

Физические процессы в области главного ионосферного провала

Сборник статей семинара проектов №5 и 6 КАПГ
Прага, 28. - 31. марта 1983

Physical processes in the main ionospheric trough region

Proceedings of the Symposium organized by KAPG projects 5 and 6
Praha, 28 - 31 March 1983

РЕДАКЦИЯ:

Проф. д-р ф.м.н. Н.П.БЕНЬКОВА
Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн АН СССР

Prof. Dr C.-U. WAGNER
Zentralinstitut für Solar-Terrestrische
Physik AdW der DDR

Ing. L. TRÍSKOVÁ, CSc
Geofyzikální ústav ČSAV

**Geofyzikální ústav ČSAV
141 31 PRAHA 4 - Spořilov**

- 143 -

ДИНАМИКА ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА И КОЛЬЦЕВОГО ТОКА ПО ДАННЫМ
ОДНОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А.С.Беспрозванная, Г.И.Гдалевич, В.Д.Озеров (ААНИИ, ИКИ АН СССР),
Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, О.В.Хорошева (НИИИФ ИГУ)

Резюме: Показано, что во время бури 1 - 2 декабря 1977 г. в утреннем секторе кромка кольцевого тока наблюдалась на L - оболочках, расположенных вне плазмосферы ($\Delta L \geq 2$), поэтому потери кольцевого тока не могут быть связаны с процессами взаимодействия горячей и холодной плазмы на плазмопаузе. В вечернем секторе кольцевой ток находился внутри или вблизи плазмопаузы и потери кольцевого тока могут происходить в процессе такого взаимодействия. Анализ одновременных спутниковых и наземных данных позволил выявить структурные изменения ионизации на полярной стороне провала в магнитно-активные периоды.

1. Введение

В последние годы проблема ионосферно-магнитосферного взаимодействия стала одним из ведущих направлений в исследовании физики ионосферы и магнитосферы. Значительное место в этой проблеме занимает взаимодействие плазменного слоя/кольцевого тока с плазмосферой. В настоящее время установлено, что на поверхности, разграничивающей эти области магнитосферной плазмы (на плазмопаузе), происходят очень сложные, еще мало изученные процессы, влияющие как на состояние холодной, так и горячей плазмы. Ярким проявлением этого взаимодействия являются изменение пичч-углового распределения протонов кольцевого тока, интенсивный разогрев ионосферной плазмы, ускорение ионов O^+ и провалы в плотности легких ионов и электронной концентрации на высотах слоя F2.

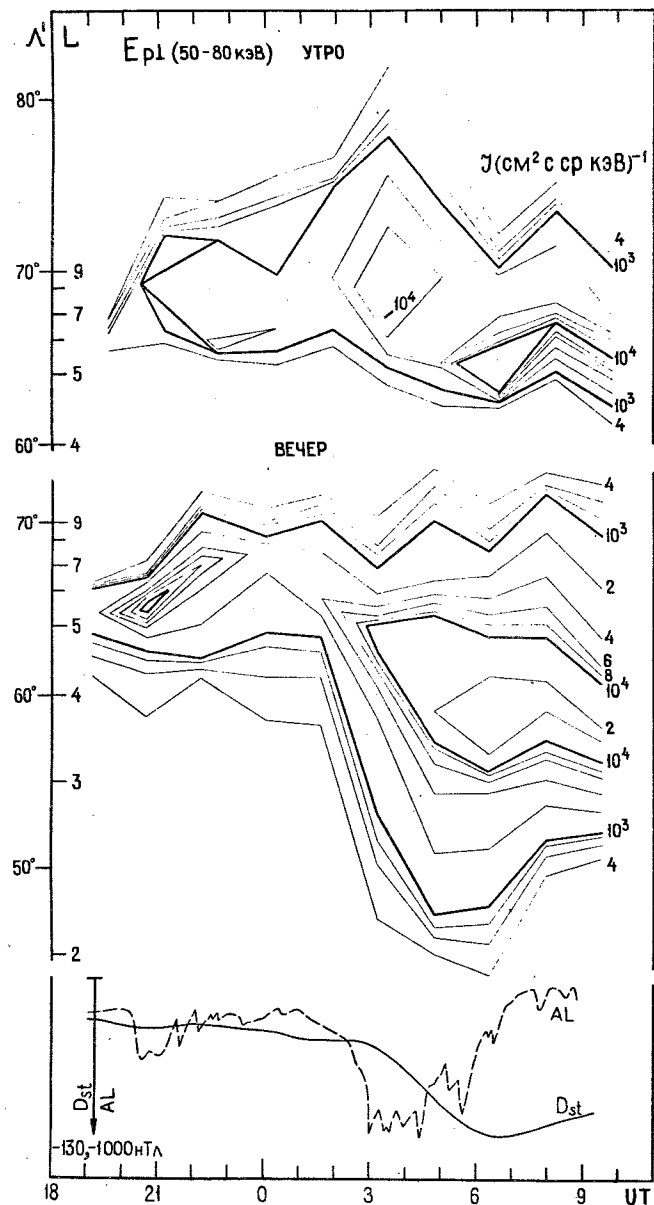
Важным этапом в выяснении природы этих процессов является исследование динамики частиц кольцевого тока и характеристик тепловой плазмы. Результаты таких исследований достаточно широко представлены в литературе, однако только в единичных работах проводится одновременный анализ параметров горячей и холодной плазмы.

2. Анализ данных

В настоящей работе приводятся результаты анализа одновременных измерений протонов кольцевого тока и ионной концентрации во внешней ионосфере на спутнике "Космос-900", а также наземных данных по вертикальному зондированию ионосферы во время бури 1 - 2 декабря 1977 года. Спутник имел круговую орбиту с высотой 500 км, наклоном 83° и периодом обращения 94,4 мин. Протоны кольцевого тока с $E_p = 50 - 80$ кэВ измерялись с помощью дифференциального полупроводникового спектрометра, плотность тепловой плазмы - трех-электродной ионной ловушкой с "плавающим" потенциалом внешней сетки. Анализ проводится по 10 пролетам спутника с 19 ч UT 1 декабря по 10 ч UT 2 декабря 1977 г., соответствующих развитию большой мировой бури с максимальным значением $K_p = 7+$ и $D_{st} = -123$ нТ. В этот период спутник пролетал в восходно-западном секторах, около 4 - 6 ч MLT на утренней и 16 - 19 ч MLT на вечерней стороне.

Динамика кольцевого тока. На фиг. 1 приведены распределения по широте интенсивности протонов в ходе бури в утреннем и вечернем секторах. В нижней части дан ход ΔL , D_{st} -индексов. Как видно из рисунка, с началом главной фазы бури на вечерней стороне наблюдалось резкое продвижение кольцевого тока в глубь магнитосферы. В ~ 3 ч UT внутренняя кромка кольцевого тока (место, где интенсивность протонов уменьшается на порядок)

опустилась до $\Lambda' \approx 57^\circ$, что соответствует $L \approx 3,4$, а вблизи максимума главной фазы достигла $\Lambda' \approx 53^\circ$ ($L = 2,7$).



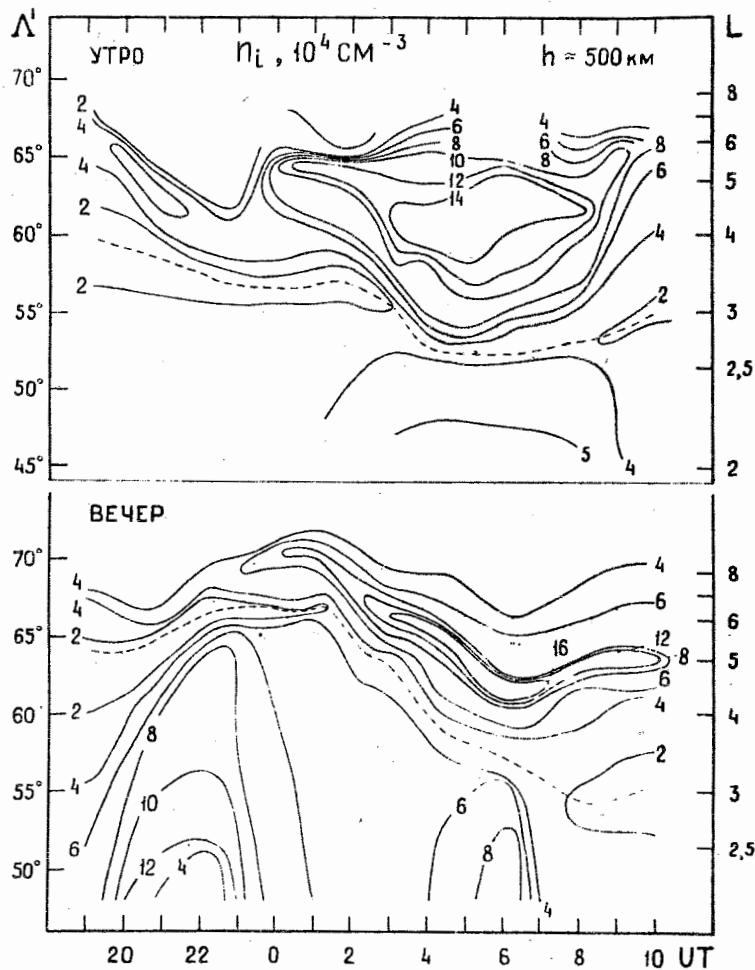
Фиг. I

Распределение в ходе бури интенсивности протонов кольцевого тока на высоте 500 км в утреннем и вечернем секторах магнитосферы в координатах инвариантная широта - мировое время.

На утренней стороне вариации в положении кольцевого тока в ходе бури значительно менее выражены, и кромка кольцевого тока даже вблизи максимума главной фазы не опускалась ниже $\Lambda' \approx 61^\circ$ ($L \approx 4,2$).

В работе [I], где детально представлена динамика кольцевого тока во время этой бури, подчеркивается, что максимальная интенсивность кольцевого тока в утреннем и вечернем секторах была в ходе бури примерно одинаковой, так что асимметрия проявилась, в основном, в положении кольцевого тока в пространстве.

Динамика ионосферного провала. Изменение в ходе бури ионной концентрации на высоте ~ 500 км представлено на фиг. 2. Графики даны в единицах 10^4 см^{-3} . Пунктиром отмечено положение минимума в широтном ходе N_i . Из рисунка видно, что во-первых, с началом главной фазы бури началось резкое смещение минимума на низкие широты, во-вторых,

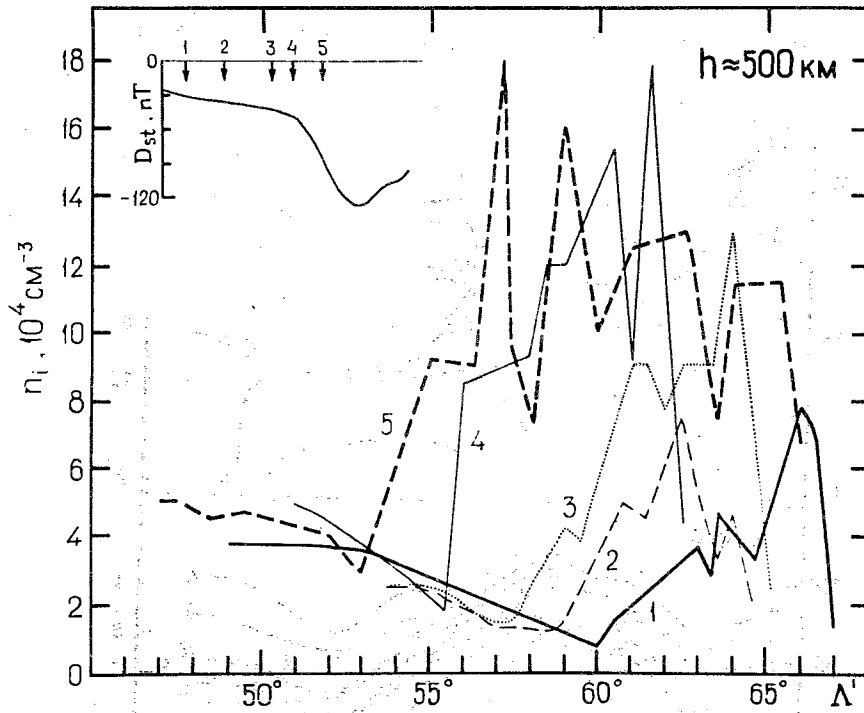


Фиг. 2

Распределение в ходе бури концентрации ионов в утреннем и вечернем секторах на высоте 500 км в координатах инвариантная широта - мировое время.

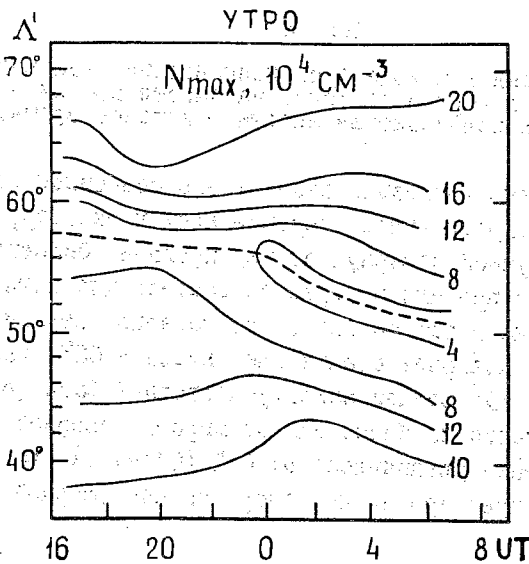
на авроральных широтах уровень ионизации значительно повысился ($\nu > 3$ раза). Уход минимума ионизации на низкие широты вызван перемещением к экватору границы повышенной ионизации в слое F2, формирующей северную стенку провала. Особенно отчетливо это видно на фиг. 3, где даны широтные профили в утреннем секторе для пяти пролетов, приходящихся на разные фазы бури. Четко выражено сползание полярной стенки провала в низкие широты в ходе бури. Основание полярной стенки сместилось с 60° , где она находилась перед началом бури (профиль 1) до 53° вблизи максимума главной фазы (профиль 5). Следует отметить, что по мере перемещения на более низкие широты северной стенки провала, минимальное значение N_i в провале увеличилось от $0,8 \cdot 10^4$ на $L \approx 60^\circ$ до $3,0 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$ на $L \approx 53^\circ$, что соответствует уровню концентрации ионосферной плазмы на этих широтах в спокойных условиях.

На фиг. 4 дан широтно-временной профиль электронной концентрации в максимуме слоя F2 (N_{max}) для утреннего сектора, построенный по данным 38 станций вертикального зондирования, с $L' > 40^\circ$. Так же, как и на высоте 500 км, на высотах максимума слоя F2 наблюдается смещение к экватору ионосферного провала с началом главной фазы бури. Однако в широтно-временной зависимости N_{max} отсутствует то увеличение электронной плотности в авроральной зоне, которое наблюдается на высоте 500 км в ходе бури (фиг. 2 и фиг. 3). Этот факт указывает на то, что повышение ионизации на $h = 500$ км во время бури свиде-



Фиг. 3

Широтные профили концентрации ионов в утреннем секторе на высоте 500 км на фазе развития магнитной бури. Цифры у кривых обозначают моменты соответствующих пролетов спутника, отмеченных на врезке стрелками.

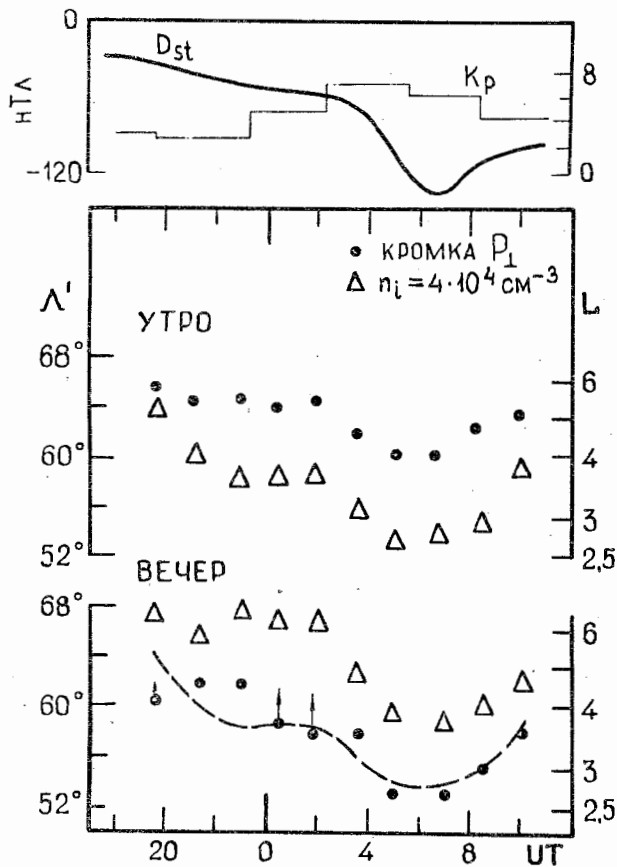


Фиг. 4

Распределение в ходе бури электронной концентрации в максимуме слоя F2 в утреннем секторе в координатах инвариантная широта - мировое время.

тельствует скорее о перестройке профиля N_e на северной стенке провала, чем об увеличении интенсивности ионизирующего агента. Изменение структурных характеристик севернее провала в активные периоды подтверждается также увеличением крутизны полярной стенки. Градиент ионизации на полярной кромке возрастает почти на полпорядка (фиг. 3).

Сопоставление положения кольцевого тока и ионосферного провала. На фиг. 5 приведено изменение в ходе бури кромки кольцевого тока и основания полярной стенки провала ($4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$) по данным "Космоса-900" для утреннего и вечернего секторов. В верхней части фигуры даны вариации K_p и D_{st} -индексов. В вечернем секторе кромка кольцевого тока проходит на $5 - 6^\circ$ экваториальнее северной стенки провала (линия - положение стенки в утреннем секторе). В утреннем секторе, наоборот, северная стенка провала лежит на $5 - 7^\circ$ экваториальнее кромки кольцевого тока.



фиг. 5

Изменение в ходе бури положения внутренней кромки кольцевого тока и основания полярной стенки провала в утреннем и вечернем секторах на высоте 500 км.

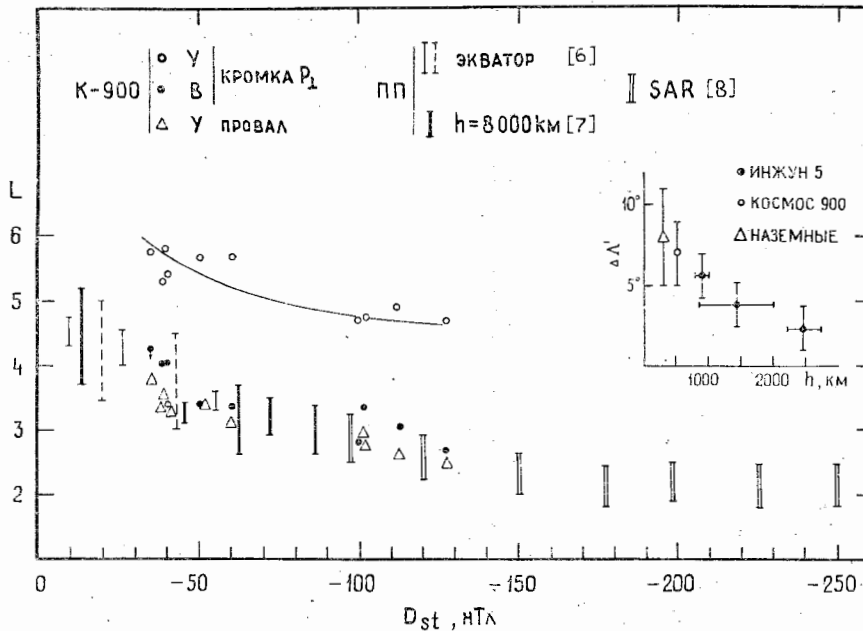
В настоящее время установлено, что на высотах ниже 1500 км положение минимума в широтном ходе электронной концентрации определяется положением экваториальной границы выпячивания мягких электронов [2], совпадающей с экваториальной границей диффузных силовых линий. В работе [3] показано, что в ночном секторе эта граница в магнитно-активные периоды определяет положение плазмопаузы. Поскольку в ночном и утреннем секторах плазмопауза расположена на наиболее низких L -оболочках [4], представленные на фиг. 5 данные позволяют сделать следующие выводы.

1. В утреннем секторе кромка кольцевого тока находится на L -оболочках, расположенных вне плазмосферы ($\Delta L \approx 2$), поэтому потери кольцевого тока не связаны с процессами взаимодействия на плазмопаузе.

2. В вечернем секторе кольцевой ток находится внутри или вблизи плазмопаузы и поэтому эрозия кольцевого тока происходит в процессе взаимодействия горячей и холодной

плазмы на плазмопаузе [5].

На фиг. 6 приведены положения кромки кольцевого тока на утренней и вечерней сторонах, а также положение минимума в широтном ходе n_z на высоте 500 км в зависимости от D_{st} . Здесь же даны вариации в положении плазмопаузы в ночном секторе и SAR дуг по данным, представленным в работах [6-8]. Хорошо видно, что в утренние часы провал ложится на те же L -оболочки, что и плазмопауза; кромка же кольцевого тока находится на значительно более высоких L . Разность в широтах $\Delta \Lambda' = \Lambda'_{к.т.} - \Lambda'_{пр.}$ составляет в среднем $\sim 7^\circ$ (фиг. 5). На высотах максимума слоя P2 она еще больше - $\sim 8^\circ$. На врезке фиг. 6 приведены полученные нами разности и разности между положением кольцевого тока и максимумом T_e провала, полученные в работе [9] на разных высотах по данным спутников Инжун-5. Согласно этой зависимости в ночном секторе передача тепла от кольцевого тока идет не по силовой линии, а смещается в сторону более низких L по мере уменьшения высоты.



Фиг. 6

Зависимость от D_{st} положения внутренней кромки кольцевого тока в утренней (У) и вечерней (В) секторах и минимума концентрации ионов в утреннем секторе на высоте 500 км. На врезке - высотная зависимость разности широт кольцевого тока и ионосферного провала в послеполуденном секторе.

Одним из возможных объяснений наблюдаемой особенности связи кольцевого тока с провалом на утренней стороне может быть взаимодействие горячей плазмы с отторженной холодной плазмой, которая в процессе дрейфа под действием западного электрического поля перемещается на более низкие оболочки. Это принципиально отличается от характера взаимодействия кольцевого тока с холодной плазмой на вечерней стороне, где кольцевой ток проникает глубоко внутрь магнитосферы, и процессы потерь связаны с плазмопаузой.

3. Заключение.

По данным ИСЗ "Космос-900" проведено сопоставление динамики горячей плазмы кольце-

1977 г. Показано, что в вечернем секторе потери кольцевого тока определяются взаимодействием горячей плазмы с холодной плазмой на плазмопаузе. В утреннем секторе потери кольцевого тока определяются взаимодействием его с отторженной холодной плазмой, на расстоянии $\approx 2L$ от плазмопаузы. Разность между кольцевым током и провалом в этом секторе изменяется с высотой, подчиняясь зависимости типа e^{-h} .

Анализ одновременных спутниковых и наземных данных позволил выявить структурные изменения ионизации на полярной стенке провала в магнитоактивные периоды.

- 1 Т.И.Морозова и др., Геомагнетизм и аэронавтика, 1982, 22, 608.
- 2 M. Ahmed, R.C. Sagalyn et al. J. Geophys. Res., 1979, 84, 489.
- 3 К.И.Гальперин и др., Космические исследования, 1977, 15, 421.
- 4 К.И.Грингауз, В.В.Безруких, Геомагнетизм и аэронавтика, 1977, 17, 784.
- 5 J.M. Cornwall, F.V. Coroniti et al. J. Geophys. Res., 1971, 76, 4428.
- 6 N.C. Maynard, J.M. Grebovsky. J. Geophys. Res., 1977, 82, 1591.
- 7 F.J. Rich et al. World Data Center A. Report UAG-83A, pt. 1, 1982, 198.
- 8 С.А.Семцова, М.И.Пудожкин, В.Э.Драчков, В.И.Дьяченко, Геомагнетизм и аэронавтика, 1971, 11, 853.
- 9 W.J. Burke, H.J. Braun et al. Planet. Space Sci., 1979, 27, 1175.