

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Дебольского А.В. «Турбулентный обмен в пограничном слое атмосферы: параметризации на основе вихреразрешающих и осредненных по Рейнольдсу моделей», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

Как следует из реферата, целью диссертационной работы А.В. Дебольского является аналитический обзор и анализ методов описания динамики конвективного и устойчиво-стратифицированного атмосферных пограничных слоев атмосферы, их валидация на основе результатов многочисленных численных экспериментов, выполненных с помощью вихреразрешающих моделей АПС (LES моделей, разработанных в НИВЦМГУ и ИВМРАН) и, как результат, разработка параметризаций турбулентного обмена для крупномасштабных моделей общей циркуляции атмосферы, в частности для модели Земной системы (МЗС ИВМ РАН). Таким образом автором диссертационной работы была поставлена и успешно решена задача с достаточной степенью адекватности совместить результаты исследований в области физики пограничного слоя атмосферы с проблемами вычислительной математики, связанными с недостаточным для воспроизведения тонких пограничных слоев сеточным разрешением по вертикали, характерным для глобальных моделей типа МЗС. Действительно, использование более точных и физически обоснованных схем описания физических процессов в АПС, базирующихся на результатах Large-Eddy Simulation (LES), дает надежду на улучшение прогнозов погоды и климата. Однако, проблемы необходимых вычислительных ресурсов и машинного времени обуславливают задачу выбора оптимальных параметризаций, которые лучше и быстрее работают в совместном режиме с другими блоками прогностических моделей.

Интегральная модель конвективного пограничного слоя, основанная на осредненных по высоте уравнениях притока тепла и баланса кинетической энергии турбулентности (КЭТ) кратко описана во второй главе. Для получения эволюционного уравнения для коэффициента вовлечения используется интегральное уравнение баланса КЭТ и теория самоподобия Дирдорффа. Представляет интерес временной ход обезразмеренного интеграла КЭТ в зависимости от выбора интегральных масштабов для нормировки, приведенный на рис.2. К сожалению, объем и стиль изложения, присущий авторефератам, не позволяет подробно проанализировать приеденный на рисунке временной ход интеграла КЭТ в зависимости от выбора интегральных масштабов, так и оценить надежность выводов, приведенных в разделе 2.3, носящих во многом декларативный характер.

Третья глава посвящена исследованию замыканий первого порядка при моделировании устойчиво стратифицированного АПС. Проанализировано 7 функций устойчивости, используемых в одномерных моделях устойчиво стратифицированного АПС и их зависимость от градиентного числа Ричардсона. Показано, что наилучшее согласие с результатами LES имеет место при использовании функции Бузингера-Дайера. Представляют интерес представленные на рис. 4 профили относительной ошибки потоков тепла и импульса в пределах АПС для различных интегральных

функций устойчивости относительно потоков у поверхности, рассчитанных по данным LES и выполненный на его основе анализ. В частности представляется важным вывод о том, что для очень устойчивых АПС модели, основанные на линейных безразмерных градиентах скорости дают стремящиеся к нулю потоки при интегрировании начиная с высоты, равной половине высоты АПС, а функции с нелинейным градиентом скорости, основанные на эмпирических данных, только при достижении $z/h \sim 1$. Последнее может дать положительный эффект при использовании в моделях климата и прогноза погоды с грубым разрешением по высоте, уменьшая вероятность декаплинга АПС от подстилающей поверхности в случае сильно устойчивого АПС. Минусом использования таких функций (CB05, L79) в том, что они сильно переоценивают потоки вблизи подстилающей поверхности.

Четвертая глава посвящена внедрению новых замыканий первого порядка в МЗС ИВМ РАН и исследованию их влияния на воспроизведение моделью современного климата. К сожалению, из автореферата неясно, какие именно новые функции устойчивости EB (вероятно, это русифицированное сокращение от Esau I. N., Byrkjedal), основанные на данных LES [28], «которые не приводят к чрезмерному перемешиванию и следуют правильному асимптотическому поведению, получаемому в теории и численных экспериментах при очень устойчивой стратификации», разработаны доктором физико-математических наук, доктором технических наук, профессором Биркедалом И.Н. на основе многочисленных LES экспериментов по воспроизведению устойчивого АПС, в подразделе 4.3.1 описана возможность и выполнена оптимизация констант на расширенном наборе LES-данных, необходимая для улучшения результатов моделирования. Для оценки адекватности воспроизведения устойчивого АПС автором докторской диссертации были выполнены дополнительные численные эксперименты, перекрывающие возможный интервал интегральной устойчивости.

В заключительных подразделах приведены результаты использования параметризаций, предложенных автором в численных экспериментах по воспроизведению современного климата моделью МЗС ИВМ РАН, показавшие, при сопоставлении с данными реанализа ERA-5, существенное улучшение ряда характеристик полярной атмосферы в модифицированной версии модели.

В качестве замечаний можно отметить противоречащее ранее сказанному последнее предложение четвертого раздела: «Однако, эксперименты с дополнительно оптимизированными параметрами замыкания, не показывают значимого улучшения относительно версии модели с оригинальными константами». Кроме этого, по субъективному мнению автора отзыва известным недостатком докторской диссертации является, насколько можно судить по автореферату, отсутствие каких-либо сравнений с данными натурных наблюдений. Даже сравнение с данными реанализа ERA-5 – это тоже сравнение с модельными результатами, часто, по крайней мере в полярных районах, недостаточно корректно описывающими реальные метеорологические условия. Имеет место ряд погрешностей редакционного характера. Например, в подрисунковой подписи рис.6 указано «Средняя ошибка относительно ERA5 для INMCM (слева) и INMCM+EB (справа, так в тексте) в поле приземной температуры». В тоже время эти два рисунка расположены друг под другом.

Однако, указанные замечания не принципиальны и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертационной работы. Автором диссертационной работы Дебольским А.В.была поставлена и успешно решена задача с достаточной степенью адекватности совместить результаты многочисленных исследований в области физики пограничного слоя атмосферы с задачами вычислительной математики. связанными с недостаточным для воспроизведения тонких пограничных слоев сеточным разрешением по вертикали, характерным для глобальных моделей типа МЗС. Следует особо отметить, что разработанная диссертантом тема и полученные им результаты представляет интерес не только для практического использования при совершенствовании крупномасштабных моделей прогноза и климата, но и для научных исследователей и будущих метеорологов, изучающих динамику атмосферных мезомасштабных процессов.

Автореферат диссертации написан на высоком научном уровне. В нем достаточно подробно излагается основное содержание диссертации, что позволяет с уверенностью утверждать, что она соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, а ее автор Дебольский Андрей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

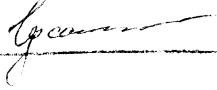
Д. ф.-м. н., с.н.с.,
главный научный сотрудник отдела
взаимодействия атмосферы и океана
Арктического и антарктического
научно-исследовательского института



Макштас Александр Петрович

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ФГБУ
"ААНИИ"), Россия, 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38, литер A. www.aari.ru,
aaricoop @ aari.ru, (812)337-3123

Подпись Макштаса А.П. заверяю

| | |
|---|--------------|
| ПОДПИСЬ(И) | А.П. Макштас |
| УДОСТОВЕРЯЮ | |
| УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ААНИИ | |
|  М.А. ГУСЕКОВА | |