

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Мингалева Игоря Викторовича 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.

Диссертация М.В. Клименко посвящена численному моделированию динамики и состава верхней атмосферы Земли, моделированию процессов атмосферно-ионосферного и магнитосферно-ионосферного взаимодействия. В области численного моделирования динамических процессов в науках о Земле, атмосфере и климате, к которой относится данная диссертация, за последние годы появились новые возможности, связанные с быстрым ростом вычислительной производительности компьютеров и разработкой новых алгоритмов и численных методов.

В области физики атмосферы и ионосферы Земли быстро увеличивается количество и качество данных наблюдений, полученных спутниковыми и наземными оптическими и радиофизическими инструментами. Для интерпретации этих данных и дальнейшего прогнозирования необходимо использовать модели всей атмосферы при максимально возможном уровне самосогласованности в описании ее различных слоев. Созданные и описанные в диссертации модели, сценарии и постановки задач предназначены для решения проблем учета магнитосферно-ионосферного и атмосферно-ионосферного взаимодействия при интерпретации пространственно-временных вариаций ионосферных параметров в спокойных условиях и во время возмущений различной природы. В диссертационной работе Клименко М.В. рассматриваются: фундаментальные и прикладные проблемы, возникающие при решении задачи прогноза состояния ионосферы, а также рассматриваются основные физические процессы, учет которых необходим для самосогласованного моделирования системы "магнитосфера-ионосфера-атмосфера".

В диссертации представлен подробный обзор существующих моделей средней и верхней атмосферы, обосновывается необходимость созданной модели всей атмосферы и отмечаются перспективы ее использования. Диссертантом представлены несколько вариантов решения прикладной задачи по определению возможности радиосвязи на коротких волнах между двумя точками на поверхности Земли и/или в околоземном пространстве для определения максимально применимых частот рабочих каналов этой связи. Также в диссертации приведен ценный обзор существующих моделей ионосферы и разрабатываемых различными научными группами более общих глобальных моделей системы атмосфера-ионосфера и системы атмосфера-ионосфера-магнитосфера.

В представленном списке основных научных результатов, содержащихся в диссертации, на мой взгляд, наиболее важными являются следующие:

- обнаружено, а затем, на основе данных наблюдений подтверждено, и физически обосновано формирование дневных положительных ионосферных эффектов последствия геомагнитных бурь;

- впервые обнаружен отклик полного электронного содержания ПЭС на солнечные протонные события (в основном в виде положительных возмущений ПЭС в высокоширотной и низкоширотной ионосфере) и дано его объяснение.
- выявлено, что нейтральный состав термосферы и термосферный ветер оказывают существенное влияние на структуру крупномасштабных особенностей высокоширотной ионосферы (главный ионосферный провал, язык ионизации) в спокойных условиях и во время геомагнитных бурь и внезапных стратосферных потеплений;
- показано, что наблюдающийся в ночное время F3 слой вблизи экватора формируется неоднородным по высоте электромагнитным дрейфом плазмы;
- доказана общая природа ионосферных аномалий моря Уэдделла и Якутской аномалии, представляющих собой превышение летних ночных значений критической частоты F2 слоя ионосферы, f_oF2 , над дневными значениями (при этом основным механизмом формирования этих аномалий является вертикальный перенос плазмы вдоль геомагнитного поля под действием термосферного ветра);
- показано, что суточные и долготные вариации ионосферных параметров в низких широтах являются следствием атмосферно-ионосферного взаимодействия;
- выявлено, что изменения ионосферной проводимости и нейтрального ветра в нижней термосфере играют ключевую роль в формировании отклика низкоширотной ионосферы на внезапное стратосферное потепление.

Важно отметить, что полученные научные результаты основывались на разработках диссертанта в области модельного описания среды и условий распространения радиоволн.

Диссертант продемонстрировал глубокое понимание очень сложной физической системы атмосфера-ионосфера-магнитосфера и протекающих в ней физических процессов, а также ценную способность структурировать огромный объем разнообразной информации и представлять эту информацию в форме ясных вложенных друг в друга логических схем, на основе которых можно как разрабатывать блоки моделей, так и проводить системный анализ данных измерений.

В целом затронутые в диссертации задачи глобального анализа сложных процессов взаимодействия атмосферы с ионосферой и ионосферы с магнитосферой решены на хорошем уровне. Очень большая широта охвата научных проблем в диссертации и большое разнообразие рассмотренных физических процессов порождает замечание, которое скорее является неизбежным продолжением достоинств работы, поскольку трудно «объять необъятное». Автор в своих обзорах в основном сосредоточился на «физической части» моделей, но слабо затронул их вычислительную часть, а также развитие численных методов и новых методик моделирования, и перспективы их применения в моделях. Для эффективного применения модели скорость расчетов также является важной характеристикой.

Несмотря на сделанное замечание, диссертация Клименко М.В. имеет практическую и фундаментальную значимость, которая заключается в том, что созданные модели могут быть использованы для улучшения оперативного прогноза условий распространения радиоволн, в задачах радиолокации и для интерпретации данных мониторинга состояния верхней атмосферы. В частности, из диссертационной работы со всей очевидностью следует, что Клименко М.В. является разработчиком новых блоков и активным пользователем Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и

Протоносферы. Кроме того, Клименко М.В. участвовал: в разработке и тестировании: эмпирических моделей, построенных на основе данных спутниковых наблюдений; методов адаптации эмпирических моделей ионосферы по данным измерений наклонного полного электронного содержания; модели всей атмосферы, охватывающей высоты от поверхности Земли до ближнего космоса; алгоритмов для расчета радиотрасс волн КВ-диапазона на основе вариационного принципа Ферма. Полученные автором результаты неоднократно докладывались и обсуждались на международных и российских научных конференциях, опубликованы в научных журналах с высоким рейтингом и хорошо известны научной общественности. Результаты диссертации являются очень важным и ценным вкладом для дальнейшего развития и совершенствования отечественных глобальных моделей атмосферы, ионосферы и магнитосферы, как эмпирических, так и численных с разным последовательно возрастающим уровнем самосогласованности.

Диссертация Клименко Максима Владимировича на тему: «Морфология и интерпретация пространственно-временных вариаций ионосферных параметров в спокойных условиях и во время возмущений различной природы» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Клименко Максим Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физ.-мат. наук,

Исполняющий обязанности директора
Полярного геофизического института

Мингалев И.В.

28 ноября 2022 г.

Подпись И.В. Мингалева заверяю.

Ученый секретарь ПГИ

Попова Т.А.

28 ноября 2022 г.

