

## Отзыв

**официального оппонента на диссертацию Назаркова Ильи Сергеевича “Структура и динамика крупномасштабных токов в возмущенной магнитосфере по данным спутниковых измерений”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - физика плазмы**

Диссертация И.С. Назаркова является квалификационной работой, решающей задачи количественного описания магнитосферных областей и токовых систем магнитосферы Земли. Диссертация посвящена исследованию параметров крупномасштабных токовых систем магнитосферы, в частности токов хвоста и кольцевого тока. В диссертации исследуются как количественные параметры постоянно существующих токовых систем, так и переходные токовые системы, возникающие во время геомагнитных возмущений. Диссертация решает ряд задач в рамках фундаментальной цели – создания полуэмпирической модели реальной магнитосферы, то есть, модели работающей при практически любых регулярно наблюдаемых состояниях магнитосферы. Создание такой модели необходимо для реализации важной прикладной цели: прогноза геомагнитной активности («космической погоды»).

Работа опирается на данные ставших доступными в последние годы многоспутниковых измерений, которые сделали возможным количественный анализ параметров магнитного поля и плазмы непосредственно в области ближнего и дальнего хвоста магнитосферы с корректным разделением временных и пространственных вариаций. В работе используется комбинированный подход, основанный на восстановлении параметров из данных многоточечных измерений, дополненный данными полуэмпирических моделей для параметров, недоступных прямому измерению. В диссертации разработанный автором метод применяется к задаче восстановления радиального профиля магнитного поля тока хвоста магнитосферы из данных многоспутниковых измерений.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Во введении сформулированы цели работы, обоснованы актуальность, новизна и практическая ценность результатов, приведены положения, выносимые на защиту. В 1-й главе приведен обзор литературы, представлены результаты, полученные в ходе экспериментальных и теоретических исследований структуры и динамики магнитосферных токовых систем. Во 2-й главе дано описание спутниковых экспериментов и модели магнитного поля (A2000), использованных в главах 3-6 для оценок магнитного поля. В 3-й и 4-й главах исследуются параметры токового слоя хвоста и создаваемого им магнитного поля по данным многоспутниковых измерений с восстановлением недоступных для прямых

измерений параметров на основе модельных расчетов. В третьей главе рассматриваются условия крайне низкой магнитной возмущенности и возникающее на спокойном фоне магнитное возмущение типа магнитной бури малой интенсивности. На основе анализа делается вывод о формировании во время возмущения короткоживущей переходной токовой системы, анализируются условия возникновения таких систем и их вклад в полное магнитное поле хвоста. 5-я глава посвящена исследованию замкнутых магнитных образований в хвосте магнитосферы. В ней определяются параметры этих систем для отдельных событий и формулируются общие условия их формирования. В 6-й главе проведено сравнительное исследование потоков ионов бурового экваториального пояса на низких высотах в приэкваториальной области и потоков частиц кольцевого тока, полученных в ходе прямых измерений. Выявлено подобие основных характеристик потоков частиц этих двух областей и дано объяснение эффекту энергетической дисперсии и смятения спектра частиц кольцевого тока.

В ходе выполнения работы автором получены оценки параметров хвоста магнитосферы для разных геофизических условий, разработан комбинированный метод восстановления магнитного поля и токов хвоста по данным многоспутниковых измерений с восстановлением недостающих данных из полуэмпирических моделей, использующих в качестве входных параметров реальные значения, полученные из текущих измерений в магнитосфере и межпланетной среде. Автор создал комплекс алгоритмов и программ для расчета магнитного поля хвоста магнитосферы. Разработанные методы апробированы для конкретных событий при разных уровнях геомагнитной возмущенности. В дальнейшем, разработанные автором программы могут быть использованы для анализа спутниковых измерений, в фундаментальных и прикладных исследованиях.

Замечания по диссертации. Ниже они перечислены по степени важности.

В 3-й главе магнитное поле хвоста определяются как измеренное поле за вычетом полей, создаваемых другими токами, включая ток на магнитопаузе, замыкающий ток хвоста. Из текста неясно, является ли модель самосогласованной, то есть, учитывается ли в магнитном поле, создаваемом токами на магнитопаузе замыкающая часть токов хвоста, определенная из эксперимента, или ток на магнитопаузе полностью определяется из модели. На магнитограммах (рис. 3.11) есть вариации с квазипериодом несколько минут. Из текста непонятно, повлияли ли эти вариации на итоговый разброс (рис. 3.12), видны ли они на других спутниках и, если да, являются ли они пространственными структурами или временными вариациями (пульсациями). В 3-й главе делается вывод, что сильные токи и заметные возмущения магнитного поля в хвосте «не внесли ощутимого вклада в Dst индекс», который, как подчеркивает автор был меньше обычных значений. Из-за неудачной формулировки, исказился смысл вывода. Скорее всего, имелось в виду, что сама буря была

слабее из-за того «что экстремально спокойные условия в солнечном ветре, привели к смещению магнитосферных токовых систем (в том числе – токов хвоста магнитосферы) дальше от Земли, по сравнению с «обычными» условиями».

Введенное в главе 4 понятие «короткоживущей или переходной токовой системы» введено без оценки, на каких масштабах можно применять статическое приближение.

Введение, стр. 19. Если для магнитной бури изложение ведется последовательно, то есть, сначала говорится о механизмах, а потом о способах учета интенсивности в виде индекса, то описание суббури сразу начинается с индексов. Из изложения непонятно, чем буря отличается от суббури. Так как в самой работе предметом исследования является только магнитная буря, но не суббуря, то было бы правильнее полностью опустить описание суббуревых индексов.

Глава 2, стр. 38-41. Приведено (нумерованным списком) описание приборов с указанием названий и в самом общем виде сформулированных целей, но прибор, данные которого непосредственно использованы в работе, в общем списке не указан, а описание измерений дано слишком сжато для основного экспериментального инструмента работы. Расчетные формулы, описывающие различные параметры магнитосферы и содержащие размерные численные коэффициенты, называются «расчетом по модели», так что из текста невозможно понять, идет ли речь о расчетных формулах, прямо полученных из исходных физических формул, аппроксимации численного расчета, или обобщении опытных данных.

Глава 3, стр.50-51. Дан подробный разбор выброса магнитного поля на удалении  $R=1.5$  от Земли в параграфе, посвященном токам хвоста, то есть, это обсуждение не относится к исследуемому объекту и было бы логично не включать его в описание.

Общее по главам. В диссертации встречаются неоправданные повторы, когда одни и те же фрагменты практически дословно повторяются во вводных параграфах каждой из содержательных глав. В работе встречаются чисто описательные и оценочные предложения, данные без достаточного обоснования, например: «Токи хвоста магнитосферы и кольцевой ток являются наиболее интересными магнитосферными объектами, их динамика проявляется в вариациях магнитного поля на поверхности Земли и в высыпаниях частиц в верхней атмосфере.» (стр. 4); «Магнитосфера Земли является непростым объектом для детального изучения из-за наличия сложной структуры» (стр. 15); «В ближнем хвосте магнитосферы, в области, находящейся на расстояниях от Земли  $\sim 8 - 15 RE$  ( $RE$  – радиус Земли) происходят сложные динамические процессы...» (стр. 20).

В работе имеются и стилистические погрешности, нечеткие фразы и т.п., например: «аппараты располагаются вдоль ночной магнитосферы...» (стр. 8); «... найдены корреляции

между изменениями параметров солнечного ветра (СВ), межпланетным магнитным полем (ММП) и динамикой токового слоя хвоста.» (стр. 23); «Набор инструментов создан для изучения важной роли, которую играют магнитное поле и плазменные волны в процессах ускорения и потерь частиц в радиационных поясах... должен ответить на вопросы об образовании космической погоды» (стр. 38).

Отмеченные недостатки не влияют на общее положительное впечатление от диссертации И.С. Назаркова. Диссертация является законченной научной работой на тему важную для исследований крупномасштабных токовых систем магнитосферы. Положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются обоснованными. Полученные результаты являются новыми и опубликованы в 4 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК, а также докладывались на российских и международных конференциях.

Диссертация И.С. Назаркова полностью отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013г., а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - физика плазмы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,

главный научный сотрудник ИФЗ РАН

123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, стр. 1

e-mail: fedorov@ifz.ru

тел. (499) 254 89 05

Е.Н. Федоров

21.11.2016

Подпись Е.Н. Федорова заверяю:

Ученый секретарь ИФЗ РАН,

кандидат физико-математических наук



В.В. Погорелов