

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Гаврикова Александра Владимировича

на диссертационную работу Шуваловой Юлии Олеговны

«Особенности облачно-аэрозольного взаимодействия и его влияние на солнечную радиацию в моделях прогноза погоды COSMO и ICON»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

Диссертационная работа Шуваловой Ю.О. посвящена исследованию влияния облачно-радиационного взаимодействия на особенности воспроизведения облачных характеристик и солнечной радиации в моделях оперативного численного прогноза погоды COSMO и ICON.

Известно, что облачность оказывает существенное влияние на формирование теплового баланса у земной поверхности и, как следствие, всей толщи атмосферы. Наиболее достоверным способом восстановления динамики облачных характеристик и их влияния на перераспределение солнечной энергии было бы прямое моделирование облачных частиц (микрофизических процессов), такое пространственное разрешение еще не скоро будет доступно научному сообществу. А пока наиболее высоким пространственным разрешением, с учетом мощности современных вычислительной техники, считаются первые километры. Это ограничение приводит к необходимости использования подсеточных параметризаций, которые задают полуэмпирические связи для сложных и нелинейных микрофизических процессов, и их влияния на радиационный перенос в толще атмосферы.

Работа Шуваловой Ю.О. преследует ряд важных и **актуальных** для оперативного прогноза погоды целей: (1) разработка методик тестирования параметризаций микрофизики и радиационных переносов для моделей COSMO и ICON; (2) модификации микрофизической схемы ICON; (3) оптимизация имеющейся в COSMO параметризации радиационного переноса для улучшения достоверности воспроизведения температуры воздуха в приземном слое; (4) и оценка чувствительности облачно-аэрозольного взаимодействия на характеристики облачности и солнечной радиации в численных экспериментах модели COSMO.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, словаря терминов, списка литературы из 293 наименований и приложения. Общий объем диссертации содержит 156 страниц, включая 27 таблиц и 38 рисунков.

Во **Введении** представлена общая характеристика работы, обоснование актуальности темы, формулировку и обоснование основной цели исследования и поставленных задач. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость работы, обозначен личный вклад автора.

В **Главе 1** описано современное состояние численного моделирования облачности, облачно-радиационных и облачно-аэрозольных процессов. Представлено развернутое описание принципов работы параметризаций, описывающих облачные процессы и схем радиационного переноса. Также дано определение непрямых эффектов аэрозоля.

Глава 2 посвящена краткому описанию негидростатических моделей численного прогноза погоды COSMO и ее технологическому продолжению – модели ICON. Показаны сходства и отличия используемых схем параметризаций. Наиболее важной частью этой главы является **раздел 2.3**, в котором описывается авторский принцип модификации модели ICON для улучшения воспроизведения некоторых облачных характеристик. Так же в этой главе описана методика исследования первого непрямого эффекта аэрозоля на примере использования данных наблюдений за период локдауна (весна 2020 года) в Москве.

В **Главе 3** описаны и проанализированы результаты исследования облачных характеристик микрофизических схемах COSMO и ICON. Показано наличие тенденции на занижения обеими моделями водосодержания облаков, облачной воды в жидкой и твердой фазах; при этом, влагосодержание атмосферы воспроизводится удовлетворительно. Причем оценка проводилась как для одномоментной, так и для двухмоментной параметризации микрофизики. В заключении главы показано улучшение качества прогноза при использовании предложенной автором корректировки прогностической вертикальной скорости через турбулентную кинетическую энергию.

Главе 4 посвящена исследованию влияния процессов облачно-аэрозольного взаимодействия на схемы радиационного переноса COSMO (оперативная схема и CLOUDRAD) и ICON (ecRad). Показано, что оперативная схема параметризации облачно-радиационного взаимодействия в модели COSMO систематически занижает поток суммарной радиации по причине неточности радиационной схемы при гиперкомпенсации низкого водосодержания облаков из схемы микрофизики. Также показано, что параметризация CLOUDRAD способна воспроизвести первый не прямой эффект (хоть и менее выраженный по сравнению с наблюдениями), это, совместно с учетом более реалистичной формы облачных ледяных частиц, приводит к более достоверному прогнозу солнечной радиации. Радиационный блок в модели ICON приводит к завышению средней суммарной солнечной радиации, однако использование модифицированной вертикальной скорости существенно нивелирует этот эффект.

В **Заключении** представлены наиболее важные результаты диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов подтверждается их согласованностью с данными измерений и результатами работ других исследований. В работе использовались хорошо себя зарекомендовавшие и тщательно протестированные модели, сравнения с данными современных метеорологических наземных и спутниковых измерений. Также достоверность хорошо подкреплена публикациями в рецензируемых журналах и многочисленными докладами на научных конференциях.

Научная **новизна** обеспечена следующими пунктами:

1. Впервые проведено совместное исследование микрофизической и радиационной схем моделей численного прогноза погоды COSMO и ICON, учитывающее взаимосвязи облачно-радиационных и облачно-аэрозольных процессов.
2. Модифицирована схема нуклеации облачных капель микрофизической схемы модели ICON с целью повышения интенсивности каплеобразования.
3. Впервые получены оценки первого непрямого эффекта аэрозоля в оперативной модели численного прогноза погоды над территорией России, в том числе для условий ограничительных мер вследствие COVID-19.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке комплекса методик для оценки эффективности схем и параметризаций облачных характеристик и солнечной радиации по данным наземных и спутниковых измерений. Оценки погрешностей в параметризациях облачных характеристик, полученные в диссертации, способствуют совершенствованию расчёта солнечной радиации у земной поверхности в моделях численного прогноза погоды. В работе показано, что счётная концентрация ядер конденсации, может быть, одним из важных факторов успешного прогноза солнечной радиации у земной поверхности и приземной температуры воздуха. Впервые получена количественная оценка влияния антропогенной деятельности в мегаполисе на состояние атмосферы вследствие непрямого аэрозольного эффекта.

По своему содержанию, полученным результатам и выводам диссертация полностью отвечает специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате. Работа представляет собой цельное исследование, четко изложено и написано хорошим научным языком.

Тем не менее к представленной работе следует предъявить следующие **замечания**:

1. Вся работа построена на анализе данных моделирования в высоком пространственном разрешении (1,1–2,2 км). При этом гарантия, что для других (более грубых) вариантах сетки результат будет таким же хорошим (или вообще положительным), не очевидна. Для более общего применения разработанной подсеточной модификации вертикальной скорости хочется проверки ее устойчивости и на других пространственных разрешениях.
2. Из текста не вполне понятно: численные эксперименты проводились в оперативном режиме или как отдельные расчеты. В первом случае модель постоянно «передергивается» стартом с усвоением новых данных наблюдений; а во втором – длительность некоторых экспериментов требуют спектрального наджинга. В обоих случаях возможно значительное влияние на результат моделирования и без манипуляций с параметризациями.
3. Также из текста непонятно почему модификация вертикальной скорости не была применена к параметризации в модели COSMO.
4. При описании схем параметризаций облачности в Главе 1, помимо моделей COSMO и ICON, часто упоминается численная модель WRF. Хотелось бы

понимания почему эта модель, будучи наиболее популярной в мировом научном сообществе, не была включена в работу.

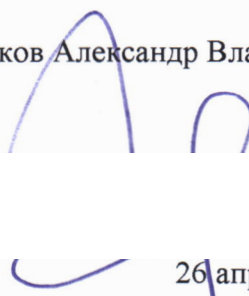
Отмеченные замечание ни коим образом не снижают ценность и высокий научный диссертационной работы. Ее результаты достаточно полно освещены в публикациях из перечня ВАК и в докладах на большом количестве конференций.

Автореферат полностью отражает содержание работы.

Соискатель обладает высоким уровнем научной квалификации. Диссертационная работа представляет собой законченное исследование по актуальной тематике, написана хорошим научным языком, полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Шувалова Ю.О. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент,
Кандидат физико-математических наук,
специальность 25.00.28-океанология,
Старший научный сотрудник,
Лаборатории взаимодействия океана и
атмосферы и мониторинга климатических
изменений ИОРАН

Гавриков Александр Владимирович



26 апреля 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии
им. П.П. Ширшова Российской академии наук

Российская Федерация, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д.36

<https://ocean.ru>

gavrikov@ocean.ru

+7(499)124-79-28

Подпись Гаврикова Александра Владимировича заверяю

