

ОТЗЫВ

на диссертацию Перцева Николая Николаевича «Регулярная и нерегулярная изменчивость температуры и характеристик серебристых облаков в области среднеширотной мезопаузы», представленной на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29

– физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа Перцева Николая Николаевича посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям особенностей температурного и динамического режимов области мезопаузы, связанных со сложным характером взаимодействия физико-химических процессов, возникающих при воздействии на атмосферу различных геофизических факторов, как естественного, так и антропогенного происхождения.

Несмотря на довольно долгую историю этих исследований, полного понимания происходящих в области мезопаузы процессов до сих пор нет. Практическая значимость исследований этой области определяется многими задачами, среди которых прогнозирование траекторий и дисперсии ракетных выбросов, разработка схем устойчивой радиосвязи в КВ диапазоне и др. Изучение этой области важно также для понимания и контроля разнообразных физических процессов, происходящих при усилениях солнечной активности и многолетних изменениях в земной климатической системе. В связи с этим тема докторской диссертации Перцева Н.Н., посвященной исследованиям теплового и динамического режимов области мезопаузы, подверженных значительным воздействиям со стороны других слоев атмосферы, а также космическим влияниям, несомненно, является весьма важной и актуальной.

Для достижения поставленных целей в диссертации были решены следующие взаимосвязанные задачи:

- Создание и апробация международной сети автоматических фотокамер для регистрации серебристых облаков, отладка и координация методики автоматической фотосъемки, анализ ее результатов.
- Разработка и проверка численной модели для расчета распространения и диссипации атмосферных гравитационных волн (АГВ) с учетом фоновых вертикальных профилей температуры и скорости ветра и молекулярной диссипации.
- Проведение спектрофотометрических измерений гидроксильного излучения в области мезопаузы и систематический фотомониторинг серебристых облаков в течение интервала времени, превышающего 11-летний солнечный цикл.
- Отбор и анализ результатов измерений температуры и интенсивности инфракрасных эмиссий в области мезопаузы во время зимних стратосферных потеплений. Получение усредненной реакции температуры и параметров эмиссий в период стратосферных потеплений методом наложенных эпох.
- Изучение связи между изменениями характеристик области мезопаузы и индексами

солнечной активности в виде линейно-регрессионных зависимостей. Выявление сезонного хода и оценка статистической достоверности этих зависимостей.

- Построение и исследование многолетних рядов среднесезонных характеристик серебристых облаков по данным наземных измерений. Проверка гипотезы о постепенном увеличении количества появлений серебристых облаков.

Таким образом, в диссертации рассматривается широкий круг актуальных задач по физике атмосферы, решение которых позволяет составить более ясное и глубокое представление о процессах, происходящих на высотах мезопаузы и получить новые значительные результаты и существенные выводы, составившие основное содержание диссертации.

Диссертационная работа состоит из Введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и обозначений, приложения и списка ссылок. Она изложена на 273 страницах, включая список литературы, который содержит 435 ссылок на русском, английском и других языках. Работа содержит 97 рисунков.

Во Введении дается общая характеристика работы, а также содержатся теоретические положения, выносимые на защиту и разумные рекомендации по их использованию.

Главу 1 можно рассматривать как вводную. В ней приводятся общие характеристики области мезопаузы, ее отличительные особенности по сравнению с другими слоями атмосферы, развивается тезис о возможно большей чувствительности этого слоя атмосферы по отношению к долговременным изменениям в земной климатической системе.

Далее дается обзор многочисленных, объединенных в родственные группы, методов измерений, на которых базируется система современных знаний об области мезопаузы. Излагаются физические принципы измерений и их технические возможности. Наиболее подробно описываются методы, в основном применявшиеся в диссертации и развивавшиеся автором: метод спектрофотометрии собственного излучения исследуемой области и методы, связанные с изучением серебристых облаков. Для них описаны нововведения и усовершенствования, предпринятые автором при работе над диссертационной темой.

В главе 2 излагаются результаты исследований, связанных с изучением основных циклических колебаний, амплитуды и фазы которых предсказуемы, по крайней мере, в первом приближении. Автор называет их регулярными. Это годовое колебание, суточное колебание и лунные приливы в диапазоне периодов от полусуток до полумесяца. Большая часть результатов получена с помощью анализа температуры гидроксильного слоя мезопаузы, вычисляемой из спектров гидроксильного излучения, систематически регистрируемых на станции Звенигород ИФА РАН. Для выявления регулярных колебаний использовались также материалы наблюдений мезосферных облаков. В разделе представлены сопоставления полученных результатов с эмпирическими моделями и другими измерениями, выполненными также на средних широтах.

Раздел 2.3. диссертации посвящен проблеме лунных приливов в исследуемой области. Несмотря на то, что по этой теме ежегодно появляются публикации различных исследовательских групп, диссертанту и его соавторам удалось развить новые подходы к решению этой задачи и получить

интересные результаты. Следует отметить, что подавляющее большинство соответствующих публикаций посвящено лунным полусуточным приливам. Известно, что для этой гармонике к настоящему времени разработаны численные и эмпирические модели. Так, согласно эмпирической модели, основанной на спутниковых данных SABER/TIMED на широте 50° N и области высот 80-90 км амплитуда температуры в лунном полусуточном приливе не превышает 1.5 К. Диссертант не только подтверждает вывод Семенова и Шефова (1996) о существенном преобладании в температуре области мезопаузы амплитуд лунного полумесячного синодического прилива над лунным полусуточным, но и детально анализирует следствия из этого вывода.

Им, в частности, обнаружено, что зимний полумесячный прилив находится в противофазе с летним, что необходимо учитывать при подготовке статистических выборок в дальнейшем. Кроме того, показано, что яркость серебристых облаков в полумесячном приливе растет с убыванием температуры летнего гидроксильного слоя. Диссертантом предлагается и обосновывается новая интерпретация возникновения полумесячного синодического прилива. Принципиально новым также является открытие им другой полумесячной лунной гармонике в температуре мезопаузы, связанной с изменением склонений Луны. Эта гармоника также находит свое объяснение в физической модели приливных колебаний. Таким образом, скрупулезное статистическое исследование лунных приливных эффектов, выполненное диссертантом, дает возможность существенно детализировать схему взаимосвязей механизмов, определяющих отклик мезопаузы на динамическую систему Земля - Луна.

В главе 3 дается краткий обзор механизмов, приводящих к нерегулярным возмущениям характеристик области мезопаузы, а также оценивается диапазон изменчивости ее температуры на различных временных интервалах: внутрисуточной и межсуточной, внутрисезонной и межгодовой, субвековой. Наиболее весомым по количеству излагаемого материала и по важности выводов в этой главе, по-видимому, является раздел 3.4., посвященный вкладу солнечной активности в изменчивость области мезопаузы. Созданная с участием диссертанта эмпирическая модель температуры и плотности средней атмосферы позволила установить, что влияние солнечной активности на указанные характеристики становится значимым с высот 70 км, а не с 95 км, как это постулируется в наиболее цитируемой модели атмосферы [CIRA-1986, Hedin 1991]. Выявлен эффект задержки этого влияния, обусловленной участием целого ряда механизмов в процессах, регулирующих циркуляцию средней атмосферы.

Раздел 3.5, сфокусирован на исследовании многолетних трендов в области мезопаузы. Это позволило подтвердить факт оседания средней и верхней атмосферы, наблюдавшийся в период 1976 ÷ 1991 гг. Оригинальным вкладом автора в данную проблематику можно считать привлечение к анализу временных рядов частоты появления серебристых облаков (С.О.) в диапазоне 1990 ÷ 2013 гг, по наблюдениям на московской, литовской, датской и канадской станциях. В результате рассмотрения имеющегося массива наблюдений, автор приходит к заключению, что на рассмотренном временном отрезке никакие значимые тренды в частоте появления С.О. в среднеширотном поясе северного полушария не наблюдались. Вывод о нулевом тренде в С.О. как будто

противоречит выявленному эффекту многолетнего понижения температуры мезопаузы. Но диссертант находит возможное объяснение этому (кажущемуся) парадоксу. С одной стороны, охлаждение области мезопаузы имеет четко выраженный сезонный ход с летними трендами, хотя и отрицательными, но близкими к нулевым. С другой стороны, на взгляд диссертанта, околонулевые тренды в частоте появления и яркости серебристых облаков могут свидетельствовать о направленных в одну сторону трендах в температуре и отношении смеси водяного пара в области мезопаузы. Для выявления истинной природы расхождения двух групп данных требуются дальнейшие наблюдения. Но уже сейчас видно, что их сравнение было не вполне корректным, так как указанные ряды были не параллельны, а, фактически, строго последовательны. И на то, что тренд характеристик средней и верхней атмосферы не был линейным, и его вид мог заметно измениться за последние 37 лет указывают, в том числе, данные измерений параметров заряженных компонент ближнего космоса.

В последнем разделе этой главы (3.6) анализируются попытки многочисленных авторов связать внезапное начало регистрации ночных С.О, пришедшейся на 1885 г., с активизацией вулканической деятельности, в том числе с извержением вулкана Кракатау. Диссертант делает вывод, что все они мало обоснованы. Единственное более или менее логичное предположение, объясняющее указанный эффект, состоит, на его взгляд, в признании того факта, что влажность мезопаузы повышалась постепенно, в течение многих лет. И была вызвана увеличением скорости поступления метана из нижней атмосферы в конце XIX века. А извержение Кракатау в 1883 г. послужило лишь спусковым механизмом для повышения концентрации водяного пара до критических значений, преодоление которых делает возможным появление С.О.

В главе 4 представлены результаты исследований диссертанта, связанные с гравитационными и планетарными волнами в области мезопаузы. В числе новых, оригинальных результатов, полученных им в соавторстве, следует отметить вывод о существовании не только известных стационарных планетарных волн (СПВ) в области среднеширотной мезопаузы, но и соответствующие квазистационарные структуры планетарного масштаба. В бегущих (относительно земной поверхности) планетарных волнах обнаружены 2-х и 5-и дневные составляющие, как в температурном режиме, так и частоте появления С.О.

Изучение влияния орографии на проникновение акустико-гравитационных волн (АГВ) в область мезопаузы показало, что наиболее благоприятными периодами для средних широт являются осень и зима. Численная модель AGWWND, созданная диссертантом в соавторстве для расчетов распространения и молекулярной диссипации монохроматических АГВ, явилась дальнейшим развитием предыдущей модели, в которой не учитывался фактор ветра. Модель AGWWND продемонстрировала способность решать существенно более широкий круг задач, нежели ее предшественница.

Уникальным событием явилось предпринятое группой авторов, включая диссертанта, наблюдение мезосферного фронта, при помощи сети фотокамер с привлечением спутниковых измерений температуры

(инструмент SABER). При этом был замечен беспрецедентный (до высоты 96 км) подъем С.О. в окрестности фронта. В невозмущенных условиях высота С.О. составляла в данном случае $84 \div 86$ км.

Комбинированный анализ спутниковых и наземных измерений температуры в области мезопаузы в период внезапных стратосферных потеплений (ВСП) показал, что из-за суперпозиции стационарных и бегущих планетарных волн локальный температурный отклик области мезопаузы на температурные аномалии на стратосферных высотах может меняться в широких пределах в зависимости от долготы. Вместе с тем, из-за наблюдающегося из года в год постоянства фазы стационарных волн в конкретном географическом пункте метод наложенных эпох выявляет типичную по форме реакцию температуры области мезопаузы на стратосферное потепление. Кроме того, сформулировано заключение, что только синтез эмпирических (наземных и спутниковых) данных и модельных представлений способен дать более или менее реалистичную картину реакции мезопаузы на внезапные нарушения теплового режима в области стратосферы.

В Заключение автором диссертационной работы сформулированы основные новые результаты, которые были представлены и обоснованы во 2 \div 4 главах диссертации.

Приложение в виде таблицы на двух страницах резюмирует один из основных результатов диссертации – самосогласованные количественные оценки основных регулярных и нерегулярных составляющих изменчивости температуры мезопаузы (амплитуды или вклад в общую дисперсию).

Рассматриваемая диссертация предлагает научно-обоснованные методические решения и теоретические положения, совокупность которых позволяет считать ее удовлетворяющей требованиям к докторским диссертациям.

Работы Н.Н.Перцева, посвященные области мезопаузы, хорошо известны в мировом сообществе специалистов, о чем можно судить по многочисленным ссылкам и обсуждениям в журнальных статьях. Одно из интересных обсуждений было опубликовано уже после представления диссертации. Речь идет о статье германских и американских коллег (von Savigny et al., *Geophys. Res. Lett.*, 2015), авторы которой, ссылаясь на четыре работы, в том числе статью Далина, Перцева и Ромейко 2006 г., посвященную выделению лунных приливов в вероятности появления серебристых облаков, подвергли сомнению полученные в этих работах амплитуды как сильно завышенные. Вероятно, диссертанту следует прояснить этот вопрос во время защиты.

При общей положительной оценке диссертации хотел бы высказать некоторые замечания по работе:

1. На основе материалов диссертации автор приходит к выводу, что межгодовое воздействие солнечной активности на температурный режим области мезопаузы осуществляется не напрямую, а через циркуляцию средней атмосферы. В качестве косвенного подтверждения здесь были бы уместны ссылки на работы Matthes et al., *JGR*, 2004 и Schmidt et al., *JGR*, 2010, которые демонстрируют зависимость от фазы квазидвухлетней цикличности отклика зональных среднеатмосферных ветров на солнечную активность.

2. Представление, разделяемое диссертантом, о том, что наибольшие тренды температуры в средней и верхней атмосфере в конце XX века наблюдались в области мезопаузы, не совсем корректно. За порядка 60 лет измерений температура в указанной области высот понизилась на примерно 30 К. Иначе говоря, охлаждение происходило со скоростью около 0,6 К /год. Между тем, по данным установки некогерентного рассеяния в Миллстоун Хилл тренд температуры на высоте 400 км составлял 2 К /год и возрастал до 4 К /год на высоте 500 км.

3. Хотя автор вполне обоснованно ограничивает свою работу средними широтами, т.е. областью, где проводились анализируемые измерения, было бы полезно отметить, что найденные результаты представляют интерес и для других широт, поскольку различные широтно-высотные области связаны через систему планетарных волн и вертикально-меридиональные ячейки циркуляции.

Высказанные замечания не снижают высокой оценки обсуждаемой диссертационной работы и не влияют на признание заметного вклада работ диссертанта не только по исследованию изменчивости области мезопаузы, но и динамического режима средней атмосферы в целом.

Диссертация Н.Н.Перцева является цельным оригинальным научным трудом, в котором представлены заметные совершенствования методов исследования области мезопаузы, и разработаны хорошо обоснованные теоретические положения, вносящие весомый вклад в дело изучения физических процессов в средней атмосфере.

Автореферат правильно отображает содержание диссертации.

Работа Н.Н. Перцева полностью соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор достоин присуждения ему степени доктора физико-математических по специальности 25.00.29 - <физика атмосферы и гидросферы>.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук,

зав. Лабораторией наземных ионосферных наблюдений

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН),

Гивишвили Гиви Васильевич

Почтовый адрес:

142190, г. Москва, г. Троицк,

Калужское шоссе, д. 4, ИЗМИРАН

Тел: 8 (495) 851-09-27

e-mail: givi@izmiran.ru

---19--- октября 2015 г.

