

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 физ.-мат. наук по специальности 01.04.08 - физика плазмы

Диссертационная работа И.С. Назаркова посвящена актуальной проблеме исследования структуры и динамики крупномасштабных токовых систем хвоста и кольцевого тока в магнитосфере Земли. В динамике магнитосферы важную роль играет область ближнего хвоста, где происходит изменение конфигурации магнитного поля от вытянутой в дальние области хвоста к квазидипольной вблизи Земли. В настоящее время остается нерешенным ряд вопросов, касающихся положения передней границы токового слоя хвоста и динамики токовых систем, оказывающих влияние на магнитную конфигурацию ближних областей хвоста во время геомагнитных возмущений. Благодаря запуску многоспутниковых магнитосферных миссий THEMIS, RBSP, MMS стало возможным разделить временные и пространственные эффекты в плазменных наблюдениях и исследовать пространственную структуру токовых систем ближнего хвоста, а также получить оценки характерных временных масштабов происходящих в нём процессов. В этой связи, особую важность представляет сравнение наблюдательных данных с результатами динамических моделей магнитосферного магнитного поля, в том числе и в части тестирования последних.

В диссертационной работе И.С. Назаркова выполнены исследования структуры токовых систем ближней области геомагнитного хвоста и кольцевого тока по данным многоспутниковых миссий THEMIS, RBSP и спутников POES в сопоставлении с результатами расчетов, полученных с помощью динамической параболоидной модели магнитосферы A2000, позволяющей по относительно малому количеству одновременных спутниковых (и наземных) данных восстановить картину электромагнитных полей во всём объёме земной магнитосферы. Диссертация состоит из Введения, шести глав и Заключения, содержит 36 рисунков и 141 библиографическую ссылку. Общий объем диссертации составляет 105 страниц.

Во **Введении** представлено обоснование актуальности диссертационной работы, изложены цели исследования, научная и практическая значимость работы и сформулированы её основные результаты.

В **первой главе** представлен довольно подробный обзор литературы по теме исследования. В частности, описана структура магнитосферы Земли, динамика её крупномасштабных токовых систем, а также механизмы взаимодействия магнитосферы с

солнечным ветром. Особое внимание уделено обзору результатов исследований основных характеристик и динамики токовых систем геомагнитного хвоста и кольцевого тока во время спокойных и возмущенных магнитосферных периодов, а также роли этих токовых систем в развитии геомагнитных возмущений.

Во **второй главе** изложены методы исследований, описаны используемые автором спутниковые данные (THEMIS, RBSP, POES) и расчетные модели (A2000 и модель поля внутриземных токов IGRF11).

В **третьей главе** описаны особенности динамики магнитосферы Земли в исследуемый автором период 2008-2009г.г. Подробно описаны события, выбранные для анализа во время геомагнитно-спокойного и возмущенного периодов, и изложен разработанный автором метод восстановления радиального профиля магнитного поля, создаваемого токами хвоста во время этих периодов. Выполнено сравнение радиальных профилей магнитного поля хвоста, восстановленных по спутниковым данным THEMIS, с расчетными профилями, полученными с помощью модели A2000. Получены оценки положения передней границы токового слоя хвоста для данных периодов.

В **четвертой главе** обсуждается возможность формирования переходной токовой системы вблизи переднего края токового слоя хвоста в результате адиабатического сжатия магнитосферы солнечным ветром во время подготовительной фазы геомагнитной бури 14 февраля 2009г. Для объяснения наблюдательных данных автор предлагает сценарий формирования такой переходной токовой системы, которая включает в себя радиально-локализованный ток, текущий с утра на вечер в экваториальной плоскости хвоста и замыкающийся на дневной магнитопаузе. Получены оценки силы тока в переходной токовой системе и обсуждается необходимость данной системы для поддержания магнитного потока в долях хвоста на подготовительной фазе бури.

В **пятой главе** обсуждается наблюдение отрицательных значений V_z -компоненты магнитного поля в ближней области геомагнитного хвоста во время главной фазы бури 14 февраля 2009г. Автор объясняет данные наблюдения формированием замкнутой магнитной конфигурации типа магнитного острова за счет экстремального усиления поперечного тока в хвосте, и подтверждает возможность существования такой конфигурации численными расчетами по модели A2000 с использованием входных параметров, полученных из спутниковых наблюдений.

В **шестой главе** обсуждается динамика кольцевого тока и потоков ионов на малых высотах во время магнитной бури 27-28.02.2014г. по данным спутников RBSP и POES. Продемонстрировано качественное соответствие между вариациями ионных потоков и характеристиками их энергетических спектров, наблюдаемых на низких высотах вблизи

экваториальной области, и динамикой ионов кольцевого тока, а также их спектральными характеристиками, наблюдаемыми спутниками RBSP. Для данного события обнаружено смягчение энергетического спектра частиц кольцевого тока на главной фазе бури, обусловленного высыпанием частиц с энергиями более 100 кэВ.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

Диссертационная работа И.С. Назаркова является законченной научно-квалификационной работой, в которой для исследования актуальной проблемы динамики крупномасштабных магнитосферных токовых систем выполнен анализ и интерпретация спутниковых данных в сочетании с численным моделированием. Автором разработаны программные коды в среде IDL и метод восстановления радиального профиля магнитного поля от токов хвоста, основанный на использовании спутниковых наблюдений THEMIS и модельных расчетов (A2000 и IGRF). Использование данного метода дало возможность впервые получить мгновенный радиальный профиль компонент магнитного поля на большом пространственном масштабе в геомагнитном хвосте и определить положение передней границы токового слоя как во время спокойного, так и для геомагнитно-возмущенного периода. Автором также предложены интересные идеи о формировании короткоживущих переходных токовых систем в передней части токового слоя хвоста во время подготовительной фазы бури и описаны условия для формирования замкнутых магнитных структур в хвосте магнитосферы во время главной фазы бури.

Следует отметить и некоторые недостатки диссертационной работы:

1) выводы, полученные в главах 3-5 сделаны на основе анализа лишь двух периодов - одного геомагнитно-спокойного периода и одной бури 14 февраля 2009г. Хотелось бы пожелать автору продолжить данную работу, и проверить полученные результаты на большем статистическом материале. Подобные исследования также важны и в части тестирования магнитосферных моделей;

2) аналогичное пожелание об анализе большего числа событий хочется сделать и в отношении важных и интересных выводов, сделанных в диссертации, по наблюдениям отрицательных вариаций Vz-компоненты магнитного поля в ближнем хвосте. Насколько типична подобная магнитная конфигурация во время геомагнитных возмущений? Сценарий формирования магнитного острова и ближней X-линии также требует статистической проверки, в том числе с использованием плазменных измерений спутников THEMIS;

3) в работе не обсуждается вклад нестационарных явлений, таких как фронты магнитных диполизаций и связанных с ними токовых систем, которые часто наблюдаются в геомагнитном хвосте во время возмущенных периодов.

В диссертации также имеется ряд технических недостатков, включающих опечатки и

несколько неточностей. В частности,

- на стр.63 написано: "...отчетливо выраженный экстремум V_z оз начает близость к токовому слою". Автор, вероятно, имел ввиду близость к передней границе токового слоя, т.к. близость к токовому слою, обычно демонстрирует малая величина модуля V_x -компоненты поля.

- на стр.87 автор пишет об уменьшении AL индекса, ссылаясь на рис.6.3, тогда как на рисунке представлены данные по Dst индексу и далее в тексте обсуждается только Dst индекс.

Данные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы И.С. Назаркова. Автором проделана значительная работа по анализу и интерпретации спутниковых данных, их сравнению с численными моделями, и получен ряд важных и новых результатов, представляющих интерес для физики магнитосферы. Разработанный автором метод восстановления радиальных профилей магнитного поля по спутниковым наблюдениям имеет практическую важность как для анализа токовых систем хвоста, так и для тестирования динамических магнитосферных моделей. Достоверность результатов диссертации подтверждается сравнением спутниковых наблюдений с результатами численных модельных расчетов. Новизна и научная значимость результатов не вызывает сомнений. Результаты диссертационной работы И.С. Назаркова могут быть использованы в таких научно-исследовательских институтах как ИКИ РАН, НИИЯФ МГУ, ИЗМИРАН, ПГИ, ИФЗ, НИРФИ.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 4х статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Материалы диссертации были представлены на ряде научных семинаров, международных и всероссийских конференциях.

Диссертация И.С. Назаркова является завершенным научно-квалификационным исследованием и полностью соответствует критериям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.08 - физика плазмы, установленным действующим "Положением о порядке присуждения ученых степеней" №842 от 24.09.2013. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что Илья Сергеевич Назарков безусловно заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - физика плазмы.

ведущий научный сотрудник ИКИ РАН
д.ф.-м.н.

Подпись Е.Е. Григоренко заверено
Ученый секретарь ИКИ РАН, д.ф.-м.н.



Елена Евгеньевна Григоренко
30.11.2016

А.В. Захаров