

## Вспышки ультрафиолетового излучения в экваториальном районе Земли

**Г. К. Гарипов, М. И. Панасюк, В. И. Тулупов, Б. А. Хренов, А. В. Широков, И. В. Яшин, У. Салазар<sup>+</sup>**

**НИИ ядерной физики им. Д. В. Скobelцына МГУ им. М. В. Ломоносова, 19992 Москва, Россия**

**+ Заслуженный автономный университет провинции Нуэбла, Нуэбла, Мексика**

Поступила в редакцию 15 июня 2005 г.

С помощью детектора ультрафиолетового (УФ) излучения (длины волн 300–400 нм), работающего на спутнике МГУ “Университетский – Татьяна” зарегистрированы интенсивные вспышки УФ с длительностью от 1 до 64 мс. Большинство вспышек происходит в экваториальном районе Земли. Обсуждается природа наблюдаемых вспышек.

PACS: 51.50.+v, 92.60.Pw

**1. Детектор ультрафиолетового излучения атмосферы Земли.** В составе научной аппаратуры микроспутника МГУ “Университетский – Татьяна” (круговая орбита с наклонением 82° и высотой 950 км) работает детектор ультрафиолетового (УФ) излучения [1]: фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) с мультишлочным катодом на увиолевом стекле. На входном окне ФЭУ поставлен фильтр УФС-1 толщиной 2.5 мм, обрезающий свет с длиной волны более 400 нм. В области длин волн менее 300 нм эффективность регистрации падает из-за уменьшения квантовой эффективности ФЭУ и поглощения света в атмосфере. В области длин волн 300–400 нм квантовая эффективность катода равна 20%. ФЭУ R1463 обладает высоким энергетическим разрешением и позволяет выделить сигнал от одного фотоэлектрона. Перед началом работы была измерена величина сигнала от одного фотоэлектрона как функция напряжения на делителе ФЭУ. Эта характеристика используется для определения сигнала УФ в числе фотоэлектронов по цифровому значению величины сигнала при известном напряжении на ФЭУ. Зная квантовую эффективность катода, от величины сигнала в числе фотоэлектронов можно перейти к величине сигнала в числе фотонов с длиной волны в заданном диапазоне. Коллиматор на входе ФЭУ определяет геометрический фактор детектора: поле зрения 0.25 рад (диаметр круга в обозреваемой атмосфере примерно 250 км), рабочая площадь катода ФЭУ 0.4 см<sup>2</sup>, апертура 0.02 см<sup>2</sup>·с.

Главной особенностью работы детектора является применение цифрового осциллографа для получения временного профиля сигнала УФ. Шаг измерения и время интегрирования сигнала изменяются в соответствии с поставленной задачей. Одной из задач детектора является отбор вспышек УФ в атмосфе-

ре. Для их отбора и измерения временного профиля вспышек УФ применены два варианта цифрового осциллографа: (а) – с длительностью развертки 4 мс и шагом измерения 16 мкс и (б) – с длительностью развертки 64 мс и шагом измерения 256 мкс. Интенсивность УФ излучения определяется по записи двух кодов: кода M – высокого напряжения на ФЭУ и кода N – аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Ограниченные возможности спутника по объему данных, передаваемых в центр управления, заставили нас выбирать только одну, самую яркую вспышку на витке спутника в каждом из двух диапазонов их длительности.

**2. Регистрация вспышек УФ излучения.** В настоящее время проанализированы данные, полученные в период февраль–апрель 2005 г. на теневой стороне Земли на 91 витке спутника. Почти на каждом витке спутника регистрируются вспышки с величиной сигнала, значительно превышающей шумовое значение. Зарегистрировано 45 вспышек с длительностью порядка 1–4 мс и 38 вспышек с длительностью порядка 10–64 мс. Типичные осциллограммы вспышек показаны на рис.1. Условие отбора одного, самого большого, сигнала на одном витке привело к тому, что амплитуда многих вспышек превышает предел измерения АЦП. Вместе с тем, оценка числа фотоэлектронов в таких вспышках также возможна по ширине импульса при предельном значении сигнала.

По полному числу фотоэлектронов, зарегистрированных детектором во время вспышки ( $\sim 10^4$  во вспышках длительностью 1–4 мс и  $\sim 10^5$  во вспышках длительностью 10–64 мс), проведена оценка энергии, выделенной в УФ во вспышке в атмосфере. Считая УФ излучение в атмосфере изотропным (флуо-

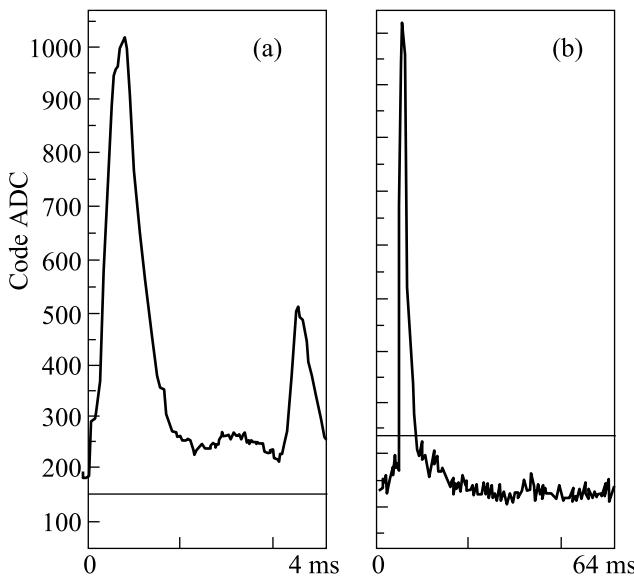


Рис.1. Осциллограмма вспышек УФ излучения

ресценция возбужденных молекул азота атмосферы) и учитывая геометрический фактор  $3 \cdot 10^{17}$  регистрации вспышки на расстоянии 950 км при площади детектора  $0.4 \text{ см}^2$  детектора, учитывая квантовую эффективность катода ФЭУ и поглощение фотонов с длиной волны 300–400 нм в атмосфере, по числу зарегистрированных фотоэлектронов получаем, что во время вспышки в атмосфере излучается  $10^{22}$ – $10^{23}$  фотонов, что соответствует энергии УФ излучения  $10^{11}$ – $10^{12}$  эрг. В тех случаях, когда величина сигнала превышает предельное значение динамического диапазона АПП, оценка дает значения порядка  $10^{13}$  эрг (1 МДж).

По времени регистрации вспышек можно найти координаты участка атмосферы, в котором произошла вспышка УФ. Распределение вспышек (самых ярких на каждом витке спутника) по их широте и долготе показано на рис.2 (заметим, что неравномерное распределение вспышек по долготе связано с режимом работы научной аппаратуры спутника, которая работает не на всех витках спутника). Среди 83 зарегистрированных вспышек 50 оказались в экваториальном районе Земли, в пределах от  $10^\circ$  северной широты (СШ) до  $10^\circ$  южной широты (ЮШ). В 8 случаях время появления вспышки с длительностью 1–4 мс близко к времени регистрации более длительных вспышек 10–64 мс, так что место обеих вспышек оказывается в пределах  $\approx 400$  км. “Шумовые” вспышки, выделенные как вспышки с малой амплитудой и малой длительностью (на уровне, требуемом системой управления), оказались равномерно распределены по

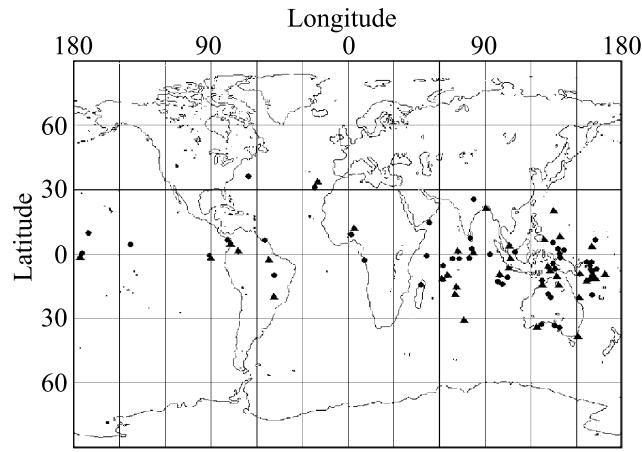


Рис.2. Карта географических координат вспышек

широтам, на которых проводились измерения на ночной стороне Земли: от  $65^\circ$  СШ до  $65^\circ$  ЮШ.

**3. Обсуждение результатов.** Наблюдаемая энергия вспышек УФ излучения и корреляция их появления с экваториальным районом Земли может найти объяснение, если принять, что они связаны с электрическими разрядами в районах грозовых облаков, которые образуют выделенный пояс в области экватора. Экспериментальные данные об УФ вспышках, не содержащие спектральных характеристик свечения, недостаточны для того, чтобы сделать окончательные выводы о природе разряда. Вместе с тем, данные об энергии, выделенной в УФ при малой длительности вспышек, позволяют оценить наиболее энергетически экономный вариант разряда. Если считать, что наблюдаемые вспышки УФ связаны с обычными молниями между облаками, сравнительно мало излучающими в области УФ ( $\sim 0.1\%$  всего света), то полная энергия излучения в каждой вспышке ожидается на уровне гигаджоулей. Для молний, направленных к земле, оценка значительно повышается из-за необходимости учитывать сильное поглощение УФ под облаками. Если считать, что наблюдаемые вспышки УФ связаны с интенсивно обсуждаемым новым типом разряда в атмосфере между облаками и ионосферой (спрайты, голубые струи), то оценка энергии в разряде значительно уменьшается. В работе Гуревича и Зыбина [2] дан обзор как теории их развития, так и экспериментальных работ по наблюдению этих разрядов в атмосфере. Параметры вспышек УФ, наблюдавшихся в настоящей работе: длительность порядка миллисекунд и энергия, выделенная во флуоресцентное УФ свечение (порядка  $10^{12}$ – $10^{13}$  эрг), оказались в согласии с параметрами, приведенными в [2]. Интересно также, что временные профили зарегистрированных нами вспыш-

шек практически повторяют профили спрайтов, полученные с борта самолета EXL98 и на станции Jelm Mountain (данные приведены в работе [3]). В разрядах типа спрайтов главную роль в развитии разряда играют релятивистские электроны, испытывающие минимальные ионизационные потери (пробой на “убегающих электронах”), которые эффективно возбуждают УФ флуоресценцию молекул азота атмосферы. Необходимым условием возникновения разряда является высокое значение электрического поля в области развития разряда. Согласно многим экспериментальным указаниям, электрическое поле между облаками и ионосферой особенно велико в экваториальном районе Земли, что, возможно, усиливает корреляцию появления вспышек УФ с областью экватора. Еще одним необходимым условием возникновения пробоя на убегающих электронах является высокая плотность “затравочных” электронов в момент начала пробоя. В работе [4] было показано, что достаточное количество “затравочных” электронов создает широкий атмосферный ливень (ШАЛ) с большим числом вторичных электронов. С помощью орбитальных детекторов ТУС и КЛПВЭ [5, 6] можно

надеяться зарегистрировать ШАЛ, инициированный частицей космических лучей ультравысокой энергии (энергии более  $10^{19}$  эВ), до того, как разовьется разряд типа спрайта в атмосфере. Полученные данные на спутнике “Университетский – Татьяна” позволяют планировать такой, трудный в методическом плане, эксперимент с помощью детекторов ШАЛ ТУС и КЛПВЭ.

1. Г. К. Гарипов, М. И. Панасюк, И. А. Рубинштейн и др., ПТЭ (в печати).
2. А. В. Гуревич, К. П. Зыбин, УФН **171**, 1177 (2001).
3. M. J. Heavner, *PhD Thesis*, University of Fairbanks, Alaska, 2000.
4. A. V. Gurevich, R. Roussel-Dupre, and K. P. Zybin, Phys. Lett. A **254**, 79 (1999).
5. B. A. Khrenov and M. I. Panasyuk, for the Kosmotepetl collaboration, Workshop on Observing of Extremely High Energy Cosmic Ray from Earth and Space, AIP Conf. Proc., Melville, New York, **566**, 57 (2001).
6. B. A. Khrenov, for the Kosmotepetl collaboration, Nucl. Phys. (Proc. Suppl.) B **113**, 115 (2001).