

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИКИ РАН
чл. корр. РАН

А.А. Петрукович
«18» марта 2022 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения науки Института космических исследований
Российской академии наук

Диссертация «Исследование аномалий горячего потока у Земли и Марса и происхождение дневной магнитосферы Марса» выполнена в отделе Физики космической плазмы Федерального государственного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). В период подготовки диссертации соискатель Шувалов Сергей Дмитриевич работал в ИКИ РАН в должности младшего научного сотрудника.

В 2020 г. С. Д. Шувалов окончил очную аспирантуру Института космических исследований РАН по специальности «Физика Солнца».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2022 г. ИКИ РАН.

Научный руководитель:

- доктор физико-математических наук, профессор Вайсберг Олег Леонидович, работает главным научным сотрудником в ФГБУН ИКИ РАН;

По результатам рассмотрения диссертации «Исследование аномалий горячего потока у Земли и Марса и происхождение дневной магнитосферы Марса» принято следующее заключение:

Актуальность темы и направление исследования

Диссертационная работа Шувалова Сергея Дмитриевича посвящена экспериментальному исследованию процессов, происходящих в области пересечения головных ударных волн Земли и Марса с межпланетными токовыми слоями, где происходит формирование одного из наиболее крупных известных типов форшок-транзиентов – аномалий горячего потока. Ещё одной темой исследования является экспериментальное изучение процессов, протекающих на дневной стороне магнитосферы Марса.

Важность изучения аномалий горячего потока обусловлена их значительным размером (от одного до нескольких радиусов Земли), который позволяет на короткое время почти полностью локально отражать солнечный ветер и вызывать сильные возмущения в магнитосфере, а в случае планет без глобального магнитного поля, и в ионосфере. АГП представляют собой поток горячей плазмы, наблюдаемый перед ударной волной, в области её пересечения с межпланетным токовым слоем или другим разрывом в солнечном ветре. Актуальность исследования АГП у Земли обусловлена действующей орбитальной группировкой из 4 спутников Cluster, проводящей многоточечные измерения в плазме. Данные, получаемые с этих аппаратов, могут быть использованы для изучения характеристик АГП одновременно в разных точках, что позволяет изучать структуру данных явлений и разделять пространственные вариации плазмы от временных. В главе 2 соискателем представлен анализ одного события АГП у Земли по данным этой спутниковой группировки.

Актуальность изучения АГП у Марса обусловлена тем, что в конце 2014 г. на орбиту Марса был выведен спутник MAVEN, на борту которого установлена современная аппаратура для изучения параметров плазмы и магнитного поля, позволяющая однозначно отождествить данные события. В главе 3 соискателем впервые представлены результаты анализа ряда таких событий АГП, содержащего расчёт ряда их характеристик и частоты возникновения этих явлений у Марса.

Актуальность исследования дневной магнитосферы Марса, представленного в главе 4, обуславливается тем, что аппарат MAVEN смог впервые произвести измерения плазмы в этой области с достаточным временным разрешением для подробного изучения протекающих в ней процессов. В данном исследовании был использован метод анализа функции распределения ионов в пространстве скоростей. Для этого было выбран ряд пересечений спутником MAVEN дневной магнитосферы и проведено исследование функций распределения основных ионов магнитосферы: O^+ и O_2^+ . Для того, чтобы исключить из рассмотрения влияние магнитных аномалий Марса на исследуемую область, рассматривались только пересечения дневной магнитосферы в северном полушарии, так как области локальной намагниченности в этом полушарии практически отсутствуют.

Личный вклад автора при получении результатов, представленных в диссертации

Все работы, описанные в данной диссертации, проведены либо лично автором, либо при его непосредственном участии.

В главе 2, относящейся к анализу АГП у Земли по данным спутниковой группировки Cluster, автором были рассчитаны энергетические спектры ионов в

следующих областях: (1) внутри АГП, (2) в области, прилегающей к ТС, (3) магнитослое для частиц, питч-угол которых превышает 90° . Автором было проведено сравнение спектров, показавшее их схожесть. На основании этого сравнения был сделан вывод о том, что ионы АГП происходят из магнитослоя. Также автором была рассчитана ориентация и скорость движения ТС, зависимость максимальной скорости частиц в области, прилегающей к ТС, от времени. Сравнение этих данных выявило линейную зависимость между максимальной скоростью частиц в области, прилегающей к ТС, и расстоянием до ТС, на основании чего был сделан вывод структуре пучка в области, прилегающей к ТС. Помимо этого, автором были посчитаны моменты функции распределения для двух отдельных популяций частиц, соответствующих популяции ионов солнечного ветра и популяции ионов, исходящей со стороны ударной волны.

В главе 3, где приводится статистический анализ АГП у Марса, автором выполнена обработка и анализ данных, были предложены методы оценки размеров и времени жизни анализируемых событий, вычислены их параметры, в том числе время жизни и размеры, а также проведен сравнительный анализ этих параметров. Автором написан ряд программ для визуализации полученных результатов и функций распределения ионов, измеренных комплексом приборов аппарата MAVEN, проведена оценка частоты возникновения АГП у данной планеты.

В главе 4, содержащей описание области между обтекающим потоком и дневной ионосферой Марса, автором проведен анализ ионного состава. В результате этого анализа было выделено две популяции частиц, для каждой из которых автором были рассчитаны моменты функции распределения и проведено сравнение их давлений вдоль траектории движения космического аппарата из обтекающего потока в ионосферу. Данное сравнение выявило равенство давлений этих популяций в области дневной магнитосферы Марса.

Степень достоверности результатов проведенного исследования

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается 3 публикациями в международных изданиях, входящих в перечень ВАК, а также 18 докладами на российских и международных конференциях.

Научная новизна полученных результатов

В главе 2 предложен новый механизм возникновения молодой АГП на примере одного события, зарегистрированного у фронта головной ударной волны магнитосферы Земли; приведено объяснение структуры наблюдаемого пучка, исходящего от ударной волны.

В главе 3 приведен впервые произведенный статистический анализ АГП у Марса. Показано, что данный тип форшок-транзиентов является распространенным у Марса, и частота появлений таких явлений на этой планете составляет ~0,6 событий в день. Также показано, что X – компонента скорости (вдоль оси Марс-Солнце) АГП отрицательна почти для всех зарегистрированных событий, что позволяет оценивать время жизни отдельной аномалии в предположении её формирования вблизи подсолнечной точки.

В главе 4 впервые исследована область на дневной стороне Марса между обтекающим потоком солнечного ветра и ионосферой, приведён анализ популяций населяющих её частиц и выявлено равенство давлений между ними.

Научная и практическая значимость результатов исследования

Установлен механизм формирования конкретной АГП у Земли. Это дает основу для построения новых моделей возникновения АГП и изучения их характеристик.

Полученные результаты о частом возникновении АГП вблизи Марса подтверждают универсальность данного явления и то, что АГП могут возникать на любых типах межпланетных и, возможно, даже межзвездных ударных волнах.

Показано постоянное существование дневной магнитосферы Марса. Она представляет собой область между ионосферой и обтекающим потоком солнечного ветра, в которой наблюдаются две популяции ионов с равными давлениями. Изучение процессов, протекающих на дневной стороне, позволит лучше понять природу потери Марсом атмосферы.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах автора:

1. O.L. Vaisberg, S.D. Shuvalov, A.Yu. Shestakov, Y.M. Golubeva, Origin of the backstreaming ions in a young Hot Flow Anomaly, Planetary and Space Science, Volume 131, 15 October 2016, Pages 102-110, ISSN 0032-0633, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pss.2016.08.003>
2. Shuvalov, S. D., Ermakov, V. N., Zorina, V. O., Kim, K. I. (2019). Propagation properties of Hot Flow Anomalies at Mars: MAVEN observations. Planetary and Space Science, 179, 104717. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2019.104717>

3. O. Vaisberg, S. Shuvalov, Properties and sources of the dayside Martian magnetosphere, Icarus Volume 354, 15 January 2021, 114085, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.114085>

Все работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в системах РИНЦ, Web of Science и Scopus. Все основные положения исследования опубликованы в указанных статьях.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности «01.03.03 - Физика Солнца»

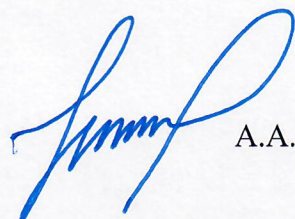
Задачи, рассмотренные в диссертации, относятся к следующим разделам паспорта специальности «01.03.03 - Физика Солнца»: «Солнечный ветер и гелиосфера» и «Солнечно-земная физика и солнечно-земные связи».

ВЫВОД. Кандидатская диссертация Шувалова Сергея Дмитриевича «Исследование аномалий горячего потока у Земли и Марса и происхождение дневной магнитосферы Марса» соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней».

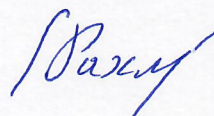
Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 «Физика Солнца».

Заключение принято на заседании НТС отдела «Физики космической плазмы» Института космических исследований РАН. Присутствовало на заседании 8 членов НТС отдела. Результаты голосования: «за» - 7 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол от «18» марта 2022 г.

Председатель НТС отдела 54 ИКИ РАН
д.ф.-м.н.,

 А.А. Петрукович

Секретарь НТС отдела 54 ИКИ РАН
к.ф.-м.н.

 Л.С. Рахманова