ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 25645.150— 2025

ЛУЧИ КОСМИЧЕСКИЕ ГАЛАКТИЧЕСКИЕ

Модель изменения потоков частиц

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (АО «ЦНИИмаш»), Научно-исследовательским институтом ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (НИИЯФ МГУ)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 101 «Метрологическое обеспечение измерений физических полей в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и атмосфере»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 декабря 2025 г. № 1609-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЛУЧИ КОСМИЧЕСКИЕ ГАЛАКТИЧЕСКИЕ

Модель изменения потоков частиц

Galactic cosmic rays. Model of particle flux variation

Дата введения — 2026—01—31

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает параметры и характеристики модели изменений потоков протонов и ядер галактических космических лучей с энергиями от 0,01 до 100 ГэВ (ГэВ/нуклон — для ядер), а также электронов в околоземном пространстве вне магнитосферы Земли.

Стандарт предназначен для оценки воздействия галактических космических лучей на технические устройства, материалы, биологические и другие объекты, находящиеся в космическом пространстве.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 25645.103 Условия физические космического пространства. Термины и определения

ГОСТ 25645.104 Лучи космические. Термины и определения

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

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 25645.103, ГОСТ 25645.104, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **галактические космические лучи;** ГКЛ: Потоки заряженных частиц высоких энергий, проникающие в гелиосферу из межзвездного пространства.

3.2 **число Вольфа:** Относительное число солнечных пятен, определяемое ежесуточно.

Примечание — Определение числа солнечных пятен — по ГОСТ 25645.302.

3.3 **уровень солнечной активности:** Сглаженное среднемесячное число Вольфа.

Издание официальное

4 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

<W> — сглаженный среднемесячный уровень солнечной активности;

$W_{1.0}$ — значения Международных чисел Вольфа версии 1.0;

$W_{2.0}$ — значения Международных чисел Вольфа версии 2.0;

i — тип заряженной частицы ГКЛ: электроны, протоны, ядра;

z — заряд частицы в единицах заряда протона;

A — среднее массовое число заряженной частицы;

E — кинетическая энергия частицы, ГэВ (для ядер — ГэВ/нуклон);

E_{0i} — энергия покоя частицы, ГэВ (для ядер — ГэВ/нуклон);

r — гелиоцентрическое расстояние, а. е.;

R — жесткость частицы, ГВ;

ρ — модуляционный потенциал;

β — отношение скорости частицы к скорости света;

$F_i(E, t)$ — энергетический спектр потоков частиц типа i, $(м^2 \cdot с \cdot ср \cdot ГэВ)^{-1}$ [для ядер — $(м^2 \cdot с \cdot ср \cdot ГэВ/нуклон)^{-1}$];

$\Phi_{0i}(R)$ — немодулированный жесткостный спектр потоков частиц типа i в межзвездном пространстве, $(м^2 \cdot с \cdot ср \cdot ГВ)^{-1}$;

$\Phi_i(R, t)$ — жесткостный спектр потоков частиц типа i, $(м^2 \cdot с \cdot ср \cdot ГВ)^{-1}$;

t — время, мес, от начала используемого ряда чисел Вольфа;

Δt — время запаздывания изменений потоков частиц ГКЛ относительно изменения солнечной активности.

5 Основные положения

5.1 Аналитическая модель описывает изменения потоков частиц ГКЛ в зависимости от уровня солнечной активности и изменений крупномасштабного межпланетного магнитного поля на протяжении солнечных циклов.

5.2 Уровень солнечной активности характеризуют числом Вольфа, усредненным за 13 мес, — сглаженным среднемесячным уровнем солнечной активности <W>.

Значения Международных чисел Вольфа версии 2.0 ($W_{2.0}$), публикуемых с 2015 г., для 19-го и последующих циклов солнечной активности выше чисел Вольфа предыдущей версии ($W_{1.0}$), в 1,4 раза.

5.3 Угловое распределение потоков ГКЛ в межпланетном пространстве полагается изотропным.

5.4 Время запаздывания изменений потоков частиц ГКЛ относительно изменения солнечной активности Δt не зависит от жесткости (энергии) частиц и составляет:

- Δt = 5,5 мес для четных 11-летних солнечных циклов;
- Δt = 15,5 мес для нечетных 11-летних солнечных циклов.

5.5 Жесткостный спектр потоков частиц ГКЛ в межзвездном пространстве характеризуют немодулированным спектром $\Phi_0(R)$.

5.6 Изменение жесткостного спектра потоков частиц ГКЛ под воздействием солнечного ветра характеризуют модуляционной функцией $\psi(R, t)$.

5.7 Динамику крупномасштабной модуляции ГКЛ характеризуют модуляционным потенциалом гелиосферы $\rho(t)$ для момента времени t.

5.8 Для расчета модуляционного потенциала гелиосферы $\rho(t)$ в качестве исходных данных принимают значение сглаженных среднемесячных чисел Вольфа <$W(t - \Delta t)$>, соответствующих моментам времени t и отстоящим от него на Δt месяцев назад.

При расчетах жесткостных (энергетических) спектров для истекшего момента времени t используют действительные среднемесячные значения чисел Вольфа. Для будущих моментов времени t при использовании прогноза солнечной активности по ГОСТ 25645.302 среднемесячные числа Вольфа вычисляют путем линейной интерполяции среднеквартальных чисел Вольфа, рассчитанных по ГОСТ 25645.302.

5.9 Модуляционный потенциал гелиосферы $\rho(t)$ для момента времени t, ГВ, вычисляют по формуле

$$\rho(t) = 0{,}379 + 6{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot \langle W_{1.0}(t - \Delta t)\rangle \quad (1)$$

или по формуле

$$\rho(t) = 0{,}379 + 4{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot \langle W_{2.0}(t - \Delta t)\rangle. \quad (2)$$

5.10 Жесткостный спектр электронов, протонов и ядер ГКЛ $\Phi_i(R, t)$ в момент времени t вычисляют по формуле

$$\Phi_i(R, t) = \Phi_{0i}(R) \cdot \Psi(R, t). \quad (3)$$

5.11 Немодулированный жесткостный спектр потоков частиц ГКЛ типа i ($\Phi_{0i}(R)$) вычисляют по формуле

$$\Phi_{0i}(R) = C_i \cdot \beta^{\alpha_i} \cdot R^{-\gamma_i}, \quad (4)$$

где C_i, γ_i, α_i — параметры немодулированного спектра частиц типа i в соответствии с таблицами 1, 2;

β — отношение скорости частицы к скорости света в вакууме, вычисляемое по формуле

$$\beta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{A_i}{z_i} E_{0i}\right)^2}}, \quad (5)$$

где A_i — массовое число частицы типа i в соответствии с таблицей 1;

z_i — заряд частицы типа i в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Параметр C_i жесткостного спектра потоков частиц ГКЛ

Частица	z_i	A_i	C_i	Частица	z_i	A_i	C_i
H	1	1,0	$1{,}98 \cdot 10^4$	K	19	39,1	0,60
He	2	4,0	$3{,}69 \cdot 10^3$	Ca	20	40,1	1,70
Li	3	6,9	37,9	Sc	21	44,9	0,50
Be	4	9,0	18,8	Ti	22	47,9	2,21
B	5	10,8	53,4	V	23	50,9	0,70
C	6	12,0	79,0	Cr	24	52,0	1,73
N	7	14,0	17,6	Mn	25	54,9	0,75
O	8	16,0	82,7	Fe	26	55,8	11,2
F	9	19,0	1,11	Co	27	58,9	0,06
Ne	10	20,2	14,1	Ni	28	58,7	0,49
Na	11	23,0	2,03	Cu	29	63,5	$6{,}34 \cdot 10^{-3}$
Mg	12	24,3	16,4	Zn	30	65,4	$8{,}20 \cdot 10^{-3}$
Al	13	27,0	2,60	Ga	31	69,7	$6{,}06 \cdot 10^{-4}$
Si	14	28,1	13,6	Ge	32	72,6	$1{,}30 \cdot 10^{-3}$
P	15	31,0	0,68	As	33	74,9	$8{,}30 \cdot 10^{-5}$
S	16	32,1	3,07	Se	34	79,0	$4{,}85 \cdot 10^{-4}$
Cl	17	35,4	0,63	Br	35	79,9	$9{,}04 \cdot 10^{-5}$
Ar	18	39,9	1,96	Kr	36	83,8	$2{,}52 \cdot 10^{-4}$

Окончание таблицы 1

Частица	z_i	A_i	C_i	Частица	z_i	A_i	C_i
Rb	37	85,5	$8{,}20 \cdot 10^{-5}$	Tb	65	157,3	$3{,}20 \cdot 10^{-6}$
Sr	38	87,6	$2{,}70 \cdot 10^{-4}$	Dy	66	158,9	$1{,}30 \cdot 10^{-5}$
Y	39	88,9	$6{,}05 \cdot 10^{-5}$	Ho	67	162,5	$4{,}90 \cdot 10^{-6}$
Zr	40	91,2	$1{,}50 \cdot 10^{-4}$	Er	68	164,9	$8{,}20 \cdot 10^{-6}$
Nb	41	92,9	$2{,}70 \cdot 10^{-5}$	Tm	69	167,3	$1{,}60 \cdot 10^{-6}$
Mo	42	95,9	$7{,}54 \cdot 10^{-5}$	Yb	70	168,9	$8{,}20 \cdot 10^{-6}$
Tc	43	97,0	$8{,}80 \cdot 10^{-6}$	Lu	71	173,0	$1{,}20 \cdot 10^{-6}$
Ru	44	101,0	$2{,}88 \cdot 10^{-5}$	Hf	72	175,0	$7{,}50 \cdot 10^{-6}$
Rh	45	102,9	$1{,}49 \cdot 10^{-5}$	Ta	73	178,5	$1{,}66 \cdot 10^{-5}$
Pd	46	106,4	$4{,}28 \cdot 10^{-5}$	W	74	180,9	$7{,}50 \cdot 10^{-6}$
Ag	47	107,9	$1{,}39 \cdot 10^{-5}$	Re	75	183,9	$2{,}60 \cdot 10^{-6}$
Cd	48	112,4	$3{,}72 \cdot 10^{-5}$	Os	76	186,2	$1{,}11 \cdot 10^{-5}$
In	49	114,8	$8{,}20 \cdot 10^{-6}$	Ir	77	190,2	$7{,}30 \cdot 10^{-6}$
Sn	50	118,7	$4{,}38 \cdot 10^{-5}$	Pt	78	192,2	$1{,}39 \cdot 10^{-5}$
Sb	51	121,8	$9{,}20 \cdot 10^{-6}$	Au	79	195,1	$2{,}60 \cdot 10^{-6}$
Te	52	127,6	$5{,}31 \cdot 10^{-5}$	Hg	80	197,0	$4{,}50 \cdot 10^{-6}$
I	53	126,9	$1{,}02 \cdot 10^{-5}$	Tl	81	200,6	$1{,}30 \cdot 10^{-6}$
Xe	54	131,3	$2{,}51 \cdot 10^{-5}$	Pb	82	200,4	$1{,}30 \cdot 10^{-5}$
Cs	55	132,9	$6{,}00 \cdot 10^{-6}$	Bi	83	207,2	$6{,}80 \cdot 10^{-7}$
Ba	56	137,3	$6{,}24 \cdot 10^{-5}$	Po	84	209,0	0
La	57	138,9	$5{,}50 \cdot 10^{-6}$	At	85	210,0	0
Ce	58	140,1	$1{,}67 \cdot 10^{-5}$	Rn	86	222,0	0
Pr	59	140,9	$4{,}00 \cdot 10^{-6}$	Fr	87	223,0	0
Nd	60	144,2	$1{,}49 \cdot 10^{-5}$	Ra	88	226,0	0
Pm	61	144,2	$1{,}70 \cdot 10^{-6}$	Ac	89	227,0	0
Sm	62	145,0	$1{,}67 \cdot 10^{-5}$	Th	90	232,0	$7{,}50 \cdot 10^{-7}$
Eu	63	150,4	$2{,}80 \cdot 10^{-6}$	Pa	91	231,0	0
Gd	64	152,0	$1{,}30 \cdot 10^{-5}$	U	92	238,0	$4{,}57 \cdot 10^{-7}$

Параметры γ_i, α_i жесткостного спектра потоков частиц ГКЛ приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Параметры γ_i, α_i жесткостного спектра потоков частиц ГКЛ

Частица	z_i	γ_i	α_i
e^*	–1	γ_e	—
H	1	2,80	3,60
He	2	2,77	3,12

Окончание таблицы 2

Частица	z_i	γ_i	α_i
Li, Be, B	3—5	3,06	4,00
C, N, O и более тяжелые ядра	≥6	2,70	3,60
* Для электронов $\gamma_e = 3,0 - 1,4 \exp\left(\frac{R}{R_e}\right)$, где R_e = 1 ГВ.			

5.12 Модуляционную функцию для всех частиц ГКЛ $\Psi(R, t)$ в момент времени t вычисляют по формуле

$$\Psi(R,t) = \left(\frac{R}{R+\rho(t)}\right)^D, \tag{6}$$

где D = 4,5 — безразмерный параметр.

5.13 Энергетические спектры электронов, протонов и ядер ГКЛ $F_i(E, t)$ [(м^2 · с · ср · ГэВ)$^{-1}$ — для протонов и электронов; (м^2 · с · ср · ГэВ/нуклон)$^{-1}$ — для ядер с зарядом $z_i \geq 2$] в момент времени t вычисляют по формуле

$$F_i(E,t) = \Phi_i(R,t) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \frac{A_i}{|z_i|}. \tag{7}$$

5.14 Для заданных значений жесткости R электронов, протонов и ядер ГКЛ значения кинетической энергии E вычисляют по формуле

$$E = -E_{0i} + \sqrt{E_{0i}^2 + \left(\frac{z_i}{A_i} R\right)^2}, \tag{8}$$

где E_{0i} = 0,938 ГэВ — для протонов;

$E_{0i} = 5 \cdot 10^{-4}$ ГэВ — для электронов;

E_{0i} = 0,938 ГэВ/нуклон — для ядер.

5.15 Для заданных значений кинетической энергии E электронов, протонов и ядер ГКЛ значения жесткости R и относительной скорости β вычисляют по следующим формулам:

$$R = \frac{A_i}{|z_i|} \sqrt{E\left(E + 2E_{0i}\right)}, \tag{9}$$

$$\beta = \frac{\sqrt{E\left(E + 2E_{0i}\right)}}{E + E_{0i}}. \tag{10}$$

5.16 Зависимость потоков частиц ГКЛ от гелиоцентрического расстояния r определяют модуляционным потенциалом и вычисляют по формуле

$$\rho(r) = \rho \cdot \left(1 - \frac{r}{r_b}\right), \tag{11}$$

где r_b = 120 а. е. — граница гелиосферы.

УДК 006.44:524.1-6:006.354 ОКС 17.240

Ключевые слова: лучи космические галактические, потоки частиц, модель изменения, число Вольфа, энергетический спектр потоков частиц, жесткостный спектр потоков частиц

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 04.12.2025. Подписано в печать 12.01.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,74.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru