

УДК 550.385

ДИНАМИКА ДИФFUЗНОГО СИЯНИЯ И SAR-ДУГИ ВО ВРЕМЯ МАГНИТОСФЕРНОЙ СУББУРИ АНАЛИЗ СОБЫТИЯ

С.Г. Парников, И.Б. Иевенко

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
parnikov@ikfia.ysn.ru

DYNAMICS OF DIFFUSE AURORA AND SAR ARC DURING A MAGNETOSPHERIC SUBSTORM. EVENT ANALYSIS

S.G. Parnikov, I.B. Ievenko

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia
parnikov@ikfia.ysn.ru

Аннотация. SAR-дуги являются следствием взаимодействия энергичных ионов кольцевого тока с плазмопаузой. Проведенные в ИКФИА исследования субаврорального свечения показали, что SAR-дуги появляются и/или уярчаются на фазе развития суббури. В работе представлены результаты наблюдений динамики формирования красной дуги на субавроральной ст. Маймага (GMLat 58°, GMLon 202°) 15 февраля 2018 г. во время суббури. Спутник SWARM-B зарегистрировал субавроральные пики температуры электронов на широтах SAR-дуги вблизи меридиана наблюдений.

Ключевые слова: SAR-дуга, магнитосферная суббуря, плазмосфера, T_e -пик.

Abstract. SAR arcs are a consequence of the interaction of energetic ring current ions with the plasmopause. Studies of the subauroral luminosity at ShICRA have shown that SAR arcs appear and/or brighten during the substorms expansion phase. This paper presents the results of observations of the dynamics of the formation of the red arc at the subauroral station Maimaga (GMLat 58°, GMLon 202°) on February 15, 2018 during a substorm. The SWARM-B satellite registered subauroral electron temperature peaks at the latitudes of the SAR arc near the observation meridian.

Keywords: SAR arc, magnetospheric substorm, plasmasphere, T_e peak.

ВВЕДЕНИЕ

SAR-дуги возникают вследствие перекрытия кольцевого тока внешней плазмосферой (плазмопаузой), где потоки энергичных ионов нагревают плазмосферные электроны. Возникающий нисходящий поток сверхтепловых электронов вдоль линий магнитного поля увеличивает окружающую электронную температуру на высотах области F2 ионосферы в виде субаврорального пика электронной температуры (T_e -пика). В результате происходит усиление интенсивности красной линии [OI] в SAR-дуге [Kozuza et al., 1997].

Многолетние исследования в ИКФИА субаврорального свечения показали, что SAR-дуги появляются и/или уярчаются во время фазы расширения суббури. Формирование SAR-дуги начинается в окрестности экваториальной границы диффузного сияния (ДС). В случае длительной суббуревой активности SAR-дуга отделяется от ДС и движется в экваториальном направлении [Иевенко, 1993, 1999; Ievenko et al., 2008].

Известно, что ДС вызывается высыпанием низкоэнергичных электронов из околоземного плазменного слоя. Уже при среднем уровне магнитной активности граница плазменного слоя на ночной стороне располагается вблизи плазмопаузы, соответственно, экваториальная граница ДС может наблюдаться около ее проекции на высоты ионосферы [Horwitz et al., 1982].

В этой работе ставится задача исследовать связь формирования SAR-дуги с усилением конвекции и инжекцией суббури, а также сопоставить широтное распределение интенсивности свечения SAR-дуги и электронной температуры, полученной на спутнике

SWARM-B. Выполнен анализ события 15 февраля 2018 г. по данным наблюдений камерой всего неба (All-sky imager (ASI)) Keo Sentry на субавроральной станции Маймага.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

На рис. 1 видно, что в ~14:30 UT через ~10 мин после резкого увеличения электрического поля E_y утро-вечер ($-V_x \times B_z$) до ~2 мВ/м при относительно большой плотности СВ (~20 см⁻³) началось расширение ДС в направлении экватора. Во время дальнейшего роста E_y СВ до ~3 мВ/м наблюдалось увеличение интенсивности ДС и началось формирование отдельного максимума свечения в эмиссии 630.0 нм экваториальнее ДС (см. рис. 1, в). Такая динамика красной линии указывает на возникновение SAR-дуги уже во время усиления магнитосферной конвекции (фазы роста суббури).

После начала фазы развития суббури (~16:58 UT) продолжалось экваториальное смещение границы ДС, увеличивалась интенсивность красной дуги, происходило расширение и движение дуги через зенит станции на более низкие широты. После перехода E_y в область отрицательных значений произошло быстрое затухание ДС в эмиссии 557.7 нм после ~17:30 UT. В это время SAR-дуга имела максимальную яркость ~300 Рл. SAR-дуга наблюдалась до ~19 UT с медленным уменьшением интенсивности.

Во время наблюдения SAR-дуги 15 февраля 2018 г. спутник SWARM-B при двух пролетах вблизи меридиана наблюдений измерял электронную температуру на высоте области F2 ионосферы. В 16:59:30 UT Спутник SWARM-B пересекал широты наблюдения красной дуги на ~9° восточнее, а в 18:33:30 UT —

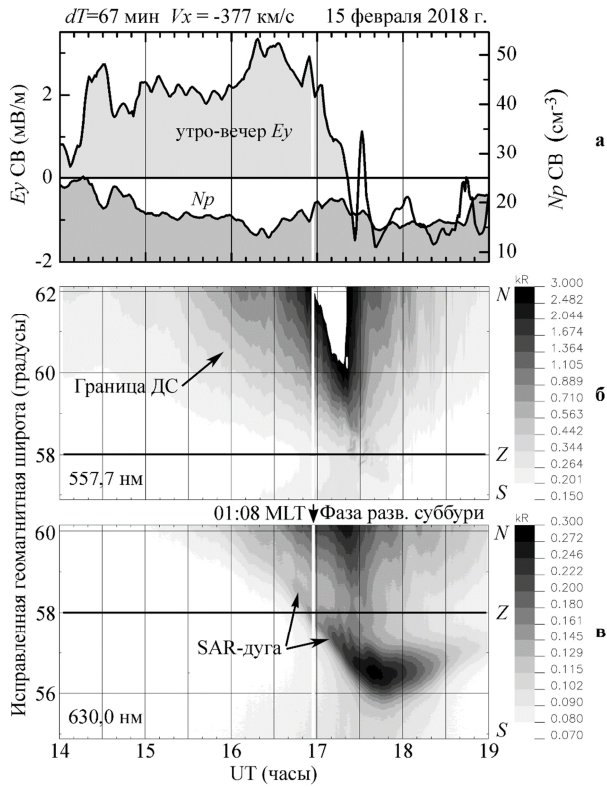


Рис. 1. Динамика солнечного ветра, диффузного сияния и SAR-дуги 15 февраля 2018 г.: а — электрическое поле ($E_y = -V_x \times B_z$) и плотность N_p солнечного ветра со временем сдвига dT ; данные ASI в виде кеограмм в эмиссиях 557.7 (б) и 630.0 нм (в) для высот свечения 110 и 250 км соответственно на ст. Маймага. Z — зенит станции наблюдений. Шкалы интенсивности эмиссий в градациях серого приведены в килорэлеях. Для зеленой линии установлена шкала до 3 кРл для более детального отображения экваториальной границы ДС

на $\sim 15^\circ$ (1 ч) западнее меридиана оптических наблюдений. Во время первого пролета спутника SAR-дуга наблюдалась через ~ 1 мин после начала фазы расширения суббури. Второй пролет был на фазе восстановления суббури во время затухания ДС и SAR-дуги.

На рис. 2 можно видеть хорошее совпадение положения SAR-дуги с T_e -пиком для обоих пролетов спутника. При этом в 16:59:30 UT полярная область красной дуги перекрывалась ДС, а в 18:33:30 UT широтные профили дуги и T_e -пика стали более подобными во время затухания ДС. Обе сканограммы показывают рост интенсивности эмиссии 630.0 нм севернее T_e -пика на широтах ДС вследствие высыпания низкоэнергичных электронов. На широтах SAR-дуги в области T_e -пиков возбуждение красной линии [OI] вызывается сверхтепловыми электронами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Магнитосферное возмущение в событии 15 февраля 2018 г. началось после SC в $\sim 08:38$ UT, вызванного приходом фронта масс инъекции от вспышки класса C1. Фаза роста суббури произошла вследствие усиления магнитосферной конвекции

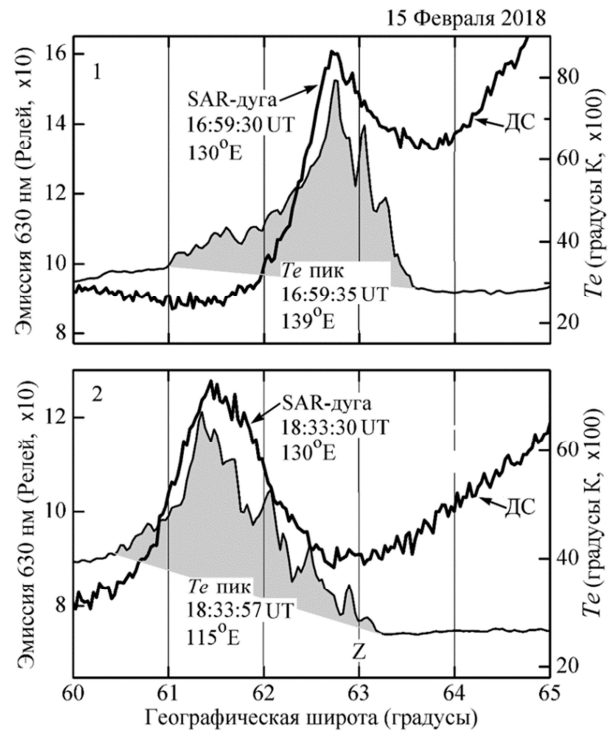


Рис. 2. Сопоставление T_e -пиков с наблюдениями SAR-дуги на меридиане Якутска 15 февраля 2018 г. Приведены широтные распределения электронной температуры T_e и интенсивности эмиссии 630.0 нм для двух пролетов спутника SWARM-B. Указаны время и географическая долгота измерения максимальных T_e -пиков для обоих пролетов спутника. На сканограммах приведены время наблюдения SAR-дуги и географический меридиан станции оптических наблюдений. Z — зенит станции

при длительном (~ 3 ч) южном направлении B_z ММП. В это время происходило расширение ДС к экватору, а также началось формирование SAR-дуги в окрестности границы ДС. После начала фазы расширения в $\sim 16:58$ UT продолжалось движение к экватору границы ДС и красной дуги. Рост интенсивности дуги наблюдался и во время быстрого затухания ДС в эмиссии 557.7 нм при отрицательном значении E_y СВ.

Известно, что экваториальная граница ДС отображает внутреннюю границу потока низкоэнергичных электронов плазменного слоя [Eather et al., 1976]. На рис. 1 можно видеть, что во время экваториального расширения ДС интенсивности зеленой и красной линий атомарного кислорода на широте $\sim 59^\circ$ в $\sim 16:30$ UT были ~ 300 и ~ 120 Рл соответственно. Соотношение интенсивностей этих эмиссий (~ 2.5) в ДС указывает на среднюю энергию высыпавшихся электронов $E = 1.2$ кэВ [Rees, Luckey, 1974].

Субавроральные пики электронной температуры (T_e -пики) на высотах области F2 ионосферы являются характерным признаком SAR-дуг. Регистрация T_e -пиков спутником SWARM-B на широтах красной дуги верифицирует наземные наблюдения дуги во время усиления конвекции и фазы расширения суббури 15 февраля 2018 г. Кроме этого, широтные распределения T_e и интенсивности эмиссии 630.0 нм для двух пролетов спутника (рис. 2) показывают разные механизмы излучения красной линии [OI] в SAR-дуге и ДС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усиление магнитосферной конвекции при длительном южном направлении B_z ММП наблюдалось в экваториальном расширении ДС. Отношение интенсивности эмиссий 557.7/630.0 нм в ДС составляло ~ 2.5 . В окрестности границы ДС в эмиссии 630.0 нм началось формирование SAR-дуги до начала фазы расширения суббури. После начала фазы развития суббури продолжалось экваториальное смещение границы ДС, увеличивалась интенсивность красной дуги, происходило расширение и движение дуги через зенит станции на более низкие широты.

SWARM-B зарегистрировал T_e -пики на широтах SAR-дуги при двух пролетах вблизи меридиана станции наблюдений. Спутниковые данные измерений электронной температуры верифицируют наземные наблюдения SAR-дуги во время усиления магнитосферной конвекции и фазы расширения суббури 15 февраля 2018 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации № 122011700172-2) при частичной поддержке РФФИ, проект № 21-55-50013.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иевенко И.Б. Динамика диффузного аврорального свечения и SAR-дуги в период суббури. *Геомагнетизм и аэрономия*. 1993. Т. 33, № 5. С. 42–57.
- Иевенко И.Б. Воздействие магнитосферной активности на плазмосферу по наблюдениям диффузного сияния и SAR-дуги. *Геомагнетизм и аэрономия*. 1999. Т. 39, № 6. С. 26–32.
- Eather R.H., Mende S.B., Juge R.I.R. Plasma injection at synchronous orbit and temporal auroral morphology. *J. Geophys. Res.* 1976. Vol. 81. P. 2805–2824.
- Horwitz J.L., Cobb W.K., Baugner C.A., Chappell C.R., Frank L.A., Eastman T.E., Anderson R.R., Shelley E.G., Young D.T. On the relationship of the plasmopause to the equatorward boundary of the auroral oval and the inner edge of the plasma sheet. *J. Geophys. Res.* 1982. Vol. 87, no. A7. P. 9059–9069.
- Ievenko I.B., Parnikov S.G., Alexeyev V.N. Relationship of the diffuse aurora and SAR arc dynamics to substorms and storms. *Adv. Space Res.* 2008. Vol. 41, no. 8. P. 1252–1260. DOI: [10.1016/j.asr.2007.07.030](https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.07.030).
- Kozyra J.U., Nagy A.F., Slater D.W. High-altitude energy source(s) for stable auroral red arcs. *Rev. Geophys.* 1997. Vol. 35, no. 2. P. 155–190.
- Rees M.H., Luckey D. Auroral electron energy derived from ratio of spectroscopic emissions. 1. Model computations. *J. Geophys. Res.* 1974. Vol. 79, no. A34. P. 5181.