

## Отзыв

**Научного руководителя на диссертацию В.С. Люлюкина «Параметры и структура волн Кельвина-Гельмгольца в атмосферном пограничном слое по данным содарного зондирования», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы»**

Разработка численных моделей для предсказания погодных условий и атмосферных явлений требует параметризации характеристик атмосферного пограничного слоя (АПС), играющего ключевую роль в процессах тепло- и массообмена. Проблема параметризации термически устойчивого АПС, для которого характерны волновые движения, пока далека от своего решения. Для определения степени воздействия внутренних гравитационных волн (ВГВ) на перемешивание в устойчивом АПС и понимания механизмов такого воздействия необходимы экспериментальные исследования. Наиболее распространенные измерения квази-периодических колебаний атмосферного давления микробарографами не дают сведений о высоте расположения волнообразных слоев и поэтому не могли служить основным методом исследования волн в АПС. Визуализация волн в АПС и достоверная оценка их параметров стала возможной с развитием локационных средств дистанционного зондирования ясного неба, таких как содары, радары и лидары. Однако, до последнего времени с помощью этих средств пакеты волн в АПС наблюдались лишь эпизодически, и не было систематизированных данных об их свойствах и характеристиках.

В диссертационной работе В.С. Люлюкина впервые были проведены статистические исследования параметров ВГВ на основе многолетнего непрерывного круглосуточного содарного зондирования АПС в Московском регионе, а также экспедиционных содарных измерений в других регионах. Диссертантом обосновано, что внутренние гравитационные волны являются неотъемлемым свойством АПС и повсеместно существуют в приземных и приподнятых инверсионных слоях, а относительная редкость их регистрации связана с недостаточной разрешающей способностью серийных содаров. Предпринятое диссертантом двукратное улучшение высотного и временного разрешения аппаратуры привело к десятикратному увеличению количества наблюдавшихся эпизодов волновой активности.

Диссертантом обнаружено, что в отличие от горных регионов, где издавна регистрировались волны плавучести орографического происхождения, в однородной и слабо-неоднородной равнинной местности в основном наблюдаются гравитационно-сдвиговые волны типа волн Кельвина-Гельмгольца (ВКГ). Их происхождение связано с вертикальными сдвигами скорости ветра в низкоуровневых струйных течениях, сопровождающих температурные инверсии в АПС. В диссертации приведена обширная статистика параметров ВКГ. Путем многопозиционных содарных измерений получены оценки горизонтальной протяженности волновых пакетов. Предложенный диссертантом метод композитного анализа волновых движений наглядно продемонстрировал завихренность возмущений скорости течения в волне.

Разработанные В.С. Люлюкиным методы исследований волновой активности и полученные им результаты будут способствовать пониманию роли волновых процессов в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое и прогрессу в его параметризации.



Соискатель работал по теме диссертации в течение 3-х лет аспирантуры, и еще 4 года в качестве инженера-исследователя, а затем младшего научного сотрудника ИФА им. А.М. Обухова РАН. Он имеет престижное радиофизическое образование (кафедра электроники физического факультета МГУ). Это позволило ему быстро освоиться с теорией и техникой наземного дистанционного акустического зондирования, а также принять деятельное участие в модернизации современных компьютеризированных звуковых локаторов (содаров), созданных в ИФА РАН, и в разработке их математического обеспечения для решения специфических задач обнаружения и исследования внутренних гравитационных волн. В то же время, В.С. Люлюкин приобрел необходимые знания в области физики атмосферы. Он прошел обучение на Европейских курсах по атмосфере в г. Гренобле (ERCA-2013), проводил содарные и сопутствующие измерения в 5-ти комплексных экспедициях ИФА РАН, руководил одним молодежным проектом РФФИ и являлся исполнителем 3-х инициативных проектов РФФИ по исследованиям атмосферного пограничного слоя.

Результаты своей работы В.С. Люлюкин лично докладывал на нескольких Всероссийских и Международных школах молодых ученых и на 4-х зарубежных Международных симпозиумах. Имеет 5 публикаций в рецензируемых научных журналах, одну главу в книге и многочисленные публикации тезисов докладов на конференциях. Таким образом, В.С. Люлюкин является самостоятельным экспериментатором, опытным специалистом по технике эксперимента, научному программированию, обработке данных измерений и статистической обработке больших массивов данных.

С учетом высокого научного уровня выполненных исследований и их соответствия требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, считаю, что диссертация В.С. Люлюкина является законченной научно-квалификационной работой и может быть представлена к защите.

Научный руководитель:  
доктор физ.-мат. наук, профессор,  
главный научный сотрудник  
ИФА им. А.М. Обухова РАН,



М.А. Каллистратова