



ИНСТИТУТ
ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ
ИМ. В.Е. ЗУЕВА СО РАН

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИОА СО РАН)

пл. Академика Зуева, д.1, г. Томск, 634055
тел.: (3822) 492 738, факс: (3822) 492 086
e-mail: contact@iao.ru; www.iao.ru
ОКПО 03534050, ОГРН 1027000880268
ИНН/КПП 7021000893/701701001

16.04.2024 № 15305 - 08/154

на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. директора ИОА СО РАН

Д.Ф.М.Н. _____ Дудоров В.В

15 апреля 2024 года



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук»
на диссертационную работу Шуваловой Юлии Олеговны
«Особенности облачно-аэрозольного взаимодействия и его влияние на солнечную радиацию в моделях прогноза погоды COSMO и ICON», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Диссертационная работа Ю.О. Шуваловой посвящена важной задаче гидродинамического моделирования атмосферных процессов – исследованию точности моделирования облачных характеристик и их влияния на потоки солнечной радиации у земной поверхности в моделях численного прогноза погоды (ЧП).

Актуальность темы. Известно, что качество моделирования солнечной радиации в облачных условиях оказывает существенное влияние на прогноз приземной температуры воздуха. Это, безусловно, определяет значимость работ, связанных с развитием и совершенствованием блоков моделей ЧП, которые отвечают за моделирование переноса солнечного и теплового излучения в атмосфере Земли. Актуальность настоящей диссертационной работы обусловлена тем, что в ней впервые представлены результаты совместных исследований микрофизической и радиационной схем в применяемых в Российской Федерации моделях численного прогноза погоды с учётом процессов облачно-аэрозольного взаимодействия.

Цель работы состояла в оценке особенностей воспроизведения облачных характеристик и нисходящих потоков солнечной радиации у земной поверхности в моделях численного прогноза погоды ICON и COSMO с учётом облачно-аэрозольного взаимодействия. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: 1) разработаны методики тестирования облачных характеристик и схем радиационного переноса в облачных условиях в моделях численного прогноза погоды на основе данных наземных и спутниковых измерений; 2) выполнен анализ схем и параметризаций характеристик облачности и солнечной радиации у земной поверхности и модифицирована схема нуклеации облачных капель микрофизической схемы модели ICON; 3) исследованы характеристики облачности в модели COSMO и выявлены оптимальные настройки схемы радиационного переноса с целью улучшения прогноза солнечной радиации у земной поверхности и приземной температуры воздуха; 4) получены оценки влияния облачно-аэрозольного взаимодействия на облачные характеристики, солнечную радиацию и температуру воздуха у земной поверхности по данным наблюдений и численных экспериментов модели COSMO, в том числе - и на примере снижения счётной концентрации ядер конденсации в период локдауна в г. Москве весной 2020 года.

Структура и основные результаты работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объём работы составляет 156 страниц; список использованных источников состоит из 293 наименований.

Во введении обосновывается актуальность исследования, сформулированы цели и задачи, приведены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе диссертации проанализированы разновидности схем и параметризаций, использующихся в моделях ЧПП для описания облаков. Приведена структура спектральных и интегральных микрофизических схем, в том числе нуклеации облачных капель и кристаллов для различных типов атмосферного аэрозоля, корректировки насыщения атмосферы водяным паром. Описаны схемы радиационного переноса солнечного излучения, в том числе – в горизонтально неоднородной облачности. Дано определение первого непрямого аэрозольного эффекта.

Во второй главе представлены негидростатические конечно-разностные модели атмосферы ICON и COSMO, подробно описаны схемы моделирования микрофизики облаков и радиационного переноса. Приведена структура численных экспериментов, выполненных с целью исследования физических и радиационных характеристик облачности на основе различных данных измерений, а также представлены использованные в анализе данные наземных и спутниковых наблюдений для территорий Центральной Европы и Центрального федерального округа. Описаны два метода и полученные с их использованием результаты расчета счетной концентрации облачных капель по данным спектрорадиометра MODIS для

различных временных выборок 2018-2020 гг. (г. Москва). Приведены внесенные автором изменения в схемы модели ICON, главным из которых является внедрение параметризации вертикальной скорости воздуха в схему нуклеации облачных капель.

В третьей главе обсуждаются результаты анализа микрофизической схемы моделей COSMO и ICON. Показано, что в обеих моделях водосодержание облаков занижено относительно данных измерений. На основе детального анализа сделан вывод о том, что использование прогностической (сеточной) вертикальной скорости воздуха в схеме нуклеации облачных капель ограничивает формирование облачных капель в модели. Показано, что внедрённая соискателем в схему нуклеации облачных капель модели ICON физическая параметризация вертикальной скорости воздуха влияет на характеристики облачности и осадки.

В четвертой главе представлен анализ схем радиационного переноса моделей COSMO и ICON в облачных условиях. Выявлено, что в модели ICON при низком водосодержании имеет место завышение модельных расчетов суммарной радиации относительно экспериментальных данных. В модели COSMO при использовании схемы облачно-радиационного взаимодействия без учета облачно-аэрозольных связей суммарная радиация оказывается заниженной относительно данных измерений в условиях низкого водосодержания облаков. Показано, что применение разработанных автором модификаций (параметризация вертикальной скорости воздуха в модели ICON и учет облачно-радиационного взаимодействия в модели COSMO) позволяет повысить качество прогноза солнечной радиации у земной поверхности и приземной температуры воздуха. В этой же главе на примере атмосферных ситуаций, наблюдающихся в весенние периоды 2018-2020 гг. в г. Москве, представлены результаты исследования первого непрямого эффекта аэрозоля.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

К наиболее важным результатам работы относятся следующие:

- Показано, что водосодержание облаков в моделях COSMO и ICON занижено по сравнению с данными наземных и спутниковых наблюдений при использовании как одномоментной, так и двухмоментной микрофизических схем. Внедрение в схему нуклеации облачных капель параметризации вертикальной скорости воздуха, основанной на характеристическом подходе, привело к росту счётной концентрации облачных капель в среднем на 49% и водосодержания облаков на 20%.

- Суммарная радиация в модели ICON в среднем превышает результаты измерений на сети BSRN, что связано как с ошибкой прогноза водосодержания облаков, так и с повышенным вкладом прогнозируемой прямой в суммарную радиацию. При включении параметризации вертикальной скорости воздуха в микрофизическую схему модели ICON в условиях сплошной облачности рассчитанная суммарная радиация снижается в среднем на 5 Вт/м^2 (4%) при высоте Солнца от 25° .

- Показано, что применение в модели COSMO схемы, учитывающей облачно-аэрозольные связи, что уменьшение счётной концентрации ядер конденсации от 1700 до 100 см^{-3} обуславливает приращение прогнозируемой суммарной радиации у земной поверхности в условиях сплошной облачности в среднем от 13% до 17%.

В тёплый период года средняя абсолютная погрешность прогноза температуры воздуха на высоте 2 м в дневных условиях снижается в среднем на $0,2-0,4^\circ\text{C}$. При расчетах прогноза погоды над территорией Центрального федерального округа рекомендовано задавать счётную концентрацию ядер конденсации, равной 400 см^{-3} .

- На примере весенних периодов 2018-2020 гг. изучен первый не прямой эффект аэрозоля в г. Москве. Показано, что счётная концентрация облачных капель над городом в весенний период составляет около $200-300 \text{ см}^{-3}$. В период локдауна в 2020 году в квазиоднородных метеорологических условиях адвекции воздуха с севера обнаружено снижение концентрации облачных капель на 14-16% ($40-50 \text{ см}^{-3}$) по сравнению с 2018-2019 годами. Следствием этого является рост эффективного радиуса облачных капель и уменьшению оптической толщины облаков (в среднем на 8% и 5% соответственно). Модельные значения суммарной радиации у земной поверхности увеличиваются на 10% при снижении счётной концентрации облачных капель на каждые 50 см^{-3} в условиях сплошной облачности при высоте Солнца 40° и водосодержании облаков от 200 до 400 г/м^2 (модель COSMO).

С нашей точки зрения, особенно интересным является последний из перечисленных результатов, поскольку количественная оценка влияния антропогенной деятельности на состояние атмосферы в мегаполисе в рамках модели ЧПП получена впервые.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: 1) впервые проведено совместное исследование микрофизической и радиационной схем моделей ICON и COSMO, учитывающее облачно-радиационное взаимодействие и влияние облачно-аэрозольных процессов на качество прогноза облачных характеристик; 2) модифицированная схема нуклеации облачных капель обеспечивает повышение качества прогноза водосодержания облаков в моделях ЧПП; 3) впервые получена количественная оценка первого непрямого эффекта аэрозоля в мегаполисе (оперативная модель COSMO, атмосферные ситуации, наблюдающиеся весной 2020 года в г. Москве в период ограничительных мер вследствие COVID-19).

Практическая значимость работы определяется тем, что разработанный автором подход к тестированию схем радиационного переноса в облачных условиях, а также результаты анализа схем и параметризаций характеристик облачности могут быть использованы в других моделях численного прогноза погоды. Применение результатов диссертационной работы позволило повысить точность прогноза солнечной радиации у земной поверхности и приземной

температуры воздуха в оперативной модели краткосрочного численного прогноза погоды COSMO.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается использованием физически и математически обоснованных методов исследования, основанных на современных представлениях об атмосферных процессах и результатов сопоставлений, проведенных с использованием высококачественных данных наблюдений, в том числе регулярных измерений облачных характеристик сети CLOUDNET и радиационных потоков сети BSRN. Представленные результаты находятся в соответствии с теоретическими и экспериментальными результатами аналогичных исследований других авторов.

Положения, выносимые на защиту, находят развернутое и аргументированное подтверждение в тексте диссертационной работы, а также в 32-ух публикациях: 3 публикации в журналах, рекомендованных ВАК, 1 глава в рецензируемой монографии, 18 публикаций в материалах международных конференций. Получено 1 свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы неоднократно докладывались на российских и международных конференциях по профилю диссертации.

Личный вклад автора состоит в самостоятельном планировании и проведении численных экспериментов, разработке программных кодов, исследовании методов анализа метеорологических величин, верификации результатов, а также обобщении результатов исследований.

Автореферат отражает содержание диссертационной работы.

Существенных недостатков в работе не выявлено, но ряд вопросов и замечаний, тем не менее, присутствует:

1. При анализе результатов, как модельных, так и экспериментальных, недостаточное внимание уделено влиянию балла облачности на радиационные процессы. Не всегда понятно, в каких случаях автор ограничивается рассмотрением сплошной облачности, а когда обсуждаются результаты, полученные, в том числе и в присутствии частичной облачности.

2. Недостаточное внимание в тексте диссертации уделено анализу схемы корректировки насыщения атмосферы водяным паром, которая является существенной для описания микрофизических процессов в моделях ЧПП.

3. Описание подхода, выбранного для количественной оценки первого непрямого эффекта аэрозоля, выглядит недостаточно логичным. В главе 2 есть раздел 2.5 «Методика исследования первого непрямого эффекта аэрозоля в Москве весной 2020 года». Однако часть этого раздела, по сути, посвящена лишь описанию методов, которые автор использует для восстановления счетной концентрации облачных капель по данным спектрорадиометра MODIS. Представленные результаты касаются, в основном, именно этой характеристики, тогда как для первого непрямого эффекта существенны изменения, касающиеся эффективного размера частиц и, как следствие, оптической толщины и альбедо облаков. Тезис

автора «...показано, что весной 2020 года в Москве концентрация облачных капель была в среднем на 15% ниже, чем в тот же период 2018-2019 годов, что привело к росту эффективного радиуса облачных капель и снижению оптической толщины облаков» не является убедительным. В главе 4 исследования на эту тему продолжены, но при анализе данных не слишком корректно отслеживалась величина водосодержания облаков, квазипостоянство которой является основополагающим для рассматриваемого аэрозольного эффекта.

4. Рассматривая первый аэрозольный эффект, автор представляет результаты, касающиеся изменения характеристик облачности как с точки зрения модельных, так и экспериментальных данных. Чем обусловлено то, что при рассмотрении потоков суммарной радиации анализ ограничен только данными моделирования, а результаты измерений не принимаются во внимание?

5. Среди второстепенных замечаний отметим, что в тексте есть рисунки, которые затруднительны для интерпретации (рисунки 2.5, 4.11), а также не совсем удачные формулировки (например, 1 защищаемое положение «Низкая интенсивность нуклеации облачных капель является одним из факторов занижения водосодержания облаков в модели ICON. Внедрение параметризации вертикальной скорости в схему нуклеации облачных капель приводит к заметному росту водосодержания облаков» лучше бы звучало в формулировке «..Внедрение параметризации вертикальной скорости воздуха в схему нуклеации облачных капель приводит к заметному росту прогнозируемого водосодержания облаков».

Сделанные замечания не умаляют достоинств исследования Шуваловой Ю.О. При выполнении диссертационной работы она проявила себя как эрудированный и самостоятельный исследователь, способный освоить решение таких разноплановых задач как математическое моделирование (в том числе, в рамках моделей ЧПП), работу с данными дистанционного зондирования и результатами наземных наблюдений, разработку программных комплексов и их внедрение в схемы моделей ЧПП, совместный анализ модельных расчетов и результатов измерений.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней

Диссертация Ю.О. Шуваловой является законченной научно-квалификационной работой в актуальном направлении исследований. Автором впервые в Российской Федерации проведено единое исследование качества моделирования характеристик облачности и солнечной радиации у земной поверхности в облачных условиях в моделях COSMO и ICON, которые являются основными моделями краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России. Диссертация Ю.О. Шуваловой соответствует паспорту специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате (пункт 14 - улучшение гидродинамических моделей прогноза состояния атмосферы, пункты 3, 5 - исследования водяного пара в атмосфере в разных агрегатных состояниях, аэрозоля и солнечной радиации в

моделях, пункт 1 – использование данных наблюдений, базирующиеся на различных методиках измерений).

Таким образом, диссертация Ю.О. Шуваловой 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 Юлия Олеговна Шувалова заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании семинара отделения «Радиационные составляющие климата» ИОА СО РАН 11 апреля 2024г., протокол №2.

Отзыв составил:

Руководитель отделения «Радиационные составляющие климата» ИОА СО РАН,

д.ф.-м.н., профессор

Панченко Михаил Васильевич

Адрес: 634055, г.Томск, пл.Академика Зуева, 1; ИОА СО РАН. Тел: (3822)492-050
E-mail: pmv@iao.ru

Подпись М.В. Панченко заверяю
Ученый секретарь
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Сибирского отделения Российской академии наук»

к.ф.-м.н.

Тихомирова Ольга Владимировна

