

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
Дмитриева Алексея Владимировича
на тему «Аномальные явления в области взаимодействия солнечного
ветра с дневной магнитосферой Земли на низких широтах»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Актуальность темы диссертации. Диссертация Дмитриева А.В. посвящена актуальной проблеме взаимодействия солнечного ветра с дневной магнитосферой в части исследования динамики плазмы, магнитного поля и потоков энергичных частиц в магнитослое и магнитопаузе, а также влияния этих процессов на геомагнитную активность. Передача энергии от солнечного ветра внутрь магнитосферы представляет собой сложную цепочку магнитоплазменных процессов, развивающихся на различных пространственных и временных масштабах. Понимание этих процессов имеет большое значение как для фундаментальной физики бесстолкновительной плазмы, так и для прикладных задач, связанных с прогнозом радиационной обстановки на геостационарной орбите. К настоящему времени накоплен огромный объем спутниковых наблюдений, полученных многочисленными космическими аппаратами, находящимися в различных областях зоны взаимодействия: внутри дневной магнитосферы, в магнитослое, в области форшока и головной ударной волны. Не смотря на интенсивные исследования процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой, проводимых в последние десятилетия, многие вопросы остаются до сих пор открытыми. В этой связи особую актуальность имеет комплексный анализ и обобщение накопленных спутниковых данных, создание эмпирических моделей, позволяющих установить связи между различными плазменными и магнитными характеристиками в области взаимодействия и в цепочке солнечный ветер – магнитослой – магнитопауза

– ионосфера. Этим актуальным задачам и посвящена диссертация А.В. Дмитриева.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Введение содержит общую формулировку проблемы, обоснование ее актуальности, постановку задач исследования, положения, выносимые на защиту, характеристику новизны и достоверности результатов, перечень публикаций автора по теме диссертации, описание личного вклада автора в получение результатов.

В первой главе описаны используемые в работе экспериментальные данные и методы их обработки, определены исследуемые области взаимодействия, и описана методика идентификации плазменных границ и слоев в исследуемых областях.

Вторая глава посвящена исследованию геометрии и динамики магнитопаузы во время сильных магнитных бурь. В такие периоды из-за сжатия магнитосферы с дневной стороны, дневная магнитопауза значительно приближается к Земле, в результате чего часть геостационарной орбиты попадает в магнитослой. Результаты анализа многоспутниковых наблюдений, представленные в данной главе, позволили получить новую информацию об особенностях геометрии магнитопаузы в такие периоды, а также создать качественную модель Геостационарных Пересечений Магнитопаузы (ГПМ) в зависимости от параметров межпланетного магнитного поля и Dst индекса.

В третьей главе рассматриваются прикладные аспекты результатов, полученных в предыдущих главах. В частности, обсуждается влияние размеров и формы магнитопаузы на потоки релятивистских электронов на геостационарной орбите, представляющих угрозу для спутниковой аппаратуры. Построена эмпирическая модель возрастных этих потоков на геостационарной орбите, которая в качестве параметров использует индексы геомагнитной активности K_p , P_c и минимальный размер магнитопаузы на флангах R_f . Также в данной главе рассмотрено влияние геометрии

магнитопаузы на проникновение Солнечных Космических Лучей (СКЛ) в полярную шапку.

В четвертой главе исследованы плазменные явления в магнитослое во время невозмущенных условий, а именно, дефицит плотности энергии при квазирадиальной ориентации межпланетного магнитного поля и плазменные струи. Обсуждается природа этих явлений и их геоэффективность.

В пятой главе рассмотрены эффекты влияния транзитного форшока и крупномасштабных плазменных струй на магнитосферу и ионосферу. А именно, магнитные вариации на поверхности Земли, высыпания энергичных частиц и дополнительная ионизация нижней ионосферы на высоких широтах, а также генерация резонансных пульсаций Pc1 типа жемчужин, наблюдаемых на поверхности Земли, и электромагнитных ион-циклотронных волн во внешней магнитосфере.

Полученные результаты дают новую информацию о процессах взаимодействия солнечного ветра с земной магнитосферой, а также о влиянии этих процессов на геомагнитную активность и радиационную обстановку на геостационарной орбите.

Степень обоснованности положений, выносимых на защиту, научных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. На защиту вынесено 8 положений, содержащих основные результаты диссертации, полученные на основе исследования пространственно-временной структуры области взаимодействия солнечного ветра с дневной магнитосферой путем анализа многоспутниковых наблюдений плазменных явлений в области взаимодействия.

Для решения поставленных в диссертации задач была разработана необходимая методика визуализации и анализа большого массива спутниковых данных, полученных различными космическими миссиями. Для идентификации особенностей геометрии и динамики области взаимодействия соискателем также были предложены оригинальные методики, использование которых позволило получить новую информацию о форме и

динамике дневной магнитопаузы. Эти результаты были использованы для уточнения моделей воздействия солнечного ветра и межпланетного магнитного поля на магнитосферу и ионосферу Земли.

Достоверность научных результатов. Достоверность результатов определяется использованием качественных космофизических данных с различных спутниковых миссий. Использование в диссертационной работе наблюдений с различных космических аппаратов позволило выполнить кроссвалидацию данных и отфильтровать сбой. Результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых рецензируемых научных журналах и докладывались на многочисленных международных конференциях и симпозиумах.

Новизна научных результатов. Использование разработанного соискателем нового метода исследования пространственно-временной структуры области взаимодействия позволило обнаружить особенности геометрии дневной магнитопаузы при воздействии на нее солнечного ветра с сильной отрицательной V_z -компонентой межпланетного магнитного поля (а именно наличие асимметрии и приэкваториального «желоба»). Это позволило создать новые модели, описывающие положение магнитопаузы и потоки релятивистских электронов в области геостационарной орбиты во время магнитных бурь, а также проникновение СКЛ в полярные шапки. Также детально исследовано явление распространения плазменных струй в магнитослое, предложен механизм их формирования и установлено их влияние на магнитосферу и ионосферу.

В целом диссертация написана на высоком профессиональном уровне, в ней содержатся новые результаты об отклике дневной магнитопаузы на различные параметра солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, а также разработаны новые методики анализа данных, и предложены новые эмпирические модели, позволяющие более точно предсказывать радиационную обстановку на геостационарной орбите, что имеет большое прикладное значение.

Замечания. К диссертации имеются несколько замечаний, перечисленных ниже, которые, в основном связаны с неточностями изложения материала и недостаточной полнотой обсуждения некоторых результатов. Эти замечания, однако, не ставят под сомнение сделанные в работе выводы и положения, выносимые на защиту.

- 1) В первой главе обсуждается необходимость учета вклада ионов гелия при рассмотрении взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой. Однако, при этом, автор учитывает только плотность гелия, при вычислении теплового и динамического давления плазмы солнечного ветра, однако, не учитывает температуру и потоковую скорость ионов гелия, и не обсуждает важность этих параметров для представленного исследования. Также из текста непонятно, учитывалась ли плотность гелия для вычисления альфвеновской скорости.
- 2) При использовании метода анализа минимальной вариации магнитного поля (MVA) для достоверного определения нормали к разрыву важно иметь достаточно большое отношение собственных чисел. В тексте автор не приводит этих данных.
- 3) В главе 2 хотелось бы видеть более строгое статистическое обоснование эффекта асимметрии утро-вечер в наблюдении ГПМ. Можно было бы, например, построить гистограмму числа наблюдения ГПМ на данном MLT нормированное на общее время пребывания спутника на данном MLT.
- 4) При обсуждении эффекта «насыщения», при котором «...увеличение величины отрицательной B_z выше порога ~ -20 нТл не сопровождается уменьшением давления солнечного ветра P_{sw} , необходимого для ГПМ...» и рисунка 2.3.1, хорошо бы было также обсудить насколько статистически значимым является этот вывод. Из рисунка видно, что при $B_z \sim -30$ нТл разброс значений P_{sw} все еще довольно большой. Этот разброс уменьшается только при очень больших отрицательных $B_z \sim -40$ нТл, но такие события сами по себе редки. Также разброс значений

P_{sw} уменьшается и при больших положительных V_z . Учитывалась ли роль V_y и V_x компонент межпланетного магнитного поля при обсуждении эффекта насыщения V_z ?

- 5) Автор часто использует термин «горячие» ионы, не объясняя какой диапазон энергий соответствует этой популяции. Что имеется в виду под плотностью и другими параметрами «горячей» плазмы? Обычно плазменные спектрометры измеряют функцию распределения в широком диапазоне энергий. Каким образом вычислялись ключевые плазменные параметры? Путем интегрирования функции распределения в выделенном диапазоне энергий?
- 6) Некоторые утверждения требуют более подробного объяснения. Например, на стр. 29 фраза: "Воздействие индуцированного E_y на магнитосферу вызывает геомагнитные бури". Механизм генерации магнитной бури более сложный, и из текста непонятно, что имеет в виду автор.

Также в тексте диссертации имеется некоторое количество опечаток.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Дмитриев Алексей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела физики космической плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук»

Григоренко Елена Евгеньевна

10 марта 2025 года

Контактные данные:

тел.: 7(495)3331467, e-mail: grigorenko@cosmos.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.03.03 - Физика Солнца

Адрес места работы:

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32,

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН),
отдел физики космической плазмы

Тел.: 7(495)3331467; e-mail: grigorenko@cosmos.ru

Подпись сотрудника ИКИ РАН Е. Е. Григоренко удостоверяю:
Ученый секретарь

А. М. Садовский