

# **прогноз величины наступающей магнитной бури**



**Татьяна Подладчикова  
и  
Анатолий Петрукович**

**ИКИ**

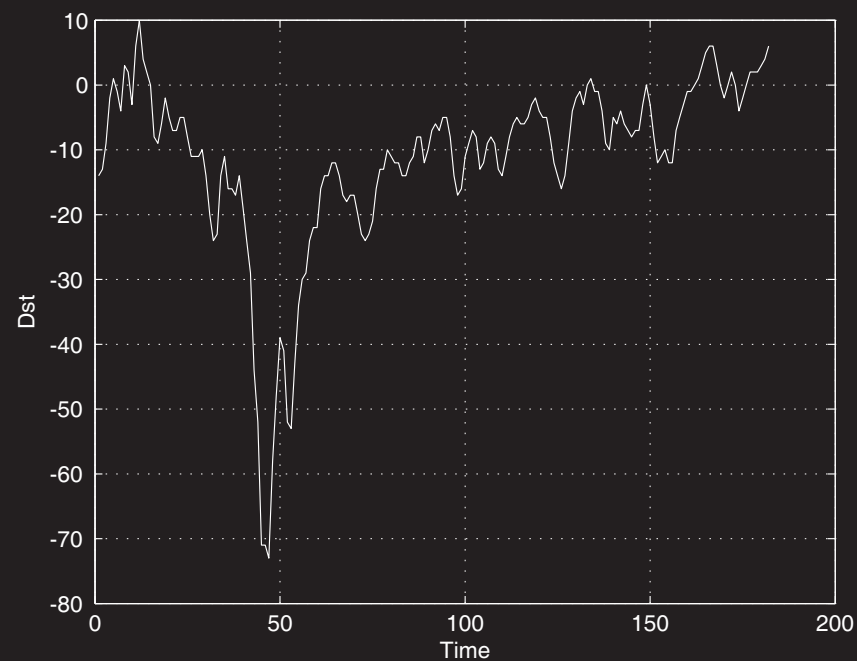
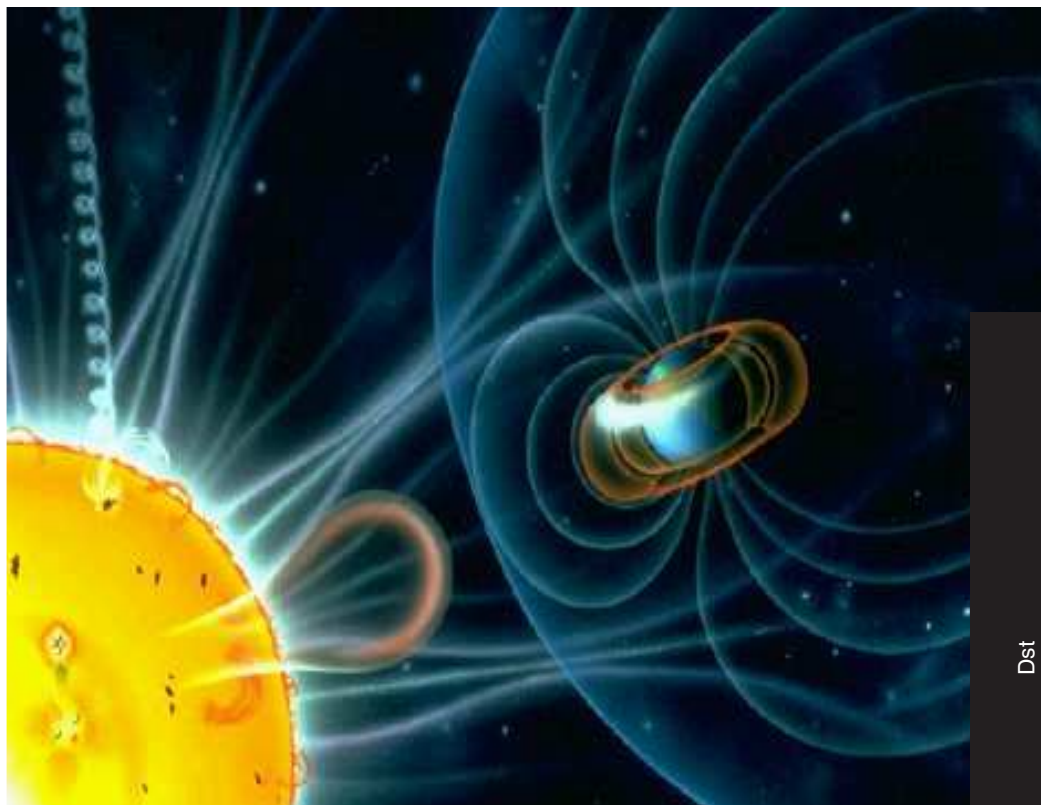
**[www.spaceweather.ru](http://www.spaceweather.ru)  
в печати, Space Weather, 2012**

# Космическая погода

## Солнечная активность

– возмущения межпланетной среды

– геомагнитные бури



# Прогноз магнитных бурь

150 млн км

Солнечная  
буря

Солнечный ветер: 1.5-4 дня

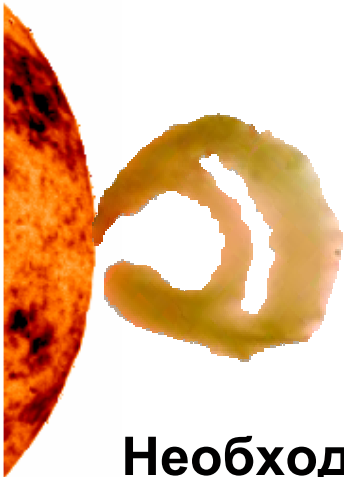
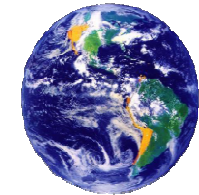
Магнитная  
буря

Солнечное излучение: 8 мин

прогноз 3 дня

прогноз 1 час

Точка либрации  
1.5 млн км



Необходим прогноз на несколько часов вперед  
опирается на «прогноз» солнечного ветра

по точности объективно занимает промежуточное место –  
немного хуже чем часовой прогноза

# ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗУ

## Прогнозируем индекс **Dst**:

качественно моделируется по солнечному ветру  
накапливает солнечный ветер за несколько часов  
(более устойчив к вариациям на входе)

альтернатива: прогнозировать **Kp**

## Гипотеза о солнечном ветре:

предполагаем постоянный СВ и ММП (**VBs**)  
выделяем буревые вариации (величина **VBs**)

альтернатива: идентифицировать структуры (магнитные облака)

## Подход к точности:

прогнозируем ожидаемый максимум бури  
критерий успеха  $\pm 20\%$

альтернатива: прогнозировать временной профиль **Dst**  
прогнозировать маловероятный наихудший вариант

**Задача:** определить статистически при каких условиях  
(время опережения и пр) такой прогноз возможен и  
с какой достоверностью

## **Аналоги: прогноз Dst на несколько часов вперед от солнечного ветра**

**1. Ji et al, 2012** сравнение нескольких публично доступных моделей на час вперед по качеству воспроизведения максимума бури

**2. Wu & Lundstedt, 1997** ИНС

**3. Sharifie, 2006** л-лин

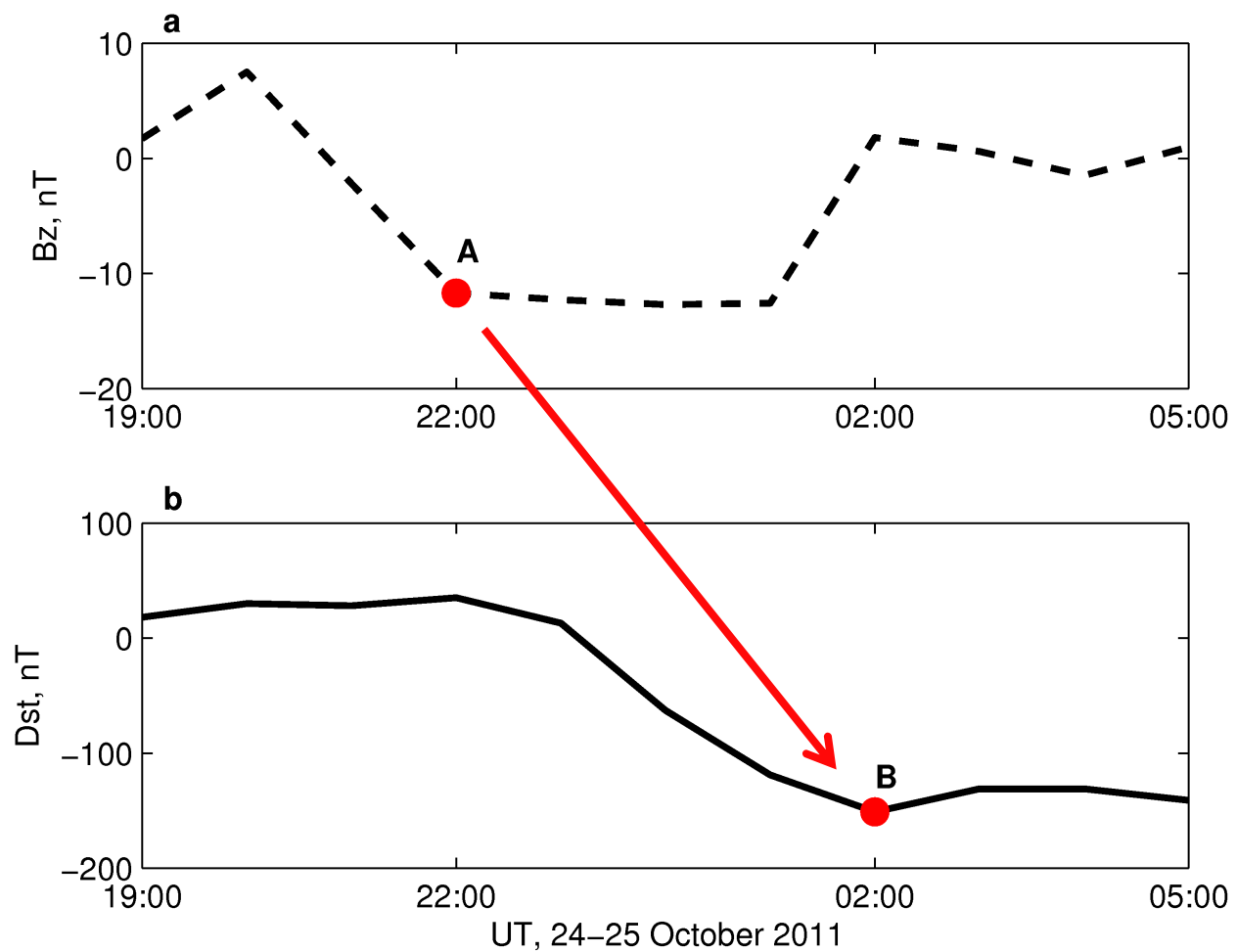
**4. Bala & Reiff, 2012** ИНС

неглавные результаты, неполное описание моделей  
критерии качества по СКО полного профиля Dst

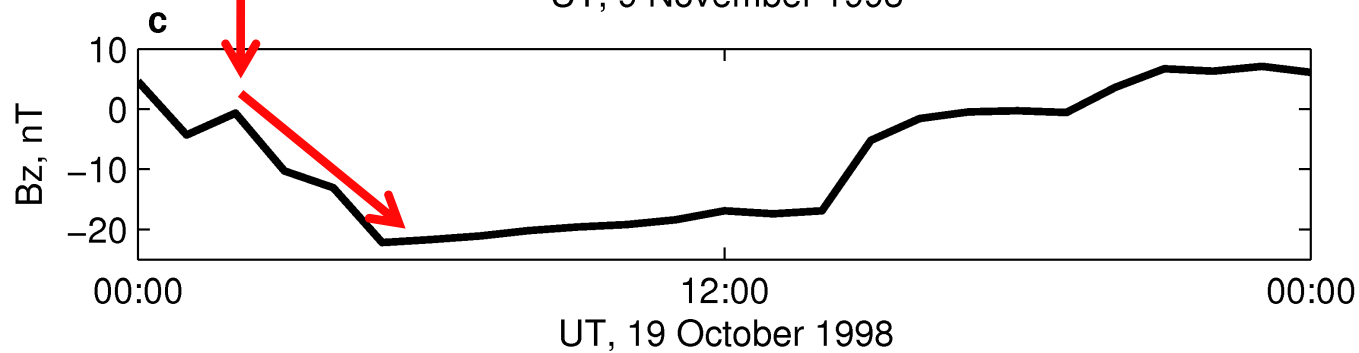
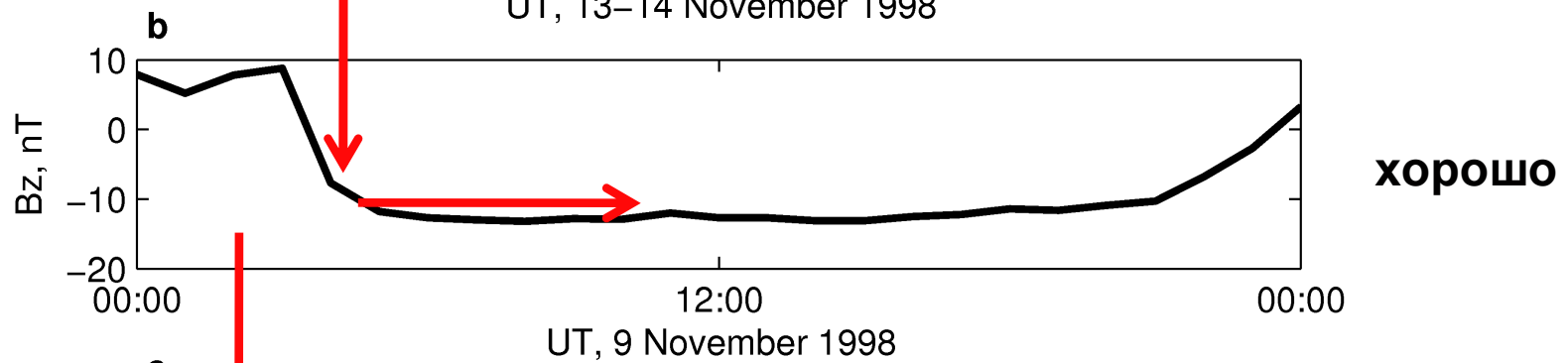
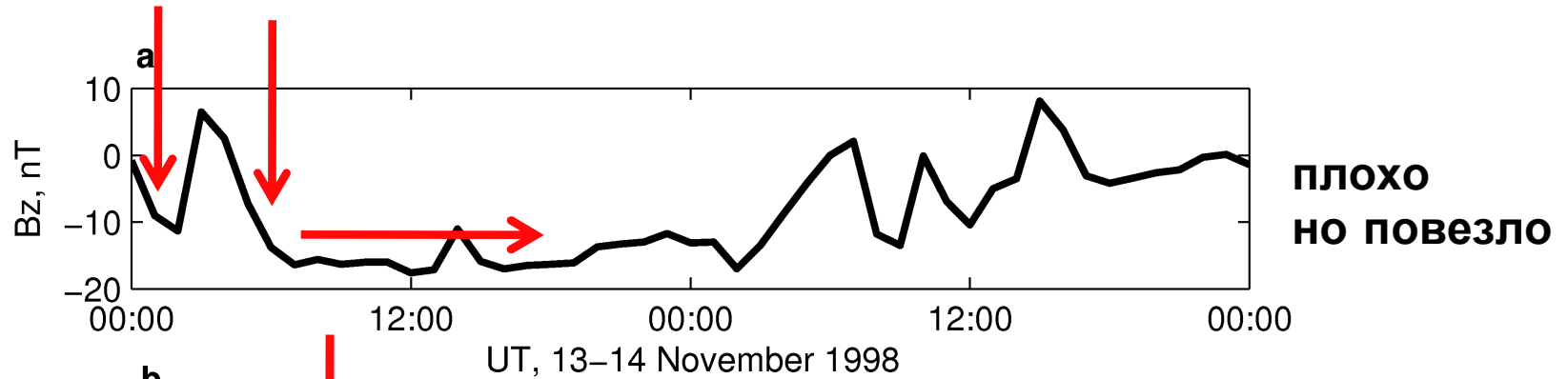
**5. Chen et al, 1996,1997,2012** Байесовская модель вероятности наблюдения бурь в четырех диапазонах Dst при наличии признаков магнитного облака

**Бархатов, Калинина, 2010**

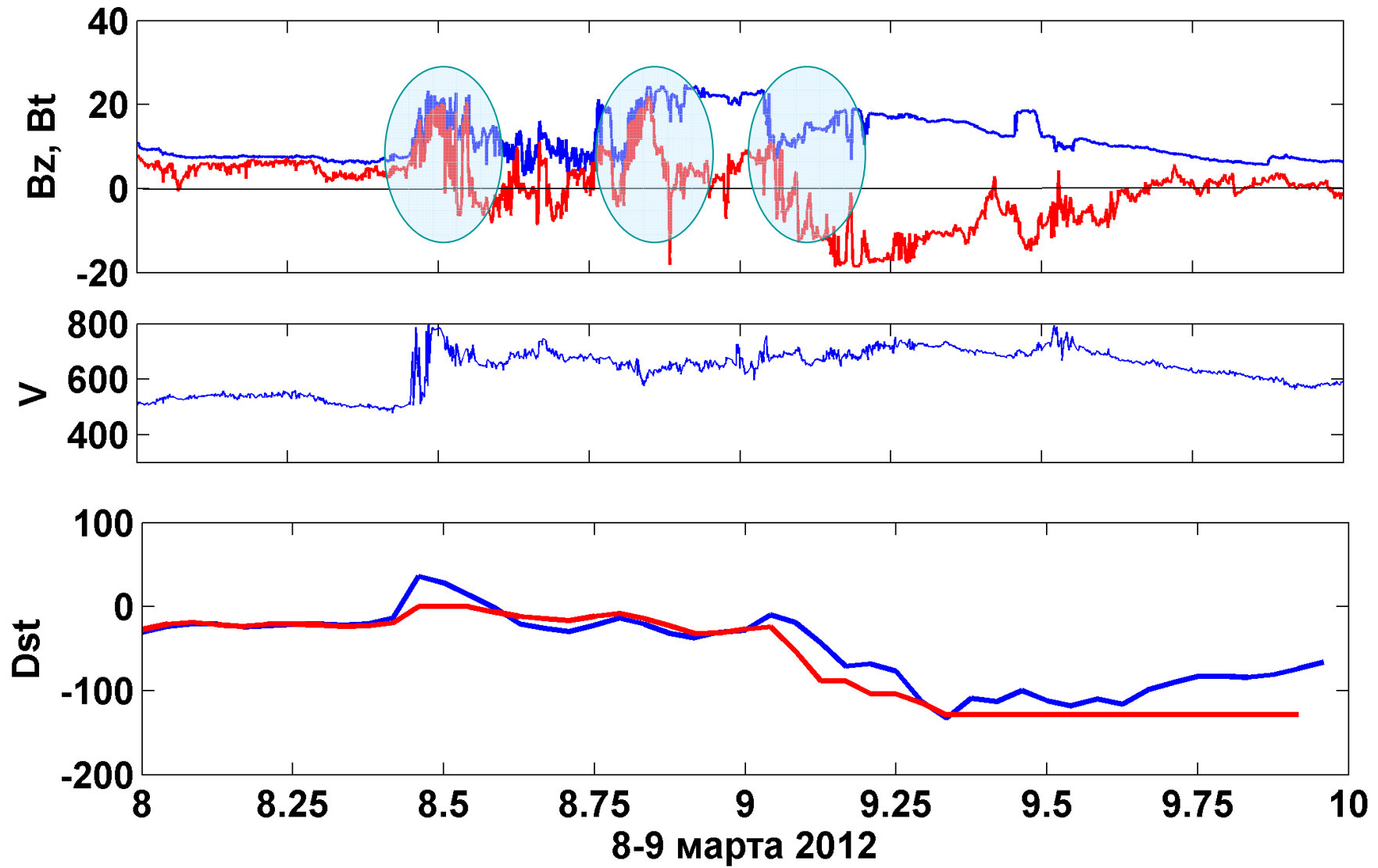
# Схема многочасового прогноза бури по солнечному ветру



# примеры удачных и неудачных профилей для прогноза



# примеры неудачных профилей для прогноза





# Методы прогноза Dst

- метод 1

Статистическая связь между минимумом **Bz** и минимумом Dst

- метод 2

Дифф. ур-е 1-ой степени, связывающее солнечный ветер и индекс

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

- метод 3

Модели типа «черный ящик» (нейронные сети, нелинейные АРСС и пр)

## Модель Burton et al + O'Brian & McPherron

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

$$Q(t) = -4.4(VB_s - 0.5),$$

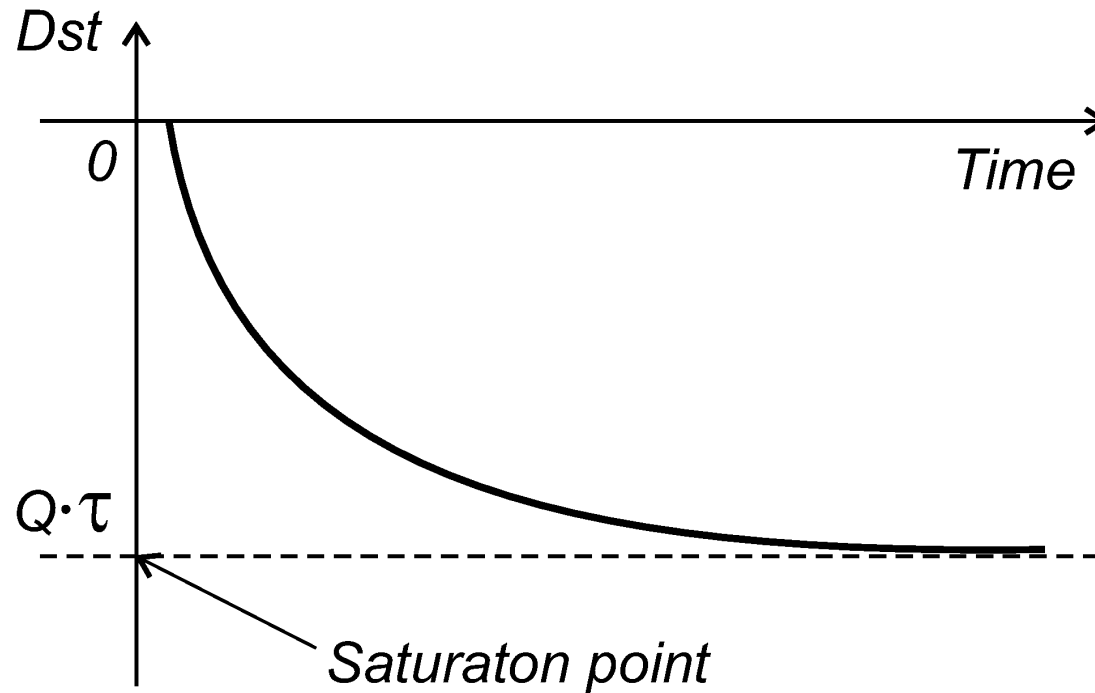
$$\tau(t) = 2.4e^{\frac{9.74}{4.69 + VB_s}},$$

$$VB_s = \begin{cases} |VB_z|, & B_z < 0, \\ 0, & B_z \leq 0. \end{cases}$$

~~$$Dst^* = Dst - 7.26\sqrt{P_{dyn}} + 11.$$~~

- достаточно точная и простая модель
- легко контролировать гипотезу о солнечном ветре
- модели с плотностью малополезны  
из-за ошибок с плотностью ACE

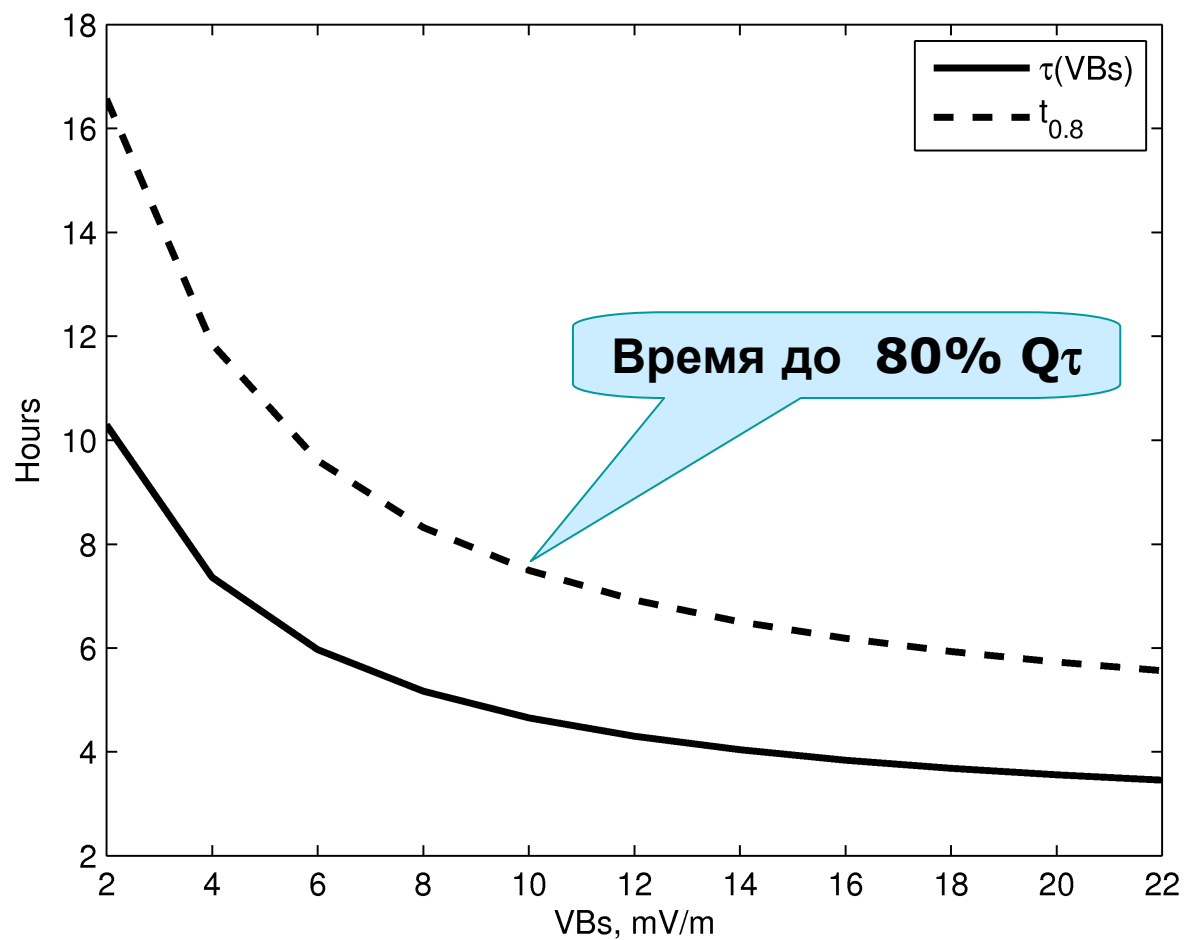
## модельное решение для постоянного VBs



$$Dst(t) = e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot (Dst(0) - Q \cdot \tau) + Q \cdot \tau.$$

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

## зависимость времени насыщения от VBs

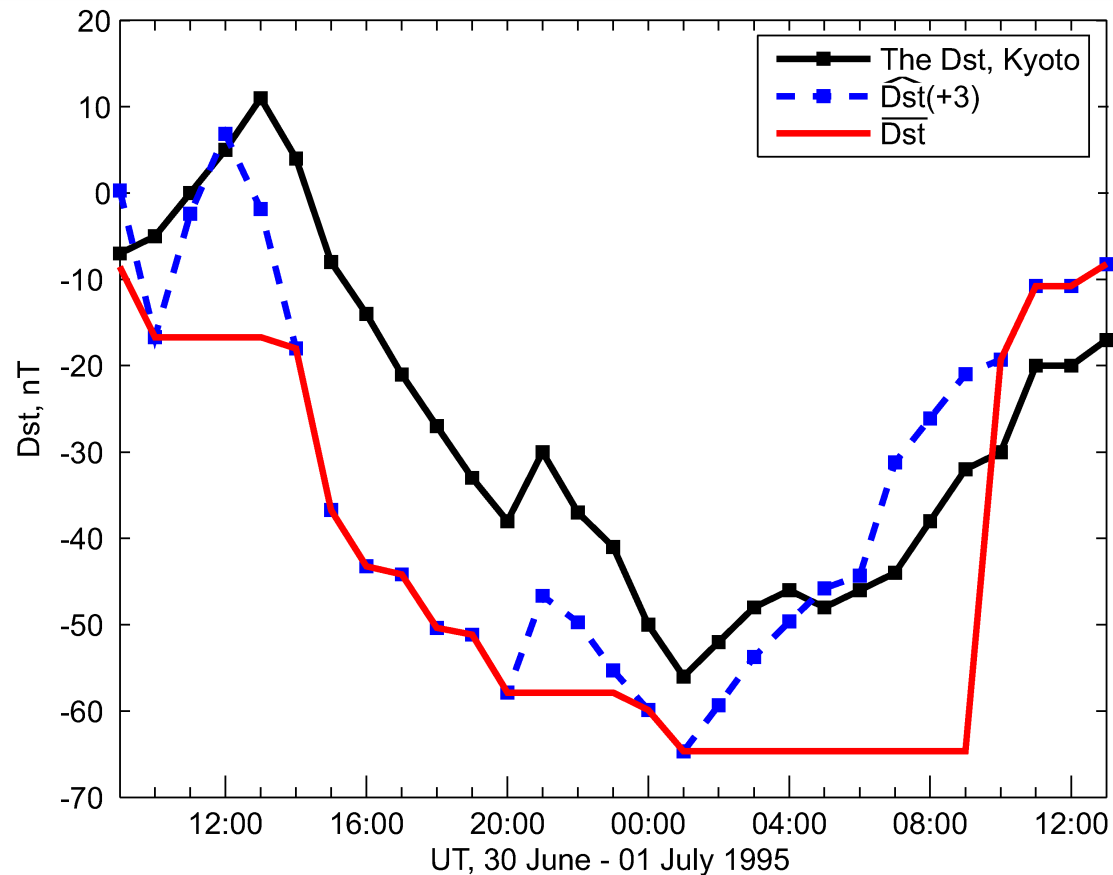


**у больших бурь время насыщения меньше,  
прогноз должен быть лучше**

# Методика прогноза - 1

Трехчасовой прогноз + фиксация макс. значения до конца бури

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

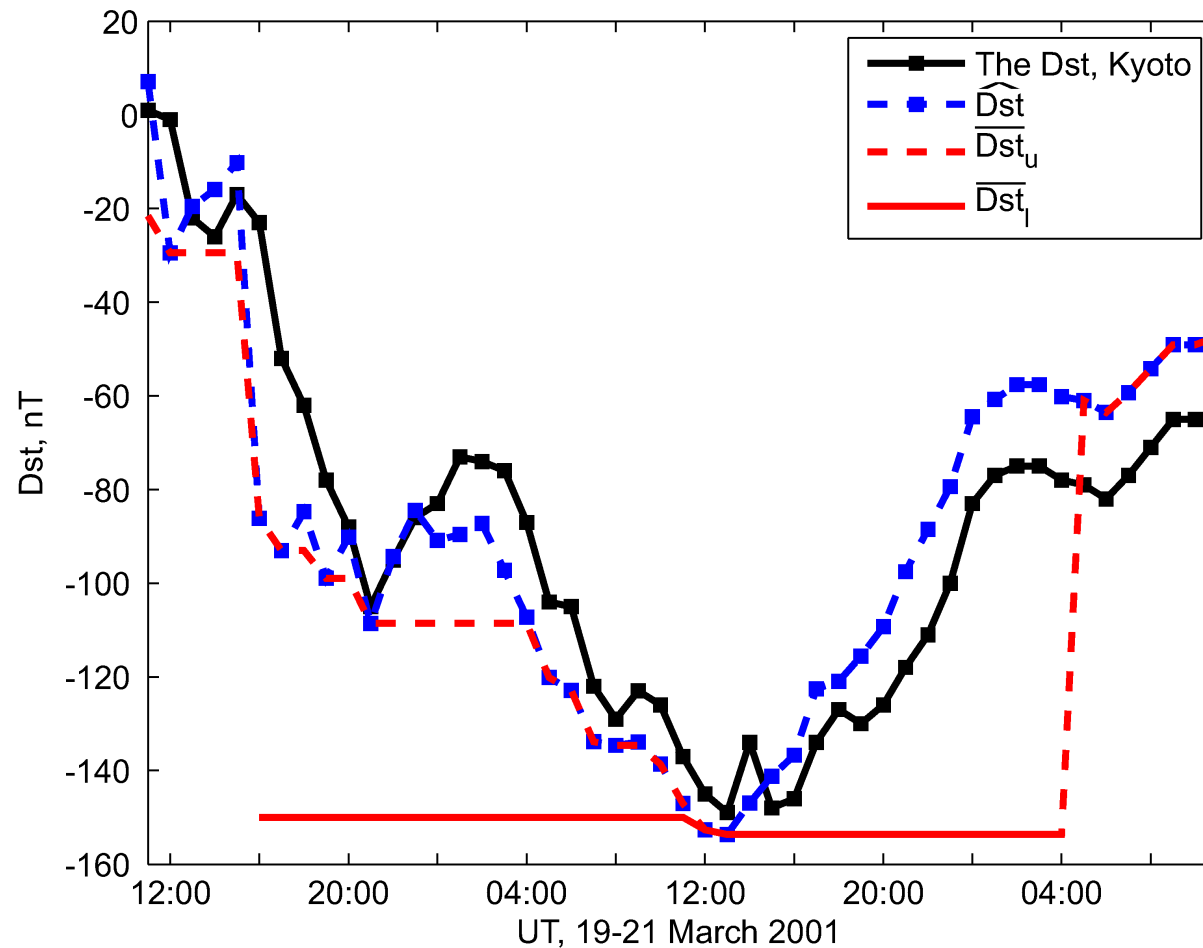


# Методика прогноза - 2

резкий скачок VBS, примерно для половины бурь < 100 нТл

дополнительно  
нижний предел

$$\overline{Dst}_l = Q \cdot \tau.$$



# Методика прогноза - 3

резкий скачок  $VBs$ , примерно для половины бурь  $< 100$  нТл

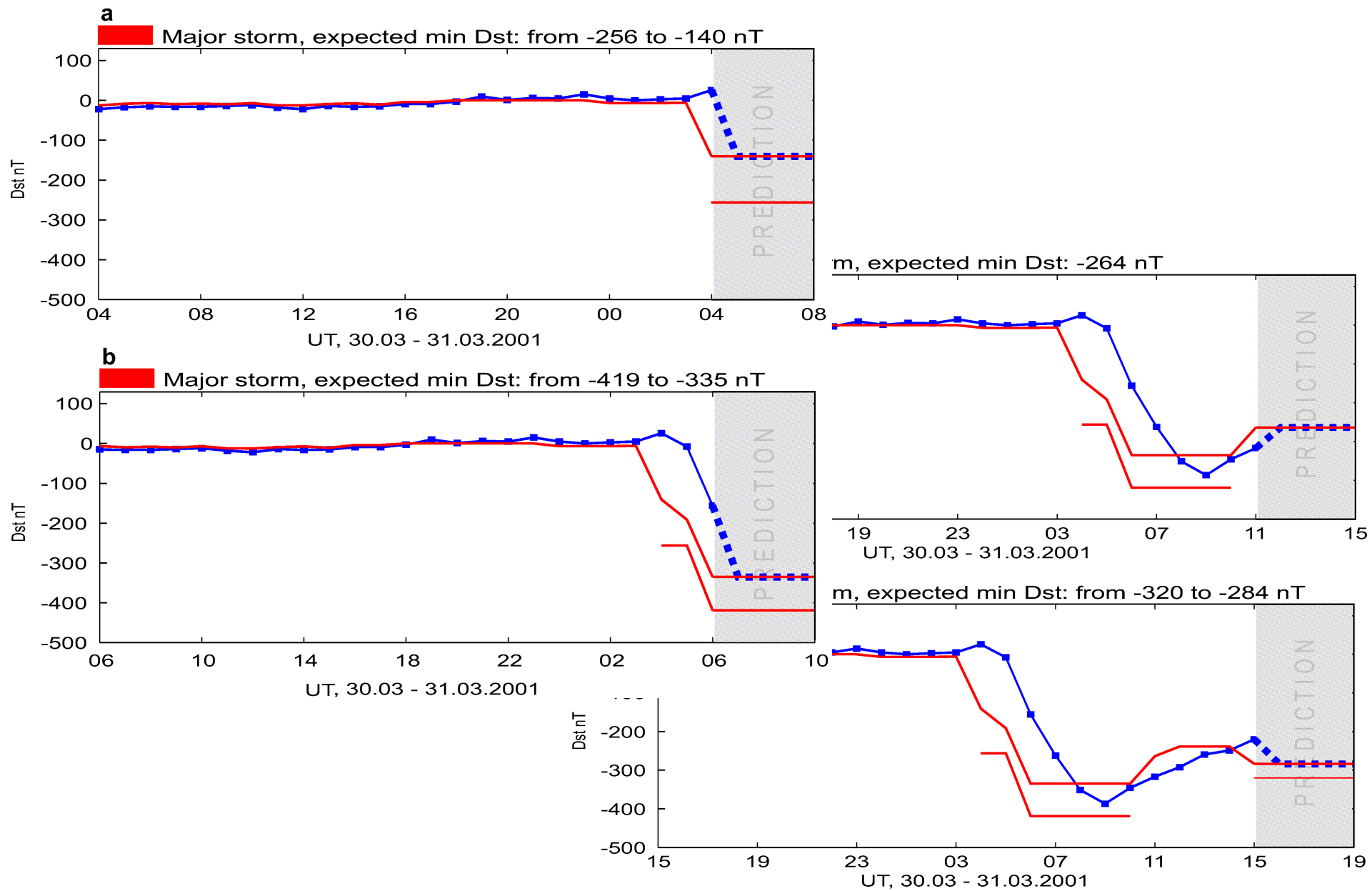
критерии скачка

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

$$I(k) > 4.4 \text{ and } \sum_{j=k-2}^k I_j > 5.7$$

$$VBs(k) > 6.2 \text{ or } (VBs(k) > 5.5 \text{ and } I(k - 1) > 0)$$

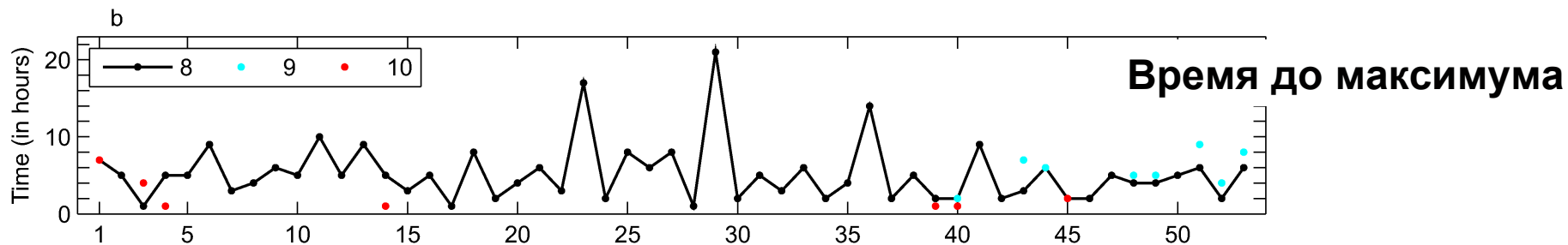
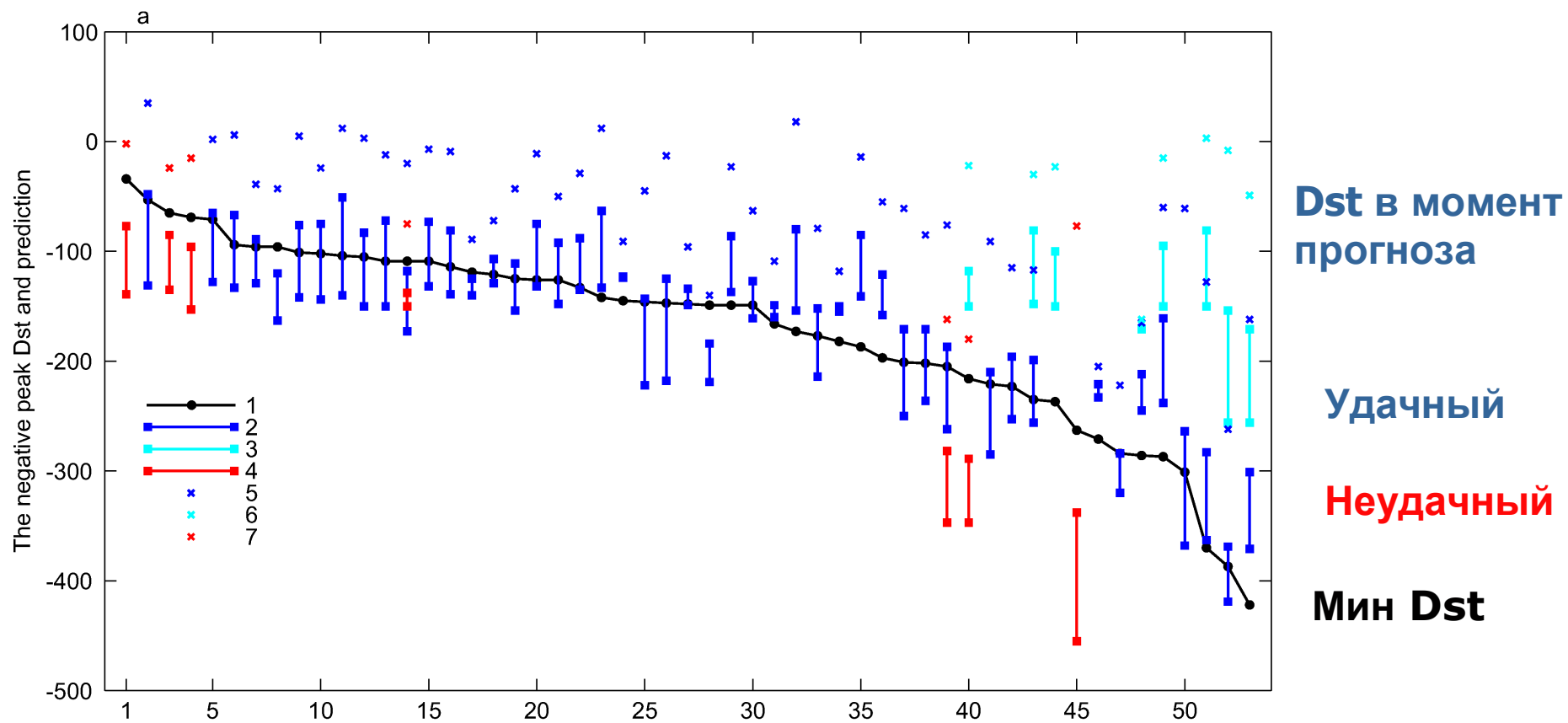
# пример супер-бури





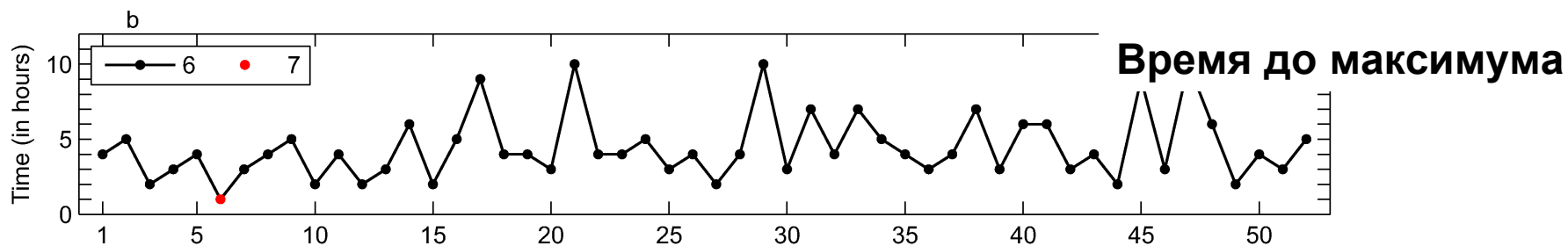
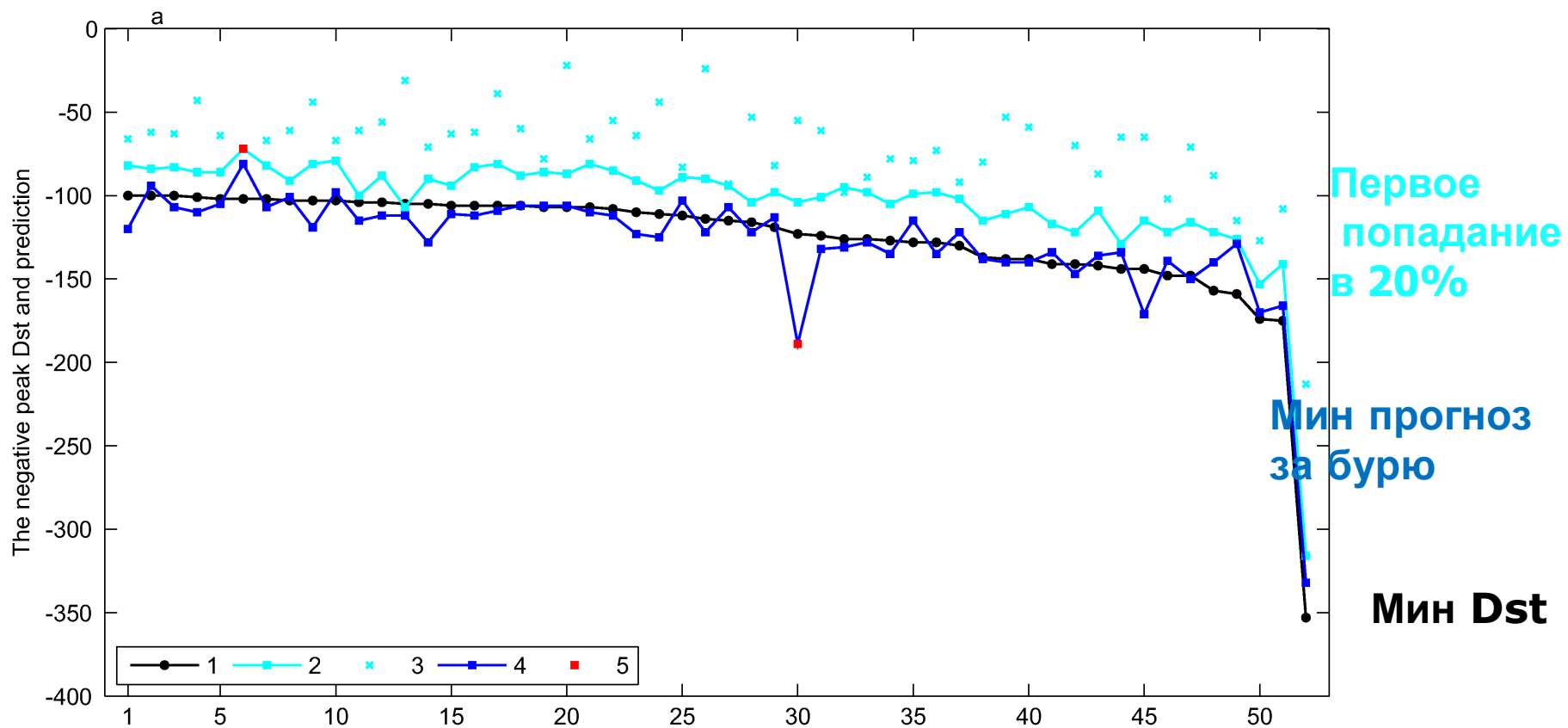
# статистика «внезапных» бурь Dst<sub>≤</sub>-100 нТл

1995-  
2010



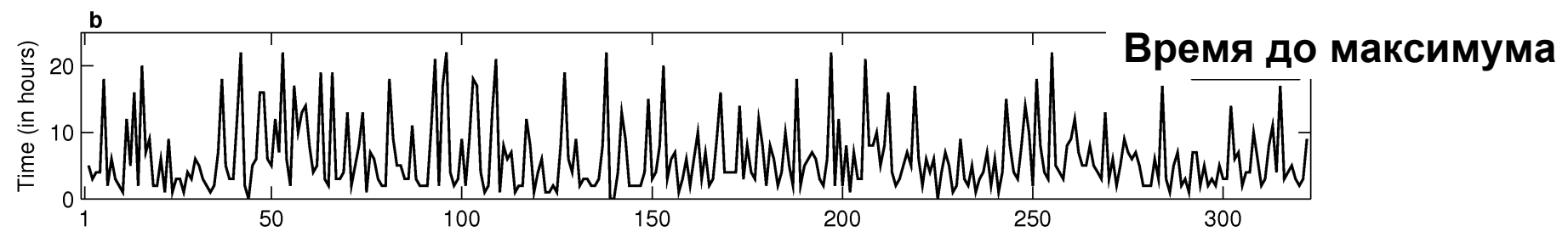
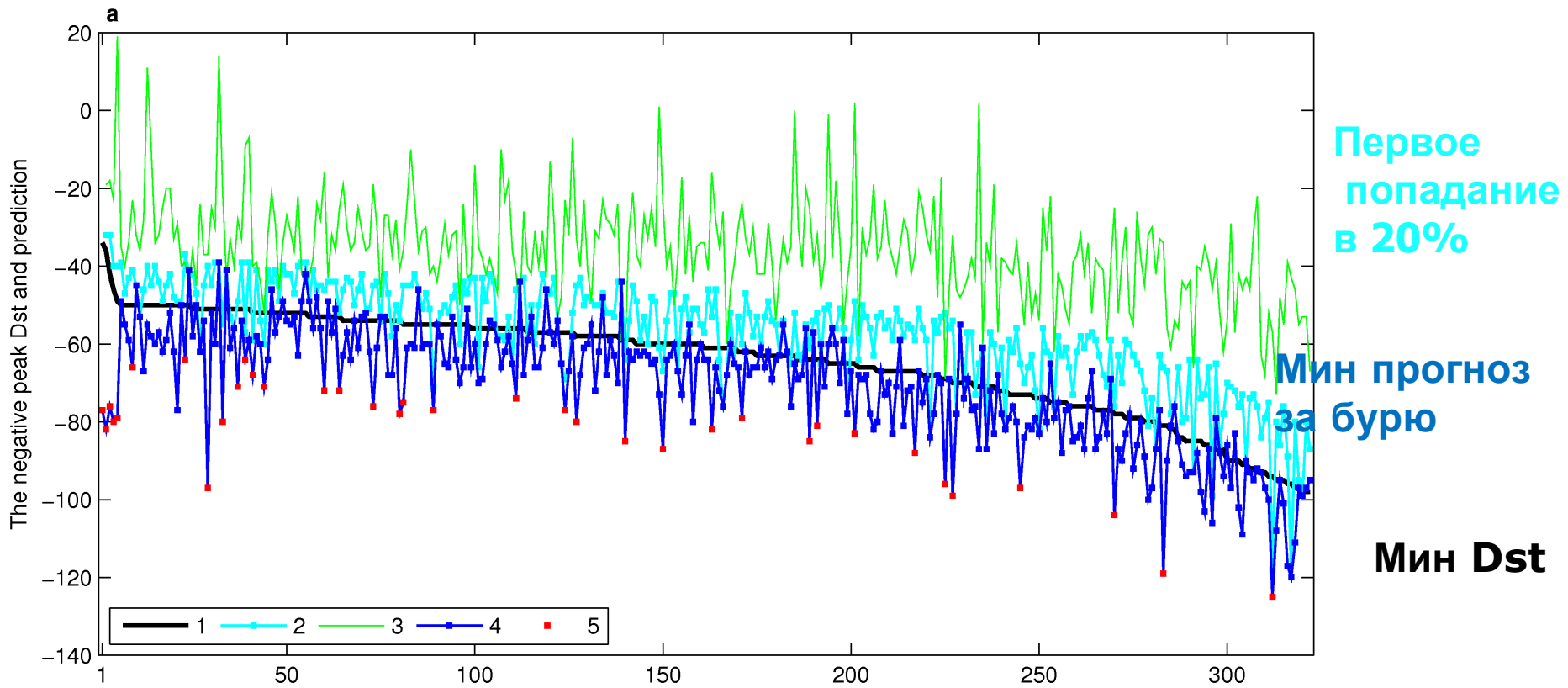
# статистика «постепенных» бурь $Dst \leq -100$ нТл

1995-  
2010



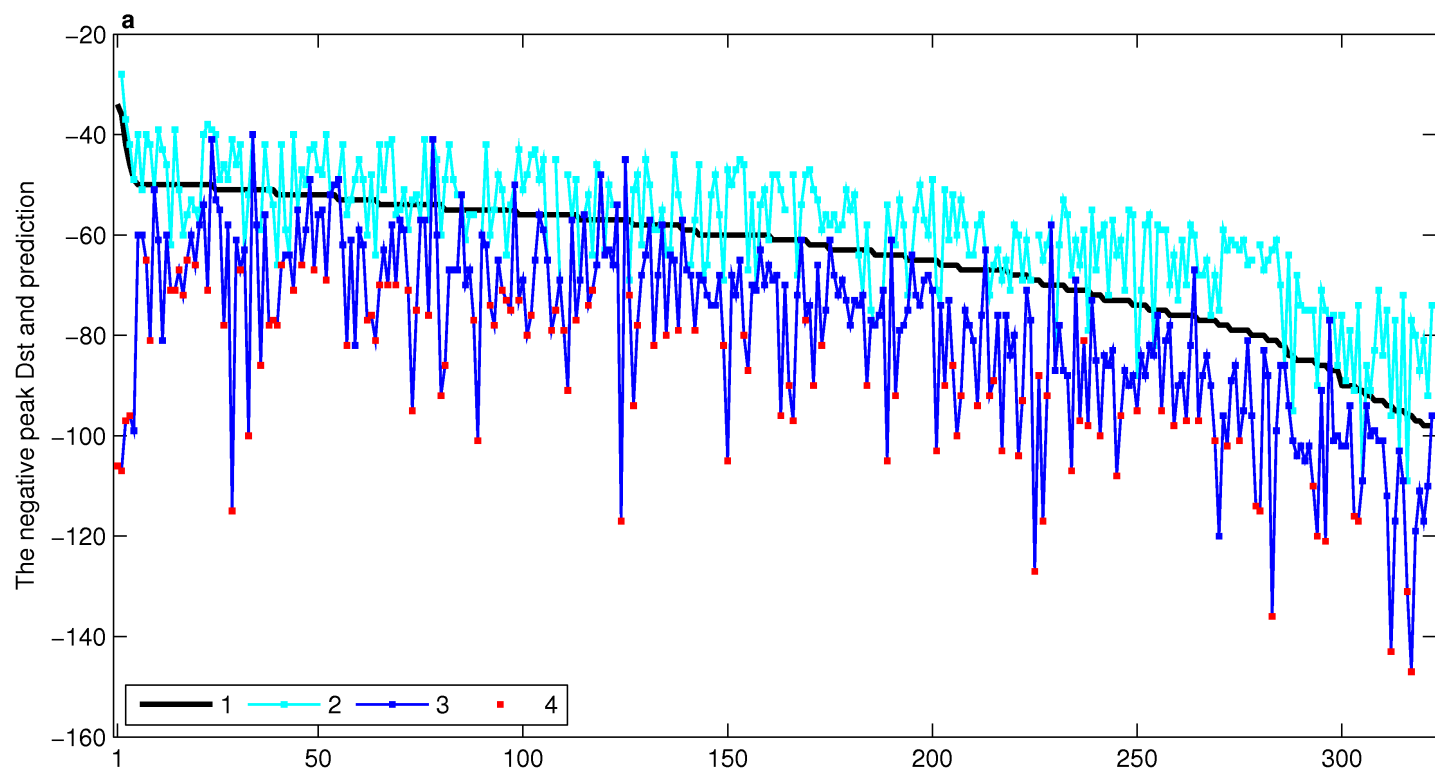
статистика «постепенных» бурь  
 $-100 < Dst \leq -50$  нТл

1995-  
2010



1995-  
2010

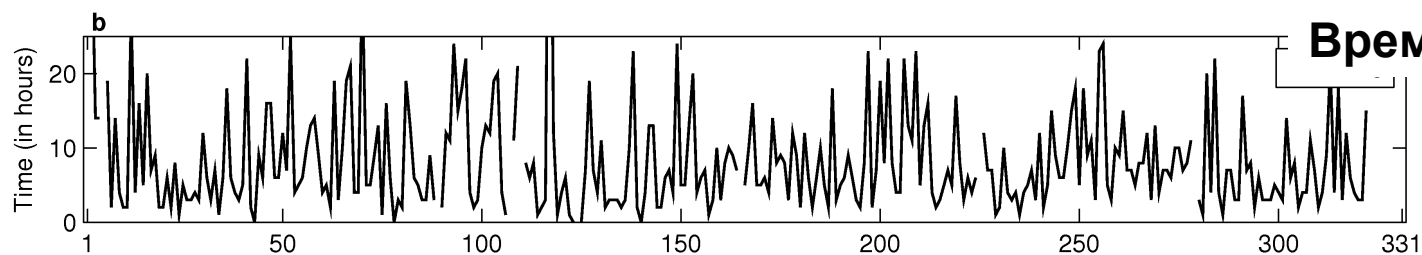
статистика «постепенных» бурь  
 $-100 < Dst \leq -50$  нТл  
вариант с прогнозом на 5 часов



Первое  
попадание  
в 20%

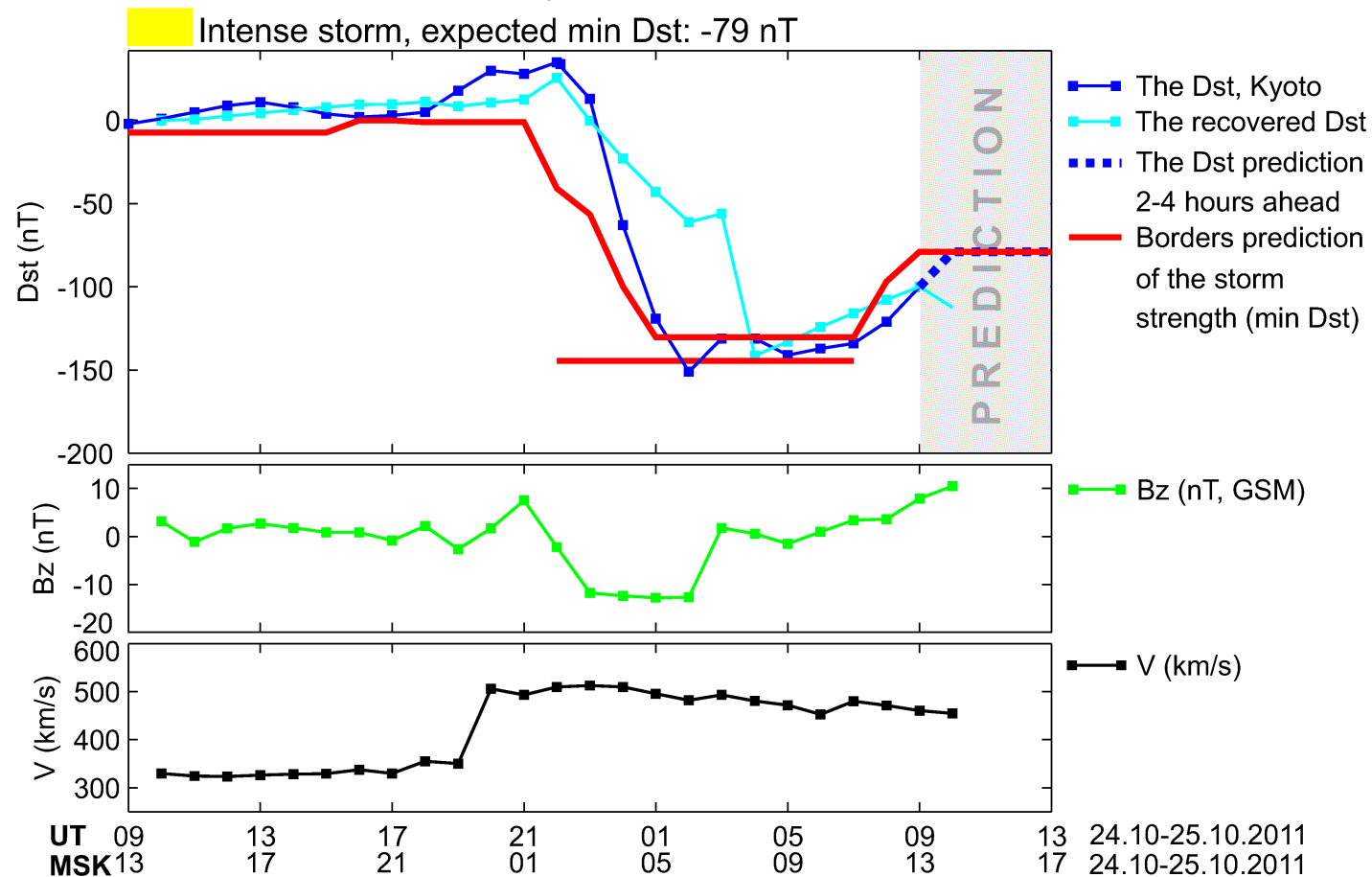
Мин прогноз  
за бурю

Мин Dst



# www.spaceweather.ru

Forecast of geomagnetic storm and Dst index  
for the next several hours  
www.spaceweather.ru



Real-time ACE magnetic field and solar wind speed are shifted forward, accounting for L1 - Earth propagation

# Выводы

- 1. Прогноз на несколько часов вперед дает оценку максимума бури, при предположении постоянного СВ. Время наступления максимума не предсказывается.**
- 2. Оптимальная заблаговременность прогноза 3 часа (номинально, в среднем 6 часов). Большие бури предсказываются лучше.**
- 3. При трехчасовом прогнозе вероятность ложной тревоги (более 20%) - 10%. Пропуски маловероятны.**
- 4. Качественно согласуется с другими прогнозами, но в отличие от остальных опубликован полностью.**
- 5. можно рекомендовать на следующем этапе объединение с методами, учитывающими структуру солнечного ветра (например, по методу комитета экспертов)**