

ПИСЬМО
В РЕДАКЦИЮ

УДК 550.385

КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИСТЕМЫ
МАГНИТОСФЕРА–ИОНОСФЕРА

© 2013 г. В. М. Мишин¹, З. Пу², В. В. Мишин¹, С. Б. Лунюшкин¹

¹Институт Солнечно-Земной Физики СО РАН, г. Иркутск

²Пекинский Университет, г. Пекин, Китай

e-mail: mishin@iszf.irk.ru

Поступила в редакцию 13.05.2013 г.

Впервые описаны следующие особенности суббури в полярной ионосфере и хвосте, включая его дальнюю часть: (1) когерентные изменения мезомасштабных вихрей и продольных токов магнитосферно-ионосферной (М-И) системы; (2) неустойчивость короткого замыкания токов ионосферной части М-И системы; (3) сосуществование Y- и X-токов, как необходимых элементов М-И системы. Эти новые блоки сценария суббури принципиально важны для понимания основных процессов в среднем/ближнем хвосте.

DOI: 10.7868/S0016794013060084

Мы рассматриваем 3 типа сценария, различающихся по расположению магнитосферных процессов, создающих суббурю. Альтернативные сценарии типа I описывают процессы в среднем и ближнем к Земле хвосте [Sergeev et al., 2012 и ссылки там], сценарии типа II дополняют описание суббури в дальнем, замкнутом и открытом хвосте [Nishimura et al., 2010; Lyons et al., 2012; Lu-

nyushkin et al., 2012]. Несмотря на различия, оба эти сценария учитывают разрыв тока утро-вечер (Y-тока) в плазменном слое (CD) и образование токового клина суббури (SCW) – как основные процессы суббури, ведущие к expansion onset (EO). Сценарий III предложен недавно [Lui and Kamide, 2003; Akasofu, 2013]. Процесс EO в этом сценарии создан усилением в ближнем хвосте не Y-тока, а X-тока. Таким образом, три описанных выше сценария не согласуются принципиально. Поэтому ниже предлагается возмущенная М-И система токов и конвекции плазмы, в которой впервые учтены наблюдаемые одновременно конвекционные вихри среднего (мезо) масштаба и система продольных токов (ПТ). Система охватывает как средний/ближний, так и дальний хвост, и позволяет видеть, что упомянутые Y- и X-токи сосуществуют и оба являются необходимыми элементами. В целом, обеспечиваются мосты, соединяющие три названных сценария.

На рисунке 1 показаны карты распределения в 2D-ионосфере электрического потенциала U (рис. 1a) и плотности ПТ (рис. 1б) для моментов 0407 UT и 0408 UT – начала и конца интервала, внутри которого произошел EO. Карты рассчитаны по данным наземных магнитометров типичной умеренной суббури 27.08.01 с шагом 1–5 мин, использована традиционная база данных техники инверсии магнитограмм (ТИМ) [Mishin et al., 2011 и ссылки там]. Толстые линии отмечают границы трех Зон Ииджимы и Потемры (И-П): R0 (полярная шапка), R1 и R2. Тонкие линии на рис. 1a образуют два крупномасштабных вихря изолиний электрического потенциала, соответствующих линиям конвекции плазмы. Вдоль сплошных линий плазма течет против часовой

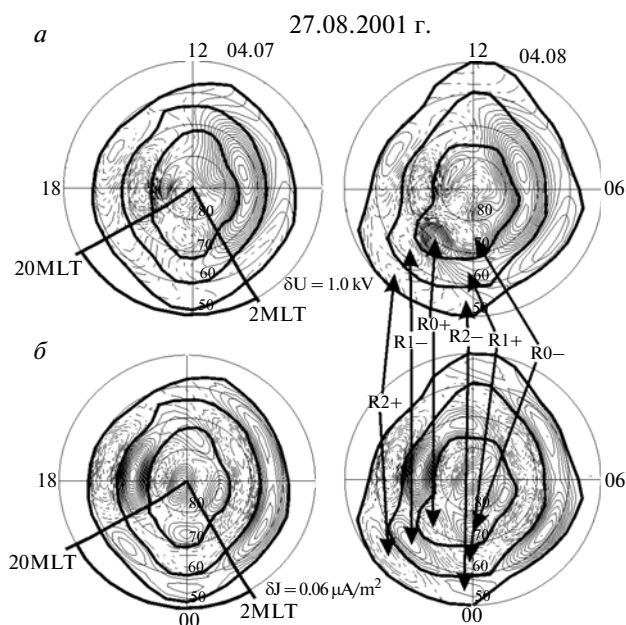


Рис. 1. Пространственные распределения электрического потенциала (a) и плотности ПТ (б) в высокоширотной ионосфере для начала взрывной фазы суббури.

стрелки, а вдоль пунктирных — по часовой стрелке. Внутри каждого из крупномасштабных вихрей можно видеть мезомасштабные вихри. Аналогичная система конвекции ясно прослеживается в ходе суббури, начиная с середины ее growth phase (данные не показаны). Мезомасштабные вихри наблюдаются до появления ЕО и усиливаются скачком в ходе ЕО, что видно на рис. 1а при сравнении карт в 0407 и 0408 UT. Скачок прослеживается *даже и особенно* в полярной шапке (R0+, например). Это два важных факта, на которые мы будем ссылаться в заключении.

На рисунке 1а видны три пары мезомасштабных вихрей в R0, R1, и R2, а на рис. 1б — три пары точек максимума плотности ПТ, тоже по одной паре в каждой зоне И-П. Дополним обозначения R0, R1, R2 знаками “+” и “-”, где знак плюс обозначает втекающий в ионосферу ПТ и вращение плазмы против часовой стрелки, а знак минус обозначает вытекающий ПТ и вращение по часовой стрелке. Сравнивая рис. 1а и 1б, можно видеть (особенно четко в 0408 UT), что расположения максимума ПТ и центра вихря плазмы в каждой из трех зон И-П совпадают. Это позволяет описать 2D-схему расположения в ионосфере проекций мезомасштабных вихрей и шести областей ПТ: R0+, R0-, R1+, R1-, R2+, R2-, приведенную на рис. 2, где также показаны направления N-S и утро-вечер и система ионосферных токов Педерсена, замыкающих ПТ противоположных знаков. Вертикальные линии со стрелками соответствуют ионосферным *меридиональным* токам Педерсена. Горизонтальная линия — *азимутальный* компонент педерсеновского тока AEJ-W. Показан также генератор в области CD, питающий непосредственно ПТ R1+, откуда токи Педерсена растекаются в R0-, R2- и на запад внутри R1 [Akasofu, 2013; Mishin et al., 2011]. Символ DRP-1 отмечает частичный кольцевой ток утро-вечер во внутренней магнитосфере. Символом DRP-2 обозначен ток того же направления, который мы вводим в модель, чтобы замкнуть ПТ R0+ и R0-. Отметим, что как азимутальные, так и меридиональные ионосферные токи Педерсена на рис. 2 замкнуты в ионосфере Y-током вечер-утро внутри генератора CD. Эта схема цепи М-И токов суббури не противоречит основам концепции типа I, свободна от ее недостатков (см. раздел 1), и ведет к новым выводам.

Рисунок 3 иллюстрирует когерентные изменения в ходе суббури AE-индекса и полного тока в каждой локальной области ПТ. Эти данные подтверждают, что начало ЕО произошло в интервале 0407–0408 UT, и *охватывает три зоны И-П, включая R0*. Отсюда, X-размер охваченного объема превышает 100 Re. Соответствующая скорость *магнитосферного* распространения сигнала ЕО в долях хвоста от генератора в область CD (ближний или средний хвост) превышает 10000 км/с,

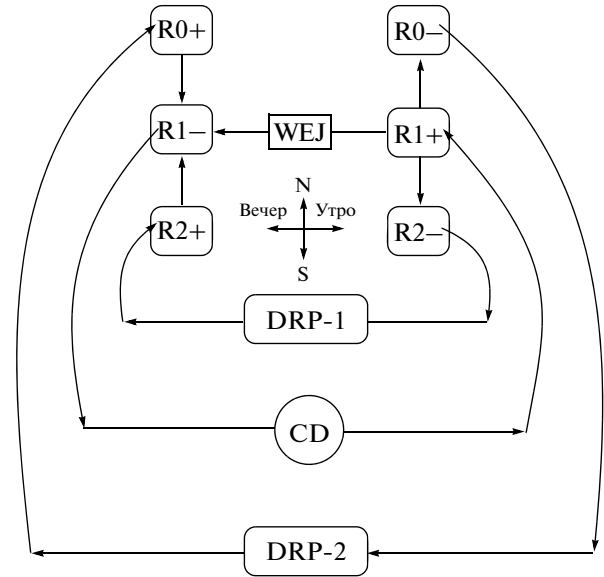


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема системы магнитосфера-ионосфера для взрывной фазы суббури.

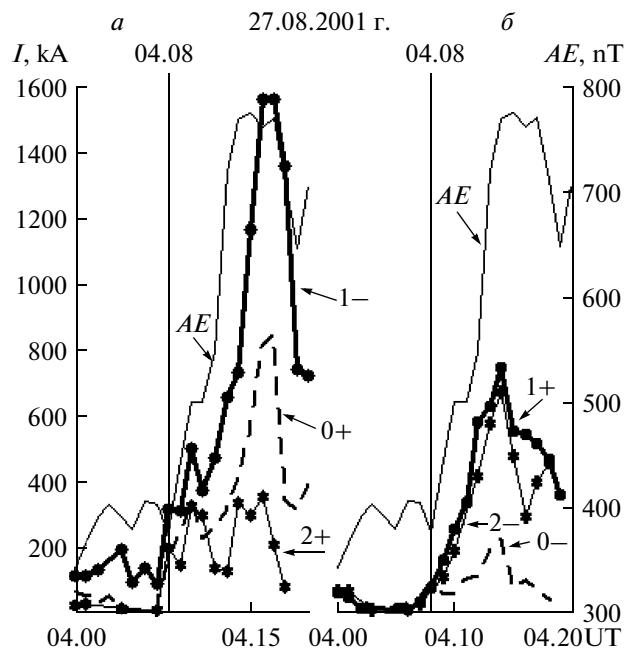


Рис. 3. Поведение AE-индекса (тонкая линия) и ПТ на вечерней (а) и утренней стороне (б). Интенсивности ПТ показаны линиями: сплошной со звездочками — I_{R2} , толстой сплошной с точками — I_{R1} , пунктирной — I_{R0} . Знаки плюс — втекающий ПТ, минус — вытекающий.

что в разы превышает ожидаемые значения. Этот факт предполагает, что для возникновения ЕО необходимо короткое замыкание М-И цепи токов *через ионосферу*, т.е. соответствующий рост электропроводности ионосферы (Σ) в М-И системе. Мы отмечаем 6 подтверждающих фактов и

выводов. Согласно данным рис. 3, скорость роста вытекающего ПТ R1- в разы превышает таковую для ПТ R1+ (1). Эта деталь – признак роста Σ , создаваемого высыпавшимися электронами ПТ R1- (2). Отсюда следует положительная обратная связь между изменениями вытекающих ПТ и Σ , т.е. неустойчивость короткого замыкания токов цепи М-И (3). Как можно видеть на рис. 3, эта нелинейная связь между ПТ и Σ в R1- оказывается в разы сильнее, чем в R2- и R0- (4). Этот факт – ожидаемый, так как известно, что в R1- проводимость ионосферы до начала ЕО в разы больше, чем в R2- и в R0 (5). Особо важная роль в суббуре, отводимая области R1-, и нелинейный характер связи ПТ и Σ проявляются также в том, что expansion onset в авроральных стримерах и развитии WEJ наблюдаются именно в этой области [Weimer, 2001] (6).

В целом, предложены три новых блока сценария суббури (когерентные изменения мезомасштабных вихрей и ПТ; неустойчивость короткого замыкания ионосферных токов М-И системы и сосуществование Y- и X-токов, как необходимых элементов М-И системы), которые принципиально важны для понимания основных процессов в среднем и ближнем хвосте и позволяют составлять различные сценарии суббури.

Мы благодарны Д. Бэйкеру (Университет Колорадо) и Н.Г. Клейменовой (ИФЗ РАН, Москва) за ряд ценных, учтенных нами замечаний.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 12-05-91159-ГФЕН_а, № 13-05-92219-Монг_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Akasofu S.I. The relationship between the magnetosphere and magnetospheric/auroral substorms // *Ann. Geophys.* V. 31. № 3. P. 387–394. 2013.
- Lui A.T.Y., Kamide Y. A fresh perspective of the substorm current system and its dynamo // *Geophys. Res. Lett.* V. 30. №18. doi:10.1029/2003GL017835. 2003.
- Lunyushkin S.B., Mishin V.M., Mishin V.V. Pre-onset dynamics of the global systems of convection, ionospheric and field-aligned currents // *Proc. 9-th Int. Conf. “Problems of Geocosmos”*, St. Petersburg, Russia, 08–12 Oct. 2012, P. 301–305, St.-Pb. Univ. Russia. 2012.
- Lyons L.R., Nishimura Y., Kim H.-J. et al. Possible connection of polar cap flows to pre- and post-substorm onset PBIs and streamers // *J. Geophys. Res.* V. 116. № A12. A12225. doi:10.1029/2011JA016850, 2011.
- Mishin V.M., Foerster M., Kurikalova M.A. et al. The generator system of field-aligned currents during the April 06, 2000, superstorm // *Adv. Space Res.* V. 48. № 7. P. 1172–1183. 2011.
- Nishimura Y., Lyons L.R., Zou S. et al. Preonset time sequence of auroral substorms: Coordinated observations by all-sky imagers, satellites, and radars // *J. Geophys. Res.* V. 115. A00I08, doi:10.1029/2010JA015832, 2010.
- Sergeev V.A., Angelopoulos V., Nakamura R. Recent advances in understanding substorm dynamics // *Geophys. Res. Lett.* 39(5), L05101. doi:10.1029/2012GL050859, 2012.
- Weimer D.R. Maps of ionospheric field-aligned currents as a function of the interplanetary magnetic field derived from Dynamics Explorer 2 data// *J. Geophys. Res.* V.106. A7, P.12,889–12.902, 2001.