

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Марчука Романа Александровича на тему **«Динамика электромагнитных УНЧ-колебаний и ионосферных токов в ходе атмосферных и космических возмущений»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

Предметом исследования диссертационной работы Марчука Р.А. являются процессы генерации и распространения весьма интересного типа ультранизкочастотных колебаний (УНЧ), возникающих в магнитосфере Земли вследствие различных типов возмущений, как внешнего характера (возмущения солнечного ветра), так и по внутренним причинам, связанным, например с грозовыми явлениями. Несмотря на многолетние исследования этих явлений, многие особенности, существенно влияющие на различные аспекты человеческой деятельности, начиная от вопросов дальней радиосвязи и метеорологических прогнозов и заканчивая вопросами, связанными со здравоохранением. Кроме того, развитие наземных и спутниковых методов регистрации возмущений магнитосферного поля открывает новые возможности в изучении ранее недоступных характеристик поля. По этим причинам задачи данного исследования представляются вполне актуальными.

В главе 1 приведен обзор литературы, посвященной исследованиям геомагнитных возмущений различной длительности: как длиннопериодным, так и короткопериодным типам. Рассмотрены основные индексы геомагнитной активности, используемые в научных работах, изучающих физику магнитосферы Земли.

Во второй главе приведены основные источники данных, используемых в диссертационной работе, и методы их обработки. Следует отметить, что автор использует широкую сеть магнитометрических обсерваторий, как собственно Института солнечно-земной физики СО РАН, так и зарубежных цепочек станций. Кроме того, автор пользуется не только данными измерений возмущений магнитосферного поля, но и результатами оптических наблюдений ночного неба с целью выяснения связи явлений, протекающих в этих геофизических объектах. В этой главе также описываются основные, вполне современные, методы обработки данных, используемые для анализа динамики явлений, протекающих в ходе магнитосферных бурь и суббурь: различные типы вейвлет-преобразований и оригинальной, разработанной в ИСЗФ СО РАН, методика на основе техники инверсии магнитограмм.

Глава 3 посвящена анализу возбуждения всплесков широкополосных геомагнитных пульсаций импульсами динамического давления солнечного ветра во время внезапного начала и в ходе нескольких сильных магнитосферных бурь. В качестве первого примера сильной магнитосферной бури рассматривается событие 21 октября 2001 года. Особенностью этой

бури являлся факт синхронного повышения давления солнечного ветра, усиления геомагнитной активности и расширения овала полярных сияний и южной границы полярных токов на средние широты.

В Главе 4 проведен анализ динамики геомагнитных пульсаций, токовых систем и свечения ночного неба в ходе различных видов событий с повышенной геомагнитной активностью, описанных в главе 1, с использованием данных и методологии, описанных в главе 2.

В частности, проведен совместный анализ динамики одного из типов геомагнитных пульсаций, ионосферных и продольных токов, а также свечений на длинах волн 557.7 и 630.0 нм атомарного кислорода.

Представлены результаты разработанной автором модели токов и геомагнитного поля, позволяющая наглядно продемонстрировать динамику знаков вариаций компонент магнитного поля на цепочке станций и подтверждает необходимость существования высокоширотного дополнительного западного электроджета вблизи полярной шапки.

В главе 5 на основе анализа события 20 декабря 2015 года показана возможность использования регистрации уровня светимости ночного неба для отслеживания развития геомагнитного возмущения в условиях, когда повышение геомагнитной активности не регистрируется классическими методами. Выдвинуто предположение о источнике возникновения подобных локализованных геомагнитных событий, в качестве которого рассматривается высыпание частиц кольцевого тока. Их энергия позволяет объяснить основные характеристики этих событий.

Глава 6 посвящена рассмотрению синхронных, глобально наблюдаемых ультракороткопериодных импульсов. Эти импульсы регистрируются в широком долготном секторе) на сети станций, оборудованных индукционными датчиками с частотами дискретизации $f \geq 40$ Гц. Проанализированы отобранные события, а также получены статистические характеристики обнаруженных сигналов. Показана связь сигналов с развитием интересных геофизических явлений, так называемых «красных спрайтов» в Северном Китае.

Наконец, в **Заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы

Научная и практическая значимость работы заключается в том, что автором с привлечением большого массива наблюдательных данных, были получены доказательства возможности использования геомагнитных вариаций для оперативного мониторинга геомагнитных возмущений и отклика на атмосферные явления. Обмечу, что эти данные были получены с различных типов цепочек геомагнитных обсерваторий с помощью современной геофизической аппаратуры и обработаны с использованием актуальных математических методов, что подтверждает обоснованность и достоверность полученных результатов.

Установленные зависимости позволяют улучшить методы диагностики состояния магнитосферы, что важно для систем прогнозирования событий с

повышенным уровнем геомагнитной активности. Существенным достоинством работы считаю также установление автором связи оптических явлений в верхней атмосфере с магнитосферными возмущениями, а также новый подход к анализу связи последних с молниевыми разрядами.

Как всякое серьезное исследование, диссертационная работа не свободна от недостатков.

1. Название диссертационной работы «Динамика *ультранизкочастотных* колебаний...» противоречит названию и содержанию Главы 6, где исследуются «Синхронные, глобально наблюдаемые *ультракороткопериодные* импульсы».

2. В литературном обзоре представлено детальное обсуждение вопросов, рассматриваемых в диссертационной работе, однако удивляет обильное цитирование статей 60-70-х и даже 30-х годов XX века и лишь единичные упоминания работ 20-х годов нынешнего века.

3. Утверждение автора на с.5 «Современные магнитометры, имеющие достаточно высокую частоту дискретизации... позволяют изучать радиоволны в ... диапазоне крайне низких частот (КНЧ), ...» требует пояснений.

4. Более того, в гл. 3 автор проводит анализ геофизических событий, произошедших в 2001 и 2015 гг. когда использовались, по-видимому, не самые современные магнитометры.

5. Вызывает вопросы одна из задач работы, сформулированная как «Исследовать события с разными типами геомагнитных возмущений...»

6. На с. 79-80 обсуждается некая разработанная автором модель токов и геомагнитного поля. Однако ничего не говорится о структуре модели, исходных приближениях и др. Результаты модельных расчетов, представленные на рис.29b, демонстрируют существенное расхождение этих результатов и данных наблюдений. Комментарий автора: «Но нет возможности объяснить наблюдаемое изменение знака бухт дальше к северу...» нельзя признать удовлетворительным.

7. На рис.39 и 40 приведены примеры ультракоротких импульсов (цугов), практически синхронно зарегистрированных на станциях, разнесенных на большие расстояния, и предположительно, распространяющихся из одного источника. Характерными особенностями импульсов является, во-первых, отсутствие затухания и, во-вторых, отсутствие дисперсионного распыления этого волнового пакета в процессе распространения. Автору следовало

пояснить причину этих эффектов. Требуется пояснений также утверждение автора о распространении цугов со световой групповой скоростью

Данные замечания носят, в основном, характер рекомендаций и не умаляют научную ценность работы. Работа написана хорошим научным языком и легко читается. В целом, диссертация выполнена на высоком научном уровне, полученные результаты вполне соответствуют поставленным задачам, её содержание соответствует специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Основные полученные результаты опубликованы в ведущих научных журналах, в т.ч. первого квартала (Journal of Geophysical Research, Advances in Space Research).

Таким образом, диссертация Марчука Р.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены важные вопросы, позволяющие улучшить методы диагностики состояния магнитосферы, что важно для систем прогнозирования событий с повышенным уровнем геомагнитной активности. Работа соответствует всем критериям, установленным пп. 9-14 "Положения о присуждении учёных степеней", и её автор Марчук Р.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

Отзыв составил Паперный Виктор Львович,
адрес: 664003, Иркутск, К.Маркса,1; тел.+7(914)9333884; e-mail: paperny@math.isu.runnet.ru; место работы ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»; зав. кафедрой общей и космической физики; д.ф.-м.н., профессор.



В.Л. Паперный

Иркутск, ул. К.Маркса,1, (3952) 521-967, office@admin.isu.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет (ФГБОУ ВО ИГУ), 664003, Иркутск, К.Маркса,1; (3952) 521-900; e-mail: office@admin.isu.ru

