

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

на правах рукописи

УДК 523.43.523.75

Котова Галина Аврамовна

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ
СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МАРСОМ
(01.03.03 - Гелиофизика и физика солнечной системы)



Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва - 1993

Работа выполнена в Институте космических исследований РАН

Научные руководители: доктор технических наук, профессор,
К. И. Грингауз
кандидат физико-математических наук
М. И. Веригин

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
И. С. Веселовский,
кандидат физико-математических наук
С. И. Климов

Ведущая организация: Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн РАН

Защита состоится 23. апреля 1993 г. в 11⁰⁰ на заседании
специализированного Ученого совета К.002.94.01 Института
космических исследований РАН по адресу: 117810, Москва,
Профсоюзная ул., 84/32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКИ РАН.

Автореферат разослан 23. феврале 1993 г.

Ученый секретарь

специализированного совета,

кандидат физико-математических наук *Титов* /А. В. Титов/

Актуальность темы. Экспериментальное исследование солнечного ветра и его взаимодействия с планетами - одно из активно развивающихся в настоящее время направлений физики космического пространства. Солнечный ветер является, с одной стороны, уникальной плазменной лабораторией, поскольку представляет собой сверхзвуковой поток полностью ионизированной плазмы с чрезвычайно низкой концентрацией. С другой стороны, исследования солнечного ветра тесно связаны с физикой Солнца и являются важным разделом астрофизики, ибо используют единственную возможность изучать прямыми методами физику процесса истечения плазмы из звезды.

Солнечный ветер и "вмороженное" в него межпланетное магнитное поле определяют многие физические процессы в межпланетном пространстве, а также процессы, протекающие в магнитосферах и ионосферах планет. Исследования солнечного ветра и его взаимодействия с планетами являются необходимым звеном в изучении солнечно-земных связей. Взаимодействие солнечного ветра с магнитным полем Земли приводит к целому ряду геофизических явлений: магнитные бури, ионосферные возмущения, полярные сияния и др. Для решения задачи прогнозирования геомагнитной активности необходимо исследование крупномасштабной структуры солнечного ветра.

Первые же экспериментальные данные, полученные на советских и американских космических аппаратах, выявили сильную изменчивость различных характеристик солнечного ветра. Тем не менее только в 1972 - 1976 гг. на фазе спада первого исследуемого с помощью прямых измерений в межпланетном пространстве 20-го цикла солнечной активности были зарегистрированы крупномасштабные высокоскоростные потоки солнечного ветра, живущие на протяжении 5-6 солнечных оборотов.

Однако на основании наблюдений в течение только одного солнечного цикла нельзя было достоверно сказать, являются ли зарегистрированные изменения параметров солнечного ветра характерными для цикла солнечной активности или непредсказуемы для каждого следующего цикла.

В июле 1983 г. - феврале 1984 г. на фазе спада 21-го цикла солнечной активности в солнечном ветре проводились изме-

массиву измерений V на "Прогнозе-9", аппроксимирована эмпирическим выражением: $V(\text{км/с}) = 410 + 305\sin^2(\lambda)$.

3. По данным спутника "Фобос-2" подтвержден ранее сделанный по данным спутника "Марс-5" вывод о том, что толщина магнитного хвоста Марса существенно превосходит размеры планеты: толщина магнитного хвоста Марса в период измерений на "Фобосе-2" изменялась в широких пределах и в 2 - 5,5 раз превосходила радиус планеты.

4. Впервые количественно проанализирована зависимость толщины магнитного хвоста Марса D от динамического давления набегающего потока солнечного ветра ρV^2 : по данным энерго-масс-спектрометра ТАУС на борту космического аппарата "Фобос-2" $D \sim (\rho V^2)^{-1/5}$, что согласуется с ранее сделанным по данным спутника "Марс-5" качественным выводом о сильной зависимости положения границы марсианской магнитосферы от динамического давления солнечного ветра.

5. Положение ударной волны около Марса вблизи плоскости терминатора в период измерений на "Фобосе-2" практически не зависит от динамического давления солнечного ветра.

6. Перед ударной волной около Марса с дневной стороны обнаружено сильное торможение потока солнечного ветра. Одной из возможных причин торможения является наличие протяженной горячей кислородной короны около Марса.

Апробация работы. Отдельные результаты диссертации докладывались и обсуждались на Международных совещаниях по первым результатам проекта "Фобос" в Москве (ИКИ РАН) в 1989 г., на 6-ой ассамблее МАГА в Экзетере (Гельшобритания) в 1989 г., на Международном симпозиуме по первым результатам миссии "Фобос" в Париже в 1989 г., на 28-ой сессии КОСПАР в Гааге, на XV Генеральной ассамблее Европейского геофизического общества в Копенгагене в 1990 г., на Чепменовской конференции по Венере и Марсу в Балатонфюреде (Венгрия) в 1990 г., на XVI Генеральной ассамблее Европейского геофизического общества в Висбадене (Германия) в 1991 г., на совещаниях секции "Солнечный ветер и межпланетное магнитное поле" МГУ АН в г.Борок в 1990 г., в г.Пушино в 1991 г., на II Всесоюзном совещании "Математические модели ближнего космоса" в Москве в 1990 г., на 4-ом коллокви-

уме КОСПАР "Критические проблемы физики плазмы около комет и других немагнитных и слабо намагниченных тел" в Анн Арборе (США) в 1992 г.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы; содержит страниц текста, 3 таблицы и 42 рисунка.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели исследования и положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан краткий обзор состояния исследуемых вопросов до проведения плазменных экспериментов на космических аппаратах "Прогноз-9" и "Фобос-2", обоснована целесообразность постановки рассматриваемых экспериментов.

Вторая глава посвящена описанию плазменных экспериментов с широкоугольным энергоспектрометром модуляционного типа Д-137А на спутнике "Прогноз-9" и энерго-масс-спектрометром ионов ТАУС на космическом аппарате "Фобос-2". В ней также подробно рассмотрена методика определения переносной скорости, концентрации и температуры заряженных частиц по измеренным энергетическим спектрам, описаны использованные способы сжатия информации на борту и режимы измерений.

Проведенное сравнение рассчитанных по данным спутников "Прогноз-9" и "Фобос-2" параметров солнечного ветра: скорости, концентрации и температуры протонов - с величинами, одновременно измеренными на спутнике IMP-8, показало, что данные спутников "Прогноз-9" и "Фобос-2" могут быть надежно включены в общий мировой ряд данных по солнечному ветру.

В третьей главе рассмотрены результаты анализа крупномасштабной структуры солнечного ветра на фазе спада 21-го цикла солнечной активности и фазе роста 22-го цикла.

На рис. 1 собраны результаты измерений V за весь период активной работы спутника "Прогноз-9" - с июля 1983 г. по февраль 1984 г. Для выявления рекуррентных событий непрерывный ряд экспериментальных данных разделен на 27, 28-дневные интервалы времени, соответствующие кэррингтоновским оборотам Солнца с 1737 по 1744, границы которых показаны на рисунке вертикальными пунктирными линиями. Видно, что в период активной работы

условий в солнечной короне еще нельзя считать выясненными. Главной причиной, препятствующей установлению точных количественных характеристик зависимости $V(\lambda)$, является трудность разделения пространственных (связанных с удалением от токового слоя) и временных (из-за присутствия транзиентов) вариаций скорости солнечного ветра на 1 а. е.

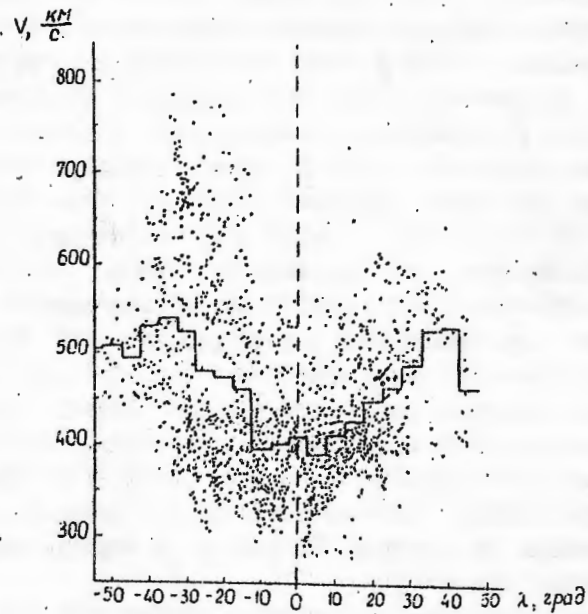


Рис. 2 Распределение трехчасовых средних значений скорости солнечного ветра, определенных по данным спутника "Прогноз-9", в зависимости от углового расстояния до гелиосферного токового слоя.

Уменьшить влияние присутствия транзиентов в солнечном ветре и солнечной короне на установление вида зависимости $V(\lambda)$ можно, например, путем анализа результатов измерения солнечного ветра на спутнике "Прогноз-9" в течение сравнительно короткого интервала времени. Такой анализ был проведен для периода с 24.09 по 02.10, 1983 г. Показано, что в этом случае корреляцию между переносной скоростью солнечного ветра и угловым

расстоянием до гелиосферного токового слоя можно улучшить, если в процедуре "кинематического проецирования" профиля скорости солнечного ветра на "поверхность источников" использовать предположение о том, что средняя скорость солнечного ветра на пути L от "поверхности источников" $R_{\text{и}}$ до орбиты Земли

$$\langle V \rangle = L / \int_{R_{\text{и}}}^{R_{\text{и}}+L} dr/V(r) \text{ меньше, чем } V, \text{ измеренная на 1 а. е.}$$

В четвертой главе приводятся и обсуждаются новые результаты, полученные на спутнике "Фобос-2" и относящиеся к взаимодействию солнечного ветра с Марсом.

Плазменные измерения около Марса были проведены на 4-х эллиптических орбитах с низкой высотой периария ($h \sim 850$ км), одной переходной эллиптической орбите с высоким периарием ($h \sim 6400$ км) и ~ 60 круговых орбитах, квазисинхронных с орбитой спутника Марса Фобоса ($h \sim 6150$ км). Характерные вариации спектров протонов вдоль орбит спутника позволяют весьма надежно определить интервалы времени, когда "Фобос-2" находился в солнечном ветре, в переходной области или в магнитосфере Марса.

Большой объем данных, полученных с помощью энерго-масс-спектрометра ТАУС на космическом аппарате "Фобос-2", позволил определить средние положения характерных границ околомарсианского пространства - ударной волны и магнитопаузы - в рассматриваемый период времени, выяснить, насколько стабильны положения этих границ, а также провести количественный статистический анализ зависимости положения магнитопаузы и ударной волны от параметров солнечного ветра.

Данные о пересечениях ареомагнитного хвоста спутником "Фобос-2" свидетельствуют о том, что диаметр магнитного хвоста Марса вблизи плоскости терминатора в среднем в 1,5 - 2 раза больше (в радиусах планеты), чем диаметр магнитного хвоста Венеры - планеты, не имеющей собственного магнитного поля, и разброс наблюдаемых точек пересечения границы магнитного хвоста, а также околопланетной ударной волны существенно больше, чем разброс точек пересечения соответствующих границ около Венеры.

Анализ пересечений магнитопаузы около Марса показал, что в среднем при высоком давлении солнечного ветра пересечения магнитопаузы наблюдались ближе к оси ареомагнитного хвоста, чем при низком. Тем самым экспериментально доказана сжимаемость магнитного хвоста Марса под действием давления солнечного ветра.

На рис. 3 в зависимости от наблюдавшегося динамического давления солнечного ветра (ρV^2) показан диаметр (D) магнитного хвоста Марса, рассчитанный путем проекции в хвост магнитосферы всех зарегистрированных с помощью прибора ТАУС пересечений магнитопаузы спутником "Фобос-2" на круговых орбитах. Экспериментально наблюдаемая зависимость $D(\rho V^2)$ была аппроксимирована степенной функцией:

$$D = 550 \cdot (\rho V^2)^{-1/k}$$

причем $k = 5.9 \pm 0.5$. Полученная величина коэффициента k близка к величине $k=6$, соответствующей дипольному магнитному полю Земли. Это свидетельствует о том, что при взаимодействии

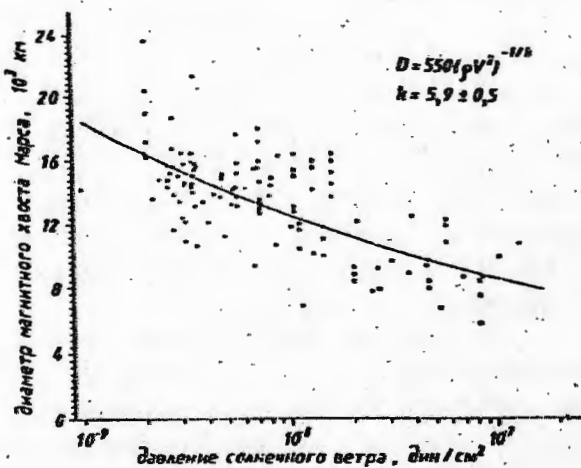


Рис. 3. Асимптотический диаметр магнитного хвоста Марса, рассчитанный по данным о пересечении магнитопаузы на круговых орбитах при входе спутника в магнитосферу и при выходе из нее как функция динамического давления невозмущенного солнечного ветра. Сплошной линией показана аппроксимация этой зависимости степенной функцией.

солнечного ветра с Марсом существенную роль, вероятно, играет внутреннее магнитное поле планеты.

В отличие от поведения магнитопаузы около Марса положение ударной волны, хотя и подвержено сильным изменениям, практически не зависит от ρV^2 . Показано, что это может быть связано с достаточно стабильным положением подсолнечной точки магнитопаузы. Такое поведение околомарсианской ударной волны аналогично поведению ударной волны около Венеры. Это обстоятельство, а также очевидные индукционные эффекты, продемонстрированные по данным магнитометра МАГМА на борту КА "Фобос-2", указывают на то, что индуцированное магнитное поле также является существенным фактором в процессе взаимодействия солнечного ветра с Марсом.

По данным эксперимента ТАУС, полученным на первых трех эллиптических орбитах спутника "Фобос-2" около Марса, подробно проанализированы изменения характеристик плазмы перед ударной волной около планеты. На рис. 4 показаны изменения переносной скорости и концентрации протонов на 3-ей орбите, когда спутник работал в режиме трехосной стабилизации. Очевидной чертой профиля скорости является четко выраженное торможение протонов солнечного ветра перед околомарсианской ударной волной. Уменьшение скорости протонов на ~ 100 км/с наблюдалось и в первых двух пролетах спутника около Марса, то есть во всех случаях, когда измерения проводились в окрестности ударной волны с дневной стороны планеты.

Обсуждаются возможные причины такого торможения потока протонов. Оно, в частности, может быть следствием нагружения потока солнечного ветра ионами планетного происхождения, непрерывно образующимися в солнечном ветре. К наличию такого процесса перед околомарсианской ударной волной может приводить существование протяженной кислородной короны у Марса.

Были выполнены численные оценки торможения солнечного ветра перед ударной волной из-за присутствия кислородной короны. Для оценок рассматривалась система гидродинамических уравнений движения с массовой нагрузкой. На рис. 4а, б пунктирными линиями показаны аппроксимированные профили скорости и концентрации солнечного ветра. Однако согласие между рассчитанным

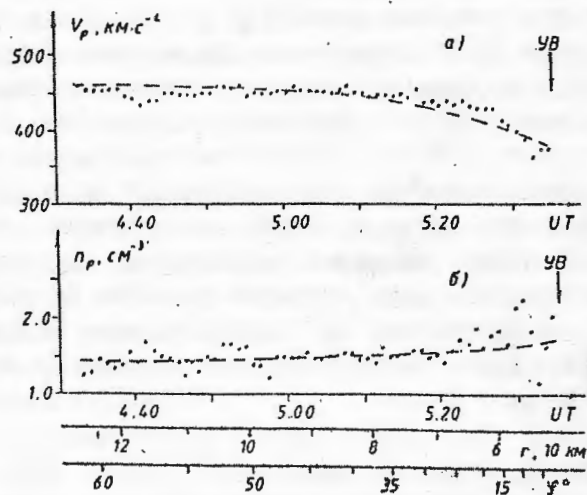


Рис. 4. - Скорость (а) и концентрация (б) протонов солнечного ветра, определенные по данным эксперимента ТАУС за ~ 1 час до пересечения фронта ударной волны эдоль третьей эллиптической орбиты спутника "Фобос-2".

и наблюдаемым торможением солнечного ветра могло быть достигнуто при в ~ 5 раз большей плотности горячей кислородной короны, чем по существующей модели, соответствующей максимуму цикла солнечной активности. Принимая во внимание отсутствие прямых наблюдений кислородной короны, возможную неопределенность данных, на которых основана модель, а также тот факт, что измерения на "Фобосе-2" проводились в период вблизи максимума солнечной активности, эта возможность не кажется невероятной. Следует, тем не менее, отметить, что ввиду пренебрежения возможным торможением солнечного ветра, вызванным протонами, отраженными от фронта ударной волны, и/или присутствием водородной короны, результаты, относящиеся к кислородной короне Марса, следует рассматривать только как верхние пределы.

Оценки верхнего предела плотности горячей кислородной короны Марса позволяют оценить и скорость диссипации кислорода с освещенного полушария планеты: $\sim 10^{26} \text{ с}^{-1}$. Эта величина

соответствует массовым потерям кислорода $\sim 2,5 \text{ кг/с}$ или скорости уменьшения атмосферного давления - $\sim 7 \cdot 10^{-16} \text{ мбар/с}$. В таком случае атмосфера Марса, давление в которой в настоящее время составляет $\sim 7 \text{ мбар}$, исчезнет за $\sim 3 \cdot 10^8$ лет. Это время сравнимо с возрастом планеты, поэтому рассматриваемый процесс может быть существенным с точки зрения эволюции Марса.

Главы III и IV сопровождаются обсуждением полученных результатов и краткими выводами.

В Заключении сформулированы основные результаты выполненной работы:

1) Проведена обработка информации, полученной с помощью энергоспектрометра модуляционного типа Д-137А на борту КА "Прогноз-9" и энерго-масс-спектрометра ТАУС на борту КА "Фобос-2". В течение значительных интервалов времени данные "Прогноза-9" являются единственным источником информации о солнечном ветре вблизи орбиты Земли. Сопоставление результатов измерений плазмы солнечного ветра на "Прогнозе-9" и на "Фобосе-2" с данными спутника IMP-8 за те интервалы времени, когда имеются и те и другие данные, показало, что данные спутников "Прогноз-9" и "Фобос-2" могут надежно дополнить общий мировой ряд данных по солнечному ветру.

2) Анализ результатов измерений на спутнике "Прогноз-9" показал, что в солнечном ветре на фазе спада 21-го цикла солнечной активности наблюдались рекуррентные высокоскоростные потоки; эти потоки были устойчивы на протяжении 5 - 6 оборотов Солнца; как правило, за солнечный оборот наблюдалось 4 высокоскоростных потока в соответствии с 4*-секторной структурой межпланетного магнитного поля в плоскости эклиптики; величина скорости в некоторых из этих потоков достигала 700-800 км/с. Был сделан вывод о возобновлении регулярной структуры высокоскоростных потоков в солнечном ветре на фазе спада 21-го цикла солнечной активности. Это свидетельствует о том, что наличие рекуррентных высокоскоростных потоков на фазах спада 11-летних циклов закономерно и является одним из проявлений этих циклов.

3) Анализ результатов измерений, проведенных на спутнике "Фобос-2", показал, что в этот период времени высокоскоростные

потоки были не столь устойчивы, как на фазах спада: они наблюдались в течение 1-3 солнечных оборотов. За один оборот Солнца наблюдалось обычно 2 высокоскоростных потока в соответствии с 2^x-секторной (в основном) структурой межпланетного магнитного поля.

4) На основе измерений солнечного ветра на спутнике "Прогноз-9" количественно исследована зависимость скорости солнечного ветра V от углового расстояния λ до межпланетного токового слоя. Зависимость $V(\lambda)$, определенная по полному массиву измерений V на "Прогнозе-9", аппроксимирована следующим эмпирическим выражением: $V(\text{км/с}) = 410 + 305\sin^2(\lambda)$.

5) Показано, что в отдельных случаях корреляцию между переносной скоростью солнечного ветра и угловым расстоянием до гелиосферного токового слоя можно улучшить, если в простой процедуре "кинематического проецирования" профиля скорости солнечного ветра на "поверхность источников" использовать предположение о том, что средняя скорость солнечного ветра на пути от "поверхности источников" до орбиты Земли меньше, чем скорость, измеренная на 1 а.е.

Измерения, проведенные в околомарсианском пространстве с помощью энерго-масс-спектрометра ТАУС, установленного на борту космического аппарата "Фобос-2", в феврале-марте 1989 г. выявили ряд ранее неизвестных особенностей взаимодействия солнечного ветра с Марсом.

6) На основе плазменных измерений, выполненных с помощью энерго-масс-спектрометра ТАУС на борту космического аппарата "Фобос-2" на 56 круговых орбитах около Марса, впервые количественно проанализирована зависимость положения границы марсианской магнитосферы от динамического давления солнечного ветра. Обнаружена сильная зависимость положения магнитопаузы от давления солнечного ветра.

7) Коэффициент k в выражении $D \sim (\rho V^2)^{-1/k}$, описывающем зависимость толщины магнитного хвоста Марса D от динамического давления солнечного ветра, оказался равным $5,9 \pm 0,5$. Эта величина близка к коэффициенту $k = 6$, характерному для дипольного магнитного поля Земли. Это обстоятельство, а также тот факт, что диаметр магнитного хвоста Марса достаточно большой \sim

$\sim 2-5,5 R_M$, свидетельствуют о том, что собственное дипольное магнитное поле, вероятно, играет существенную роль во взаимодействии солнечного ветра с Марсом.

8) С другой стороны, положение ударной волны около Марса вблизи плоскости терминатора практически не зависит от динамического давления солнечного ветра. Это может быть связано с устойчивым положением подсолнечной точки магнитопаузы. Относительная неподвижность подсолнечной магнитопаузы и очевидные индукционные эффекты, обнаруженные по данным магнитного эксперимента МАГМА в хвосте магнитосферы, говорят о том, что наведенное магнитное поле также играет существенную роль при взаимодействии солнечного ветра с Марсом.

9) По данным энерго-масс-спектрометра ТАУС, полученным на эллиптических орбитах космического аппарата "Фобос-2", было обнаружено сильное торможение потока солнечного ветра перед ударной волной около Марса. Этот эффект, возможно, частично связан с нагружением потока солнечного ветра ионами кислорода O^+ , образующимися в нем при ионизации нейтральных атомов кислородной короны Марса. Величина наблюдаемого торможения (~ 100 км/с) говорит о том, что плотность горячей кислородной короны в период наблюдения вблизи максимума цикла солнечной активности могла быть в несколько раз выше, чем ожидалось.

Процесс потери планетного кислорода через корону, по-видимому, является основным процессом потерь тяжелых ионов Марсом. Скорость диссипации кислорода через корону $< \sim 10^{26}$ атомов/с или $< \sim 2,5$ кг/с.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Gringauz K.I., Breuz T.K., Verigin M.I., Kotova G.A., Remizov A.P., Smirnova L.P., The magnetosphere plasma boundary at various latitudes, according to Prognoz-3 and Mars-5 data. Preprint D-263, Space Research Institute, Moscow, 1978.

Грингауз К.И., Безруких В.В., Веригин М.И., Котова Г.А., Наблюдения рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра на фазе спада 21-го цикла солнечной активности при помощи широкоугольного энергоспектрометра ионов на спутнике

- "Прогноз-9". - Космич. исслед., 1987, т.25, N 1, с. 86-92.
- Котова Г.А., Грингауз К.И., Безруких В.В., Беригин М.И., Швачунова Л.А., Ридлер В., Швингеншу К., Зависимость скорости солнечного ветра от расстояния до гелиосферного токового слоя по данным спутника "Прогноз-9". - Космич. исслед., 1987, т. 25, N 1, с.93-102.
- Крисилов Ю.Д., Безруких В.В., Бойчук М.Н., Венедиктов Ю.И., Беригин М.И., Волков Г.И., Грингауз К.И., Денщикова Л.И., Емельянов С.Л., Котова Г.А., Собченко Ю.Е., Старцев В.И., Исследование солнечного ветра при помощи широкоугольного энергоспектрометра заряженных частиц на спутнике "Прогноз-9". - В кн.: "Научная аппаратура для космических исследований", 1987, с.53-64.
- Bezrukih V.V.; Verigin M.I., Kotova G.A., Hourly averaged solar wind parameters: Prognoz-9, July 1983 - February 1984. Preprint - 1379, Space Research Institute, 1988.
- Rosenbauer H., Shutte N., Apáthy I., Galeev A., Gringauz K., Gruenwaldt H., Hemmerich P., Jockers K., Kiraly P., Kotova G., Livi S., Marsh E., Richter A., Riedler W., Remizov A., Schwenn R., Schwingenschuh K., Steller M., Szegö K., Verigin M., and Witte M., Ions of martian origin and plasma sheet in the martian magnetotail: Initial results of TAUS experiment. - Nature, 1989, v. 341, No.6243, p.612-614.
- Розенбауэр Х., Шютте Н., Апати А., Беригин М., Витте М., Галеев А., Грингауз К., Грюнвальд Х., Йокас К., Кирай П., Котова Г., Ливи С., Марш Е., Ремизов А., Рихтер А., Ридлер В., Сёге К., Хеммерих П., Швенн Р., Швингеншу К., Штеллер М., Первые результаты измерений ионов марсианского происхождения и обнаружение плазменного слоя в магнитосфере Марса. - Письма в АЖ, 1990, т.16, N 4, с.368-377.
- Kotova G.A., Gringauz K.I., Verigin M.I., Rosenbauer H., Livi S., Richter A., Riedler W., Szegö K., Dependence of the Martian magnetotail thickness on the parameters of the solar wind according to TAUS ion spectrometer data onboard Phobos-2, XVI General Assembly, European Geophysical Society, Annales Geophysicae, 1991, Supplement to v.9, C394-C395.

- Verigin M.I., Rosenbauer H., Shutte N.M., Apáthy H., Galeev A.A., Gringauz K.I., Hemmerich P., Kotova G.A., Livi S., Remizov A.P., Richter A.K., Riedler W., Schwingenschuh K., Steller M., Szegö K., Yeroshenko Ye.G., Ions of planetary origin in the martian magnetosphere (Phobos-2/TAUS experiment). In: First results of the Phobos-Mars mission and future space exploration of Mars, International symposium, Oct. 23-27, 1989, Paris, France, Abstracts, p.30., preprint KFKI, 1990-23/C, Budapest, Plan. Space Sci., 1991, v.39, No. 1/2, p.131-137.
- Verigin M.I., Gringauz K.I., Kotova G.A., Shutte N.M., Rosenbauer H., Livi S., Richter A.K., Riedler W., Schwingenschuh K., Szegö K., On the problem of the martian atmosphere dissipation: Phobos-2/TAUS spectrometer results. J. Geophys. Res., 1991, v. 96, No. A11, p.19315-19320.
- Verigin M.I., Gringauz K.I., Kotova G.A., Remizov A.P., Shutte N.M., Rosenbauer H., Livi S., Richter A., Riedler W., Schwingenschuh K., Szegö K., Apáthy I., Tatrallyay M., The dependence of the Martian magnetopause and bow shock on solar wind ram pressure according to Phobos 2 / TAUS ion spectrometer measurements. Preprint KFKI-1991-22/C, J. Geophys. Res., 1993, v.98, No.2.
- Verigin M., Rosenbauer H., Shutte N., Galeev A., Gringauz K., Kotova G., Livi S., Remizov A., Richter A., Riedler W., Schwingenschuh K., Szegö K., Yeroshenko Ye.G., The martian atmosphere dissipation problem: Phobos-2 TAUS experiment evidences. Abstracts COSPAR publ., Hague, Netherlands, 1990, p.17. Adv. Space Res., 1992, v.12, No.9, p.(9)23-(9)26.

055(02)2

Ротапринт ИКИ РАН

Москва, 117810. Профсоюзная, 84/32

Подписано к печати 5.02.93

заказ 9353

70 x 108/32 Тираж 100 экз. 0,9 уч.-изд. л.