

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ «ГГО»,
доктор физ.-мат наук

В.М. Катцов



2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения
«Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»
на диссертационную работу

«Восстановление пространственной структуры осадков в районах Ирана со сложным рельефом на основе экспериментов с моделью WRF-ARW»,

представленную на соискание учёной степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

Актуальность диссертации Мадаха Мохаммада Амина обусловлена необходимостью углубленных исследований изменений и изменчивости компонентов водного баланса в ключевых экономических районах Ирана, один из которых – провинция Хузестан. Наиболее опасными явлениями для этого региона являются сильные дожди (ливни), вызывающие катастрофические наводнения. Прогноз распределения количества осадков по территории и особенно правильное описание распределения осадков по водосборам горных рек представляет особый интерес для лиц, принимающих решения. Изменения климата делают прогноз опасных осадков одной из основных проблем в области планирования водоснабжения и управления рисками наводнений, особенно в районах со сложной орографией. В этих условиях эффективным методом получения информации об осадках выступает физико-математическое моделирование погоды и климата. В исследовании автор использует современную мезомасштабную гидродинамическую модель Weather Research and Forecasting (WRF-ARW), которая применяется гидрометеорологической службой Ирана и представляет инструмент для детализированного изучения и прогнозирования изменений теплового и водного баланса в критически важных регионах.

Научная и практическая значимость. Полученные результаты показывают, что применение гидродинамической мезомасштабной модели WRF-ARW для территории со сложной орографией требует детальной настройки всех параметров и схем параметризации, оптимизации размера области расчетов и модельного разрешения. В работе показано, что за счёт детального подбора всех возможных входных характеристик модели можно достичь достаточно высокой точности моделирования осадков по территории Ирана. Например, осадки умеренной интенсивности представляется возможным воспроизвести с вероятностью 90 %. Кроме того, демонстрируется возможность реалистичного описания распределения сильных осадков по водосборам, что необходимо для прогноза паводков. В то же время слабые осадки рассчитываются моделью WRF-ARW с существенным завышением. Проведённые исследования закладывают основу для создания системы прогнозирования распределения количества сильных ливней по водосборам и вызываемых ими паводков на территории юго-западного Ирана.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и двух приложений. Полный объём диссертации составляет 136 страниц включая 28 рисунков и 18 таблиц. Список литературы содержит 161 наименование, из которых 147 – иностранные.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, проводимых в рамках данной диссертационной работы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, описываются рассматриваемые проблемы, излагается научная новизна полученных результатов, их практическая значимость и определяются положения, выносимые на защиту.

В первой главе анализируются особенности климатических условий юго-запада Ирана. Приводится краткая физико-географическая характеристика юго-западного Ирана. Из проведённого анализа можно сделать вывод о том, что ввиду больших разностей высот (между Хузестанской равниной и горами Загроса) влияние рельефа на микроклиматический режим региона оказывается преобладающим. Изучен барико-циркуляционный режим юго-западного Ирана и построены таблицы и карты температуры, давления и скорости ветра в различные месяцы и по сезонам. Отмечено, что на территории Хузестана преобладают ветры западного направления. Автор проводит анализ осадков над территорией юго-запада Ирана. Проанализировано распределение количества осадков по месяцам и сезонам. Установлено, что распределение осадков в Иране характеризуется высокой пространственно-временной изменчивостью. Автор показывает, что ливневые осадки над территорией Ирана обычно наблюдаются внутри однородных воздушных масс. Осадки связаны с конвективными кучево-дождевыми облаками, по времени не продолжительные, но интенсивные и имеют локальное, очаговое распространение. Ливневые осадки

сопровожаются градом, шквалом и грозой. Отмечается, что для провинции Хузестан характерна высокая корреляция между количеством сильных осадков и высотой пункта над уровнем моря. Анализ синоптических условий, связанных с экстремальными осадками над Западом Ирана, позволил установить условия, необходимые для образования сильных осадков над Западом Ирана. Автор данной диссертации получил эмпирические и теоретические функции распределения осадков и оценил 90, 95 и 99-й процентиля суточных сумм осадков. Кроме того, им построены карты пороговых значений сильных осадков по исследуемой территории. В главе подтверждается вывод о том, что между максимальными и средними значениями количества осадков существует устойчивая связь.

Вторая глава содержит описание особенностей моделирования атмосферных процессов над территорией юго-запада Ирана. Рассматриваются различные подходы для уменьшения погрешностей прогноза осадков, применяемые в ведущих прогностических центрах. Приводится краткое описание мезомасштабной гидродинамической модели атмосферы WRF и обобщается имеющийся опыт использования численных моделей в прогнозах и исследованиях осадков для Ирана. Подчеркивается необходимость расширения исследований с целью детализации описания осадков в юго-западном Иране.

Третья глава посвящена методике адаптации модели WRF-ARW для юго-запада Ирана. Проводится сравнительный анализ включенных в модель параметризаций физических процессов, среди которых внимание уделяется описанию микрофизических свойств облаков, конвекции, переноса радиации в облачной атмосфере и некоторым другим. Выбираются три параметризации микрофизических свойств, различающиеся подходами к описанию жидкой и твердой фаз гидрометеоров, и три схемы описания проникающей конвекции, которые базируются как на расчете потока массы облачного воздуха, так и на методе конвективного приспособления. Из схем описания пограничного слоя атмосферы выбираются две схемы (локальная и нелокальная). Для расчета характеристик приземного слоя атмосферы используются две схемы, основанные на теории подобия Монина-Обухова. Из двух рассматриваемых схем радиационного переноса одна учитывает эффекты, обусловленные наклоном подстилающей поверхности в горах. В постановке экспериментов используются сетки с двусторонним взаимодействием. В качестве начальных и граничных условий используются данные глобального анализа FNL (NCEP). На каждом этапе исследования рассматриваются случаи выпадения сильных атмосферных осадков. Для оценки качества результатов расчётов используются фактические данные о количестве осадков за сутки по 50 метеорологическим станциям, размещённые на сайте Иранской метеорологической организации. Дополнительно к анализу привлекаются данные 250 осадкомерных станций. Проводится количественная и

качественная верификация прогнозов осадков, основанная на построении матриц сопряженности. Качественный анализ проводится путём получения для каждой станции матриц сопряженности рассчитанных и фактических осадков. По ним вычисляется ряд индексов, рекомендованных ВМО. Количественный анализ выполняется на основе расчёта общепринятых статистических критериев для различных градаций интенсивности осадков.

В четвертой главе приводится анализ результатов моделирования сильных осадков на юго-западе Ирана. Решается задача оптимизации настроек модели WRF-ARW для оценки сильных осадков на юго-западе Ирана и дается оценка качества модельных расчетов. Эта часть исследования включает три основных этапа оптимизации – это выбор схем параметризации физических процессов в модели, выбор размера и расположения расчетной области и, наконец, выбор модельного разрешения. В задаче даунскейлинга глобального анализа с помощью WRF-ARW автор использует трехступенчатую телескопизацию расчетных областей с разрешениями 15, 5 и 1.7 км, в ходе которой формирует ансамбль расчетов на основе различных разрешений и подходов к описанию процессов проникающей конвекции, микрофизических свойств облаков, пограничного и приземного слоев атмосферы. Анализируя ансамблевые оценки, автор приходит к наиболее эффективной (с точки зрения качества расчета осадков) комбинации параметризаций для территории Ирана. Затем, на примере четырех расчетных областей оценивается влияние размера и структуры области расчета на качество модельных прогнозов. После этого оценивается влияние пространственного разрешения с целью анализа влияния повышения разрешающей способности модели WRF-ARW на точность прогноза осадков. Автор приходит к выводу, что наилучшее описание режима осадков дает модель с самым высоким разрешением, которое используется при постановке экспериментов.

В заключении приведены основные результаты работы. В исследовании впервые детально изучаются данные наблюдений за термическим режимом и атмосферной циркуляцией в экономически значимом регионе Ирана. Исследованы характеристики средних и максимальных значений суточных сумм осадков и получены эмпирические вероятности случаев с осадками. Установлено, что средние значения суточного количества осадков зависят от высоты станции, тогда как максимальные значения – нет. Получены соотношения между максимальными и средними суточными суммами осадков и построены пространственные распределения пороговых значений обильных осадков за сутки по рассматриваемой территории. Наиболее высокое качество расчета осадков высокой интенсивности на юго-западе Ирана демонстрирует подход с тройной вложенной телескопизацией, включающей двустороннее взаимодействие сеток. Автор приходит к выводу, что очень высокое разрешение в рамках принятой постановки (1-2 км) не оказывает

положительного эффекта на качество расчета осадков. Численные эксперименты с моделью WRF-ARW для территорий со сложной орографией показали, что расчетные осадки обнаруживают сильную чувствительность к методу параметризации конвекции. Делается вывод о том, что учет конвекции позволяет улучшить качество расчета сильных осадков.

Научная новизна работы состоит в следующем. Впервые на основе всего доступного материала наблюдений за осадками в Иране строятся эмпирические и теоретические функции распределения осадков. На их основе формируются пространственные распределения интенсивных осадков на территории юго-западного Ирана. Впервые производится адаптация гидродинамической мезомасштабной модели WRF-ARW для территории юго-западного Ирана и исследуется влияние набора параметризаций на точность прогноза количества и распределения осадков разных градаций. Установлено, что оптимальный шаг сетки модели находится для рассматриваемой территории в диапазоне 5-6 км. Впервые для территории Ирана проводятся ансамблевые численные эксперименты по моделированию случаев особо сильных ливней и выполняется детальный анализ результатов прогнозов.

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается строгой математической постановкой задачи, использованием апробированной модели гидродинамического прогноза, корректным использованием методов оценки гидродинамического моделирования, корректным использованием метеорологических и общегеографических данных для формирования исходной информации, а также тем, что полученные результаты согласуются с результатами независимых исследований по данной тематике.

Ниже перечислены некоторые замечания к диссертации.

1. Используемый автором подход с двусторонним взаимодействием сеток не имеет достаточного физического обоснования. Почему перенос энергии и массы во всей «родительской» области должен формироваться под влиянием локализованного источника шумов – малой подобласти, представляющей интерес для исследователя, в то время как вклад других регионов внутри «родительской» области игнорируется? Это приводит к неверной интерпретации взаимодействия разномасштабных процессов в целом в ходе интегрирования такой системы. Альтернативой здесь может служить согласованный подход, включающий одностороннее взаимодействие сеток, когда вложенная сетка не оказывает обратного влияния на численное решение «родительской» модели.

2. В ряде экспериментов с высоким разрешением автор исключает из модели параметризацию конвекции, поскольку в диапазоне масштабов 10^0 - 10^1 км конвекция может быть описана явно. Из текста диссертации неясно, включается ли в этом случае в модели облакоразрешающий режим (cloud-permitting mode) для явного учета конвекции и связанных с ней интенсивных (экстремальных) осадков. В тексте (стр. 70) туманно отмечается, что «Использование модели WRF-ARW с разрешением 1,7 км, как считается, явно описывает экстремальные осадки...».
3. Модель используется на разных этапах исследования с разными разрешениями (фигурируют разрешения 54, 45, 36, 27, 18, 15, 12, 9, 6, 5, 4, 3, 1.7 км), для разных областей и на разных временных интервалах, что сказывается на цельности и преемственности анализа, осложняя восприятие исследования в целом.
4. Масса произвольных и неоправданных сокращений, наряду с большим количеством констатирующей, описательной информации, составляют значительную часть текста и затрудняют понимание выполненной работы.

Высказанные замечания не ставят под сомнение общую положительную оценку диссертационной работы и существенно не снижают ценности полученных результатов. Диссертация Маддаха Мохаммада Амина – 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 Маддаха Мохаммада Амина 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.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании Межотдельского семинара ФГБУ «ГГО»

14 мая 2018 г., протокол № 5.

Кандидат физ.-мат. наук
Зав. отделом динамической метеорологии и климатологии
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
Ученый секретарь ФГБУ «ГГО»
Россия, 19421,СПб,ул Карбышева, 7,т.(812)297-43-90, e-mail:Igor.Shkolnik@i.m.shkolnik@mail.ru

И.Н. Шанина

