

## УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Тихоокеанский океанологический  
институт им. В.И. Ильичева  
Дальневосточного отделения  
Российской академии наук

к. г. н. В.Б. Лобанов

21 ноября 2018 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Вазеовой Натальи Викторовны  
«Циркуляционные особенности атмосферного пограничного слоя  
по данным наблюдений и численного моделирования»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 25.00.29 - «Физика атмосферы и гидросферы»

### 1. Актуальность работы

В настоящее время на фоне бурного развития технологий численного моделирования и прогноза атмосферы с использованием мезомасштабных моделей высокого разрешения с включением практически всех известных физических процессов в атмосфере вопросы описания и параметризации процессов в атмосферном пограничном слое (АПС) в таких моделях остаются недостаточно разработанными. Большое разнообразие и многомасштабность структур в турбулентном АПС требуют и больших объемов данных натурных наблюдений для получения адекватных эмпирических или полуэмпирических соотношений (моделей) для параметризации процессов в современных моделях атмосферы или для верификации большого числа уже имеющихся параметризаций для АПС и связанных с АПС моделей конвекции и облачности. В этой связи тема диссертационной работы Н.В. Вазеовой безусловно актуальна. В ней сочетается анализ данных измерений характеристик структурных образований в АПС в натурных условиях дистанционными методами акустического зондирования с численным моделированием процессов в АПС на время проведенных наблюдений с использованием современных моделей атмосферы высокого разрешения типа Weather Research and Forecasting Model (WRF).

### 2. Краткий обзор содержания работы

Диссертационная работа Н.В. Вазеовой объемом 167 страниц, включая 80 рисунков и 7 таблиц, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, формулируется цель, ставятся задачи работы, излагается методология и методы, научная новизна и практическая значимость представляемой работы, формулируются основные положения, выносимые на защиту, описывается личный вклад автора, апробация и публикации по теме диссертационной работы, кратко дано описание структуры диссертации.

В первой главе представлен обзор публикаций, близких к теме диссертации. Анализируется современное состояние исследования циркуляционных структур в

атмосферном пограничном слое. На основании обзора обоснована актуальность выбранной темы, проведена постановка задачи диссертационной работы. Показано, что изучение циркуляционных особенностей АПС предполагает анализ когерентных и термоконвективных структур различного масштаба, их пространственных, статистических характеристик, а также их влияния на процессы подъема и выноса пыли.

Вторая глава посвящена описанию характеристик и свойств циркуляционных структур в атмосферном пограничном слое. Рассмотрен нелинейный режим развития вторичных вихревых структур в АПС с использованием двухмасштабной модели атмосферного пограничного слоя, мезомасштабной атмосферной модели RAMS, данных по наблюдению структур в Калмыкии. В двухмасштабной модели поле скорости разбивается на крупномасштабный, зависящий только от вертикальной координаты профиль горизонтальной скорости ветра и трехмерное поле скорости, связанное с валиковой циркуляцией. Показано, что в зависимости от числа Рейнольдса реализуются различные типы гидродинамической неустойчивости, характерные для АПС, которые можно различить, в частности, по взаимной ориентации возникающих периодических по горизонтальной координате валиков и геострофического ветра, а также по пространственным масштабам и периодам структур.

Проводится исследование мезомасштабной валиковой циркуляции и ее роли в переносе аэрозоля в атмосферном пограничном слое. С использованием модели WRF-ARW детально рассмотрен характерный эпизод 28 июля 2007 г. в Калмыкии, охваченный наблюдениями экспедиции ИФА им. А.М. Обухова РАН. С помощью модели WRF-Chem детально исследовано движение пылевых частиц в естественных условиях.

В третьей главе исследуются характеристики спиральности (скалярное произведение скорости на завихренность) в АПС по результатам двухмасштабного моделирования, по данным измерений методами акустического зондирования в АПС в Калмыкии, в июле 2007 года и численного моделирования с помощью современных региональных мезомасштабных моделей атмосферы высокого разрешения RAMS и WRF.

Проводится вычисление интегральных характеристик полярных мезоциклонов (ПМЦ) и блокирующего антициклона, в частности геопотенциала, энергии и спиральности, с использованием данных ре-анализа (ECMWF), результатов численного моделирования в мезомасштабной атмосферной модели WRF-ARW.

В четвертой главе предложена простая модель развития субмезомасштабных структур (стриков), позволяющая оценить их характерные масштабы в АПС. Приводится исследование развития оптимальных возмущений вблизи поверхности в экмановском слое, что может являться причиной возникновения стриков. Предложен и апробирован алгоритм выделения конвективной структуры из данных акустического зондирования. На основе данных акустического зондирования 2007, 2016 гг. определены статистические характеристики термоконвективных структур: распределения длительности превышения вертикальной скоростью предельного значения, максимального значения скорости в пределах этого промежутка времени, общего горизонтального пространственного масштаба.

В заключении сформулированы наиболее значимые результаты и выводы полученные в работе.

### **3. Научная новизна полученных результатов**

К наиболее важным результатам работы Вазаевой Н.В., определяющим ее новизну и значимость, следует отнести следующие:

Предложена и апробирована методика определения характеристик вихревых структур в турбулентном АПС, в частности, спиральности, из данных акустического зондирования. Оценки спиральности в АПС в настоящее время практически отсутствуют.

Проведен анализ результатов натуральных экспериментов по акустическому зондированию АПС, выполненных в экспедициях ИФА им. А.М. Обухова РАН в

различных географических условиях - аридно-степных зонах юга России, в республике Калмыкия, на Цимлянской научной станции ИФА РАН и на Шпицбергене. Изучено пространственное распределение спиральности, получены ее количественные характеристики и временной ход, проведено сравнение с теоретическими оценками и расчетами по мезомасштабной атмосферной модели WRF-ARW.

Предложена параметризация процессов подъема и переноса аэрозолей в нелинейной нестационарной квазидвумерной модели АПС. В рамках модели WRF-Chem изучено влияние упорядоченных циркуляционных структур на вынос субмикронного аэрозоля в аридных-степных условиях Калмыкии. Отмечена интенсификация процессов подъема и переноса под влиянием упорядоченных циркуляционных структур в АПС.

Получены статистические характеристики термоконвективных образований в АПС по данным акустического зондирования в различных ветровых и температурных условиях в Калмыкии в 2007, 2016 гг.

#### **4. Практическая ценность работы**

Практическая значимость работы определяется новыми данными по мелкомасштабной и мезомасштабной структуре пограничного слоя атмосферы, полученными в натурных экспериментах и в численных экспериментах с моделями атмосферы высокого разрешения. Результаты работы могут быть использованы при разработке или уточнении блоков параметризации физических процессов в пограничном слое атмосферы для современных региональных мезомасштабных моделей атмосферы высокого разрешения, используемых для прогноза погоды.

#### **5. Обоснованность и достоверность полученных результатов и сделанных выводов.**

Обоснованность научных результатов и выводов определяется использованием хорошо отработанной в ИФА РАН методики натурных измерений атмосферной турбулентности методами акустического зондирования и использованием современных региональных моделей высокого разрешения для численного моделирования синоптических ситуаций в атмосфере и физических процессов в пограничном слое атмосферы.

Достоверность полученных результатов подтверждается их соответствием современным представлениям о природе атмосферного пограничного слоя и результатам опубликованных работ по теме диссертации отечественных и зарубежных авторов.

#### **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты, полученные в диссертации, могут быть рекомендованными к использованию в учреждениях РАН, университетах и других учреждениях Российской Федерации, в которых проводятся исследования пограничных слоев атмосферы и численное моделирование атмосферных процессов с помощью региональных моделей атмосферы высокого разрешения.

#### **7. Замечания по работе**

1. В диссертации затронут чрезвычайно широкий круг задач и вопросов. Возможно, достаточно было бы в работе сконцентрироваться на результатах, содержащихся в 3-х основных публикациях соискателя.

2. Разделы главы 2, касающиеся «подъема и транспорта аэрозоля», без ущерба для достижения основной цели исследования можно было бы и опустить, т.к. выводы здесь основаны на результатах численного моделирования.

3. Неоправданно много защищаемых положений – 9. Если они являются результатами решения задач, то их должно было бы быть 7, в разделе «новизна» тоже 7 пунктов.

3. Некоторые из положений, выносимых на защиту, недостаточно четко сформулированы. Так в 1-м положении «Показано развитие асимметрии ...» неясно о какой асимметрии идет речь и в чем она проявляется? В 9-м положении «Показана близость статистики характеристик термоконвективных структур (по данным акустического зондирования) к распределению Рэлея (двумерному распределению Максвелла)» можно лишь догадываться, что «статистики характеристик» это плотность распределения каких то параметров структур, но при упоминании о двух известных распределениях (одномерного и двумерного) возникает вопрос: «О каком распределении параметров «термоконвективных структур» речь?».

4. Положение 8 («Показана возможность использования спиральности в АПС в качестве прогностического фактора для экстремальных явлений: блокирующего антициклона и полярных мезоциклонов») хотя и может быть результатом решения задачи 6 (оценка роли спиральности при описании циркуляционных процессов в АПС), но далеко от основных задач работы.

5. Ряд замечаний носятся к стилю изложения и носят редакторский характер.

### 8. Общая характеристика диссертационной работы

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации Н.В. Вазаевой. Все представленные в диссертации результаты получены, обработаны и проанализированы при непосредственном участии автора. Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию. Положения, выносимые на защиту, соответствуют основным результатам работы и опубликованы соискателем в научной периодике и материалах конференций. Общее количество печатных работ по теме диссертации 25, 4 из которых изданы в журналах, рекомендуемых ВАК. Материалы диссертации докладывались на 11 конференциях и симпозиумах.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой и отвечает требованиям "Положения о порядке присуждения учёных степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г №842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Ее автор Вазаева Наталья Викторовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 - «Физика атмосферы и гидросферы».

Доклад Н.В. Вазаевой по материалам диссертационной работы заслушан и обсужден на семинаре отдела физики океана и атмосферы ТОИ ДВО РАН 20 ноября 2018 года.

Отзыв составил заведующий лабораторией взаимодействия океана и атмосферы, доктор физико-математических наук Пермяков Михаил Степанович, e-mail: [permyakov@poi.dvo.ru](mailto:permyakov@poi.dvo.ru), телефон: +7(432) 231-2158, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43.

Я, Пермяков Михаил Степанович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Заведующий лабораторией  
взаимодействия океана и атмосферы  
ТОИ ДВО РАН, д.ф.-м.н.

Пермяков М.С.

*Лодниев*

*Пермяков М.С.*

*Удостоверено*

4

*Уд. секретарь*

*ТОИ ДВО РАН*



*И.И. Савельев*