

## Отзыв

на диссертационную работу

Э. К. Исаева

«Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов над территорией со сложной орографией»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология

Диссертационная работа Э.К. Исаева посвящена созданию системы прогноза динамики атмосферы для территории со сложной орографией.

Для достижения поставленных целей в диссертационной работе сформулированы и решены следующие задачи:

- Адаптировать атмосферную гидродинамическую модель Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) для территории со сложным рельефом и провести её тестирование для территории Киргизии;
- Адаптировать методы верификации гидродинамического прогноза метеорологических величин в случае моделирования на территории со сложной орографией;
- Оценить чувствительность результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов на территории со сложной орографией к параметризациям физических процессов;
- Модифицировать схемы параметризации пограничного слоя атмосферы для применения на территории со сложной орографией;
- Разработать систему усвоения данных наблюдений наземных метеорологических станций (3D-Var) на базе гидродинамической модели для территории Киргизии и оценить ее эффективность;
- Выполнить верификацию созданной системы гидродинамического моделирования атмосферных процессов на территории Киргизии.

Тема диссертации является актуальной и направлена на решение практически важной проблемы, имеющей также научную ценность и новизну:

- Полученные результаты могут быть использованы для проведения исследований атмосферных процессов на территории со сложной орографией в других районах земного шара;
- Созданная система гидродинамического прогноза атмосферных процессов внедрена и используется в оперативном режиме в Агентстве по гидрометеорологии при МЧС Киргизской Республики (сертификат о внедрении №06/1191 от 29.05.2015).

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на сессиях Ученого Совета и семинарах РГТМУ (2015 - 2017 г.), на совещаниях в Гидрометцентре Киргизии (2015 – 2017 г.), на шестой Всероссийской научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов» (г. Томск, Россия, 2013 г.), на четвертой Международной

молодежной научно-практической конференции «Молодая наука – 2016» (г. Туапсе, Россия, 2016 г.)

По теме диссертации опубликовано пять научных работ, в том числе 4 публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Содержание диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 148 страниц, в том числе 46 рисунков и 18 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 147 наименований.

**Во Введении** автор указывает на актуальность, научную новизну, на цели и задачи исследования, на методику исследования, практическую значимость работы и достоверность полученных результатов.

**Первая глава посвящена обзору работ**, относящихся к теме диссертации. Представлен обзор современного состояния гидродинамического прогноза погоды на территории со сложной орографией, дано описание особенностей области моделирования. Дано краткое описание мезомасштабной модели WRF, которая является основой создания прогностической системы для территории Киргизии.

**В качестве замечаний** по первой главе можно отметить следующее:

- В этой главе диссертации дается ссылка на работу Уилсона («Наиболее простые оценки параметров возникновения этой разновидности барьерного эффекта даны в работе Уилсона [2]»), которая отсутствует в списке литературы. В формуле (1.1) параметр, в правой части, используется в масштабировании для получения оценки безразмерной высоты горы - обратного числа Фруда, которое используется для прогнозирования блокировки потока. Прогнозы с использованием этого параметра основаны на предположении об однородности статической устойчивости и скорости ветра, которые редко встречаются;
- В данной модели, когда воспроизводится динамика атмосферы над сложной орографией, при увеличении разрешения происходит рост ошибок, связанных с вертикальной системой координат, которая используется в численной схеме. Это приводит к снижению точности решения.
- (вероятно опечатка) в схеме Рунге-Кутты<sup>3</sup>, формула (1.16)
- Некорректная ссылка /92/ - надо (Arakawa, A., and V. R. Lamb, 1977: Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. *Methods in Computational Physics*, J. Chang, Ed., Academic Press, 174–267.) Какая используется схема горизонтальной и вертикальной адвекции (прядок – точность, свойства)?

**Во второй главе** диссертации предложен анализ влияния схем параметризации конвективных и микрофизических процессов на прогноз атмосферных процессов над областью сложной орографии.

После адаптации модели WRF-ARW для моделирования атмосферных процессов на территории Киргизии была определена расчетная область моделирования с сеткой размером 131 узлов с запад на восток и 69 узлов с юга на север, горизонтальным разрешением 10 км, 35 уровнями по вертикали, шаг по времени 60 секунд. Для корректного описания процессов используется равноугольная коническая проекция

В данной работе все начальные и граничные данные получены с пространственным разрешением  $1^\circ$  из данных реанализа Национального Центра Атмосферных Исследований (NCAR). Во всех численных экспериментах обновление граничных данных производилось каждые 6 часов.

Исследована чувствительность качества моделирования метеорологических величин к пространственному разрешению геофизических данных, которые представляют собой совокупность характеристик земной поверхности, а также включают в себя некоторые изменяющиеся в зависимости от сезона величины. Используются данные, полученные из архива Геологической Службы Соединенных Штатов Америки (USGS):

- высота местности над уровнем моря (рельеф);
- среднегодовая температура глубинных слоёв почвы;
- среднемесячная доля растительного покрова (для каждого месяца);
- среднемесячное значение альбедо поверхности;
- максимальное альбедо снежного покрова.

Дано описание численных экспериментов по исследованию влияния схем параметризации конвективных и микрофизических процессов на качество гидродинамического моделирования.

На основе анализа результатов численных экспериментов автор делает выводы: 1) в целом для всей территории Киргизии схема параметризации конвекции (J.S. Kain, 2004) обеспечивает хорошее качество моделирования атмосферных процессов; 2) для всей территории Киргизии схема WSM6 является наилучшей схемой параметризации микрофизических процессов для гидродинамического моделирования атмосферных процессов. Автор отмечает, что с увеличением горизонтального разрешения до 5 км достигается улучшение качества моделирования атмосферных процессов.

**В третьей главе** дано описание экспериментов и оценки чувствительности результатов моделирования атмосферных процессов к выбору конфигурации параметризаций подсеточных процессов, полученные в ходе этих экспериментов.

**Четвертая глава** представляет собой описание технологии получения оптимальной конфигурации параметризаций подсеточных физических процессов.

**В качестве небольшого замечания** по второй, третьей и четвертой главам можно сказать, настройка схем параметризации является необходимой процедурой для адаптации прогностической системы к данному региону на определенном наборе данных, но она не гарантирует оптимальность при дальнейшей эксплуатации этой прогностической системы.

**Пятая глава** посвящена описанию технологии усвоения данных наблюдений и ее влияния на качество моделирования атмосферных процессов в регионе со сложным рельефом.

В данной работе в качестве начальных и граничных условий были использованы данные реанализа NCEP. Обновление данных на границе области производилось каждые 6 часов. Для уточнения начального состояния атмосферы, усваиваются данные наземных наблюдений по 31 метеорологической станции, не входящие в международный обмен. В международном обмене участвуют только 7 метеорологических станций исследуемого региона. В эксперименте использовалась трехмерная вариационная схема усвоения (3D-VAR), входящая в состав пакета WRF-DA 3.6.1.

**Замечания по 5 главе:** Автор отмечает, что при реализации системы усвоения для территории Киргизии на этапе минимизации функционала использовался вариант задания ковариационной матрицы ошибок прогноза, полученной на основе прогнозов модели GFS (Global Forecasting System), так как, отмечает автор, в качестве первого приближения использовались данные NCEP. В этом случае, в некоторой степени, нарушается принцип построения схемы 3D-Var, где минимизируется функционал (5.1), который строится на основе ковариационной матрицы ошибок прогноза модели, по которой дается прогноз, и ковариационной матрицы ошибок наблюдений. Несмотря на это замечание, результаты имеют определенную практическую ценность для дальнейших исследований и совершенствования методов усвоения данных для прогноза динамики погоды в условиях сложной орографии.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы, полученные автором в процессе работы над диссертацией.

Приведенные замечания не умаляют достоинств представленной диссертационной работы "Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов над территорией со сложной орографией " в целом.

Несмотря на исключительную сложность задачи моделирования динамики погоды в таком сложном регионе как Киргизия, автору удалось получить интересные результаты, имеющие большое практическое значение для численного прогноза.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что кандидатская диссертация Исаева Эркина Кубанычевича является законченной научно-исследовательской работой, выполнена на современном научном уровне, имеет важное практическое значение.

Диссертационная работа Исаева Эркина Кубанычевича соответствует пунктам 1, 6, 11 паспорта специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология. Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология.

Доктор физико-математических наук,  
заведующий отделом  
численных методов  
прогнозов погоды  
ФГБУ «СибНИГМИ»  
630099, Новосибирск, ул.  
Советская 30, Тел.  
8(383)222-25-30,

Крупчатников

Владимир Николаевич  
[vkрупчатnikov@yandex.ru](mailto:vkрупчатnikov@yandex.ru)

Ученый секретарь  
ФГБУ «СибНИГМИ»



О.А. Бородина