

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гололобова Артема Юрьевича «**Математическое моделирование тепловых эффектов в высокоширотной ионосфере**»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности:

05.13.18 — математическое моделирование численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Гололобова А.Ю. посвящена разработке математической модели высокоширотной ионосферы с учетом теплового режима и исследованию с ее помощью тепловых эффектов.

Выбранное направление исследований в диссертации безусловно актуально. Процессы, протекающие в ионосфере Земли, находящейся на высотах примерно от 60 до 1000 км и представляющей собой смесь частично-ионизированных газов, оказывают существенное влияние на распространение радиоволн и навигацию космических аппаратов. Наибольшей изменчивостью ионосфера обладает в области высоких широт, что главным образом обусловлено влиянием магнитосферных процессов. Воздействие этих процессов приводит к нагреву ионосферного газа и формированию различных неоднородностей в ее тепловой структуре. Вызванные этим горизонтальные и вертикальные движения нагретого газа, а также замедление или ускорение скоростей протекания различных физико-химических процессов могут приводить к изменению распределения концентрации заряженных частиц. Ввиду сложности изучаемого объекта, подобные исследования должны проводиться при помощи математического моделирования. Поэтому создание модели высокоширотной ионосферы с учетом теплового режима, является актуальной задачей и представляет интерес не только с научной, но и с практической точки зрения.

Важным достоинством работы Гололобова А.Ю. является то, что разработанная модель высокоширотной ионосферы с учетом теплового режима является дальнейшим развитием моделей ионосферы в подходе Эйлера. В диссертации на разработанной модели проведены исследования, касающиеся особенностей и причин формирования различных неоднородностей в тепловом режиме высокоширотной ионосферы. Разработанная модель и объем проведенных автором исследований свидетельствует о высокой квалификации диссертанта.

Наиболее ценными результатами, полученными в диссертации, являются:

- Построена модель высокоширотной ионосферы в переменных Эйлера с учетом теплового режима позволяющая описывать концентрацию ионов O^+ , температуру

электронов и ионов в области высот 120-500 км, $40^{\circ} \div 90^{\circ}$ с.ш., $0^{\circ} \div 360^{\circ}$ долготы;

- Разработан алгоритм численного интегрирования системы моделирующих уравнений, который реализован в виде комплекса программ для ЭВМ;
- Исследованы особенности теплового режима. Сформулированы механизмы формирования областей повышенных температур электронов. Выявлена долготная особенность в проявлении областей повышенных температур электронов и ионов в зимний период;
- По модельным и экспериментальным данным показана возможность формирования «горячей» кольцевой зоны в области главного ионосферного провала в интервале 04 + 07 UT.

Диссертация написана ясным языком и хорошо иллюстрирована. Полученные в диссертации результаты являются новыми. Достоверность результатов, полученных в диссертации, подтверждается качественным сравнением с результатами экспериментов и теоретических исследований других авторов.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы как в российских, так и в зарубежных научных изданиях. Результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях.

В целом на основании автореферата, опубликованных работ автора и апробаций работы на различных научных конференциях считаю, что диссертационная работа Гололобова Артем Юрьевича «Математическое моделирование тепловых эффектов в высокоширотной ионосфере» отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, ее автор Гололобова А.Ю. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — математическое моделирование численные методы и комплексы программ.

И.о. зав. кафедрой Космической физики и экологии Радиофизического факультета
Национального исследовательского
Томского государственного университета,
кандидат физ.-мат. наук, доцент



Колесник Сергей Анатольевич

*Подпись заверено
с. д.м.ч. 1999*

С.В. Машова

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гололобова А.Ю.

«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ»,

Представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

В диссертационной работе Гололобова А.Ю. решаются проблемы разработки и реализации нестационарной трехмерной математической модели высокоширотной ионосферы. Изучение и понимание процессов протекающих в околоземной космической плазме является важной научной задачей. Пространственное распределение заряженных частиц в ионосфере существенно влияет на космическую навигацию и дальнюю радиосвязь, что обуславливает практическую значимость работы. В связи со сложностью структуры изучаемого объекта инструментом для исследования выступает метод математического моделирования. В моделировании ионосферы значительную трудность представляют собой задачи моделирования высокоширотной области. Это связано со сложностью протекающих в этой области процессов, вызванных влиянием магнитосферы, и необходимостью учета их трехмерности. Особый интерес представляет собой исследование тепловой структуры высокоширотной ионосферы, которая, в связи с недостатком экспериментальных данных, остается менее изученной по сравнению с ее крупномасштабной структурой. В диссертационной работе сделан важный шаг в этом направлении.

На основе математической модели в диссертационной работе разработан алгоритм для решения системы нестационарных трехмерных уравнений гидродинамики в переменных Эйлера, который реализован в виде комплекса программ. На разработанной модели проведен ряд численных экспериментов по исследованию тепловых эффектов в распределении температуры заряженных частиц, таких как долготные особенности теплового режима высокоширотной ионосферы, повышение температуры электронов и ионов в утреннем и вечернем секторах и формирование «горячей» кольцевой зоны в субавроральной ионосфере. Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением с экспериментальными данными и результатами численных расчетов, полученными другими авторами.

В работе Гололобова А.Ю. сделан существенный вклад в изучение теплового режима высокоширотной ионосферы численными методами. Представленные результаты являются новыми. Результаты диссертации докладывались на Всероссийских и Международных научных конференциях и опубликованы в достаточном количестве в Российских и Международных журналах (всего 19 наименований, из них 7 – из перечня ВАК).

Считаю, что диссертационная работа Артема Юрьевича Гололобова «Математическое моделирование тепловых эффектов в высокоширотной ионосфере» соответствует специальности 05.13.18 (Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ) и удовлетворяет

требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, выдвигаемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Кандидат физико-математических наук по специальности
01.02.05,

ученый секретарь Института физико-технических
проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН
зав. отделом геоинформатики ИФТПС СО РАН,



Капитонова Т.А.

« 6 » октября 2017 г.

Адрес: 677000 Республика Саха (Якутия),

г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

Телефон: 8 (4112) 39-06-05

Эл. почта: kapitonova@iptpn.ysn.ru

Подпись Капитоновой Т.А. заверяю:
главный специалист по кадрам





Данилова Н.С.

06.10.2017 г.

Отзыв

на автореферат диссертации Гололобова Артема Юрьевича «Математическое моделирование тепловых эффектов в высокоширотной ионосфере», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа Гололобова А. Ю. посвящена *актуальной проблеме* - исследованию теплового режима высокоширотной ионосферы при помощи метода математического моделирования. Актуальность этой проблемы обусловлена тем, что результаты работы могут быть использованы в области прогнозирования космической погоды. Такое прогнозирование в последние годы становится всё более необходимым, поскольку околоземное космическое пространство постепенно превращается в арену научной и хозяйственной деятельности людей. Вокруг Земли вращается большое количество космических аппаратов, в том числе и пилотируемых людьми, орбиты которых лежат на высотах ионосферы. Ионосфера, окружающая земной шар и лежащая на высотах примерно от 50 до 1000 км, представляет собой смесь частично ионизованных газов (плазму) и является не только средой, в которой могут двигаться космические аппараты, но еще является именно той плазменной оболочкой нашей планеты, благодаря которой возможна радиосвязь между объектами на поверхности Земли, отстоящими друг от друга на расстояния, превышающие расстояние прямой видимости антенны. На прохождение радиоволн существенно влияет изменяющееся во времени распределение концентрации заряженных частиц в земной ионосфере, на которое несомненно влияет ее тепловой режим. Поэтому исследование физических процессов, влияющих на состояние ионосферы, представляет интерес не только с научной, но и с практической точки зрения.

Наиболее ценными результатами, полученными в диссертации, представляются следующие:

1) разработана нестационарная трехмерная численная физико-математическая модель высокоширотной ионосферы в переменных Эйлера с учетом теплового режима заряженных частиц и несовпадения географического и геомагнитного полюсов;

2) разработан алгоритм решения системы уравнений, состоящей из трех нестационарных трехмерных дифференциальных уравнений гидродинамики – уравнения непрерывности для доминирующих ионов, уравнений теплопроводности для электронов и ионов;

3) при помощи расчетов по разработанной численной модели исследованы особенности теплового режима высокоширотной ионосферы. Показано, что высокоширотная ионосфера характеризуется наличием областей с повышенными температурами электронов и ионов в утреннем и вечернем секторах. Установлены физические механизмы формирования областей повышенной температуры электронов. Выявлена долготная особенность в проявлении областей с повышенными температурами электронов и ионов в зимний период вследствие учета несовпадения географического и геомагнитного поясов.

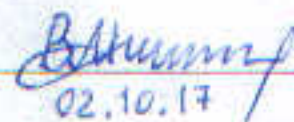
Строгость постановки задачи, а также корректность применения методов численного моделирования свидетельствуют об *обоснованности* полученных в диссертационной работе результатов.

Полученные в диссертации результаты являются *новыми*, их качественное совпадение с экспериментальными данными свидетельствует в пользу их *достоверности*.

В то же время в автореферате имеются и недостатки, в частности, грамматические неточности.

В целом на основании автореферата и опубликованных работ автора, несмотря на отмеченные недостатки, считаю, что диссертация Гололобова А.Ю. *соответствует* критериям, установленным Положением «О порядке присуждения учёных степеней», а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составлен зав. сектором вычислительного эксперимента ФГБНУ «Полярный геофизический институт» (ФГБНУ ПГИ) доктором физ.-мат. наук (01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы), профессором Мингалёвым Виктором Степановичем.

 Мингалёв В.С.
02.10.17

184209, г. Апатиты, Мурманская обл., ул. Академгородок, д. 26 а,
телефон (815-55)79-608, факс 7-43-39, e-mail: mingalev@pgia.ru

Подпись Мингалёва В.С. удостоверяю, Ученый секретарь ФГБНУ
«Полярный геофизический институт» (ФГБНУ ПГИ),

к.ф.-м.н.





184209, г. Апатиты, Мурманская обл., ул. Академгородок, д. 26 а,
телефон (815-55)79-590, факс 7-43-39, e-mail: orlov@pgia.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гололобова Артема Юрьевича
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ В
ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ», представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ.

Ионосфера Земли играет ключевую роль в распространении коротковолновых радиосигналов и оказывает существенное влияние на космическую радиосвязь, радиолокацию, навигацию и работу навигационных спутниковых систем позиционирования ГЛОНАСС/GPS. Поэтому необходимо предвидеть те, иногда катастрофические, изменения параметров ионосферы, которые приводят к нарушению, а иногда и к полному исчезновению радиосвязи. Отсюда следует, что исследование поведения ионосферы представляет собой актуальную задачу. Одним из активно развивающихся направлений исследования ионосферы является математическое моделирование, основанное на решении гидродинамических уравнений непрерывности, движения и теплового баланса. Вследствие ограниченного объема данных наблюдений о распределении и поведении ионных и электронных температур математические модели представляют собой основной инструмент для изучения и понимания тепловых процессов в верхней атмосфере. Следует отметить, что наименее изученным является вопрос о тепловом балансе высокоширотной ионосферы. Таким образом, представленная диссертационная работа является актуальной и значимой.

Диссертация Гололобова А.Ю. посвящена исследованию тепловых эффектов в высокоширотной ионосфере для различных гелио-геофизических условий. Основой данных исследований стала развитая диссертантом нестационарная трехмерная модель высокоширотной ионосферы с учетом теплового режима заряженных частиц и несовпадения географического и геомагнитного полюсов.

В диссертации **Гололобова А.Ю.** доработана модель высокоширотной ионосферы и получены **новые интересные и важные результаты**, составляющие основные положения, выносимые на защиту:

1. Модификация трехмерной нестационарной модели высокоширотной ионосферы, позволяющая описывать крупномасштабную структуру и пространственно-временное распределение температуры электронов и ионов;
2. Алгоритм численного решения системы моделирующих уравнений и комплекс программ для численной реализации модели;

3. Результаты моделирования указали на повышение температуры электронов и ионов в утреннем и вечернем секторах, долготные особенности теплового режима высокоширотной ионосферы, формирование «горячей» кольцевой зоны в субавроральной ионосфере.

Полученные автором результаты достаточно широко представлены в российской печати и известны научной общественности благодаря активному участию автора в многочисленных всероссийских и международных конференциях.

На основании всего изложенного полагаю, что диссертационная работа Гололобова Артема Юрьевича «Математическое моделирование тепловых эффектов в высокоширотной ионосфере» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Старший научный сотрудник КФ ИЗМИРАН,
кандидат физ.-мат. наук по специальности
05.13.18 - математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ
Клименко Максим Владимирович
Калининградский Филиал ИЗМИРАН
236017, пр. Победы 41, Калининград
Тел. 8(4012)215606
email: office@wdizmiran.ru

01.10.2017

Клименко

Подпись Клименко М.В. заверяю
Ученый секретарь КФ ИЗМИРАН,
доктор физ.-мат. наук,



М.В. Карпов