ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЛУЧИ КОСМИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ

Вероятностная модель потоков протонов

Издание официальное

БЗ 1—2001/479

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Научно-исследовательским институтом ядерной физики Московского Государственного Университета (НИИЯФ МГУ) и Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации (ВНИИстандарт) Госстандарта России

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 27 апреля 2001 г. № 196-ст

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 2001

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЛУЧИ КОСМИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ

Вероятностная модель потоков протонов

Solar energetic particles. Probabilistic model for proton fluxes

Дата введения 2002—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает вероятностные энергетические спектры потоков (флюенсов и максимальных пиковых потоков) протонов солнечных космических лучей (СКЛ) с энергией $E \geq 5$ МэВ в околоземном космическом пространстве вне магнитосферы Земли для условий изменяющегося уровня солнечной активности.

Стандарт предназначен для использования в расчетах радиационного воздействия протонов СКЛ на технические устройства, материалы и другие объекты в космическом пространстве.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 25645.105—84 Лучи космические солнечные. Термины и определения

ГОСТ 25645.302—83 Расчеты баллистические искусственных спутников Земли. Методика расчета индексов солнечной активности

3 Определения

В настоящем стандарте применяют следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **солнечные космические лучи (СКЛ):** Потоки заряженных частиц высоких энергий (более 5 МэВ/нуклон) солнечного происхождения.

3.2 **число Вольфа:** Относительное число солнечных пятен, определяемое ежесуточно (ГОСТ 25645.302).

3.3 **уровень солнечной активности:** Среднегодовое или среднемесячное число Вольфа.

3.4 **прогнозируемый уровень солнечной активности:** Уровень солнечной активности, прогнозируемый от 4 месяцев до 11 лет вперед (по ГОСТ 25645.302).

3.5 **солнечное протонное событие (СПС):** По ГОСТ 25645.105.

3.6 **флюенс протонов:** Полное количество протонов, падающих на сферу с сечением площадью 1 $см^2$.

3.7 **пиковый поток протонов:** Максимальное количество протонов, падающее в единицу времени в единице телесного угла на единичную площадку, перпендикулярную направлению наблюдения (в одном или нескольких событиях СКЛ, произошедших за определенный промежуток времени).

3.8 **дифференциальный энергетический спектр флюенса протонов:** Дифференциальное распределение флюенса протонов по энергии.

3.9 **дифференциальный энергетический спектр пикового потока протонов:** Дифференциальное распределение пикового потока протонов СКЛ по энергии.

3.10 **вероятность флюенса:** Вероятность, с которой флюенс протонов превышает заданное значение.

3.11 **вероятность пикового потока:** Вероятность, с которой пиковый поток протонов превышает заданное значение.

Издание официальное

4 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие сокращения и обозначения:

$<W>$ — среднегодовой уровень солнечной активности;

$<W^*>$ — среднемесячный уровень солнечной активности;

Ф — флюенс протонов, $см^{-2}$;

Ф (≥30) или $Ф_{30}$ — значение события СКЛ;

Ф (E) — дифференциальный энергетический спектр флюенса протонов, $(см^2 \cdot МэВ)^{-1}$;

f — пиковый поток протонов, $см^{-2} \cdot ср^{-1} \cdot с^{-1}$;

$f(E)$ — дифференциальный энергетический спектр (пикового) потока протонов, $(см^2 \cdot ср \cdot с \cdot МэВ)^{-1}$;

R — жесткость протона, МВ;

M_0c^2 — энергия покоя протона, равная 938 МэВ;

D — спектральный коэффициент дифференциального энергетического спектра протонов;

λ — спектральный индекс дифференциального энергетического спектра протонов;

δ — индекс завала спектра дифференциального энергетического спектра протонов;

$<n>$ — ожидаемое в среднем количество событий СКЛ $Ф_{30} \geq 10^5$ $см^{-2}$;

Ψ — вероятность флюенса или пикового потока протонов превышать заданное значение;

β — относительная скорость света;

E — кинетическая энергия протона, МэВ.

5 Основные положения

5.1 Модель устанавливает в виде дифференциальных энергетических спектров значение флюенсов и пиковых потоков протонов, превышение которых в условиях заданного уровня солнечной активности $<W(t)>$ на временном интервале T ожидается с заданной вероятностью Ψ.

5.2 Дифференциальные энергетические спектры флюенсов [Ф (E)] или пиковых потоков [$f(E)$] протонов [обобщенно $F(E)$] задают в форме степенных функций жесткости протонов R:

$$F_{\Psi, <n>}(E)\,dE = D\left(\frac{R}{R_0}\right)^{-\mu}\frac{dE}{\beta}, \tag{1}$$

где μ — спектральный индекс, при $E \geq 30$ МэВ постоянен и равен λ,

а при $E < 30$ МэВ μ вычисляют по формуле

$$\mu = \lambda\left(\frac{E}{30}\right)^{\delta} \tag{2}$$

R — жесткость протонов, вычисляют по формуле

$$R = \sqrt{E\,(E + 2M_0c^2)}, \tag{3}$$

где E — кинетическая энергия протона, МэВ;

M_0c^2 — энергия покоя протона, равная 938 МэВ;

R_0 = 239 МВ, соответствует энергии протона E = 30 МэВ;

β — относительная скорость протона, которую вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{\sqrt{E\,(E + 2M_0c^2)}}{E + M_0c^2}. \tag{4}$$

5.3 Энергетические спектры (1) определяют, используя три параметра:

D — спектральный коэффициент;

λ — спектральный индекс;

δ — индекс завала спектра.

Каждый из параметров является функцией двух параметров модели — среднего ожидаемого числа событий СКЛ $<n>$ и вероятности Ψ.

5.4 К параметрам модели относятся:

- вероятность Ψ превышения флюенса или пикового потока протонов энергии E, задаваемого дифференциальным энергетическим спектром (1);
- среднее ожидаемое число событий СКЛ $Ф_{30} \geq 10^5$ $см^{-2}$ — $<n>$.

5.5 Среднее ожидаемое число событий СКЛ $\Phi_{30} \geq 10^5$ см$^{-2}$ — $\langle n \rangle$ вычисляют по формулам:
при продолжительности периода времени (длительность полета) $T \leq 1$ год и равной m месяцам

$$\langle n \rangle = 0{,}27 \cdot \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{m} \langle W_i^* \rangle , \tag{5}$$

где $\langle W_i^* \rangle$ — среднемесячные (прогнозируемые) числа солнечных пятен,
при длительности полета $T > 1$ год и $T = s$ (лет) + m (месяцев)

$$\langle n \rangle = 0{,}27 \left(\sum_{i=1}^{s} \langle W_i \rangle + \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{m} \langle W_i^* \rangle \right), \tag{6}$$

где $\langle W_i \rangle$ — среднегодовые (прогнозируемые) числа солнечных пятен, а отсчет года начинают от момента начала интервала времени (начала полета).

5.6 Среднегодовые и среднемесячные числа солнечных пятен вычисляют по ГОСТ 25645.302—83.

5.7 Значения параметров дифференциальных энергетических спектров для флюенсов и пиковых потоков протонов $D_{\Psi, \langle n \rangle}$, $\lambda_{\Psi, \langle n \rangle}$ и $\delta_{\Psi, \langle n \rangle}$ для набора наиболее часто встречающихся на практике параметров модели — вероятности Ψ, равной 0,9; 0,842; 0,5; 0,158; 0,1; 0,05; 0,0316; 0,01 и ожидаемых в среднем количеств событий $\langle n \rangle$, равных 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, приведены в таблицах А.1—А.6 (приложение А). Параметры энергетических спектров для промежуточных значений параметров модели вычисляют по табличным данным методами интерполяции.

5.8 Подробная методика расчета флюенсов и пиковых потоков протонов, которая может быть использована для определения как дифференциальных энергетических спектров, так и промежуточных величин, необходимых для проведения некоторых специальных расчетов, приведена в приложении Б.

6 Точность метода

6.1 Точность метода характеризуется относительной погрешностью определения значений флюенсов и пиковых потоков, обусловленной ограниченной статистической точностью накопившихся к настоящему времени экспериментальных данных (таблицы В.1 и В.2).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Таблицы параметров для расчета энергетических спектров флюенсов и пиковых потоков протонов

Таблица А.1 — Коэффициенты дифференциального энергетического спектра флюенсов протонов $D_{\Psi, <n>}$

<n>	$D_{\Psi, <n>}$, см$^{-2}$, при интегральной вероятности Ψ							
	0,9	0,842	0,5	0,158	0,1	0,05	0,0316	0,010
1	—	—	0,676E+04	0,134E+06	0,336E+06	0,103E+07	0,196E+07	0,781E+07
2	—	—	0,384E+05	0,505E+06	0,104E+07	0,277E+07	0,501E+07	0,153E+08
4	0,149E+05	0,260E+05	0,175E+06	0,156E+07	0,307E+07	0,696E+07	0,111E+08	0,262E+08
8	0,931E+05	0,144E+06	0,727E+06	0,445E+07	0,761E+07	0,147E+08	0,207E+08	0,397E+08
16	0,450E+06	0,644E+06	0,240E+07	0,103E+08	0,164E+08	0,265E+08	0,340E+08	0,558E+08
32	0,186E+07	0,248E+07	0,704E+07	0,221E+08	0,298E+08	0,429E+08	0,523E+08	0,773E+08
64	0,648E+07	0,810E+07	0,185E+08	0,421E+08	0,520E+08	0,686E+08	0,794E+08	0,109E+09
128	0,198E+08	0,236E+08	0,435E+08	0,771E+08	0,905E+08	0,111E+09	0,123E+09	0,153E+09
256	0,539E+08	0,616E+08	0,938E+08	0,141E+09	0,157E+09	0,179E+09	0,195E+09	0,225E+09
512	0,135E+09	0,147E+09	0,195E+09	0,257E+09	0,276E+09	0,300E+09	0,318E+09	0,345E+09

Таблица А.2 — Индексы дифференциального энергетического спектра флюенсов протонов $\lambda_{\Psi, <n>}$

<n>	$\lambda_{\Psi, <n>}$ при интегральной вероятности Ψ							
	0,9	0,842	0,5	0,158	0,1	0,05	0,0316	0,010
1	—	—	6,41	5,18	4,86	4,48	4,29	4,12
2	—	—	5,64	4,74	4,50	4,30	4,19	4,03
4	6,15	5,91	5,19	4,46	4,29	4,19	4,11	3,94
8	5,60	5,46	4,81	4,28	4,18	4,10	4,02	3,86
16	5,19	5,05	4,52	4,18	4,11	4,02	3,95	3,79
32	4,83	4,70	4,36	4,13	4,04	3,95	3,88	3,73
64	4,56	4,48	4,27	4,05	3,98	3,90	3,84	3,69
128	4,41	4,37	4,20	4,01	3,95	3,87	3,81	3,67
256	4,31	4,28	4,14	3,99	3,93	3,85	3,81	3,67
512	4,24	4,21	4,10	3,96	3,91	3,84	3,81	3,68

Таблица А.3 — Индексы завала дифференциального энергетического спектра флюенсов протонов $\delta_{\Psi, <n>}$

<n>	$\delta_{\Psi, <n>}$ при интегральной вероятности Ψ							
	0,9	0,842	0,5	0,158	0,1	0,05	0,0316	0,010
1	—	—	0,168	0,055	0,050	0,049	0,054	0,078
2	—	—	0,076	0,048	0,048	0,057	0,071	0,089
4	0,122	0,085	0,062	0,049	0,059	0,074	0,085	0,086
8	0,077	0,069	0,050	0,062	0,072	0,084	0,084	0,069
16	0,058	0,053	0,048	0,067	0,070	0,081	0,076	0,052
32	0,048	0,046	0,050	0,064	0,065	0,066	0,059	0,032
64	0,045	0,046	0,057	0,064	0,060	0,054	0,046	0,019
128	0,049	0,052	0,059	0,056	0,052	0,042	0,034	0,009
256	0,053	0,055	0,056	0,049	0,043	0,032	0,025	0,004
512	0,055	0,056	0,053	0,043	0,036	0,025	0,017	0,000

Таблица А.4 — Коэффициенты дифференциального энергетического спектра пиковых потоков протонов $D_{\Psi, <n>}$

<n>	$D_{\Psi, <n>}$, $(см^2 \cdot ср \cdot с \cdot МэВ)^{-1}$, при интегральной вероятности Ψ							
	0,9	0,842	0,5	0,158	0,1	0,05	0,0316	0,010
1	—	—	0,0014	0,056	0,170	0,750	1,66	8,4
2	—	—	0,0106	0,261	0,706	2,35	4,75	20,8
4	0,00257	0,0041	0,0561	1	2,27	6,65	12	39,6
8	0,0159	0,0237	0,258	3,24	6,75	16,7	26,8	77,5
16	0,0866	0,123	1	8,56	15,9	32,7	50,6	126
32	0,389	0,537	3,27	19,9	32,9	63,4	89,9	215
64	1,48	1,94	8,86	40	60,3	104	145	300
128	4,33	5,45	20,6	70,3	102	171	227	425
256	11,3	13,8	41	116	169	264	332	540
512	26,8	31,5	73,6	191	252	370	446	702

Таблица А.5 — Индексы дифференциального энергетического спектра пиковых потоков протонов $\lambda_{\Psi, <n>}$

<n>	$\lambda_{\Psi, <n>}$ при интегральной вероятности Ψ							
	0,9	0,842	0,5	0,158	0,1	0,05	0,0316	0,010
1	6,779	6,581	6,434	5,09	4,765	4,413	4,247	4,06
2	8,071	6,976	5,548	4,672	4,433	4,23	4,134	3,98
4	6,065	5,872	5,083	4,348	4,24	4,131	4,05	3,889
8	5,415	5,306	4,664	4,219	4,129	4,041	3,956	3,814
16	4,943	4,841	4,369	4,11	4,052	3,961	3,9	3,765
32	4,567	4,491	4,195	4,02	3,948	3,883	3,822	3,72
64	4,296	4,262	4,107	3,935	3,87	3,81	3,756	3,649
128	4,164	4,145	4,028	3,869	3,806	3,754	3,699	3,6
256	4,098	4,092	3,962	3,82	3,773	3,704	3,63	3,52
512	4,069	4,057	3,885	3,777	3,685	3,613	3,568	3,44

Таблица А.6 — Индексы завала дифференциального энергетического спектра пиковых потоков протонов $\delta_{\Psi, <n>}$

<n>	$\delta_{\Psi, <n>}$ при интегральной вероятности Ψ							
	0,9	0,842	0,5	0,158	0,1	0,05	0,0516	0,010
1	—	—	0,167	0,065	0,064	0,080	0,089	0,121
2	—	—	0,078	0,069	0,078	0,100	0,111	0,135
4	0,12	0,095	0,064	0,083	0,095	0,122	0,132	0,147
8	0,07	0,068	0,066	0,110	0,127	0,142	0,150	0,152
16	0,064	0,063	0,084	0,132	0,145	0,155	0,158	0,155
32	0,072	0,075	0,108	0,151	0,156	0,158	0,152	0,153
64	0,093	0,099	0,134	0,163	0,154	0,152	0,145	0,137
128	0,111	0,131	0,151	0,159	0,156	0,152	0,142	0,124
256	0,156	0,168	0,170	0,156	0,159	0,155	0,140	0,107
512	0,188	0,197	0,180	0,165	0,159	0,152	0,143	0,090

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Методика расчета флюенсов и пиковых потоков протонов

Б.1 Значения флюенсов и пиковых потоков протонов, превышение которых ожидается с заданной вероятностью Ψ, для условий заданного уровня солнечной активности $<W>$ на временном интервале T вычисляют по расчету потоков протонов для большого количества вариантов полета N с последующим преобразованием вычисленных вероятностных кривых в энергетические спектры.

Разные варианты полетов отличаются:

а) разным «случайным» количеством событий СКЛ (при заданном среднем $<n>$);

б) величина каждого из событий Φ_{30} является «случайной» в рамках функции распределения;

в) значения параметров энергетического спектра протонов (спектральный индекс γ и индекс завала спектра α) для каждого события при случайной величине Φ_{30} также являются «случайными» и заданы средними значениями и их статистическими отклонениями.

Б.2 Расчет флюенсов и пиковых потоков протонов, превышение которых ожидается с заданной вероятностью Ψ, для условий заданного уровня солнечной активности $<W>$ на временном интервале T:

1. Вычисляют основной параметр модели — среднее ожидаемое количество событий СКЛ $\Phi_{30} \geq 10^5$ см$^{-2}$ $<n>$ по формулам (5) или (6) настоящего стандарта.

2. Вычисляют флюенсы или пиковые потоки для N случайных вариантов полета при рекомендуемом значении $N \geq 30000$.

Б.2.1 Для каждого варианта вычисляют случайное количество событий СКЛ n.

Если $<n>$ мало ($<n> < 8$), то для определения случайного числа событий следует пользоваться распределением Пуассона, для которого при средней величине $<n>$ вероятность наблюдать n событий равна

$$p(n,<n>) = \frac{\exp(-<n>)\,<n>^n}{n!}, \qquad (Б.1)$$

т. е. вычисляют случайные значения флюенсов и пиковых потоков для $K_n = N \cdot p(n, <n>)$ вариантов полета с количеством событий $n = 0, 1, 2, 3$ и т. д.

Если $<n> \geq 8$, то для определения n (случайного числа событий для каждого очередного варианта полета) следует пользоваться методом Монте-Карло согласно нормальному (Гауссову) распределению

$$p(n,<n>) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(<n>-n)^2}{2\sigma^2}\right). \qquad (Б.2)$$

Б.2.2 Вычисляют случайную величину $\Phi_{30}^{(i)}$ каждого события i ($10^5 \le \Phi_{30} \le 10^{11}$) протонов/см^2 методом Монте-Карло из распределения

$$\frac{dN}{d\Phi_{30}} = \text{const} \cdot \frac{\Phi_{30}^{-1,41}}{\exp\left(\frac{\Phi_{30}}{3,0 \cdot 10^9}\right)}. \qquad (Б.3)$$

Б.2.3 Для каждого события i величиной $\Phi_{30}^{(i)}$ вычисляют «случайные» параметры дифференциальных энергетических спектров (спектральный индекс γ_0 и индекс завала спектра α), заданных в виде степенных спектров по жесткости с завалом в области низких энергий (E<30 МэВ)

$$F(E)\,dE = F(R)\frac{dR}{dE}dE = C\left(\frac{R}{239}\right)^{-\gamma}\frac{dR}{dE}dE = C\left(\frac{R}{239}\right)^{-\gamma}\frac{dE}{\beta}, \qquad (Б.4)$$

при $E \ge 30$ МэВ $\quad \gamma = \gamma_0$,

а при E <30 МэВ $\quad \gamma = \gamma_0\left(\frac{E}{30}\right)^{\alpha}$,

где R и β — жесткость и относительная скорость протона, определяемая по формулам (3) и (4) настоящего стандарта.

За исключением спектральных коэффициентов C, величины γ_0 и α как для дифференциальных энергетических спектров флюенсов (Φ), так и для пиковых потоков (f) протонов принимают одинаковыми.

Б.2.3.1 Используя значение события $\Phi_{30}^{(i)}$, определяют среднее значение спектрального индекса дифференциального энергетического спектра протонов $\langle\lambda_0^{(i)}\rangle$

$$\langle\lambda_0^{(i)}\rangle = 6,3 \qquad \text{при } \Phi_{30}^{(i)} < 10^6 \text{ протонов/см}^2 \qquad (Б.5a)$$

$$\langle\lambda_0^{(i)}\left(\Phi_{30}^{(i)}\right)\rangle = 5,5 - 0,8\ \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(\log\left(\Phi_{30}^{(i)}\right) - 7\right)\right] \qquad \text{при } 10^6 \le \Phi_{30}^{(i)} \le 10^8 \text{ протонов/см}^2 \qquad (Б.5b)$$

$$\langle\lambda_0^{(i)}\rangle 4,7 \qquad \text{при } \Phi_{30}^{(i)} > 10^8 \text{ протонов/см}^2. \qquad (Б.5c)$$

Находят стандартное отклонение логнормального распределения

$$\sigma_{\lg\gamma} = 0,023\ \langle\gamma_0\rangle \qquad (Б.6)$$

Методом Монте-Карло находят случайную величину спектрального индекса энергетического спектра флюенсов протонов в событии $\lambda_0^{(i)}$ в предположении, что случайные величины спектрального индекса распределены логнормально вокруг среднего $\langle\lambda_0^{(i)}\rangle$.

Б.2.3.2 Используя величину события $\Phi_{30}^{(i)}$ и спектрального индекса $\lambda_0^{(i)}$, определяют средний индекс завала $\langle\alpha^{(i)}\rangle$

$$\langle\alpha^{(i)}\rangle = 0,16\left(\frac{\Phi_{30}^{(i)}}{8,6 \cdot 10^6}\right)^{0,18} \cdot \left(\frac{\gamma_0^{(i)}}{4,5}\right)^{0,75}. \qquad (Б.7)$$

Стандартное отклонение индекса завала спектра протонов $\sigma_{\lg\alpha}^{(i)}$ вычисляют по формуле

$$\sigma_{\lg\alpha}^{(i)} = 0,2\ B\left(\frac{4,5}{\gamma_0^{(i)}}\right)^{1,42}, \qquad (Б.8)$$

где $B = 1$ при $\Phi_{30}^{(i)} \ge 3 \cdot 10^7$ протонов/см^2

и $B = \left(\frac{3 \cdot 10^7}{\Phi_{30}^{(i)}}\right)^{0,16}$ при $\Phi_{30}^{(i)} < 3 \cdot 10^7$ протонов/см^2.

Далее методом Монте-Карло находят случайное значение индекса завала $\alpha^{(i)}$ дифференциального энергетического спектра протонов из логнормального распределения случайных величин;

Б.2.3.3 Спектральный коэффициент дифференциального энергетического спектра флюенсов протонов $C_{\Phi}^{(i)}$ вычисляют по формуле

$$C_{\Phi}^{(i)} = \frac{\Phi_{30}^{(i)}}{\int_{30}^{\infty} \left(\frac{239}{R}\right)^{\gamma_0^{(i)}} \frac{dE}{\beta}} \text{ протонов /(см}^2\cdot\text{МэВ).} \qquad (Б.9)$$

Б.2.3.4 Среднее значение спектрального коэффициента дифференциального энергетического спектра пиковых потоков протонов $C_f^{(i)}$ вычисляют по формуле

$$<C_f^{(i)}> = 6{,}0\cdot 10^{-9} \left(\Phi_{30}^{(i)}\right)^{1{,}08} \text{ протонов/(см}^2\cdot\text{ср}\cdot\text{с}\cdot\text{МэВ).} \qquad (Б.10)$$

Стандартное отклонение для логнормального распределения спектральных коэффициентов пиковых потоков протонов принимают равным

$$\sigma_{\lg C_f^{(i)}} = 0{,}5. \qquad (Б.11)$$

Далее методом Монте-Карло вычисляют случайное значение спектрального коэффициента дифференциального энергетического спектра пикового потока протонов $C_f^{(i)}$, следуя логнормальному распределению.

Б.2.4 По формулам (Б.4) и (Б.5) вычисляют энергетические спектры флюенсов или пиковых потоков для каждого случайного события.

Б.2.4.1 Параметры $C_{\Phi}^{(i)}$, $\gamma^{(i)}$, $\alpha^{(i)}$ используют для вычисления дифференциального энергетического спектра флюенсов протонов СКЛ $\Phi^{(i)}(E)$ для случайного события СКЛ i ($1 \le i \le n$).

Б.2.4.2 Параметры $C_F^{(i)}$, $\gamma^{(i)}$, $\alpha^{(i)}$ используют для вычисления дифференциального энергетического спектра пиковых потоков протонов СКЛ $f^{(i)}(E)$ для случайного события СКЛ i ($1 \le i \le n$).

Б.2.4.3 Для каждого события СКЛ вычисляют интегральные энергетические спектры флюенсов $\Phi^{(i)}(\ge E)$ и пиковых потоков $f^{(i)}(\ge E)$

$$\Phi^{(i)}(\ge E) = \int_E^{\infty} \Phi^{(i)}(E)\, dE \qquad f^{(i)}(\ge E) = \int_E^{\infty} f^{(i)}(E)\, dE. \qquad (Б.12)$$

Б.2.5 Определив энергетические спектры для каждого из n случайных событий, вычисляют энергетические спектры флюенсов и пиковых потоков для каждого варианта полета.

Б.2.5.1 Вычисляют интегральный энергетический спектр флюенсов протонов $\Phi_m(\ge E)$ для каждого варианта полета m ($1 \le m \le N$), суммируя флюенсы $\Phi^{(i)}(\ge E)$ всех n событий

$$\Phi_m(\ge E) = \sum_i^n \Phi^{(i)}(\ge E). \qquad (Б.13)$$

Б.2.5.2 Интегральный энергетический спектр пиковых потоков протонов для каждого варианта полета $f(\ge E)$ находят, выбирая из пиковых потоков n событий максимальные потоки при каждой энергии E:

$$f(\ge E) \in \cdot \max\left\lfloor f^{(i)}(\ge E)\right\rfloor. \qquad (Б.14)$$

Б.3 Определяют энергетические спектры флюенсов и пиковых потоков протонов для всех N вариантов полета и вероятности иметь флюенс или пиковый поток протонов больше заданной энергии E в выбранном интервале $\Phi_m(\ge E) \div \Phi_{m+1}(\ge E)$, или $f_m(\ge E) \div f_{m+1}(\ge E)$, или интегральные вероятности иметь флюенс или пиковый поток протонов больше заданной энергии E выше заданного значения флюенса $\Phi_m(\ge E)$ или пикового потока $f_m(\ge E)$.

Б.3.1 Для определения плотности вероятности находят относительное количество вариантов s_m из N вариантов полета, флюенс или пиковый поток которых для протонов энергии больше E находится в интервалах $\Delta\Phi_m(\ge E)$ и $\Delta f_m(\ge E)$ соответственно:

$$\Delta\Phi_m(\ge E) = \Phi_{m+1}(\ge E) - \Phi_m(\ge E) \quad \text{или} \quad \Delta f_m(\ge E) = f_{m+1}(\ge E) - f_m(\ge E) \qquad (Б.15)$$

$$\Delta\Psi(\Phi_m) = s_m/N \quad \text{или} \quad \Delta\Psi(f_m) = s_m/N. \qquad (Б.16)$$

или соответствующие плотности вероятности флюенсов $\frac{d\Psi}{d\Phi(\ge E)}$,

или пиковых потоков $\frac{d\Psi}{df(\ge E)}$:

$$\frac{d\Psi}{d\Phi(\ge E)} = \frac{s}{N\Delta\Phi(\ge E)} \quad \text{или} \quad \frac{d\Psi}{df(\ge E)} = \frac{s}{N\Delta f(\ge E)}. \qquad (Б.17)$$

Формула (Б.17) является вероятностью иметь при заданных условиях полета флюенс или пиковый поток протонов с энергией больше E в интервале (Б.15).

Б.3.2 Интегрированием (Б.17) получим часто используемую вероятность наблюдать при данных условиях полета протоны с энергией больше E с флюенсом или пиковым потоком больше $\Phi (\geq E)$ — $\Psi [\geq \Phi (\geq E)]$ или $f(\geq E)$ — $\Psi [\geq f(\geq E)]$ соответственно

$$\Psi [\geq \Phi (\geq E)] = \int_{\Phi}^{\infty} \frac{d\Psi}{d\Phi} \cdot d\Phi \quad \text{или} \quad \Psi [\geq f(\geq E)] = \int_{f}^{\infty} \frac{d\Psi}{df} \cdot df. \tag{Б.18}$$

Распределения вероятности $\Psi [\geq \Phi (\geq E)]$ или $\Psi [\geq f(\geq E)]$ служат для определения флюенсов $\Phi (\geq E)$ или пиковых потоков $f(\geq E)$ протонов с энергией больше E для данного $<n>$. Другими словами, большие, чем $\Phi (\geq E)$ и $f(\geq E)$, флюенсы и пиковые потоки будут наблюдаться с вероятностью Ψ.

Б.4 Вычисляют дифференциальные энергетические спектры протонов для среднего ожидаемого числа событий $<n>$ и вероятности Ψ.

Для решения прикладных задач удобно пользоваться не семействами вероятностей $\Psi [\geq \Phi (\geq E)]$ или $\Psi [\geq f(\geq E)]$ для потоков протонов разных энергий, а энергетическими спектрами, относящимися к заданным $<n>$ и Ψ. Такие энергетические спектры определяются в два этапа.

Б.4.1 Для заданной вероятности $\Psi [\geq \Phi (\geq E)] = \text{const}$ или $\Psi [\geq f(\geq E)] = \text{const}$ из семейства кривых (Б.3.2) следует найти значения флюенсов Φ_E или пиковых потоков f_E для некоторой последовательности значений энергии. Совокупности величин Φ_E и f_E образуют интегральный энергетический спектр для заданных Ψ и $<n>$.

Б.4.2 Далее вычисляют параметры D, λ и δ дифференциальных спектров $\Phi (E)$ и $F(E)$, заданных в форме, приведенной в стандарте (формулы 1 и 2), которые после интегрирования аппроксимируют значения $\Phi(\geq E)$ и $f(\geq E)$.

Дифференциальные энергетические спектры вычисляют по формуле (Б.4).

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Относительные ошибки расчета флюенса и пикового потока протонов

Таблица В.1 — Относительные ошибки расчета флюенса протонов

$<n>$	Интегральная вероятность Ψ							
	0,9	0,842	0,5	0,158	0,1	0,05	0,0316	0,010
1	—	—	<0,20	<0,20	<0,2	<0,20	0,21	0,33
2	—	—	<0,20	<0,20	<0,20	0,20	0,27	0,36
4	<0,20	<0,20	0,20	0,22	0,24	0,28	0,34	0,40
8	<0,20	<0,20	0,20	0,24	0,28	0,33	0,39	0,47
16	<0,20	<0,20	0,20	0,27	0,32	0,36	0,41	0,49
32	<0,20	0,20	0,22	0,31	0,36	0,39	0,44	0,51
64	<0,20	0,21	0,25	0,34	0,38	0,42	0,47	0,52
128	<0,20	0,22	0,28	0,36	0,40	0,43	0,45	0,48 (0,54)
256	0,20	0,24	0,33	0,38	0,42 (0,48)	0,42 (0,50)	0,42 (0,52)	0,44 (0,58)
512	0,21	0,28	0,32 (0,38)	0,37 (0,44)	0,39 (0,47)	0,43 (0,49)	0,45 (0,55)	0,43 (0,58)

Таблица В.2 — Относительные ошибки расчета пиковых потоков протонов

<*n*>	Интегральная вероятность Ψ							
	0,9	0,842	0,5	0,158	0,1	0,05	0,0316	0,010
1	—	—	<0,20	0,20	0,26	0,29	0,33	0,40
2	—	—	0,20	0,22	0,31	0,34	0,38	0,44
4	0,20	0,20	0,25	0,25	0,35	0,38	0,43	0,48
8	0,20	0,21	0,31	0,35	0,44	0,47	0,53	0,56
16	0,22	0,24	0,33	0,43	0,47	0,47	0,48	0,58
32	0,23	0,26	0,34	0,42	0,46	0,48	0,51	0,56
64	0,27	0,30	0,35	0,44	0,47	0,49	0,51	0,55
128	0,27	0,29	0,36	0,43	0,46	0,48	0,49	0,53
256	0,26	0,27	0,35	0,42	0,46 (0,51)	0,47 (0,53)	0,49 (0,56)	0,52 (0,60)
512	0,32	0,34	0,38	0,45	0,47 (0,53)	0,48 (0,55)	0,49 (0,59)	0,51 (0,63)

УДК 629.78:006.354 ОКС 17.240 Т27 ОКСТУ 0080

Ключевые слова: околоземное космическое пространство, солнечные космические лучи, уровень солнечной активности, флюенс протонов, пиковый поток протонов

Редактор *Р.С. Федорова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.И. Варенцова*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Изд. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 18.05.2001. Подписано в печать 20.06.2001. Усл. печ. л. 1,40.
Уч.-изд. л. 1,10. Тираж 180 экз. С 1291. Зак. 633.

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник", 103062, Москва, Лялин пер., 6.
Плр № 080102

gost.e-ecolog.ru