

УДК 550.383

ОСОБЕННОСТИ ВСТРЕЧНОГО ДВИЖЕНИЯ СУББУРЕВЫХ АВРОРАЛЬНЫХ АКТИВИЗАЦИЙ

© 2012 г. Т. А. Корнилова, И. А. Корнилов

ФГБУ науки Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, (Мурманская обл.)

e-mail: kornilova@pgia.ru, kornilov@pgia.ru

Поступила в редакцию 19.04.2011 г.

По данным станций авроральной зоны Ловозеро, Лопарская и Туманный, с использованием эффективных методов фильтрации телевизионных изображений, анализируется динамика дрейфующих к экватору северных структур сияний и движущихся на север в это же время ярких авроральных форм суббуревых активизаций на юге. Обнаружен принципиально новый факт прохождения дрейфующих на юг структур северных активизаций через распространяющиеся на север сияния южных активизаций. Эффект проявляется статистически, и отчетливо виден только на фильтрованных кеограммах. Его наличие, возможно, означает, что северные структуры и активные сияния брейкапа на юге имеют принципиально различные источники и вызваны различными физическими механизмами ускорения и высыпания электронов.

1. ВВЕДЕНИЕ

Во время сильных и/или продолжительных возмущений в околополночном секторе часто происходят одновременные активизации сияний вблизи одного меридиана, но на разных широтах [Kamide et al., 1977; Elphinstone, 1995; Lazutin et al., 2002]. При этом наблюдается встречное движение авроральных форм южного брейкапа на север и северного на юг. Динамика сияний для таких ситуаций была рассмотрена в работе [Корнилова и др., 2001]. Обычно активизации в высоких широтах, называемые PBI (Polar boundary Intensifications), начинаются на 10–15 мин раньше активизаций в южной части аврорального овала [Kornilov et al., 2000; Корнилова и др., 2001]. В работе [Корнилова и др., 2001] были проанализированы разные сценарии развития сияний после контакта северного и южного брейкапов и дана интерпретация наблюдаемого явления в рамках модели спонтанного пересоединения с двумя нейтральными линиями в хвосте магнитосферы. В работах [Корнилова, 2006; Kornilova, 2008; Nishimura, 2010] было показано, что дрейфующие с севера структуры (дуги или фрагменты дуг) могут быть предвестниками взрывной фазы суббури; достигая предбрейкаповой дуги, они инициируют начало брейкапа.

Как известно, PBI происходят и после начала суббури, развивающейся в экваториальной области аврорального овала [Voronkov et al., 2004; Akasofu et al., 2010 и ссылки в ней]. Движение дуг от северной границы к экватору в течение 5–10 мин после начала T_0 отмечалось еще в 1996 г. в работе [Orgenoorth et al., 1996]. Однако вопрос о том, что происходит со структурами, дрейфующими к югу

от полюсного края овала в дальнейшем, после контакта с расширяющейся к полюсу южной активизацией сияний, остается совершенно открытым. Детальное исследование этого явления позволит лучше понять механизм магнитосферной суббури и процессы ускорения и высыпания ответственных за сияния энергичных электронов.

Данная работа посвящена исследованию динамики движущихся навстречу друг другу (с юга на север, и с севера на юг) авроральных активизаций, наблюдаемых во время суббури.

2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Для исследования динамики сияний были использованы телевизионные данные, полученные в обсерваториях Полярного геофизического института Ловозеро (64.22° N, 114.6° E), Лопарская (64.94° N, 113.6° E) и Туманный (65.24° N, 115.9° E) с помощью ТВ камер с высоким пространственным и временным разрешением и полем зрения ~180°. Применяемые для обработки телевизионных данных методы позволяют строить кеограммы вдоль профиля произвольной формы, ориентации и положения на телевизионном кадре, и обнаруживать и анализировать предельно слабые по интенсивности свечения и их динамику. Детальное описание телевизионной аппаратуры и методов обработки ТВ изображений, использованных в данной работе, подробно изложены в статьях [Корнилов и др., 2008; Kornilova et al., 2008]. Для оценки геофизических условий использовались данные о параметрах солнечного ветра и ММП и наземные магнитные данные обсерваторий Лово-

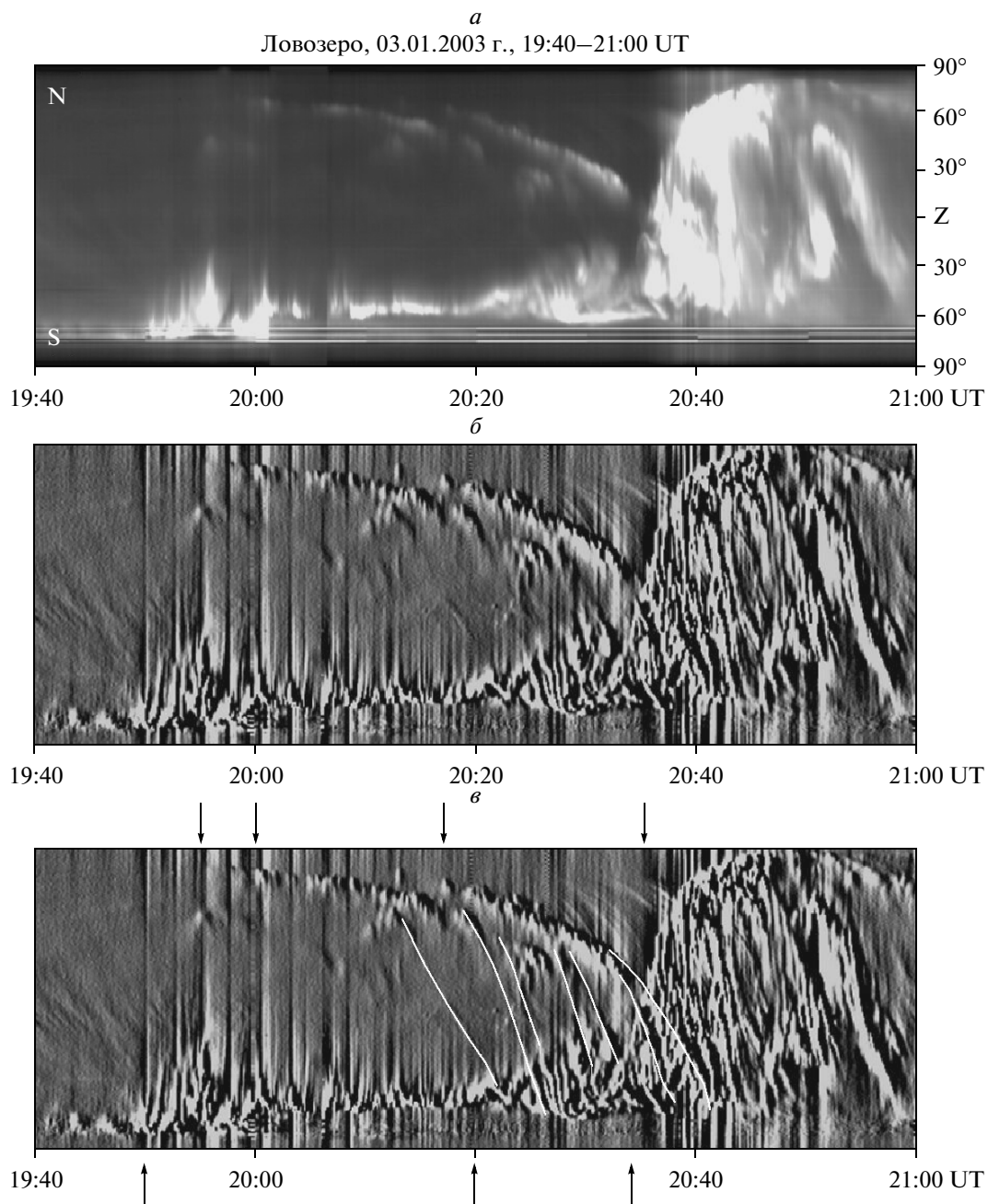


Рис. 1. Стандартная (*a*) и фильтрованные (*б, в*) кеограммы обс. Ловозеро 3 января 2003 г. Вертикальная шкала на кеограммах дана в градусах зенитного угла. Вертикальными стрелками обозначены моменты начала активизаций на севере и на юге.

зеро, Лопарская, Туманный и скандинавской сети магнитометров IMAGE.

3. АНАЛИЗ ДАННЫХ

Проанализировано большое количество ТВ записей полярных сияний и стандартных и фильтрованных кеограмм в периоды суббурь, когда активизации сияний наблюдались на приполюсной и экваториальной кромках аврорального овала.

Особое внимание было уделено тонкой структуре сияний в пространственно-временной окрестности контакта движущихся навстречу авроральных форм.

Пример взаимодействия движущихся навстречу структур во время аврорального возмущения 3 января 2003 г. по данным обс. Ловозеро представлен на рис. 1. Вверху – стандартная кеограмма (*a*), под ней две фильтрованные кеограммы (*б, в*) в направлении север–юг. На кеограммах с 19:55 UT

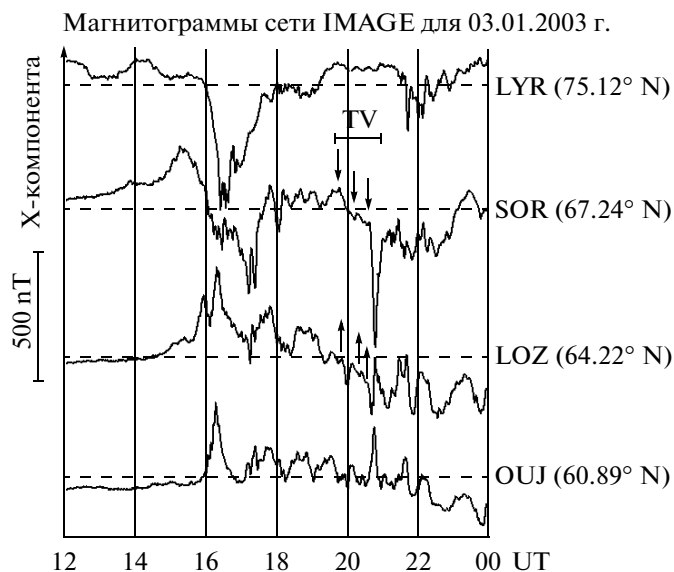


Рис. 2. Магнитограммы станций Lyr, Sor, Loz, Ouj. В скобках указана исправленная геомагнитная широта. Горизонтальным отрезком TV обозначен интервал, соответствующий кеограмме на рис. 1. Вертикальные стрелки — моменты начала активизаций на севере и на юге, видимые на кеограммах рис. 1.

видна приполюсная граница овала и очень слабые структуры, отделяющиеся от нее и дрейфующие к югу. Вертикальные стрелки над и под кеограммой (в) указывают начало активизаций в северной и южной частях аврорального овала. На кеограмме (в) слабые структуры для большей наглядности выделены белыми линиями. Слабые структуры с 19:40 до 19:55 UT в южной части кеограмм не отмечены, так как они относятся к предыдущим активизациям на севере с 18:10 UT, не входящим в интервал кеограмм. Следы северных структур, приближаясь к активизациям сияний на юге, проходят сквозь них, продолжая дрейфовать к экватору. Это характерно как для псевдобрейкапа в 19:50, так и для двух последующих активизаций на юге в 20.:20 и 20:34 UT. Особенно наглядно взаимодействие северных и южных сияний видно для интервала времени примерно 20:34–20:42 UT. Северная структура, активизировавшаяся в 20:17 UT, двигаясь к югу, затухает перед встречей с сияниями южного брейкапа (20:33 UT), затем следы ее явно проходят через южный брейкап, образуя в нем слабые характерные возмущения (20:35–20:42 UT). Следует подчеркнуть, что наблюдаемый эффект не является каким-либо паразитным процессом, связанным, например, с туманом или особенностями фильтрации, что специально и тщательно проверялось.

На магнитограммах станций Lyr, Sor, Loz и Ouj на рис. 2 горизонтальным отрезком TV над X-компонентой в Sor, обозначен временной ин-

тервал кеограммы рис. 1. Вертикальными стрелками над X-компонентой Sor и Loz отмечены моменты, соответствующие активизациям на севере и на юге на кеограммах. Им предшествовали значительные магнитные возмущения. Данные по солнечному ветру и межпланетному полю (на рисунке не показаны) также свидетельствуют о том, что в течение примерно 6 часов до начала суббури в межпланетной среде наблюдались продолжительные осциллирующие возмущения.

Мы попытались проанализировать прохождения одних структур через другие по avi-фильмам с сияниями. На рисунке 3 представлены фильтрованные ТВ кадры сияний в obs. Ловозеро в интервале 20:30:38–20:36:58 UT в некоторые характерные моменты времени. Стрелками показано направление движения структур. На кадрах можно увидеть сближение дуг северного и южного брейкапов (кадр 20:34:48), соединение дуги северного с дугой южного брейкапа (кадр 20:35:18), с последующим ее исчезновением (кадр 20:36:48) и возникновением новой дуги, дрейфующей к полюсу (кадр 20:36:28–20:36:58). На кадрах 20:34:48–20:36:38 прослеживается пересоединение дуг северных и южных активизаций. Далее картина динамики сияний довольно сложная. На кадрах слабые структуры видны значительно хуже, чем на фильтрованных кеограммах.

На рисунке 4 приведены три примера встречных движений структур. Для каждого из трех событий показаны стандартная и фильтрованная кеограммы. Хотя эти события отличались по интенсивности магнитных возмущений, общими чертами всех событий были: наличие северных структур в поле зрения телевизионной камеры, южнее которых развивался брейкап в виде расширяющихся на север лучистых структур, дрейф северных структур на юг до и после начала брейкапа на юге и последующее проникновение северных структур через южные, после контакта движущихся навстречу активизаций. В случае 17.02.2002 г. это наблюдается как во время псевдобрейкапа, начавшегося в 20:17 UT, так и во время следующей за ним суббури с 20:23 UT. Во втором событии 26.03.1998 г. брейкап на юге возник в области диффузной пульсирующей предбрейкаповой дуги. Третье событие 09.02.1997 г. связано с сильными предшествующими магнитными возмущениями и начало суббури наблюдалось намного южнее, чем в событиях на рис. 4а, б.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе проанализировано большое количество ТВ записей полярных сияний и стандартных и фильтрованных кеограмм в периоды суббурь, на фоне предыдущих возмущений, когда активизации сияний наблюдались на приполюсной и экваториальной кромках аврорального ова-

Ловозеро, 03.01.2003 г.

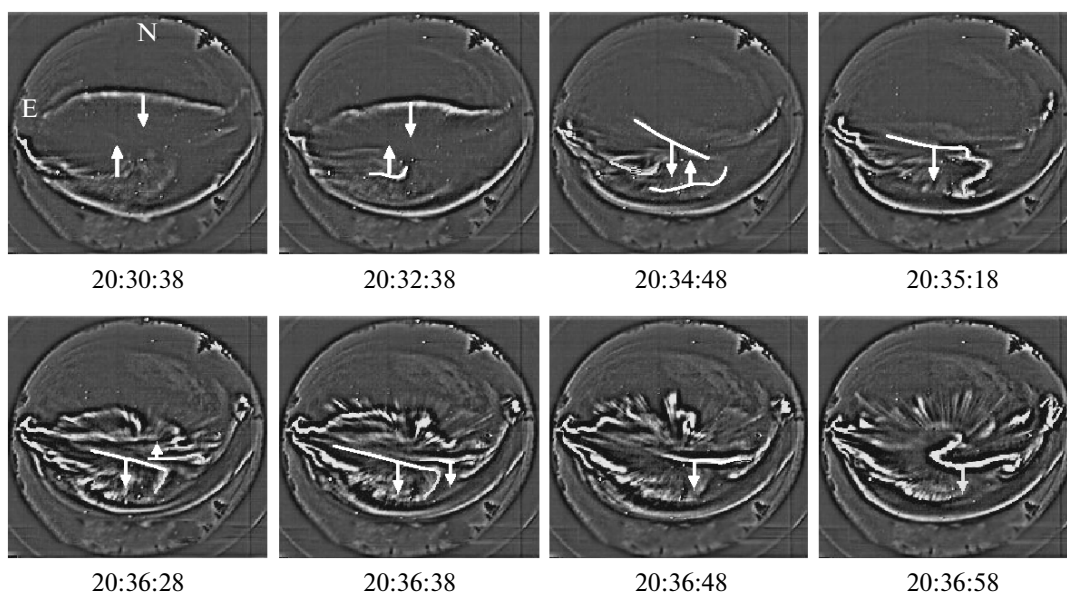


Рис. 3. Фильтрованные ТВ кадры сияний обс. Ловозеро в интервале 20:30:38–20:36:58 UT. Вертикальными стрелками указаны направления движения структур.

ла. Особое внимание было уделено тонкой структуре сияний в пространственно-временной окрестности контакта авроральных форм, движущихся от приполюсной кромки к экватору, с распространяющимися к полюсу формами сияний южных активизаций, когда область контакта, была расположена вблизи зенита станции наблюдений.

Слабые, но вполне различимые следы северных структур, проникающие через активные, распространяющиеся на север авроральные формы брейкапа, — явление не исключительно редкое. Анализ большого количества фильтрованных кеограмм (за период наблюдений 1998–2010 гг.) показывает, что, по-видимому, оно наблюдается всегда, если северные и южные структуры, двигаясь, достигают друг друга. Однако это явление очень трудно зарегистрировать — сложная и динамичная картина ярких и быстро перемещающихся сияний брейкапа полностью его маскирует. Эффект практически невозможно обнаружить на отдельных кадрах с сияниями, он проявляется статистически, и хорошо виден только на фильтрованных кеограммах.

Во многих работах, как, например, [Lyons et al., 1999; Kauristie et al., 2003 и ссылки в них] интенсификации полярной границы интерпретируются как результат пересоединения магнитных силовых линий в хвосте магнитосферы, сопровождаемого появлением BBFs (bursty bulk flows) на расстояниях 20–30 R_E [Miyashita et al., 2000], ионосферным проявлением которых являются авроральные стримеры, дрейфующие от поляр-

ной границы овала к экватору. В работе [Ostgaard et al., 2009] было показано, что пересоединение — расширяющийся процесс, наблюдаемый вдоль полярной границы сияний. В той же работе было показано, что энергия частиц в области пересоединения не всегда достаточна, чтобы обеспечивать наблюдаемые характеристики высыпающихся частиц, т.е. требуются дополнительные механизмы ускорения, чтобы обеспечить интенсивности сияний, наблюдаемые в ионосфере.

Если следовать точке зрения, что и северные структуры сияний, и южные сияния брейкапа вызываются электронами, пришедшими в ионосферу из разных областей магнитосферы, то факт их взаимного проникновения вряд ли вообще возможно объяснить. Соображения в замороженности, т.е. следования электронов силовым линиям магнитного поля, требуют совершенно невозможной топологии последнего. Силовые линии магнитного поля не могут проникать друг через друга без сложных и динамичных процессов пересоединения, чего явно не происходит, т.к. северные структуры (или их следы) проходят через южные без видимых изменений. Можно предположить, что основная часть электронов, вызывающих сияния брейкапа, вообще не была ускорена в магнитосфере, и имеет чисто ионосферное происхождение. Действительно, в работе [Корнилов, 2009], где анализировались временные задержки появления свечения на разных высотах, было показано, что во время брейкапа электроны ускоряются вблизи ионосферы на высотах 5000–10000 км, и сделано предположение, что возможный меха-

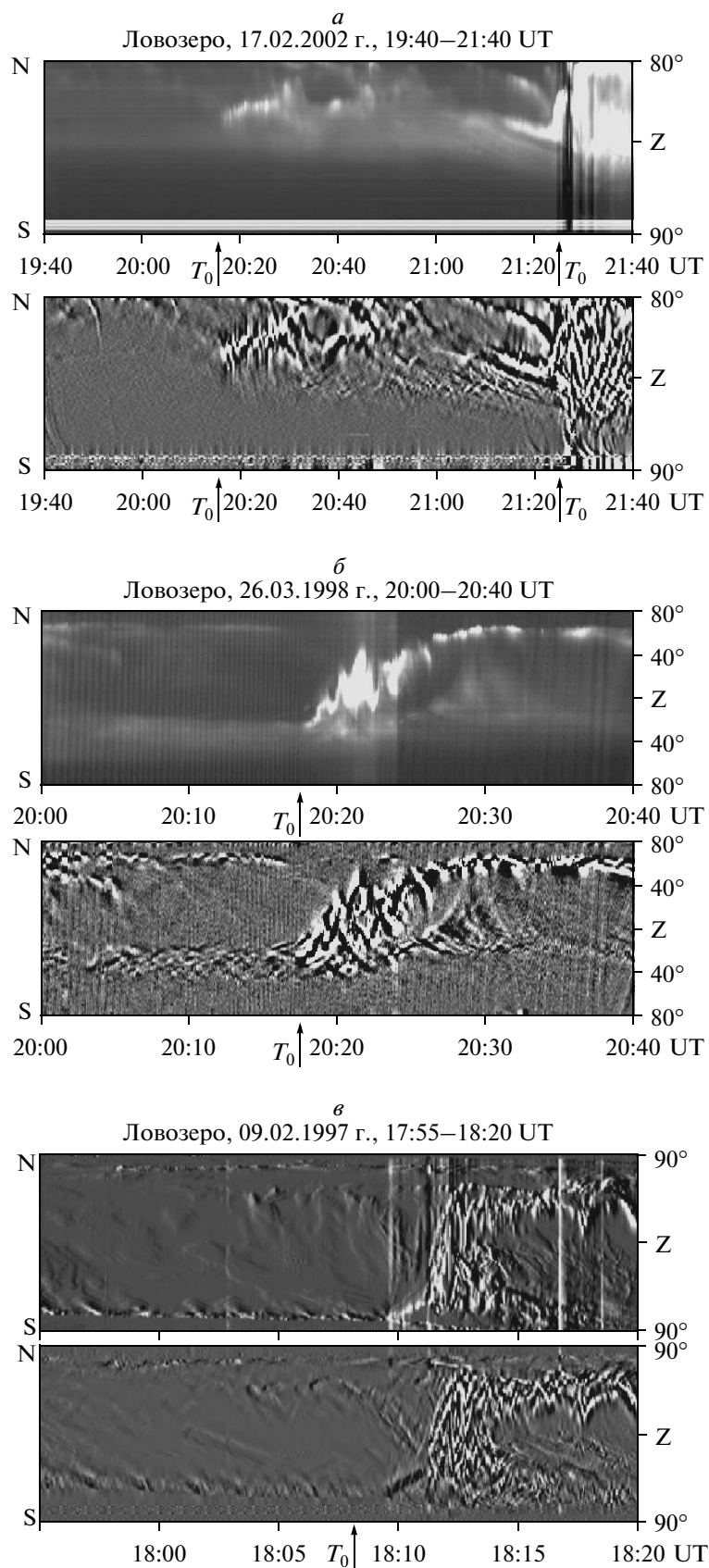


Рис. 4. Стандартные и фильтрованные кеограммы сияний для трех событий, демонстрирующие прохождение структур северных активизаций через южные. Вертикальными стрелками T_0 обозначены начала брейкапов.

низ ускорения ионосферных электронов связан с генерацией сильного продольного электрического поля, возникающего в области ионосферной плазмы с аномальным сопротивлением, вызванным интенсивным продольным током.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализирована тонкая структура сияний в области взаимодействия движущихся навстречу активизаций сияний на приполюсной границе и суббуревых активизаций на южной границе аврорального овала в предполуночном секторе. Обнаружен принципиально новый факт: проникновение дрейфующих к экватору северных структур через активные, распространяющиеся на север авроральные формы брейкапа. Этот факт, возможно, означает, что северные структуры и активные сияния брейкапа на юге имеют принципиально различные источники высыпавшихся электронов и вызваны различными физическими механизмами ускорения и высыпания электронов.

Авторы благодарят сотрудников ПГИ за проведение телевизионных и магнитных наблюдений в обсерваториях Ловозеро, Лопарская, Туманный. Данные спутников WIND, ACE и системы OMNI по солнечному ветру и ММП, использованные в работе, взяты на странице Интернет http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/, магнитные данные скандинавской сети магнитометров – на сайте <http://www.ava.fmi.fi/image/jpg>.

Работа поддержана РФФИ, гранты № 10-05-00247 и № 12-05-00273а, Программой Президиума РАН № 4 и № 22, а также норвежским грантом Norwegian 2 of the Research Council of Norway.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Корнилова Т.А., Пудовкин М.И., Корнилов И.А., Старков Г.В., Корнилов О.И. Динамика авроральных дуг во время двойных брейкапов // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 41. № 3. С. 347–354. 2001.
- Корнилова Т.А., Корнилов И.А., Корнилов О.И. Структура и динамика авроральных интенсификаций в двойном овале: суббура 26 декабря 2000 г. // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 46. № 4. С. 477–484. 2006.
- Корнилов И.А., Антонова Е.Е., Корнилова Т.А., Корнилов О.И. Тонкая структура сияний во время аврорального брейкапа по данным наземных и спутниковых наблюдений // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 48. № 1. С. 9–22. 2008.
- Корнилов И.А. Локализация источника высыпавшихся электронов в активных дугах во время брейкапа и пульсирующих сияниях // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 49. № 3. С. 365–370. 2009.
- Akasofu S.-I., Lui A.T.Y., Meng C.-I. Importance of auroral features in the search of substorm onset processes // J. Geophys. Res. V. 115. A08218, doi:10.1029/2009JA014960, 2010.
- Elphinstone R.D., Murphree J.S., Hearn D.J., Cogger L.L., Sandahl I., Newell P.T., Klumpar D.M., Ohtani S., Sauvvaud J.A., Potemra T.A., Mursula K., Wright A., Shapshik M. The double oval UV auroral distribution 1. Implications for the mapping of auroral arcs // J. Geophys. Res. V. 100. № A7. P. 12075–12092. 1995.
- Kamide Y., Akasofu S.-I., Reider E.P. Coexistence of two substorms in the midnight sector // J. Geophys. Res. V. 82. № 10. P. 1620–1624. 1977.
- Kauristie K., Sergeev V.A., Amm O., Kubyschkina M.V., Jussila J., Donovan E., Liou K. Bursty bulk flow intrusion to the plasma sheet as inferred from auroral observations // J. Geophys. Res. V. 108. № A1. 1040, doi:10.1029/2002JA009371, 2003.
- Kornilov I.A., Kornilova T.A., Pudovkin M.I., Kornilov O. Subvisual auroral waves structures motion and north-south correlations of luminosity inside double oval // Proc. of International Conference on Substorm-5, St. Petersburg, Russia, 16–20 May. P. 303–306. 2000.
- Kornilova T.A., Kornilov I.A., Kornilov O.I. Fine structure of breakup development inferred from satellite and ground-based observations // Ann. Geophys. V. 26. № 5. P. 1141–1148. 2008.
- Lazutin L., Kauristie K., Kornilova T., Uspensky M. On the relation of auroral activity of the polar boundary arc and the equatorial part of an oval // Proc. of the Sixth International Conference on Substorms, University of Washington, Seattle, Washington, USA March 25–29. P. 151–156. 2002.
- Lyons L.R., Nagai T., Blanchard G.T., Samson J.C., Yamamoto T., Mukai T., Nishida A., Kokubun S. Association between Geotail plasma flows and auroral poleward boundary intensifications observed by CANOPUS photometer // J. Geophys. Res. V. 104. № A3. P. 4485–4500. 1999.
- Miyashita Y., Machida S., Mukai T., Saito Y., Tsuruda K., Hayakawa H., Sutcliffe P.R. A statistical study of variations in the near and mid-distant magnetotail associated with substorm onset: GEOTAOL observations // J. Geophys. Res. V. 105. № A7. P. 15 913–15930, doi:10.1029/1999JA000392, 2000.
- Nishimura Y., Lyons L., Zou S., Angelopoulos V., Mende S. Substorm triggering by new plasma intrusion: THEMIS all-sky imager observations. // J. Geophys. Res. V. 115. A07222, doi:10.1029/2009JA015166, 2010.
- Opgehoorth H.J., Persson M.A.L., Olsson A. The substorm onset seen with ground-based instrumentation results, problems future possibilities // Proc. Third International Conference on Substorms (ICS-3), Versailles, France, 12–17 May 1996, ESA SP-389 (October 1996). P. 307–314. 1996.
- Ostgaard N., Snekvik K., Borg A.L., Asnes A., Pedersen A., Oieroset M., Phan T., Haaland S.E. Can magnetotail reconnection produce the auroral intensities observed in the conjugate ionosphere? // J. Geophys. Res. V. 114. A06204, doi:10.1029/2009JA014185, 2009.
- Voronkov I.O., Donovan E.F., Dobias P., Prosolin V.I., Jankowska M., Samson J.C. Late growth phase and breakup in the Near-Earth plasma sheet // Proc. Of the 7th International Conference on Substorms, Helsinki. P. 140–147. 2004.