

ANALYSIS OF THE ENERGETIC PARTICLE OBSERVATIONS DURING SATELLITE PASSES OVER THE AURORAL BULGE

S.A. Timofeeva, V. A. Sergeev (*Department of Earth's Physics, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*)

Abstract. During the substorm expansion phase the conditions of particle scattering in the loss-cone and structure of the auroral precipitation is changing because of the magnetic field reconfiguration. By interpreting the precipitation picture (regions of wave-induced precipitation and regions of non-adiabatic current-sheet precipitation) observed before and after the substorm onset and by comparing observations made inside and outside the active region we can obtain information about the magnetic field reconfiguration. Particularly, by analyzing the distribution of particle flux and loss cone anisotropy as well as positions of the isotropic boundaries (IB) and their dynamics measured at low altitudes we can potentially identify the areas of dipolarization and plasma injection in the magnetosphere and define the type of particle scattering mechanism.

In this paper we study 16 crossings of NOAA satellites across the nightside auroral oval near the substorm onset (8 cases before and 8 cases after the onset). In pre-onset crossings we observe the standard pattern of the isotropic boundary energy dispersion and the peak of auroral precipitation near the electron IB. In the post-onset crossings the same picture is observed if the satellite crosses the oval outside the active region. For crossings above the auroral bulge, we unexpectedly observe the equatorward shift of the proton IB with (often) absent energy dispersion. By contrast, the electron IB is shifted poleward by 4-5 degrees latitude (depending on the disturbance intensity), the region in between proton and electron IBs is filled by high fluxes of isotropic protons and anisotropic electrons suggesting a strong dipolarization and particle acceleration in the magnetosphere in the magnetic flux tubes of the auroral bulge.

Введение

Одним из параметров, определяющих конфигурацию магнитного поля хвоста магнитосферы, является положение границ изотропии частиц разных энергий (ИГ). В плазменном слое ИГ разделяет области вытянутых и квазидипольных силовых линий (область диполизации). Контроль за динамикой ИГ дает возможность следить за положением области диполизации во время суббури.

В работе [1] по данным измерения частиц до и после начала суббури исследовались меридиональные распределения потоков авроральных и энергичных протонов и электронов. При этом был разработан метод дистанционной диагностики реконфигурации магнитного поля посредством измерения потоков энергичных частиц. В дальнейшем, этот метод был немного дополнен и усовершенствован.

Цель данной работы показать типичное поведение протонных и электронных ИГ вблизи начала суббури. С точки зрения рассеяния на токовом слое [2] предполагается, что ИГ будут сдвигаться по направлению к Земле на предварительной фазе суббури, и от Земли — на взрывной фазе, с сохранением дисперсии по энергиям.

Данные

На начальном этапе производился отбор пролетов низковысотных спутников серии NOAA за период с 2008-2010 гг. на основании следующих критериев: наличие изолированной суббури, наличие данных нескольких спутников до и после начала взрывной фазы суббури. Всего было отобрано 16 парных пролетов спутников (8 до и 8 после начала взрывной фазы суббури) в одном и том же 4х часовом секторе MLT; спутники должны пересекать широты $\pm 66 \pm 0.5$ градусов в интервале времени (MLT) $\sim 22-02$ часов. Время пролета спутника относительно начала взрывной фазы суббури не должно превышать ± 10 минут.

Рассмотрим подробнее событие 19 Апреля 2009 г. Это изолированная суббуря (брейкап в 02:32 UT), которая наблюдалась двумя камерами всего неба Kuujuaq, Canada (KUUI, Long. 291,8, Lat 58.3) и Sanikiluaq, Canada (SNKQ, Long. 280,769, Lat. 56,536). Потоки частиц с 2-х секундным разрешением фиксировались полярными спутниками NOAA 17, NOAA 18 и Metop, один из которых (NOAA 17) пересекает интересующую нас область до начала взрывной фазы суббури, а два других пролетают через активную область спустя 5 (Metop) и 7 минут (NOAA 18) соответственно.

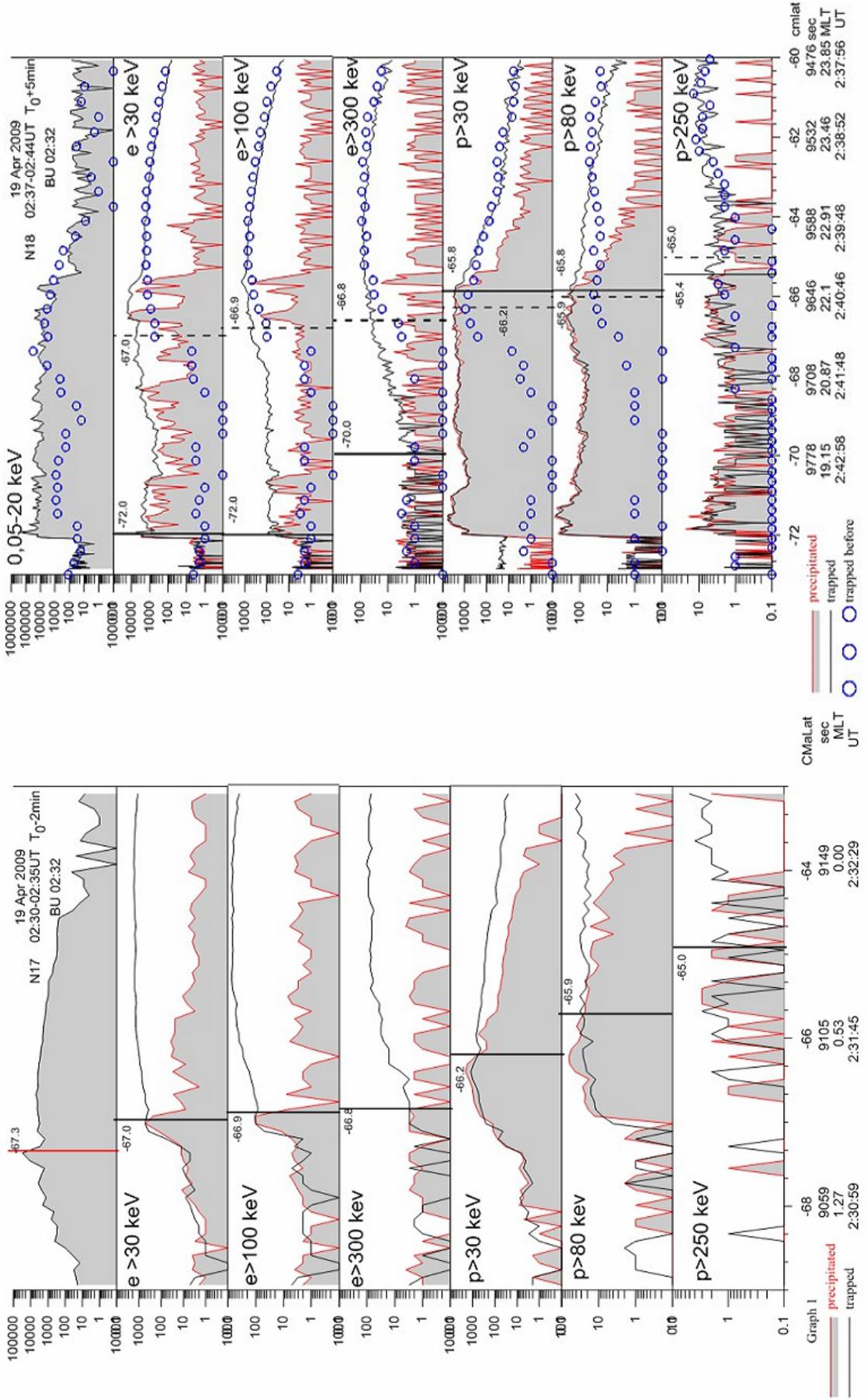


Рис.1(а,б) Данные измерений потоков энергичных частиц спутниками NOAA 17 (а) и NOAA 18 (б)

На рис. 1(а,б) приведены картины высыпаний энергичных частиц по данным 2х спутников. До взрыва (NOAA 17) наблюдаем развитую область изотропных высыпаний электронов (от -68 до -66 градусов, рис. 1а) и отчетливую широтную дисперсию ИГ частиц разных энергий, что свидетельствует о вытянутой конфигурации силовых линий, в которой работает механизм рассеяния в токовом слое. Такая картина характерна для всех событий предварительной фазы суббури. Положение ИГ, зафиксированных спутником NOAA 17, в дальнейшем используем в качестве опорных величин, для сравнения с данными последующих пролетов. Спутник NOAA 18 пролетел через активную область сияний спустя 7 минут после начала взрывной фазы суббури по направлению к полюсу. На рис. 1б наблюдаем обширную область, размером ~ 5 градусов, к полюсу от опорных изотропных границ (от -66 до -72), которая заполнена высыпающимися авроральными электронами.

Отмечаем резкое увеличение потоков захваченных протонов и электронов до уровня потоков в радиационном поясе и общее увеличение потоков высыпающихся частиц (относительно опорного пролета, рис. 1а), как вблизи опорных изотропных границ, так и много полярнее их. Область диполизации расположена между электронной и протонной ИГ. Общая полярная граница высыпаний энергичных частиц совпадает с границей сияний (авроральных высыпаний). Отметим также наличие совпадений протонных ИГ 30 и 80 кэВ после взрыва на геомагнитной широте -65.8 градусов.

Сравнение картин высыпаний энергичных частиц в пролетах спутников до и после начала брейккапа (рис. 1а и рис. 1б) показывает, что после брейккапа, во всех событиях наблюдается резкое увеличение потоков энергичных частиц всех каналов, обширная область диполизации (-66 -72, рис. 1б) и высыпания электронов 30 кэВ, экваториальнее электронной изотропной границы и сдвиг этой границы к экватору.

Рассмотрим следующее событие – 20 Марта 2010 г. Это изолированная суббури, для которой имеются данные 2х спутников NOAA 15 и NOAA 18 и наземные данные 4 камер всего неба. Спутник NOAA 15 пролетает за 5 минут до начала взрывной фазы суббури, полярнее экваториальной кромки дискретных сияний. Спутник NOAA 18 пересекает активную область через 7 минут после брейккапа. В картине высыпаний перед брейккапом наблюдается развитая область высыпаний, присутствует дисперсия по энергиям (Рис. 2а).

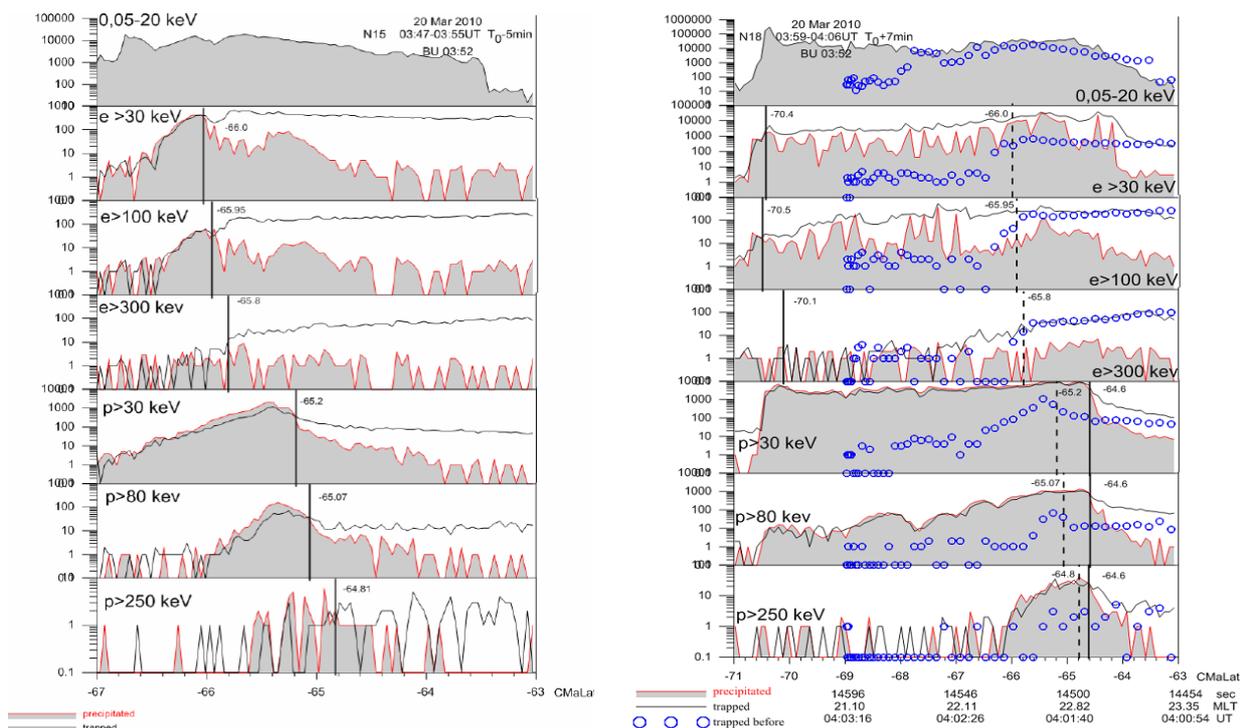


Рис. 2 Данные измерений энергичных частиц спутниками NOAA 15 (а) и NOAA 18 (б)

Траектория спутника NOAA 18 проходит через область активных сияний, образующих изгиб кромки авроральной выпуклости. Картина высыпаний энергичных частиц после начала взрыва представлена на рисунке 2б. В данных этого спутника наблюдается обширная область высыпаний протонов 30 и 80 кэВ (от -64 до -70 градусов), совпадение ИГ протонов 30, 80 и 250 кэВ (на -64,6), анизотропные высыпания электронов 30 и 100 кэВ, и совпадение ИГ протонов всех энергий с экваториальной границей дискретных сияний.

Результаты и выводы

Наша работа посвящена изучению типичного поведения протонных и электронных ИГ вблизи начала суббури. Ожидалось, что, благодаря механизму рассеяния на токовом слое, ИГ будут сдвигаться по направлению к Земле на предварительной фазе суббури, и от Земли — на взрывной фазе, с сохранением дисперсии по энергиям.

Согласно нашим модельным расчетам, с использованием магнитосферной модели T96, в отсутствие взрывной активности, разница между протонными ИГ потоков 30 и 250 кэВ должна быть 1,5-2 градуса. Фактически, наиболее близкая к модельным расчетам величина наблюдается только для событий слабой интенсивности. В действительности же, для пролетов в подготовительную фазу, в большинстве событий разница между ИГ не превышает 0,45 градуса. Более того, для большинства событий в пролетах после взрыва мы видим совпадение ИГ для протонов 30 и 80 кэВ (Рис.2б). Такое поведение ИГ возможно объясняется наличием или областей сильного градиента магнитного поля или резонанса на волнах в широком диапазоне частот в ее окрестности. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Итак, на материале 16 событий мы рассмотрели 3 различных ситуации: (а) пролеты до брейккапа, (б) пролеты через активную область после брейккапа, (в) пролеты вне активной области после брейккапа.

В событиях типа (а) характерным является наличие отчетливой дисперсии по энергиям и невысокая интенсивность высыпаний энергичных частиц.

Для событий типа (б) типично наличие обширной области высыпаний протонов 30 и 80 кэВ с резким спадом интенсивности высыпаний на полярной и экваториальной границе (типа «плато»), совпадение ИГ протонов, т.е. отсутствие дисперсии по энергиям (80% случаев) и совпадение электронных ИГ (в 60% случаев).

Вне активной области (в) во время взрывной фазы суббури также в некоторых случаях наблюдается отсутствие дисперсии по энергиям как протонов, так и электронов. В отличие от событий типа (б), совпадение ИГ протонов в этой группе событий наблюдается редко.

В некоторых случаях в потоках высыпающихся протонов 30 и 80 кэВ можно видеть почти одновременный пик экваториальнее их ИГ. Такое поведение протонов, возможно, свидетельствует о сложной и неоднородной структуре тока в области рассеяния частиц в плазменном слое.

Таким образом, картина высыпаний энергичных частиц и ее динамика во время суббури имеет более сложный и неоднозначный характер, чем можно было ожидать, согласно представлению о рассеянии частиц на токовом слое в монотонно меняющемся с расстоянием магнитном поле стандартных магнитосферных моделей. Предварительные результаты проведенного нами исследования не столько проясняют ситуацию, сколько ставят новые вопросы, а именно:

- какова причина сдвига ИГ протонов 30/80 кэВ к экватору от опорных величин после брейккапа?
- какова природа всплесков в потоках высыпающихся протонов 30/80 кэВ экваториальнее их ИГ?
- какая конфигурация магнитного поля соответствует совпадению ИГ протонов всех энергий?

Список литературы

1. *Sergeev V.A., Kubishkina M.V.* Low altitude image of particle acceleration and magnetospheric reconfiguration at substorm onset // *J. Geomag. Geoelectr.* 1996. V.48. P. 877.
2. *Сергеев В.А., Мальков М.В.* О диагностике магнитной конфигурации плазменного слоя по измерениям энергичных электронов над ионосферой. // *Геомагнетизм и аэрономия.* 1998. Т.28. №4. С.649.