



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН)**



# **К вопросу о прогнозировании флюенса высокоэнергичных электронов на геостационарной орбите**

**Абунин А.А., Абунина М.А., Белов А.В., Гайдаш С.П., Крякунова О.Н., Прямушкина И.И.**

Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике  
"Физические процессы в космосе и околоземной среде» и XVI Конференция молодых ученых  
"Взаимодействие полей и излучения с веществом", 16-21 сентября 2019 г., Иркутск, Россия

Под **космической погодой** понимается комплекс процессов, происходящих на Солнце и в гелиосфере, которые могут создавать **прямые или опосредованные риски** для нормального функционирования природных, технологических и биологических систем, находящиеся на Земле, в околоземном пространстве и в любой точке солнечной системы.

*Гайдаш С.П. и др. // Практические аспекты гелиофизики, С. 22-32, 2016.*

**СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ**  
(CMEs, X-Ray, F10.7 и тд.)

**ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ**  
(Ap, Kp, Dst и тд.)

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ  
ПОГОДЫ**

**ПОТОКИ СОЛНЕЧНЫХ  
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ**

**ПОТОКИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ  
ЭЛЕКТРОНОВ**

---

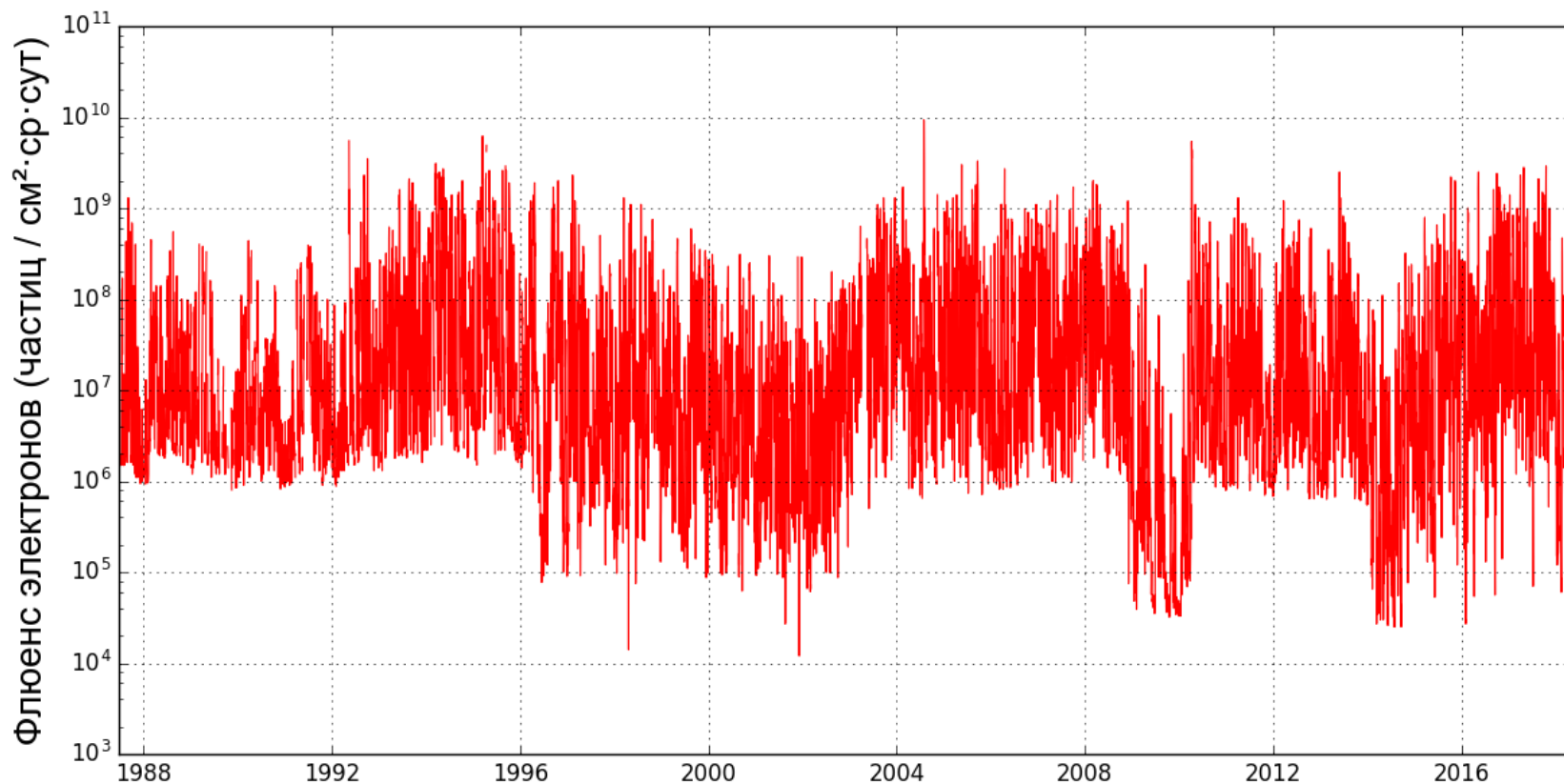
# ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

---

1/2

## Что будем исследовать?

**E** — суточный флюенс (т.е. суммарный поток за сутки) высокоэнергичных (с энергиями более 2 МэВ) электронов магнитосферного происхождения на геостационарной орбите (частиц/см<sup>2</sup>·ср·сут).



Данные космических аппаратов серии **GOES 7-15**

# Зачем будем исследовать?

**Задача:** заблаговременное прогнозирование поведения потока высокоэнергичных электронов с энергиями более 2 МэВ в околоземном пространстве.

**Причина:** сбои в работе космических аппаратов вплоть до их полной потери. Особенно это касается аппаратов, которые расположены на геостационарной орбите.

- *Wrenn G.L. et al. // Ann. Geophys., 20, P. 953–956, 2002.*
- *Wrenn G.L. // J. Atm. Sol.-Ter. Phys., 71, P. 1210–1218, 2009.*
- *Белов А.В. и др. // ГаА, 44, № 4, С. 502–510., 2004.*
- *Webb D.F. et al. // Space Weather, V. 2, I. 3, CiteID S03008, 2004.*
- *Thome R.M. // Geophys. Res. Let., V. 27, L22107, 2010.*

Условный опасный порог:  **$10^9$  частиц/см<sup>2</sup>·ср·сут (pfu)**



Но не все межпланетные возмущения сопровождаются сильным возрастанием потока этих высокоэнергичных частиц.

**Цель работы:** провести сравнительный анализ того, как различные типы возмущений влияют на поведение потока электронов.

# Как будем исследовать?

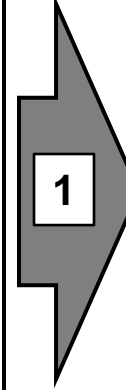
## База данных ФЭ и межпланетных возмущений FEID

The screenshot shows the FEID database interface with a table of solar events. The table has columns for Year, Month, Day, and Time. Below the table, there are links to publications and a QR code.

### FEID:

- 1957-2017 гг.
- около 7500 событий (X)
- более 100 параметров для каждого события

<http://spaceweather.izmiran.ru/eng/dbs.html>



$$-72 < X < +120$$

1315 событий

CMEs

CHs



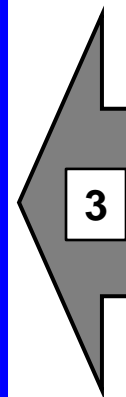
247 событий

CMEs

(74 события)

CHs

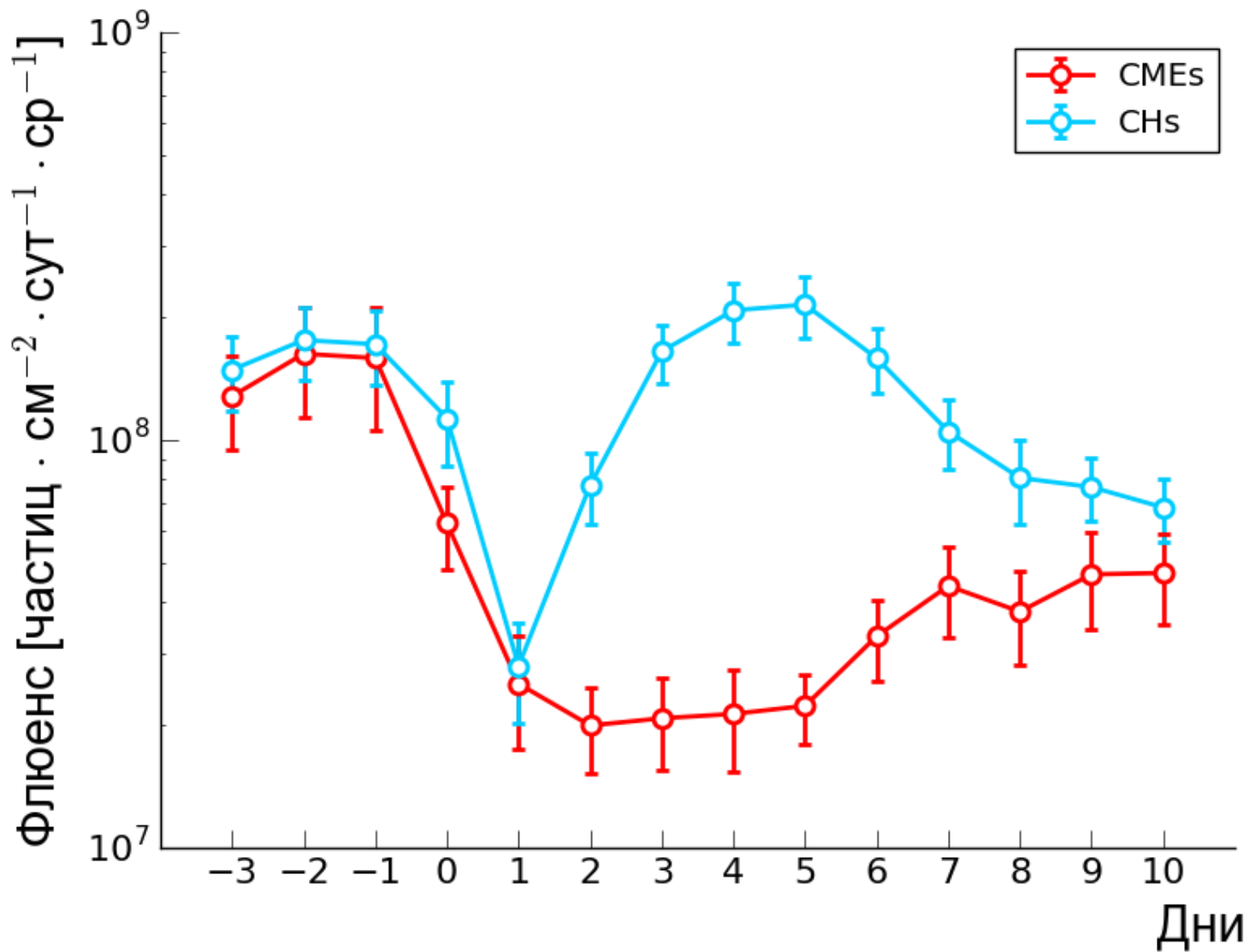
(173 события)



## База данных электронов

- 1987-2019 гг. (GOES)

The screenshot shows the GOES database interface with a table of electron events and a graph of electron flux. The table has columns for Year, Month, Day, and Time. The graph shows the flux of electrons over time.



Абунин А.А. и др. // Известия РАН: Серия физическая, 5, 83 С. 638-640, 2019.



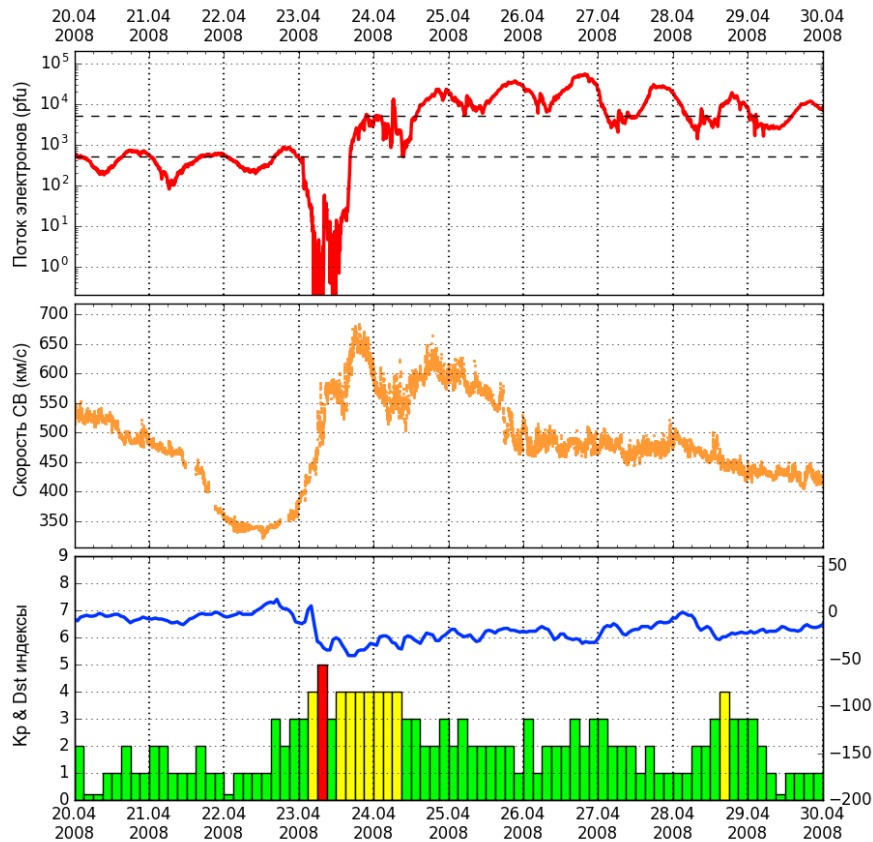
Количество событий в выделенных группах с максимальным значением суточного флюенса электронов в событии более  $>10^7$ ,  $>10^8$ ,  $>10^9$  частиц/см<sup>2</sup>·ср·сут

	Максимальное значение суточного флюенса электронов в событии (частиц/см <sup>2</sup> ·ср·сут)		
	$>10^7$	$>10^8$	$>10^9$
<b>Группа CMEs (74)</b>	<b>57 (77%)</b>	<b>26 (35%)</b>	<b>2 (3%)</b>
<b>Группа CHs (173)</b>	<b>151 (87%)</b>	<b>110 (64%)</b>	<b>16 (9%)</b>

*Abunin A.A. et al. // G&A, Special volume #7, 2019.*

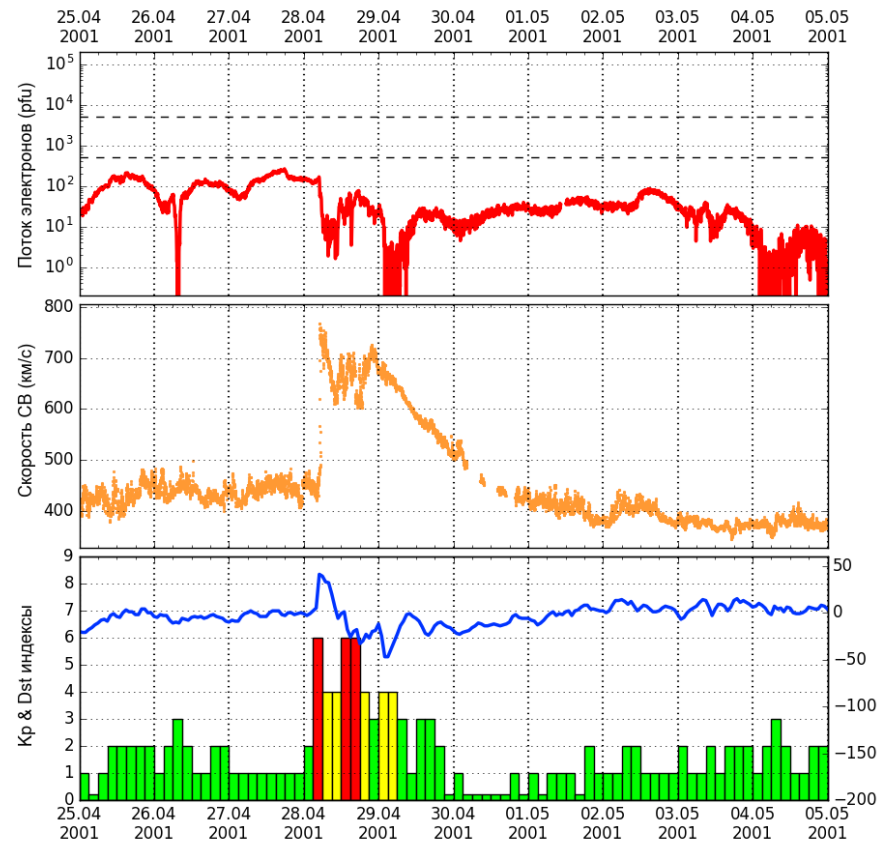
## Событие 23/04/2008

### Высокоскоростной поток из корональной дыры



## Событие 28/04/2001

### Корональный выброс массы (СМЕ/ICME)



Возмущения межпланетной среды, вызванные высокоскоростными потоками из корональных дыр, **более эффективны в создании** больших значений потока электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите, чем возмущения от корональных выбросов.

Это **позволяет строить** достаточно **надежные модели** для краткосрочного и среднесрочного прогнозирования поведения электронов, используя в её основе информацию о рекуррентных источниках возмущения межпланетной среды.

Подобная методика была **разработана сотрудниками ИЗМИРАН**, **успешно апробирована и внедрена в работу** Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН.

*Abunin A.A. et al. // G&A, Special volume #7, 2019.*

---

# МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ИЗМИРАН

---

2/2

## Модель поведения электронов (ИЗМИРАН)

$$E = a_0 + a_1 \cdot E_{-1} + a_2 \cdot V_{-1} + a_3 \cdot Ap_{-2} + a_4 \cdot E_{-2} + a_5 \cdot E_{-27t} + a_6 \cdot Ap_{-1} + a_7 \cdot Ap_0 + a_8 \cdot V_{-2} + a_9 \cdot E_{27m}$$

- модель поведения электронов **на 28 суток вперед**
- коэффициент корреляции на первые сутки:  **$\rho \sim 0.94$**

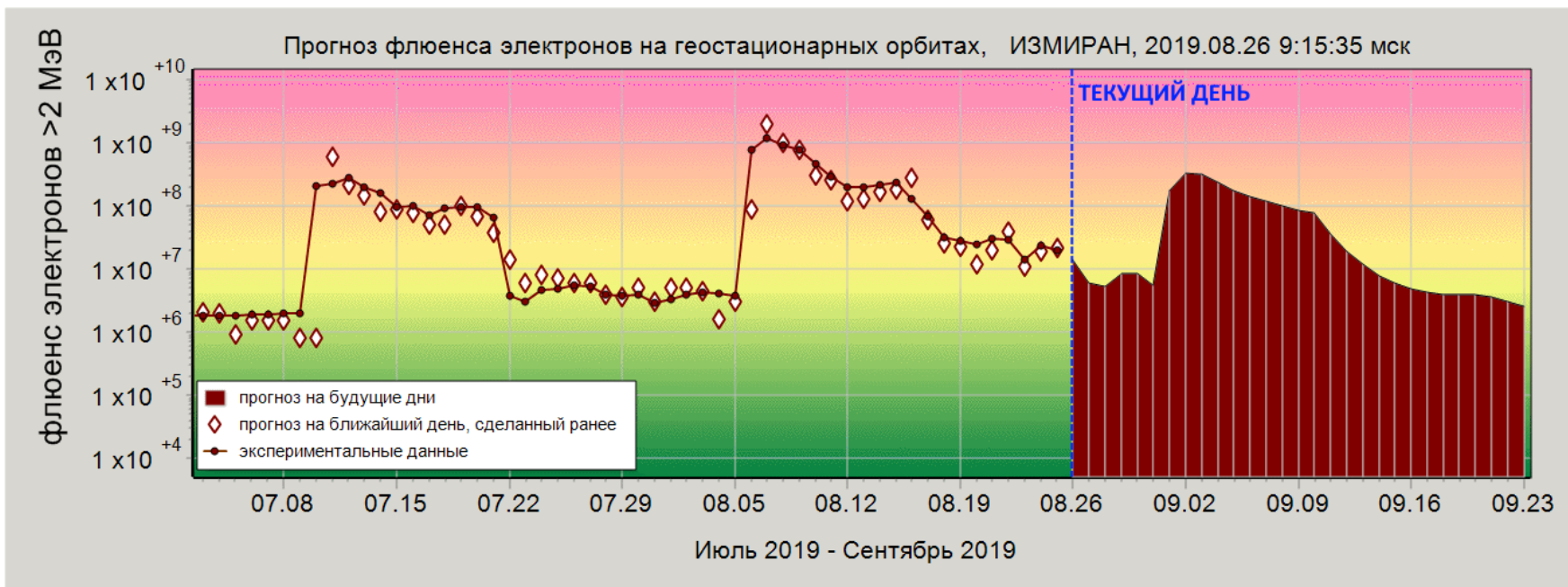
**E** — прогнозируемый суточный флюенс электронов (частиц / см<sup>2</sup>·ср·сут).

**E<sub>-1</sub>, E<sub>-2</sub>, E<sub>-27t</sub>, E<sub>27m</sub>** — флюенс электронов за предыдущие сутки; два дня ранее; флюенс на оборот ранее (усредненный за три соседних дня); средний флюенс за предыдущий оборот (в частиц/см<sup>2</sup>·стер·сут)

**Ap<sub>-2</sub>, Ap<sub>-1</sub>, Ap<sub>0</sub>** — Ap индекс на двое суток и на сутки ранее; прогноз Ap на текущий день (2нТл)

**V<sub>-2</sub>, V<sub>-1</sub>** — среднесуточная скорость солнечного ветра двое суток и сутки назад (км/с).

**a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>, a<sub>5</sub>, a<sub>6</sub>, a<sub>7</sub>, a<sub>8</sub>, a<sub>9</sub>** — регрессионные коэффициенты.



**Спасибо за внимание!**



