

## ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ РАСПАДА КОЛЬЦЕВОГО ТОКА СУПЕРБУРИ 20 НОЯБРЯ 2003 г.

Ю.А. Караваев, Ю.В. Кузьминых, В.М. Мишин

## ESTIMATION OF DECAY TIME OF THE NOVEMBER 20, 2003 SUPERSTORM RING CURRENT

Yu.A. Karavaev, Yu.V. Kuz'minikh, V.M. Mishin

Время распада DR-тока  $\tau_T$  вычислено с шагом 5 мин по данным супербури 20.11.03. Использовалось известное уравнение Десслера–Паркера–Скопке и индексы SYM-H. Значения  $Q_{DR}$  мощности DR-тока определены на основе нового подхода, где  $Q_{DR} = \epsilon' - Q_i$ . Входная мощность  $\epsilon'$  и мощность бури  $Q_i$ , выделяемая в ионосфере, вычислены с помощью техники инверсии магнитограмм ТИМ-2. Значения  $\tau_T$  сопоставлены со значениями  $\tau_0$  и  $\tau_G$ , вычисленными на основе двух основных известных эмпирических моделей. Время  $\tau_T$  изменяется в ходе супербури от ~10 мин до ~2 ч коррелировано с наблюдаемыми изменениями шести ранее выделенных режимов супербури. Значения  $\tau_0$  и  $\tau_G$  отличаются от  $\tau_T$  в несколько раз, еще сильнее они различаются между собой, и их изменения в ходе супербури (особенно  $\tau_0$ ) не коррелируют с наблюдаемыми изменениями режимов суббури.

Впервые получена эмпирическая шкала  $\tau$  для семи различных режимов магнитосферного возмущения.

The decay time of DR-current  $\tau_T$  has been calculated in discrete 5-min steps using 20.11.2003 superstorm data. The well-known Dessler–Parker–Scopke equation and SYM-H indices are used.  $Q_{DR}$  values of DR current power are determined on the basis of new method in which  $Q_{DR} = \epsilon' - Q_i$ . Input power  $\epsilon'$  and storm power  $Q_i$  in the ionosphere are calculated using the magnetogram inversion technique (TIM-2). The  $\tau_T$  values are compared with  $\tau_0$  and  $\tau_G$  values calculated from two basic known empirical models. The time  $\tau_T$  varies from ~10 min to ~2 h during the superstorm and correlates with the observed variations of superstorm six regimes selected before. Values of  $\tau_0$  and  $\tau_G$  differ from  $\tau_T$  a few times. They differ still more between themselves and their variations during the storm (especially  $\tau_0$ ) do not correlate with the observed variations of substorm regimes.

The empirical scale  $\tau$  for seven different regimes of magnetospheric disturbance was first obtained.

### Введение

Время распада кольцевого тока  $\tau$  – один из основных параметров энергетики магнитосферы. Известны две основные эмпирические модели изменений  $\tau$  в ходе бури. В модели 1 используют  $\tau = \tau_0$  – функцию электрического поля солнечного ветра [1]. В модели 2 используется  $\tau = \tau_G$  – функция интенсивности кольцевого тока  $D_{st}/\text{SYM-H}$  [2]. В модели 1 выполняется  $4 \leq \tau_0 \leq 20$  ч. В модели 2, в основном диапазоне для суббури,  $0.25 \leq \tau_G \leq 4$  ч. Модель 1 не учитывает влияние на  $\tau$  процессов внутри магнитосферы и, следовательно, суббури. Модель 2, в свою очередь, игнорирует двойственную природу кольцевого тока, который контролируется как процессами суббури, так и параметрами солнечного ветра.

В настоящем сообщении по данным супербури 20 ноября 2003 г. (0–14 UT) опробован новый подход, в котором время распада DR-тока  $\tau = \tau_T$  вычисляется как функция входного потока Пойнтинга  $\epsilon'$  и выделяемой в ионосфере мощности  $Q_i$ , контролируемой процессами суббури. Для вычисления мощности  $Q_{DR}$  кольцевого тока использовались техника инверсии магнитограмм ТИМ-2 и уравнение  $Q_{DR} = 0.5(\epsilon' - Q_i)$  с поправками за  $\lambda$  и  $\beta$  [3–6]. Значения  $\tau_T$  вычислены на основе уравнения  $Q_{DR} = 2 \cdot 10^{13} (dS/dt - \langle S \rangle / \tau_T)$ , где  $S$  – известный индекс SYM-H,  $\langle S \rangle$  – значение  $S$ , приведенное к среднему уровню динамического давления солнечного ветра  $P_d$  [6].

### Режимы супербури

Графики на рис. 1 показывают, как изменялись граничные условия и индекс  $AE$  в ходе рассматриваемой супербури. Вертикальные штриховые линии

отмечают границы следующих семи режимов возмущения, которые были таймированы и описаны Мишиным и др. [4]:

- 1) слабая ( $AE < 500$  нТл) изолированная суббури (03:00–04:17 UT);
- 2) умеренные ( $AE$  до ~800 нТл), скорее управляемые, чем спонтанные, возмущения (04:17–08:02 UT);
- 3) переходный режим быстрого усиления  $P_d$  – динамического давления солнечного ветра при южном ММП (08:02–08:24) UT;
- 4) стационарный режим высокого  $P_d$  (08:24–10:30 UT);
- 5) режим «нулевого отклика магнитосферы» на поворот ММП на север и одновременного сильного (на порядок величины) уменьшения  $P_d$  (10:30–11:12 UT) [7];
- 6) инициированный резким ростом поступающей в магнитосферу мощности  $\epsilon$  режим перераспределения  $\epsilon$  между ионосферой и кольцевым током (11:12–12:10 UT);
- 7) режим управляемой супербури с наложением спонтанных суббури при экстремальных значениях  $\epsilon \sim 10^{13}$  Вт (12:10–14:00 UT).

### Результаты и обсуждение

Графики  $\tau_T$  и промежуточные данные показаны на рис. 2. Видно, что значения  $\tau_T$  отчетливо изменяются на границах всех перечисленных выше семи режимов супербури, таймированных независимо. При переходах от режима 1 к режимам 1–7 характерные значения  $\tau_T$  в часах составляют ~0.7, 1.5, 0.15, 0.3, 0.6, 0.2, 0.3 при уровне шумов ~ 20 % от средних значений  $\tau_T$  в каждом режиме.

С другой стороны, значения  $\tau_0$  и  $\tau_G$  отличаются от  $\tau_T$  в несколько раз, еще сильнее они различаются

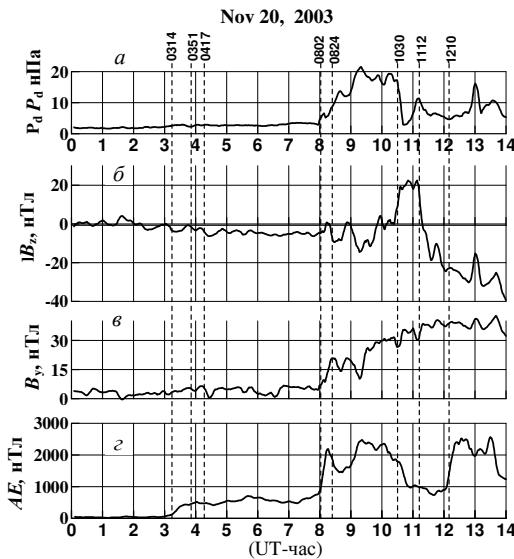


Рис. 1. Исходные параметры для супербури 20.11.2003 г., интервал 00:00–14:00 UT. Сверху вниз: графики изменения параметров динамического давления  $P_d = n m_p V^2 \cdot 10^6$  (нПа) (a); компонент ММП  $B_z$  и  $B_y$  (нТл) по данным ACE (б, в); индексы авроральной активности  $AE$  (г). Вертикальными линиями отмечены границы отдельных режимов супербури (см. текст).

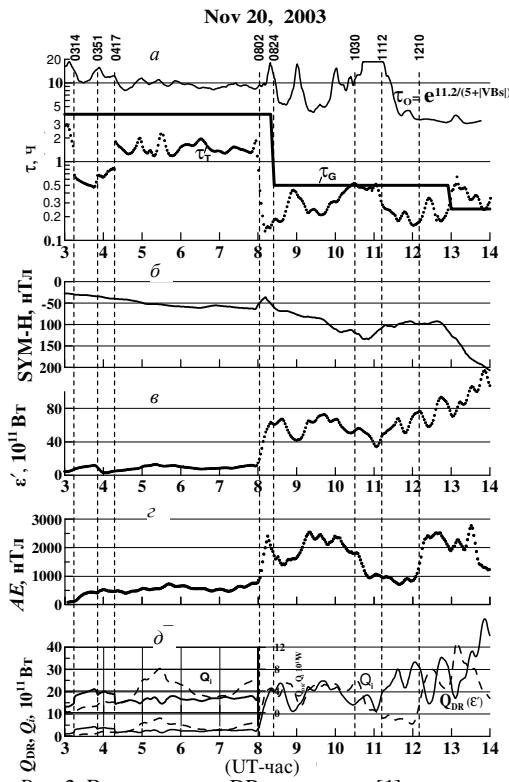


Рис. 2. Время распада DR-токов  $\tau$ : по [1],  $\tau_0$  – тонкая линия; по [2] и др.,  $\tau_G$  – толстая линия; по новой модели,  $\tau_T$  – точки (a); индекс SYM-H, исправленный за динамическое давление СВ [6] (б); изменение потока вектора Пойнтинга из солнечного ветра в магнитосферу  $\epsilon'$  [8] (с); индексы авроральной активности  $AE$  (г); полная мощность, рассеиваемая в ионосфере  $Q = 2Q_i(1 + 0.33)$ , и мощность кольцевого тока  $Q_{DR} = 0.5(Q - Q_i)$  (д).

между собой, и их изменения в ходе супербури (особенно  $\tau_0$ ) не коррелируют с наблюдаемыми изменениями режимов суббури.

### Заключение

Впервые получена эмпирическая шкала  $\tau$  для всех семи рассмотренных различных режимов магнитосферного возмущения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O'Brian T.P., McPherron R.L. An empirical space analysis of ring current dynamics: Solar wind control of injection and decay // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. P. 7707–7719.
2. Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Gonzalez A.L.C., et al. Solar wind magnetosphere coupling during intense magnetic storms (1978–1979) // Ibid. 1989. V. 94, N A7. P. 8835–8851.
3. Mishin V.M., Shirapov D.S., Golovkov V.P., Forster M. Field-aligned currents of region 0 as an electric shield of the polar cap ionosphere / Auroral phenomena and solar-terrestrial relations // Proceedings of the Conference in memory of Yuri Galperin. 3–7 February 2003. CAWSES Handbook-1. P. 121–127.
4. Мишин В.М., Форстер М., Сайфудинова Т.И. и др. Спонтанные суббури и упорядоченный тип магнитосферных возмущений во время супербури 20 ноября 2003 // Геомагнетизм и астрономия. 2007. Т. 47. С. 457–469.
5. Караваев Ю.А., Сапронова Л.А., Базаржапов А.Д. и др. Энергетика магнитосферной супербури 20 ноября 2003 г. // Солнечно-земная физика. 2006. Вып. 9. С. 34–40.
6. Turner N.E., Baker D.N., Pulkkinen T.I., et al. Energy content in the storm time ring current // J. Geophys. Res. 2001. V. 106, N A9. P. 19,149–19,156.
7. Lyons L.R., Lee D.-Y., Wang C.-P., et al. Global auroral responses to abrupt solar wind changes: dynamic pressure, substorm, and null events // Ibid. 2005. V. 110, N A08208. doi:10.1029/2005JA011089.
8. Mishin V.M. The magnetogram inversion technique and some applications // Space Sci. Rev. 1990. V. 53. P. 83–163.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск