

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор РГГМУ



В.Л. Михеев

2022 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

на диссертацию Травовой Светланы Васильевны «Анализ влажности почвы для глобальной модели атмосферы ПЛАВ», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.

### Актуальность темы

Диссертационная работа С.В. Травовой посвящена очень актуальной и важной проблеме метеорологии – улучшению качества гидродинамического моделирования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба. Многочисленными исследованиями показано, что качество моделей зависит от корректности описания процессов взаимодействия атмосферы с сушей, которое, контролируя распределение потоков влаги и энергии на поверхности, оказывает существенное влияние на процессы в пограничном слое атмосферы. Таким образом, влажность почвы относится к числу наиболее важных характеристик для достоверного прогноза погоды и климата. Для описания влажности почвы необходимо поставить качественное начальное условие – получить данные о влажности почвы в узлах модельной сетки. Сегодня

для анализа влажности почвы используются методы ассимиляции. В работе С.В. Травовой на основе фильтра Калмана разработана современная технология анализа влажности почвы. Актуальность исследования также обусловлена тем, что это первая в Российской Федерации доведённая до практической реализации современная методика анализа влажности почвы в рамках гидродинамических моделей прогноза погоды.

Используемый в работе анализ, основанный на упрощённом расширенном фильтре Калмана, существенно повышает точность и достоверность прогноза. Разработанная методика усвоения данных приземных наблюдений для анализа влажности почвы имеет самостоятельное научное и практическое значение и может быть использована при решении задач ассимиляции данных наблюдений в других моделях.

Диссертационная работа С.В.Травовой состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников. Общий объём работы составляет 161 страницу. Список использованных источников состоит из 248 наименований.

Во введении обосновывается актуальность исследования, формулируется цель исследования и задачи, которые необходимо было решить для достижения цели. Здесь же приводятся основные положения, выносимые на защиту, обосновано и подробно формулируется научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе диссертационной работы подробно описаны виды наблюдений за влажностью почвы, а также представлен обзор методов усвоения этих данных. Рассматривая методы получения данных о влажности почвы, С.В.Травова одновременно анализирует проблемы, с которыми сталкиваются при работе с этими данными. В обзоре методов усвоения, автор не только довольно подробно описывает используемые в современном моделировании подходы (nudging, оптимальную интерполяцию, вариационные алгоритмы), но и анализирует особенности получения анализа именно влагосодержания почвы, а также проводит сравнительный анализ различных методов ассимиляции. Дока-

зывается необходимость и актуальность усвоения данных о влажности почвы в современных численных моделях атмосферы.

Наибольшее внимание в первой главе уделено фильтру Калмана, здесь также сделан вывод о целесообразности использования для анализа влажности почвы упрощённого расширенного фильтра Калмана.

Во второй главе рассматриваются методы описания суши, используемые в модели ПЛАВ. Дается краткое описание самой модели ПЛАВ, описана используемая параметризация приземной температуры и массовой доли водяного, а также более подробно две модели почвы: двухслойная ISBA-2L и многослойная ИВМ РАН-МГУ, которые будут использованы в исследовании. Рассматриваются особенности включения этих моделей почвы в модель ПЛАВ и их ограничения. Делается вывод о том, что для качественного описания взаимодействия почвы и атмосферы (а, следовательно, и более точного прогноза) необходимы как можно более точные начальные условия о влажности почвы.

В третьей главе рассматривается постановка задачи усвоения приземных наблюдений для анализа влажности почвы для модели ПЛАВ, с использованием двух моделей почвы ISBA-2L и ИВМ РАН-МГУ. Рассматривается фильтр Калмана с методологической точки зрения и очень подробно описана адаптация метода усвоения для анализа влажности в модели ПЛАВ. В этой же главе описана предложенная С.В.Травовой методика анализа полей влажности – описаны характеристики модельного узла и переменных в нём, необходимые для проведения анализа влажности почвы. Приведены основные уравнения и предположения, а также ограничения на использование методики. Представлены алгоритмы анализа влажности моделями ISBA-2L и многослойной моделью ИВМ РАН-МГУ. Обоснован выбор наземных наблюдений для анализа влажности почвы. Определено оптимальное количество уровней анализа для каждой модели почвы. Описана разработанная автором для уменьшения вычислительной стоимости автономная модель почвы.

В четвёртой и пятой главе приводятся результаты серии численных экспериментов по анализу влажности почвы методом упрощённого расширенного фильтра Калмана с моделью почвы ISBA-2L и моделью почвы ИВМ РАН-МГУ

в рамках модели ПЛАВ. Исследован оператор наблюдений и проанализированы результаты с точки зрения правильности предположения о линейной взаимосвязи приземных характеристик и влажности почвы. Проведён анализ использования автономной и совместной моделей и сделан вывод о возможности использования разработанной автором автономной модели. Проведена оценка чувствительности точности прогноза приземных метеорологических величин к использованию анализа влажности. Показано улучшение качества прогноза при использовании анализа влажности почвы, полученного по методике разработанной автором.

### **Новизна исследования и полученных результатов**

Научную новизну диссертационной работы определяют следующие результаты исследования, полученные лично соискателем:

1. Разработана новая методика адаптации и калибровки метода упрощенного расширенного фильтра Калмана для анализа влажности почвы. Проведена проверка разработанной методики и доказана её эффективность.
2. Разработана автономная модель подстилающей поверхности для расчёта оператора наблюдений в методе упрощенного расширенного фильтра Калмана. На большом фактическом материале соискателем доказана эффективность использования автономной модели.
3. Разработан и впервые в Российской Федерации реализован метод упрощенного расширенного фильтра Калмана для анализа влажности почвы на примере модели ПЛАВ. Соискателем доказаны преимущества использования начальных полей влажности, полученных по разработанной методике.

### **Практическая значимость результатов**

Все полученные в диссертационной работе результаты имеют практическую значимость, получено свидетельство о государственной регистрации программного комплекса для анализа полей влажности почвы с использованием приземных наблюдений на основе упрощённого расширенного фильтра Калмана.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы в других моделях и для анализа других метеорологических величин.

Применение результатов диссертационной работы позволило повысить точность гидродинамических прогнозов приземных метеорологических величин по модели ПЛАВ.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации**

В диссертационной работе детально анализируются существующие методы ассимиляции, рассматриваются положения, лежащие в их основе. Проведён анализ упрощений и применяемых гипотез, произведён сравнительный анализ точности прогноза приземных метеорологических величин с использованием результатов разработанной методики анализа и без. Полученные результаты согласуются с результатами других исследований по данной тематике.

Достоверность результатов диссертационной работы определяется использованием современных представлений о динамике атмосферы, математическом моделировании атмосферных процессов, методов наблюдений за характеристиками почвы. Автором проведён глубокий анализ современных исследований в области ассимиляции данных в целом и ассимиляции влажности почвы в частности. Продемонстрирован физически и математически обоснованный подход к моделированию атмосферных процессов.

Автором корректно применён современный математический аппарат.

Автором проведена верификация полученных результатов по данным наблюдений на метеорологических станциях.

Всё вышесказанное определяет достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертационной работы С.В.Травовой.

### **Личный вклад автора**

Результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Соискатель сама исследовала существующие методы анализа метеорологических величин, формулировала задачи, планировала и проводила численные эксперименты, разрабатывала программные коды, производила верификацию результатов и обобщала результаты исследований.

## **Оценка содержания диссертации, её завершенность в целом, замечания по оформлению**

Диссертация является законченным научным исследованием и полностью охватывает основные вопросы сформулированной научной проблемы и её практической реализации. Содержание диссертации последовательно и обладает внутренним единством. Порядок изложения логичен. Все представленные выводы и заключения подтверждаются в ходе изложения. Поставленная цель достигнута. Сформулированные задачи решены. Важность и практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждена полностью.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. В нём представлена научная и практическая значимость работы, изложены положения, выносимые на защиту, сделаны и обоснованы выводы.

### **Апробация диссертационной работы**

Результаты докладывались на десяти научно-практических конференциях и на научных семинарах ФГБУ «Гидрометцентр России».

Результаты опубликованы в 15 работах, в том числе пять в журналах, рекомендованных ВАК.

Автором получено свидетельство о государственной регистрации программы анализа полей влажности почвы с использованием приземных наблюдений на основе упрощённого расширенного фильтра Калмана.

### **Замечания по диссертационной работе**

Диссертационная работа С.В.Травовой производит очень хорошее впечатление. В ней виден вдумчивый, высококвалифицированный исследователь, специалист, способный не только выдвигать новые идеи, но и их реализовывать, доводя до конкретной практической реализации. Все указанные далее замечания не затрагивают значимых научных и практических результатов автора, полученных в ходе исследований и не влияют на оценку диссертации.

Приведённые в таблице 4.3 ошибки первого приближения довольно большие. Рассматриваются ли методы уменьшения этих ошибок?

Чем объясняется выбор величины возмущения влагосодержания в экспериментах с ошибками первого приближения величиной  $0.008 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ?

Проводился ли анализ того факта, что наибольшее влияние ошибок первого приближения, а также максимальные различия между ОИ и предлагаемой методикой отмечаются на территории Северной Америки?

Был бы очень интересен совместный анализ результатов численных экспериментов с моделями почвы ISBA-2L и ИВМ РАН-МГУ.

Оценивались ли не средние ошибки по регионам, а ошибки в конкретных узлах сетки?

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертация С.В. Травовой является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему. Автором впервые в Российской Федерации разработана и внедрена в практику современная технология анализа влажности почвы в рамках численной модели атмосферы ПЛАВ – основной модели глобального среднесрочного и долгосрочного прогноза Гидрометцентра РФ. В диссертационной работе на большом фактическом материале доказано преимущество предложенных методов анализа.

Диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология, так как в ней проводятся исследования обеспечивающие моделирование атмосферных процессов в полярных, умеренных и тропических широтах (пункт 1), разработаны вычислительные методы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии (пункт 3).

Таким образом, диссертация С.В.Травовой удовлетворяет требованиям пунктов 9-11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (в ред. от 11.09.2021), а Светлана Васильевна Травова заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.

Соискателем сделан доклад о результатах работы на расширенном семинаре метеорологического факультета РГГМУ 5 июля 2022 года.

Отзыв на диссертацию обсуждён на заседании кафедры метеорологических прогнозов 5 июля 2022 года, протокол № 14.

Присутствовало на заседании 18 человек. В обсуждении приняло участие 18 человек.

Результаты голосования:

«за» – 18 человек,

«против» - 0 человек,

«воздержались» - 0 человек.

Отзыв подготовлен заведующим кафедрой метеорологических прогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета, кандидатом физико-математических наук, доцентом Анискиной Ольгой Георгиевной.

Заведующий кафедрой метеорологических прогнозов

Кандидат физико-математических наук, доцент

Анискина Ольга Георгиевна

[Olga.aniskina@mail.ru](mailto:Olga.aniskina@mail.ru)

192007, Санкт-Петербург,

ул. Воронежская, д.79

тел. 8(812)6330174



Подпись Анискиной О.Г.  
заверяю: Ученый секретарь  
ФГБОУ ВО «РГГМУ»  
Е.Г. Алексеева  
1 июля 2022г.

