

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета 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 специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

В диссертационной работе на основе спутниковых и наземных измерений ионосферных параметров и численного математического моделирования изучаются пространственные и временные изменения электронной концентрации в верхней ионосфере Земли (F-области и внешней ионосфере) в спокойных условиях, а также их вариации обусловленные как возмущениями космической погоды, так и драматическими изменениями в средней атмосфере.

Поскольку изменчивая ионосфера Земли влияет на работу систем связи, загоризонтной радиолокации и глобальных навигационных систем, а существующие эмпирические и численные модели ионосферы, используемые при анализе распространения радиоволн, недостаточно точно описывают среду, особенно в периоды различных магнитосферных (геомагнитные бури и суббури) и атмосферных возмущений, развитие численных моделей и исследования изменений ионосферы во время геомагнитных и атмосферных возмущений представляют **актуальную научную и прикладную задачу**.

В ряду существенных **новых результатов** отметим:

- С участием автора развиты численные глобальные модели верхней атмосферы GCM ТИП, а в последнее десятилетие и модель всей атмосферы (EAGLE), которые позволяют изучать глобальные изменения, в том числе, исследовать взаимодействие верхней ионосферы и нижней атмосферы.

- С помощью численных моделей уточнены основные закономерности отклика системы термосфера-ионосфера на геомагнитные бури, внезапные стратосферные потепления, вторжения энергичных солнечных протонов.

- Выявлен и объяснен дневной положительный ионосферный эффект последствия геомагнитной бури.

-Для авроральных и средних широт установлено, что уменьшение отношения концентраций  $O/N_2$  вследствие нагрева термосферы является главной причиной отрицательных ионосферных возмущений в периоды внезапных стратосферных потеплений, тогда как на низких широтах отклик верхней ионосферы формируют изменения зонального электрического поля (т.е. вертикальные дрейфы плазмы).

**Практическое значение** выполненной работы состоит в том, что в ней (1) получен ряд эмпирических моделей, описывающих особенности распределения электронной концентрации F-области ионосферы, которые использованы для задач распространения радиоволн, а также (2) развита глобальная численная модель позволяющая исследовать глобальные изменения ионосферы для широкого круга воздействий.

Несмотря на несомненные достоинства работы, можно сделать ряд замечаний по опубликованному тексту доклада.

1). На мой взгляд, использованная форма защиты докторских диссертаций (доклад вместо классической диссертации, при отсутствии предваряющих докладов по диссертации в принимающей организации) не является оптимальной для подобных работ, отличающихся разноплановостью явлений, разнообразием методов исследования и применением больших глобальных численных моделей (которые всегда являются продуктом работы большого коллектива, что требует уточнения личного вклада диссертанта). Результаты таких работ сложно упаковать и организовать в рамках короткого доклада. Помимо того, на мой взгляд, представленный текст носит следы спешки. В частности, неудачно сформулированы положения выносимые на защиту, которые во многих случаях описывают предмет проведенных исследований но не представляют конкретные новые результаты полученные автором.

2). В ряду неясных для меня моментов упомяну положение (5) о том, что «Численные эксперименты ... позволили выявить, интерпретировать и оценить роль ... в формировании глобального ионосферного отклика на геомагнитные бури... эффектов солнечных протонных событий, протонных высыпаний из хвоста магнитосферы и квазизахваченных электронов из радиационных поясов». Если упоминание солнечных протонов СКЛ понятно, то упоминание двух других явлений озадачивает, поскольку квазизахваченные электроны РП не достигают ионосферы (по смыслу термина, т.е. здесь явно опечатка), а упоминание протонных высыпаний из плазменного слоя магнитосферы является непонятным из физических соображений поскольку их потоки энергии обычно на порядок меньше потоков энергии высыпавшихся в ионосферу авроральных электронов. О каких энергиях здесь идет речь и какими источниками высыпаний пользовались авторы мне прояснить не удалось, поскольку статья недоступна, а в тексте доклада достаточной информации нет.

3) Создается впечатление, что исследование эффектов суббурь затрагивались лишь в одной работе [A25], касалось лишь некоторых частных аспектов, является лишь первым шагом исследования этой многообразной проблемы, и вряд ли заслуживает упоминания в ряду основных результатов.

Сделанные замечания не умаляют значения и не снижают общей хорошей оценки работы. В целом в рецензируемом диссертационном докладе подведены итоги выполненной автором большой и разнообразной работы, которая существенно расширяет наши исследовательские возможности и представления о структуре верхней ионосферы и ее возмущениях под воздействием сверху (космическая погода) и снизу (возмущения средней атмосферы). Автор является одним из лидеров активно работающего и



динамично развивающегося научного коллектива, работы которого заметны на российском и международном уровне.

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 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Клименко Максим Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук, профессор,  
профессор кафедры физики Земли Физического факультета СПбГУ

Сергеев Виктор Андреевич

28.11.2022



28.11.2022