

КАПГ проект № IV.3

1986

ИОНОСФЕРНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ
СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

IONOSPHERIC RESPONSE
TO THE SOLAR WIND

Редакция L. Trísková
Edited by



Прага 1988

КАПТ проект № IV.3 "Ионосфер. проявления СВ"
Прага, 1988

ВЛИЯНИЕ ММП НА ПОЛОЖЕНИЕ ДНЕВНОГО КАСПА

В.В.Афонин (ИКИ)

А.С.Беспрозванная (ААНИИ)

Н.П.Бенькова (ИЗМИРАН)

Э.К.Зикрач, А.П.Мамруков, Н.С.Строд, Л.В.Шестакова (ИФИА СО АН СССР)

Резюме: По измерениям на ИСЗ К-900 концентрации ионосферной плазмы на уровне максимума слоя F2 определены широты дневного каспа за 102 пролета ИСЗ в 1977-1979 гг. над средними и высокими широтами сев. полушария. Полученные результаты сравнены с данными по межпланетному магнитному полю и сделан вывод, что переход от положительных к отрицательным значениям V_z приводит к уменьшению инвариантной широты каспа (Φ_U). Зависимость от V_z сложнее: при $V_z > 0$ имеет место два максимума Φ_U (основной 74-75° и дополнительный 79-80°), связанных с двумя областями высыпания частиц; при $V_z < 0$ тоже два максимума основной также на 74-75°, а дополнительный на 65-70°, связан с высокоширотным провалом ионизации в области втекающих продольных токов зоны 2.

1. Введение

В настоящее время установлено, что процессы в области каспа играют ключевую роль в физике высокоширотной дневной ионосферы. Первоначально предсказанный из топологии магнитного поля как воронкообразная область прямого втекания в магнитосферу частиц солнечного ветра, полярный касп в современном представлении включает и более широкую область на дневной стороне ионосферно-магнитосферного взаимодействия [1,2]. Поэтому проявление полярного каспа не ограничивается только эффектами высыпаний низкоэнергичной плазмы, но определяется также влиянием сильных электрических полей и продольных токов, связанных с различными структурными образованиями магнитосферы. Поскольку состояние магнитосферы в значительной мере контролируется параметрами солнечного ветра, следует ожидать, что межпланетное магнитное поле будет влиять и на ионосферную плазму.

Существование такого контроля ММП на высотах максимума слоя F2 было установлено в работе [3] по данным высокоширотной станции Мирный ($\Phi_U = -77^\circ$), которая в зависимости от уровня магнитной активности и направления ММП может попадать либо в полярную шапку, либо в касп, либо в субавроральную зону. Появление аномально больших вариаций в суточном ходе f_oF2 трактовалось авторами как отражение аномальных широтных градиентов при пересечении станцией области каспа. То, что такие градиенты действительно существуют, было показано в работе [4] по данным внешнего зондирования полярной ионосферы на спутнике ИСИС-2.

В настоящей работе анализируется влияние ММП на широтное распределение концентрации ионосферной плазмы (N) в дневном секторе по данным измерений на ИСЗ Космос-900 (К-900). Спутник был запущен в марте 1977 г. Концентрация ионов измерялась трехэлектродной ионной ловушкой с плавающим потенциалом. Орбита ИСЗ почти круговая, с высотой около 500 км, периодом обращения 94,4 мин и наклоном 83°. В связи с достаточно большим наклоном можно приближенно считать, что измерения вдоль орбиты отражают широтный профиль для фиксированного момента мирового времени. Участок орбиты от 40 до 80° покрывается спутником за несколько минут.

2. Результаты анализа

За период 1977-1979 гг. были выбраны 102 дневных широтных профиля (с 9 до 16 ч LMT) для сев. полушария на которых отмечались аномально большие широтные градиенты N и по которым в нашем распоряжении имелись данные по межпланетному магнитному полю. Характер-

ный для всех этих профилей среднеширотный постоянный уровень N сменяется резким падением и далее резким подъемом N в узком секторе широты с последующим переходом к иррегулярным вариациям. На рис. I приведены для иллюстрации два таких широтных профиля.

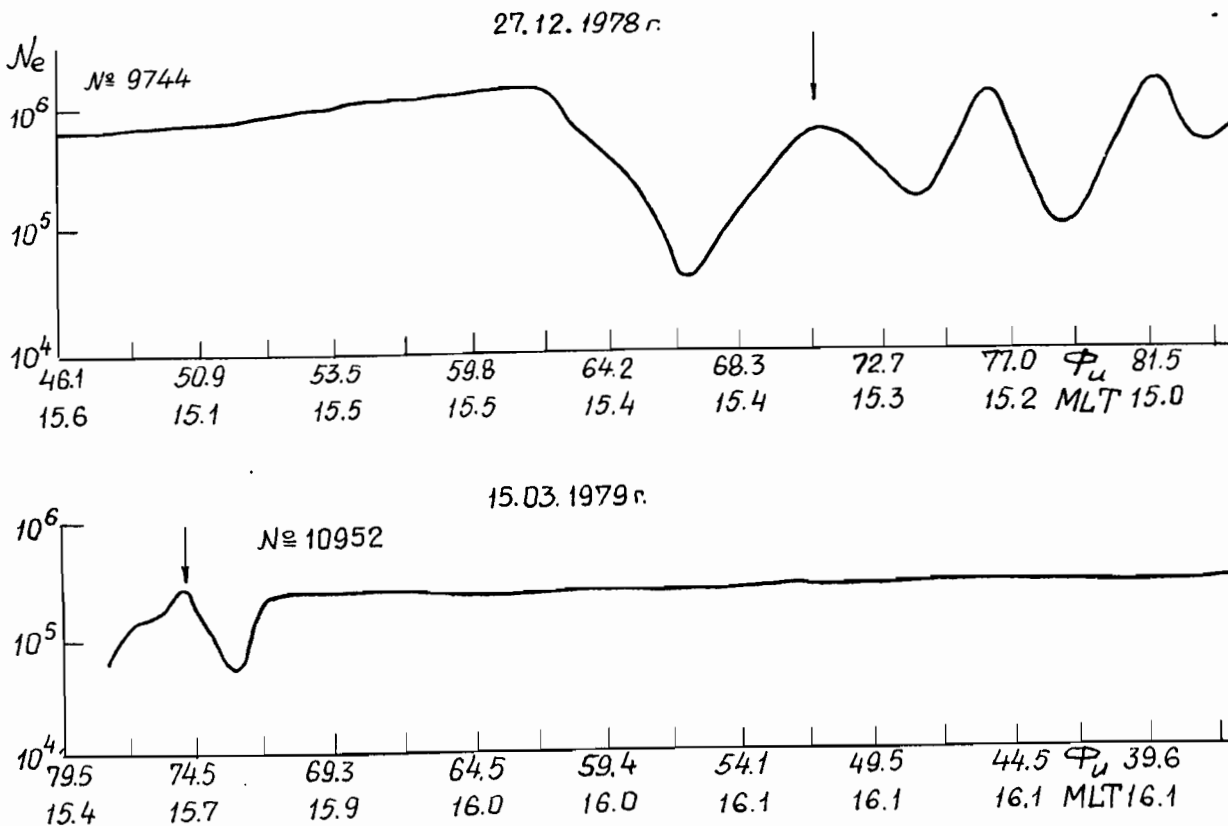


Рис. I

Широтные профили концентрации ионов (N) по данным K-900

Наблюдаемое к северу от резкого снижения увеличение плотности плазмы /4/ рассматривалось как проявление каспа на высотах ионосферы.*) Используя такое определение каспа авторы настоящей работы рассмотрели зависимость широты каспа от параметров ММП.

На рис. 2 приведена гистограмма распределения по инвариантной широте (Φ_U) положение каспа (в процентах) по отношению к суммарному числу профилей использованных при анализе. Отчетливо выражен максимум частоты появления на $\Phi_U = 74-75^\circ$. Положение максимума хорошо согласуется с результатами, полученными ранее по распределению дневных пиков ионизации по данным внешнего зондирования на спутниках Алуэтт-1 и -2 /5-7/, и самолетного зондирования /8/, в которых отмечалось преимущественное появление пиков на дневной стороне на $\Phi_U = 70-80^\circ$.

На рис. 3 приведено распределение каспа по широте, но отдельно по группам с различным знаком азимутальной составляющей ММП (B_y). Значения B_y брались за 30 мин до момента регистрации пика N , исходя из результатов работы /9/, в которой показано, что такой сдвиг по времени дает наибольшую корреляцию между параметрами. Из рис. 3 видно, что кроме максимума на $\Phi_U = 74-76^\circ$, независящего от знака B_y , четко прослеживаются два дополнительных максимума, один из которых расположен севернее (при $B_y > 0$), а

*) Увеличение N от фактора 2 на высотах максимума слоя F2 возрастало до ~ 16 на высотах 1400 км /4/.

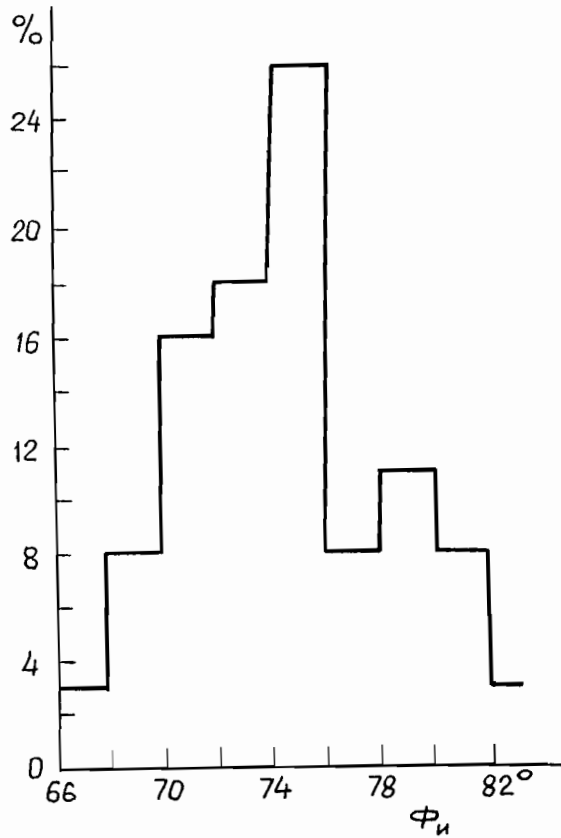


Рис.2

Гистограмма распределения положения каспа по инвариантной широте

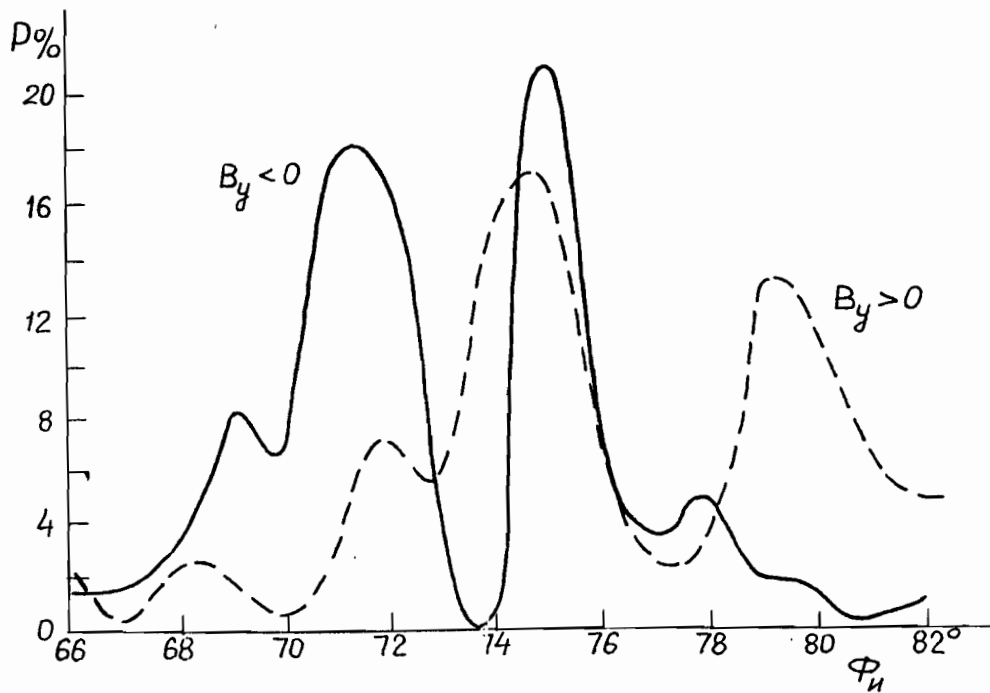


Рис.3

Гистограмма распределения положения каспа по инвариантной широте для дней с положительной и отрицательной азимутальной составляющей ММП

другой южнее (при $V_y < 0$) положения среднестатистического максимума. Аналогичная закономерность прослеживается и на рис.4, на котором дана зависимость положения каспа от вертикальной составляющей ММП (B_z). Прерывистой прямой на рис.4, показано положение экваториальной границы каспа при разных B_z , полученное в работе /9/ по высыпаниям мягких электронов. Как видно из рисунка, почти все точки, лежащие ниже этой прямой, относятся к $V_y < 0$, а выше - к $V_y > 0$.

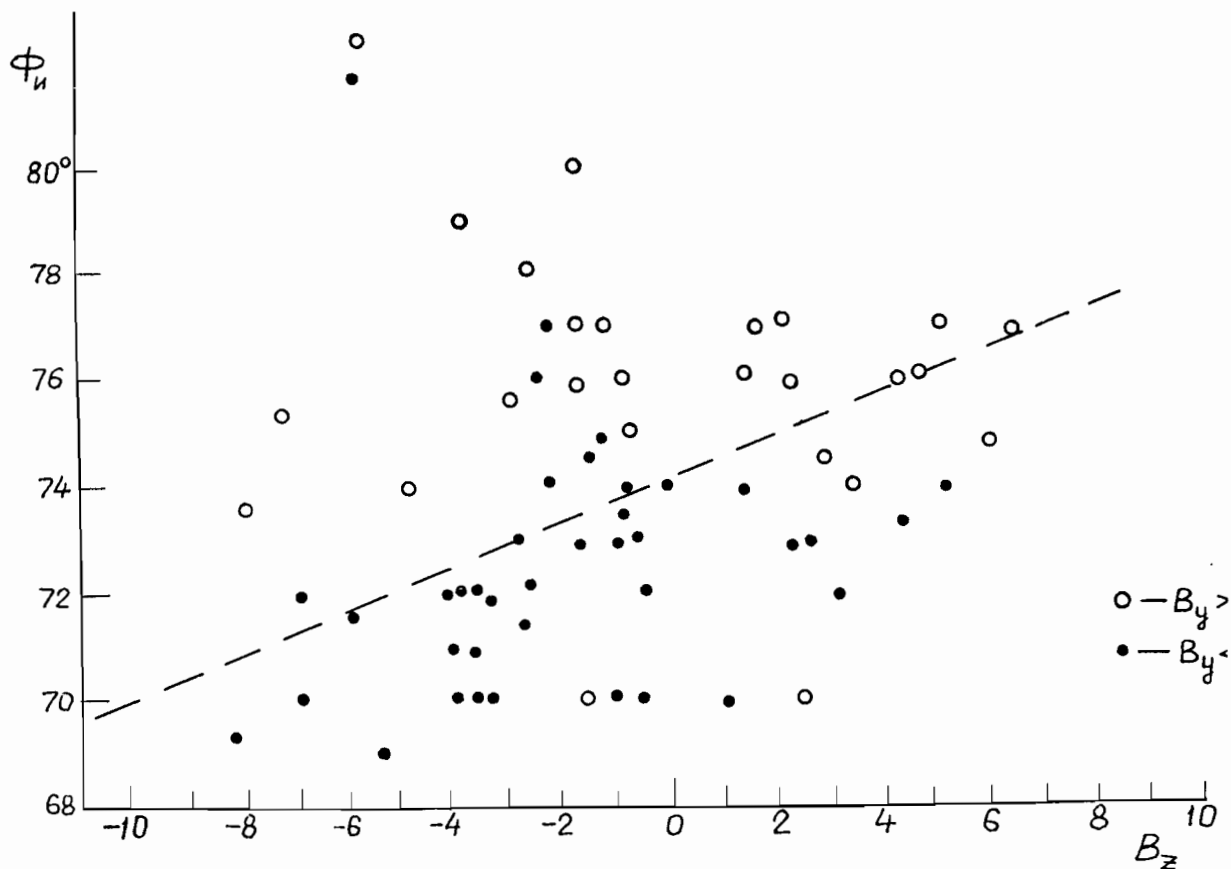


Рис.4

Распределение по широте положения каспа в зависимости от B_z . Пунктирная кривая - аналитическая зависимость положения экваториальной границы каспа $\Phi = 74.3 - 0.44 B_z (t - 30 \text{ м}) / 9$

3. Обсуждение результатов

Приведенные на рис.3 и 4 данные показывают, что на положение дневных пиков ионизации существенно влияют как азимутальная, так и вертикальная составляющие межпланетного магнитного поля. Если зависимость от B_z (рис.4) отражает общую тенденцию к снижению широты каспа при переходе от северной к южной составляющей ММП /10/, то влияние азимутальной составляющей проявляется более сложным образом.

Из рис.3 видно, что при $V_y > 0$ наблюдаются две области наиболее частого появления пиков, одна из которых расположена на широтах $74-75^\circ$, а вторая - гораздо севернее, на $79-80^\circ$. Найденная особенность в распределении пиков ионизации хорошо согласуется с результатами работы /11/, в которой сделан вывод о наличии двух областей высыпаний на дневной стороне. Первая из них связана с высыпанием частиц из низкоширотного граничного слоя, а вторая распространяется до очень высоких широт. В работе /3/ был сделан вывод, что наблюдаемые на таких высоких широтах пики ионизации связаны с продольными токами

оттекания зоны 3 (каспа). Этот вывод нашел подтверждение в работе /12/, в которой по данным сканирующей системы НКР в Сондрестреме при $V_y > 0$ обнаружены две зоны высыпаний: низкоширотная, связанная с продольными токами оттекания зоны 2 и высокоширотная, связанная с продольными токами оттекания в области каспа.

Таким образом распределение пиков ионизации при $V_y > 0$, представленное на рис.3, согласуется с распределением продольных токов оттекания. Максимум на широтах $78-80^\circ$ соответствует усилению продольных токов каспа в северном полушарии при положительной азимутальной компоненте /10/.

При $V_y < 0$, помимо основного максимума на $74-76^\circ$ имеется дополнительный максимум на очень низких широтах ($\Phi_{\mu} < 70^\circ$). Появление высыпаний, связанных с каспом, на таких низких широтах требует высокой магнитной активности и (или) очень больших значений южной составляющей /3/. Хотя в целом, как видно из рис.4, широта каспа падает с увеличением южной составляющей ММП, все же большая часть пиков N на низких широтах наблюдается при значениях B_z меньше - 5 нТ и следовательно они не могут быть обусловлены смещением к югу областей высыпания. По-видимому наблюдаемые на этих широтах резкие градиенты N связаны не с пиком, а провалами концентрации. Это хорошо видно на широтном профиле концентрации плазмы, данном на рис.1 для 27 декабря 1978г. Характерной особенностью этого профиля является четко выраженный на широтах $63-70^\circ$ провал ионизации. Послеполуденные провалы в высокоширотной ионосфере исследованы в ряде работ /14-16/; их образование связывается с "выеданием" дневной ионизации в области интенсивных западных дрейфов /17,18/. В отличие от пиков ионизации дневные провалы связаны с процессами в области втекающих токов /19-21/. Преимущественное их появление при $V = 0$ согласуется с усилением втекающих токов зоны 2 в северном полушарии при отрицательной V_y /10/.

4. Заключение

Анализ широтных профилей концентрации ионосферной плазмы на K-900 в дневном секторе показал следующее.

1. Широтные вариации концентрации достаточно устойчивы. Среднширотный гладкий уровень концентрации сменяется с ростом Φ_{μ} резким падением, а далее возрастанием концентрации в узком интервале широт, с последующим переходом к иррегулярным вариациям.

2. Образование резких широтных градиентов ионизации на дневной стороне связано со сложными процессами ионосферно-магнитосферного взаимодействия, приводящих к генерации и проникновению сильных электрических полей, продольных токов и высыпаний частиц в дневную ионосферу и в значительной мере контролируются параметрами межпланетного магнитного поля.

3. Влияние B_z составляющей проявляется в смещении области резких градиентов к более низким широтам при переходе от положительных к отрицательным значениям ММП. При любых B_z $V_y > 0$ способствуют повышению, а $V_y < 0$ - понижению относительно среднстатистического положения при заданном B .

4. Обнаружено существование двух областей высыпания в дневной ионосфере. Одна из них вне зависимости от знака V_y наблюдается на широтах $74-76^\circ$ инвариантной широты и, по-видимому, связана с токами оттекания зоны 1 при $V_y < 0$ и зоны 2 при $V_y > 0$. Другая, высокоширотная ($\Phi_{\mu} = 78-80^\circ$), появляется только при положительной азимутальной компоненте и связана с токами оттекания зоны 3 (каспа).

5. Характерной особенностью широтных профилей при $V_y < 0$ является образование в послеполуденные часы дневного высокоширотного провала. Его появление обусловлено "выеданием" фоновой ионизации в области сильных западных дрейфов и, в отличие от пиков ионизации связано с усилением втекающих токов.

[1] W.Heikilla, The polar cusp, 1985, 387.

[2] J.C.Burch, J.D.Menietty, J.N.Barfield, Solar wind magnetosphere coupling, 1986, Tokyo, 441.

[3] А.С.Беспрозванная, О.А.Трошичев, А.В.Широчков, Т.И.Шука, Геомагн. аэрон., 1983,

23, 809.

- [4] C.C.Chacko, N.Mendillo, J.Geophys. Res., 1977, 82, 4757.
- [5] M.K.Andrews, J.O.Thomas, Nature, 1969, 221, N5577, 223.
- [6] K.Marubashi, J.Radio Res. Labs, 1970, 27, N93/94, 335.
- [7] T.Sato, L.Colin, J.Geophys. Res., 1969, 74, 2193.
- [8] C.P.Pike, J.Geophys. Res., 1971, 76, 7745.
- [9] J.F.Carbary, C.I.Meng, J.Geophys. Res., 1986, 91, 10047.
- [10] Ионосферно-магнитосферные возмущения в высоких широтах - /под.ред. О.А.Трошичева/
-Л.: Гидрометиздат, 1986.
- [11] M.Candidi, H.W.Kroehl, C.I.Meng, Planet. Space Sci., 1983, 31, 489.
- [12] R.M.Robinson, C.R.Clauer, O. de la Beaujardiere, J.D.Kelly, D.S.Evans, Solar Wind
Magnetosphere Coupling, 1986, 507.
- [13] C.I.Meng, Geophys. Res. Lett., 1982, 2, N1, 60.
- [14] Н.Л.Бенькова, Н.Ф.Козлов, А.М.Можаев, Н.К.Осипов, Н.И.Саморокин, Геомагн. аэрон.,
1980, 20, №5, 817.
- [15] J.M.Holt, J.V.Evans, R.H.Wand, Radio Sci., 1983, 18, 947.
- [16] Б.Е.Брюнели. В сб.: Физические процессы в области главного ионосферного провала,
КАПГ-АН СССР, 1983, 71.
- [17] Ю.М.Гальперин, В.Н.Пономарев, Л.Г.Зосимова, Космич. исслед., 1973, II, 273.
- [18] Д.Д.Решетников и др. Морфология и динамика узких провалов ионизации в субаврораль-
ной области F. - Препринт Якутского филиала СО АН СССР, Якутск, 1987, 37.
- [19] В.Б.Ляцкий, Ю.П.Мальцев, Геомагн. аэрон., 1981, 21, 183.
- [20] А.С.Беспозванная, Л.Н.Макарова, Ионосферные исслед., 1983, №37, 57
- [21] R.M.Robinson, P.R.Vondrak, T.A.Potemra, J.Geophys. Res., 1981, 87, 731.