*Университетский – Татьяна*) и $\gamma_p = 5.6 \pm 0.6$ (GOES-11).

Таким образом, сравнение энергетических спектров солнечных протонов по экспериментальным данным со спутников *Университетский – Татьяна* и GOES показало, что наблюдается достаточно хорошее согласие в величинах измеренных потоков протонов СКЛ. Полученный предварительный результат свидетельствует об удовлетворительной работе всех используемых в данной работе детекторов аппаратуры и правильности методики измерений.

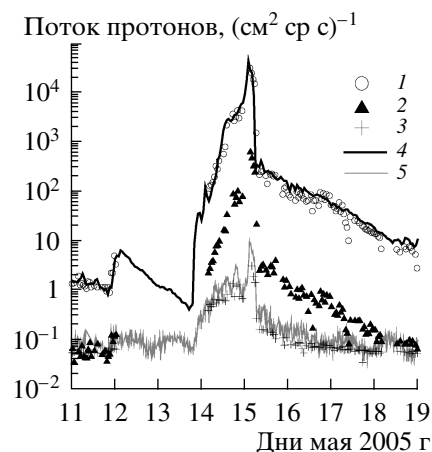


Рис. 4

3.3. Динамика границ проникновения солнечных космических лучей в магнитосферу Земли 14–19.V.2005. В результате солнечной вспышки 13.V.2005 г. произошло событие в СКЛ, оказавшее существенное влияние на околоземное космическое пространство. Временной профиль возрастания потоков СКЛ в межпланетном пространстве по данным измерений на ИСЗ ACE (протоны 1.91–4.75 МэВ, (4)), в полярной шапке на ИСЗ *Университетский – Татьяна* (1–3) и на геостационарной орбите на ИСЗ GOES (протоны >30 МэВ, (5)) представлен на рис. 4. Наблюдается хорошее согласие всех экспериментальных данных. Из рисунка видно, что значимое возрастание потока протонов с энергией 40–100 МэВ (3) наблюдалось лишь до вечера 16.V, тогда как повышенные потоки протонов с энергиями 7–16 МэВ (2) регистрировались в полярных шапках до полудня 19.V., а 2–14 МэВ (1) и позднее.

Исследование динамики границ проникновения СКЛ в магнитосферу Земли позволяет получить ценную информацию об изменении топологии геомагнитного поля во время геомагнитных возмущений. Анализ положения границ проникновения СКЛ в магнитосферу Земли 14–19.V был сделан на основе результатов измерений частиц на микроспутнике *Университетский – Татьяна*. Поскольку поток протонов на границе проникновения спадает не мгновенно, для анализа положения границы использовался следующий критерий: моментом прохождения границы считалось время, когда интенсивность потока частиц становилась в два раза меньше максимальной интенсивности, то есть интенсивности в полярной шапке (см., например [7]).

Исследование было проведено для утреннего (3–6 ч MLT) и вечернего (15–18 ч MLT) секторов магнитосферы. На рис. 5 представлены вариации

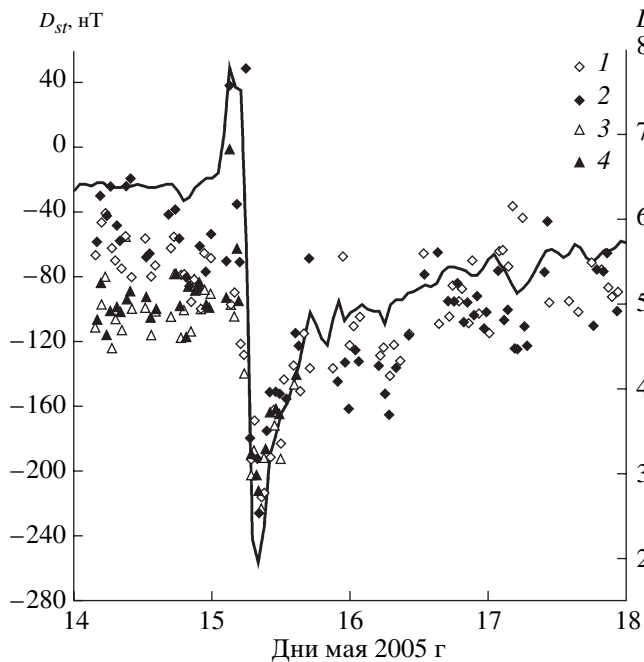


Рис. 5

положения границ проникновения солнечных протонов с энергией 2–14 и 40–100 МэВ в утреннем и вечернем секторах магнитосферы во время магнитной бури 15.V (2–14 МэВ, утро – (1); 2–14 МэВ, вечер – (2); 40–100 МэВ, утро – (3); 40–100 МэВ, вечер – (4)). Сплошной линией показана D_{st} -вариация. Видно, что до бури граница проникновения протонов СКЛ находилась в районе $L = 5–5.5$ для протонов 2–14 МэВ и $L = 4.5–5$ для протонов с энергией 40–100 МэВ для обоих секторов. Также видно, что максимально низкоширотное положение границ для обоих секторов соответствует моменту максимума амплитуды D_{st} -вариации во время бури 15.V., и составляет $L \approx 2.5$ для протонов с энергией и 2–14 МэВ, и 40–100 МэВ.

Временные профили положения границ хорошо следуют за ходом Dst на главной фазе этой бури. Не наблюдается существенных различий положения границ проникновения протонов в утреннем и вечернем секторах магнитосферы, что может быть связано с тем, что, как предполагалось в [7],

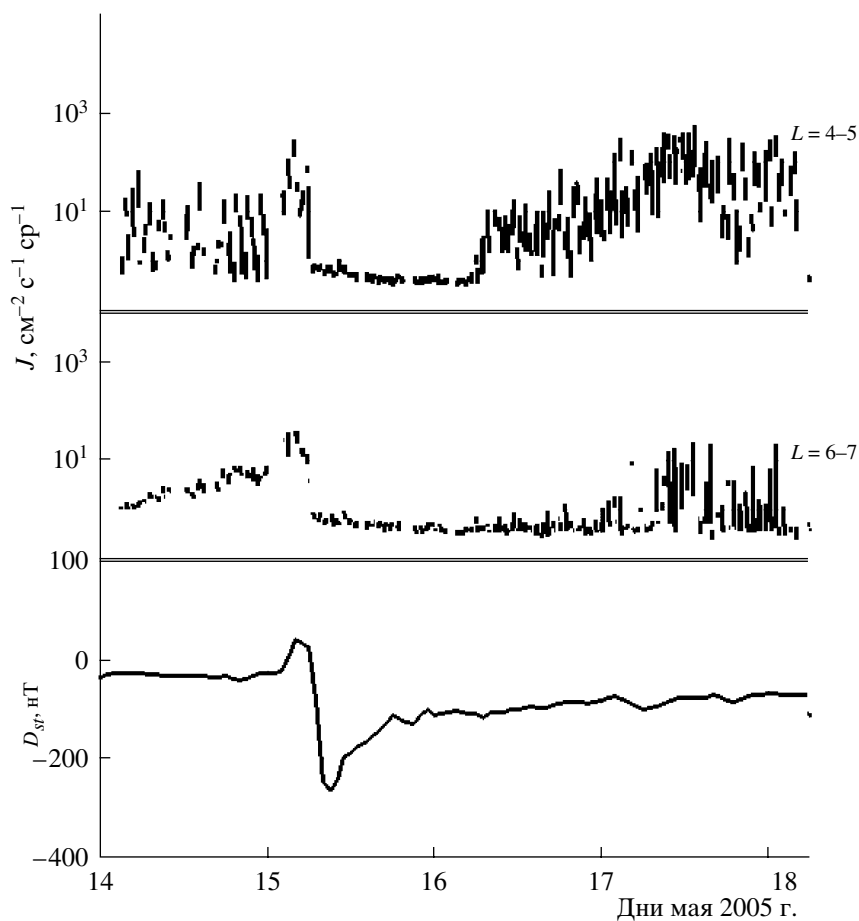


Рис. 6

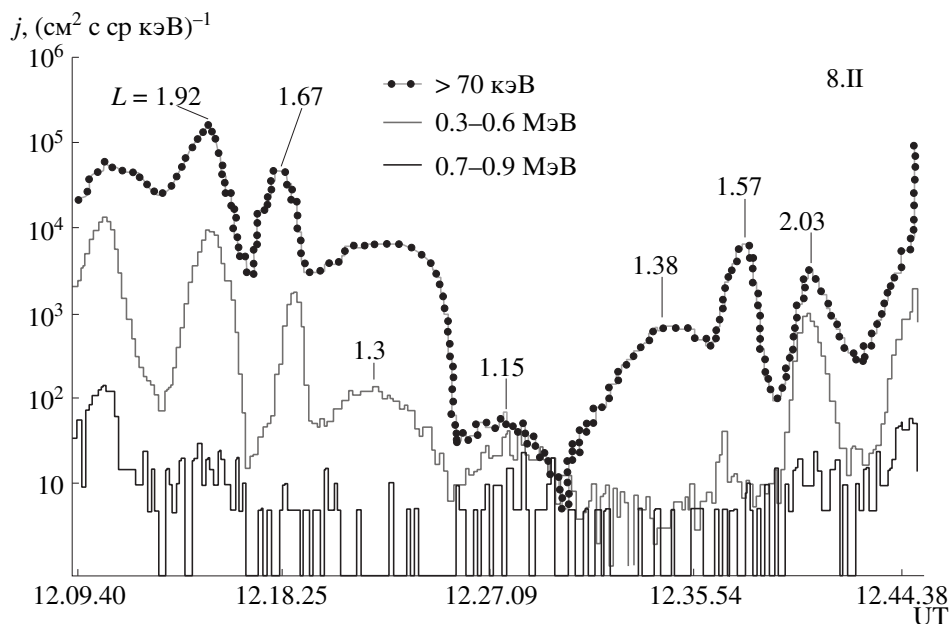


Рис. 7

самые глубокие уровни проникновения связаны с захватом частиц на дрейфовые орбиты.

3.4. *Некоторые особенности динамики релятивистских электронов радиационных поясов Земли 15.V.2005 г.* Динамика потоков электронов внешнего радиационного пояса Земли (РПЗ) тесным образом связана с геомагнитными возмущениями. Пример вариаций потоков релятивистских электронов с $E > 3.5$ МэВ по данным микро-спутника *Университетский – Татьяна* 14–18.V представлен на рис. 6 для $L = 4–5$ (верхняя панель) и $L = 6–7$ (средняя панель), на нижней панели представлена амплитуда D_{st} -вариации.

Во время первой фазы геомагнитной бури, после внезапного начала (SSC), величины потоков в рассматриваемых L диапазонах синхронно увеличились, что может быть связано с поджатием магнитосферы в дневном секторе. Перед главной фазой величины потоков электронов приблизилась к добуревому уровню. На главной фазе геомагнитной бури наблюдается резкое падение интенсивности потока частиц по сравнению с добуревым уровнем на всех L . Возрастание потоков релятивистских электронов на $L = 4–5$ произошло 16.V после ~06 UT, тогда как на $L = 6–7$ – только 17.V. По данным ИСЗ *GOES*, возрастание потоков релятивистских электронов началось 16.V после ~06 UT.

Возрастание потоков релятивистских электронов на фазе восстановления геомагнитной бури – известный факт, хотя источники и механизмы ускорения окончательно не установлены. В последние годы предложено несколько механизмов

ускорения электронов до релятивистских энергий на основе взаимодействия волна-частица (см. например [8]). Примерно в ~06 UT 16.V.2005 г. наблюдалась небольшая вариация параметров солнечного ветра: B_z -компонента магнитного поля изменила направление с южного на северное, $V_{sw} \sim 700$ км, $n_{sw} \sim 1$ см⁻³, а также произошло увеличение суббуревой активности. Влияние суббуревой активности на динамику потоков релятивистских электронов исследовалось в [9]. Наблюдаемое запаздывание возрастания потоков электронов с $E > 3.5$ МэВ на больших L -оболочках ($L \sim 6–7$) по сравнению с $L \sim 4–5$ по данным полярного спутника *Университетский – Татьяна* может быть объяснено ускорением электронов в плоскости экватора с одновременным питч-угловым рассеянием, которое наиболее эффективно на малых L [10].

3.5. *Релятивистские электроны под радиационными поясами Земли.* Согласно общепринятым представлениям о радиационных поясах Земли на $L < 2$ вне области Южно-Атлантической аномалии потоки электронов малых и субрелятивистских энергий должны отсутствовать или быть весьма незначительными. Этот тезис нашел отражение при построении модели распределения радиации в околоземном космическом пространстве AE-8, основы которой были заложены еще в 1975 г. [11], и аналогичных моделях НИИЯФ МГУ [12].

Однако в середине 80-х годов на спутнике *OHZORA* на средних широтах на $L \sim 1.6–1.8$ были зарегистрированы потоки электронов с энергией ~1 МэВ как в Северном, так и Южном полушариях [13]. В начале 90-х годов научной аппаратурой

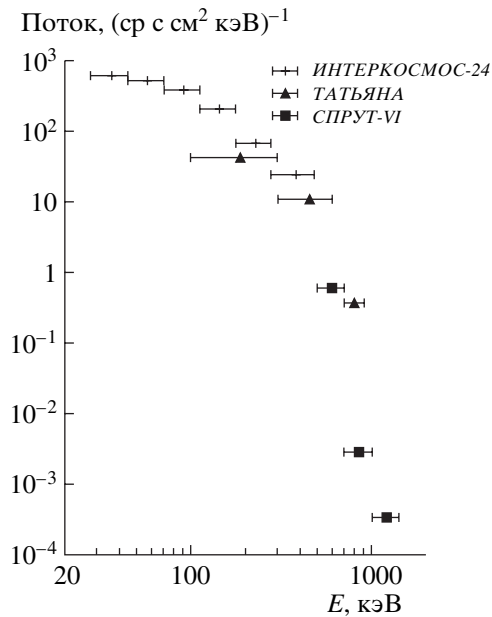


Рис. 8. Спектр электронов по данным экспериментов *Интеркосмос-24*, *Университетский – Татьяна* и *ОС Мир*.

НИИЯФ МГУ (СПРУТ-V) на борту *ОС Мир* были зарегистрированы вблизи геомагнитного экватора ($L < 1.2$) всплески электронов с энергией < 1 МэВ [14]. Позднее электроны на $L < 2$ (как вблизи геомагнитного экватора, так и на низких и средних широтах) исследовались на *ОС Мир* прибором СПРУТ-VI (спектральные характеристики потоков электронов с энергиями 500–1200 кэВ). Существование этих образований в области более низких энергий было подтверждено данными ИСЗ *Активный* (*Интеркосмос-24*, полярный, 500–2500 км), на котором регистрировались дифференциальные потоки электронов в диапазоне энергий 30–450 кэВ.

Полярный ИСЗ *Университетский – Татьяна* позволяет детально исследовать все структурные образования заряженных частиц в ближней магнитосфере, в том числе и под радиационными поясами Земли. На рис. 7 приведены примеры регистрации потоков электронов с энергией 0.3–0.6 МэВ и на 0.6–0.9 МэВ на $L < 2$. Отчетливо видны максимумы в распределении потоков электронов на $L = 1.2$ –1.4 и $L = 1.6$ –1.8, при этом, как правило, наблюдается широкий низкоинтенсивный пик в области меньших L и более узкий и интенсивный пик на более высоких широтах. Видно возрастание потоков электронов вблизи геомагнитного экватора ($L < 1.2$).

На рис. 8 приведен энергетический спектр потоков электронов, полученный по данным ИСЗ *Университетский – Татьяна* (2005 г.), *Интеркосмос* (1991 г.) и орбитальной станции *Мир* (эксперимент СПРУТ-VI, 1999 г.). Видно, что данные

микроспутника позволили дополнить полученные ранее результаты и построить обобщенный спектр электронов на $L < 2$.

Таким образом, изучение экспериментальных данных по потокам электронов, полученных на ИСЗ *Университетский – Татьяна* и других спутниках, подтвердило существование квазистабильных во времени и пространстве возрастных потоков электронов в области $L < 2$. Исследование этих областей позволяет уточнить существующие модели распределения электронов в ОКП.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Детектор ультрафиолетового излучения (ДУФ) предназначен для изучения оптических вспышек, измерения фона свечения атмосферы в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне длин волн 300–400 нм и фонового излучения, вызываемого заряженными частицами в оптических элементах детектора.

4.1. Измерения интенсивности УФ-излучения атмосферы. Интенсивность УФ излучения атмосферы регистрируется каждые 4 сек с временем интегрирования сигнала 64 мсек. В каждой точке регистрируется код N сигнала, регистрируемого аналого-цифровым преобразователем, и код M цифро-аналогового преобразователя, задающего значение высокого напряжения системы питания ф.э.у. Число измеренных точек зависит от длительности нахождения спутника на ночной стороне орбиты. Число фотонов зарегистрированных детектором за время интегрирования Δt находится из следующего выражения, проверенного при калибровке детектора:

$$I(M, N) = 5 \cdot 10^7 \cdot (N/128) \cdot (M/256)^{-6.45} \Delta t \text{ фот/см}^2 \text{ ср}, \quad (2)$$

где 6.45 – наклон логарифмической вольтамперной характеристики ф.э.у. Выражение $(M/256)^{-6.45}$ описывает зависимость коэффициента усиления ф.э.у. от кода M.

Более подробная формула, связанная с техническими параметрами детектора, приводится в работе [3]. Абсолютная интенсивность излучения определяется из выражения (2) как значение при $\Delta t = 1$ сек.

На рис. 9а приведен пример типичной осциллограммы измерения интенсивности свечения атмосферы на ночной стороне Земли в кодах N и M в безлунную ночь на двух последовательных витках. По горизонтали отложены номера точек измерения, следующих с шагом 4 сек. Значение абсолютной интенсивности УФ для N равно 128, найденное с помощью выражения (2), показано на правой оси координат.

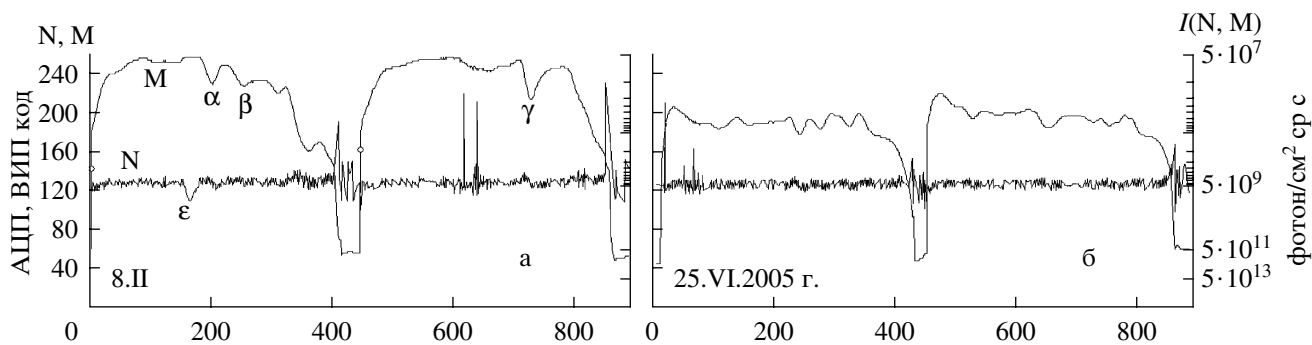


Рис. 9. Пример измерения свечения атмосферы на двух последовательных витках. а – Данные измерения свечения атмосферы в новолуние; о – точка начала измерения на ночной стороне; б – данные измерения свечения атмосферы при фазе Луны 82% в районе экватора и южной полярной области.

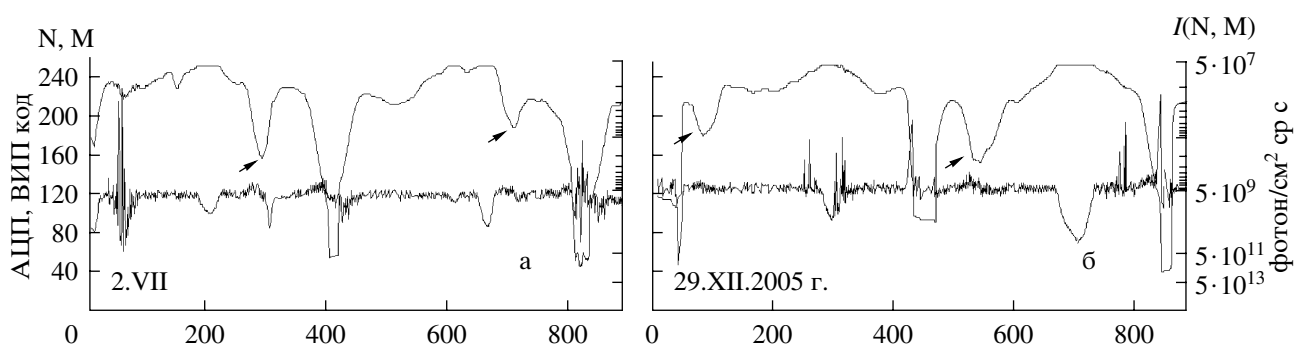


Рис. 10. Примеры регистрации полярных сияний (район свечения показан стрелкой).

Минимальные значения M соответствуют максимальной интенсивности УФ свечения атмосферы на дневной стороне, максимальные значения M соответствуют минимальной интенсивности излучения на ночной стороне витка. Регистрация начинается, когда спутник входит в тень Земли и заканчивается спустя две минуты после выхода из тени, при этом интенсивность измеряется во всем диапазоне свечения атмосферы, как ночью, так и днем. Из рис. 9а видно, что при фиксированном токе на аноде ф.э.у. код M изменяется таким образом, что среднее значение кода N принимает значение близкое к 128. Мгновенное значение кода N отличается от среднего на величину дискретности изменения коэффициента усиления. Реальный сигнал бывает искажен при сбоях работы приемо-передающей системы (на рис. 9 – выбросы в значении N). Подобные сбои выявляются при обработке данных и соответствующие точки не принимаются во внимание.

При выходе спутника на дневную сторону регистрация фона продолжается до уровня, когда код M опускается до порогового значения $M = 40$. Время измерения на дневной стороне составляет в среднем две минуты, что позволяет оценить ин-

тенсивность УФ на дневной стороне, когда Солнце находится ниже местного горизонта (измерения в области терминатора). Максимальная зарегистрированная интенсивность УФ на дневной стороне равна $\sim 10^{13}$ фот/см² с ср.

Приведенный на рис. 9а пример измерения интересен тем, что на отдельных участках наблюдается заметное увеличение интенсивности УФ при пролете над большими городами. Точки α , β и γ соответствуют районам городов Мехико, Хьюстона и Лос-Анджелеса. Из рисунка видно, что уровень свечения даже над наиболее крупными городами не более чем в два раза превышает интенсивность свечения атмосферы в безлунную ночь. С другой стороны, в примере рис. 9а наблюдается и минимальная интенсивность УФ- над океаном в районе экватора (ϵ).

На рис. 9б приведены данные измерения интенсивности в лунную ночь, когда Луна в точке наблюдения находилась высоко над горизонтом. Из этого рисунка видно, что по сравнению со свечением атмосферы в безлунную ночь интенсивность УФ существенно увеличилась и испытывает большие колебания относительно средней величины. Колебания интенсивности УФ очевидно

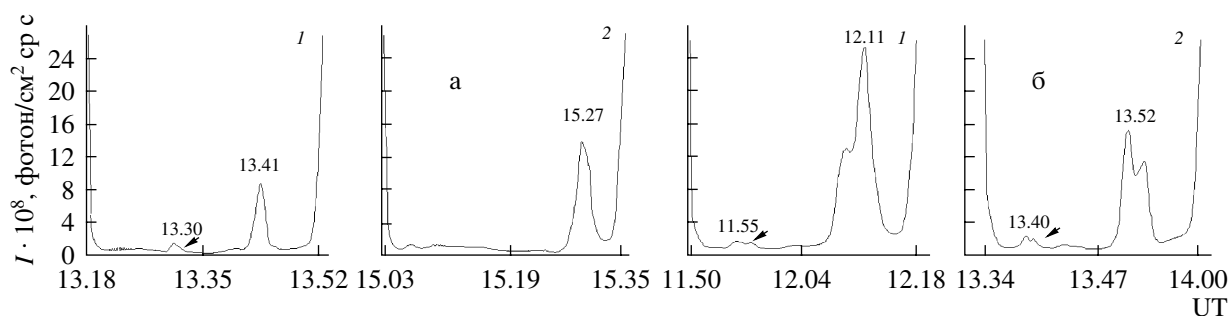


Рис. 11. Пример измерения широтного профиля полярных сияний на двух последовательных витках на ночной стороне в южном полушарии.

связаны с пролетом над районами с различным коэффициентом рассеяния (альбедо) света Луны.

Наблюдаемый уровень УФ излучения в безлунные ночи в средних широтах оказался в диапазоне $3 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^8$ фот/см² с ср. Как известно, рассеянный свет звезд и зодиакальный свет ожидается на уровне $< 3 \cdot 10^7$ фот/см² с ср, поэтому наблюдаемый уровень УФ свечения атмосферы в безлунные ночи скорее всего связан с собственным свечением ночной атмосферы.

Интересно отметить, что в некоторых приэкваториальных районах над океанами УФ свечение ночного неба в безлунную ночь достигает значений $2 - 3 \cdot 10^7$ фот/см² с ср (см. рис. 9, 10) и, следовательно, в этих районах собственное свечение атмосферы минимально. Иногда в этих районах наблюдается увеличение интенсивности свечения, возможная причина которого обсуждается в следующей главе.

При Луне интенсивность УФ свечения атмосферы зависит от фазы и высоты Луны над горизонтом. В течение лунного месяца среднее значение интенсивности УФ на витке изменяется от 10^8 до $2.5 \cdot 10^9$ фот/см² с ср. При этом интенсивность выше, чем 10^9 фот/см² с ср, бывает лишь в течение ~8 ночей в месяц.

4.2. Регистрация свечения полярных сияний в северном и южном полушариях Земли. Полярная орбита спутника позволяет проводить изучение полярных сияний в течение нескольких дней в январе–декабре в северных широтах и нескольких дней в июле–августе в южных широтах.

Надежные измерения интенсивности полярных сияний можно провести только в безлунные ночи. На рис. 9б был приведен пример измерений в полярной области в присутствии Луны. Регистрации УФ излучения атмосферы производилась 25.VI.2005 г. на двух последовательных витках южнее Южной Америки. На фоне рассеянного света Луны интенсивность полярного сияния не видна.

На рис. 10а приведен пример удачной регистрации широтного профиля полярных сияний в безлунную ночь 2.VII на двух последовательных витках южнее Австралии. Интенсивность свечения в максимуме превышает фон ночного неба в безлунную ночь в ~30 раз на первом витке и в ~15 раз на втором витке. Ширина овала полярных сияний по широте на обоих витках превышает 1000 км, расстояние между витками по долготе ~1500 км.

На рис. 10б приведен пример регистрации полярного сияния в северных широтах 29.XII.2005 г.

Таблица 1

	2.VII						10.VII					
	1			2			3			4		
UT, час, мин	13.39	13.41	13.43	15.25	15.27	15.28	12.05	12.11	12.13	13.48	13.52	13.55
MLT, час, мин	22.30	22.48	23.12	22.24	22.36	22.48	21.24	22.30	23.12	21.00	21.30	21.48
Mlat, град	-55	-62	-68	-63	-70	-73	-48	-67	-73	-46	-60	-70
Lat, град	-45.6	52.4	-59.2	-52.8	-59.6	-63.0	-39	-59	-66	-36	-50	-60
$J, 10^8$, фот/см ² с ср		8.6			14.1			15.3			25.3	

над Гренландией и северо-востоком Канады. Также как в южной приполярной области интенсивность УФ свечения при пересечении овала полярных сияний в ~ 10 – 30 раз превышает уровень УФ свечения атмосферы в безлунную ночь.

Рассмотрим подробнее данные регистрации полярных сияний в южном полушарии Земли. На рис. 11 изображены примеры зарегистрированных сияний 2.VII (а) и 10.VII.2005 г. (б). В эти дни спутник пересекал область полярного овала южнее Австралии с севера на юг при близких значениях географических координат вблизи полуночи с разницей в местном времени не более двух часов. В табл. 1 приведены географическая и магнитная широта и интенсивность свечения в максимуме рассматриваемых сияний для четырех витков ИСЗ. В таблице (для каждого из витков 1–4), первый столбец данных соответствует экваториальному краю полярного овала, второй – максимальной интенсивности, третий – приполюсному краю. Следует заметить, что при достаточно широком поле зрения прибора (14°) тонкая структура широтных профилей сияний не разрешается нашим прибором.

Отметим некоторые различия в зарегистрированных событиях. Интенсивность свечения в максимуме 10.VII. больше, чем 2.VII. Ширина полярного овала в этом случае также больше и значительно превышает 1000 км. При этом расширение происходит, в основном, за счет смещения к низким широтам экваториальной границы овала.

Отмеченные различия можно объяснить изменением степени возмущенности земной магнитосферы. Известно [15], что с ростом магнитной возмущенности происходит расширение овала, причем, в основном, ночной его части. Действительно, 10 июля было зарегистрировано внезапное начало геомагнитной бури (SSC в 03.36 UT) и величина Кр-индекса быстро увеличилась и находилась в пределах 5 – 6^+ до конца дня.

Полярное сияние является видимым проявлением взаимодействия заряженных частиц с верхней атмосферой Земли. Наиболее эффективным для возбуждения визуально наблюдаемых форм сияний являются электроны (и протоны) с энергиями в единицы кэВ. Область их высыпания достаточно хорошо согласуется с положением полярного овала. К сожалению, детектор кэВ-ных электронов, находящийся на борту нашего ИСЗ, в рассматриваемые дни не работал. На этом же спутнике регистрировались высыпающиеся электроны с энергиями более 40 и 70 кэВ. В результате обработки информации получено, что области их высыпания примыкают к экваториальной границе полярного овала вне и внутри него, что соответствует выводам [16].

На некоторых витках спутника в районе экватора наблюдаются превышения интенсивности УФ над уровнем фона. Примеры таких превышений, зарегистрированные 2.VII. на широте -11° в 13.30, а также на двух витках 10.VII.2005 г. с максимумом интенсивности УФ на широте -4° в 11.55 и на широте -8° в 13.40 показаны стрелками на рис. 11. Во всех зарегистрированных случаях описанные превышения интенсивности УФ наблюдались над океаном севернее Австралии. Интенсивность в максимуме подобных возрастаний интенсивности значительно меньше интенсивности свечения полярных сияний в высоких широтах, но превышает обычные слабые изменения интенсивности УФ в безлунную ночь. В настоящее время трудно сказать что-либо определенное о связи превышений интенсивности свечения и геомагнитной возмущенности. Подобные возрастания в низкоширотных областях в полосе 391.4 нм высвечивания однократно ионизированных молекул N_2^+ были зарегистрированы на борту ИСЗ *Космос-900* [17].

4.3. Контроль стабильности работы детектора по интенсивности свечения атмосферы. При постановке космического эксперимента по изучению космических лучей предельно высоких энергий (проекты КЛПВЭ и ТУС [18]) возникает проблема стабильности фотоприемника в течение длительной экспозиции на ночной и дневной сторонах Земли. По условиям эксперимента нежелательна установка подвижных механических световых экранов на фотоприемник с целью предохранения фотокатодов от воздействия интенсивного излучения атмосферы на дневной стороне. В работе [19] было предложено использовать в фотоприемнике ф.э.у. с мультищелочным фотокатодом, предельный ток которого в сотни раз превышает предельные токи ф.э.у. с бищелочным фотокатодом, обычно использующихся в подобных детекторах. До настоящего времени не было опыта практического применения ф.э.у. для регистрации УФ излучения атмосферы как днем, так и ночью. В настоящей работе впервые в условиях космического эксперимента получены данные об устойчивой работе мультищелочного фотокатода, несмотря на воздействие интенсивного УФ излучения на дневной стороне. Благодаря длительной работе спутника в настоящее время можно сравнить данные измерения интенсивности УФ свечения атмосферы в феврале 2005 г. и спустя практически один год в январе 2006 г. при одном и том же свечении атмосферы, которое определяется рассеянным светом Луны в полнолуние при высоте Луны в зените.

Полученные данные показывают, что сигнал ф.э.у. не изменился в пределах 10% за год экспозиции детектора.

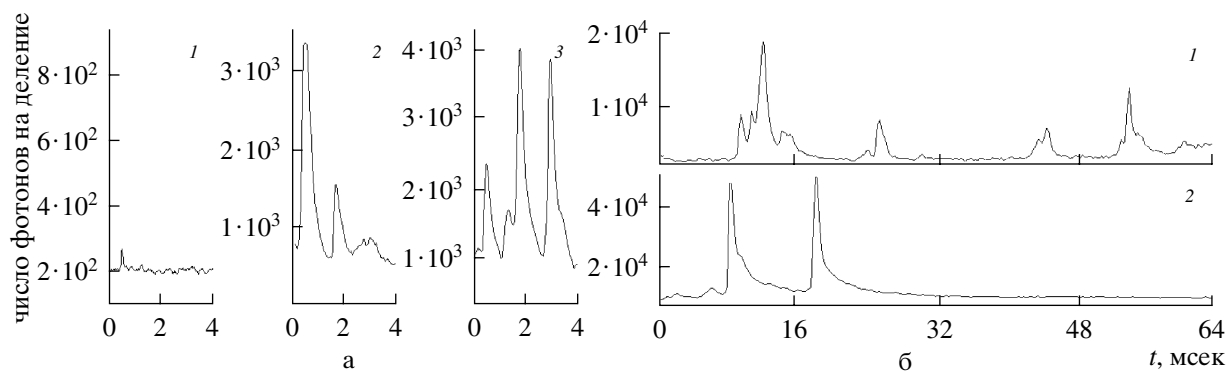


Рис. 12. Примеры регистрации временного профиля УФ вспышки с помощью осциллографа. а – Длина развертки осциллографа 4 мс, деление осциллограммы 16 мкс, б – длина развертки осциллографа 64 мс, деление осциллограммы 256 мкс.

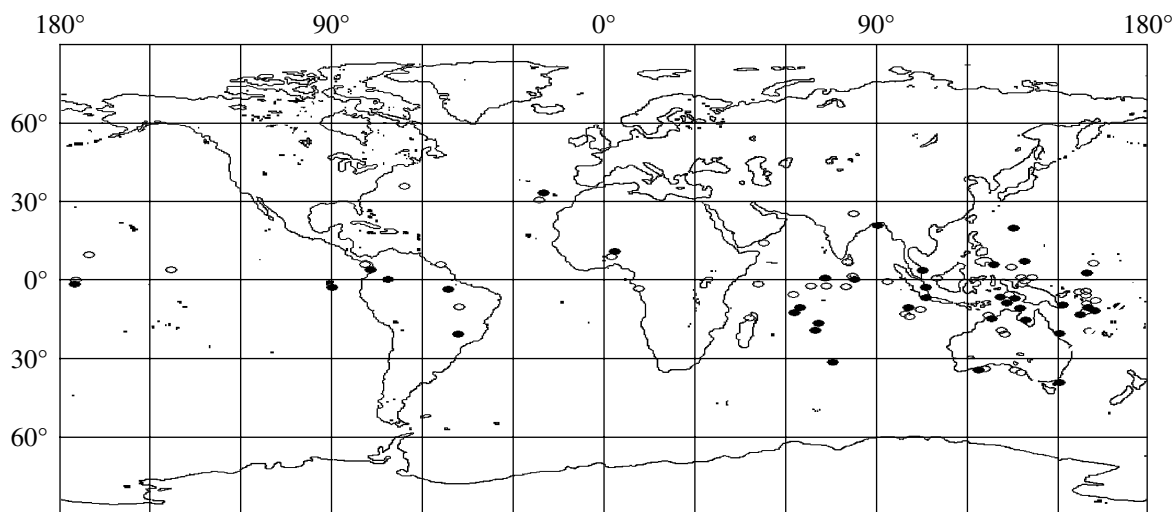


Рис. 13. Карта географических координат вспышек УФ-излучения. Светлые кружки – импульсы, зарегистрированные осциллографом с длительностью развертки 4 мсек, темные кружки – импульсы, зарегистрированные осциллографом с длительностью развертки 64 мсек.

4.4. Исследование вспышек ультрафиолетового излучения – транзитных световых явлений в атмосфере. Для отбора и измерения временного профиля вспышек применялись два осциллографа: – с длительностью развертки 4 и 64 мсек, каждый осциллограф регистрировал по 256 точек. Из-за ограниченной скорости передачи данных на Землю на витке отбиралась наиболее мощная вспышка в каждом из осциллографов. Оказалось, что вспышки, превосходящие уровень шума в 10 раз, регистрируются с вероятностью 50% на виток. Примеры регистрации вспышек приведены на рис. 12.

С помощью выражения (2) находилось число фотонов в каждой точке временного профиля. Числа фотонов в каждой точке осциллограммы, оказались в диапазоне 10^3 – 10^5 фотонов. Их суммарное значение по всем точкам импульса позво-

ляло найти полное число фотонов во вспышке. Оценка числа излученных фотонов в атмосфере была сделана в предположении, что УФ-излучение в атмосфере изотропно (флуоресценция возбужденных молекул атмосферы). Учитывая геометрический фактор $3 \cdot 10^{17}$ регистрации вспышки на расстоянии 950 км при геометрическом факторе детектора 0.024 см^2 и поглощение фотонов с длиной волны 300–400 нм в верхней атмосфере, по полному числу регистрируемых фотонов было получено число фотонов во вспышке в атмосфере: 10^{22} – 10^{24} фотонов, что соответствует энергии в УФ-излучении 10^4 – 10^6 Дж.

Географические координаты вспышек определялись по времени регистрации и известным координатам спутника в предположении, что ошибка в ориентации поля зрения детектора не

превышает $\pm 3^\circ$. Ошибка позиционирования спутника на орбите не превышала 100 м.

Распределение зарегистрированных вспышек по их широтам приведено на рис. 13 (заметим, что неравномерное распределение по долготе связано с режимом работы научной аппаратуры, которая работает только на части витков спутника). Более половины вспышек зарегистрировано в экваториальном районе Земли, в пределах от 10° северной широты до 10° южной широты. В то же время “шумовые вспышки”, выделенные как вспышки с малой амплитудой и малой длительностью, оказались равномерно распределены по широтам, на которых проводились измерения на ночной стороне Земли: от 65° северной широты до 65° южной широты. Пример осциллограммы импульса, выделенного как “шумовая вспышка” приведен на рис. 12а (1).

Более половины вспышек находится над океанами в районах с минимальной грозовой активностью [20]. Это указывает на то, что причина возникновения вспышек не связана с молниями. Повидимому, эти вспышки обеспечивают стекание заряда атмосферы в ионосферу в местах с низкой частотой молний над океанами. Над континентами в местах с высокой грозовой активностью разряд атмосферы обеспечивается как молниями, так и вспышками. Анализ данных по вспышкам УФ излучения атмосферы, сравнение с мировыми данными приведены в [21, 22].

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОДИНОЧНЫХ СБОЕВ В МИКРОСХЕМАХ

При первом включении аппаратуры “Призма-3” 21–27.I.2005 г., в каждой из микросхем памяти были зарегистрированы от 3 до 13 сбоев. Сбои в работе оптронов отсутствовали. Средняя частота появления сбойных байтов в микросхемах памяти, которые были зарегистрированы в узлах 3-х блоков, расположенных за каждой из защит, приведены в табл. 2 и на рис. 14.

Из табл. 2 и рис. 14 видно, что экспериментальная частота сбоев практически (с учетом статистических ошибок) не зависит от толщины защиты и для всех микросхем при любой защите в среднем равняется 0.06 сбоев/час. В табл. 2, наряду с усредненными данными за неделю полета спутника, также приводятся данные о частоте сбоев за первый день их регистрации 21.I. Это связано с тем, что наряду с воздействием фоновых потоков протонов РПЗ и частиц ГКЛ в этот день регистрировался быстро спадающий поток СКЛ. Однако, как видно из таблицы, влияние этого потока никак не сказывается на частоте сбоев, величина которой в этот день не превышает среднюю частоту сбоев за всю неделю.

Таблица 2

Толщина защиты, мм	Температура, $^\circ\text{C}$	21–27.I.2005		21.I.2005
10	+28	$0.0372 \pm \pm 0.0090$ ($\pm 24\%$)	$0.0606 \pm \pm 0.006$ ($\pm 10\%$)	$0.045 \pm \pm 0.012$ ($\pm 27\%$)
5	+56	$0.0854 \pm \pm 0.0136$ ($\pm 16\%$)		
2.5	+30	$0.0567 \pm \pm 0.0111$ ($\pm 20\%$)		
0	+24	$0.0633 \pm \pm 0.0117$ (19%)		

В скобках указано среднеквадратичное отклонение статистической погрешности.

Для анализа полученных результатов была выполнена расчетная оценка частоты сбоев, которая должна наблюдаться на орбите спутника для этого типа микросхем при воздействии потока протонов РПЗ и частиц ГКЛ. Для этой оценки использовался комплекс программ, разработанный в НИИЯФ МГУ, который позволяет рассчитывать потоки частиц радиационных полей и частоту одиночных сбоев в микросхемах памяти на орбитах КА [23, 24] с учетом толщины защиты. Для расчетов были выбраны следующие значения параметров чувствительности микросхемы от тяжелых заряженных частиц: сечение насыщения сбоев – $5 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$, порог линейной передачи энергии – $1.5 \text{ МэВ}/(\text{мг}/\text{см}^2)$. Эти параметры также используются в модели сбоев [25] для определения параметров чувствительности микросхемы при воздействии протонов.

Как видно из рис. 14, экспериментальные данные хорошо коррелируют с расчетной частотой

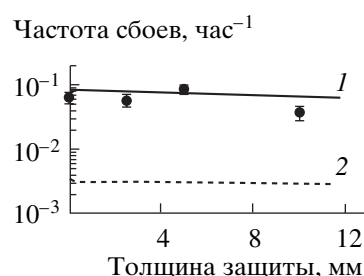


Рис. 14. Частота сбоев в микросхемах памяти. Точки – экспериментальные данные. Кривые – расчет (воздействие: 1 – протоны РПЗ, 2 – частицы ГКЛ).

сбоев, которая получена для потоков протонов РПЗ. Частота сбоев, создаваемых потоком частиц ГКЛ значительно ниже, что объясняется значительным ослаблением этого потока на орбите спутника по сравнению с потоком этих частиц в межпланетном пространстве.

ВЫВОДЫ

Программа исследований на спутнике *Университетский – Татьяна* включает эксперименты по исследованию потоков космических частиц высокой энергии (космических лучей), ультрафиолетового фоновое излучения ночной атмосферы, свечение атмосферы при полярных сияниях, от метеоров и при электрических разрядах, а также радиационной стойкости бортовой электроники. Исходя из этих задач на борту микроспутника *Университетский – Татьяна* была установлена научная аппаратура, предназначенная для регистрации космической плазмы (электроны, протоны, α -частицы) в широких диапазонах энергий (от 1 кэВ до 200 МэВ) и ультрафиолетового излучения атмосферы Земли. В течение года бортовая аппаратура показала устойчивую работу детекторов заряженных частиц, электроники и ф.э.у. детектора ДУФ при негерметичном исполнении микроспутника и пассивной стабилизации температуры.

С первых же часов на орбите спутник включился в программу научных исследований: его запуск совпал по времени с сильной вспышкой на Солнце. На основании данных, полученных с научной аппаратуры спутника *Университетский – Татьяна* за 21–22.V.2005 г., построены спектры энергичных солнечных протонов. Всего в 2005 г. были проанализированы данные пяти крупных событий СКЛ, зарегистрированных на спутнике *Университетский – Татьяна*. Получена оценка спектрального индекса дифференциальных спектров пиковых потоков солнечных протонов для этих событий, исследован временной ход потоков протонов в полярной шапке и динамика проникновения СКЛ в магнитосферу Земли. Получены новые данные о динамике радиационных поясов во время магнитосферных возмущений.

Измерена интенсивность УФ излучения атмосферы. Зарегистрированы широтные профили полярных сияний в высоких широтах северного и южного полушарий и измерена их интенсивность. Зарегистрированы вспышки УФ излучения с энергией порядка сотен кДж. Показано, что распределение отобранных вспышек по широте неравномерно: большая часть вспышек УФ излучения происходит в экваториальной области Земли.

Работа поддержана грантом Президента РФ № НШ-9193.2006.2. и грантом РФФИ 06-02-08263.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власова Н.А., Горчаков Е.В., Иванова Т.А. и др. Система мониторинга радиационных условий в магнитосфере Земли на российских космических аппаратах связи, навигации и телевидения // Космич. исслед. 1999. Т. 37. № 3. С. 245–255.
2. Балашов В.В., Иванов А.И., Максимов И.А. и др. Контроль радиационной обстановки на высокоаппетейных космических аппаратах // Космонавтика и ракетостроение. 2003. Т. 30. № 1. С. 95–101.
3. Гарипов Г.К., Панасюк М.И., Рубинштейн И.А. и др. Детектор УФ на борту научно-образовательного микроспутника МГУ *УНИВЕРСИТЕТСКИЙ – ТАТЬЯНА* // ПТЭ. 2006. № 1. С. 135–141.
4. Feynman J., Spital G., Wang J. Interplanetary Proton Fluence Model: JPL 1991 // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. № A8. P. 13281–13294.
5. Nymmik R.A. Probabilistic Model for Fluences and Peak Fluxes of Solar Particles // Radiation Measurements. 1999. V. 30. P. 287–296.
6. Моттль Д.А., Ныммик Р.А. Солнечная активность и события в солнечных космических лучах // Изв. АН, Сер. физ. 2001. Т. 65. № 3. С. 314–316.
7. Панасюк М.И., Кузнецов С.Н., Лазутин Л.Л. и др. Магнитные бури в октябре 2003 года // Космич. Исслед. 2004. Т. 42. № 5. С. 509–554.
8. Бахарева М.Ф. Нестационарное статистическое ускорение релятивистских частиц и его роль во время геомагнитных бурь // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т. 43. № 6. С. 737–744.
9. Tverskaya L.V., Ivanova T.A., Pavlov N.N. et al. Storm-time formation of a relativistic electron belt and some relevant phenomena in other magnetospheric plasma domains // Adv. Space Res. 2005. V. 36. P. 2392–2400.
10. Kanekal S.G., Friedel R.H.W., Reeves G.D. et al. Relativistic electron events in 2002: Studies of pitch angle isotropization // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. № A12224. doi:10.1029/2004JA010974.
11. Vette J.I. The AE-8 trapped electron model environment // NSSDC/WDC-A-R&S Report 91–24, NASA-GSFC (1991).
12. Гецелев И.В., Зубарев А.И., Пудовкин О.Л. Радиационная обстановка на борту космических аппаратов // Сб. ЦИПК. 2001. С. 316.
13. Nagata K., Kohno T., Murakami H. et al. Elektron (0.19–3.2MeV) and proton (0.58–35MeV) precipitations observed by OHZORA satellite at low zones L = 1.6–1.8 // Planet. Space Sci. 1998. V. 36. P. 591.
14. Братолобова-Цулукидзе Л.С., Грачев Е.А., Григорян О.Р., Нечаев О.Ю. Приэкваториальные электроны по данным ОК Мир // Космич. исслед. 2001. Т. 39. № 6. С. 602–612.
15. Старков Г.В. Полярные сияния, Физика околоземного космического пространства. Апатиты: КНЦ РАН, ПГИ, 2000. Вып. 3. С. 409–499.
16. Feldstein Ya.I., Starkov G.V. The auroral oval and the boundary of closed field lines of geomagnetic field // Planet. Space Sci. 1970. V. 18. P. 501–508.

17. Тверская Л.В., Тулунов В.И. Наблюдения на высоте 500 км свечения атмосферы в полосе 3914 Å в низкоширотных областях // Геомагнетизм и аэронавигация. 1984. № 4. С. 695–697.
18. Khrenov B.A. and Panasyuk M.I. for the Kosmotepetl collaboration. Program of UHECR study with TUS/KLYPVE space detectors // Proc. of Workshop on Observing of Extremely High Energy Cosmic Ray from Earth and Space. AIP Conf. Proc. Melville, N.Y. 2001. V. 566. P. 57.
19. Гарипов Г.К., Хренов Б.А., Лубсандоржиев Б.К. и др. Фотоэлектронные умножители в фотоприемнике орбитального детектора флуоресцентного излучения ШАЛ // ПТЭ. 2005. № 1. С. 108–111
20. Garipov G.K., Khrenov B.A., Panasyuk M.I. et al. UV radiation from the atmosphere: Results of the MSU “Tatiana” satellite measurements // Astroparticle Physics. 2005. V. 24. P. 400–408.
21. Гарипов Г.К., Панасюк М.И., Тулунов В.И. и др. Вспышки УФ излучения в экваториальном районе Земли // Письма в ЖЭТФ. 2005. V. 82. С. 204–206.
22. Хренов Б.А., Гарипов Г.К., Климов П.А. и др. Быстрые вспышки электромагнитного излучения в верхней атмосфере // Космич. исслед. 2007. Т. 45.
23. Кузнецов Н.В., Панасюк М.И. Космическая радиация и прогнозирование сбое- и отказаустойчивости интегральных микросхем в бортовой аппаратуре космических аппаратов // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). Сер. радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2001. Вып. 1–2. С. 3–8.
24. Bashkirov V.F., Kuznetsov N.V., Nymmik R.A. An Analysis of the SEU Rate of Microcircuits Exposed by the Various Components of Space Radiation // Rad. Meas. 1999. V. 30. P. 427–433.
25. Кузнецов Н.В. Частота одиночных случайных эффектов в электронике на борту космических аппаратов // Космич. исслед. 2005. Т. 43. № 6. С. 443–451.

First Results of Investigating the Space Environment onboard the *Universitetskii-Tatiana* Satellite

V. A. Sadovnichy¹, M. I. Panasyuk², S. Yu. Bobrovnikov², N. N. Vedenkin², N. A. Vlasova², G. K. Garipov², O. R. Grigorian², T. A. Ivanova², V. V. Kalegaev², P. A. Klimov², A. S. Kovtyukh², S. A. Krasotkin², N. V. Kuznetsov², S. N. Kuznetsov^{†2}, E. A. Muravyeva², I. N. Myagkova², N. N. Pavlov², R. A. Nymmik², V. L. Petrov², M. V. Podzolkov², V. V. Radchenko², S. Ya. Reisman², I. A. Rubinshtein², M. O. Riazantseva², E. A. Sigaeva², E. N. Sosnovets^{†2}, L. I. Starostin², A. V. Sukhanov², V. I. Tulupov², B. A. Khrenov², V. M. Shakhparonov², V. N. Sheveleva², A. V. Shirokov², I. V. Yashin², V. V. Markelov³, N. N. Ivanov³, V. N. Blinov³, O. Yu. Sedykh³, V. P. Pinigin³, A. P. Papkov⁴, E. S. Levin⁴, V. M. Samkov⁴, N. N. Ignatiev⁴, and V. S. Yamnikov⁴

¹ Lomonosov Moscow State University, Vorob'evy gory, Moscow, 119899 Russia

² Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Vorob'evy gory, Moscow, 119899 Russia

³ Polet Design Bureau, Omsk, 644026 Russia

⁴ Research Laboratory of Aerospace Technology (NILAKT ROSTO), Kaluga, Russia