

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Зернова Николая Николаевича на диссертацию Клименко Максима Владимировича на тему «Морфология и интерпретация пространственно-временных вариаций ионосферных параметров в спокойных условиях и во время возмущений различной природы», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Исследование структуры и построение моделей околоземной среды распространения электромагнитных полей (прежде всего, ионосферы, оказывающей существенное влияние на космическую радиосвязь, радиолокацию, работу навигационных спутниковых систем позиционирования и т.п.) для различных геофизических условий, несмотря на долгую историю, является актуальной проблемой современной науки. Эта проблема продолжает привлекать интерес и внимание как специалистов в области непосредственно физики ионосферы, так и ученых, работающих в области распространения радиоволн в околоземном пространстве. Проблема представляется особенно актуальной для условий сильных возмущений среды распространения.

Очевидно, что качество и надежность работы многочисленных разрабатываемых радиосистем критически зависит от адекватности моделей, заложенных при проектировании соответствующих систем. В свою очередь модели должны учитывать влияние таких факторов, как солнечное излучение, эффекты магнитосферы и нижележащей нейтральной атмосферы. Следует отметить, что до недавнего времени в России отсутствовали численные модели всей атмосферы для различных солнечных и геомагнитных условий. В свете сказанного не вызывает сомнений актуальность представленной к защите работы.

Основная цель и содержание представленной работы сформулированы автором как «исследование методами математического моделирования с последующей интерпретацией пространственно-временных особенностей распределения электронной концентрации в F-области и внешней ионосфере Земли в спокойных условиях и в периоды различных явлений космической погоды и драматических вариаций параметров средней атмосферы». Здесь следует согласиться с автором в том, «что, несмотря на широкое развитие математического моделирования ионосферы, до недавнего времени в России отсутствовали глобальные численные модели всей атмосферы для различных солнечных и геомагнитных условий»

33-06-1309 от 24.11.2022

Давая общую характеристику, диссертационная работа Клименко М.В. посвящена совершенствованию имеющихся, созданию и тестированию новых моделей ионосферы и всей атмосферы и их применению в решении задач распространения радиоволн в околоземном пространстве. К числу основных научных результатов, полученных в работе, следует отнести те из них, которые в первую очередь и определяют научную новизну и значимость работы. Это:

1) Разработана модель атмосферы, охватывающая все высоты от поверхности Земли до ближнего космоса при непосредственном участии соискателя. Модель позволяет изучать кратковременную изменчивость ионосферы, вызванную возмущениями нижней атмосферы. С использованием этой модели было показано, что: суточные и долготные вариации ионосферных параметров в низких широтах являются следствием атмосферно-ионосферного взаимодействия; изменения ионосферной проводимости и нейтрального ветра в нижней термосфере играют ключевую роль в формировании отклика низкоширотной ионосферы на внезапное стратосферное потепление; солнечное протонное событие и высыпания протонов из магнитосферы вызывают отклик полного электронного содержания (ПЭС), в основном, в виде положительных возмущений в высокоширотной и низкоширотной ионосфере.

2) На основе модифицированной ранее Клименко М.В. модели ГСМ ТИП показано, что: наблюдающийся в ночное время F3 слой вблизи экватора формируется неоднородным по высоте электромагнитным дрейфом плазмы, который может являться механизмом формирования дополнительных слоев на экваторе в любое время. В этих условиях вклад плазмосферы в ПЭС может превышать вклад ионосферы, особенно ночью в эпоху минимума солнечной активности.

3) Автором были разработаны постановки задач моделирования ионосферных эффектов геомагнитных бурь и внезапных стратосферных потеплений. На основе результатов моделирования выявлено, что: нейтральный состав термосферы и термосферный ветер оказывают существенное влияние на структуру крупномасштабных особенностей высокоширотной ионосферы (главный ионосферный провал, язык ионизации) во время геомагнитных бурь; обнаружено, а затем на основе данных наблюдений доказано и дано физическое объяснение формированию дневных положительных ионосферных эффектов последствия геомагнитных бурь. Также дана интерпретация отрицательных ионосферных эффектов на средних и авроральных широтах во время внезапных стратосферных потеплений за счет изменения нейтрального состава верхней атмосферы.

4) Под руководством Клименко М.В. разработаны и реализованы алгоритмы методов «поперечных смещений» и упругой нити для расчета радиотрасс волн КВ-диапазона на основе вариационного принципа Ферма для функционала оптической длины радиолуча. При этом было показано, что метод глобальной оптимизации, основанный на последовательном поиске экстремумов различного типа (минимумы, седловые точки первого порядка) функционала фазового пути радиолуча позволяет эффективно и оперативно находить семейство решений в неоднородных средах в виде односкачковых трасс (верхние и нижние радиолучи).

Полученные Клименко М.В. в разные годы научные результаты широко отражены в многочисленных (40) научных публикациях, где он является соавтором. Из них в 14 публикациях он является первым автором. Отдельным списком из 37 работ представлены публикации, в которых непосредственно излагаются результаты, представленные в диссертации. Эти результаты также докладывались и обсуждались на многочисленных отечественных и международных научных конференциях.

Важное практическое значение диссертационной работы Клименко М.В. состоит в том, что созданные модели могут быть использованы для улучшения оперативного прогноза условий распространения радиоволн и для расчета параметров Глобальной Электрической Цепи в авроральной ионосфере.

В качестве замечания, которое скорее носит характер пожелания, уместно указать, что в дополнение к соответствующим семействам лучевых траекторий, представленным в работе, для интерпретации эффектов распространения высокочастотных полей в ионосферном отражательном канале, полезно было бы также представить описание тех же каналов в терминах ионограмм наклонного зондирования для выбранных моментов времени, а также в координатах время задержки и угол прихода как функции времени для заданных дней. Идеально было бы также провести последующее сравнение с соответствующими экспериментальными данными. Наконец, полезно было бы дать некоторые комментарии по поглощению на тех же трассах.

Как уже упоминалось, сказанное в предыдущем абзаце, в основном, имеет смысл пожеланий по поводу дальнейшего развития обсуждаемого направления научных исследований на будущее и ни в коей мере не снижает общей высокой оценки диссертационной работы.

