

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата географических наук Осипова Александра Михайловича
на тему: «Механизмы формирования двух типов Эль-Ниньо и их
модификации в меняющемся климате» по специальности 1.6.18 –
«Науки об атмосфере и климате»

Диссертационная работа Осипова Александра Михайловича посвящена углубленному исследованию характеристик и механизмов формирования двух типов Эль-Ниньо – одного из важнейших и недостаточно изученных для качественного заблаговременного прогноза глобальных климатических процессов межгодового масштаба в системе океан-атмосфера, региональные проявления которого зачастую приводят к серьезным социально-экономическим последствиям в различных местностях Земного шара. В частности, глобальный материальный ущерб, связанный с событиями Эль-Ниньо 1982 и 1997 годов по некоторым оценкам составил 4.1 и 5.7 трлн. долларов, соответственно, не говоря катастрофических объемах социальных потерь. При этом, по мнению ряда авторов, в 21 столетии в связи с регистрируемым потеплением повторяемость этих событий увеличится, а суммарный наносимый ими глобальный ущерб может достичь 84 трлн. долларов. Приведенные оценки и участвовавшие наблюдаемые климатические катастрофы в условиях изменений климата, убедительно свидетельствуют об **актуальности** изучения и прогноза наступления Эль-Ниньо с учетом разных типов этих событий.

Научная новизна работы состоит в получении оценки механизма, формирования Эль-Ниньо двух типов в настоящем и будущем по данным реанализа и ансамблевых модельных климатических расчетов в ходе изучения процессов, протекающих в перемешанном слое экваториальной зоны Тихого океана. При этом наиболее интересными, впервые полученными, представляются следующие результаты:

- Два типа Эль-Ниньо, определенные по их интенсивности (сильные/умеренные) или локализации (ВТ/ЦТ) существенно не различаются по характеру процессов, ответственных за рост температуры перемешанного слоя: Эль-Ниньо Восточного типа выделенные по данным реанализа, соответствуют сильным событиям, а Центрального типа – умеренным. Это различие подтверждено по результатам климатического моделирования с более длинной выборкой проекта CMIP5 в рамках сценария RCP8.5;

- Основные различия механизмов формирования двух типов Эль-Ниньо обеспечивает степень интенсивности нагрева океана под действием различных составляющих бюджета тепла перемешанного слоя. Сходство обусловлено доминирующим вкладом в повышение температуры при вертикальной адвекции на востоке Тихого океана, горизонтальной адвекции тепла – в центре Тихого океана; а уменьшение температуры при отрицательной обратной связи «ТПО – облачность».

Степень достоверности и апробации полученных результатов обеспечивается использованием для сравнения нескольких независимых массивов данных и достаточным количеством публикаций в рецензируемых международных и отечественных изданиях.

Структура и содержание работы.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка и списка используемых литературных источников, составляющего 129 наименований. Общий объем основного компьютерного текста включает 148 страниц, в том числе, 36 рисунков и 6 таблиц. Кроме этого, часть результатов вынесена в два приложения на 9 страницах и включает 4 рисунка.

Во **введении** содержится общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследования, обоснованы необходимые для защиты диссертации атрибуты: актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность

полученных результатов. Четко обозначены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе традиционно проведен литературный обзор работ, посвященных изучению Эль-Ниньо, существующих современных методов и подходов в изучении роли различных процессов в формировании, а также классификации Эль-Ниньо. Эта часть работы выполнена максимально объемно и информативно, что можно отнести к одному из достижений диссертации. При этом проведен анализ основных проблем, возникающих при анализе изучаемого явления, такие как его квазипериодичность, неоднозначность оценок основных характеристик во времени и пространстве и др. Наличие этих проблем послужило для отдельных авторов основой для необходимости классификации событий Эль-Ниньо. В то же время, подробное рассмотрение выявленных к настоящему времени механизмов формирования и эволюция аномалий температуры в экваториальной зоне Тихого океана во время Эль-Ниньо указало на еще одну недостаточно изученную проблему и послужило обоснованием для выполнения основной части диссертационного исследования. В то же время, в хорошо подготовленной обзорной главе, хотелось бы встретить хотя бы небольшой раздел с критическим анализом результатов моделирования событий Эль-Ниньо.

Вторая глава носит общий методический характер, и содержит описание используемых в работе материалов и методики исследования механизмов формирования Эль-Ниньо двух типов. Обосновано применение данных о потенциальной температуре, зональной и меридиональной компонентах скорости течений из океанологического реанализа GLORYS2V4 месячного разрешения, 16 климатических моделей проекта CMIP5 и данных российской модели INM-CM5-0 для успешного расчёта компонент бюджета тепла, которые ранее для таких целей не использовались. Однако может возникнуть сомнение о достаточности длины рядов реанализа GLORYS2V4 (1992-2015) для композитного анализа, в частности для анализа сильных Эль-

Ниньо (которых за данный период насчитывается всего два). Не привлекал ли соискатель более продолжительный реанализ ORAS5, доступный с 1958 года, который включает минимум четыре сильных события (1972, 1982, 1997, 2015). И если да, то насколько сопоставимы полученные результаты? При этом оппонент вполне принимает полученные результаты по историческим выборкам CMIP5.

Вполне разумно для расчёта потока тепла между океаном и атмосферой в качестве атмосферного форсинга для GLORYS2V4 использовались данные реанализа ERA-Interim. В методической части раздела описан критерий выделения явлений Эль-Ниньо на основе анализа главных компонент ЭОФ-разложения поля АТПО в тропическом Тихом океане выше своего 75-го перцентиля. С использованием нового подхода к выделению разных типов Эль-Ниньо (сильные и умеренные в зависимости от интенсивности явлений) на основе кластерного анализа и предложенного автором порогового значения 1,5–1,8 выделено два типа Эль-Ниньо в зависимости от локализации максимума АТПО. Кроме этого описана методика выделения пространственных структур АТПО в экваториальном Тихом океане, соответствующих двум основным модам изменчивости, на основе двумерной линейной регрессии поля АТПО на временные ряды индексов E и C.

Подробно рассмотрено примененное для расчетов в условиях исторического, современного и будущего климатов уравнение бюджета тепла верхнего перемешанного слоя океана с характеристикой всех его составляющих. Описаны подходы к расчёту адвективных составляющих бюджета тепла в зависимости от типа пространственной сетки реанализа и океанического блока каждой из моделей, что позволило применять единую методику для всех моделей. В завершении этой главы описан подход к расчёту проекций составляющих бюджета тепла на пространственные моды E и C, основанный на анализе районов максимальной изменчивости АТПО, что позволяет провести объективную оценку изменений вклада различных

процессов в изменение аномалий температуры в разных областях экваториальной зоны Тихого океана. При этом понятно, насколько велик объем проведенных расчетов с использованием соответствующих алгоритмов и массивов данных разного пространственного и временного разрешения, с чем соискатель успешно справился. Но в списке литературы не встретилось упоминание о публикации РИД. Соискатель не оформлял или забыл упомянуть такую работу?

Третья глава посвящена изучению механизмов формирования двух типов Эль-Ниньо в современном климате, в ходе которого получена оценка вклада составляющих бюджета тепла в эволюцию аномалий температуры перемешанного слоя океана в период 1992–2015 гг. для восьми наблюдавшихся явлений Эль-Ниньо разных типов с использованием двух классификаций. Линейная океаническая адвекция рассмотрена в качестве основного источника эволюции АТПО в экваториальной зоне Тихого океана. При этом автору удалось обнаружить, что горизонтальная адвекция вносит большой вклад в С-моду, максимум интенсивности которой проявляется в центре Тихого океана, а вертикальная – в Е-моду, проявляющуюся преимущественно на востоке. Выявлены главные различия между сильными и умеренными Эль-Ниньо и роль адвективных процессов в эволюции изучаемых явлений. Использование нескольких видов данных реанализа и наблюдений обеспечило достоверность полученных результатов при анализе небольшого количества событий Эль-Ниньо в течение 23 лет, что подкреплено сравнением с результатами предшествующих исследований.

Однако из текста не совсем четко используется термин «зарождение» Эль-Ниньо на стр. 64 «Первый период (январь(0) – июль(0)) соответствует фазе зарождения Эль-Ниньо, когда активизируются процессы, приводящие к возникновению изначальной аномалии температуры». Каким образом выбирался именно этот временной диапазон (январь-июль)? При этом сам соискатель на стр. 82 при описании компоненты $-\bar{u}(\partial T'/\partial x)$ согласен с тем, что ЦТ и ВТ зарождаются в разное время «Таким образом, член $-\bar{u}(\partial T'/\partial x)$

отрицателен в Е-моду за исключением фазы зарождения при умеренных Эль-Ниньо. Это может быть связано с тем, что умеренные события начинаются позже, чем сильные, и фаза зарождения для них может частично захватывать условия предшествующего Ла-Нинья.»

В четвертой главе исследовались механизмы формирования Эль-Ниньо в современном климате по данным климатических моделей в рамках сценария Historical. Это важный элемент исследования для компенсации недостаточной продолжительности данных наблюдений и реанализа и получения большей статистической достоверности с использованием многодесятилетних реализаций климатических моделей атмосферы и океана, что позволило получить большее число явлений в выборке.

Анализ статистики количества явлений Эль-Ниньо, выделенных по каждой из моделей и их принадлежности к двум типам по двум классификациям позволил автору установить, что больше воспроизводится сильных явлений по сравнению с умеренными, а соотношение между двумя типами Эль-Ниньо меняется от модели к модели. Проведенная валидация моделей на оценке составляющих бюджета тепла перемешанного слоя океана по данным моделей в период формирования Эль-Ниньо и сравнение механизмов формирования сильных и умеренных Эль-Ниньо по данным моделей и реанализа позволили определить модели, лучшим образом воспроизводящие основные особенности механизма формирования Эль-Ниньо двух типов.

Пятая глава направлена на выявление возможной модификации механизмов формирования Эль-Ниньо двух типов в условиях потепления климата. Для этого по данным ансамбля выбранных климатических моделей CMIP5 в рамках сценария RCP8.5 получена оценка изменения статистических характеристик Эль-Ниньо в XXI в. Соискателем показано возможное увеличение повторяемости Эль-Ниньо по сравнению с современным климатом при увеличении повторяемости сильных, и снижении

повторяемости умеренных Эль-Ниньо. При этом сохраняются характерные для современных условий особенности распределения составляющих бюджета тепла в период формирования и развития сильных и умеренных Эль-Ниньо. Оценка модификации механизмов формирования сильных и умеренных Эль-Ниньо в условиях потепления климата на основе расчетов разности проекций составляющих бюджета тепла перемешанного слоя океана между будущим и современным климатом показала, что это в большей мере сможет реализоваться за счет интенсификации сильных Эль-Ниньо по сравнению с умеренными. При этом динамика роста аномалий температуры при умеренных Эль-Ниньо будет запаздывать по сравнению с современными условиями, а для сильных – опережать, смещаясь в сторону фазы зарождения.

Однако приведенные результаты получены по ансамблю моделей CMIP5, хотя в настоящее время уже доступны данные проекта CMIP6, которые имеют заметно большую чувствительность к климатическим состояниям. Возможно ли, что при повторном исследовании на основе моделей проекта CMIP6 будут получены несопоставимые с этой работой результаты? Особенно актуален этот вопрос в виду несогласованности результатов соискателя (5 пункт раздела «заключение»: «Ожидается также повышение доли ВТ Эль-Ниньо, однако это подтверждается не всеми анализируемыми моделями») и результатов работы [Yeh, 2009], в которой использовались данные CMIP3 и был отмечен пятикратный рост соотношения долей ЦТ/ВТ. В то же время, оценки будущих изменений получены в рамках наиболее пессимистического сценария RCP8.5, но было бы интересно сопоставить их с расчетами по более реалистичному сценарию, например, RCP4.5.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

Вместе с тем указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени

М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате» (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.


Таким образом, соискатель Осипов Александр Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате».

Официальный оппонент:

доктор географических наук,
профессор, зам. директора
ФГБУН «Институт
природно-технических систем»

ВОСКРЕСЕНСКАЯ Елена Николаевна  «27» апреля 2024 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(8692)48-94-67, e-mail 

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.30 – «Метеорология, климатология, агрометеорология»

Адрес места работы:

299011, г. Севастополь, ул. Ленина, д. 28,
ФГБУН «Институт природно-технических систем»

Тел.: +7(8692)54-44-10, e-mail: info@instpts.ru

Подпись сотрудника ФГБУН «Институт природно-технических систем»
Е.Н. Воскресенской удостоверяю:

Начальник отдела кадров



Э.Н. Сердюков