

УТВЕРЖДАЮ:

Директор федерального

государственного бюджетного учреждения

"Институт прикладной геофизики имени  
академика Е.К. Фёдорова"

д.ф.м.н., профессор

В.Б.Лапшин

### ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного учреждения "Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Фёдорова" (ФГБУ "ИПГ") на диссертацию Марии Сергеевны Пулинец "Магнитное поле в магнитослое и баланс давлений на дневной магнитопаузе", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 (физика плазмы).

Рост интенсивности человеческой деятельности в околоземном космическом пространстве приводит к необходимости постоянного совершенствования методов диагностики и прогноза космической погоды. Развитие средств наблюдения Солнца и теории переноса возмущений к Земле позволяет надеяться на существенное улучшение точности и заблаговременности прогноза возмущений в магнитосфере. Однако обнаружение быстрых флуктуаций параметров плазмы и магнитного поля в магнитослое, явно вызванных турбулентностью плазмы внутри магнитослоя, неизбежно ставит вопрос о том, насколько точно может быть определено или предсказано поведение магнитного поля и плазмы внутри магнитопаузы при различного рода возмущениях в солнечном ветре. Именно на этот вопрос ищется ответ в диссертации М.С. Пулинец, и поэтому актуальна рассматриваемая в её диссертации проблема баланса давления на границе магнитосферы и солнечного ветра и механизма трансформации и проникновения возмущений в солнечном ветре в магнитосферу Земли.

Диссертация состоит из Введения, трёх глав и заключения, списка цитируемой литературы (из 121 наименования). Общий объем работы составляет 113 страниц.

Во введении традиционно излагаются актуальность и новизна решаемой в работе проблемы, сформулированы цели диссертации, говорится о практической значимости

работы, ее достоверности и обоснованности. Приведены положения, выносимые на защиту и список публикаций по результатам работы.

Первая глава является обзорной. В ней рассмотрены основные особенности процесса обтекания геомагнитного поля плазмой солнечного ветра, формирования магнитослоя и магнитопаузы. Выделены плохо изученные особенности процессов в магнитослое у магнитопаузы, что позволило сформулировать цели и задачи работы. Обращено внимание на высокий уровень флуктуаций магнитного поля и параметров плазмы на границе магнитосферы, что никак не учитывается при изучении геомагнитной активности. Подробно рассмотрены результаты работ по изучению корреляций геомагнитных индексов с параметрами межпланетного магнитного поля и солнечного ветра и отмечено, что величины коэффициентов корреляции сравнительно невелики, что не получило до настоящего времени должного объяснения. Еще в начале космических исследований был введен термин турбулентный магнитослой, отражающий высокий уровень флуктуаций магнитного поля и параметров плазмы в данной области, но предсказание геомагнитной активности опиралось, в основном, только на параметры солнечного ветра, измеренные в точке либрации. При распространении солнечного ветра от точки либрации до околоземной ударной волны может происходить модификация параметров солнечного ветра. Поэтому автор работы поставила задачу сравнения направления магнитного поля у магнитопаузы с направлением поля в солнечном ветре непосредственно перед ударной волной. В главе также рассмотрены результаты работ по анализу баланса давлений на магнитопаузе. Отмечено, что до настоящего времени условия баланса давлений сравнительно плохо изучены даже в магнитоспокойное время, а во время магнитных бурь ранее не изучались. В первой главе также описаны особенности пятиспутникового эксперимента THEMIS, данные которого были использованы в работе.

Во второй главе приведены результаты изучения зависимости компонент магнитного поля перед магнитопаузой от соответствующих компонент в солнечном ветре и часового угла (угла между векторной суммой  $Y$  и  $Z$  компонент межпланетного магнитного поля и осью  $Z$  в GSM системе координат) у магнитопаузы и в солнечном ветре. Описана процедура отбора событий, при которых один из спутников миссии THEMIS пересекал магнитопаузу, а другой измерял параметры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) перед ударной волной и форшоком. Далек не во всех случаях удается четко отследить пересечение магнитопаузы, так как изменения магнитного поля не всегда совпадают с изменениями параметров плазмы. Автору удалось отобрать сто событий, при которых фиксировалось четкое пересечение магнитопаузы. Проведено сравнение компонент магнитного поля в магнитослое перед магнитопаузой от

соответствующих компонент в солнечном ветре при разных временах усреднения, не превышающих время, за которое плазма солнечного ветра после пересечения ударной волны доходит до магнитопаузы (~2 мин) для каждого из ста событий. Получены статистические зависимости. В результате было показано, что все измеренные параметры сильно варьировали, что согласуется с представлениями о высоком уровне турбулентности в магнитослое. Однако, несмотря на высокий уровень вариаций, существует хорошо выраженная корреляция  $Y$  компоненты магнитного поля у магнитопаузы от  $Y$  компоненты в солнечном ветре.  $X$  компонента поля у магнитопаузы близка к нулю, что хорошо стыкуется с описанием магнитопаузы как тангенциального разрыва. Интересен результат по  $Z$  компоненте, которая во всех теоретических работах рассматривается в качестве основного параметра, определяющего геомагнитную активность. В работе показано, что корреляция  $Z$  компоненты у магнитопаузы с  $Z$  компонентой в солнечном ветре практически отсутствует. В 30% случаев регистрируется изменения знака данной компоненты. Полученный результат имеет существенное значение как для построения адекватной теории обтекания геомагнитного диполя плазмой солнечного ветра, так и для задач космической погоды, так как позволяет объяснить сравнительно невысокие корреляции геомагнитных параметров с параметрами ММП и солнечного ветра.

В третьей главе приведены результаты анализа особенностей соблюдения условия баланса давлений на границах магнитопаузы при магнитоспокойных и магнитовозмущенных условиях. Ранее было известно, что положение магнитопаузы постоянно изменяется, что связано с изменениями параметров магнитослоя перед магнитопаузой и магнитосферы внутри магнитопаузы. В работе проведен анализ баланса давлений на магнитопаузе в магнитоспокойных условиях и во время магнитных бурь. Ранее баланс давлений на магнитопаузе во время магнитных бурь не исследовался. В результате анализа удалось выделить 16 магнитных бурь, во время которых спутники миссии THEMIS пересекали магнитопаузу. Рассматривались пересечения во время различных фаз магнитных бурь (всего 57 пересечений). При рассмотрении баланса давлений учитывались со стороны магнитослоя статическое давление ионов и электронов, магнитное давление и динамическое давление текущей плазмы, а со стороны магнитосферы магнитное давление и статическое давления ионов и электронов. Определены величины дисбаланса полного давления. Показано, что дисбаланс давлений на границах магнитопаузы сильно варьирует от события к событию и в среднем возрастает с ростом геомагнитной активности. Основным результатом статистического сравнения условий баланса давлений в магнитоспокойных условиях и во время магнитных

бурь явилось выявление различия вклада магнитного давления в магнитослое. Если в магнитоспокойных условиях в магнитослое у магнитопаузы преобладает статическое давление ионов, то во время магнитных бурь существенный вклад вносит магнитное давление.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Несомненным достоинством работы является подробный анализ данных многоспутниковых наблюдений. Автором работы впервые проведен корреляционный анализ зависимости компонент магнитного поля и часового угла непосредственно у магнитопаузы от компонент магнитного поля и часового угла в солнечном ветре перед ударной волной и флэшом, получен ряд статистических закономерностей и впервые исследован баланс давлений на магнитопаузе во время магнитных бурь, что обуславливает научную новизну работы. Большой интерес представляет результат исследований изменений  $Z$ -компоненты магнитного поля, что позволяет понять причину сравнительно низкой корреляции геомагнитной активности в зависимости от этой компоненты.


Работа представляет собой одно из первых исследований в выделенном направлении, но не лишена некоторых недостатков. Если при исследовании корреляций магнитного поля все выводы получены на достаточно репрезентативной статистике в 100 событий, по каждому из которых проводился отдельный анализ, то статистика на базе только 16 магнитных бурь разной интенсивности позволила автору получить только первые результаты. Подробный анализ, который дал принципиально важные результаты, был проведен только для магнитной бури 20 февраля 2014 г., когда пересечение магнитопаузы было зафиксировано при минимальном  $Dst$  в конце главной фазы бури. Можно порекомендовать автору в дальнейшей работе провести детальный анализ особенностей пересечений магнитопаузы и одновременных изменений магнитосферных параметров для каждой из исследованных магнитных бурь. В работе имеется ряд опечаток, например, можно отметить употребление в списке авторов русскоязычных публикаций в тексте диссертации и в автореферате союза "and".

Отмеченные недостатки не снижают высокой оценки работы. Результаты работы могут быть использованы при планировании будущих спутниковых и наземных экспериментов. Все полученные результаты имеют практическую ценность и, несомненно, должны быть учтены при оценке достоверности предсказания космической погоды.

Результаты работы докладывались на ряде семинаров, международных конференциях, опубликованы в рецензируемых журналах, включённых в список ВАК. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Результаты диссертации могут быть использованы в исследованиях в области физики космической плазмы, физики магнитосферы и ионосферы в таких институтах, как ФГБУ "ИПГ", ИКИ, ИЗМИРАН, НИИЯФ МГУ, ПГИ, ИСЗФ, СИБИЗМИР и других заинтересованных организациях.

Работа является законченным научным исследованием, имеющим общенаучную и практическую ценность, и свидетельствует о высокой научной квалификации её автора. В соответствии с вышеизложенным, диссертационная работа Марии Сергеевны Пулинец "Магнитное поле в магнитослое и баланс давлений на дневной магнитопаузе", представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - физика плазмы, полностью соответствует критериям, установленным действующим "Положением о порядке присуждения ученых степеней" №842 от 24.09.2013г., а автор, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени.

Результаты диссертации обсуждались и были одобрены на заседании Ученого совета ФГБУ "ИПГ" 21.09.2016 г.

Отзыв составлен заведующим лабораторией ФГБУ "ИПГ"  
д.ф.-м.н.  А.А.Нусиновым