

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физ.-мат. наук Глазунова А.В. на диссертацию
Струнина Александра Михайловича
«Спектральная структура турбулентности и турбулентных потоков в конвективных
облаках тропической зоны по данным самолетных измерений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Диссертация Струнина Александра Михайловича посвящена исследованию спектральных свойств турбулентности в конвективных облаках на основе анализа данных самолетных измерений. Важность такого исследования обусловлена необходимостью параметрического описания мелкомасштабных процессов в прогностических и климатических численных моделях циркуляции атмосферы, которое осложнено относительно небольшим количеством фактических данных при интенсивной влажной конвекции. Спектральная структура флуктуаций скорости, температуры и влажности, а также спектральные характеристики турбулентных потоков представляют особый интерес, поскольку сведения о характерных пространственных масштабах флуктуаций в облачном слое являются одними из ключевых при построении моделей турбулентного обмена в конвективном пограничном слое атмосферы, моделей радиационного баланса в облаках и моделей мелкой и проникающей конвекции.

Целью данной диссертации являлось выявление особенностей спектральных характеристик турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры, турбулентных потоков тепла и импульса в конвективных облаках тропической зоны, классификация полученных данных и получение универсальных функций, описывающих спектральную структуру турбулентности.

Для достижения данной цели автору необходимо было решить ряд задач, таких как: коррекция измеренных данных с учетом погрешностей аппаратуры и с учетом особенностей методов измерений при наличии капельной влаги; выбор, реализация и проверка методов статистической обработки данных; выявление общих закономерностей и формулировка критериев классификации различных режимов циркуляции в облачном слое.

Диссертация состоит из пяти глав, первая из которых – введение, а пятая – заключение.

В первой главе (введении) приводится обзор литературы по имеющимся экспериментальным данным о турбулентности в облаках вертикального развития, методах измерения турбулентности с помощью самолета-лаборатории и методах спектрального анализа атмосферной турбулентности. Описывается метод спектрального анализа с применением вейвлет-преобразования и аргументируется выбор такого метода применительно к имеющимся данным. Обосновывается актуальность исследования. В частности, отмечается, что количество данных о воздушных движениях в конвективных облаках невелико, а экспериментальные сведения о спектральной структуре турбулентных потоков тепла и импульса в литературе практически отсутствуют.

Во второй главе излагаются цели диссертационной работы и формулируются задачи исследования.

В третьей главе приводится описание российско-кубинского самолетного эксперимента по исследованию конвективных облаков над о. Куба в августе – октябре 2007 г., данные

которого были использованы в настоящей диссертационной работе. Описана аппаратура на борту самолета и методы обработки информации.

В четвертой главе приводятся результаты анализа данных о турбулентности и турбулентных потоках в облаках конвективного развития тропической зоны.

Предложен и описан метод коррекции данных измерения температуры с учетом влияния жидко-капельной водности на показания прибора. Описан метод классификации данных с учетом стадии развития облачности. Вычисляются и приводятся спектры и коспектры флуктуаций скорости и температуры. Выделены три стадии развития облачности и показано, что при сортировке данных по этим стадиям удастся сгруппировать нормированные спектры и коспектры и аппроксимировать их общими безразмерными функциями с небольшим количеством параметров.

В заключении (пятая глава) перечислены результаты диссертационной работы и приведен список публикаций автора.

Научные положения и выводы диссертационной работы **обоснованы**. Они базируются на результатах высокоточных измерений и не противоречат основным теоретическим сведениям о природе турбулентности и результатам натурных измерений в облаках других авторов.

Достоверность результатов диссертационной работы (они должным образом отражены в автореферате и опубликованных статьях) не вызывает сомнения. Основные положения диссертации **опубликованы** в реферируемых журналах и **докладывались** на международных и всероссийских семинарах и конференциях.

В работе предложен **новый** метод определения истинной температуры воздуха и ее пульсаций в облаках с жидко-капельной фракцией. **Впервые** выявлена зависимость спектральных характеристик турбулентных пульсаций скорости ветра и температуры и турбулентных потоков в конвективных облаках от стадии их развития и **предложены** функции, аппроксимирующие коспектры 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.

Замечания к работе

- 1) Замечание по структуре работы: цели и задачи работы выделены в отдельную вторую главу, которая имеет непропорционально малый объем по сравнению с остальными главами (всего одна страница текста). С точки зрения оппонента, было бы естественно включить этот материал во введение.
- 2) Материал в разделе 1.2 изложен нечетко. Например, на стр.27 автор пишет «...где u , v – текущие компоненты скорости ветра относительно направления среднего ветра, w - вертикальная компонента скорости ветра, \underline{u} , \underline{v} , \underline{w} – средняя величины компонент скорости ветра...» Неясно, что такое текущие компоненты скорости ветра относительно направления среднего ветра? Как определяется средний ветер? Далее на странице: непонятен смысл неравенств $u' \ll u$, $v' \ll v$, $w' \ll w$ – как быть с тем случаем, если, например, $\underline{v} < 0$?
- 3) На стр.43 автор пишет: «Однако, как было показано, функция Морле могла быть успешно применена для анализа именно атмосферной турбулентности)». Почему

«именно атмосферной турбулентности», а не какой-либо другой? Где и кем было показано? Необходима ссылка.

- 4) Опечатка на стр. 43: «...набор скользящих фильтров (формула 1.2.12)...» - формула (1.2.12) в тексте диссертации отсутствует.
- 5) На стр. 59 автор пишет: «...был создан специальный комплекс программ, реализующих вычисления в соответствии с формулами (3.2.1 – 3.2.8). По мнению оппонента, не следует называть «комплексом программ» вычисление нескольких алгебраических выражений.
- 6) Описание структуры полученных компьютерных данных (стр.60-61) было бы правильнее перенести в приложение к главе 4, так как это изложение отклоняется от физической и математической сути исследования.
- 7) На стр. 68 автор пишет «В частности, **турбулентный поток тепла в атмосфере всегда направлен из более теплой области в более холодную**». Для турбулентной конвекции данное утверждение не всегда соответствует действительности. Например, для верхней части пограничного слоя атмосферы известен противогradientный перенос тепла по вертикали, связанный с нелокальными процессами (Deardorff J.W., JAS, 23, 1966, Deardorff J.W. JGR, 77,1972, Holtslag, A.A., and C.-H. Moeng, JAS, 48, 1991) Ненулевой горизонтальный поток $F_x = \langle u'T' \rangle$ существует (при наличии градиентов скорости и температуры по вертикали) даже в горизонтально-однородном пограничном слое, положителен (направлен по ветру) для устойчивой стратификации и отрицателен (направлен против ветра) при неустойчивой стратификации. Этот поток **сравним по величине с вертикальным потоком тепла** $\langle w'T' \rangle$. Дивергенция потока F_x равна нулю, поэтому, чаще всего, им пренебрегают. Иногда, этот второй момент учитывается при построении замыканий высокого порядка (см., например, Zilitinkevich et al. BLM, 2012). Предложенный в диссертации метод определения поправочного коэффициента «влияния водности» k_w основан на предположении о gradientном переносе тепла по горизонтали. Считаю, что в работе следовало четко определить условия, при которых данное предположение справедливо, и проверить их выполнение для облачного слоя. **Данное замечание является основным концептуальным замечанием к диссертации.**
- 8) На стр. 80 соотношения (4.4.11) и (4.4.12) получены для пограничного слоя атмосферы в работе [35]. Для облаков, где вид спектров может существенно отличаться, эти соотношения должны были быть проверены на имеющихся данных.
- 9) Не очень четко изложен материал в разделе 4.4.4. Автор пишет «...разделение турбулентных движений по стадиям развития облаков было проведено по коспектрам потоков тепла...» Выше указывалось, что режимы сортировались в зависимости от разницы температур в облаке и вне него.
- 10) На стр.106 безразмерные коспектры аппроксимируются некоторыми сглаживающими функциями (выражение 4.4.13). Имеет ли вид этих функций какое-либо физическое обоснование?
- 11) На стр. 115, из соотношения для одномерных спектров $S_{11}(k_1)/S_{33}(k_1)=4/3$ в инерционном интервале локально-изотропной трехмерной турбулентности не следует, что полные СКО вертикальной и продольной компонент скорости соотносятся как $\sigma_w/\sigma_u=1.15$.
- 12) На стр.120 (формула 4.4.20) необходимо описать или указать способ измерения или оценки скорости диссипации турбулентной энергии. Если диссипация оценивалась по спектрам согласно выражению (1.1.1), то необходимо пояснить из какого источника автор получил значение коэффициента $\alpha_w=35,29$. Указанное значение сильно отличается от оценки $\alpha_w=(4/3C_K)^{-3/2}\sim 1,5$ (при значении «постоянной Колмогорова» $C_K\sim 0,57$).

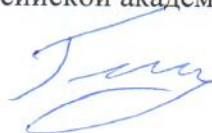
Заключение

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что в целом диссертационная работа может оцениваться положительно. Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на уровне, соответствующем требованиям к квалификационным работам. Диссертация опирается на подробный обзор зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования. Результаты, полученные в диссертации, являются новыми и могут быть использованы при построении и проверке моделей физических процессов в конвективных облаках.

Выносимая на защиту работа Струнина Александра Михайловича «Спектральная структура турбулентности и турбулентных потоков в конвективных облаках тропической зоны по данным самолетных измерений» удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики Российской академии наук (ИВМ РАН)

199991, Москва, ул. Губкина, д. 8, ИВМ РАН
тел. +7-495-984-81-20(39-22)
e-mail: glazunov@inm.ras.ru

 д.ф.-м.н. А.В. Глазунов

«Подпись руки А.В. Глазунова заверяю»
Ученый секретарь ИВМ РАН



д.ф.-м.н. Шутяев В.П.

« 14 » 09 2015