

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Санкт-Петербургского

Государственного Университета

Апионов С.В.

« 17 » мая 2017 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Кондове Альфред Лоуренсе

«ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ  
ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ АФРИКИ (НА ПРИМЕРЕ  
ТАНЗАНИИ)»,

на соискание учёной степени кандидата географических наук по  
специальности

25.00.30 – «Метеорология, климатология и агрометеорология»

### Актуальность темы

Прогноз погоды и особенно осадков был и остаётся одной из самых сложных и важных метеорологических проблем в мировой метеорологии и особенно для гидрометеорологических служб стран Африки, где частые и не предсказываемые метеорологические засухи оказывают существенное влияние на сельское хозяйство, препятствуют экономическому развитию и создают постоянные угрозы жизни населения. В последние годы надежды на

улучшение качества прогноза осадков в этом районе связаны именно с гидродинамическим моделированием. Сказанное позволяет считать диссертационную работу Кондове А.Л. актуальной.

### **Анализ содержания работы**

Работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Во введении указывается основная цель работы – это создание на основе мезомасштабной гидродинамической модели WRF гидродинамической системы моделирования, позволяющей повысить качество кратко- и среднесрочных прогнозов осадков в Восточной Африке. Это очень достойная цель, тем более, что Гидрометслужбы стран Африки сильно нуждаются в гидродинамических моделях атмосферы, но исследований там практически не ведётся. Создать гидродинамическую модель одному «с нуля» сегодня невозможно. Даже если над созданием модели работает целый коллектив, то процесс очень сложен, длителен и не всегда гарантирован хороший результат. Поэтому сегодня метеорологические службы стран, где отсутствуют давние наработки по гидродинамическому моделированию атмосферных процессов, вступают в метеорологические консорциумы или адаптируют, находящиеся в открытом доступе гидродинамические модели. В настоящее время модель WRF (Weather Research and Forecasting model) является, вероятно, наиболее популярной из свободно распространяемых. Эта система численного прогноза погоды, создана весьма квалифицированными исследователями NCAR, NOAA, NCEP. У модели WRF имеется большой набор возможных конфигураций для настройки пользователем, обширное сообщество зарегистрированных пользователей и постоянно действующая техническая поддержка. Это делает модель удобной для применения по всему миру и обеспечивает сравнимость результатов различных исследований. Однако адаптация WRF к новым регионам всегда является серьёзной научно-практической проблемой. Именно эта проблема и решена в диссертационной работе Кондове А.Л.



Первая глава посвящена анализу современного состояния вопроса о результативности использования модели WRF с различными наборами параметризаций, а также исследованию пространственно-временных закономерностей распределения осадков на исследуемой территории. По результатам кластерного районирования наблюдений за осадками на более, чем ста метеорологических станциях и постах установлено, что территорию Танзании можно разделить на четыре региона – восточной, северо-западной, южной и южный высокогорный, отличающихся количеством и длительностью влажных периодов, а также средним количеством осадков и их изменчивостью. Результаты кластеризации близки к принятому делению территории Танзании на региональные климатические области. В дальнейшем оценка качества прогнозов осадков проведена с учётом установленного деления территории

Вторая глава в основном посвящена описанию модели WRF и конкретным особенностям её применения в Танзанийском метеорологическом агентстве. Сведения о модели приведены в самой краткой форме ввиду её широкой распространённости. Несколько больше места отведено описанию параметризаций основных подсеточных явлений.

Третья глава посвящена выбору наилучшей параметризации физических процессов, определяющих наличие и количество осадков, и описанию оценки качества прогноза осадков. Был проведён большой объём численных экспериментов по выбору схемы параметризации конвекции и выбору наилучшей пары параметризаций конвекции и микрофизики. Сравнение производилось со спутниковыми данными об осадках для всего земного шара с разрешением 25 км по данным наблюдений Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Результаты при использовании всех комбинаций параметризаций согласовываются между собой и с данными TRMM в том, что много осадков на побережье Индийского океана. В целом, сделанные автором работы выводы представляются правильными, хотя есть некоторые замечания по организации оценки численных экспериментов.

В четвертой главе описаны численные эксперименты по созданию прогностического ансамбля моделей. Результат этой главы можно считать негативным, т.к. автору не удалось создать ансамбль из вариантов модели WRF с разными параметризациями конвекции и микрофизики, по которому можно создать прогноз более успешный, чем в случае использования одного лучшего варианта параметризаций. Несколько удивляют проведённые автором эксперименты по прогнозу осадков на 144 часа, когда известно, что и на 48 часов прогноз осадков далеко не всегда бывает удачным, а при прогнозе на 144 часа следовало бы сначала убедиться в том, что правильно прогнозируются барическое и термическое поля. Представляется более логичным создавать ансамбль из реализаций одной и той же версии модели, но с внесением контролируемых ошибок в начальное поле.

В пятой главе показано, как можно уточнить прогноз, используя имеющиеся данные наблюдений и применяя фильтр Калмана. Качество прогноза осадков оценивалось путём сравнения результатов моделирования с применением фильтрации и без применения и данных наблюдений. Показано, что применение фильтра улучшает прогноз осадков. Это важный и полезный результат. Хотя автор указывает, что это для одного из лучших способов параметризации является следствием систематической ошибки прогноза по модели.

В заключении перечислены основные результаты работы.

### **Конкретное личное участие автора в получении результатов диссертации**

Все приведённые в диссертации результаты получены либо лично автором, либо выполнены в соавторстве, причём диссертант являлся основным исполнителем в творческом коллективе. Следует признать работу Кондове А.Л. самостоятельным исследованием.

### **Степень достоверности результатов проведённых исследований**

Работа опирается на многократно проверенную в различных условиях компьютерную модель численного прогноза WRF. Все коррективы к модели



вносились в допустимых разработчиками пределах. Все оценки результатов экспериментов проведены с применением статистических методов и математических расчётов, на базе аргументированных исходных положений, с помощью непротиворечивых рассуждений и корректного использования математического аппарата. На этом основании можно считать их достоверными.

### **Оценка новизны и практической значимости**

В качестве новых научных результатов диссертантом выдвинуты следующие положения:

1. На основании анализа данных наблюдений выделены четыре географических района Танзании с подобными режимами атмосферных осадков. Эти результаты могут быть использованы для создания отдельных прогностических комплексов для каждого региона.

2. Проведена адаптация к региону Восточной Африки мезомасштабной гидродинамической модели WRF, показано, что с помощью расчёта по этой модели можно правильно воспроизвести поля давления и геопотенциала, а также температуры воздуха на исследуемой территории.

3. Выделен оптимальный набор комбинации параметризаций, позволяющий описывать физические процессы, приводящие к выпадению осадков на территории Восточной Африке.

4. Построена система ансамблевого прогноза на основе различных схем параметризации физических процессов и применён метод диаграмм Талаграна для оценки качества ансамбля.

5. Построена система коррекции результатов гидродинамического прогноза осадков на основе фильтрации Калмана.

6. Созданная система гидродинамического прогноза осадков, которая частично уже внедрена в оперативную практику Танзанийского метеорологического агентства.

### Замечания по диссертационной работе

Не смотря на общую положительную оценку работы, следует высказать ряд замечаний.

1. Не подробно описана применяемая процедура кластерного анализа. Это затрудняет оценку достоверности результатов кластеризации

2. Во второй главе следовало бы подробнее описать те параметризации, которые были применены в работе с осадками. Даже если не приводить уравнений, то следовало привести сведения о сильных и слабых сторонах этих параметризаций.

3. Для оценки прогноза следовало бы использовать ещё и качественные, индексные оценки, например, рекомендуемые в отчете ВМО о проверке прогнозов осадков – The spatial verification approach: the Method for Object-Based Diagnostic Evaluation (MODE) by the NCAR, 2008.

4. Приведена таблица разностей высот модельного и реального рельефа, но помещённые в таблице 2.2 данные об ошибках прогноза нельзя считать маленькими. Не понятно, что было взято в качестве «фактических полей».

5. На странице 52 "эта методика была использована при оценке и давление, температура и осадки" и был сделан следующий вывод: "давление прогнозируется моделью с высокой точностью, так как относительная ошибка прогноза на всех регионах минимальна и составляет 0,04 – 0,8 %.". Необходимо более чётко объяснить сделанный вывод.

6. Попадаются орфографические ошибки и некоторые неточности. Например, «двухметровая суточная средняя температура».

7. Были проведены расчёты по модели (по температуре и давлению) сначала с 3-мя вложениями областями и затем с 2-мя. Не совсем понятно, как учитывалось влияние сеток друг на друга. Вопрос возник, поскольку по результатам анализа температуры и давления решили использовать только один домен 5 км для дальнейшего моделирования поле осадков (!) и этот вывод не очень обоснован.



8. Представляется, что вместо сравнения точных значений модельных и фактических осадков, лучше было бы сравнивать градации (слабые, умеренные, сильные). Также представляется не достаточно убедительной верификация модели по одной станции Дар-ас-салам. Не указано, попадала ли эта станция точно в узел сетки или была использована интерполяция. Поэтому вывод о том, что «осадки экстремальной интенсивности не очень хорошо прогнозируются адаптированной гидродинамической мезомасштабной моделью WRF» представляется слабо аргументированным.

9. Данные TRMM для оценки моделей обычно не рекомендуются, т.к. имеют значительные ошибки по сравнению с данными наблюдений на станциях. Кроме того, в содержание и структура этого продукта ((Data Format Structure for 3B42), например, в 3B42.20130128.06.7.SUB.nc) входят precipitation, relativeError, HQprecipitation, IRprecipitation. Непонятно, учитывается в работе при анализе только карты precipitation или в них включена и ошибка – relativeError?

10. Вызывает сожаление, что фраза на стр. 98 «В результате анализа процессов в экваториальном регионе в рассматриваемый период, было установлено, что увеличение интенсивности осадков связано с усилением центров действия атмосферы северного полушария (Азорский и Сибирский антициклоны, Аравийский гребень), которое вызвано смещением ВЗК на юг», которая могла бы послужить основой для полноценного физико-синоптического исследования, просто повешена в тексте и никакими доказательствами не подкреплена.

11. Выводы рассеяны в тексте, хотя было бы лучше сконцентрировать их вместе в конце глав.

12. Стр.110. «Это означает, что если наблюдаемое значение осадков намного (более чем на 50 мм/сутки) отличается от прогностического, то такой член ансамбля исключается из рассмотрения.» Не понятно, как создавать такой ансамбль в условиях разработки практического прогноза, когда осадки ещё не известны.

13. В формулах фильтра Калмана матрицы  $B$ ,  $H$ ,  $Q$  описаны только словесно и не понятно, как их определял автор по имеющимся в его распоряжении массивам. При наличии систематической ошибки прогноза по модели нарушаются допущения, принятые для модели фильтра Калмана. Объяснений, показывающих допустимость метода, не приведено.

14. На стр. 128. «В данной работе были использована дисперсия измерений и моделирования в качестве ковариационной матрицы измерений и моделирования, соответственно». Т.е. эти корреляционные матрицы были диагональными?

15. На стр.132. «Для дальнейшего усиления эффекта от фильтрации Калман следует перейти к двумерному фильтру». Фраза повисает, потому что не понятно о каком именно обобщении идёт речь. Да и утверждение это не имеет никакого подкрепления.

### **Заключение**

Работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Проведённые научные исследования можно характеризовать как научно обоснованные разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач прогноза погоды. Представленные в работе исследования достоверны, приводимые рекомендации обоснованы.

Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры, подробные расчёты. Написана технически квалифицированно и аккуратно оформлена.

Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате.

Несмотря на высказанные замечания, можно заключить, что диссертация отвечает требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, ее автор Кондове Альфред Лоуренсе заслуживает присуждения учёной степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.



Отзыв составила:

кандидат географических наук, доцент кафедры климатологии и мониторинга окружающей среды

 А.Ю.Юрова

15 мая 2017 г.

Отзыв заслушан и обсуждён на семинаре кафедры климатологии и мониторинга окружающей среды 15 мая 2017 г

Председатель семинара, заведующий кафедрой климатологии и мониторинга окружающей среды, кандидат географических наук, доцент

 П.Н.Священников

Секретарь, кандидат географических наук, доцент

 Р. В. Бекряев