

## ЗАВИСИМОСТЬ ЧИСЛА СОБЫТИЙ ВЫСЫПАНИЙ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА СПУТНИКЕ «МЕТЕОР 3М» №1 ОТ НАПРЯЖЁННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ПАРАМЕТРА МАК-ИЛВАЙНА В 2002-2005 ГГ.

Ю.С. Барсуков

Представлены результаты статистической обработки наблюдений событий высыпаний энергичных электронов из радиационных поясов. Измерения энергичных электронов проводились с борта ИСЗ «Метеор 3М №1» в 2002-2005 годах. Построены гистограммы числа событий в зависимости от L и от В координат точки наблюдения. Чаще всего события высыпания энергичных электронов происходят на L-оболочках ~ 5,4 – 5,6.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВНУТРЕННИЙ РАДИАЦИОННЫЙ ПОЯС, ВНЕШНИЙ РАДИАЦИОННЫЙ ПОЯС, СТАТИСТИКА ВЫСЫПАНИЙ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Радиационные пояса – это область пространства в форме тора, находящаяся на расстоянии от 2 до 7 радиусов Земли, содержащая электроны и ионы с энергиями от десяти кэВ до десятков МэВ. Различают внутренний и внешний пояса. Внутренний пояс находится на расстоянии от 2 до 3 радиусов Земли. Внешний – от 3,5 до 7 радиусов Земли. Потери частиц в радиационных поясах связаны, в том числе, с циклотронной неустойчивостью, которая развивается в системе из трех компонент: горячие электроны радиационного пояса, холодные электроны плазмосферы (либо дакты), наличие в системе электромагнитных волн в свистовом диапазоне. С циклотронной частотой энергичных электронов связывают диффузию по питч-углам частиц в радиационных поясах, а также генерацию КНЧ- и ОНЧ-излучений. Теория этого процесса, описана в [3]. Моделью является проточный циклотронный мазер – магнитная силовая трубка, содержащая холодную плазму в повышенной концентрации, при попадании в которую энергичных электронов развивается циклотронная неустойчивость, что приводит к высыпанию энергичных электронов в конус потерь с изотропным распределением по скоростям.

Такие события высыпаний энергичных электронов наблюдаются с борта искусственных спутников Земли (ИСЗ), в том числе – с

ИСЗ «Метеор 3М №1».

Целью данной работы является представление статистики высыпаний энергичных электронов, зарегистрированных ИСЗ «Метеор 3М №1».

Статистика проводится в отношении напряжённости магнитного поля Земли и параметра Мак-Илвайна в точке наблюдения.

### 2. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И АНАЛИЗ

В работе используются данные о скоростях счёта гейгеровского датчика, регистрирующего во внешнем поясе электроны с энергией более 100 кэВ, установленного на ИСЗ «Метеор 3М №1». Наблюдения проходили с 2002 по 2005 годы. Пример события высыпания, которые анализируются в настоящей статье, приведен на рис.1. Событие отмечено на рис.1 кружком, на который направлена стрелка.

В таблице 1 представлено количество зарегистрированных событий в исследованных годах.

Таблица 1. Количество высыпаний энергичных электронов

Год	Количество событий
2002	812
2003	930
2004	335
2005	199

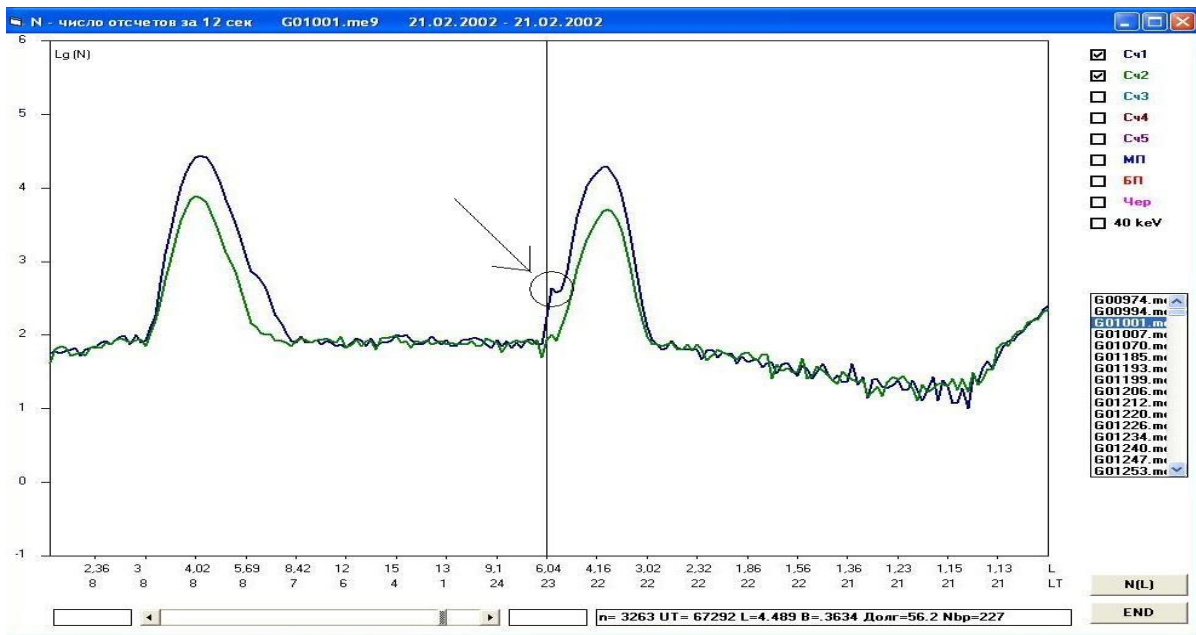


Рис.1. Пример события высыпания электронов.

## 2.1. ГИСТОГРАММЫ ЧИСЛА СОБЫТИЙ ВЫСЫПАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРА МАК-ИЛВАЙНА

На рисунках 2-5 показаны гистограммы событий высыпаний в зависимости от параметра Мак-Илвайна в 2002-2005 гг.

На рисунке 2 представлена гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от параметра Мак Илвайна в 2002 г. Видно, что максимальное количество событий высыпаний имеет место на L-оболочках (отношение среднего удаления

реальной магнитной оболочки от центра Земли в плоскости геомагнитного экватора к радиусу Земли) в интервале от 5,1 до 6,3, а также присутствует локальный максимум в интервале от 3,3 до 3,6 (в зазоре между внутренним и внешним поясами). Кроме того, можно заметить минимум при  $L=4,2$ . При этом среднее значение L-оболочки, на которой происходят события высыпаний, равно 5,09, при среднем квадратичном отклонении 0,81. Значение медианы равно 5,34.

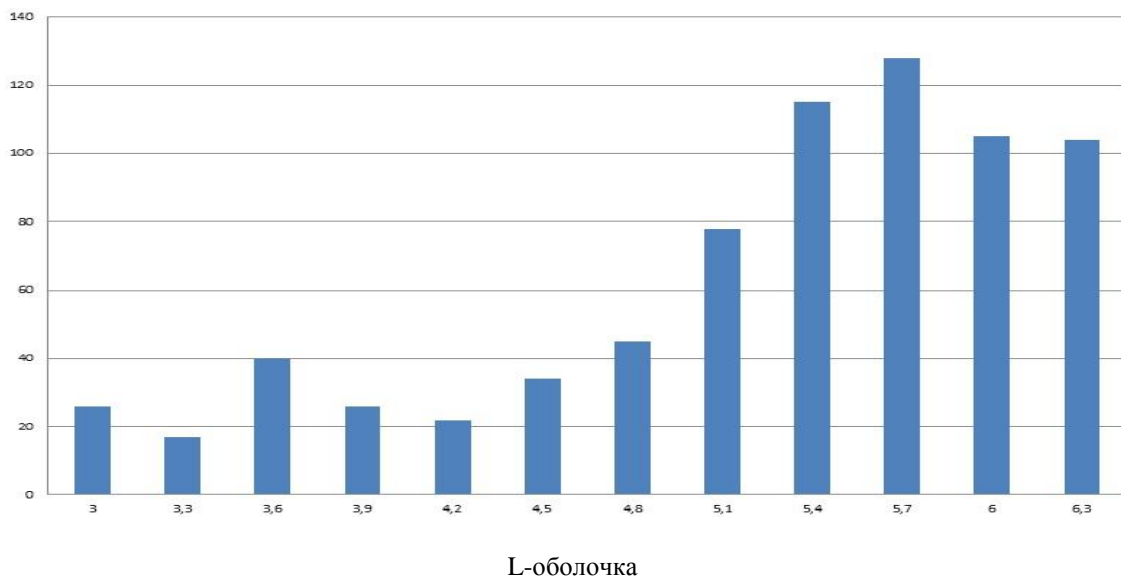


Рис. 2. Гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от L-оболочки в 2002 г.

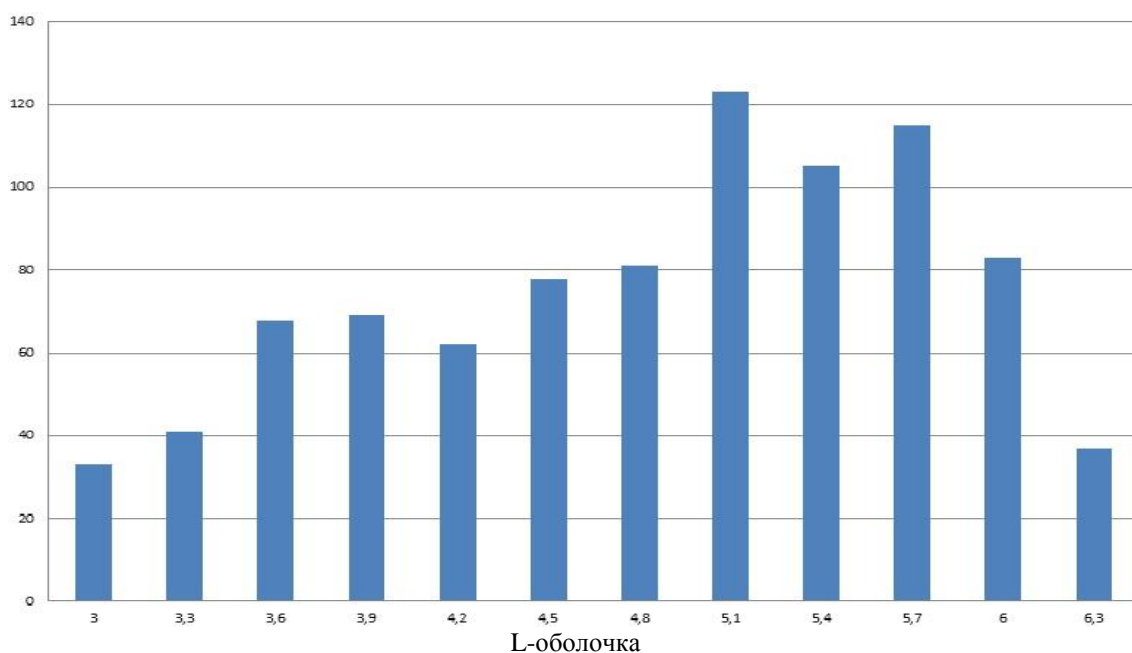


Рис. 3. Распределение событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от L-оболочки в 2003 г.

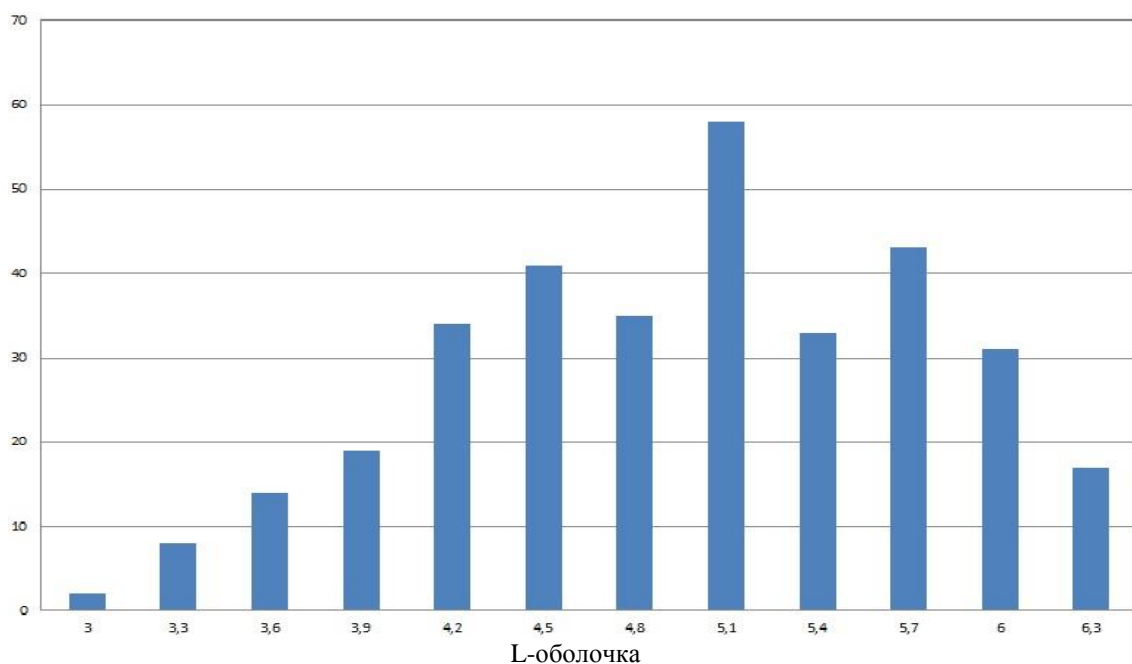


Рис. 4. Гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от L-оболочки в 2004 г.

На рисунке 3 показано распределение событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от L-оболочки в 2003 г. Видно, что максимальное количество событий высыпаний происходят на L-оболочках в интервале от 4,8 до 5,7. Реже всего высыпания регистрируются в зазоре между поясами и на L=4,2. Среднее значение L-оболочки, на которой происходят события высыпаний, равно 4,61, при среднем квадратичном отклонении 0,82. Значение медианы равно 4,8.

На рисунке 4 представлена гистограмма числа событий высыпаний энергичных элек-

тронов в зависимости от L-оболочки за 2004 год. Из рисунка видно, что максимальное количество событий высыпаний смещено влево (в сторону меньших L) и происходят на L-оболочках в интервале от 4,8 до 5,1. Довольно большое количество высыпаний происходит также в интервале от 4,2 до 4,5 и в интервале от 5,4 до 5,7. При этом среднее значение L-оболочки, на которой происходят события высыпаний, равно 4,83, при среднем квадратичном отклонении 0,64. Значение медианы равно 4,89.

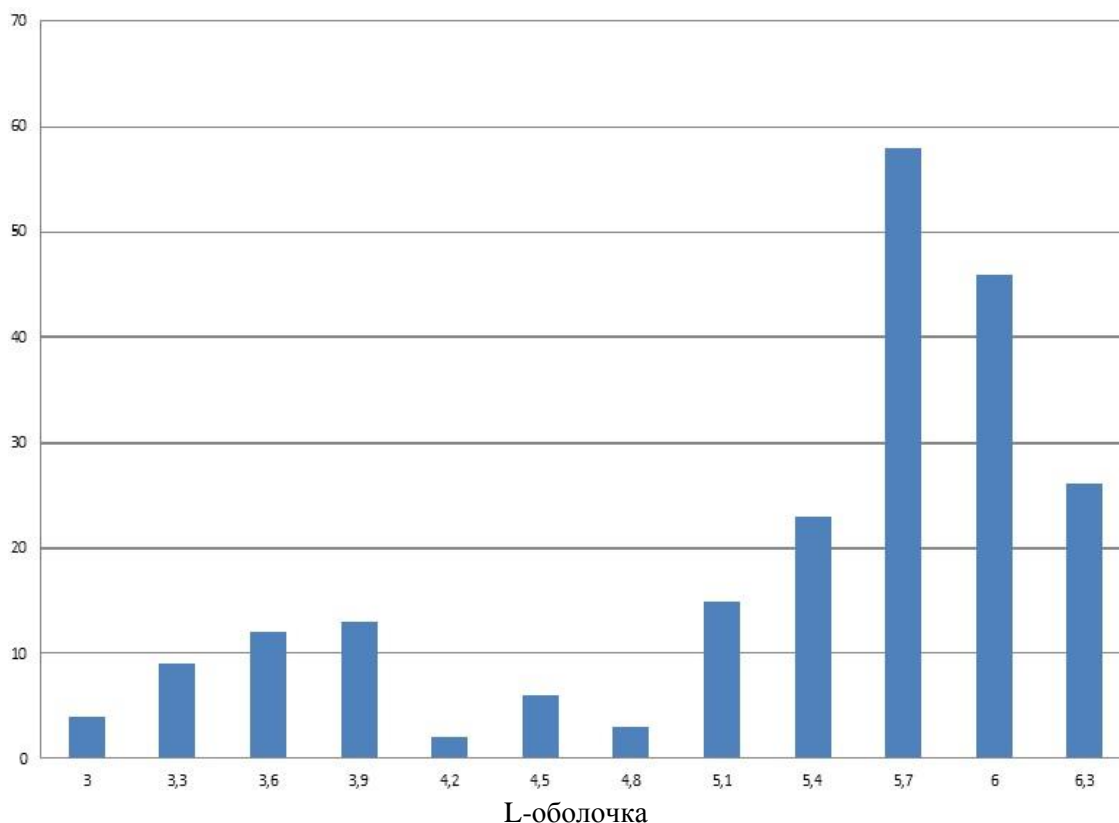


Рис. 5. Гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от L-оболочки в 2005 г.

Из рисунка 5, на котором представлена гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от L-оболочки за 2005 год, видно, что максимальное количество событий высыпаний происходит на L-оболочках в интервале от 5,4 до 6,0, а также существует локальный максимум числа высыпаний в интервале от 3,6 до 3,9. Намного меньше высыпаний зарегистрировано на интервале от 4,2 до 4,8. При этом среднее значение L-оболочки, на которой происходят события высыпаний, равно 5,11, при среднем квадратичном отклонении 0,81. Значение медианы равно 5,54.

## 2.2. ГИСТОГРАММЫ ЧИСЛА СОБЫТИЙ ВЫСЫПАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРЯЖЁННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТОЧКЕ НАБЛЮДЕНИЯ

На рисунках 6-9 показаны гистограммы числа событий высыпаний в зависимости от напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения за 2002-2005 годы.

На рисунке 6 представлена гистограмма

числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля в 2002 г. Оказалось, что, в основном, события высыпаний происходят при значениях напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения в интервале от 0,36 до 0,38 Гс. При этом среднее значение напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения равно 0,36 Гс при среднем квадратичном отклонении 0,02 Гс. Значение медианы равно 0,37 Гс.

На рисунке 7 представлена гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля в 2003 г. В 2003 году, также как и в 2002 году, в основном, события высыпаний регистрировались при значениях напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения в интервале от 0,36 до 0,38 Гс. При этом среднее значение напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения равно 0,36 Гс при среднем квадратичном отклонении 0,02 Гс. Значение медианы в данном случае совпадает со средним значением и равно 0,36 Гс.

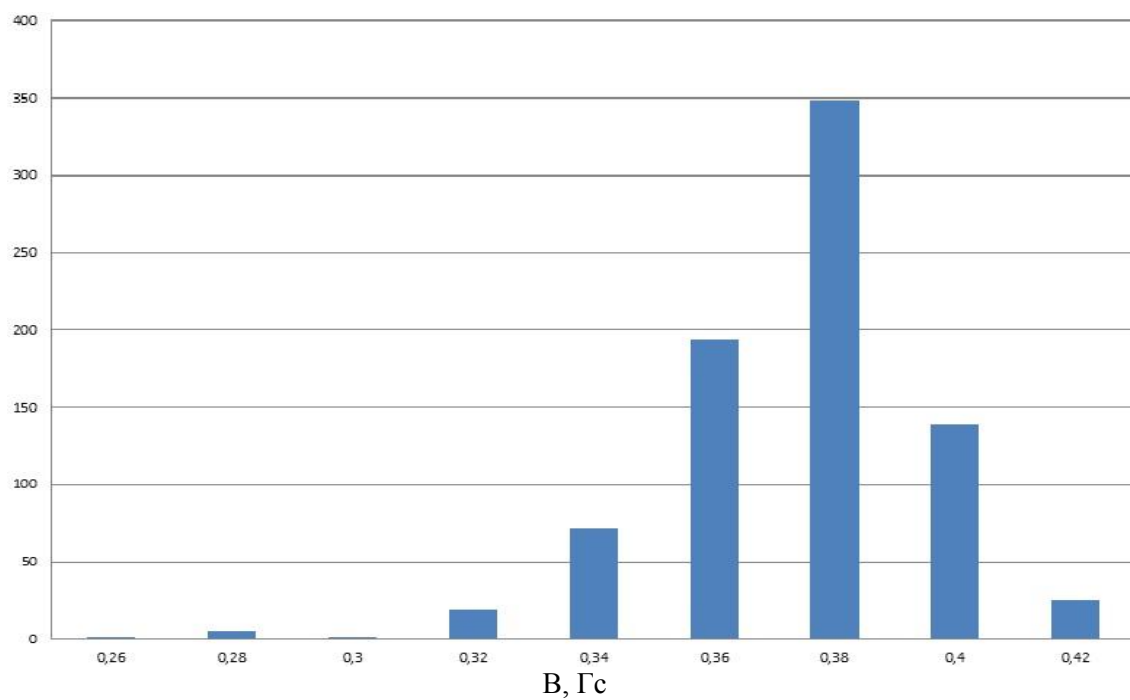


Рис. 6. Гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля в 2002 г.

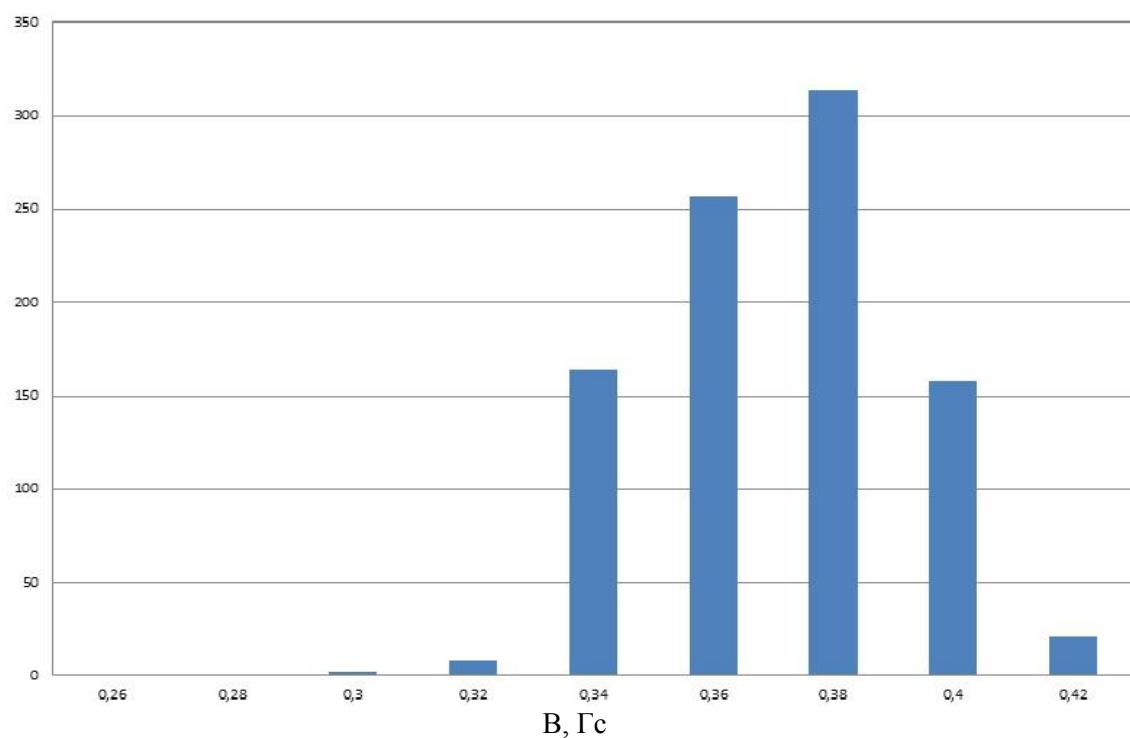


Рис. 7. Гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля в 2003 г.

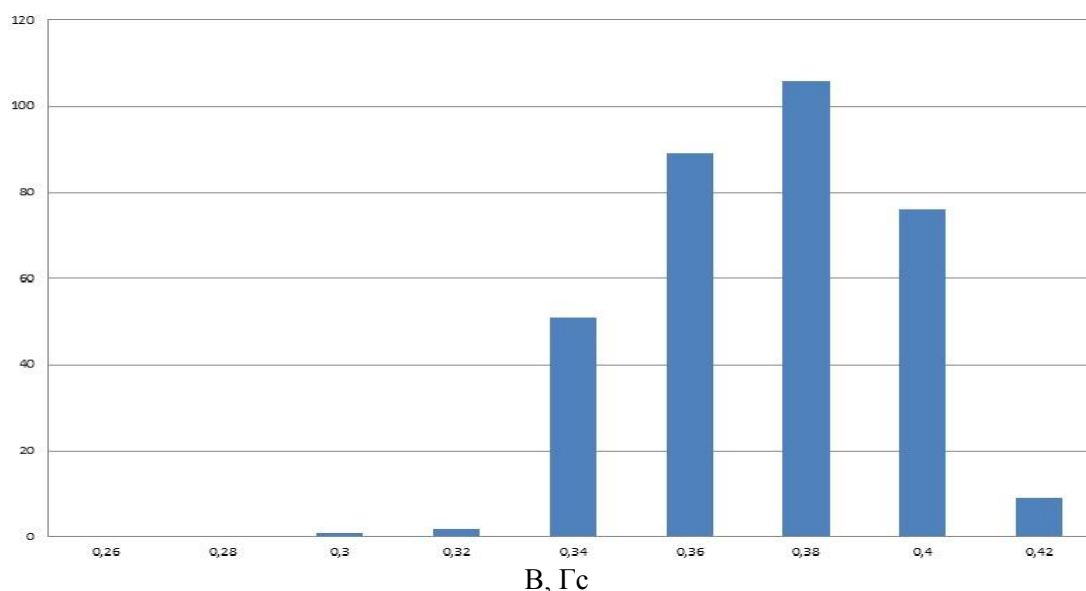


Рис. 8. Гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля в 2004 г.

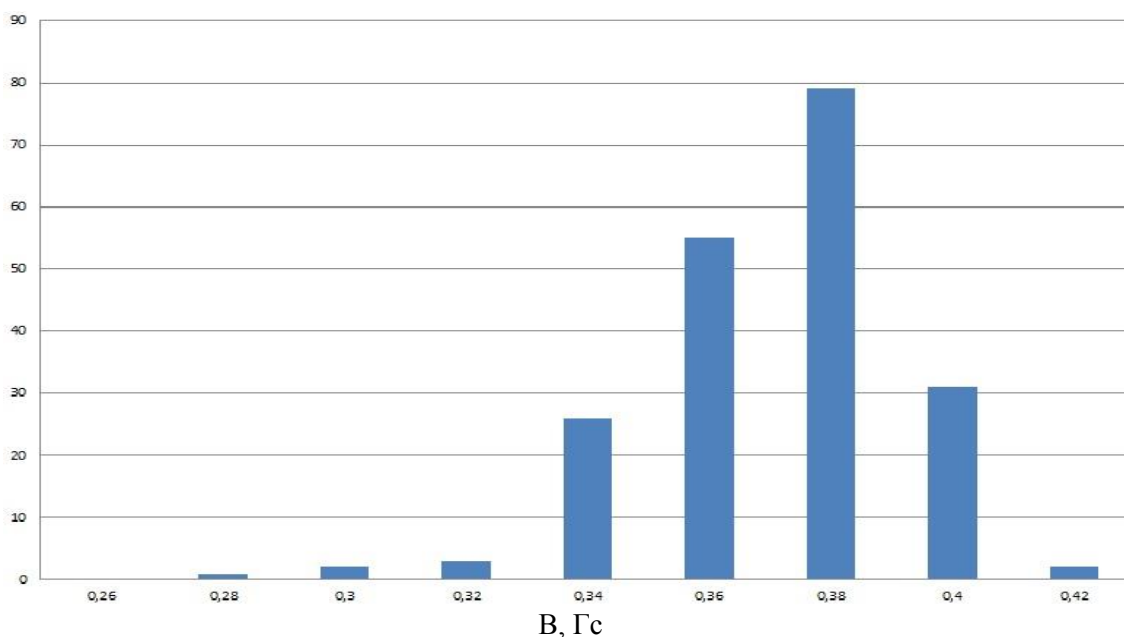


Рис. 9. Гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля в 2005 г.

На рисунке 8 представлена гистограмма числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля в 2004 г. В 2004 г., также как и в 2002 и 2003 гг., события высыпаний регистрировались при значениях напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения в интервале от 0,36 до 0,38 Гс. При этом среднее значение напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения равно 0,36 Гс при среднем квадратичном отклонении 0,02 Гс. Значение медианы равно 0,37 Гс.

На рисунке 9 представлена гистограмма

числа событий высыпаний энергичных электронов в зависимости от напряженности геомагнитного поля в 2005 г. В 2005 г., также как и в 2002-2004 годах, в основном, события высыпаний регистрировались при значениях напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения в интервале от 0,36 до 0,38 Гс. При этом среднее значение напряженности геомагнитного поля в точке наблюдения равно 0,36 Гс при среднем квадратичном отклонении 0,02 Гс. Также значение медианы вновь совпадает со средним значением и равно 0,36 Гс.

### 2.3. МАЛЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА L

Высыпания зафиксированы также на низких L-оболочках, однако их количество не позволяет говорить о статистике. Данные об этих событиях приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения напряжённости магнитного поля в зависимости от L-оболочки

L-оболочка	B, Гс
1,98	0,29
2,16	0,25
1,5	0,26
1,47	0,25
2,18	0,37

На электромагнитном излучении мощных наземных ОНЧ-передатчиков могут рассеиваться электроны с энергией порядка сотни кэВ в достаточно широком диапазоне L-оболочек (L~1,5-3). В частности, триггерное излучение может приводить к образованию аномалий в энергетических спектрах электронов внутреннего пояса (E>130 кэВ), находящихся в области квазизахвата, например на L=1,4-1,8 [4-6]; к образованию областей высы-

паний электронов с энергией в сотни кэВ в узком интервале L~1,5-1,8 в восточном полушарии в диапазоне долгот 55-62о [7]. Кроме того, высыпания на низких L-оболочках в южном полушарии могут быть связаны с наличием Южно-Атлантической магнитной аномалии.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа гистограмм событий высыпаний энергичных электронов, зарегистрированных бортовой аппаратурой спутника «Метеор 3М №1», установлено:

1. события высыпаний происходят в основном на интервалах напряженности геомагнитного поля от 0,34 до 0,4 Гс,
2. события высыпаний происходят, в основном, на L-оболочках от 4,9 до 5,5;

Зафиксированы также высыпания на низких L-оболочках. Причины низкоширотных высыпаний обсуждаются в [4-7]. Возможность таких высыпаний допускает и модель [2].

**Благодарности.** Автор благодарит д.ф.-м.н. Ю.В. Писанко за внимание к работе и постановку задачи, а также д.т.н. А.В. Тertyшникову за полезные советы и дискуссии.

### DEPENDENCE ON GEOMAGNETIC FIELD STRESS AND MCILWAIN PARAMETER OF ENERGETIC ELECTRON PRECIPITATION EVENTS MEASURED ONBOARD THE “METEOR-3M №1” SATELLITE DURING 2002-2005

Yu.S. Barsukov

Presented are the results of radiation belt electron precipitation event statistic data processing. Measurements were carried out onboard the “Meteor-3M №1” satellite during 2002-2005. Histograms of event numbers in dependence of L-B coordinates of the point of observation are represented. The events occur on 5,4-5,6 L-shells most frequently.

KEY WORDS: INNER RADIATION BELT, OUTER RADIATION BELT, ENERGETIC ELECTRON PRECIPITATION EVENT STATISTICS.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковтюх А.С., Панасюк М.И., Радиационные пояса Земли. В кн. Плазменная гелиофизика, в 2 т. (Под ред. Л.М. Зеленого, И.С. Веселовского). - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. т. 1. С. 510-534
2. Барсуков Ю.С. Модель высыпаний электронов с энергией более 100 кэВ при развитии циклотронной неустойчивости в радиационных поясах Земли//Известия ПГПУ. 2011. № 26. С. 418-424.
3. Трахтенгерц В.Ю., Тагиров В.Р., Черноус С.А. Проточный циклотронный мазер и импульсные ОНЧ излучения // Геомагнетизм и аэрномия. 1986. Т. 26, №1. С. 99–106.
4. Imhof W.L., Gaines E.E., Reagan J.B. Dynamic variations of intensity and energy spectra of electrons in the inner radiation belt // JGR. 1973. V.78, №22. P. 4568-4577.
5. Imhof W.L., Reagan J.B., Gaines E.E. Measurements of inner zone electron precipitation // JGR. 1980. V.85. №A1. P. 9-16.
6. Imhof W.L., Reagan J.B., Gaines E.E. The energy selective precipitation of inner zone electrons // JGR. 1978. V.83. №A9. P. 4245-4254.
7. Vampola A.L., Park C.G. Induced precipitation of inner zone electrons. I. Observations // JGR. 1978. V.83. №A6. P. 2643-2551.