

УДК 550.383.385

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВЫСЫПАНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА «МЕТЕОР 3М» № 1 ЗА 2002-2005 ГГ.

М.Д. Зинкина

По данным о высыпаниях высокоэнергичных электронов из радиационных поясов Земли с борта ИСЗ «Метеор-3М» № 1 за 2002-2005 годы были построены нормированные гистограммы частоты появления событий в зависимости от скорости счета гейгеровских счетчиков для параметров L оболочки от 3,1 до 3,9 и от 5,1 до 5,9. Подобрана аппроксимирующая функция, которая наилучшим образом сглаживает экспериментальную зависимость между переменными – скоростью счета высыпаний и частотой их появлений. Эта зависимость имеет вид экспоненциального закона $y = 1,3^{-1,3 \cdot \ln \text{нормир}}$. Оценена вероятность появления событий высыпаний электронов с различной интенсивностью. Оказалось, что вероятность появления событий высыпаний с малой интенсивностью всегда много больше, чем вероятность появления событий с большой интенсивностью. Экспоненциальный закон распределения частоты появления событий высыпаний в зависимости от интенсивности высыпания означает, что интенсивность любого высыпания не зависит от интенсивности предыдущих высыпаний и в этом смысле последовательность высыпаний разной интенсивности представляет собой марковский случайный процесс.

Ключевые слова: статистика высыпаний энергичных электронов; интенсивность высыпания электронов; марковский процесс.

ВВЕДЕНИЕ

Используя данные о скоростях счета гейгеровского счетчика, установленного на борту спутника «Метеор-3М» №1, были отобраны события высыпаний электронов с энергией порядка 100 КэВ из внешнего радиационного пояса за 2002 г., 2003 г., 2004 г., 2005 г. Пример высыпания приведен на рис. 1.

Для этих событий были построены гистограммы зависимости от параметра Мак-

Илвайна частоты появления событий высыпаний, из которых видно, что чаще всего такие события происходят на оболочках L от 3,1 до 3,9 и от 5,1 до 5,9 [6]. Для отобранной выборки событий построены гистограммы частоты появления событий в зависимости от их скорости счета для каждого года [1].

Целью данной работы было оценить вероятность появления событий высыпаний высокоэнергичных электронов с определенной скоростью счета.

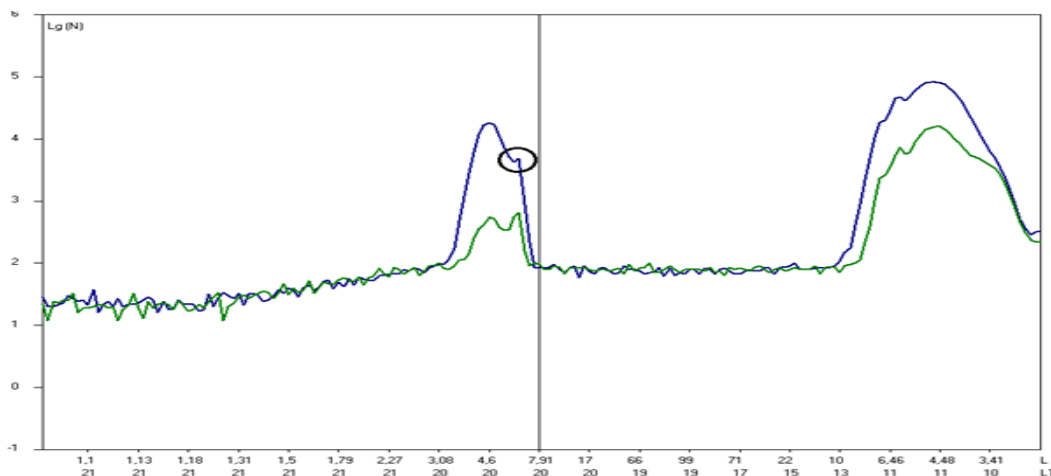


Рис. 1. Пример регистрации узкого пика (отмечен кружком) на плавном профиле потока электронов во внешнем радиационном поясе по данным измерений спутника «Метеор-3 М» №1.

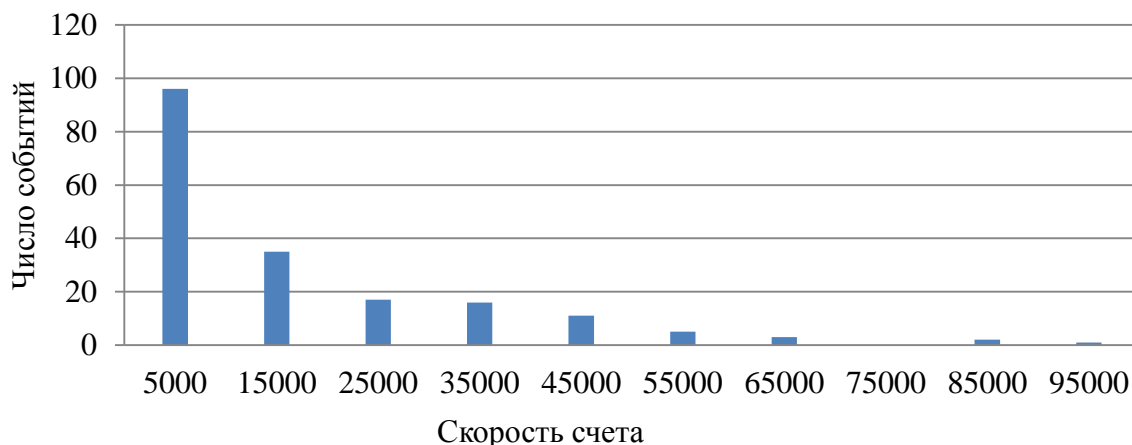


Рис. 2. Гистограмма частоты появления событий высыпаний в зависимости от скорости счета за 2003 г., для L от 3,1 до 3,9.

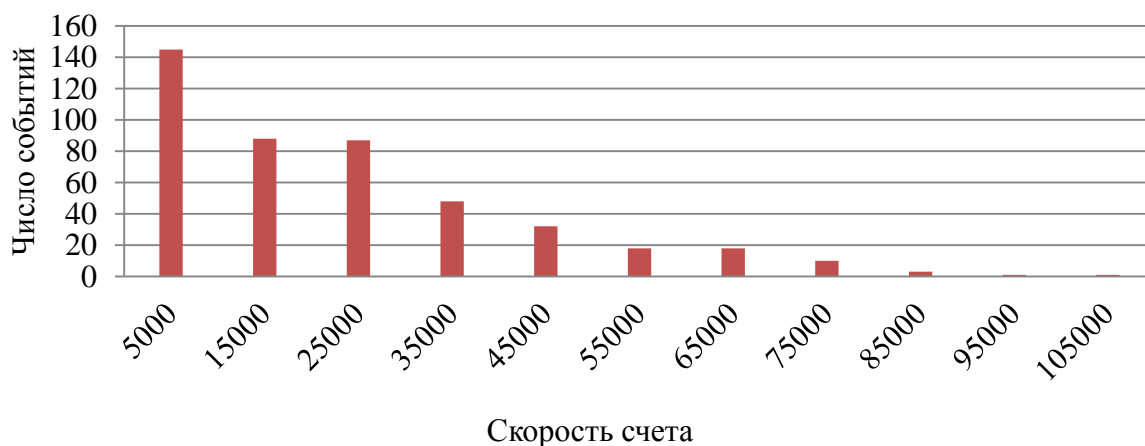


Рис. 3. Гистограмма частоты появления событий высыпаний в зависимости от скорости счета за 2003 г., для L от 5,1 до 5,9.

НОРМИРОВКА ГИСТОГРАММ

На рис. 2 и 3 представлены гистограммы для одного из годов в заданном интервале изменения параметра Мак-Илвайна.

Процедура нормировки гистограмм состояла в следующем. Сначала были нормированы исходные данные. Скорость счета обозначили за I, она менялась в пределах от 0 до 105000. В качестве единицы измерения скорости счета выбиралась величина 28000. Значения числа событий нормировали как отношение частоты появления событий Y к максимальному значению частоты появления событий (Y/Y_{max}). Y_{max} выбирались для каждого года свои, так для 2002 г. $Y_{max} = 64$ при L от 3,1 до 3,9, $Y_{max} = 164$ при L от 5,1 до 5,9, для 2003 г. $Y_{max} = 96$ при L от 3,1 до 3,9, $Y_{max} = 145$ при L от 5,1 до 5,9, для 2004 г. $Y_{max} = 47$ при L от 3,1 до 3,9, $Y_{max} = 72$ при L от 5,1 до 5,9, для 2005 г.

$Y_{max} = 31$ при L от 3,1 до 3,9, $Y_{max} = 36$ при L от 5,1 до 5,9.

АППРОКСИМАЦИЯ НОРМИРОВАННЫХ ГИСТОГРАММ

Основная задача аппроксимации – построение приближенной (аппроксимирующей) функции наиболее близко проходящей около данных точек или около непрерывной функции. Аппроксимация – процесс подбора эмпирической функции $\varphi(x)$ для установления из опыта функциональной зависимости $y = \varphi(x)$.

Для построенных нормированных гистограмм было необходимо подобрать функцию $y = \varphi(x)$, которая наилучшим образом сглаживала бы экспериментальную зависимость между переменными скоростью счета высыпаний и частотой их появлений, исключая погрешности измерений и случайные отклонения. Задача аппроксимации состояла из двух частей:

1. Сначала было сделано предположение относительно вида зависимости $y=f(x)$, то есть является ли она линейной, квадратичной, логарифмической, экспоненциальной или какой-либо еще.

2. После этого были определены численные значения неизвестных параметров выбранной эмпирической формулы.

Из вида самих гистограмм можно предположить, что наилучший результат аппроксимации будет получен, если в качестве эмпирической формулы выбрать экспоненциальную функцию вида $y = b \cdot e^{-ax}$. Экспоненциальная функция применяется для описания экспериментальных данных, которые быстро растут или убывают, а затем постепенно стабилизируются; при экспоненциальном законе распределения функция распределения вероятности высыпания электронов с определенной интенсивностью определяется, как [2]:

функция распределения:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

плотность вероятности:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

Экспоненциальная функция распределения имеет следующие свойства:

Значения функции распределения принадлежат отрезку: $[0,1]$, $0 \leq F(x) \leq 1$.

$F(x)$ – неубывающая функция, т.е. $F(x_1) \geq F(x_2)$, если $x_2 > x_1$

• Если возможные значения случайной величины принадлежат интервалу (a, b) , то: 1) $F(x)=0$ при $x \leq a$; 2) $F(x)=1$ при $x \geq b$.

Свойства плотности вероятности распределения:

• Плотность распределения есть неотрицательная величина $f(x) \geq 0$

• Интеграл в бесконечных пределах от плотности распределения равен единице.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

После выбора экспоненциальной функции для описания полученных гистограмм необходимо определить ее неизвестные параметры, то есть λ . Рассчитанное значение параметра λ оказалось равным 1,3. В итоге экспоненциальная функция плотности вероятности, аппроксимирующая нормированные гистограммы, имеет вид $y = 1,3e^{-1,3 \cdot I_{\text{нормир}}}$.

На рисунках 4 и 5 представлены объединенные нормированные гистограммы за 2002-2005 гг. и теоретическая кривая – плотность вероятности подобранного экспоненциального распределения.

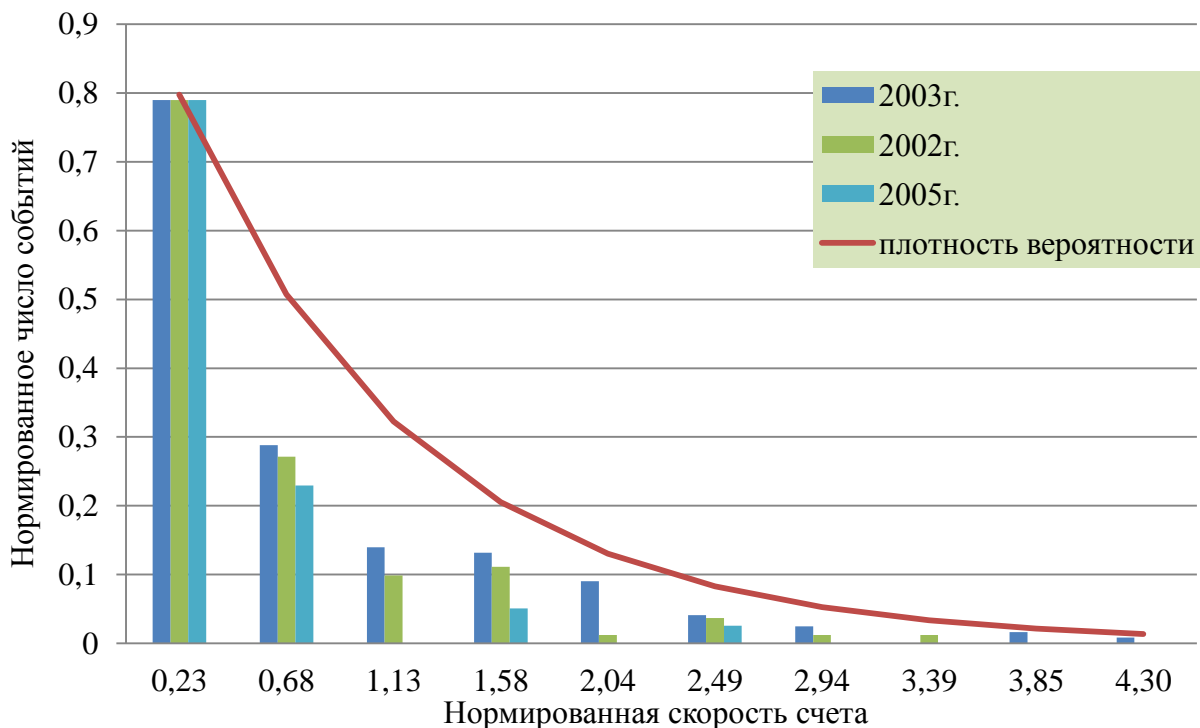


Рис. 4. Нормированные гистограммы для скоростей счета за 2002-2005 гг. для L от 3,1 до 3,9. Красная кривая – это плотность вероятности интенсивности высыпаний.

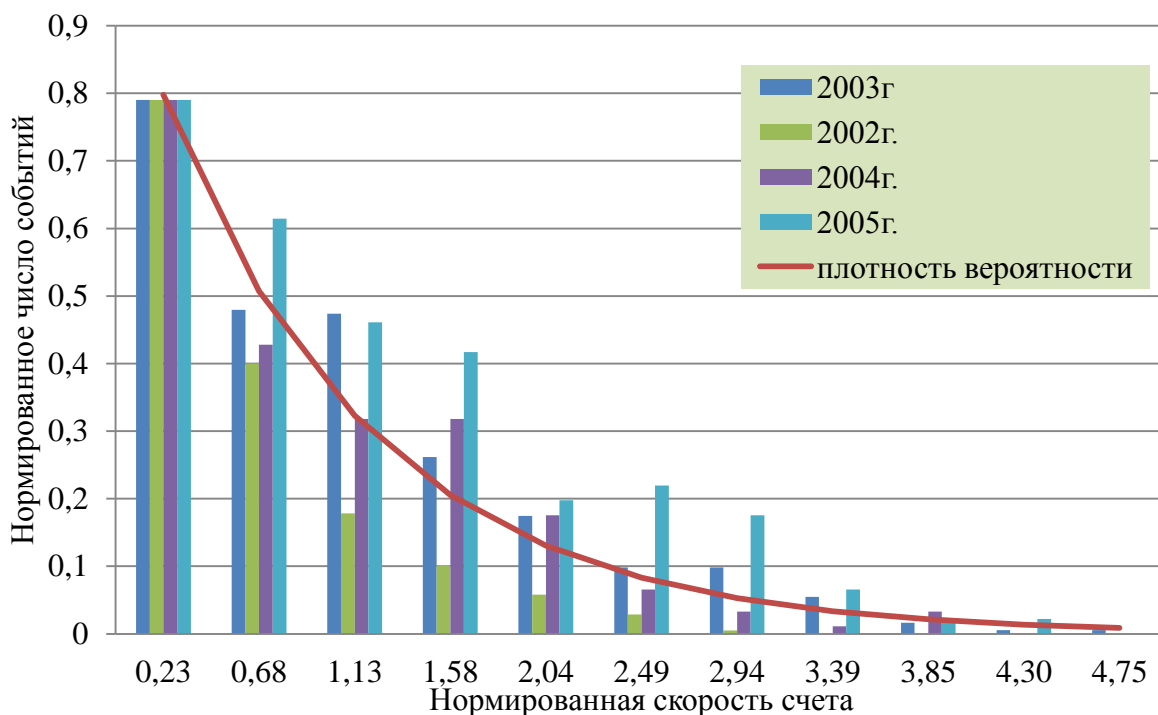


Рис. 5. Нормированные гистограммы для скоростей счета за 2002-2005 гг. для L от 5,1 до 5,9. Красная кривая – это плотность вероятности интенсивности высыпаний.

Завышенное положение теоретической кривой при L от 3,1 до 3,9, что соответствует внутренней границе радиационного пояса, объясняется небольшим количеством статистических данных.

Полученное значение параметра экспоненциального распределения позволяет определить вероятность события высыпания с определенной интенсивностью. Так вероятность высыпания высокоэнергичных электронов с интенсивностью, попадающей в интервал от 0 до 105000 будет равна 0,993, для интервала от 0 до 15000 эта вероятность равна 0,5, а для интервала от 0 до 10000 – 0,37, для интервала от 10000 до 15000 – 0,1. Таким образом, определяется вероятность высыпания электронов с любой интенсивностью в заданном интервале.

ВЫСЫПАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ КАК МАРКОВСКИЙ ПРОЦЕСС

Распределение интенсивности высыпаний электронов меняется во времени случайным, заранее неизвестным образом, поэтому можно говорить, что протекает случайный процесс. Случайный процесс, протекающий в системе, называется марковским, если вероятность любого его состояния в будущем зависит только от состояния в настоящем и не зависит от того, каким образом и когда процесс пришел в текущее состояние [2]. В марковских случайных

процессах влияние (воздействие) всей предыстории процесса на его будущее полностью сосредоточено в текущем состоянии процесса. Это свойство называется свойством отсутствия последействия или применительно к случайным процессам марковским свойством. Свойство отсутствия последействия накладывает существенные ограничения на распределение высыпаний электронов с той или иной интенсивностью. Частота появления событий высыпаний высокоэнергичных электронов в зависимости от их скорости распределена по экспоненциальному закону. Экспоненциальное распределение обладает свойством отсутствия последействия. Таким образом, экспоненциальный закон распределения частоты появления событий высыпаний в зависимости от интенсивности высыпания позволяет утверждать, что интенсивность любого высыпания не зависит от интенсивности предыдущих высыпаний и в этом смысле последовательность высыпаний разной интенсивности представляет собой марковский случайный процесс.

ВЫВОДЫ

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- частота появления высыпаний электронов с энергией порядка 100 КэВ за 2002-2005 гг. для параметра L оболочки от 3,1 до 3,9 и

от 5,1 до 5,9 в зависимости от их интенсивности подчиняется экспоненциальному закону распределения.

- вероятность выпадения высокоэнергичных электронов с интенсивностью, попадающей в интервал от 0 до 105000, будет равна 0,993, а для интервала от 10000 до 15000 – 0,1. Можно определить вероятность выпадения электронов с любой интенсивно-

стью в заданном интервале.

- поскольку плотность вероятности частоты появления событий в зависимости от интенсивности выпадений подчиняется экспоненциальному закону, то можно утверждать, что выпадения электронов из радиационных поясов Земли представляют собой марковский процесс.

ESTIMATED PROBABILITY OF THE EARTH OUTER RADIATION BELT HIGH ENERGY ELECTRON PRECIPITATION FROM THE «METEOR-3M» SATELLITE №1 DATA FOR 2002-2005

Zinkina M.D.

Used are the data of high-energy electron precipitation events from the Earth outer radiation belt observed onboard the «Meteor-3M» satellite №1 for 2002-2005. Normalized histograms for the frequency of electron precipitation events in dependence on the count rate of Geiger counter for two L-shell intervals (3.1-3.9 and 5.1-5.9) are constructed. The approximation function best smoothing the obtained dependence between count rate and frequency of precipitation event occurrence is chosen. The dependence has the form of exponential law – $y = 1,3E(-1,3-I)_{\text{ном}}$. The probability of electron precipitation events with different intensity is estimated. It is found that the probability of electron precipitation events with low intensity is always much greater than the probability of electron precipitation events with high intensity. Exponential distribution law means that the current precipitation event intensity does not depend on the intensity of previous events so that the sequence of events is the Markov random process.

KEYWORDS: HIGH-ENERGY ELECTRON PRECIPITATION STATISTICS; ELECTRON PRECIPITATION INTENSITY; THE MARKOV RANDOM PROCESS

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинкина М.Д. Статистика выпадений электронов из радиационных поясов Земли //Сборник трудов конференции молодых ученых, 2012 г., в печати.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для втузов. – М: Высшая школа, 2000. – 480с.
3. Ковтюх А.С., Панасюк М.И. Радиационные пояса Земли. В кн. Плазменная гелиогеофизика, в 2 т. (Под ред. Зеленого Л.М., Веселовского И.С.) – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – т. I. - 672 с, т. II – 560 с.
4. Григорян О.Р., Емельяненко С.Н., Кузнецов С.Н. Структура и динамика потоков выпадающих электронов // Космические Исследования, 1981, т.19, с.559
5. Lyons L.R., Williams D.J. The storm and post storm evolution of energetic (35-560 KeV) radiation belt electron distributions // J. Geophys. Res., 1975, v.80, p.3985
6. Барсуков Ю.С. Зависимость от долготы числа событий выпадений энергичных электронов, зарегистрированных спутником «Метеор 3М» №1 в 2002-2005 гг. // Гелиогеофизические исследования выпуск 2, 9-13, 2012 г. // <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=118>