

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физ.-мат. наук, заведующего лабораторией моделирования регионального климата ФГБУ «ГГО» И.М.Школьника на диссертационную работу Кондове Альфред Лоуренсе «Гидродинамическое моделирование и прогноз осадков на территории Восточной Африки (на примере Танзании)», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология

**Актуальность работы.** В этом разделе приводится обоснование актуальности работы и подчеркивается важность использования современных гидродинамических моделей в задаче прогнозирования погодных явлений в регионах Восточной Африки. Акцент в исследовании сделан, в первую очередь, на составляющих гидрологического цикла, которые влияют на распространение высококонтагиозных инфекций, сказывающихся на эффективности агросектора (основе местных экономик) и энергетической безопасности.

**Цель диссертационной работы** – реализация схемы кратко- и среднесрочного прогноза для Танзании и прилегающих территорий на основе широко распространенной мезомасштабной модели WRF. Для этого автор диссертации проводит большую работу по (1) статистическому анализу данных наблюдений по осадкам на территории Танзании, (2) выбору модельной области расчетов и подготовке оптимального набора параметризаций физических процессов WRF, (3) валидации модельной климатологии в танзанийском регионе, (4) организации ансамблевых расчетов с WRF, (5) корректировке результатов модельных расчетов и (6) формулировке методики оперативного прогноза на основе WRF для региональных метеослужб.

**Научная новизна.** Впервые проведено районирование Танзании по типам режимов осадкообразования с использованием кластерного анализа, включающего разные способы определения расстояния между кластерами, и последующим синтезом результатов использования разных методик кластеризации. С привлечением WRF проведен детальный анализ основных погодообразующих процессов на исследуемой территории. Впервые выполнена оптимизация схем параметризации физических процессов для успешного описания моделью погодных режимов, типичных для Восточной Африки. Для этого региона создана система ансамблевого прогноза, включающая алгоритм коррекции численного решения по осадкам на основе фильтра Калмана.

**Практическая значимость работы** состоит, преимущественно, в подготовке и валидации методики прогноза погоды на базе высокоразрешающей гидродинамической системы и реализации универсального алгоритма коррекции ошибок предсказания метеорологических характеристик с использованием фильтра Калмана.

**Обоснованность и достоверность** полученных результатов определяется применением общепринятых статистических подходов и методов математического моделирования с привлечением данных метеорологических наблюдений. Кроме того, результаты диссертации докладывались на российских и зарубежных рабочих совещаниях и конференциях, включены в Методические указания учебных курсов.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Объем работы составляет 148 страниц и включает 32 рисунка и 24 таблицы. Список использованных источников состоит из 81 наименования российских и зарубежных авторов.

Во **Введении** обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, описывается теоретическая новизна и практическая значимость исследования, говорится о вкладе автора в работу и перечисляются основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** содержит обзорную информацию и посвящена исследованию климатологии осадков в Танзании. Описываются исследования пространственно-временного распределения осадков в этом регионе и приводится анализ ландшафтных особенностей Танзании, влияющих на региональную атмосферную циркуляцию. Полученные в этой главе результаты дают возможность лучше понять структуру выпадения осадков и определить главные факторы их формирования. На основе кластерного анализа выделяются четыре основных региона Танзании, для которых целесообразно проводить валидацию WRF.

**Вторая глава** посвящена краткому описанию используемой в данной работе мезомасштабной гидродинамической модели WRF и рассматривается вклад данного исследования в повышение качества работы метеослужб развивающихся стран Африки, в первую очередь Танзании. Описывается конфигурация WRF, обсуждаются возможности модели по представлению микрофизических свойств облачности, описанию конвекции и процессов в пограничном слое атмосферы. Анализируется качество ретроспективных прогнозов за выборочные интервалы с использованием как одноуровневого, так и многоуровневого даунскейлинга полей реанализа. Обосновывается выбор оптимального размера области расчетов и разрешения модели для территории Танзании, проводится анализ включенных в модель различных подходов к описанию ключевых параметризаций физических процессов.

**Третья глава** посвящена оценке возможностей WRF при прогнозировании осадков. Здесь автор проводит значительную работу по выбору схемы параметризации конвекции, наилучшей с точки зрения качества воспроизведения

моделью интенсивных осадков. В целом, как показывает выполненный анализ, WRF неудовлетворительно воспроизводит интенсивные осадки по данным наблюдений для Танзании. Проведено ранжирование отдельных схем параметризации конвекции и их комбинаций по качеству прогноза и количеству рассчитанных осадков. Оценивается чувствительность прогноза осадков к комбинации схем параметризации микрофизических свойств облаков, конвекции и пограничного слоя атмосферы.

**Четвертая глава** посвящена разработке такой схемы ансамблевого прогноза по WRF, которая позволяет повысить качество прогноза осадков. Ансамбль строится варьированием различных комбинаций схем параметризации физических процессов. Установлено, что построенный ансамбль не позволяет получить удовлетворительную количественную оценку осадков, но качественный прогноз экстремальных осадков оказывается приемлемым. Делается вывод о необходимости дальнейшего совершенствования структуры ансамбля и подходов к его формированию.

**В пятой главе** демонстрируются результаты применения одномерного фильтра Калмана для уточнения прогноза осадков по WRF.

**В заключении** формулируются основные результаты исследования.

Следует отметить, что диссертант провел большую работу по освоению и настройке современной прогностической модели для территории Танзании, провел с ней серию экспериментов и сделал вывод о степени пригодности модели для целей прогноза (в первую очередь осадков). По сути дела, проведенное исследование закладывает научно-методическую основу для создания современной системы прогноза в Гидрометслужбах Танзании и сопредельных стран. Вместе с тем, к представленной работе имеются замечания. Остановимся на некоторых из них:

- (1) Отметим недостаточную целостность и последовательность подходов к постановке экспериментов с WRF. Модель используется на разных этапах исследования с разными разрешениями (фигурируют разрешения 30, 39, 13, 4.3, 15 и 5 км), для разных областей и на разных временных интервалах, что нарушает методическую корректность и сказывается на преемственности анализа. Модельные погрешности приводятся для отдельных (разных) сроков и прогнозов, их оценки не обладают достаточной статистической обеспеченностью. Это затрудняет анализ систематических ошибок прогноза и сопоставление результатов, полученных на разных этапах исследования.
- (2) Важную роль в прогнозе погоды обычно играет инициализация начальных условий в атмосфере и на подстилающей поверхности. В диссертации вопросы инициализации не обсуждаются.
- (3) Среди параметризаций особое внимание в исследовании уделяется описанию микрофизических свойств облаков, конвекции и пограничного слоя атмосферы. Варьируя комбинации параметризаций, автор оценивает погрешности в описании средней (максимальной, минимальной) температуры у подстилающей поверхности и давления. Здесь неясно, посредством каких физических механизмов указанные процессы могут влиять на крупномасштабный перенос энергии и массы, особенно на малых временных интервалах.
- (4) Было бы полезным сопоставить результаты расчетов по WRF для Танзании с реанализами и расчетами по другим прогностическим системам для того же региона (например, по ансамблю глобальной модели ECMWF, имеющей разрешение 30 км). Отсутствие таких сравнений в работе несколько затрудняет понимание целесообразности использования WRF для прогнозирования погоды в указанном регионе.

Высказанные замечания не ставят под сомнение общую положительную оценку диссертационной работы и существенно не снижают ценности полученных результатов. Диссертация Кондове Альфреда Лоуренса – законченный труд, в котором получены важные научные и практические результаты. Структура диссертации выстроена логично, большая часть работы написана понятным языком.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация Кондове Альфреда Лоуренса отвечает критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям и ее автор достоин присвоения ему степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология.

Кандидат физ.-мат. наук  
Зав. лабораторией  
моделирования регионального климата  
194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д.7  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова»

И.М.Школьник

Подпись И.М.Школьника  
Заверяю  
Секретарь ученого совета ФГБУ «ГГО»



Е.Л.Махоткина