

---

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ  
ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR  
SOVIET GEOPHYSICAL COMMITTEE

---



*РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРОЕКТАМ*

# МАГНИТОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 10

МОСКВА 1988

---

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ СО СПУТНИКОВ  
"ПРОГНОЗ" ВО ВРЕМЯ МИМ

Спутниковые измерения ионной и электронной компонент плазмы относятся к числу наиболее трудных физических измерений в космосе. Измерения электронной составляющей плазмы методом зонда Ленгмюра, легко осуществимые в ионосфере, невозможны в плазмосфере при малых значениях электронной концентрации из-за влияния фотоэлектронов, эмитированных со спутника; измерения ионов с энергиями порядка долей эВ легче осуществить, чем измерения электронов, но и они затруднены необходимостью учета потенциала спутника  $\Phi_{сп}$ .

Эти трудности отчасти объясняют, почему, несмотря на то, что с момента обнаружения плазмосферы прошло более 20 лет, до сих пор некоторые существенные результаты ранее опубликованных работ иногда подвергаются сомнению. Например, в конце 1979 г. Дж.Хоровиц и С.Чеппел [1] считали, что в области плазмосферы ( $L < 3$ ) ничего неизвестно о температуре ионов  $T_i$ , несмотря на измерения, проведенные на спутнике OGO-5 Ж.Сербу и Э.Майером [2] и на спутнике "Прогноз" - В.В.Безруких и К.И.Грингаузом [3] и содержавшие распределения  $T_i$  в плазмосфере.

Период, начинавшийся с МИМ, интересен тем, что для изучения плазмосферы наряду с применявшимися ранее спутниковыми приборами (ионными ловушками, анализаторами с тормозящими потенциалами, масс-спектрометрами) стали использоваться приборы новых типов, позволяющие изучать электронную компоненту плазмы (включая район плазмплаузы): зонд "взаимного импеданса" [4,5], а также приборы, которые можно назвать "гибридными", сочетающими свойства анализаторов с тормозящим потенциалом, электростатического анализатора и масс-спектрометра и позволяющие получить энергетические иpitch-угловые спектры каждого типа ионов, населяющих плазмосферу [6-8]. Помимо данных о массах ионов, об их концентрациях  $n_i$  и температуре  $T_i$ , со спутников стали получать данные о pitch-угловых распределениях ионов каждой массы. Это открывает возможности для изучения динамики плазмосферных частиц, процессов заполнения и опустошения магнитных трубок в плазмосфере, для выяснения происхождения плазмосферных ионов и механизмов связи плазмосферы с другими частями магнитосферы.

Однако применение более простых приборов для изучения плазмосферы не потеряло смысла. Начиная с первых масс-спектрометрических измерений в плазмосфере [9] стало известно, что плазмосфера в основном состоит из протонов; все дальнейшие измерения не изменили этого результата. Измерения с "простыми" анализаторами с тормозящим потенциалом дают результаты, относящиеся, в основном, к протонам и по-прежнему могут быть полезны для длительных и непрерывных измерений крупномасштабных характеристик плазмосферы (ибо, чем меньше "мод" или различных режимов работы у прибора, тем больше сопоставимых результатов он может дать).

Результаты измерений с первого спутника серии "Прогноз" позволили К.И.Грингаузу и В.В.Безруких [3,6] обнаружить и описать сильную

полуденно-полуночную асимметрию плазмосферы (не отмечавшуюся ранее по данным американских спутников), а также выявить существование двух существенно различных зон плазмосферы: внутренней ( $L \lesssim 3$ ) - стабильной и холодной с температурой ионов  $T_i \lesssim 10^4 \text{ K}$  и внешней - изменчивой и "горячей" с температурой  $T_i \gtrsim 10^4 \text{ K}$ , достигающей до  $10^5 \text{ K}$  у плазмопаузы. Впервые столь высокие значения температуры вблизи плазмопаузы были получены Г.Сербу и Э.Майером в 1970 г. [2] по данным спутникаOGO-5. Однако малый наклон орбиты этого спутника к экваториальной плоскости не позволял получить информацию о распределении температуры вдоль L-оболочек, поэтому авторы рассматривали лишь зависимость  $T_i$  от высоты над Землей. Измерения на спутниках "Прогноз" позволяли в течение короткого интервала времени получать информацию из различных сечений одних и тех же L-оболочек и дали возможность впервые обнаружить две различные зоны в плазмосфере. Следует отметить, что оба эффекта: полуденно-полуночная асимметрия плазмосферы и наличие двух температурных зон подтвердились последующими измерениями других авторов, однако ни в одной из серий американских работ за 1983-1984 гг. по внешней плазмосфере не упоминается об этой асимметрии, а Дж.Хоровиц и Ч.Чепел [1] считают неизвестной температуру внутренней зоны. Поэтому программа МИМ включала дальнейшие исследования плазмосферы со спутников "Прогноз-5" и -6".

#### Результаты измерений со спутника "Прогноз-5"

Спутник "Прогноз-5" был запущен в период МИМ 24.09.76 г. с наклоном к экватору  $65^\circ$ , с апогеем 19 880 км; перигей, составлявший вначале 500 км, возрос до 2 000 км к 12.03.77 г. (апогей за это время практически не изменился); ось симметрии (она же ось вращения) спутника была ориентирована на Солнце, период обращения вокруг Земли составлял около 4 сут. В настоящем сообщении используются данные плоского анализатора ионов с тормозящим потенциалом, расположенного на затененной от Солнца части спутника с апертурой, перпендикулярной оси вращения.

Обработка кривых торможения (ионных зондовых характеристик) велась следующим образом: из величин измеренных токов вычиталась величина тока, соответствующего потенциалу торможения  $U_R = 25 \text{ В}$ , т.е. исключалось влияние потоков ионов с энергиями  $\epsilon_i \gtrsim 25 \text{ эВ}$  и электронов с  $\epsilon_e \lesssim 70 \text{ эВ}$ ; (-70 В - напряжение на супрессорной сетке анализатора). Более высоким энергиям соответствовал меньший наклон кривой торможения в полулогарифмическом масштабе (в соответствии с теорией Ленгмюра). Наличие двух наклонов может быть вызвано либо примесью более тяжелых, чем протоны, ионов, либо наличием двух компонент плазмы с различными значениями  $T_i$ .

На рис.1 приведен монтаж кривых торможения, полученных 08.02.77 (при одном из прохождений спутника через плазмосферу); он наглядно демонстрирует вариации значений  $T_i$ , наличие более холодных и более горячих зон, а также существование участков траектории, на которых у кривых торможения нет четко выраженных линейных участков (кривые сильно изломаны).

Обработка кривых торможения с одним линейным участком проводилась в следующих предположениях: а) распределение скоростей ионов -

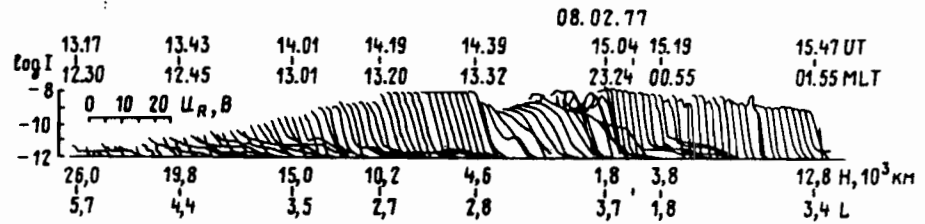


Рис. 1. Монтаж кривых торможения ионов на околоземном участке орбиты спутника "Прогноз-5"

максвелловское; б) все ионы считались протонами. Методом наименьших квадратов производился подбор параметров аналитического выражения, включающего скорость спутника (известную),  $n_i, T_i$  и потенциал спутника  $\Phi_{сп}$ , до совпадения теоретической и экспериментальной зондовой характеристик.

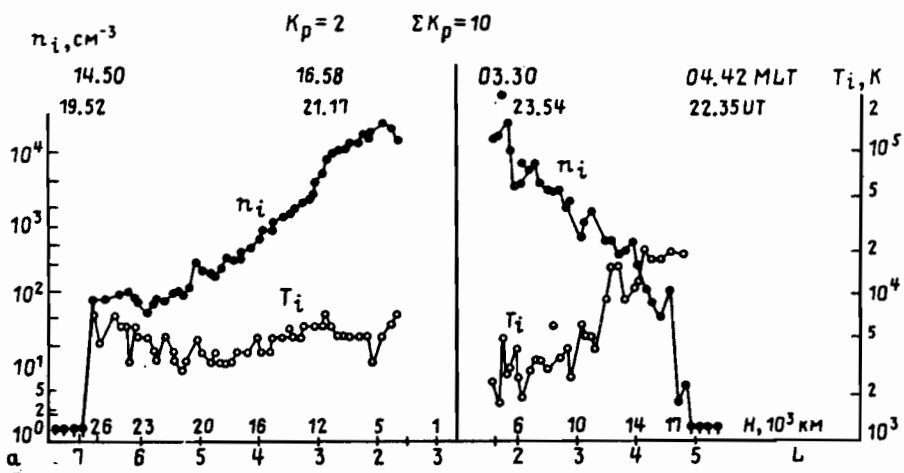
Обработка "изломанных" кривых торможения была более сложной. Измеренные значения  $T_i$  характеризуют только тепловую часть ионов с энергиями  $\lesssim 25$  эВ и не зависят ни от одновременного наличия более энергичных частиц, ни от дрейфовой скорости плазмы (которая не влияет на наклон кривой торможения). Наличие ионов с энергиями  $\gtrsim 25$  эВ (например, попадание в анализатор ионов кольцевого тока) не может повлиять на определение  $T_i$ . Здесь уместно подчеркнуть, что описанная методика измерений ионной температуры  $T_i$  в плазмосфере со спутников "Прогноз-5" и "-6", с помощью которой подтвердились результаты относительно  $T_i$  [3,6], исключает возможность завышения  $T_i$  за счет присутствия горячих ионов кольцевого тока, как это предполагали И.А.Кринберг и А.В.Тащилин [7], возражая против результатов определения  $T_i$  во внешней плазмосфере, которые позволили К.И.Грингаузу и В.В.Безруких [3, 6] обнаружить горячую внешнюю зону. Заметим, что указанное предположение понадобилось авторам работы [7] для устранения ими же созданных противоречий: используя неверные данные о химическом составе и температуре плазмосферы, они получали, что существование горячей зоны плазмосферы приведет к нагреву соответствующих областей в ионосфере, который не наблюдается в действительности. Необходимость сделанного здесь замечания обусловлена тем, что в более поздних работах авторы [7] не отказывались от своих результатов, а в монографии [8] обошли молчанием вопрос о существовании горячей зоны вблизи плазмопаузы.

На рис.2,а-д приведены примеры типичных распределений  $n_i, T_i$  для различных пролетов спутника "Прогноз-5" через плазмосферу. Каждая пара точек ( $n_i, T_i$ ) есть результат обработки кривой торможения ионов описанным выше методом. Снятие одной характеристики происходило на участке орбиты протяженностью от 33 км (в районе, близком к перигею спутника) до 700 км (в районе плазмопаузы).

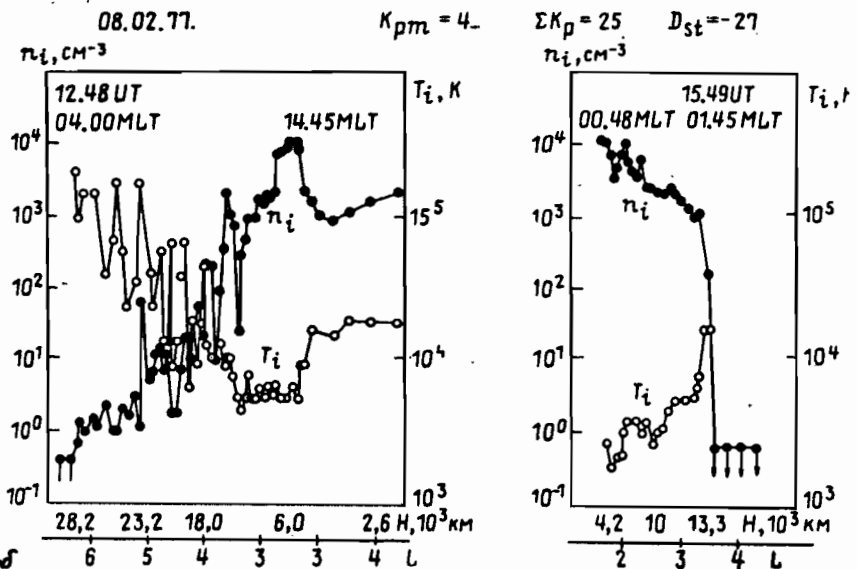
На пяти из приводимых семи пар распределений четко видна полуденно-полуночная асимметрия плазмосферы (а-д) и только на одной из пар распределений (б) отсутствует повышение  $T_i$  во внешней области плазмосферы.

Таким образом, случаи отсутствия полуденно-полуночной асимметрии

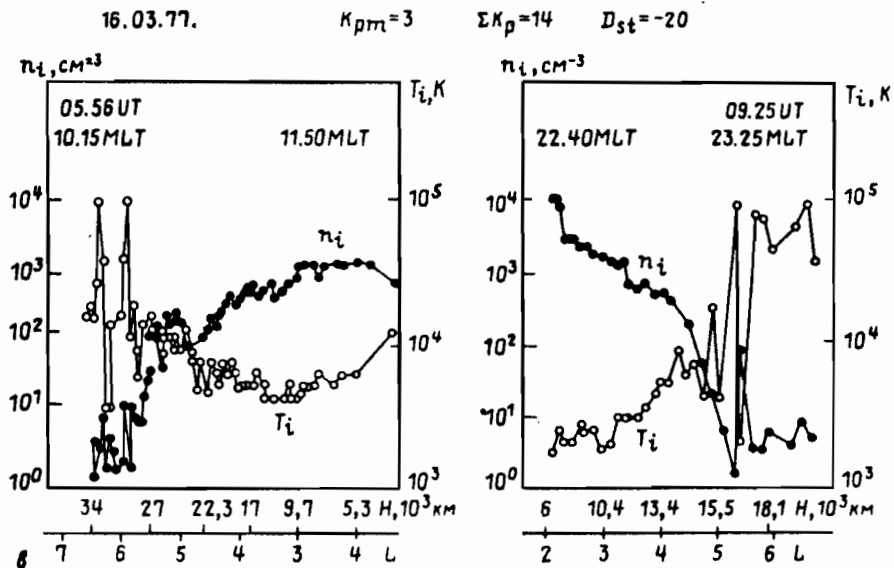
03.01.77



08.02.77.



16.03.77.



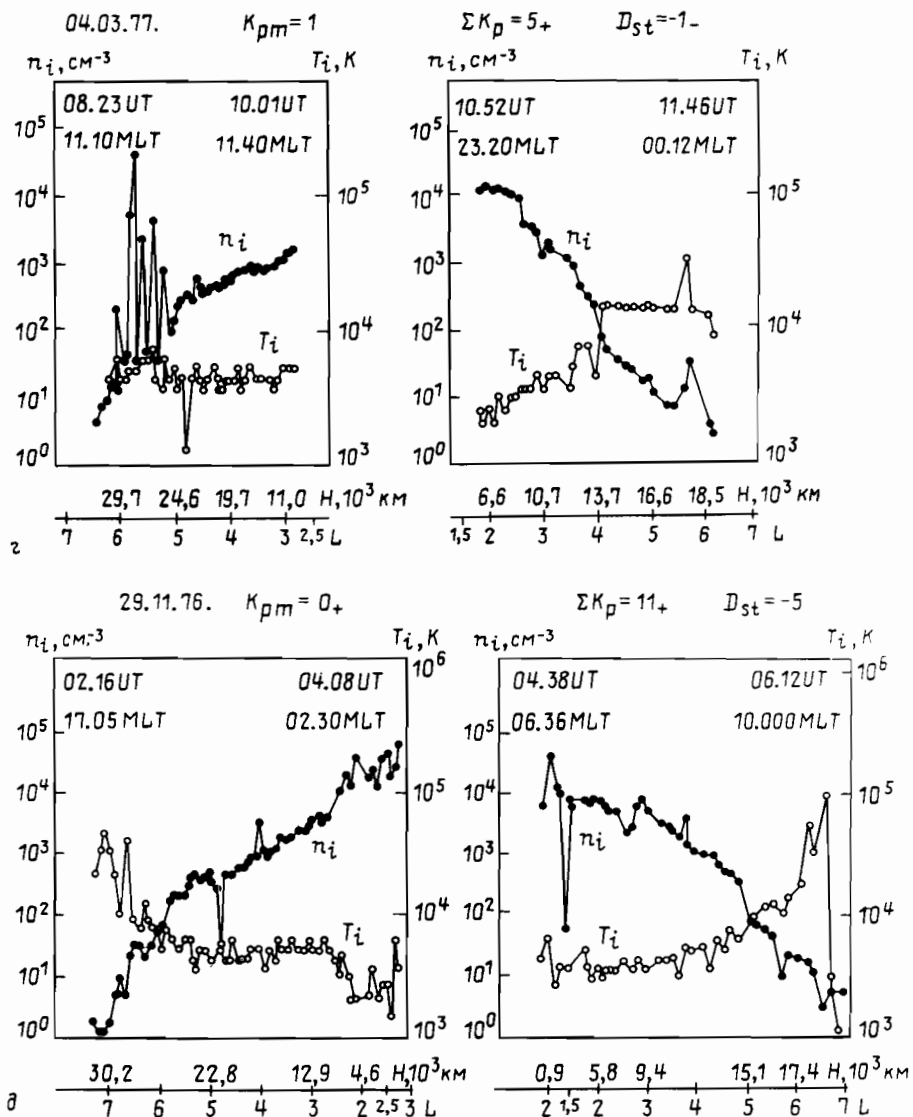


Рис.2. Распределения  $n_i$  ( $L, H$ ) и  $T_i$  ( $L, H$ ) со спутника "Прогноз-5" (а-д)

плазмосферы и повышения температуры во внешней зоне встречаются, но они не совпадают друг с другом; их много, и они заслуживают специального изучения.

Привлекают внимание резкие колебания концентрации плазмы и ионной температуры, нередко наблюдаемые во внешней плазмосфере. Они, по-видимому, соответствуют реально существующим в плазмосфере неоднородностям параметров (масштаба сотен и тысяч километров).

Анализ приведенных типичных примеров – профилей плотности и температуры протонной составляющей плазмосферы, а также изучение всех данных, полученных со спутника "Прогноз-5", позволяют сделать следующие выводы.

1. Плазмосфера часто весьма неоднородна по концентрации плазмы и ионной температуре, особенно в районе плазмопаузы.

2. Полуночно-полуденная асимметрия плазмопаузы имеет место в большинстве случаев (но не всегда) при малой и умеренной магнитной возмущенности.

3. Дневной профиль  $n_i(L)$  в большинстве случаев является более пологим, чем ночной.

4. Четко выраженная плазмопауза в виде области быстрого спада концентрации плазмы может наблюдаться либо и на дневной, и на ночной стороне плазмосферы, либо только на дневной или только на ночной стороне, либо вообще отсутствует (т.е. спад концентрации плазмы с увеличением  $L$  иногда может быть постепенным).

5. Внутренняя зона плазмосферы ( $L < 3$ ), как правило, холодная ( $T_i \leq 8 \cdot 10^3 \text{K}$ ).

6. Во внешней части плазмосферы может наблюдаться теплая плазма: а) на дневной и на ночной стороне ( $T_i > 8 \cdot 10^3 \text{K}$ ); б) либо только на ночной стороне; в) только на дневной стороне плазмосферы; в очень редких случаях условие  $T_i \approx 8 \cdot 10^3 - 10^4 \text{K}$  выполняется во всей плазмосфере (теплая зона отсутствует).

#### Сравнение результатов измерений с "Прогноз-5" с результатами измерений с других спутников

Полуденно-полуночная асимметрия плазмосферы. Это свойство плазмосферы после его описания К.И.Грингаузом и В.В.Безруких [6] было подтверждено по данным двойного зонда на спутнике "Explorer-45" Н.Майнердом и Дж.Гребовским [9], по данным наблюдений свистящих атмосфериков Карпентером [10] и по данным активного волнового эксперимента на спутнике GEOS-1 (измерения методом "взаимного импеданса") П.Дюкро и др. [5]. Впоследствии это различие свойств полуденной и ночной плазмосферы было подтверждено по данным другого активного волнового эксперимента - релаксационного зонда со спутника GEOS-2, полученным в 1979 г. Б.Хигелем и В.Леем [11]. На рис.3 показаны результаты измерений электронной концентрации  $n_e$  на указанном геосинхронном спутнике, в различные моменты местного времени, в интервале  $n_e$  от 0,1 до  $100 \text{ см}^{-3}$ ; расстояние каждой точки от центра диаграммы определяет  $n_e$ . Из графика видно, что значения  $n_e$  в полдень существенно выше и стабильнее, чем меньшие и значительно более сильно разбросанные значения  $n_e$  вблизи полуночи, что вполне соответствует результатам, полученным со спутников "Прогноз-5", -6".

Данные спутников "Прогноз-5" (1977) и GEOS-2 (1979) находятся в согласии с данными со спутника "Прогноз", полученными в 1972 г. (рис.4); все вместе свидетельствует о том, что асимметрия плазмопаузы в направлении полдень-полуночь наблюдается во всех фазах солнечного цикла. Вопрос о суточных изменениях высоты плазмопаузы, по-видимому, не обсуждался в последних работах авторов из США, а также на конференции в Хантсвилле, США [12], несмотря на его очевидную важность для физики плазмосферы и проблемы циркуляции магнитосферной плазмы.

Теплая зона в плазмосфере. До 1976 г. единственными данными о температуре заряженных частиц в плазмосфере были оценки  $T_i$ , полученные Грингаузом с сотрудниками [13] на основе измерений на советской ракете "Луна-2" и данные Сербу и Майера [2] о  $T_i$  и  $T_e$  со

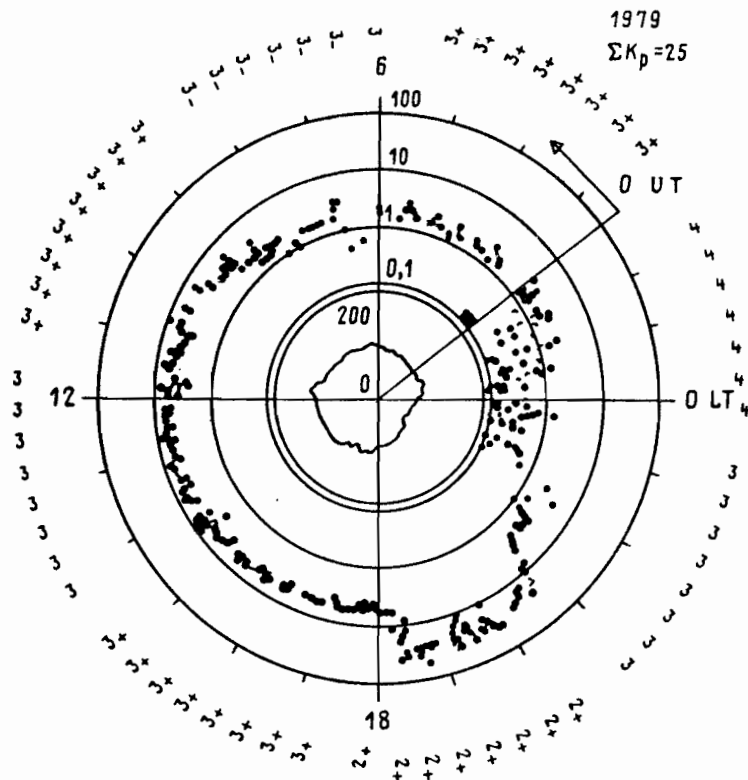


Рис.3. Полярная диаграмма  $n_i$  (MLT) со спутника GEOS-2 30.01.79

спутника OGO-5, причем измерения Сербу и Майера были проведены при малых наклонениях к экваториальной плоскости. В работе [3] приведены данные о  $T_i$  в различных сечениях  $L$ -оболочек: показано, что при  $L < 3$   $T_i \leq 8 \cdot 10^3$  К не только вблизи геомагнитного экватора, но во всей плазмосфере; было предложено рассматривать плазмосферу как состоящую из "холодной" ( $L \leq 3$ ,  $T_i \leq 1$  эВ) и "горячей" зон ( $L \geq 3$ ,  $T_i \approx 1-20$  эВ). Как отмечалось выше, "горячую" зону более целесообразно называть теплой зоной плазмосферы.

После 1976 г. опубликовано много экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что при  $L \geq 3$ ,  $T_i \approx 1-20$  эВ. Большинство этих публикаций относятся к зоне, близкой к экваториальной плоскости - данные получены со спутников ATS-6, GEOS-1, -2, ISEE [1, 5, 14-17]. Единственным спутником (кроме спутников серии "Прогноз"), проводившим измерения в плазмосфере достаточно далеко от экваториальной плоскости, является спутник DE-1 [18, 19]. Все без исключения упомянутые измерения подтверждают существование теплой зоны в плазмосфере хотя (как следует из приведенных выше данных с "Прогноза-5") бывают случаи, когда вся плазмосфера холодная ( $T_i \leq 1$  эВ).

Согласно данным со спутника DE-1, 14.10.81 при  $L = 3,1$  обнаружены изотропные протоны с температурой  $T_{H^+} \approx 2-2,2$  эВ и с концентрацией  $n_{H^+} \approx 500-200$  см<sup>-3</sup>, а также ионы  $H_2^+$  с такой же температурой и концентрацией  $n_{H_2^+} \approx (140-165)$  см<sup>-3</sup>. Кроме того, там же обнаружены анизотропные протоны  $H^+$  с температурой  $T_{H^+} \approx 10$  эВ и

207



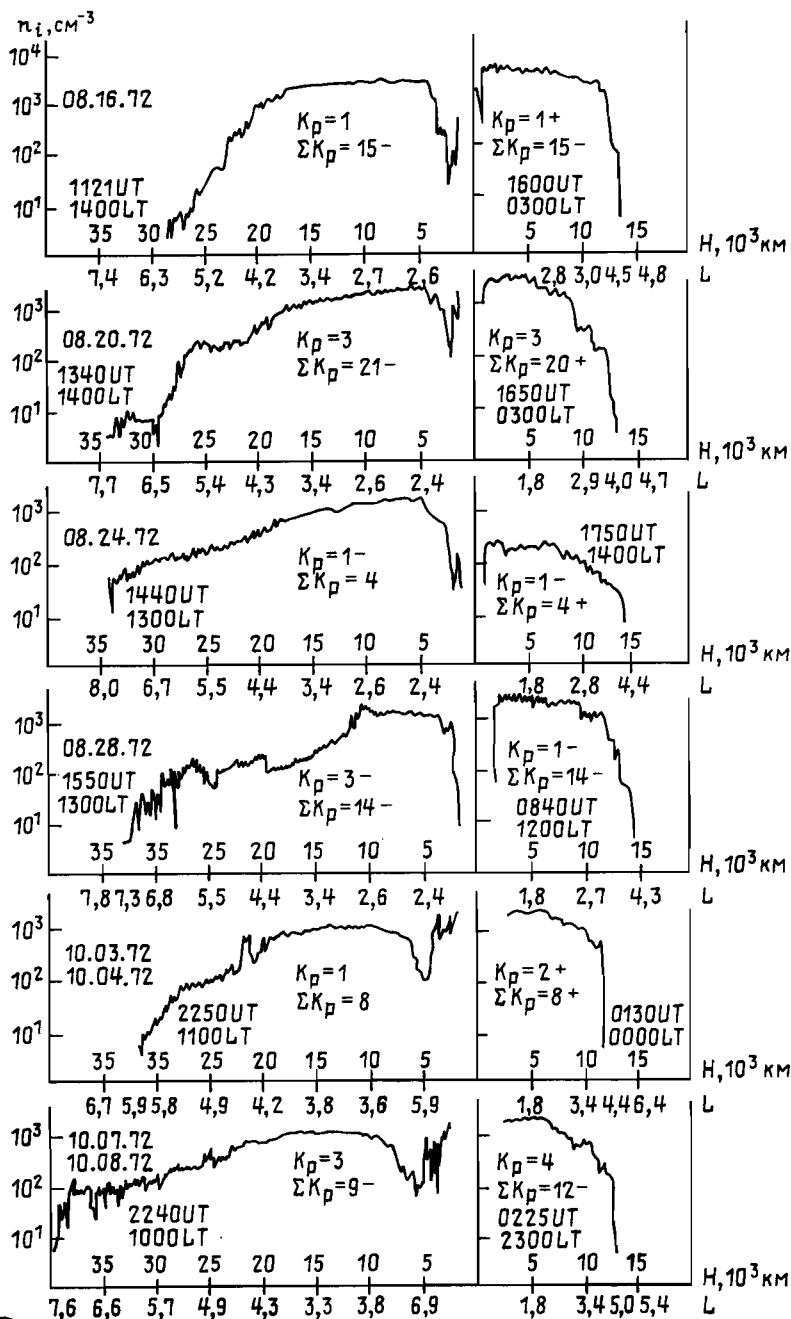


Рис.4. Распределение  $n_i$  ( L, H ) со спутника "Прогноз-2" (1972 г.)

концентрацией (2-5)  $\text{cm}^{-3}$  и ионы  $\text{He}^+$  с  $T_{\text{He}^+} \approx 10$  эВ и  $n_{\text{He}^+} \approx 3-2 \text{ cm}^{-3}$ .

Через несколько минут после того, как спутник DE-1 оказался на плазмопаузе ( $L \approx 3,5$ ), концентрация изотропных ионов  $\text{H}^+$  уменьшилась до 130-160  $\text{cm}^{-3}$ , при той же температуре  $T_{\text{H}^+} \approx 2$  эВ. Концентрация и энергия анизотропных ионов  $\text{H}^+$  увеличилась соответственно до 4  $\text{cm}^{-3}$  и 15 эВ. Не имея возможности в настоящем сообщении останавливаться подробно на методических вопросах, отметим лишь, что в первом случае

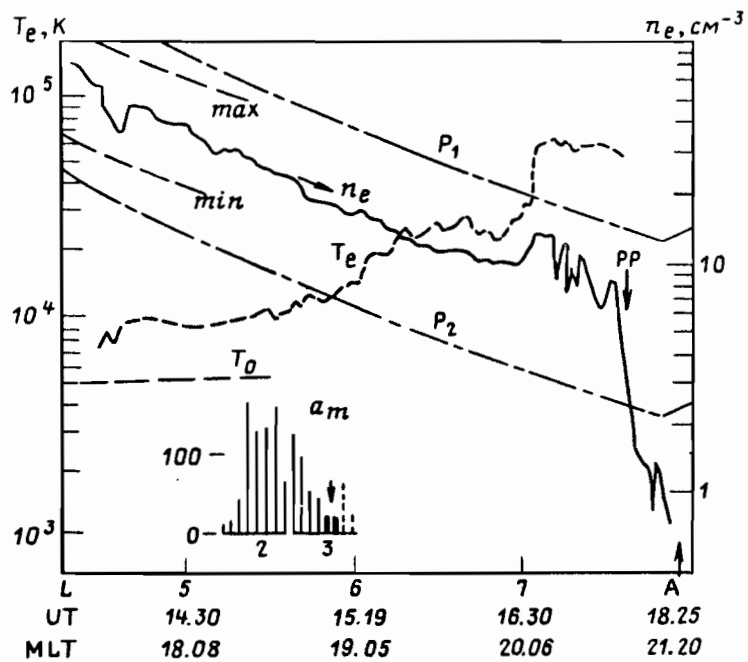


Рис.5. Распределение  $n_e(L)$  и  $T_e(L)$  со спутника DE-1 2.-3.06.78. Значки min и max соответствуют предельным профилям концентрации в модели  $r_y$  и др. [24];  $T_0$  - распределение температуры в той же модели;  $P_1$  и  $P_2$  соответствуют  $L^{-4}$ -профилям; pp - плазмопауза

анализатор с тормозящим потенциалом на "Прогнозе-5" не мог бы обнаружить присутствия анизотропной компоненты плазмы с повышенной температурой, а дал бы общую температуру  $T_i \approx 2,2$  эВ, а во втором (если анизотропные потоки попали бы в анализатор) - было бы отмечено повышение  $T_i$ .

Результаты плазмосферных измерений со спутника DE-1, таким образом, подтверждают концепцию холодной и теплой зон плазмосферы (при этом они содержат информацию о составе и детальной структуре теплой зоны). На некоторых энерго-спектрограммах со спутника DE-1 [18] теплая зона плазмосферы четко отличается от холодной зоны (визуально).

На рис.5 приведен пример распределений  $n_e(L)$  и  $T_e(L)$  во внешней зоне плазмосферы, полученных методом взаимного импеданса со спутника GEOS-1 [5]. Из графика видно, что температура электронов  $T_e$  при  $L > 5$  в рассматриваемом случае существенно превышает значение  $T_e$  в ионосфере  $T_0$ , и, как отмечают авторы работы [5], изменения  $T_e$  с  $L$  качественно соответствуют результатам работы Безруких и Грингауза [3]. Однако отметим, что значения  $T_e$  здесь ниже значений  $T_i$  в этой же области измеренных Безруких и Грингаузом [3], Дж.Сойкой и др. [19], Д.Ризонером и др. [17]. По-видимому, механизм разогрева плазмы, действующий в теплой зоне, более эффективен для ионов, чем для электронов.

201

Плазмосфера и циркуляция магнитосферной плазмы. До недавнего времени широко использовалось представление о плазмопаузе как самой внешней замкнутой эквипотенциальной поверхности электрического поля в околоземном пространстве, ограничивающей область, запрещенную для конвекции холодной магнитосферной плазмы. Согласно работам Л.Брайса [20], Л.Каванаха и др. [21], эта область имеет каплевидную форму, симметричную относительно меридиана утро-вечер (т.е. лишенную полуденно-полуночной асимметрии) и определяемую лишь однородным электрическим полем конвекции (направлены с утра на вечер) и радиальным электрическим полем, создаваемым коротацией холодной плазмы с Землей; такие факторы, как влияние неоднородной электрической проводимости ионосферы на распределение электрического потенциала в экваториальной плоскости, процессы обмена плазмой между плазмосферой и ионосферой, а также механические силы, действующие на ионы (гравитационная и центростремительная), в этой модели не учитывались.

Эта модель получила широкое распространение, так как при разумном предположении о величине электрического поля "утро-вечер" ( $E \approx 0,5$  мВ/м) она давала разумную высоту плазмопаузы в экваториальном сечении и качественно объясняла вечернюю выпуклость плазмопаузы. Тем не менее это представление о формировании плазмопаузы, основанное на учете лишь двухмерного и идеализированного электрического поля в пренебрежении остальными упомянутыми выше процессами, чрезмерно упрощено и неприемлемо хотя бы по той причине, что оно не может объяснить существование асимметрии плазмопаузы день-ночь, которая, как мы видели, является часто наблюдаемой особенностью плазмопаузы. Описание теоретических работ, относящихся к образованию плазмопаузы, не входит в задачу данной статьи, однако хотелось бы отметить серию работ Лемера, начатую в 1975 г. [23,24], в которой при рассмотрении формирования плазмопаузы используются полуэмпирические модели электрического и магнитного поля Мак-Илвейна и учитываются механические силы, действующие на ионы. Следует отметить, что согласно Лемеру, плазмопауза не является последней замкнутой эквипотенциальной электрического поля, а определяется сочетанием действия на ионы электрических и механических сил, которые совместно определяют границы плазмосферы; рассчитанная Лемером плазмопауза обладает асимметрией утро-вечер и в направлении полдень-ночь.

Поэтому работы Лемера о формировании плазмопаузы, по-видимому, заслуживают большего внимания, чем они имели до сих пор.

Следует при этом иметь в виду, что модель Мак-Илвейна построена косвенным образом, на основе измерений динамических спектров заряженных частиц с геостационарного спутника ATS -6. В этой модели замкнутые эквипотенциалы электрического поля в экваториальной плоскости простираются в послеполуденные часы вплоть до магнитопаузы. Такое распределение электрических полей в магнитосфере, насколько нам известно, не описывается ни одной из теоретических моделей и не измерялось прямыми методами, так что применение этой модели требует определенной осторожности. Данные о положении плазмопаузы в зависимости от уровня магнитной активности, полученные со спутников "Прогноз-5", -6", не подтверждают расчетов, выполненных Лемером на основе модифицированной модели Мак-Илвейна.

Таким образом, для адекватного описания основных наблюдаемых особенностей плазмосферы и ее границы – плазмопаузы – необходима как разработка теоретических моделей циркуляции магнитосферной плазмы, так и учет процессов диффузии и перераспределения плазмы вдоль силовых трубок в системе ионосфера–магнитосфера.

#### Abstract

The main results of the plasmasphere ion density and temperature measurements onboard the "Prognoz-5-6" satellites during the IMS period are analysed. The general structure zones in the plasmasphere are described: the cold ( $L \leq 3$ ) and the warm ( $L \geq 3$ ) zones, and the dynamics of the equatorial plasmopause shape (the evening–morning and midday–midnight asymmetry) depending on the geomagnetic activity level. The obtained results are compared with those of the other measurements and with the theoretical concepts on the plasmopause formation in the process of general magnetospheric circulation; the necessity of including ionospheric processes in the theoretical models of the plasmopause is emphasized.

#### Список литературы

1. Horowitz J.L., Chappel C.R. Observations of warm plasma in the dayside plasma trough at geosynchronous orbit//J.Geophys. Res. 1979. Vol.84. P.7075–7090.
2. Serbu G.R., Mayer E.R. J.Observations from OGO-5 of the thermal ion density and temperature within the magnetosphere//J.Geophys. Res. 1970. Vol.75. P.6102–6113.
3. Bezrukikh V.V., Gringauz K.I. The hot zone in the outer plasmasphere of the Earth//J.Atmos. Terr. Phys. 1976. Vol.38. P.1085–1091.
4. Decreau P.M., Beghin C., Parrot M. Electron density and temperature and as measured by the mutual impedance experiment on board of GEOS-1//Space Sci. Rev. 1978. Vol. 22, N5. P.581–595.
5. Decreau P.M., Beghin E.C., Parrot M. Global characterization of the cold plasma in the equatorial plasmopause region as deduced from GEOS-1 mutual impedance probe//J.Geophys. Res. 1982. Vol. 87. P.695–712.
6. Gringauz K.I., Bezrukikh V.V. Asymmetry of the Earth's plasmopause in the direction non–midnight from data of measurements of satellites Prognoz and Prognoz-2//J.Atmos. Terr. Phys. 1976. Vol. 38. P.1071–1076.
7. Кринберг И.А., Тащилин А.В., Фридман С.В. О возможной природе "горячей" зоны в плазмосфере Земли//Геомagnetизм и аэрономия. 1980. Т.20, №6, С.1028–1035.
8. Кринберг И.А., Тащилин А.В. Ионосфера и плазмосфера Земли//М.: Наука, 1984. 189 с.
9. Maynard N.C., Grebovsky J.M. The plasmopause revisited//H.Geophys. Res. 1977. Vol.92. P.1591–1600.
10. Carpenter D.L. New whistler evidence of a dynamo origin of electric fields in the quiet plasmasphere//J.Geophys. Res. 1978. Vol.83. P.1558–1562.
11. Higel B., Lei Wu. Electron density and plasmopause characteristics at  $6.6 R_e$ : A statistical study of GEOS-2 relaxation sounder data//J.Geophys. Res. 1984. Vol.89. P.1583–1601.

12. Green J.L., Horowitz J.L. Magnetospheric processes in the plasmopause// EOS. 1984, Vol. 65, P. 110-111.
13. Грингауз К.И., Безруких В.В., Озеров В.Д., Рыбчинский Р.Е. Исследование межпланетного ионизированного газа и солнечного корпускулярного излучения с помощью трехэлектродных ловушек заряженных частиц// Докл. АН СССР, 1960, Т.131, С. 1301-1305.
14. Lenartson W., Reasoner D.L. Low-energy plasma observations at synchronous orbit// J. Geophys. Res. 1978, Vol. 83, P. 2145-2152.
15. Balsiger H.J., Geiss J., Young D.T. The composition of thermal and hot ions observed by GEOS-1 and GEOS-2 spacecraft// Energetic ion composition in the Earth magnetosphere/Ed. by R.C. Johnson. Tokyo: Terrepub, 1983, P. 195-201.
16. Baughar C.R., Chappel C.R., Horowitz J.L., Shelly E.C., Young D.T. Initial thermal plasma observations from ISEE-1// J. Geophys. Res. Lett. 1980, Vol. 7, P. 657-660.
17. Reasoner D.L., Graven P.D., Chappel C.R. Characteristics of low-energy plasma in the plasmasphere and plasma trough// J. Geophys. Res. 1985, Vol. 88, P. 7913-7923.
18. Chappel C.R. Initial results of thermal plasma composition and energetics from Dynamics Explorer-1// Geophys. Res. Lett. 1982, Vol. 9, P. 933-936.
19. Soyka J.J., Shank R.W., Johnson J.F.E., Waite J.W., Chappel C.R. Characteristics of thermal and suprathermal ions associated with the dayside plasma trough as measured by the dynamic explorer retarding ion mass spectrometer// J. Geophys. Res. 1983, Vol. 88, P. 7895-7911.
20. Brice L.H. Bulk motion of the magnetosphere// J. Geophys. Res. 1967, Vol. 72, P. 5193-5211.
21. Kavanagh L.D., Jr., Freeman J.W., Jr., Chen A.J. Plasma flow in the magnetosphere// J. Geophys. Res. 1968, Vol. 73, P. 5511-5519.
22. Lemaire J. The mechanisms of formation of the plasmopause// Ann. Geophys. 1975, Vol. 31, P. 175-189.
23. Lemaire J. Steady state plasmopause position deduced from McIlwain electric field model// J. Atm. Terr. Phys. 1976, Vol. 38, P. 1041-1046.
24. Chiu Y.T., Luckmann J.G., Ching B.K., Boucher D.J., Jr. An equilibrium model of plasmaspheric composition and density// J. Geophys. Res. 1979, Vol. 84, P. 909-915.