

Миротс и др. 1996г.

Том 34, Номер 6

Ноябрь - Декабрь 1996

ISSN 0023-4206

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Главный редактор
Л.И. Седов

МАИК "НАУКА"



"НАУКА"

УДК 537.591.4

ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ В ТЕНЕВОЙ ЧАСТИ ХВОСТА МАРСИАНСКОЙ МАГНИТОСФЕРЫ НА АППАРАТЕ *ФОБОС-2* ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА “ХАРП”

© 1996 г. Н. Шютте*, К. Грингауз*, Г. Котова*, М. Веригин*, А. Ф. Нэги**,
Х. Розенбауэр***, К. Сеге****, П. Кирай****

*Институт космических исследований РАН, г. Москва

**Мичиганский университет, Энн Арбор, США

***Институт аэронауки общества М. Планка, Германия

****Центральный институт физических измерений ВАН, Венгрия

Поступила в редакцию 25.12.95 г.

Детально исследованы и суммированы данные наблюдений электронов, полученных прибором ХАРП на ночной стороне круговых орбит аппарата *Фобос-2*. Поток электронов с энергиями, превышающими энергию электронов невозмущенного солнечного ветра, наблюдался в переходной области за фронтом ударной волны, что указывает на наличие механизмов ускорения. Характерные особенности электронных потоков, измеренных в хвосте марсианской магнитосферы, невозможно пока классифицировать в рамках привычных представлений, однако, показано, что существует корреляция между интенсивностями этих потоков и невозмущенного солнечного ветра.

Орбитальные параметры аппарата *Фобос-2*, запущенного 12. VII.1988 г., позволили впервые детально исследовать хвост магнитосферы Марса. Все предыдущие космические аппараты, запущавшиеся с целью изучения взаимодействий солнечного ветра с марсианской плазмой, не пересекали теневую часть хвоста марсианской магнитосферы, *Mariner-4* в 1965 г. только пересек ударную волну, а *Марс-3* в 1972 г. не вышел за пределы переходной зоны марсианской магнитосферы. Первые наблюдения плазмы в марсианском хвосте были проведены в 1971 г. на аппарате *Марс-2*, когда он пересек пограничную область на расстоянии примерно 25000 км от планеты, но значительно выше ее оптической тени [1]. Некоторые наблюдения в области марсианского хвоста были осуществлены на аппарате *Марс-5* в 1975 г. на удалении от планеты 10000 км. На аппаратах *Марс-2* и *-5*, имевших трехосную стабилизацию, были установлены электростатические анализаторы и широкоугольные электронные и ионные ловушки-анализаторы с тормозящим потенциалом [2, 3]. Грингауз [2, 4] с соавторами идентифицировали хвост как область, в которой интенсивность ионного потока падает, при этом уменьшение интенсивности ионов в пограничной зоне хвоста более значительно, чем уменьшение интенсивности электронного потока. Этими же авторами было отмечено существенное уширение энергетических распределений электронов после пересечения фронта ударной волны, внутри переходного слоя. Наблюдалась электроны более высоких энергий, а также сильные флукту-

ации интенсивности. Вайсберг и др. [5] показали, что граница между переходным слоем и хвостом может быть довольно протяженной и что имеют место случаи, когда ионы практически не регистрируются в хвосте.

Аппарат *Фобос-2* приблизился к Марсу 29.I.1989 г. За 57-дневный период до окончания полета 29.III *Фобос-2* провел измерения на пяти эллиптических орбитах вокруг Марса и более, чем 100 круговых. Радиус круговых орбит на 300 км превышал радиус орбиты спутника Марса – *Фобос*; длительность обращения аппарата на круговой орбите равнялась 8 ч. Такая орбита позволила осуществить детальные исследования теневой стороны марсианского хвоста на расстоянии, равном трем радиусам планеты.

В работе Люман и др. [6] проведено сравнение результатов измерения магнитного поля, осуществленных в хвосте Марса на круговых орбитах, с данными магнитограмм, полученных на аппарате *Pioneer Venus Orbiter* при пересечении хвостового следа Венеры. Авторы констатируют, что по многим аспектам наблюдается сходство этих магнитограмм, свидетельствующих об обволакивающей структуре магнитных силовых линий в обоих случаях, хотя у Венеры, по сравнению с Марсом, поле хвоста в большей степени приближено к планете. По результатам статистического анализа данных наблюдений магнитного поля Люман и др. [6] и Ерошенко и др. [7] пришли к выводу, что хвост марсианской магнитосферы индуцирован. Соответственно, плазменные процессы в хвосте в

ВЫВОДЫ

В работе экспериментально получено:

а) в периоды коротких ВИБ во время солнечных вспышек в D-области ионосферы наблюдались квазиволновые возмущения амплитуд радиозумов и частично отраженных сигналов с периодами $T \leq 5$ мин, которые вызываются, вероятно, усилением или генерацией акустико-гравитационных волн;

б) в нижней части D-области ионосферы ($h \leq 70$ км) во время МБ и в течение 5–10 сут после них регистрировались слои повышенной ионизации с величинами $N \sim (2-8) \times 10^2 \text{ см}^{-3}$, которые, вероятно, обуславливаются высыпанием заряженных частиц из магнитосферы;

в) в верхней части D-области ионосферы ($h > 70$ км) электронная концентрация возрастает в 2–6 раз днем в период МБ по сравнению с невозмущенными условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гокон А.М., Гритчин А.И., Мисюра В.А., Сомов В.Г.* Развитие экспериментальных исследований естественных возмущений среднеширотной области D ионосферы методом частичных отражений // 17 конференция по распространению радиоволн. Тезисы докладов. Ч. 1. Ульяновск. 1993. С. 31.
2. *Рапопорт Э.Ц.* Стратосферные потепления, циркуляция атмосферы и поглощение радиоволн в нижней ионосфере // Ионосферные исследования. 1989. № 47. С. 96.
3. *Митра А.* Воздействие солнечных вспышек на ионосферу Земли. М.: Мир, 1977.
4. *Метелкин Е.В., Сорокин В.М., Федорович Г.В.* О природе колебаний геомагнитного поля, генерируемых солнечными вспышками // Геомагнетизм и аэрномия. 1982. Т. 22. № 5. С. 803.
5. *Беликович В.В., Бенедиктов Е.А., Вяхирев В.Г., Гришкевич Л.В.* Ночная ионизация D-области ионосферы умеренных широт в период магнитной бури // Геомагнетизм и аэрномия. 1980. Т. 20. № 3. С. 547.
6. *Gokov A.M., Gritchin A.I., Misuyra V.A., Somov V.G.* Experimental investigation of natural disturbances in the middle latitudinal ionospheric D-region // Physics in Ukraine. International Conference. Kiev, 22–27 June 1993. Proceedings Contributed Papers. Plasma Physics. Kiev: Bogolubov Institute for Theoretical Physics, 1993. P. 111.
7. *Беликович В.В., Бенедиктов Е.А., Гришкевич Л.В. и др.* Результаты измерения электронной концентрации в D-области ионосферы во время внезапных ионосферных возмущений // Изв. вузов. Радиофизика. 1975. Т. 18. № 8. С. 1094.
8. *Гритчин А.И., Дорохов В.Л., Концевая Л.Г. и др.* Стационарный комплекс аппаратуры для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений // Вестник Харьк. ун-та. 1988. № 318: Радиофизика и электроника. С. 21.
9. *Belrose J.S., Burke M.J.* Study of the lower ionosphere using partial reflections // J. Geophys. Res. 1964. V. 32. № 4. P. 2799.
10. *Гокон А.М., Мисюра В.А., Пивень Л.А. и др.* Исследование погрешности определения скорости дрейфа мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации нижней ионосферы по анализу амплитуд частично отраженных сигналов // Космическая наука и техника. Киев: Наукова думка, 1989. С. 65.
11. *Дженкинс Г., Ваттс Д.* Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1971. Вып. 2.
12. *Гокон А.М., Гритчин А.И.* Экспериментальные исследования некоторых механизмов, описывающих природу частично отраженных сигналов // Геомагнетизм и аэрномия. 1993. Т. 33. № 4. С. 170.
13. *Козин И.Д., Рубинштейн Б.М., Сайфутдинов М.А. и др.* Адаптивная модель среднеширотной нижней ионосферы // Ионосферные исследования. 1988. № 44. С. 119.
14. *Харгривс Дж.Е.* Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи. Пер. с английского. М.: Мир, 1982.
15. *Дорохов В.Л., Костров Л.С., Мартыненко С.И. и др.* О связи геомагнитных пульсаций с параметрами среднеширотной нижней ионосферы // Геомагнетизм и аэрномия. 1989. Т. 29. № 1. С. 132.
16. *Lauter E.A.* The post-storm ionization in the upper mesosphere // J. Meteorol. 1977. № 6. P. 67.

Characteristics of Some Disturbances in the Ionospheric D-Region during Magnetic Storms and Solar Flares

A. M. Gokov and A. I. Gritchin

The characteristics of wave disturbances in the ionospheric D-region and variations of ionospheric parameters (electron density and velocity of a small irregularities) are studied by partial reflection method during magnetic storms and sudden ionospheric disturbances.

значительной степени должны определяться параметрами солнечного ветра.

В марсианском хвосте в окрестности нейтрального слоя находится плазменный слой [8], аналогичный плазменным слоям магнитных хвостов Земли и Венеры, плазма которых отличается повышенными значениями энергий и плотности. Потоки ионов, ускоренных до энергий в несколько килоэлектронвольт, наблюдались и в центральной части марсианского хвоста [9, 10]. Более детальный анализ марсианской магнитосферы приведен в работе Захарова [8].

Измерения электронных потоков в окрестности Марса осуществлялись с помощью установленного на борту аппарата *Фобос-2* электростатического спектрометра гиперболического типа ХАРП, подробно описанного в работе [11]. Спектрометр ХАРП, установленный на задней стороне панелей солнечных батарей, измерял энергетические распределения электронов в 8-ми компланарных направлениях, расположенных симметрично относительно антисолнечной оси. Диапазон энергий 1–800 эВ. Поле зрения каждого углового сектора – $10^\circ \times 20^\circ$. На круговых орбитах, результаты измерений на которых рассматриваются в данной работе, аппарат медленно вращался (1 оборот примерно за 10 мин) вдоль оси, перпендикулярной к плоскости солнечных панелей и ориентированной на Солнце. Таким образом, спектрометр был ориентирован в антисолнечную полусферу. Анализирующее напряжение от 1 до 800 эВ менялось ступенями, число которых равнялось 25 или 75, длительность накопления информации на каждой энергетической ступени – 1 с. Ввиду ограниченных возможностей передачи телеметрической информации энергетический спектр регистрировался один раз в 40 мин. На круговых орбитах с 21.П до 25.П.1989 г. спектрометр ХАРП работал периодически. В данной работе рассмотрены результаты измерений, полученные на 24 орбитах и соответствующие невозмущенным условиям солнечного ветра.

В данной работе не будут обсуждаться характерные особенности электронного компонента плазмы в переходном слое, магнитосферном хвосте, за фронтом ударной волны или перед ним, однако данные одновременных измерений ионов и магнитного поля будут сопоставлены с наблюдениями электронов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Представленные данные получены на небольших участках круговых орбит, расположенных в оптической тени планеты.

Энергетические спектры, зарегистрированные 2.П.1989 г. в одном из восьми угловых секторов прибора ХАРП, показаны на рис. 1. Проекция кру-

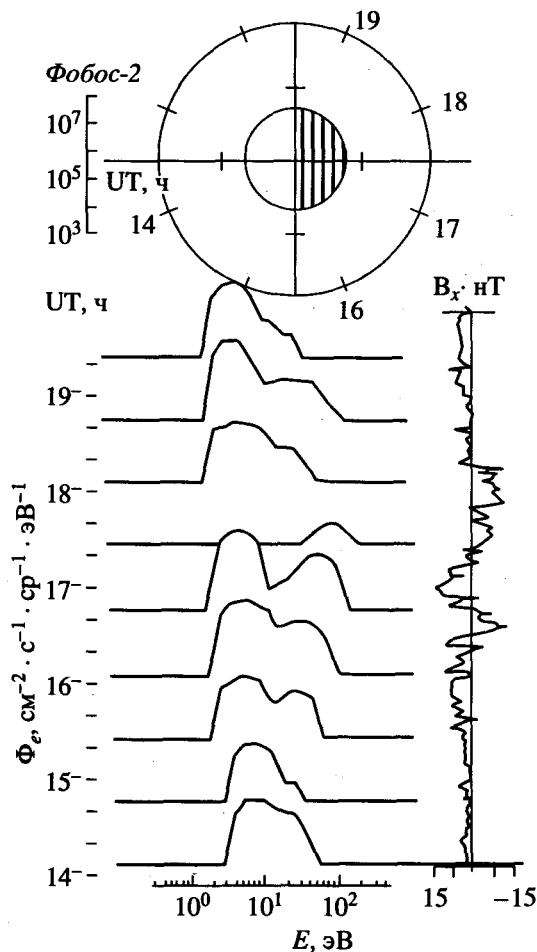


Рис. 1. Энергетические спектры электронов, зарегистрированные в одном из угловых секторов прибора ХАРП одновременно с магнитным полем на круговой орбите 2.П.1989 г. (13.45:04–19.25:04 UT).

говой орбиты на плоскость X–Y в солнечно-эклиптической системе координат, центрированной относительно Марса (ось X направлена на Солнце), приведена в верхней части рисунка. Фактически, плоскость орбиты была наклонена примерно на 25° к плоскости эклиптики. Радиус круговой орбиты равнялся 9600 км, т.е. был немного больше трех радиусов Марса. Черточками показано положение аппарата вдоль орбиты в зависимости от времени (время мировое). Динамика временной последовательности измеренных энергетических спектров электронов (снизу вверх) отражает их характерные изменения по мере того, как аппарат перемещался из зоны невозмущенного солнечного ветра в различные зоны марсианской плазмы. Для сравнения в правой части рисунка показано изменение B_x -X-компонента магнитного поля [7, 12].

Приведенная последовательность полученных энергетических спектров наглядно свидетельствует, что в области между ударной волной и опти-

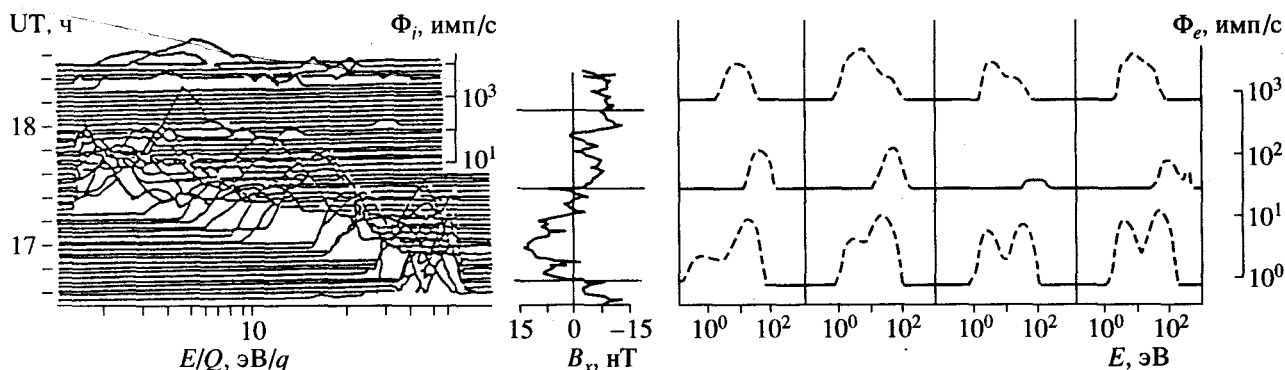


Рис. 2. Результаты одновременных наблюдений потоков электронов Φ_e в четырех угловых секторах (справа), магнитного поля (в середине) и тяжелых ионов (слева) (3.И.1989 г.).

ческой тенью Марса спектры солнечного ветра расширяются и появляется дополнительный более энергичный компонент. Как и ожидалось, в оптической тени Марса не присутствуют модифицированные ударной волной электроны солнечного ветра, но очевидно наличие высокоэнергичного компонента. По мере дальнейшего движения аппарата и повторного входа в зону переходного слоя, вновь появляются два компонента в энергетическом распределении электронов.

В период попадания аппарата в оптическую тень Марса энергетические спектры, аналогичные приведенным на рис. 1, наблюдались 8 раз, а именно, распределения с одним максимумом, средняя энергия которого равнялась 100–200 эВ. На четырех орбитах потоки электронов в этой области не регистрировались, тогда как на семи других их энергия не превышала 50 эВ. Кроме того, в четырех случаях присутствовали как высоко- так и низкоэнергичные электроны.

Чтобы установить, имеет ли место корреляция между наблюдаемыми в тени планеты потоками электронов и данными других экспериментов, были рассмотрены одновременные измерения магнитного поля [7, 12] и тяжелых ионов по данным прибора ТАУС [10, 13]. Одновременные измерения магнитного поля и электронов были получены на 10 орбитах, а тяжелых ионов и электронов – на 6 орбитах. В 4-х случаях были получены одновременные данные о потоках электронов, тяжелых ионов и магнитного поля.

На рис. 2 демонстрируются результаты одновременных наблюдений электронных потоков Φ_e прибором ХАРП, B_x -компонента магнитного поля прибором МАГМА и потоков тяжелых ионов Φ_i прибором ТАУС. Время измерений (UT) – на шкале слева. На этом рисунке приведены три временные последовательности энергетических спектров, зарегистрированных прибором ХАРП в 4-х угловых секторах. В отличие от результатов измерений электронов, показанных ранее на

рис. 1, в данном случае интенсивность потоков электронов дана в относительных единицах (имп/с) для более наглядного сопоставления с измерениями тяжелых ионов в этих же единицах. Из рисунка видно, что по мере движения аппарата от ударной волны в область оптической тени (на рисунке снизу вверх) энергия тяжелых ионов уменьшалась от 6 кэВ (верхний порог прибора ТАУС) до сотен электронвольт. Следует отметить, что на данном участке орбиты прибор ТАУС измерял потоки ионов, движущиеся от планеты. Согласно магнитным данным, аппарат пересек ударную волну в 15.25 UT при входе в магнитосферу, и в 19.21 – при выходе из нее. Изменение X-компонента магнитного поля показывает, что за этот период несколько раз имело место обращение знака продольного компонента поля. Наибольшие энергии электронов наблюдались в зоне оптической тени и в это время интенсивность уходящих от планеты низкоэнергичных ионов была наиболее значительной и изменялась полярность магнитного поля. Регистрация высокоэнергичных электронов одновременно с обращением знака магнитного поля имела место на 5 орбитах из 10, на которых на теневых участках магнитосферного хвоста одновременно функционировали эти приборы. Поскольку статистика одновременных наблюдений ионов и высокоэнергичных электронов невелика – только несколько орбит, сделать какие-либо выводы о причинно-следственных связях электронно-ионных потоков пока трудно.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Как было отмечено выше, пока еще нет общепринятых определений различных областей и границ марсианской магнитосферы. До полета аппарата Фобос описание сложной природы явлений в хвосте было дано в работе Вайсберга и

Смирнова [14]. Веригин и др., [13], Шютте и др. [15, 16]. Представляя результаты полета *Фобос-2*, классифицировали различные области наблюдения ионных потоков и магнитного поля так же, как и ранее. Можно четко выделить зону между областью, в которой преобладают модифицированные ударной волной протоны солнечного ветра, и областью, где протоны практически отсутствуют, а преобладают тяжелые ионы, по-видимому планетного происхождения [6, 10, 13]. Эта переходная зона характеризуется также и изменениями параметров магнитного поля [13]. Веригин и др. [13] назвали внешнюю часть этой зоны переходным слоем, а внутреннюю — хвостом. Центральная часть хвоста, как было отмечено ранее, была названа плазменным слоем.

Представленные в данной работе результаты измерений прибором ХАРП, так же как и описанные ранее наблюдения на эллиптических орбитах [15], четко показывают, что в переходном слое присутствует компонент электронного потока с энергиями, превышающими энергию электронов невозмущенного солнечного ветра и достигающими значений до нескольких сотен электрон-вольт. Этот факт представляет собой новый интересный результат, свидетельствующий о наличии в этой области эффективных механизмов ускорения. Можно полагать, что одним из таких механизмов может быть механизм, описанный в работе Сагдеева и др. [17]. Проникающие в переходный слой холодные марсианские ионы взаимодействуют с прошедшими ударный фронт протонами солнечного ветра, в результате чего возбуждаются волны, которые, в свою очередь, ускоряют электроны до наблюдаемых значений энергий. Ускоренные электроны, зарегистрированные на дневной стороне [15, 16], были обнаружены и измерениями Джонсона и Хэнсона с помощью анализатора с тормозящими потенциалами [18] на аппарате *Viking-1* в 1976 г.

Энергетические распределения электронов, измеренные прибором ХАРП в магнитном хвосте Марса, трудно классифицировать в свете привычных представлений. Мы рассмотрели возможную корреляцию между динамическим давлением невозмущенного солнечного ветра и интенсивностью потоков электронов, измеренных в центральной части хвоста. На рис. 3 представлены величины потоков электронов (проинтегрированные по энергиям и питч-углам), полученные прибором ХАРП на участках круговых орбит в пределах 30° относительно антисолнечного направления, в зависимости от динамического давления солнечного ветра. Нетрудно заметить, что более высоким значениям давления солнечного ветра соответствуют и более высокие интенсивности потоков электронов вблизи антисолнечного направления. Можно предполагать поэтому, что эффективность механизма ускорения в существенной мере

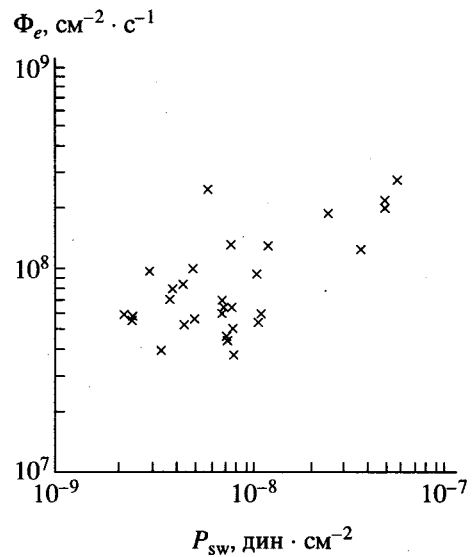


Рис. 3. Соотношение между динамическим давлением невозмущенного солнечного ветра P_{sw} и потоками электронов Φ_e в затененной части марсианского хвоста.

управляется солнечным ветром. Оценивая данную корреляцию следует учитывать, что интервал времени между измерениями в невозмущенном солнечном ветре и в хвосте составлял 2–4 ч. Как уже отмечалось ранее, регистрация прибором ХАРП высокоэнергичных электронов в 5 случаях из 10 совпадала с моментами обращения знака V_x -компонента магнитного поля. Результаты измерений ионов [9, 10] позволяют считать, что наиболее интенсивные потоки ионов в центральной части хвоста также наблюдались, когда имело место обращение знака X -компонента поля. Однако более детальный анализ показал [13], что усиленные ионные потоки не всякий раз сопровождалось изменением полярности V_x , тогда как во всех случаях обращения знака V_x регистрировалось увеличение интенсивности ионов, но не наоборот.

Итак, можно констатировать, что энергетические распределения электронов, зарегистрированные на аппарате *Фобос-2* в переходном слое марсианской магнитосферы как на круговых орбитах, так и на эллиптических, аналогичны, хотя они были получены в разное время и в различных точках. Такие двухпиковые спектры можно рассматривать как характерную особенность марсианского переходного слоя. Ускоренный компонент электронного потока интерпретируется как результат процесса взаимодействий волна–частица. Интерпретация результатов наблюдений плазмы, полученных как с помощью прибора ХАРП, так и других плазменных приборов, установленных на борту аппарата *Фобос-2*, не позволяет пока представить простую картину явлений.

Совокупность имеющихся данных указывает на присутствие интенсивных потоков плазмы в теневой зоне хвоста, но однозначная корреляция этих потоков с положением плазменного слоя не обнаружена. Установлена, однако, корреляция между интенсивностью потока электронов и динамическим давлением невозмущенного солнечного ветра.

Данная работа выполнена по гранту РФФИ № 95-02-04223.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайсберг О.Л., Богданов А.В. Обтекание Марса и Венеры солнечным ветром. Общие закономерности // Космич. исслед. 1974. Т. 12. Вып. 2. С. 279–284.
2. Gringauz K.I., Bezrukih V.V., Verigin M.I., Remizov A.P. On electron and ion component of plasma in the antisolar part of near-Mars space // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. P. 3349.
3. Vaisberg O.L. The solar wind interaction with Mars: a review of results from early Soviet missions to Mars // in: Venus and Mars: atmospheres, ionospheres and solar wind interactions / Ed. by J.G. Luhmann *et al.* // Geophys. Mon. 1992. V. 66. P. 311.
4. Gringauz K.I. Interaction of solar wind with Mars as seen by the charged particle traps on Mars 2, 3 and 5 satellites // Rev. of Geophys. and Space Sci. 1976. V. 14. P. 391.
5. Вайсберг О.Л., Богданов А.В., Смирнов В.Н., Романов С.А. Первые результаты измерений потоков ионов прибором "РИЭП-2801 М" на АМС "МАРС-4", "МАРС-5" // Космич. исслед. 1975. Т. 13. Вып. 1. С. 129–135.
6. Luhmann J.G., Russell C.T., Schwingenschuch K., Yeroshenko Y.G. A comparison of induced magnetotails of planetary bodies: Venus and Titan // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. P. 11199.
7. Yeroshenko Y., Riedler W., Schwingenschuch K. *et al.* The magnetotail of Mars: Phobos observations // Geophys. Res. Lett. 1990. V. 17. № 6. P. 885–888.
8. Zacharov A.V. The plasma environment of Mars: Phobos mission results // Venus and Mars: atmospheres, ionospheres and solar wind interactions / Ed. by J.G. Luhmann *et al.* // Geophys. Mon. 1992. V. 66. P. 327.
9. Lundin R., Zacharov A., Pellinen R. *et al.* First measurement of the ionospheric plasma escape from Mars // Nature. 1989. V. 341. № 6243. P. 609–612.
10. Rosernbauer H., Shutte N., Apathy I. *et al.* Ions of Martian origin and plasma sheet in the Martian magnetosphere: initial results of the TAUS experiment // Nature. 1989. V. 341. № 6243. P. 612–614.
11. Szucs I.T., Szemerey I., Kiraly P. *et al.* The HARP electron and ion sensor on the Phobos mission // Nucl. Instr. Meth. 1990. V. A290. P. 228–236.
12. Reidler W., Mohlman D., Oraevsky W.N. *et al.* Magnetic fields near Mars: first result // Nature. 1989. V. 341. № 6243. P. 604–607.
13. Verigin M., Shutte N., Galeev A.A. *et al.* Ions of planetary origin in the Martian magnetosphere (PHOBOS-2/TAUS experiment) // Planet. Space Sci. 1991. V. 39. № 1/2. P. 131–137.
14. Vaisberg O.L., Smirnov V.N. The Martian magnetotail // Adv. Space Res. 1986. V. 6. P. 301.
15. Shutte N.M., Kiraly P., Cravens T.E. *et al.* // Observations of electron and ion fluxes in the vicinity of Mars with the HARP spectrometer // Nature. 1989. V. 341. № 6243. P. 614–616.
16. Shutte N.M., Dyachkov A.V., Gringauz K.I. *et al.* Energy distribution of electrons with $E < 800$ eV in the aeromagnetosphere // Planet. Space Sci. 1991. V. 39. № 1/2. P. 147–151.
17. Sagdeev R.Z., Shapiro V.D., Shevchenko V.I. *et al.* Wave activity in the neighborhood of the bow shock of Mars // Geophys. Res. Lett. 1990. V. 17. № 6. P. 893.
18. Johnson F.S., Hanson W.B. Viking 1 electron observation at Mars // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. № A7. P. 11097–11118.

Measurements of Electron Fluxes in the Shadow Region of the Martian Magnetotail with the HARP Spectrometer aboard the *Phobos-2* Spacecraft

N. Shutte, K. Gringauz, G. Kotova, M. Verigin,
A.F. Nagy, H. Rosenbauer, K. Szego, and P. Kiraly

Data of electron observations from the HARP instrument on the night side of circular orbits of the *Phobos-2* spacecraft are summarized and studied in detail. Electron fluxes with energies greater than the electron energy of undisturbed solar wind, which are observed in the transition region behind the shock wave, show existence of the acceleration processes. Characteristic features of the electron fluxes measured in the Martian magnetotail cannot be classified in the framework of modern views; however, a correlation between intensities of these fluxes and the undisturbed solar wind is shown.