

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Тащилина Анатолия Васильевича «Формирование крупномасштабной структуры ионосферы в спокойных и возмущенных условиях», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа А.В.Тащилина посвящена **актуальной** проблеме математического моделирования крупномасштабной структуры ионосферы с учётом ионосферно-плазмосферного и ионосферно-магнитосферного взаимодействия. Автором впервые выделена и детально исследована роль процессов наполнения и опустошения силовых трубок геомагнитного поля в формировании широтных и магнитно-возмущённых вариаций электронной концентрации в области главного ионосферного максимума – F2-слоя. Автором разработана физико-математическая модель системы ионосфера – плазмосфера и глубоко изучены физические процессы, протекающие в этой системе.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и четырех приложений.

Первая глава является обзорной. В ней описаны результаты наземных и спутниковых наблюдений ионного состава и тепловой структуры ионосферы средних и высоких широт, а также плазмосферы, рассмотрены высотные и широтные вариации параметров тепловой плазмы и их изменения в зависимости от времени суток, сезона, солнечной активности и уровня геомагнитной возмущенности, описаны основные положения теории формирования ионосферы и результаты исследований процесса заполнения ионосферной плазмой геомагнитных силовых трубок, опустошенных в ходе развития геомагнитной бури. Найдено аналитическое решение задачи о диффузии электронно-ионного газа во внешней ионосфере и получены соотношения, описывающие временные вариации среднесуточного содержания электронов в плазмосферном резервуаре в процессе их наполнения в зависимости от размеров трубки. Из этих соотношений следует, что для заполнения геомагнитных силовых трубок с $L > 3$ требуется более двух недель, что превышает обычную длительность спокойных периодов восстановления между магнитными бурями (3-5 дней). Таким образом, в реальных условиях трубки с $L > 3$ оказываются слабо заполненными. В результате образуется широтный спад концентрации заряженных частиц (на геомагнитных широтах $\Lambda > 40^\circ$), отождествляемый автором с экваториальной стенкой главного ионосферного провала (ГИП) в слое F2 и с провалом в легких ионах (ПЛИ) на высотах внешней ионосферы. Замечание: следует отметить, что такое отождествление правомерно лишь в редких случаях полного отсутствия магнитосферной конвекции.

Во второй главе приведены основные уравнения, описывающие поведение замагниченной тепловой плазмы на высотах $h > 140$ км в

дипольной системе координат. Описаны начальные и граничные условия, а также численные методы интегрирования моделирующих уравнений (методы встречных потоковых прогонок и матричных прогонок).

Третья глава содержит описание пространственно-временной структуры среднеширотной ионосферы в спокойных геомагнитных условиях, полученное с помощью модельных расчётов. Представлены суточные, сезонные и солнечно-циклические вариации ионосферы, выполнен анализ модельных расчетов электронной концентрации, ионного состава и температуры для двух среднеширотных силовых трубок с $L=2$ и 3. Показано, что наибольшие дневные значения электронной концентрации в максимуме F2-слоя имеют место в равноденственный период в силу существования полугодовой компоненты в годовом ходе дневных значений электронной концентрации. Сравнение результатов расчетов с данными наблюдений показало, что разработанная модель системы ионосфера-плазмосфера правильно воспроизводит все основные вариации электронной концентрации, ионного состава и температуры в среднеширотной ионосфере.

Установлено, что связь магнитоспряженных ионосфер через плазмосферу наиболее сильно проявляется в поведении ночного максимума электронной концентрации Ne в зимней ионосфере.

В четвертой главе исследованы особенности взаимодействия ионосферы с вышележащими областями околоземного пространства на авроральных и полярных широтах ($L \geq 3$). Установлено, что наиболее типичным состоянием субавроральной ионосферы является состояние восстановления после геомагнитного возмущения. Временной масштаб процесса восстановления резко увеличивается с ростом геомагнитной широты L . В результате формируется регулярный спад электронной концентрации с ростом широты в субавроральном слое F2, особенно ярко выраженный для ночных зимних условий. Этот спад формирует экваториальную стенку главного ионосферного провала (ГИП). Основным механизмом формирования полярной стенки ГИП, по мнению автора, являются высыпания магнитосферных электронов.

По данной главе имеются следующие замечания:

1. С мнением автора о том, что основной причиной формирования полярной стенки ГИП являются высыпания магнитосферных электронов трудно согласиться, поскольку известен механизм формирования ГИП ионосферно-магнитосферной конвекцией даже в отсутствие высыпаний, имеющих обычно весьма нерегулярный характер.

2. Предложенный автором механизм образования полярной полости недостаточно обоснован, т.к. отсутствует детальное объяснение условий возникновения вертикальной составляющей скорости дрейфа величиной $\sim 20-40$ м/с в высокоширотной ионосфере и нет критического обсуждения других возможных механизмов образования полярной полости, таких, например, как действие полярного ветра.

В пятой главе представлены результаты модельного изучения процессов формирования и динамики крупномасштабных неоднородностей

ионосферы средних и высоких широт, обусловленных действием умеренных и сильных геомагнитных бурь. Показано, что использование техники инверсии магнитограмм при моделировании высокоширотной ионосферы увеличивает точность результатов моделирования на ~30 %.

Установлено, что долготное расширение ГИП во время геомагнитной бури связано с переносом плазмы низких концентраций из полуночного сектора на вечернюю сторону со скоростями ~700 м/с и на утреннюю сторону со скоростями ~1000–1200 м/с. Действие этого механизма во время сильных геомагнитных возмущений может привести к образованию провала как в ночной, так и в дневной ионосфере безотносительно к сезонным условиям.

Шестая глава посвящена изучению крупномасштабных неоднородностей ионосферы, возникающих в результате относительно быстрых, длящихся ~1–3 ч, воздействий естественного характера. Были рассмотрены три вида таких воздействий: во-первых, крупномасштабные (КМ) атмосферные возмущения (гравитационные волны), распространяющиеся от аврорального овала к низким широтам во время магнитных бурь, во-вторых, резкие локальные ослабления солнечного излучения в периоды затмений и, в-третьих, быстрые усиления ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучений во время солнечных вспышек.

Исследована возможность образования плазмосферных дактов в результате действия длительно ограниченного возмущения скорости меридионального ветра на высотах F2-слоя ионосферы. Выполнено моделирование поведения среднеширотной ионосферы под действием возмущения солнечного излучения во время солнечной вспышки, на основании которого дано объяснение отрицательных возмущений электронной концентрации, наблюдаемых на высотах внешней ионосферы во время солнечных вспышек.

Научная новизна диссертационной работы А.В. Тащилина заключается в том, что автор разработал физико-математическую модель системы ионосфера-плазмосфера Земли и на её основе последовательно и детально продемонстрировал огромную важность процессов наполнения ионосферной плазмой и последующего опустошения геомагнитных силовых трубок в формировании практически всех наблюдаемых вариаций параметров ионосферной плазмы на высотах F области, внешней ионосферы и плазмосферы Земли.

Основные результаты, определяющие новизну и значимость работы, сформулированы автором в следующих шести положениях:

1. Концепция формирования крупномасштабной структуры ионосферы, состоящая в том, что адекватное описание ионосферных неоднородностей должно базироваться на теории, которая, наряду с классическими процессами ионообразования, химических потерь и переноса, учитывает эффекты заполнения и опустошения геомагнитных силовых трубок тепловой ионосферной плазмой.

2. Трехмерная нестационарная модель ионосферы средних, авроральных и полярных широт, в которой учтены процессы взаимодействия с плазмосферой, между сопряженными областями, с нейтральной атмосферой и включено действие магнитосферных источников посредством высыпающихся энергичных электронов и электрического поля магнитосферной конвекции.

3. Теория заполнения геомагнитных силовых трубок тепловой плазмой и ее приложение к интерпретации наблюдаемых широтных изменений ионного состава и температур ионов и электронов в спокойных и возмущенных условиях.

4. Результаты физического анализа суточных, сезонных и циклических вариаций электронной концентрации и температур заряженных частиц в среднеширотной ионосфере в геомагнитно-спокойный период. Теория процесса взаимодействия сопряженных ионосфер через плазмосферу.

5. Новые механизмы формирования крупномасштабных структур средне- и высокоширотной ионосферы, включая главный ионосферный провал, провал легких ионов, полярную дыру и плазмосферные волноводы.

6. Основанная на модельных расчетах физическая интерпретация наблюдаемых вариаций параметров ионосферы во время магнитных бурь и кратковременных возмущений солнечного излучения в периоды затмений и солнечных вспышек.

Достоверность полученных результатов определяется качественным и количественным согласием результатов расчетов с данными наблюдений со спутников и наземными методами, выполненными при различных геофизических условиях, а также обоснованностью математических методов, использованных при разработке численной модели ионосферы и анализе результатов моделирования. Сделанные замечания не снижают высокой в целом оценки диссертации А.В.Тащилина.

Научная и практическая значимость работы. Полученные в диссертации результаты применимы при разработке математических моделей околоземного космического пространства. Они могут быть использованы при решении прикладных задач радиосвязи, космической навигации и в целях прогноза состояния ионосферы.

Разработанная численная модель ионосферно-плазмосферного взаимодействия может быть использована в институтах РАН, исследующих солнечно-земные связи, таких как ИЗМИРАН, ИКИ, ИКФИА, ПГИ, а также в интересах Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России (Росгидромет).

А.В. Тащилин совместно с И.А. Кринбергом явились пионерами исследований ионосферно-плазмосферного взаимодействия, авторами широко известной монографии «Ионосфера и плазмосфера», на которой воспитывались целые поколения геофизиков в области физики околоземной плазмы.

Автореферат диссертации полностью отражает её содержание. Все результаты диссертации прошли апробацию на представительных

национальных и международных конференциях и симпозиумах. Основные выводы и результаты, составившие положения, вынесенные на защиту, изложены в научных публикациях, включая 25 публикаций в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Заключение. Диссертационная работа А.В. Тащилина «Формирование крупномасштабной структуры ионосферы в спокойных и возмущенных условиях» является законченным научным исследованием, в котором решена крупная научная проблема физики околоземной среды – формирование крупномасштабной структуры ионосферы средних и высоких широт, имеющая важное научное и практическое значение. Она удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней от 24.09.2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а сам автор, безусловно, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник кафедры физики
Мурманского Государственного университета,
доктор физ.-мат. наук,
профессор



А.А. Намгаладзе

183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО МГТУ
Телефон: (8152) 45-71-25, E-mail: namgaladzeaa@mstu.edu.ru

5 мая 2014 г.

Подпись А.А. Намгаладзе заверяю.
Учёный секретарь МГТУ



Т.В. Пронина