

**ИССЛЕДОВАНИЯ  
СОЛНЕЧНОЙ  
АКТИВНОСТИ  
И КОСМИЧЕСКАЯ  
СИСТЕМА  
«ПРОГНОЗ»**



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •

Г.А.Котова

## ДИФFUЗНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ГРАНИЦА МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ НА РАЗЛИЧНЫХ ШИРОТАХ

Одна из основных нерешенных проблем физики магнитосферы состоит в том, каким образом плазма солнечного ветра, импульс и энергия передаются в магнитосферу. В связи с этим большой интерес представляет изучение явлений, происходящих вблизи границы магнитосферы Земли.

Длительное время считалось, что магнитопауза — это резкая граница, отделяющая поток плазмы солнечного ветра от магнитосферы Земли. Магнитогидродинамические расчеты положения и формы магнитопаузы, выполненные в работах [1, 2], хорошо согласовывались с экспериментальными данными, полученными на ряде первых спутников серии "Explorer" [3, 4]. Однако временное разрешение приборов, установленных на этих спутниках, не давало возможности судить о плазменной и магнитной структуре магнитопаузы. Позднее было обнаружено, что при пересечении границы магнитосферы часто не наблюдается резких изменений свойств плазмы.

Первые сведения о диффузной плазменной структуре магнитопаузы были получены [5] в удаленных областях хвоста магнитосферы ( $\sim 40 R_E$ ) на аппарате "Pioneer-8" и [6] на расстояниях  $\sim 18 R_E$  от Земли на спутнике "Vela-4B". Затем были опубликованы данные, полученные со спутников "Vela-5,-6" [7]. На расстояниях орбиты Луны диффузная магнитопауза исследовалась на спутнике "Explorer-35" [8] и во время миссий "Apollo-12÷15" [9]. На европейском высокоапогейном спутнике HEOS-2 впервые подробно исследовалась граница магнитосферы вблизи Земли на высоких широтах в хвосте магнитосферы и в области каспа [10].

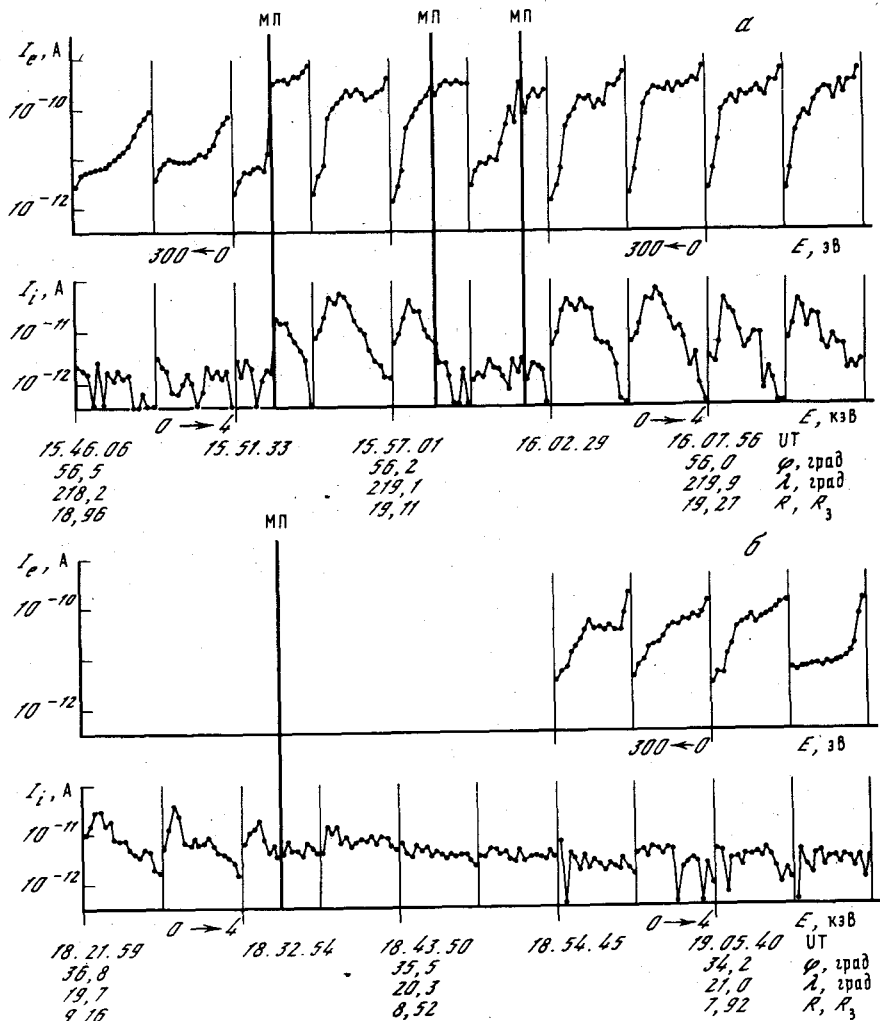
Авторами [11, 12] исследовалась дневная низкоширотная диффузная граница магнитосферы, при этом указывалось, что она регистрировалась в  $\sim 50\%$  случаев пересечений магнитопаузы станциями "Прогноз" и "Прогноз-2" в области широт  $0-30^\circ$  солнечно-магнитосферной системы координат. Позднее дневной пограничный слой (диффузная граница) изучался другими авторами [13-17]. Новые интересные данные получены на спутниках ISEE-1 и ISEE-2 [18].

Как уже отмечалось, обнаружение пограничного слоя плазмы вблизи магнитопаузы, достигающего в некоторых областях толщины в несколько  $R_E$ , имеет принципиальное значение для физики магнитосферы и представляет большой интерес для понимания процессов, происходящих при взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой Земли.

Ниже приводится обзор экспериментальных данных, относящихся к границе магнитосферы Земли, полученных на станциях "Прогноз" и "Прогноз-2÷6".

Для измерения характеристик ионов в солнечном ветре и магнитосфере Земли использовались модуляционные ионные анализаторы (цилиндры Фарадея), ориентированные на Солнце (с точностью  $\sim 10^\circ$ ). Измерения проводились в интервале энергий от 0 до  $\sim 4$  кэВ. На станциях "Прогноз-4÷6" также проводились измерения интегральных энергетических спектров потоков электронов с помощью широкоугольного анализатора, ориентированного в антисолнечном направлении. Тормозящее напряжение на сетке изменялось от 0 до  $\sim 300$  В (16 значений) [19, 20].

Станции "Прогноз-2÷6" пересекали магнитопаузу в северной подсолнечной части ее поверхности как на низких, так и на высоких широтах.



Р и с. 1. Примеры изменения спектров ионов и электронов, измеренных при пересечении резкой 28.XI 1977 г. (а) и диффузной 3.X 1977 г. (б) границ магнитосферы станцией "Прогноз-6"

В случае а станция три раза пересекала магнитопаузу (отмечено вертикальными линиями)

На рис. 1 приведены примеры спектров ионов и электронов, полученных при пересечении станцией "Прогноз-6" резкой (а) и диффузной (б) границ магнитосферы. К сожалению, 3.X 1977 г. до 18.54 UT отсутствуют данные по электронам. По оси ординат отложена величина тока, по оси абсцисс приведены: энергия, время, соответствующее началу регистрации каждого второго спектра, широта ( $\varphi$ ) и долгота ( $\lambda$ ) в солнечно-магнитосферной системе координат, а также расстояние от центра Земли. В случае резкой границы 28.XI 1977 г. потоки ионов и электронов при выходе из магнитосферы

сильно возрастают (примерно на порядок) за время  $\sim 10-30$  с, в то время как при пересечении диффузной границы между спектрами, характерными для переходной области, и спектрами, свойственными магнитосфере, наблюдается несколько промежуточных спектров (на рис. 1, б показан только каждый второй измеренный спектр). Таким образом, когда говорится о резкой магнитопаузе, имеется в виду, что граница магнитосферы пересекалась станцией за время, меньшее времени снятия полного спектра ионов (а часто гораздо быстрее), т.е. на "Прогнозах-4÷6" за время  $\sim 2$  мин, что соответствует расстоянию  $\sim 200-250$  км (без учета движения магнитопаузы).

Следует отметить, что при пересечении станцией магнитопаузы пограничный слой (диффузная граница) регистрировался не всегда как в низкоширотной дневной части магнитосферы, так и в высокоширотной области. Это противоречит утверждению авторов [16, 17] о постоянном существовании низкоширотного пограничного слоя и, возможно, связано с недостаточным временным разрешением приборов, так как при скорости движения магнитопаузы  $\sim 20$  км/с за 2 мин станция может пересекать слой толщиной  $\sim 20\ 000$  км. Однако в недавних измерениях, проведенных на спутниках ISEE-1,2 вблизи подсолнечной точки с высоким временным разрешением, магнитопауза в некоторых пролетах также регистрировалась как резкая граница [18].

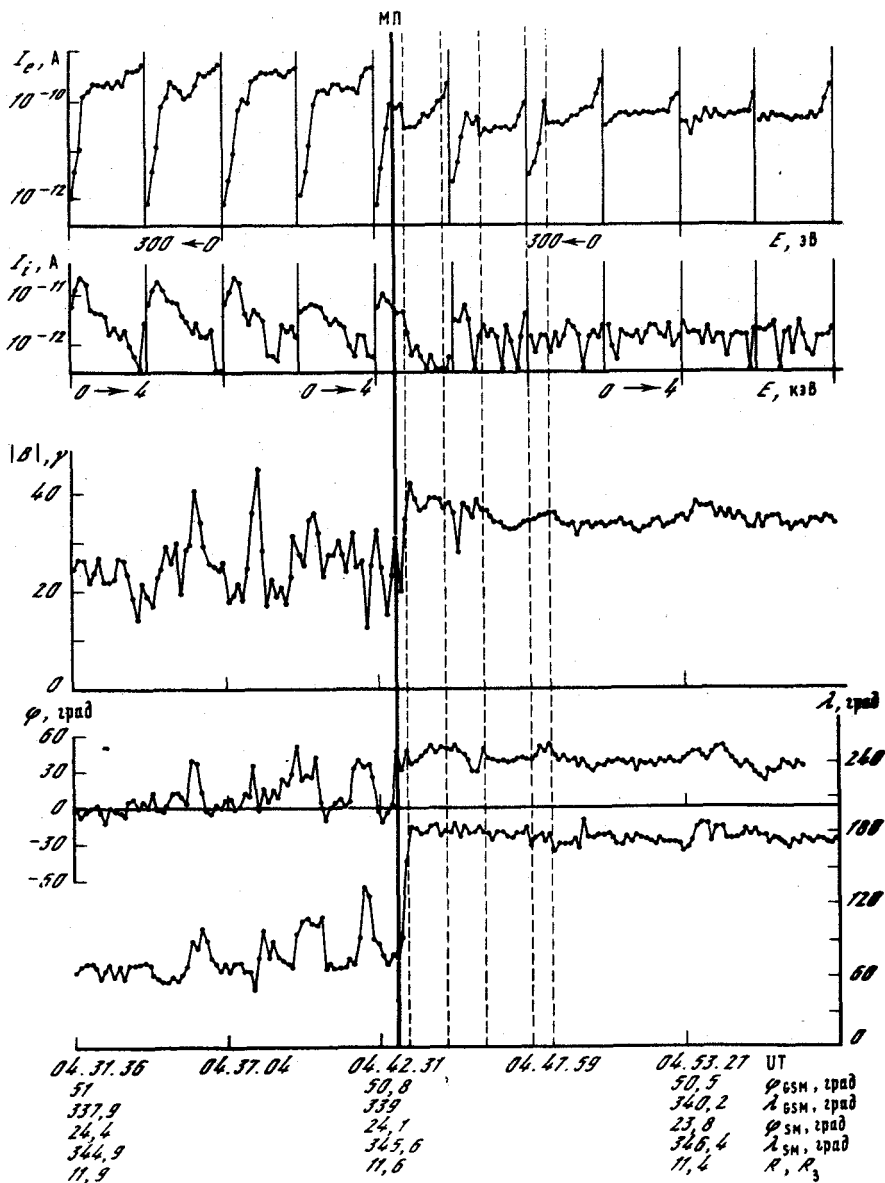
Рассмотрим теперь свойства пограничного слоя разных областей магнитосферы Земли.

#### ДНЕВНОЙ НИЗКОШИРОТНЫЙ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ

На рис. 2 представлены данные измерений плазмы и магнитного поля, полученные при пересечении станцией "Прогноз-6" дневного пограничного слоя на нисходящей части орбиты; показаны спектры потоков электронов и ионов (по оси ординат — ток, регистрируемый прибором) и данные по магнитному полю  $|B|$ , полярный и азимутальный углы в солнечно-эклиптической системе координат. По оси абсцисс указано время проводимых измерений, широта и долгота в солнечно-магнитосферной и солнечно-магнитной системах координат, расстояние от центра Земли. Из-за движения магнитопаузы станция пересекала ее несколько раз. Исходя из вида электронных спектров, естественно предположить, что внутренняя граница пограничного слоя также колебалась, благодаря чему станция несколько раз входила в область пограничного слоя, где спектры электронов похожи на спектры переходной области, но интенсивность потоков меньше, и выходила из нее. Спектры электронов пограничного слоя **сильно отличаются** от магнитосферных, и внутренняя граница слоя тем самым **резко выражена**. Спектры потоков ионов в слое меняются постепенно от характерных для переходной области до магнитосферных (см. рис. 1, б и 2).

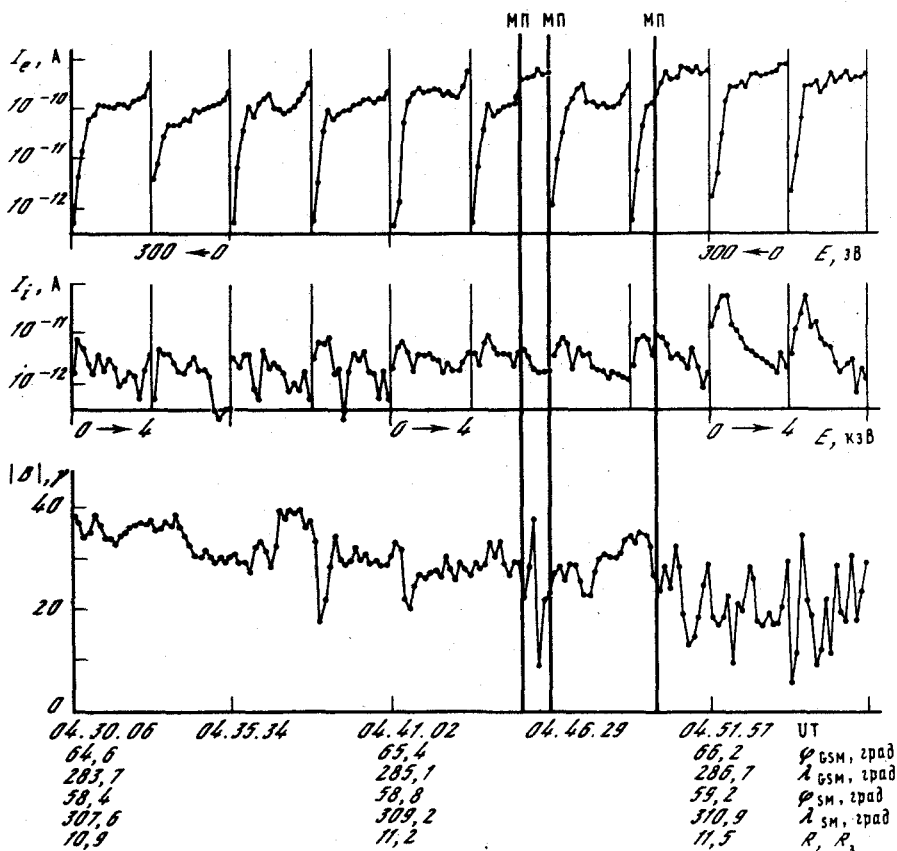
#### ВЫСОКОШИРОТНЫЙ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ ГЕОМАГНИТНОГО ХВОСТА (ПЛАЗМЕННАЯ МАНТИЯ)

На рис. 3 представлены данные, полученные на станции "Прогноз-6" при пересечении ею высокоширотного пограничного слоя на утреннем фланге магнитосферы (восходящая часть витка). Данные представлены в том же виде, что и на рис. 2, только на рис. 3 не приведены полярный и азимутальный углы вектора магнитного поля; здесь направление магнитного поля не изменилось при пересечении магнитопаузы. Станция пересекала магнитопаузу в 04.45.30, 04.46.30 и в 04.50.00 UT, что видно по изменению модуля



Р и с. 2. Последовательность электронных и ионных спектров и данные по магнитному полю, полученные при пересечении станцией "Прогноз-6" 8.XI 1977 г. дневного низкоширотного пограничного слоя

Сплошной вертикальной линией отмечено время последнего пересечения спутником магнитопаузы. Штриховыми линиями показаны моменты пересечений внутренней границы пограничного слоя



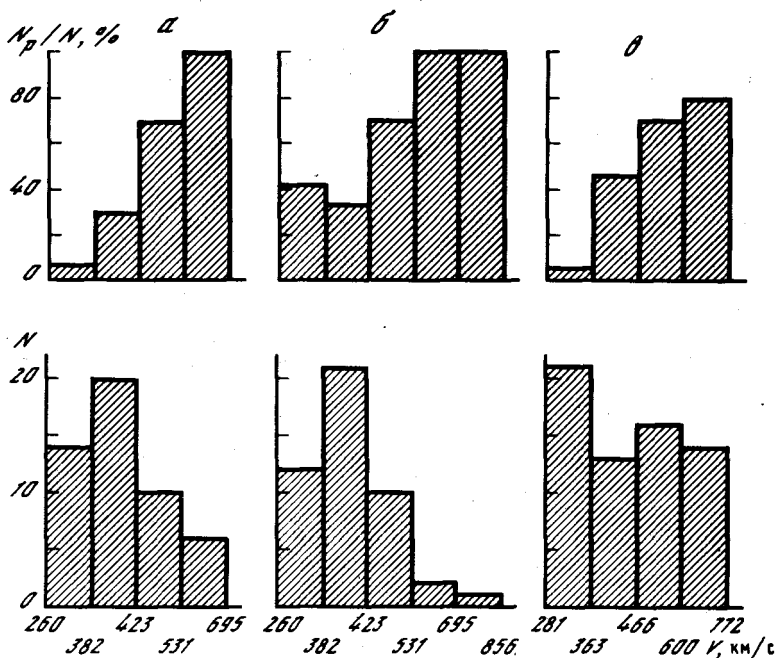
Р и с. 3. Последовательность электронных и ионных спектров и величина магнитного поля, измеренные 30. IX 1977 г. при пересечении станцией "Прогноз-6" высокоширотного пограничного слоя

Вертикальными линиями обозначены времена пересечения станцией магнитопаузы

вектора магнитного поля и внезапному изменению спектров потоков ионов. Такое резкое уменьшение интенсивности потоков ионов при пересечении магнитопаузы характерно для высокоширотного пограничного слоя. Это явление отмечалось ранее [21]. Спектры ионов и электронов пограничного слоя похожи на спектры переходной области, но несколько смягчаются к внутреннему краю слоя. Внутренняя граница слоя слабо выражена.

### ЗАВИСИМОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ОТ ВЕЛИЧИНЫ СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

По данным станций "Прогноз" и "Прогноз-2,3" была исследована зависимость существования пограничного слоя магнитосферы от величины скорости солнечного ветра. Предварительные результаты по данным "Прогноз-3" получены в [22]. Обращение к первым станциям серии "Прогноз" связано с тем, что они работали на орбите в 1972–1973 гг., т.е. в годы аномального повышения средней скорости солнечного ветра. В этот период часто наблюдались потоки солнечного ветра со скоростью  $\sim 700$  км/с [23]. Во



Р и с. 4. Зависимость числа случаев пересечения резкой магнитопаузы от скорости солнечного ветра

время же полетов последующих станций такие скорости практически не регистрировались.

По данным 50 пересечений магнитопаузы станций "Прогноз" (а), 46 пересечений — "Прогнозом-2" (б) и 64 пересечений — "Прогнозом-3" (в) были построены гистограммы, показанные на рис. 4. Рассматривались такие пересечения границы магнитосферы, для которых измерения скорости солнечного ветра проводились менее чем за сутки до (или после) регистрации магнитопаузы.

На рис. 4 по оси абсцисс везде отложена скорость, соответствующая максимуму спектра ионов солнечного ветра. На нижних гистограммах показано распределение общего числа пересечений магнитопаузы ( $N$ ). Вверху представлены для трех станций гистограммы зависимости относительного числа случаев регистрации резкой магнитопаузы ( $N_p/N$ ) от скорости солнечного ветра. Из рисунка видно, что вероятность существования резкой границы магнитосферы (по крайней мере с толщиной границы меньше  $\sim 500$  км) увеличивается с возрастанием скорости солнечного ветра. При скорости максимального потока солнечного ветра больше  $\sim 450$  км/с пограничный слой на границе магнитосферы регистрируется очень редко.

## МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ МАГНИТОСФЕРЫ

Следует отметить, что различие в характеристиках высокоширотного пограничного слоя (плазменной мантии) и низкоширотного говорит о различных механизмах образования этих слоев.

Основные свойства плазменной мантии можно понять, исходя из простой модели конвекции [10, 24]. Как показано на рис. 5, частицы, попавшие в касп и не попавшие в конус потерь, должны отразиться на некоторой высоте из-за сохранения магнитного момента. Одновременно двигаясь в разреженных электрическом и магнитном полях, они образуют пограничный слой с постепенно уменьшающимися энергией и концентрацией частиц в глубь магнитосферы (на рис. 5 темными кружками показаны частицы более высоких энергий, чем светлыми). В рамках этой модели понятно резкое изменение спектров ионов при пересечении магнитопаузы. Электроны же благодаря своей большой скорости должны были бы быть сосредоточены в узком слое вблизи магнитопаузы, но создаваемое тогда электрическое поле поляризации будет препятствовать этому процессу, и электроны распределятся по всему пограничному слою.

Интересные результаты получены авторами [25] на станции "Прогноз-7" по ионному составу высокоширотного пограничного слоя. Показано, что в плазменной мантии присутствуют значительные потоки ионов  $O^+$  ионосферного происхождения и магнитопауза, вероятно, является также и "композиционным" разрывом. Энергичные ионы  $O^+$  были также зарегистрированы при измерениях ионного состава, проводившихся на небольших высотах в области каспа на спутнике S3-3 [26]. Причем в большинстве случаев наблюдался поток ионов, направленный вверх. Это подтверждает гипотезу о том, что "заполнение" плазменной мантии происходит через касп. Тем не менее рассмотренная гипотеза остается качественной и требует соответствующих расчетов.

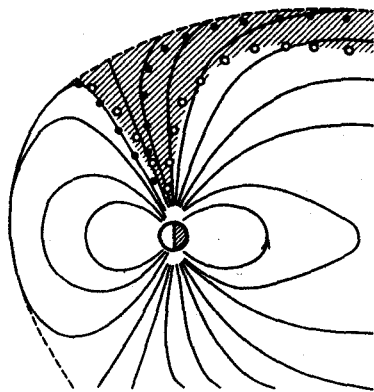
Рассмотрим источники образования дневного низкоширотного пограничного слоя.

Наблюдаемое по большей части постепенное изменение характеристик пограничного слоя с удалением от магнитопаузы и подобие спектров ионов и электронов пограничного слоя и близлежащей части переходной области говорит о том, что наиболее вероятным источником частиц дневного низкоширотного пограничного слоя является переходная область. Так, в работе [17] в качестве основного механизма образования низкоширотного пограничного слоя рассматривается диффузия частиц через границу, вызванная плазменными кинетическими неустойчивостями, в частности нижнегибрид-нодрейфовой неустойчивостью. Такой механизм позволяет объяснить различие в толщине токового слоя магнитопаузы и пограничного слоя. Одномерная модель низкоширотного пограничного слоя на флангах магнитосферы, основанная на вязкодиффузионном взаимодействии, предложена в работе [27]. Однако в рамках диффузионной модели трудно описать образование пограничного слоя в тех случаях, когда его границы четко выражены. Такие случаи отмечались по данным спутников ISEE-1,2 вблизи подсолнечной точки магнитопаузы. Почти во всех пересечениях на внутренней границе слоя резко изменяются спектры электронов, т.е. либо процесс диффузии должен прекращаться у внутреннего края слоя, либо механизм поступления электронов в слой отличается от механизма поступления ионов.

Авторы [14] предположили, что источником плазмы низкоширотного пограничного слоя может служить плазма, поступающая в магнитосферу



Р и с. 5. Схематическое представление движения частиц в каспе и в плазменной мантии [10]



в результате пересоединения силовых линий межпланетного и геомагнитного полей, происходящего в каспе. На такую возможность указывают и лабораторные эксперименты [28]. Но тогда в пограничном слое скорость плазмы должна быть направлена к Солнцу, что регистрируется довольно редко [17].

Авторы [29] рассматривали в качестве механизма образования пограничного слоя "импульсное проникновение" элементов плазмы солнечного

ветра с увеличенной концентрацией в магнитосферу Земли. Этот механизм объясняет большую вероятность существования пограничного слоя при меньшей скорости солнечного ветра, так как высокоскоростные потоки солнечного ветра более "однородны", чем низкоскоростные [30]. Однако эта модель требует серьезной теоретической разработки.

Таким образом, пока трудно отдать предпочтение какому-либо из механизмов образования низкоширотного пограничного слоя. Вероятно, надо учитывать несколько механизмов. Степень их относительного вклада, видимо, зависит от магнитной активности, параметров солнечного ветра и других факторов. Однако в отличие от плазменной мантии низкоширотный пограничный слой, вероятно, пополняется плазмой, проникающей непосредственно через магнитопаузу из близлежащих областей переходной области.

В связи с этим интересно рассмотреть поведение энергичных электронов вблизи магнитопаузы [31–36].

На станции "Прогноз-4" проводились измерения спектров энергичных электронов в диапазоне энергий 0,3–3 МэВ [37]. Было обнаружено существенное различие в поведении электронных потоков, регистрируемых при входе станции в магнитосферу (на умеренных широтах с дневной стороны) и при выходе из нее (на высоких широтах с утренней стороны). В первом случае потоки электронов начинают увеличиваться перед магнитопаузой и продолжают нарастать после ее пересечения, тогда как во втором случае потоки электронов уменьшаются при перемещении от магнитопаузы в глубину магнитосферы. Показатели степени  $\gamma$  энергетических спектров электронов в прилегающем к магнитопаузе слое и электронов, захваченных в магнитосфере, близки ( $\gamma \approx 3 \div 4$ ) и значительно превышают  $\gamma$  спектров электронов солнечного ветра и переходной области. Все это свидетельствует о том, что энергичные электроны поступают из магнитосферы в расположенный в переходной области и примыкающий к магнитопаузе слой с дневной стороны на умеренных широтах, а затем по обволакивающим магнитопаузу силовым линиям магнитного поля, замороженного в плазму переходной области, растекаются по магнитопаузе и достигают более высоких широт.

В работе [38] на основании измерений трехмерной функции распределения энергичных заряженных частиц на спутниках ISEE-1,2 показано, что энергичные электроны и ионы проникают в переходную область через дневную магнитопаузу и на более низких широтах.

Таким образом, слой энергичных частиц с внешней стороны магнитопау-

зы и пограничный слой плазмы с внутренней стороны обнаруживают некоторые общие черты. Видимо, и энергичные частицы магнитосферы, и плазма переходной области могут проникать через дневную магнитопаузу на низких и средних широтах и через каспы, образуя с одной стороны слой энергичных электронов и ионов, а с другой — плазменный пограничный слой. Наоборот, вблизи границы хвоста магнитосферы на высоких широтах подобные слои, вероятно, образованы частицами, приходящими с дневной стороны и из области каспов. Т.е. свойства границы магнитосферы таковы, что она является достаточно прозрачной в одних областях (со стороны "набегающего" солнечного ветра на магнитосферу) и значительно более "закрытой" в других (в области хвоста магнитосферы). Вопрос же о механизмах проникновения частиц через магнитопаузу требует дальнейшего изучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жигулев В.Н., Ромишевский Е.А. О взаимодействии потоков проводящей среды с магнитным полем Земли. — ДАН СССР, 1959, т. 127, вып. 5, с. 1001.
2. Спрайтер Дж.Р., Алксне А.И. Обтекание магнитосферы потоком солнечной плазмы. — В кн.: Физика магнитосферы/ Под ред. Д.Вильямса и Дж.Мида. М.: Мир, 1972, с. 19.
3. Cahill L.J., Amazeen P.G. The boundary of the geomagnetic field. — J. Geophys. Res., 1963, vol. 68, N 7, p. 1835.
4. Wolfe J.H., Silva R.W., Myers M.A. Observations of the solar wind during the flight of IMP 1. — J. Geophys. Res., 1966, vol. 71, N 5, p. 1319.
5. Intrilligator D.S., Wolfe J.H. Evidence of a diffuse magnetopause boundary. — J. Geophys. Res., 1972, vol. 77, N 28, p. 5480.
6. Hones E.W., Jr., Asbridge J.R., Bame S.J. et al. Measurements of magnetotail plasma flow made with Vela 4B. — J. Geophys. Res., 1972, vol. 77, N 28, p. 5503.
7. Akasofu S.I., Hones E.W., Jr., Bame S.J. et al. Magnetotail and boundary layer plasmas at a geocentric distance of 18  $R_E$ : Vela 5 and 6 observations. — J. Geophys. Res., 1973, vol. 78, N 31, p. 7257.
8. Howe H.W., Siscoe G.L. Magnetopause motions at Lunar distance determined from the Explorer 35 plasma experiment. — J. Geophys. Res., 1972, vol. 77, N 31, p. 6071.
9. Hardy D.A., Hills H.K., Freeman J.W. A new plasma regime in the distant geomagnetic tail. — Geophys. Res. Lett., 1975, vol. 2, N 5, p. 169.
10. Rosenbauer H., Grünvaldt H., Montgomery M.D. et al. Heos 2 plasma observations in the distant polar magnetosphere: the plasma mantle. — J. Geophys. Res., 1975, vol. 80, N 19, p. 2723.
11. Bezrukih V.V., Breus T.K., Verigin M.I. et al. Dependence of the Earth's magnetopause and bow shock positions on the solar wind parameters and the magnetopause plasma structure observed by charged particle traps aboard the "Prognoz" and "Prognoz-2" satellites. Preprint D-192. М.: Space Research Institute AS USSR, 1975.
12. Безруких В.В., Бреус Т.К., Веригин М.И. и др. Зависимость положения магнитопаузы и околоземной ударной волны от параметров солнечного ветра и плазменная структура магнитопаузы по данным ловушек заряженных частиц на станциях "Проноз" и "Проноз-2". — В кн.: Проблемы солнечной активности и космическая система "Проноз". М.: Наука, 1977, с. 242.
13. Paschman G., Haerendel G., Scopke N. et al. Plasma and magnetic field characteristics of the distant polar cusp near local noon: the entry layer. — J. Geophys. Res., 1976, vol. 81, N 16, p. 2883.
14. Haerendel G., Paschman G., Scopke N. et al. The frontside boundary layer of the magnetosphere and the problem of reconnection. — J. Geophys. Res., 1978, vol. 83, N 47, p. 3195.
15. Crooker N.U. Explorer 33 entry layer observations. — J. Geophys. Res., 1977, vol. 82, N 4, p. 515.
16. Eastman T.E., Hones E.W., Jr., Bame S.J., Asbridge J.R. The magnetospheric boundary layer: site of plasma, momentum and energy transfer from the magnetosheath into the magnetosphere. — Geophys. Res. Lett., 1976, vol. 3, N 11, p. 685.
17. Eastman T.E. The plasma boundary layer and the magnetopause layer of the Earth's magnetosphere. Univ. Calif., Los Alamos scientific laboratory, 1979, Thesis LA-7842-T.
18. Paschman G., Scopke N., Haerendel G. et al. ISEE plasma observations near the subsolar magnetopause. — Space Sci. Rev., 1978, vol. 22, N 6, p. 717.
19. Грингауз К.И., Безруких В.В., Волков Г.И. и др. Исследование солнечной плазмы

- вблизи Марса и на трассе Земля—Марс при помощи ловушек заряженных частиц на советских космических аппаратах 1971—1973 гг. 1. Методы и приборы. — *Косм. исслед.*, 1974, т. 12, вып. 3, с. 430.
20. *Безруких В.В., Беляшин А.П., Волков Г.И.* и др. Изучение плазмы в магнитосфере Земли и межпланетном пространстве на спутниках серии "Прогноз". — *Геомагнетизм и аэронавтика*, 1974, т. 14, № 3, с. 399.
  21. *Scopke N., Paschman G.* The plasma mantle. A survey of magnetotail boundary layer observations. — *J. Atm. Terr. Phys.*, 1978, vol. 40, N 3, p. 261.
  22. *Gringauz K.I., Breus T.K., Verigin M.I.* et al. The magnetosphere plasma boundary at various latitudes according to Prognoz-3 and Mars-5 data. Preprint D-263. M.: Space Research Institute AS USSR, 1978.
  23. *Gosling J.T., Asbridge J.R., Bame S.J.* An unusual aspect of solar wind speed variations during solar cycle 20. — *J. Geophys. Res.*, 1977, vol. 82, N 22, p. 3311.
  24. *Бреус Т.К., Грингауз К.И.* Экспериментальные результаты изучения взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли. — В кн.: *Математические модели ближнего космоса*. Новосибирск: Наука, 1977, с. 100.
  25. *Lundin R., Sandahl I., Hultqvist B.* et al. First observations of the hot ion composition in the high latitude magnetospheric boundary layer by means of Prognoz-7. — In: *Magnetospheric Boundary Layers: Proc. Sydney Chapman Conf.*, Alpbach, ESA SP-148, p. 91.
  26. *Shelley E.G.* Ion composition in the dayside cusp: injection of ionospheric ions into the high latitude boundary layer. — In: *Magnetospheric Boundary Layers: Proc. Sydney Chapman Conf.* Alpbach, ESA SP-148, p. 187.
  27. *Sonnerup B.U.Ö.* Theory of the low latitude boundary layer. — *J. Geophys. Res.*, 1980, vol. 85, N A5, p. 2017.
  28. *Дубинин Э.М., Подгорный И.М., Потанин Ю.Н.* Экспериментальное доказательство существования открытой и закрытой моделей магнитосферы II. — *Косм. исслед.*, 1978, т. 14, вып. 1, с. 87.
  29. *Lemaire J., Roth M.* Penetration of solar wind plasma elements into the magnetosphere. — *J. Atm. Terr. Phys.*, 1978, vol. 40, N 3, p. 331.
  30. *Bame S.J., Asbridge J.R., Feldman W.C., Gosling J.T.* Evidence for a structure-free state at high solar wind speeds. — *J. Geophys. Res.*, 1977, vol. 82, N 10, p. 1487.
  31. *Palmer I.D., Hones E.W., Jr.* Characteristics of energetic electrons in the vicinity of the magnetospheric boundary layer at Vela orbit. — *J. Geophys. Res.*, 1978, vol. 83, N A6, p. 2584.
  32. *Baker D.M., Stone E.C.* The magnetopause energetic electron layer. 1. Observations along the distant magnetotail. — *J. Geophys. Res.*, 1978, vol. 83, N A9, p. 4327.
  33. *Daly P.W., Keppler E., Williams D.J.* Ion and electron layers at the magnetopause: ISEE-2. — In: *Magnetospheric Boundary Layers: Proc. Sydney Chapman Conf.*, Alpbach, ESA SP-148, p. 137.
  34. *Meng C.-I., Frank L.A., Ackerson K.L.* Particle and field characteristics of the dayside magnetopause energetic electron layer. — In: *Magnetospheric Boundary Layers. Proc. Sydney Chapman Conf.*, Alpbach, ESA SP-148, p. 143.
  35. *Антонова А.Е., Николаева Н.С.* Потoki энергичных электронов во внешней магнитосфере Земли по наблюдениям на ИСЗ "Прогноз-3". — *Геомагнетизм и аэронавтика*, 1979, т. 19, № 4, с. 615.
  36. *Минеев Ю.В., Савенко И.А., Савельев В.Г.* Изучение электронов с энергиями 0,3—3 МэВ на спутнике "Прогноз-4". — *Геомагнетизм и аэронавтика*, 1978, т. 18, № 2, с. 203.
  37. *Mineev Yu.V., Spir'kova E.S., Gringauz K.I.* et al. Prognoz 4 observations of electrons accelerated up to energies  $\leq 2$  MeV and of the cold plasma between the magnetopause and the bow shock. — In: *CRIP Hungarian AS. Budapest, KFKI—1980—29.*
  38. *Williams D.J., Fritz T.A., Wilken B., Keppler E.* An energetic particle perspective of the magnetopause. — *J. Geophys. Res.*, 1979, vol. 84, N A11, p. 6385.