

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральная служба по гидрометеорологии и
мониторингу окружающей среды

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«ТАЙФУН»
(ФГБУ "НПО "Тайфун")

Победы ул., 4, г. Обнинск Калужской обл., 249038
телефон: (484)3971540, факс: (484)3940910
e-mail: post@rpatyphoon.ru
телетайп: 183505 Волна

15.09.2015 № 02-26.8/2015
На № _____ от _____

[О направлении отзыва]

Ученому секретарю
диссертационного совета
Д 002.096.01 при Институте физики
атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Л.Д. Краснокутской


119017 г. Москва
Пыжевский пер., 3

Уважаемая Людмила Дмитриевна!

Направляю отзыв ведущей организации ФГБУ «НПО «Тайфун» о диссертационной работе 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 ИФА им. А.М. Обухова РАН.

Приложение: 1. Отзыв на 10 л. в 2 экз.

Первый заместитель генерального
директора по научной работе

 В.Н. Иванов

Панова Т.Н.
(484)3971558

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ФГБУ «НПО «Тайфун»,
доктор технических наук



В.М. Шершаков
2015 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун».

Диссертация «СПЕКТРАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ТУРБУЛЕНТНОСТИ И ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ В КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКАХ ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ПО ДАННЫМ САМОЛЕТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ» представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.

Диссертация выполнена
в Федеральном государственном бюджетном учреждении
«ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ».

Соискатель Струнин Александр Михайлович.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Струнина Александра Михайловича, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, посвящена актуальной проблеме физики атмосферы, относящейся к динамике конвективных облаков. Известно, что турбулентность является с одной стороны, важным фактором динамики

облаков различных типов (форм), а с другой – конвективные облака сами за счет мощного выделения тепла продуцируют пульсации скорости ветра и температуры. Поэтому экспериментальные сведения о турбулентности в облаках (и, прежде всего, облаках кучевых форм) очень важны как для изучения физики облаков и осадков, разработки моделей, так и для решения прикладных задач, например, обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов.

Особую сложность в изучении облачной турбулентности представляет нестационарность происходящих процессов. Тем не менее, соискателю удалось преодолеть связанные с этим трудности и получить данные о закономерностях спектральной структуры турбулентности и турбулентных потоков в конвективных облаках. Это восполняет существенный пробел в области исследований облачной турбулентности, поэтому диссертационная работа А.М. Струнина представляется **актуальной**.

Тема диссертации соответствует специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы, как области науки, включающей экспериментальное и теоретическое изучение процессов, происходящих в земной атмосфере и гидросфере.

Область диссертационного исследования соответствует пункту паспорта специальности: 1. «Строение и физика нижней атмосферы (тропосферы) Земли».

Для решения указанной актуальной проблемы автором диссертации выполнен анализ самолетных данных о турбулентности, полученных в Центральной аэрологической обсерватории Росгидромета во время комплексных экспериментов по исследованию тропических конвективных облаков на метеорологическом полигоне на о. Куба.

Методы исследования, использованные автором, основаны на вейвлет-анализе реализаций пульсаций скорости ветра и температуры воздуха и построении спектральных характеристик – скалограмм, спектров турбулентности и коспектров потоков тепла. Для решения поставленной в

диссертации задачи – выявления особенностей спектральных характеристик турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры, турбулентных потоков тепла и импульса в конвективных облаках тропической зоны и получения эмпирических функций, описывающих спектральную структуру турбулентности в этих облаках, соискатель разработал метод учета влияния водности облака на самолетный датчик температуры, провел обработку и анализ самолетных данных о турбулентности в тропических конвективных облаках над о. Куба с применением вейвлет-анализа, рассчитал спектральные характеристики (спектральные плотности пульсаций, спектры и коспектры) турбулентности. Разделение данных о турбулентности, полученных для облаков, находящихся на различных фазах развития, позволило автору построить универсальные спектральные характеристики турбулентности.

Во **Введении** обоснована актуальность темы исследования. Указаны степень новизны результатов исследования, их научная и практическая значимость. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, и оценена степень достоверности результатов, описан личный вклад автора в работу и приведен список публикаций автора по теме диссертации.

Оценка научной новизны, научная и практическая значимость работы соответствуют паспорту специальности.

Проведен анализ состояния вопроса на основе достаточного полного обзора имеющихся в литературе сведений о турбулентности и воздушных течениях в облаках. Обзор иллюстрирован, приведены рисунки, заимствованные из различных источников, представлены также численные данные, характеризующие турбулентность в кучевых облаках. Отдельное внимание уделено классификации конвективных облаков и фаз их развития.

В обзорной части диссертации изложены также и основные методы измерения турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры воздуха с борта самолета-лаборатории и способы получения спектральных характеристик турбулентности. Отмечается, что до сих пор не решена задача измерения температуры воздуха в облаках с жидко-капельной фракцией.

Проводится обзор методов расчета спектральных характеристик турбулентности с помощью вейвлет-преобразования и показывается, что наиболее приемлемым средством для получения спектров и коспектров неоднородной турбулентности является анализ на основе вейвлета Морле.

Во второй главе сформулированы цель работы и задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели.

В третьей главе автор приводит описание самолетного эксперимента по исследованию облаков вертикального развития над о. Куба в августе – октябре 2007 г. на метеополигоне в районе г. Камагуэй, данные которого были использованы в диссертационной работе. Приводится описание используемой аппаратуры и применяемых методов расчета турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры. Отмечается, что изучались облака на различных стадиях развития, которые классифицировались как *Cu cong* различной мощности и диссипирующие ячейки – так называемых фидерные облака. Особенно важно то, что самолетный эксперимент сопровождался наземными радиолокационными измерениями.

В четвертой главе приводятся результаты анализа данных о турбулентности и турбулентных потоках в облаках конвективного развития тропической зоны. Предварительно описаны методы расчета и представления спектральных характеристик турбулентности в зоне конвективных облаков и изложена процедура применения вейвлет-анализа на основе вейвлета Морле.

Важным разделом главы является описание метода определения температуры воздуха в облаках с жидко-капельной фракцией, оценки его точности и валидация метода. Показано, что поправка в температуру на водность облака зависит от степени нагрева воздуха в датчике за счет торможения потока и величины мгновенного значения жидко-капельной водности. Сделана валидация величины коэффициента, определяющего поправку, по данным самолетных измерений в зоне конвективного облака.

В этой же главе представлены результаты анализа данных о

спектральной структуре турбулентности в конвективных облаках, причем, ввиду того, что конвективные облака существенным образом искажают структуру полей ветра и температуры автор рассматривает само облако и окружающее его пространство как единую динамическую зону. Турбулентность в зоне кучевого облака обладает явно выраженными свойствами неоднородности, нестационарности, поэтому автор систематизировал данные о турбулентности по фазам развития облаков – начальная стадия развития, зрелое облако и стадия диссипации облака. Критерием для систематизации данных послужили данные наземных радиолокаторов, позволяющие оценить время жизни исследуемой конвективной ячейки. Однако более удобным управляющим параметром оказалась величина перегрева облака относительно окружающего пространства. В результате автору удалось получить универсальные функции спектральных характеристик – спектров пульсаций и коспектров потоков тепла. Это может служить основой для создания эмпирической модели турбулентности в облаках вертикального развития. Универсальные функции представлены автором как в графическом, так и аналитическом виде, что позволяет использовать их в различных приложениях.

В этой же главе соискатель приводит полученные им конкретные численные данные, полезные для приложений. Так, приводятся распределения (повторяемости) пульсаций скорости ветра и температуры, коэффициента турбулентного обмена в зонах конвективных облаков. Автор также проводит анализ применимости известной формулы Ричардсона-Обухова для расчета коэффициента турбулентности и показывает, что коэффициенты пропорциональности в этой формуле существенно зависят от формы спектров на низких частотах, следовательно, и от фазы развития облака.

Пятая глава является заключением, в котором изложены основные **результаты**, полученные в данной диссертационной работе и приведен список публикаций автора.

Основные результаты можно сформулировать следующим образом.

Разработан метод введения поправки в температуру и ее пульсации на водность облака и проведена валидация метода по данным самолетных исследований конвективных облаков тропической зоны. Показано, что метод обеспечивает восстановление истинных значений пульсаций температуры в облаке (до температур в облаке выше $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$) и получение непротиворечивых данных о потоках тепла через боковые границы конвективного облака.

Применение метода спектрального анализа пульсаций скорости ветра и температуры, основанного на вейвлет-преобразовании и разработанного метода введения поправки в температуру на водность облака позволило выявить ряд неизвестных ранее особенностей развития турбулентности в конвективных облаках тропической зоны (конвективных ячеек или облаков *Cu cong* мощностью до 8 – 8,5 км). Показано, что форма и характер спектров пульсаций скорости ветра и температуры и коспектров потоков тепла и импульса существенным образом зависят от стадии развития облака – начальной стадии развития, стадии зрелого облака и стадии диссипации ячейки. Получены универсальные функции, описывающие коспектры потоков тепла и спектры пульсаций скорости ветра и температуры воздуха для различных стадий развития конвективных ячеек, определены управляющие параметры (относительное время жизни ячейки и степень перегрева облака относительно окружающего пространства), параметры универсальных функций, т.е. тем самым предложены основы модели спектральной структуры турбулентности и турбулентных потоков в конвективных облаках.

Получены эмпирические функции распределения (накопленные повторяемости) среднеквадратических пульсаций скорости ветра и температуры и коэффициента турбулентного перемешивания в зонах конвективных облаков тропической зоны и показано, что эти распределения существенным образом зависят от стадии развития облака. Проведено сопоставление имеющихся в литературе данных о распределении

интенсивности пульсаций в конвективных облаках с вновь полученными распределениями и показано, что данные удовлетворительно согласуются, т.е. проведена оценка достоверности полученных результатов. Оценены средние значения среднеквадратических пульсаций скорости ветра и температуры и коэффициента турбулентного перемешивания для различных стадий развития облака.

Оценена применимость формулы Ричардсона-Обухова для расчета коэффициента турбулентного перемешивания в облаках вертикального развития и получены коэффициенты пропорциональности для этой формулы, которые, как было показано, отличаются для различных стадий развития облаков.

Сформулированные в заключении **основные результаты и выводы** в полной мере отражают содержание диссертационной работы.

Положения, выносимые на защиту, представляют значительный научный вклад для понимания физики конвективных облаков, развития методов моделирования облаков, построения эмпирических моделей облачной турбулентности.

Научная новизна работы не вызывает сомнений и состоит в том, что в результате проведенных исследований:

- предложен новый метод определения истинной температуры воздуха и ее пульсаций в облаках с жидко-капельной фракцией (до температуры воздуха выше -8°C);
- впервые выявлена зависимость спектральных характеристик турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры и турбулентных потоков в конвективных облаках от стадии их развития;
- впервые получены универсальные функции спектральных характеристик турбулентных потоков тепла и импульса в зоне конвективных облаков;
- впервые рассчитаны значения среднеквадратических пульсаций скорости ветра и температуры, коэффициента турбулентного перемешивания

и эмпирические функции их распределения в конвективных облаках тропической зоны в зависимости от стадии их развития.

Полученные результаты углубляют понимание процессов, происходящих в конвективных облаках. **Достоверность результатов** подтверждена сопоставлением вновь полученных данных с результатами исследований турбулентности в конвективных облаках тропической зоны и средней полосы.

Апробация работы проведена в достаточном объеме, результаты исследований докладывались на всероссийских и международных научных конференциях, семинарах и заседаниях Ученого совета ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория». Основной материал диссертации отражен в научных публикациях диссертанта. Общее число работ 11, из них 2 работы опубликованы в журналах из перечня ВАК, одна работа опубликована в журнале из списка Scopus, получен патент на полезную модель. Таким образом, требования, предъявляемые к диссертационным исследованиям, соблюдены.

Результаты работы и её апробация достаточно полно освещены в автореферате и в приведенных публикациях автора. **Автореферат** полностью соответствует содержанию диссертации.

Научная и практическая значимость результатов, полученных в работе, заключается в том, что данные о характеристиках турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры и потоков тепла и импульса в облаках вертикального развития могут быть использованы для изучения и моделирования физических процессов образования и развития облаков и осадков.

Метод введения поправки на водность облака при самолетных наблюдениях имеет важное прикладное значение, поскольку позволяет определять истинную температуру воздуха и ее пульсации в облаках с жидко-капельной фракцией.

Универсальные кривые спектральных плотностей пульсаций и коспектров потоков тепла и импульса могут быть положены в основу эмпирической модели турбулентности в конвективных облаках и в задачах по компьютерному моделированию возникновения и развития облаков.

Полученные спектральные характеристики турбулентности, эмпирические функции распределения параметров турбулентности в облаках могут быть использованы для расчета необходимых прочностных характеристик летательных аппаратов, создания систем их управления, обеспечения безопасности полетов.

Следует отметить некоторые недостатки диссертационной работы.

Текст диссертации и автореферата не всегда достаточно тщательно отредактирован.

Не рассмотрено возможное влияние спектра капель облака на поправку в температуру на водность.

Указанные недостатки не умаляют ценности полученных в диссертационной работе результатов и выводов.

Рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение в области физики атмосферы. Она обобщает самостоятельные исследования автора и представляет собой законченный научно-исследовательский труд, выполненный на актуальную тему, и содержит новые научные результаты.

На основании вышеизложенного, считаем, что диссертационная работа и автореферат удовлетворяют всем требованиям пунктов 9 и 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, в редакции от 30.07.2014 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор Струнин Александр Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени


кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Заключение принято на заседании секции №1 «Физика атмосферы и геофизический мониторинг» Ученого совета ФГБУ «НПО «Тайфун».

Присутствовало на заседании 23 чел. Результаты голосования: «за» - 23 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 2015-6 от 15 сентября 2015 г.

Отзыв подготовил:

Зав. лаб. ФГБУ «НПО «Тайфун» доктор физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».


_____ Михаил Александрович Новицкий

Адрес: Россия, 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4
Тел. (484) 397-19-41. E-mail: novitsky@rpatyphoon.ru

Председатель секции № 1 «Физика атмосферы и геофизический мониторинг»
Ученого совета ФГБУ «НПО «Тайфун»

Кандидат физико-математических наук по специальности 25.00.29. доцент


_____ Владимир Николаевич Иванов

Адрес: Россия, 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4
Тел. (484) 397-15-19 E-mail: vivanov@rpatyphoon.ru

Ученый секретарь секции № 1 «Физика атмосферы и геофизический мониторинг» Ученого совета ФГБУ «НПО «Тайфун»

Кандидат физико-математических наук по специальности 25.00.29


_____ Валентина Борисовна Шушкова

Адрес: Россия, 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4
Тел. (484) 397-19-78 E-mail: val_sh@rpatyphoon.ru