

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Струнина Александра Михайловича

### **СПЕКТРАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ТУРБУЛЕНТНОСТИ И ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ В КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКАХ ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ПО ДАННЫМ САМОЛЕТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы

#### **Актуальность темы диссертационной работы**

Диссертационная работа Струнина А.М. посвящена исследованию турбулентных процессов в конвективных облаках. Сведения о турбулентности в облаках необходимы для обеспечения безопасности полетов самолетов и построения моделей атмосферной турбулентности, для расчетов прочности летательных аппаратов и разработки систем их управления. Кроме того, данные о характеристиках турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры и потоков тепла и импульса в облаках вертикального развития важны для понимания физических процессов образования и развития облаков и формирования осадков.

Но сведений о процессах развития конвективных облаков, взаимосвязи микрофизических параметров облаков с их динамической структурой, турбулентных процессах внутри облаков и на их периферии в настоящее время явно недостаточно. Практически не изучен турбулентный перенос внутри конвективных облаков и через их границы. Прежде всего, это связано с трудностью проведения экспериментов и, соответственно, недостатком экспериментальных материалов.

Основной целью работы Струнина А.М. является исследование структуры турбулентности в конвективных облаках и детальное описание ее статистики на примере конвективных облаков тропической зоны. В работе используется уникальный массив данных самолетных измерений, полученный сотрудниками Центральной аэрологической обсерватории во время специализированного эксперимента в 2007 г. над о. Куба. Применяются оригинальные методики обработки и анализа данных, в том числе разработанные при участии автора. Полученные статистические характеристики вихревых процессов в конвективных облаках дают полезный материал для задач атмосферного моделирования и обеспечения безопасности полетов воздушных судов. Следовательно, актуальность работы не вызывает сомнения.

## Содержание диссертационного исследования

Работа состоит из пяти глав, первая из которых является введением, а 5-я - заключением. Во введении (1 глава) раскрывается актуальность диссертационной работы, представляется новизна результатов, их научная и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту. Далее в главе приводится обзор опубликованных экспериментальных данных о турбулентности в облаках вертикального развития и методы самолетных измерений турбулентности. Заключительная часть главы посвящена методам спектрального анализа атмосферной турбулентности. В частности, детально рассматривается вейвлет-анализ и его возможности для исследования турбулентной статистики.

Вторую главу назвать отдельной главой научного исследования трудно, так как она представляет собой одностороннее перечисление целей и задач исследования.

В третьей главе приводится состав анализируемого эксперимента и методики получения и обработки данных. Дается описание полигона, методики проведения полетов, используемых приборов. Детально представлена структура полученной базы данных, а также методы выделения пульсаций исследуемых метеопараметров и учета движения самолета. Всего в период с 17 августа по 4 октября 2007 г. над метеополеоном вблизи г. Камагуэй (Куба) было выполнено 13 полетов, в результате которых было исследовано более 60 конвективных ячеек. Контроль перемещения ячеек проводился с помощью наземного метеорологического радиолокатора. Полученные во время эксперимента данные были использованы для выявления закономерностей турбулентной статистики в зоне кучевых облаков.

В четвертой главе приводятся результаты анализа турбулентной структуры облаков конвективного развития тропической зоны. Представлен разработанный автором метод учета водности облаков при восстановлении реальных значений температуры внутри облака. Проведена валидация метода на примере используемого массива данных. Показано, что использование данной коррекции значительно улучшает точность расчета потоков тепла в облаке. На основании обработки значительного массива данных получены статистические характеристики полей ветра и температуры конвективных облаков на различной стадии их развития. Показано, что интенсивность турбулентного переноса в значительной степени зависит от стадии развития облака. Получены эмпирические функции распределения значений коэффициента турбулентности для тропических конвективных облаков, находящихся на различных стадиях развития.

В заключении (5 глава по нумерации автора) приводятся основные результаты работы и выводы.

### **Основные результаты и их новизна**

1. Предложен новый метод определения температуры воздуха в облаках с жидко-капельной фракцией (до температуры воздуха выше  $-8^{\circ}\text{C}$ ).
2. Выявлена зависимость спектральных характеристик турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры и их ковариаций в конвективных облаках от стадии их развития.
3. Получены эмпирические функции распределения среднеквадратических значений пульсаций горизонтальной и вертикальной компонент скорости ветра и температуры воздуха и значений коэффициента турбулентности для тропических конвективных облаков, находящихся на различных стадиях развития.

Все результаты, выносимые на защиту в данной работе, впервые получены диссертантом.

### **Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов**

Автором изучены и проанализированы известные методы и аппаратура для самолетных исследований атмосферной турбулентности. Список использованной литературы содержит 122 наименования, что подчеркивает полноту проведенного анализа. Достоверность результатов экспериментов и выводов, сформулированных на их основе, обеспечивается подробными описаниями методик измерения и процесса обработки информационных сигналов. Для анализа привлекается значительный массив данных как полученных по время представленного эксперимента, так и известных из литературы. Достоверность полученных в диссертации результатов исследований подтверждается их сопоставлением с данными аналогичных экспериментов.

По теме диссертации опубликовано 11 работ, из них 3 – в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК, получен 1 патент на полезную модель. Результаты исследований докладывались на научных семинарах, российских и международных конференциях.

### **Ценность для науки и практики результатов работы**

Полученные автором характеристики вихревых движений в конвективных облаках могут быть использованы для компьютерного моделирования процессов облако- и осадкообразования. Полученные спектральные характеристики турбулентности, эмпирические функции распределения параметров турбулентности могут быть использованы для расчета прочностных характеристик летательных аппаратов, создания систем их управления, обеспечения безопасности полетов.

### **Замечания по диссертационной работе в целом**

Первое замечание касается структуры работы. Ни введение, ни заключение не должны являться отдельными главами. Во введении, как правило, обосновывается актуальность темы диссертации, цель и задачи исследования, описывается объект и предмет исследования, указывается, в чем состоит научная новизна и практическая значимость результатов, а также формулируются положения, выносимые на защиту. Обзор литературы, методик исследования – это тема отдельной главы или подглавы. Не понятно, зачем нужно было выделять в отдельную главу на одну страницу «постановку цели и задач исследований»? Так что реально работа состоит из двух глав, введения и заключения. Но, к сожалению, выводы по каждой главе отсутствуют. Формальным недостатком диссертации также является то, что основное ее содержание посвящено методикам постановки и проведения эксперимента и обработки данных. Собственно результаты приведены только в трех подпунктах 4 главы. Сам текст написан небрежно, встречаются несогласованные предложения, повторы и пропуски слов, выражения, вроде «поскольку опускающийся воздух нагревается, а поднимающийся – опускается». На стр. 19 в первом абзаце в формуле, наверное, имеется в виду среднеквадратичное отклонение вертикальной скорости ветра?

По сути диссертационной работы есть следующие замечания:

Применение вейвлет-преобразования для анализа структуры атмосферной турбулентности – перспективный и новый метод. Как правило, он используется для выделения мезомасштабных структур, но гораздо реже для исследования мелкомасштабной динамики. Но в работе не хватает более детальной обоснованности его применения. Например, было бы полезно на примере одной реализации провести вейвлет и Фурье анализ ряда, чтобы наглядно показать недостатки и достоинства каждого метода.

Было бы полезно привести краткую справку по микрофизике исследуемых облаков с характеристиками температуры, влажности, распределения капель по размерам, а не только их морфологические характеристики. А также описание особенностей формирования облаков в исследуемом регионе с изложением характерной синоптической ситуации в период проведения исследований.

В методической части работы указаны следующие частотные характеристики измерений: частота измерения температуры 13 Гц, частота измерения жидко-капельной влажности – до 10 Гц, пульсации давления – 20 Гц. При этом запись всех параметров шла с частотой 20 Гц. Как проводилась синхронизация частот измеряемых параметров?

Не приведена методика вычисления потоков тепла и импульса. Формула 4.2.4 определяет второй смешанный момент (ковариацию) пульсаций температуры и скорости

ветра или поток температуры (кинематический поток), но не поток тепла по его определению. И по какому временному интервалу проводилось осреднение для вычисления потоков и средне-статистических отклонений? Фраза «Для анализа данных были построены кривые изменения вдоль линии полета горизонтальных турбулентных потоков тепла, рассчитанных по формуле (4.2.4) и осредненных с шагом в 10 с.» не понятна, ибо названная формула уже предполагает осреднение. И для вычисления потока 10 секунд осреднения явно недостаточно.

Что значит определение «коспектры потока тепла?» Коспектр предполагает два анализируемых ряда. Можно предположить, что под коспектром потока тепла автор имел в виду коспектр скорости ветра (горизонтальной или вертикальной) и температуры. Но что в физическом смысле обозначает определение «спектр потока тепла» (напр. рис. 4.3.3.)? И по каким временным интервалам строились спектры и коспектры, приведенные в работе?

Из текста диссертации не понятно, что такое выносимые на защиту и упоминаемые в выводах «универсальные функции, описывающие спектральные характеристики турбулентности в конвективных облаках тропической зоны для различных стадий их развития». Какие параметры используют эти функции и в чем их универсальность?

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

#### **Заключительная оценка**

Диссертационная работа Струнина Александра Михайловича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на хорошем научном и техническом уровне. Работа базируется на уникальном массиве данных самолетных измерений и представляет хороший пример тщательного анализа и обработки экспериментальных данных. Представленная работа вносит значительный вклад в развитие экспериментальных методов исследования атмосферной турбулентности и имеет практическую значимость. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как законченное и значимое научное исследование. Полученные автором результаты имеют новый уровень, являются достоверными, а выводы и заключения обоснованными. Результаты диссертационной работы своевременно опубликованы в 11 печатных трудах, 3 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013

года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы, а ее автор Струнин Александр Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Официальный оппонент

Заведующая Лабораторией взаимодействия атмосферы и океана  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова  
Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН),  
Доктор физико-математических наук  
Тел. 8-495-951-85-49, e-mail: repina@ifaran.ru  
119017, Москва, Пыжевский пер. 3

Репина Ирина Анатольевна

01.09.2015

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова  
Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)



Краснокутская Л.Д.