

ОТЗЫВ

Официального оппонента В.Н. Крупчатникова
на диссертацию

Вазаевой Натальи Викторовны

«ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО
ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ И
ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ »,

представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 25.00.29 — «Физика атмосферы и гидросферы»

Диссертация Вазаевой Натальи Викторовны посвящена решению фундаментальных проблем, связанных с изучением физических механизмов динамики атмосферы - проблем развития в атмосферном пограничном слое (АПС) различных когерентных циркуляционных структур, образованных вследствие гидродинамических неустойчивостей, в частности, широко распространенных упорядоченных спиралевидных вихрей с горизонтальной осью, направленной вдоль среднего направления геострофического ветра.

В частности, в диссертационной работе Н. В. Вазаевой решаются следующие задачи:

- исследование механизмов формирования когерентных структур в АПС, их пространственных характеристик на основе теоретического анализа, данных наблюдений и моделирования с помощью мезомасштабных моделей динамики атмосферы;
- исследование процессов переноса аэрозольных частиц мезомасштабными циркуляционными структурами в АПС;
- моделирование мезомасштабной циркуляции в районе полигонов натуральных измерений с оценкой спиральности циркуляции в АПС, оценка параметров статистических характеристик вихревых структур по данным акустического зондирования, оценка чувствительности результатов моделирования к усвоению данных акустического и микроволнового зондирования.

Актуальность тематики диссертации не вызывает сомнений.

Апробация результатов

Основные результаты работы представлены на многочисленных международных и внутренних семинарах, конференциях и симпозиумах и опубликованы в 25 печатных работах, среди них 5 работ изданы в журналах, рекомендуемых ВАК и 19 - в сборниках трудов конференций.

Охарактеризуем кратко содержание диссертации. По структуре работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении дается общая характеристика работы, здесь сформулированы и представлены:

- Основные цели работы;
- Новизна работы;
- Практическая значимость результатов диссертации;
- Личный вклад диссертанта;
- Структура диссертации;
- Результаты внедрения

В первой главе диссертации дается подробный обзор работ, посвященных проблемам формирования разномасштабных когерентных циркуляционных структур в АПС с анализом типов циркуляции, относящихся к теме диссертации. На основе данного анализа автор ставит задачи, решения которых представлены в последующих главах диссертации и предлагает методы их решения.

Во второй главе представлены результаты анализа характеристик и свойств циркуляционных структур в АПС.

Несмотря на турбулентный характер, в пограничном слое атмосферы могут формироваться когерентные вихревые циркуляционные структуры с горизонтальной осью ориентированных в направлении среднего потока. Вторичные циркуляции (боковые и вертикальные) могут быть идентифицированы как квазипараллельные линии облаков над областями восходящего потока между парами вращающихся вихрей.

Понимание механизма формирования организованных крупных вихрей в АПС и их роли в вертикальном переносе импульсов, тепла, влаги и химических микроэлементов в нижнем слое атмосферы, имеет огромное значение для моделирования динамики климата и погоды.

В этой главе изучаются механизмы формирования и развития циркуляционных структур в пограничном слое Экмана с помощью квазидвумерной мезомасштабной модели, для описания роллов (ориентированных вдоль оси X) в случае нейтральной стратификации. Дается подробная постановка задачи и анализ результатов экспериментов по моделированию роллов для типичных диапазонов высоты слоя Экмана и соответствующих чисел Рейнольдса (Re). В целом, результаты моделирования дают физически правдоподобную картину динамики роллов в зависимости от числа Re . Показано, что с ростом Re происходит развитие асимметрии продольной компоненты скорости потока, роллов (валиковых структур)

с различными знаками спиральности. Автор предполагает, что такое развитие асимметрии имеет аналоги в геофизических системах, например, таких как циклон-антициклон. Кроме того, качественное сравнение оценок величины асимметрии по результатам моделирования и по данным измерений валиковой циркуляции с помощью акустического зондирования АПС на полигоне в Калмыкии, в июле 2007 года, показало близость этих оценок. Было также получено неплохое качественное соответствие наблюдаемой циркуляции с результатами моделирования на базе мезомасштабной модели RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) с высоким горизонтальным разрешением 500 метров.

Для моделирования наблюдаемой динамики валиковой циркуляции на полигоне в Калмыкии 28 июля 2007 года (по данным измерений экспедиции ИФА РАН им. А.М. Обухова) и ее свойств переноса трассеров в АПС были использованы модели WRF-LES и WRF-ARW. Как показали численные эксперименты, особенности наблюдаемой циркуляции (асимметрия для горизонтальной скорости лежит в диапазоне 0.79 — 3.5 м/с, а для спиральности в диапазоне 0.02 – 0.033) неплохо воспроизводятся при разрешении модели от 180 до 500 м. При моделировании вихревых горизонтально ориентированных структур циркуляции обращалось внимание на их интенсивность переноса аэрозольных частиц, которая оказалась сопоставимой с интенсивностью характерной обычным вихревым структурам. Более детальное изучение этого процесса было сделано с помощью модели WRF-Chem, с химико-транспортным блоком. На базе этой модели изучался процесс переноса пылевых частиц, данные моделирования подтвердили предварительные выводы, полученные ранее на основе моделирования с помощью простых моделей, о возможном механизме переноса вихревыми структурами циркуляции, уточнили его детали и показали его особенности. В частности, эксперименты показали, что валиковая циркуляция способна образовывать аэрозольные слои протяженностью в несколько километров.

Следует сказать, турбулентная эмиссия пыли является важным механизмом, который надо учитывать в моделях. Например, над нагретой поверхностью пустыни при слабом ветре, конвективная турбулентность может быть очень развитой, создавая области повышенных напряжений сдвига, захватывая пыль в атмосферу. Этот механизм эмиссии не включает сальтацию песчаных частиц.

В работе дан интересный анализ результатов многолетних наблюдений суточных вариаций концентрации аэрозольных частиц на уровнях 0.5, 1.5 и 2.0 метра, дисперсионного состава этих частиц, структуры приземного слоя атмосферы для участков степной зоны Калмыкии для уточнения несальтационной эмиссии частиц при слабых ветрах и проведена корректировка температуры поверхности модели по данным натурных наблюдений.

Проведено исследование чувствительности относительной ошибки краткосрочного прогноза скорости и температуры потока к усвоению данных акустического и микроволнового зондирования (сонары, профиломеры, радары и др.) метеорологических полей в нижней тропосфере, в АПС на основе негидростатической модели WRF-ARW.

В заключении по 2 главе следует сказать, что получен ряд новых результатов, имеющих важное практическое применение в мезомасштабном прогнозе динамики атмосферы и химической погоды, а также теоретическое значение в области динамики когерентных структур АПС.

Третья глава посвящена исследованию спиральности скорости потока в АПС.

Спиральность, как и энергия, является квадратичным инвариантом уравнений Эйлера потока идеальной жидкости, хотя, в отличие от энергии, она является знакопеременной. Спиральность является важной физической характеристикой потока, как энергия и энтропия в трехмерной жидкости.

Спиральность имеет огромное значение для понимания турбулентных потоков, обладая рядом интересных свойств, имеющих отношение к нелинейной динамике и структуре турбулентного потока. Известно, что сильная спиральность потока препятствует передаче энергии в сторону меньших масштабов, подавляет нелинейность турбулентного потока и уменьшает диссипацию в области затухающей турбулентности и, тем самым, увеличивая цикл жизни вихревых структур. Спиральность обычно положительна в пограничном слое из-за трения. Спиральность потока в пограничном слое больше в антициклоне, чем в циклоне из-за различных ветровых структур в пограничных слоях в антициклоне и циклоне в геострофическом приближении.

В этой главе автор формулирует условия возникновения и дает оценки турбулентной спиральности. На основе анализа данных зондирования АПС, полученных на 4 различных полигонах России и в разное время, автор рассчитал пространственно - временное распределение спиральности, сравнил аналитические оценки с расчетами по модели WRF-ARW и показал, что спиральность определяется в основном горизонтальными компонентами завихренности, как это было показано ранее, например в работах Курганского М.В. и Хайда Р. в 1989 году, а интегральная спиральность оказалась близка полусумме квадратов компонент геострофического ветра (см. Курганский М.В., 1989, Чхетиани О.Г., 2001) без учета и с учетом влияния турбулентной спиральности на напряжение Рейнольдса. В диссертации дано подробное описание условий проведения измерений и методы обработки данных.

Для моделирования погодной ситуации в период проведения наблюдений на полигоне в Калмыкии, была использована негидростатическая модель динамики атмосферы WRF-ARW с двумя вложенными доменами с горизонтальным разрешением, соответственно, 1500 и 500 метров и вертикальным разрешением - 35 уровней в нижнем слое тропосферы (~ 5000 метров). Для вычисления спиральности потока, использовались компоненты скорости ветра и геопотенциал. На основе вариационного метода 3DVar, проводилось усвоение данных наблюдений (содар и др.) с целью повысить точность прогноза. Оценки интегральной спиральности, полученные по данным моделирования, сравнивались с ее значениями, полученными по данным акустического зондирования. Автор делает вывод, что оценки спиральности с учетом усвоения данных зондирования оказались более точными, чем без усвоения. В этой главе обсуждается практическое применение спиральности на примере полярных мезоциклонов (ПЦ) в 2013 г. Известно, что существуют некоторые общие черты динамики тропических и полярных циклонов (например, Rasmussen E., Turner J., 2003;

Голицин Г.С., 2008) . В работе приводятся результаты расчета интегральных характеристик ПЦ и спиральности (на основе критерия оценки через квадраты компонент геострофического ветра, о чем говорилось ранее) на основе данных реанализа и численного моделирования с помощью WRF-3.6.1. с улучшенным блоком взаимодействия атмосфера - лед - море. Анализировались данные реанализа в регионе Норвежского и Баренцева моря в период 01.03.2013-31.03.2013. Полученные результаты показывают, что локальные максимумы спиральности соответствуют локальным минимумам геопотенциала, в перед началом формирования ПЦ происходит рост спиральности (с 25.03.2013), это означает, что спиральность, как характеристика атмосферной циркуляции, имеет важный диагностический и прогностический смысл. Оценки спиральности и геопотенциала по результатам моделирования оказались близки оценкам, полученным по данным реанализа.

Четвертая глава посвящена исследованию субмезомасштабных вихревых структур циркуляции (стрики) в АПС на основе, предложенной автором, простой линеаризованной безразмерной модели стратифицированного слоя Экмана, исследованию развития оптимальных возмущений в результате неустойчивости в экмановском слое. Автор отмечает, что в работе (Чхетиани О.Г., 2005), к физическим механизмам формирования таких структур, кроме сдвиговой неустойчивости, спиральность слоя также можно отнести к источнику генерации этих структур. Разработан алгоритм выделения конвективных структур на основе данных акустического зондирования, показано, что статистические характеристики конвективных структур, полученных по данным зондирования аналогичны характеристикам, которые соответствуют распределению Рэлея.

В Заключении подробно изложены основные результаты работы.

Некоторые замечания по содержанию глав:

1. Применение мезомасштабных моделей атмосферы высокого разрешения (1км и менее), таких как RANS, WRF, WRF-CHEM, которые использовались автором, имеет ограничение, связанное с неадекватностью физических параметризаций подсеточных процессов, особенно конвекции, когда размер ячейки слишком мал для статистического подхода, конвективный перенос становится менее важным, а микрофизика становится доминирующим фактором. Кроме того, возможно нарушение симметрий, присущих системе уравнений. Примером может служить классическая схема Куо в модели RAMS глубокой конвекции. В основе этой схемы лежит предположение, что конвергенция влаги в нижнем слое пропорциональна интенсивности осадков. Интенсивность осадков инвариантна относительно группы Галилея, а конвергенция влаги не обладает этим свойством, т.е. схема Куо не обладает свойством симметрии, что может приводить к нефизическим эффектам при моделировании систем циркуляции в атмосфере.
2. Система усвоения данных для конвективно-разрешающих моделей и система усвоения химических данных нуждается в существенном улучшении для детерминированных и ансамблевых прогнозов на конвективном масштабе, в частности параметров, связанных с

облаком и осадками, где следует учесть, что плотность распределения вероятности ошибок более негауссовы и мультимодальны на конвективном масштабе.

Совместные модели химии и метеорологии представляют собой модели динамики атмосферы с химико-транспортным блоком (например, WRF-CHEM, COSMO-ART), которые совместно моделируют метеорологические и химические процессы. Они дают возможность ассимилировать как метеорологические, так и химические данные; однако, усвоение данных в этих моделях имеет серьезное ограничение до настоящего времени из-за возможностей самой модели, редкой сети наблюдений и краевых условий на границах области - эмиссия и перенос химических трассеров.

Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что кандидатская диссертация Вазаевой Натальи Викторовны является законченной научно-исследовательской работой, выполнена на современном научном уровне, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 — «Физика атмосферы и гидросферы».

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Д.ф.-м.н.

В.Н. Крупчатников

ФГБУ

01.12.2018

«СибНИГМИ»

Подпись В.Н. Крупчатникова удостоверяю,
Ученый Секретарь ФГБУ «СибНИГМИ»

Директор ФГБУ «СибНИГМИ»



Адрес места работы: 630099, Новосибирск, ул. Советская 30

Рабочий телефон: 8 (383)-222-2530, сот. 7-913-921-5499

E-mail: vkрупчатnikov@yandex.ru

Я, Крупчатников Владимир Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного Совета и их дальнейшую обработку.