

Сервис прогноза геомагнитных бурь

www.spaceweather.ru

Т.В. Подладчикова

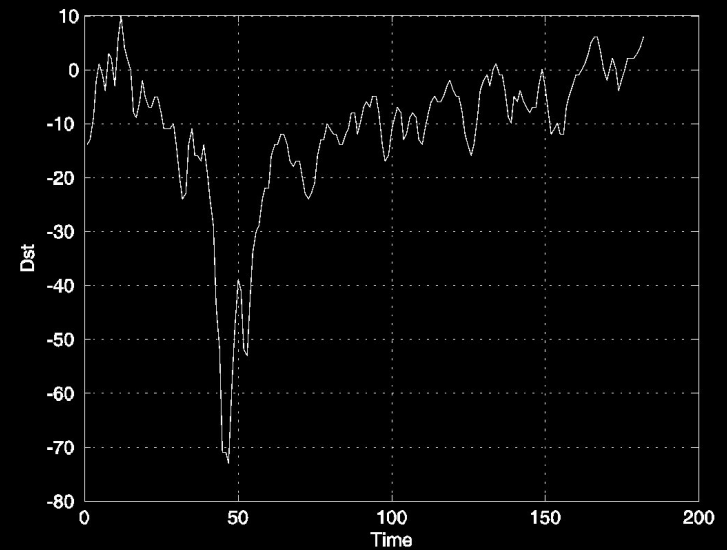
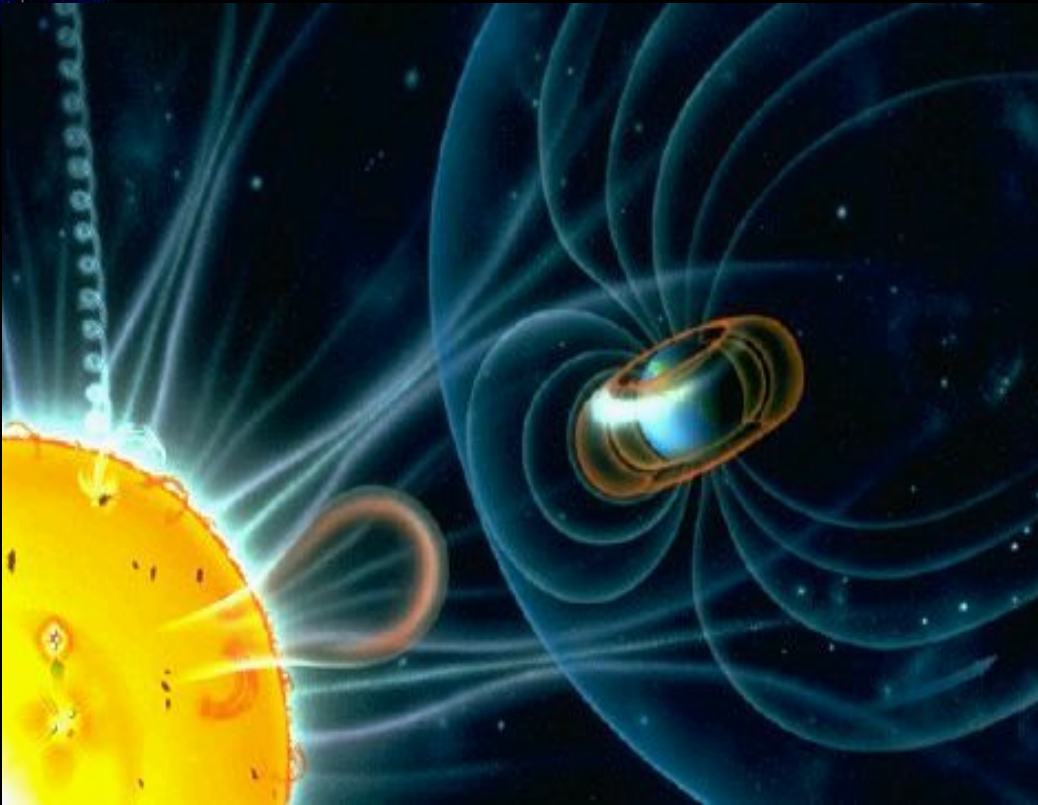
А.А. Петрукович



Совместные исследования Института космических исследований РАН, Москва
и Института прикладного системного анализа НТУУ «КПИ», Киев

Геомагнитная буря

- Магнитосфера Земли деформируется под действием солнечного ветра



Геомагнитный прогноз

- **Качественный прогноз (на основе крупно-масштабных событий на Солнце)**

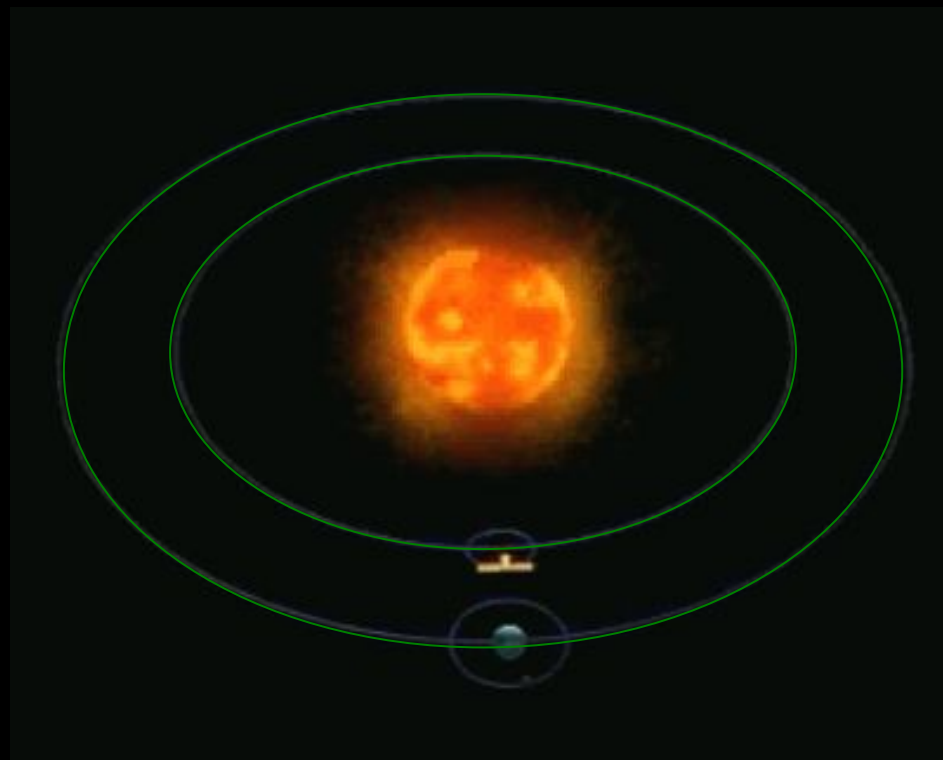
Если на солнце зафиксированы крупно-масштабные события (корональный выброс масс и др.), то возможен качественный прогноз геомагнитной бури. Время распространения возмущений от Солнца до Земли в среднем составляет 3 дня.

- **Количественный прогноз (измерения межпланетного магнитного поля и солнечного ветра)**

В настоящее время измерения магнитного поля и солнечного ветра доступны в точке либрации L1, обеспечивая опережение прогноза Dst индекса в 1 час.

Измерения магнитного поля и солнечного ветра

- На основе данных спутника ACE могут быть выполнены прогнозы геомагнитных возмущений.
- Спутник ACE расположен в точке либрации L1, в 1 500 000 км от Земли



Подходы к прогнозированию Dst индекса

- **Подход 1**

Основан на статистической зависимости отрицательного максимума Dst от геоэффективных параметров солнечного ветра.

- **Подход 2**

Основан на дифференциальном уравнении Бартона и др. (1975) для индекса Dst и геоэффективных параметров солнечного ветра.

- **Подход 3**

Основан на сложных статистических моделях типа "черный ящик", связывающих солнечный ветер и Dst индекс.

Уравнение эволюции Dst индекса

$$\frac{dDst^*}{dt} = Q(t) - \frac{Dst^*}{\tau}$$

$$Q(t) = -4.4(VBs - 0.5)$$

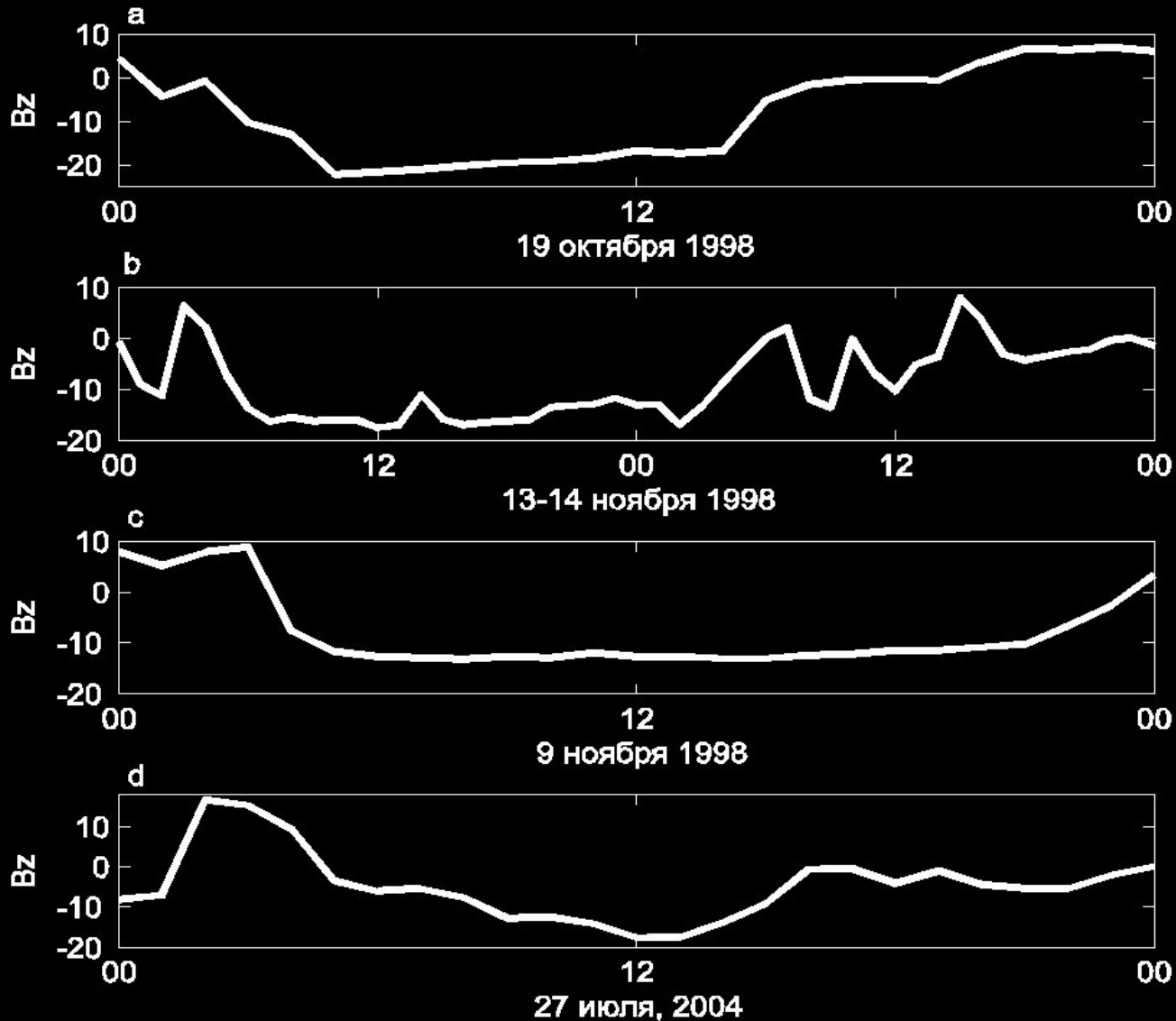
$$\tau(t) = 2.4e^{\frac{9.74}{4.69 + VBs}}$$

$$VBs = \begin{cases} |VB_z|, & B_z < 0 \\ 0, & B_z \geq 0 \end{cases}$$

- **Основная идея**

Оценить будущую максимальную амплитуду бури на основе исследования зависимости солнечного ветра и ММП в начале бури от максимального отрицательного Dst индекса, достигаемого в точке насыщения.

Динамика B_z во время развития бури



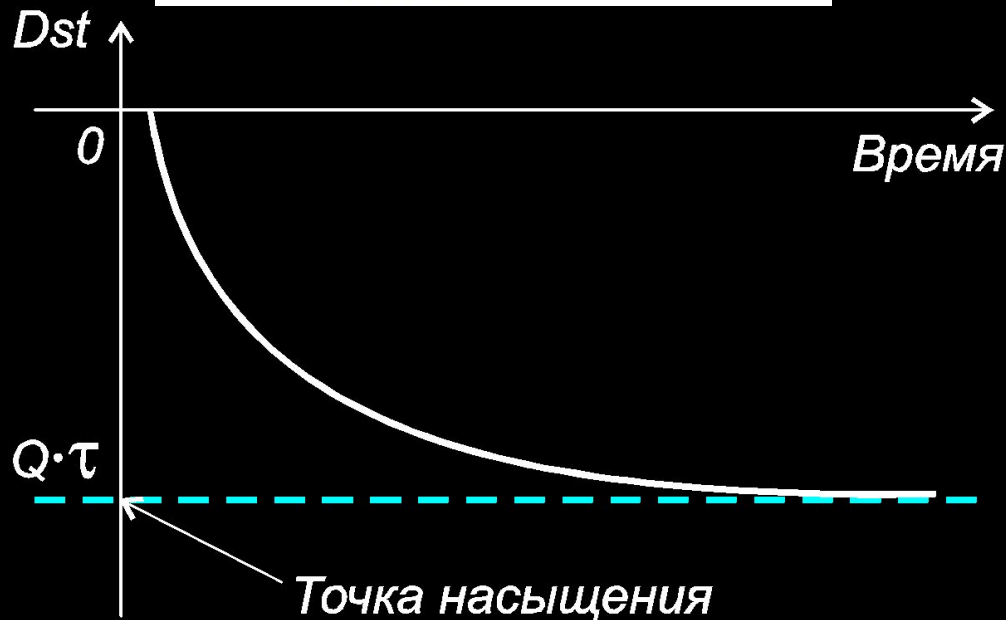
Насыщение геомагнитной бури

- Решение дифференциального уравнения при $Q(t)=Q=\text{const}$:

$$Dst(t) = e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} (Dst(t_0) - Q\tau) + Q\tau.$$

- Максимальная амплитуда магнитной бури

$$\overline{Dst} = \lim_{t \rightarrow \infty} Dst(t) = Q\tau.$$



Внезапно развивающиеся супер-бури

$Dst \leq -100$ nT

- Резкий скачок параметров солнечного ветра и ММП

$$I(k) = VBs(k) - VBs(k - 1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I(k) > 4.4 \text{ mV/m} \\ \sum_{j=k-2}^k I_j > 5.7 \\ (VBs(k) > 6.2) \text{ или } (VBs(k) > 5.5 \text{ и } I(k-1) > 0) \end{array} \right.$$

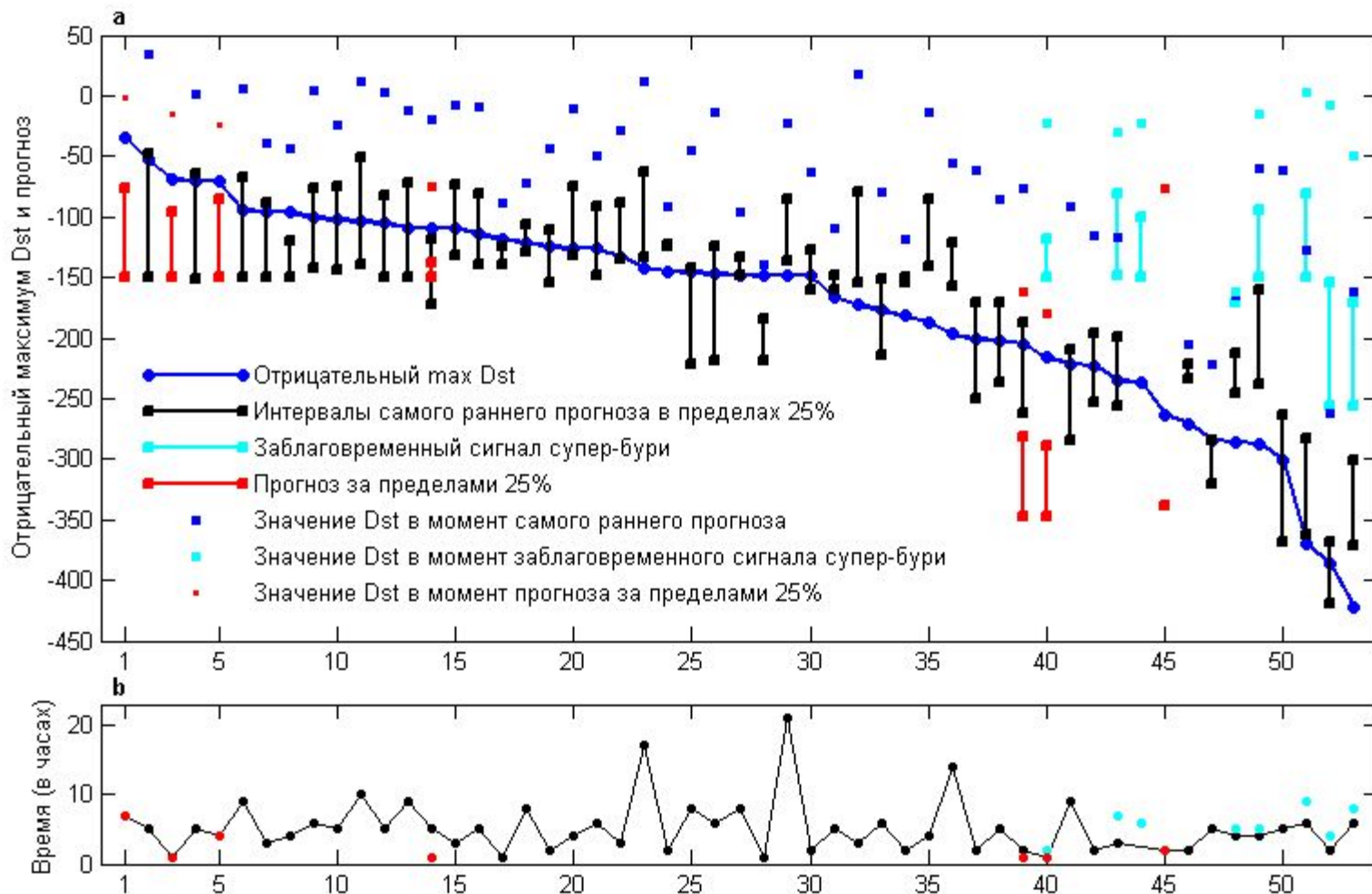
- Нижняя граница геомагнитной бури, $t \rightarrow \infty$

$$\overline{Dst} = \lim_{t \rightarrow \infty} Dst(t) = Q\tau.$$

- Верхняя граница геомагнитной бури, $t_f = t_c + 3h$

$$\overline{Dst}^{int} = \left(1 - \frac{1}{\tau(k)}\right)^3 Dst(k) + \sum_{i=0}^2 \left(1 - \frac{1}{\tau(k)}\right)^i Q(k)$$

Внезапно развивающиеся супер-бури $Dst \leq -100$ nT за период 1995-2010 гг.

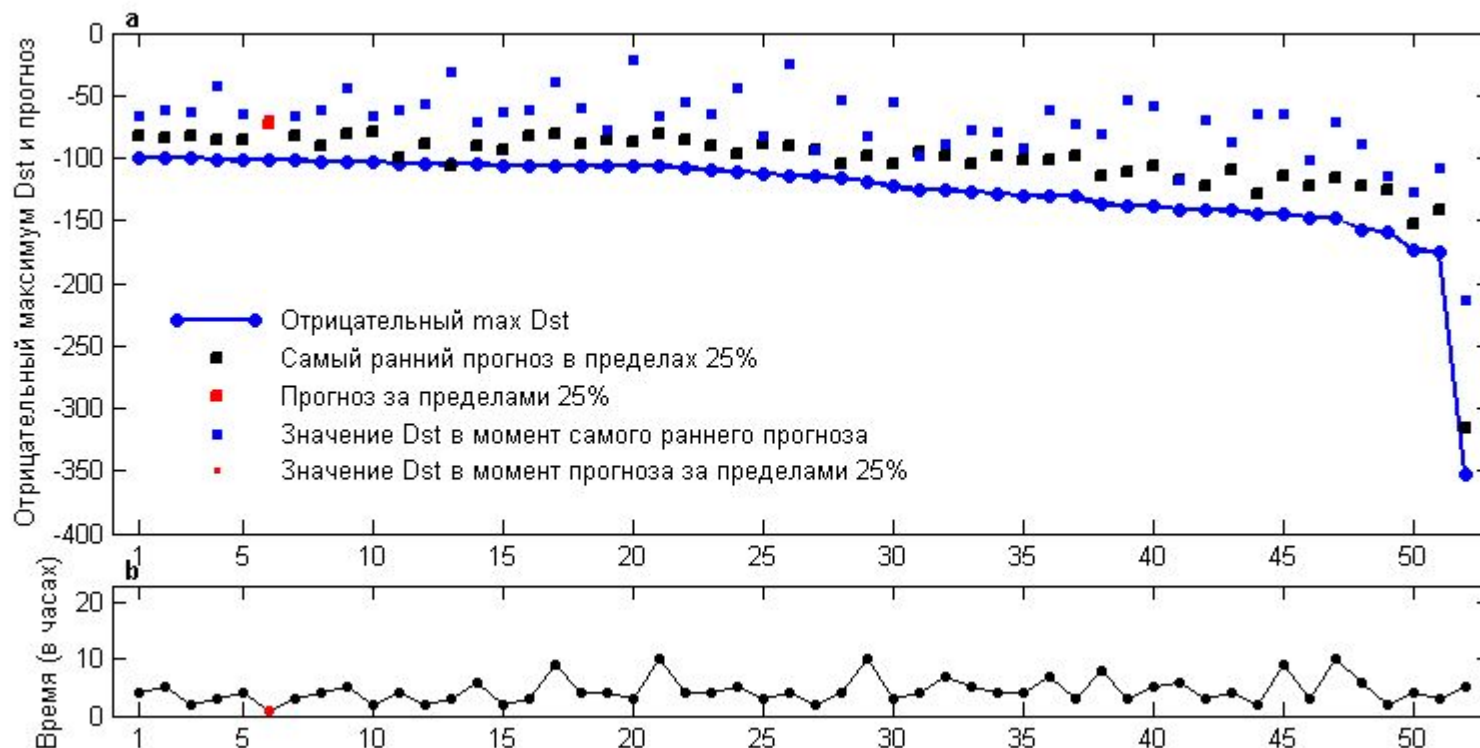


Постепенно развивающиеся супер-бури $Dst \leq -100$ nT

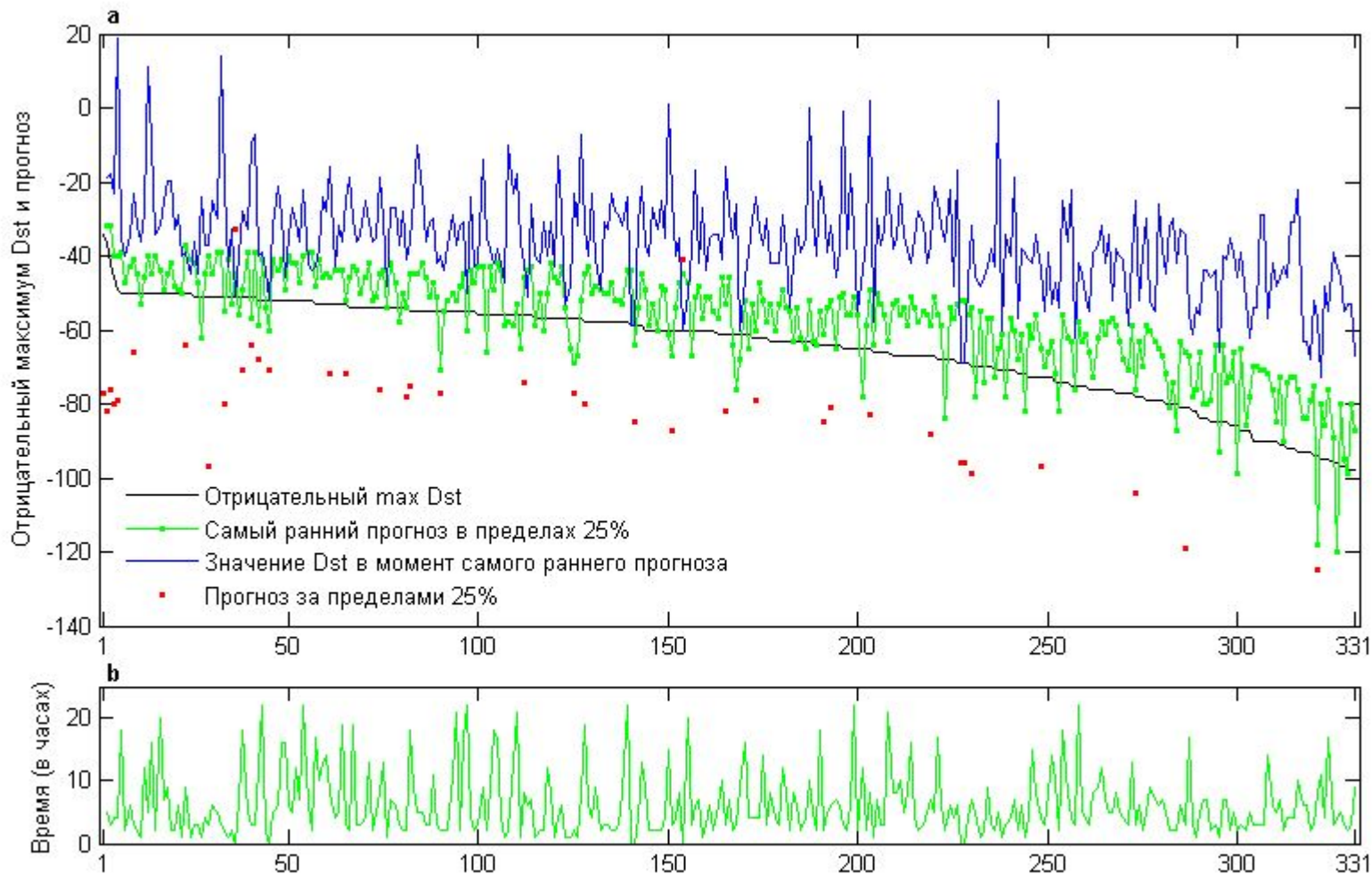
- Промежуточная точка на траектории насыщения, $t_i = t_c + 3h$

$$\overline{Dst}^{int} = \left(1 - \frac{1}{\tau(k)}\right)^3 Dst(k) + Q \sum_{i=0}^k \left(1 - \frac{1}{\tau(k)}\right)^i Q(k)$$

- Постепенно развивающиеся супер-бури за период 1995-2010 гг.



Сильные бури $-100 \leq Dst < -50$ nT за период 1995-2010 гг.



Результаты тестирования за период 1995-2010 гг.

- **Супер – бури $Dst \leq -100$ nT**

Вероятность ложного предсказания не превышает 0,03. С вероятностью 0.96 ошибка прогноза границ максимума Dst не превышает 25%.

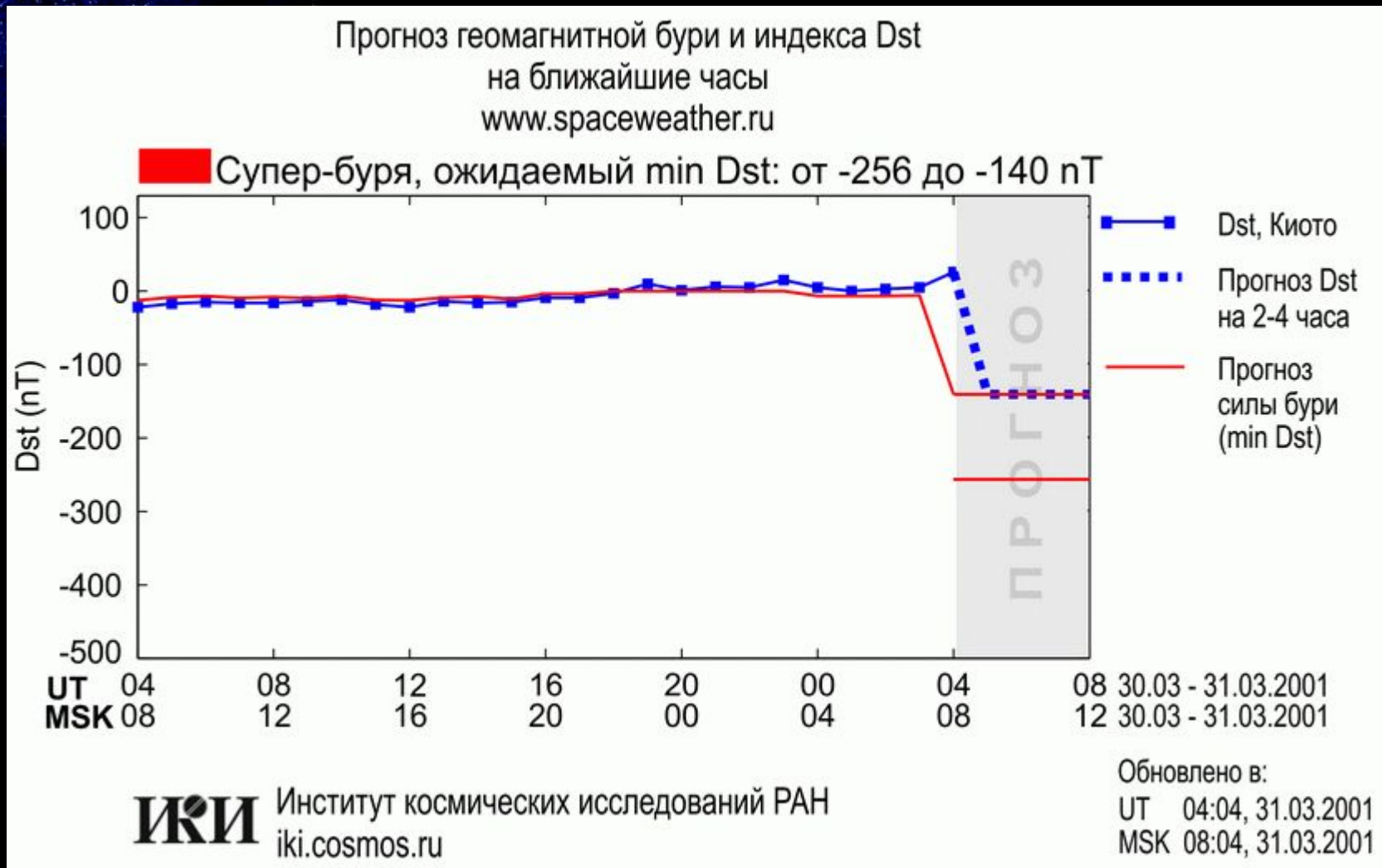
- **Сильные бури $-100 < Dst \leq -50$ nT**

Вероятность ложного предсказания бури не превышает 0,01. С вероятностью 0.9 ошибка прогноза границ максимума Dst не превышает 25%.

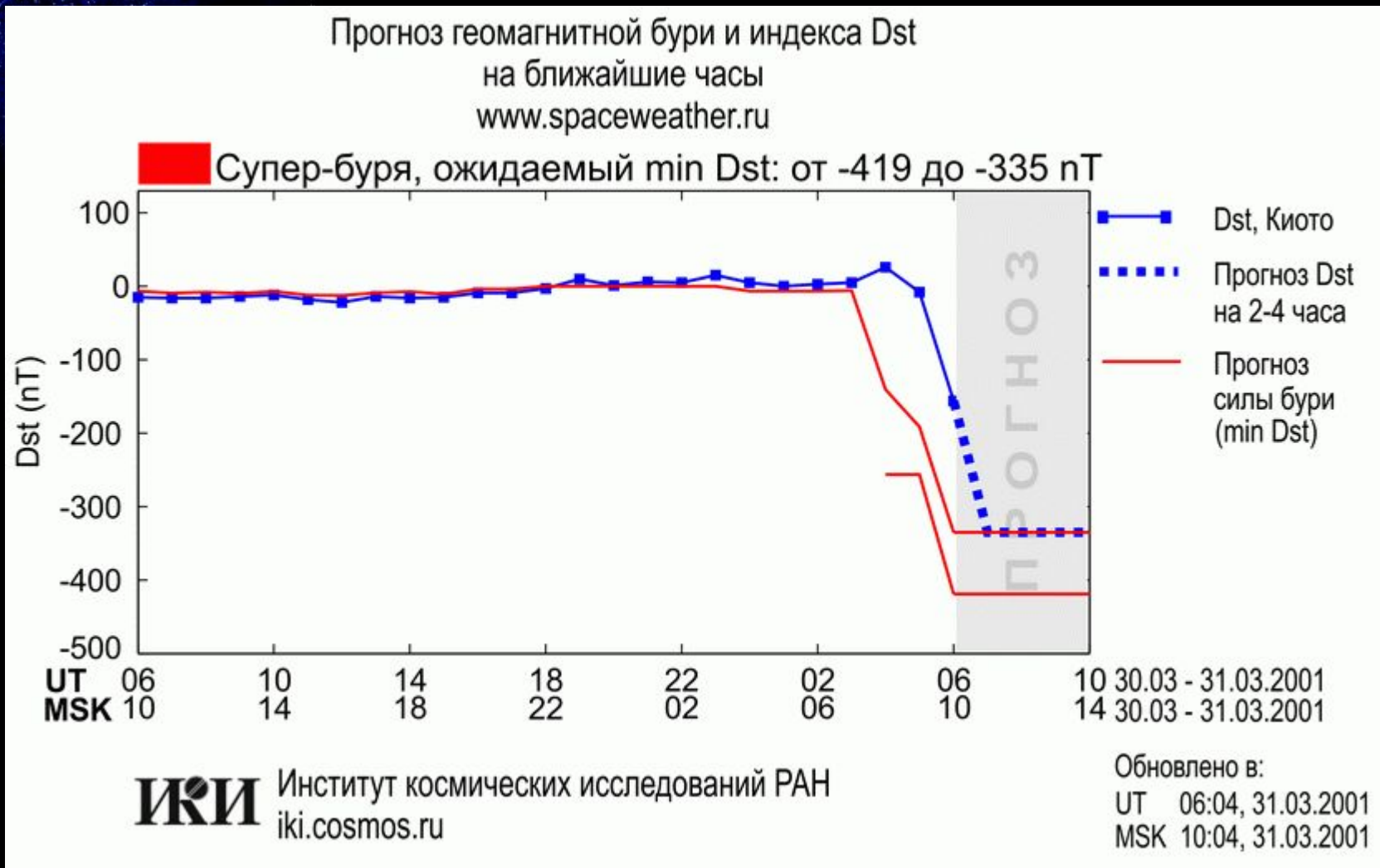
- **Время заблаговременного прогноза**

Время заблаговременного предупреждения о силе бури составляет в среднем 5-6 часов и варьируется от 1 до 22 часов.

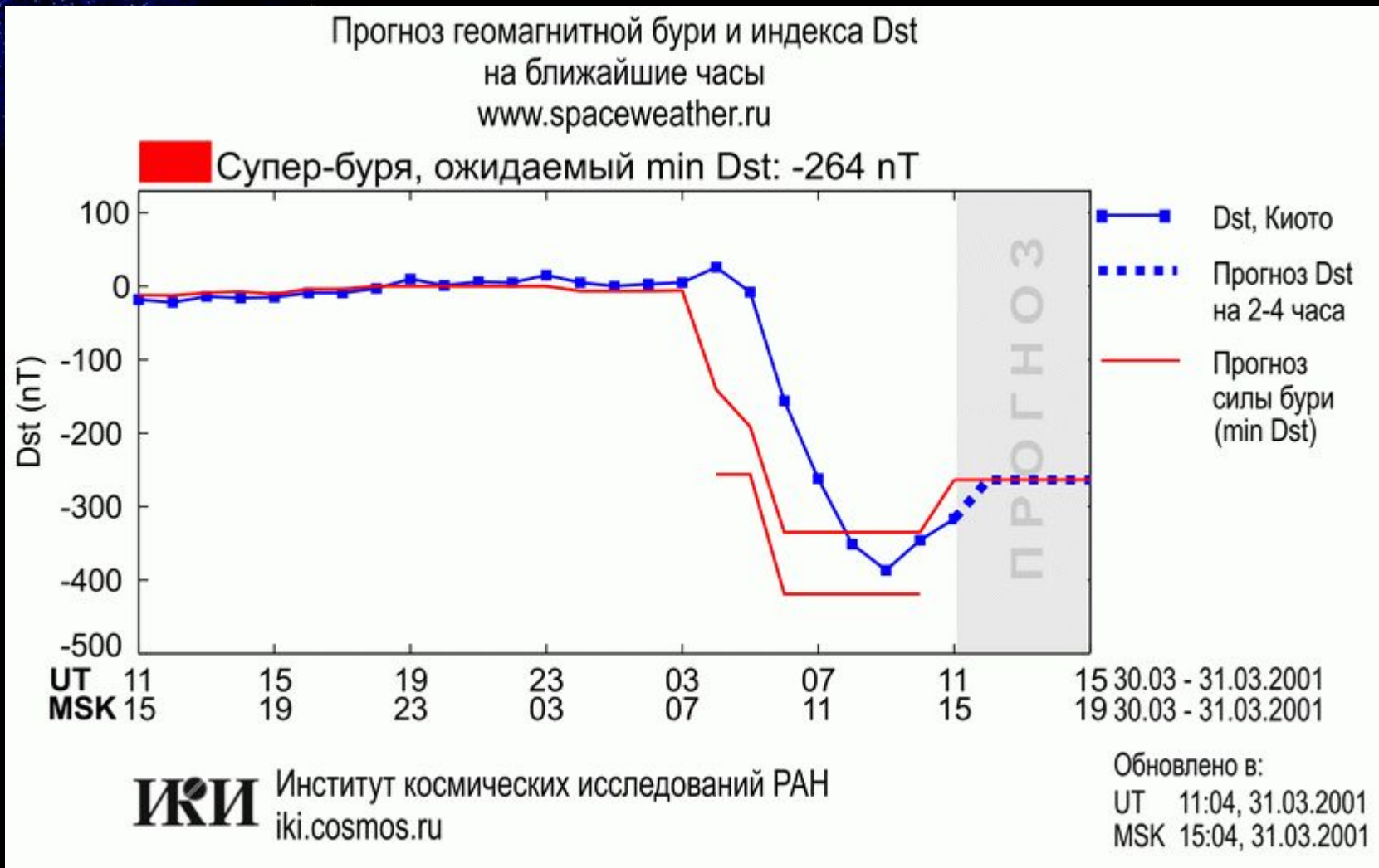
Пример прогноза геомагнитной бури в реальном времени, 04:00 – 15:00 UT, 31.03.2001



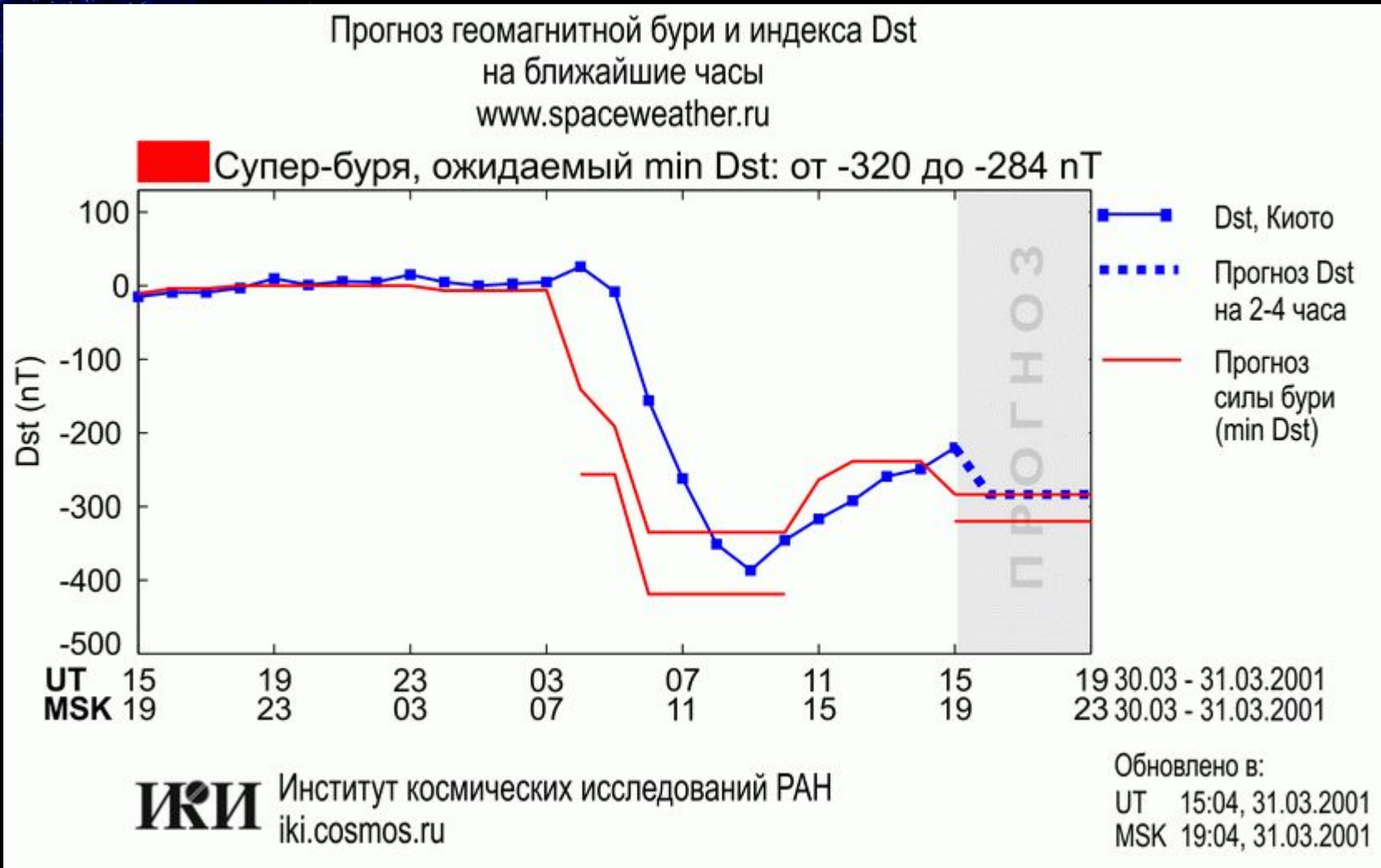
Пример прогноза геомагнитной бури в реальном времени, 03:00 – 15:00 UT, 31.03.2001



Пример прогноза геомагнитной бури в реальном времени, 03:00 – 15:00 UT, 31.03.2001

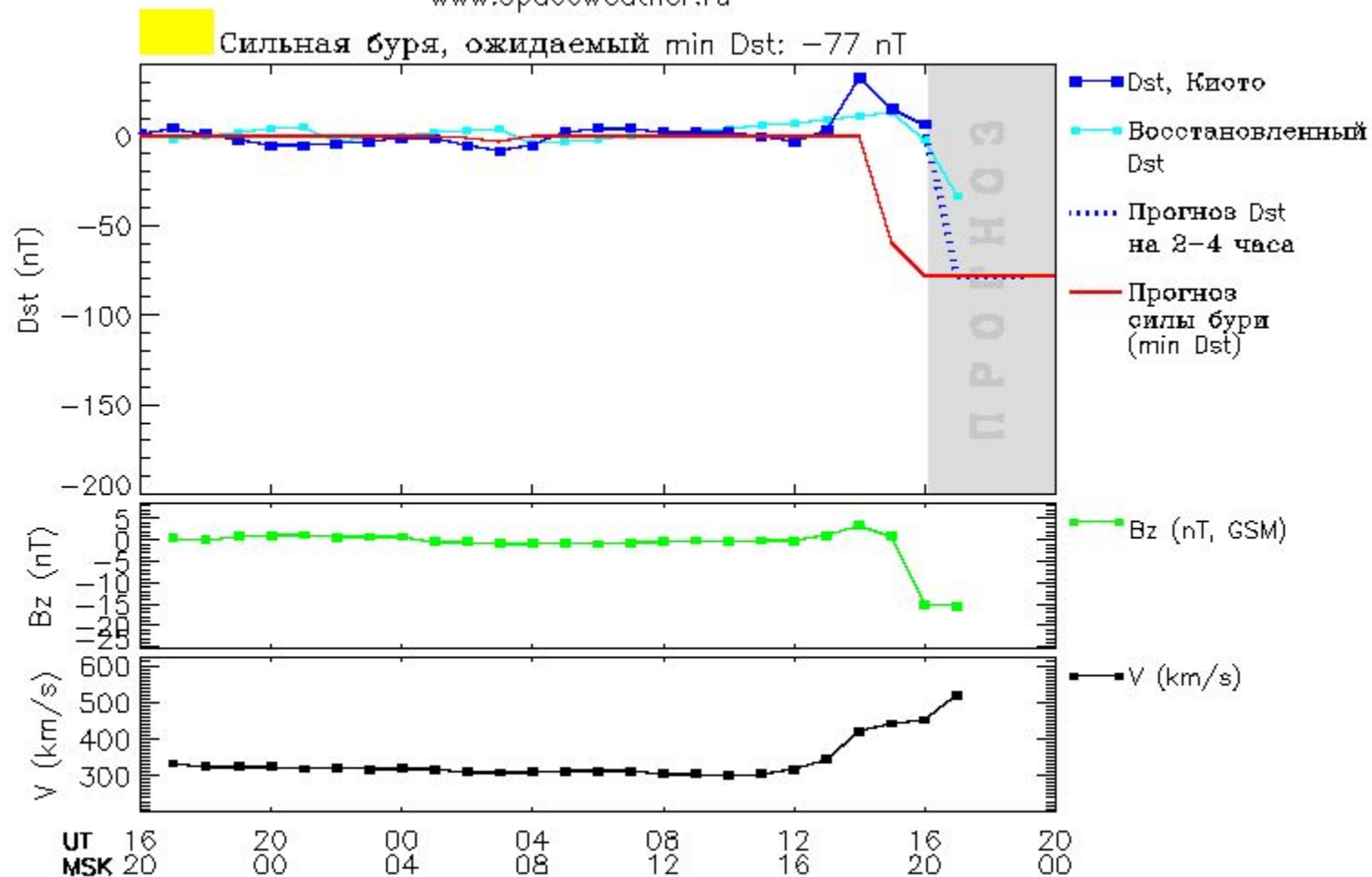


Пример прогноза геомагнитной бури в реальном времени, 03:00 – 15:00 UT, 31.03.2001



Пример прогноза геомагнитной бури в реальном времени, 09.09-10.09.2011

Прогноз геомагнитной бури и индекса Dst
на ближайшие часы
www.spaceweather.ru



Магнитное поле и солнечный ветер измерены спутником ACE и сдвинуты вперед, учитывая распространение L1-Земля

ИКИ

Институт космических исследований РАН
iki.cosmos.ru

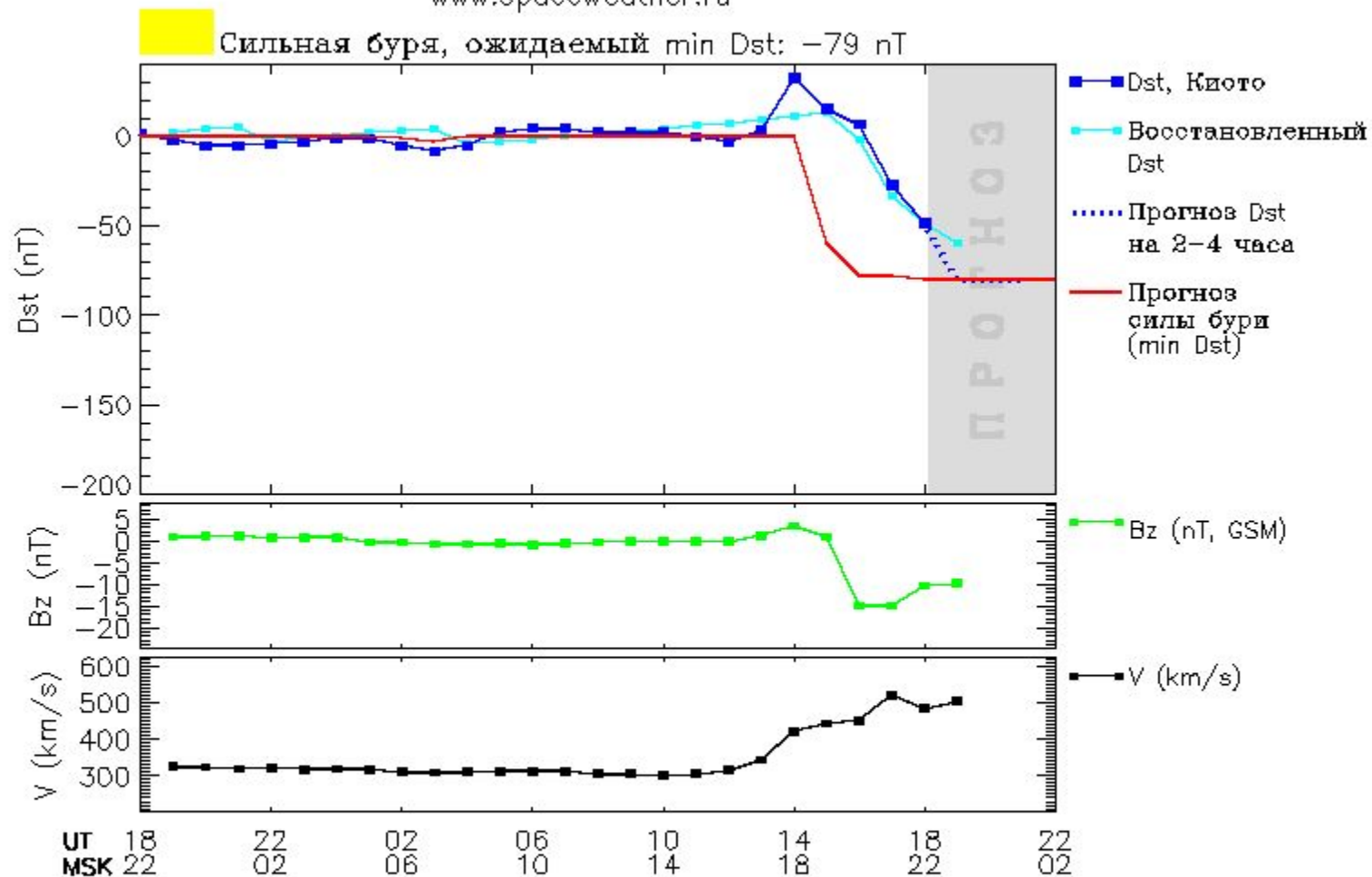
Обновлено в:

UT 16:04, 09.09.2011

MSK 20:04, 09.09.2011

Пример прогноза геомагнитной бури в реальном времени, 09.09-10.09.2011

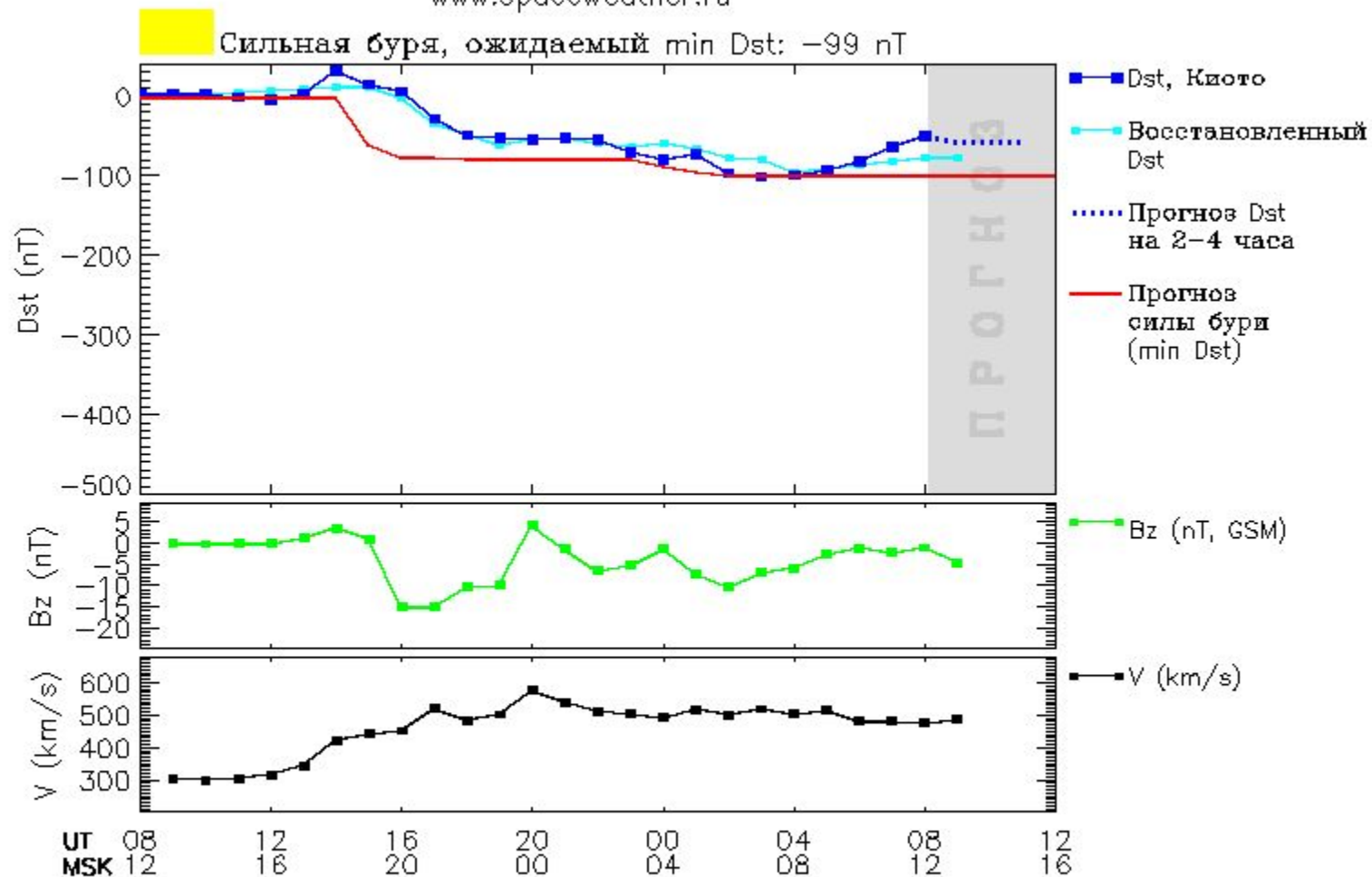
Прогноз геомагнитной бури и индекса Dst
на ближайшие часы
www.spaceweather.ru



Магнитное поле и солнечный ветер измерены спутником ACE и сдвинуты вперед, учитывая распространение L1-Земля

Пример прогноза геомагнитной бури в реальном времени, 09.09-10.09.2011

Прогноз геомагнитной бури и индекса Dst
на ближайшие часы
www.spaceweather.ru



Магнитное поле и солнечный ветер измерены спутником ACE и сдвинуты вперед, учитывая распространение L1-Земля

ИКИ

Институт космических исследований РАН
iki.cosmos.ru

Обновлено в:

UT 08:04, 10.09.2011

MSK 12:04, 10.09.2011

Сервис прогноза геомагнитных бурь

www.spaceweather.ru

- **Поддержка проекта**

РФФИ "Мобильность молодых ученых", грант "Стажировка молодых ученых из стран СНГ в российских научных организациях" РФФИ 09-05-90900, 2009 г.

Microsoft Research, 2010-2011 гг., программа совместных исследований "Краткосрочный прогноз космической погоды"

Спасибо за внимание!