

## **ОТЗЫВ**

**на автореферат диссертации Люлюкина Василия Сергеевича  
«Параметры и структура волн Кельвина-Гельмгольца  
в атмосферном пограничном слое по данным содарного зондирования»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы»**

Диссертационная работа Василия Сергеевича Люлюкина посвящена экспериментальному исследованию волновых движений в атмосферном пограничном слое (АПС). Эти волновые процессы связаны с генерацией турбулентности, изменением ее кинетической и доступной потенциальной энергии, скоростей диссипации. Понимание механизмов этих связей необходимо для развития численных моделей пограничного слоя, развития систем и методов дистанционного мониторинга, в том числе, мониторинга атмосферных загрязнений. По этим причинам актуальность работы не вызывает сомнения.

В силу нелинейности процессов генерации, распространения и распада разных типов волн и вихрей, до сих пор не существует их вероятностной параметризации и количественных оценок влияния сдвигово-гравитационных волн (ВСГВ) на интенсивность турбулентного перемешивания и тепломассообмена в АПС. Основная масса публикаций по этой тематике посвящена простым эмпирическим статистическим расчетам или численному гидродинамическому моделированию характеристик отдельных волн. Результаты численного моделирования часто сравниваются с натурными экспериментальными данными лишь на качественном уровне. Одной из причин такого положения является скудность и фрагментарность существующих экспериментальных данных о свойствах и параметрах волн турбулентного перемешивания, не укладывающихся в гипотезу о стационарности, однородности и изотропности.

Автором разработана методика регистрации и систематизации типов волновых движений по измерениям интенсивности рассеяния звука на турбулентных неоднородностях с помощью акустических локаторов - содаров. Им разработаны критерии идентификации ВСГВ на содарных эхограммах, проанализирован весь массив полученных данных и создан архив зарегистрированных эпизодов таких волн. Показано, что ВСГВ



неорографического происхождения являются присущим свойством устойчиво-стратифицированного АПС при достаточной средней скорости ветра (и наличии сдвига скорости). Причиной их возникновения является доступная потенциальная энергия сдвига средней скорости ветра в низкоуровневых струйных течениях, образующихся в устойчиво-стратифицированных слоях. Автором изучена статистика пространственно-временных параметров ВСГВ по круглогодичным наблюдениям на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы. По синхронным наблюдениям в пространственно-разнесенных пунктах зондирования получены оценки горизонтальной протяженности цугов ВСГВ. Исследована связь возникновения этих волн с синоптической ситуацией. Автор принимал непосредственное участие в многолетних непрерывных круглосуточных измерениях параметров АПС в 3-х пунктах сети содарного мониторинга в Московском регионе, а также провел краткосрочные измерения в нескольких экспедициях в равнинной и орографически неоднородной местности. Наконец, автором был разработан метод композитного анализа внутреннего строения ВСГВ, с помощью которого показана вихревая структура возмущений скорости ветра в таких волнах.

Конечно, следует отметить, что автором не разрабатываются новые теоретические подходы и не обосновывается необходимость описания изменяющихся во времени и пространстве свойств турбулентного перемешивания в АПС. В отличие от классических волн Кельвина-Гельмгольца, волн плотности и скорости на границе раздела двух сплошных сред, в содарных измерениях фиксируются волны структурного параметра  $C_T^2$ , которые связаны с волнами скорости диссипации и, опосредованно, с волнами кинетической и потенциально доступной (свободной) энергии турбулентности. Автором не анализируются и проблемы точности (ошибок) проводимых измерений. Так формула (1) в автореферате, например, не учитывает флуктуаций влажности, а все эхограммы в работе приводятся в локальной высоте над точкой измерений, то есть не учитывают разную высоту расположения содаров над поверхностью в трех точках измерений в Московском регионе. Ничего не сказано в автореферате и о флуктуациях скоростей в верхней части АПС на рис. 3 и 4, доверительном интервале измерения скоростей на этих высотах. Не упоминается в работе и о трехмерной структуре поля скорости ветра, хотя антенны содара по отношению к среднему потоку могут быть ориентированы произвольным образом. Из работы не ясно, например, как может быть связана



спиральность течений в пограничном слое с характеристиками наблюдаемых волн. К сожалению, в проведенных исследованиях использовались данные только одного прибора дистанционного зондирования – содара. В то же время, в точках наблюдений имелись и другие приборы: измерители высокочастотных пульсаций — акустические анемометры и температурные профилемеры. Было бы полезно сопоставить период волн с вертикальным градиентом температуры, а также исследовать влияние ВСГВ на поведение спектра мелкомасштабной турбулентности в нижней части АПС. По-видимому, какая-то часть из этих вопросов может быть решена в дальнейших исследованиях.

Автореферат работы соответствует требованиям ВАК. Диссертационная работа В.С. Люлюкина соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор Люлюкин В.С. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Доцент кафедры физики атмосферы  
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,  
к.ф.-м.н. (25.00.29 - «Физика атмосферы и гидросферы»)

Юшков Владислав Пролетарьевич

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Дом 1, строение 2

Телефон: +7 495 939-15-41

E-Mail: yushkov@phys.msu.ru

Я, Юшков Владислав Пролетарьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись В.П. Юшкова удостоверяю

Учёный секретарь,

д. ф.-м. н., профессор,



 / В.А.Караваев /

« 15 » января 2019 г.