

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 А.М. Осипова посвящена исследованию факторов формирования явления Эль-Ниньо различных типов по данным реанализа для последних трех десятилетий и данным ансамбля глобальных моделей климата как для исторического климата, так и для возможных будущих изменений в XXI веке. Исследование основывается на диагностике компонентов уравнения теплового баланса верхнего перемешанного слоя в экваториальной области Тихого океана.

Изменчивость температуры поверхности океана (ТПО) в экваториальной части Тихого океана, связанная с явлением Эль-Ниньо/Южное колебание вносит главный вклад в естественные глобальные вариации климата на межгодовом масштабе. Резкое повышение ТПО в тропической части Тихого океана и смещение области глубокой конвекции вызывает значительные аномалии атмосферной циркуляции по всему миру, наиболее ярко выраженные в тропиках, но также распространяющиеся во внетропические широты. Эль-Ниньо в том числе оказывает значительное влияние климатическую изменчивости в Северном Тихом океане. Несмотря на огромный интерес к этому явлению и связанным с ним последствиям, особенно после Эль-Ниньо очень сильной амплитуды в 1982/1983 г., организацию уникальных для 1980-х гг. атмосферных и океанографических измерений в тропической части Тихого океана, до сих пор нет однозначного понимания всего спектра процессов, как развития явления Эль-Ниньо, так и его инициации. Это связано с большим количеством и сложностью обратных связей в системе тропический океан-

атмосфера, нелинейностью динамики этой системы, ее открытостью и высокой чувствительностью к внешним воздействиям. Существующие пробелы в фундаментальных знаниях о динамике Эль-Ниньо являются существенным препятствием для создания успешных моделей прогноза этого явления и, соответственно, прогноза сопутствующих погодных аномалий, в т.ч. на территории России. Все это определяет высокую актуальность исследований Эль-Ниньо, важных как для фундаментального понимания динамики Земной климатической системы, так и для практических целей прогноза погодных аномалий.

В начале XXI века появились первые результаты, указывающие на существование разных по своей пространственно-временной структуре типов Эль-Ниньо, приводящих к различным удаленным откликам. В настоящее время происходит постепенный процесс накопления новых результатов, основанных на быстро растущем количестве новых данных наблюдений, реанализов и моделей климата, позволяющих впервые детально исследовать динамику трехмерной океанической циркуляции и способных привести, как и в 1990-х гг. к качественному скачку в понимании процессов формирования явления Эль-Ниньо и его связи с глобальными погодно-климатическими аномалиями. В направлении таких исследований представленная работа делает значимый вклад. Диссертант впервые исследовал компоненты бюджета тепла с использованием данных современного океанического реанализа высокого разрешения GLORYS2V4 для различных типов Эль-Ниньо с использованием разных классификаций (Восточнотихоокеанских/Центральнотихоокеанских и сильных/слабых явлений), использовал метод диагностики составляющих теплового баланса для оценки способностей ансамбля моделей климата воспроизводить квази-наблюдаемые (по данным реанализа) особенности динамики теплового баланса океана во время Эль-Ниньо и проанализировал возможные будущие изменения по данным сценарных расчетов с моделями климата в XXI веке. Такой анализ и полученные на его основе выводы составляют научную новизну работы.

Работа состоит из Введения, пяти глав и Заключения. Во Введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость, а также кратко описываются структура работы и этапы её апробации. Первая глава посвящена обзору представлений о явлении Эль-Ниньо, его описанию, концепций динамики этого явления, механизмов и типов классификации. Во второй главе описаны используемые данные и методы исследования, в т.ч. критерии выделения различных типов Эль-Ниньо, метод расчета составляющих уравнения бюджета тепла верхнего перемешанного слоя океана и их проецирования на моды изменчивости, связанные с разными типами явления. В третьей главе эти методы применяются к данным реанализа GLORYS2V4, делаются количественные оценки компонентов баланса тепла для разных типов Эль-Ниньо в фазе зарождения и развития, на основе чего делаются выводы об относительной роли различных составляющих океанической адвекции тепла и тепловых потоков на границе океан-атмосфера в формировании аномалий ТПО. В четвертой главе та же методика используется для оценки реалистичности воспроизведения Эль-Ниньо двух типов в моделях климата ансамбля CMIP5 для исторического периода в сравнении с результатами, полученными по данным реанализа GLORYS2V4. Пятая глава посвящена анализу изменений составляющих бюджета тепла в более теплом климате по данным сценарных расчетов с моделями CMIP5 и исследованию модификации вклада различных обратных связей в формирование Эль-Ниньо при потеплении. В Заключении сформулированы основные выводы диссертации.

Представленная работа выполнена на хорошем, добротном уровне и свидетельствует о высоком уровне квалификации соискателя. Диссертационная работа хорошо структурирована и иллюстрирована. Выводы по результатам работы обоснованы и достоверны, полностью соответствуют ее целям и положениям, выносимым на защиту. Следует

отметить выполненный детальный анализ вклада различных компонент теплового баланса с физической интерпретацией результатов и оценкой относительной роли основных обратных связей в формировании Эль-Ниньо, их изменений и различий в модельном ансамбле и между моделями и реанализом. Это позволило выделить ряд наиболее реалистичных моделей по объективным критериям соответствия «наблюдаемым» (по данным реанализа) динамическим процессам и установить важную роль линейной адвекции (переноса аномалий средним потоком) для корректного воспроизведения Эль-Ниньо. В том числе важным представляется результат о, в целом, одинаковом механизме формирования различных, как по интенсивности, так и по локализации типов Эль-Ниньо, а также неизменности этих механизмов при потеплении климата на горизонте XXI века. При этом, как показывает анализ, отмечается некоторое ослабление вклада горизонтальной адвекции и усиление роли нелинейной адвекции в формировании Эль-Ниньо. Это новые, обоснованные детальным анализом результаты, достоверность которых, в частности, подтверждает согласие с ранее опубликованными результатами, выполненными на основе других массивов данных.

К работе можно высказать ряд замечаний и вопросов.

Глава 1. На стр. 16 в определении индекса Южного колебания допущена ошибка. Индекс по формуле 1.1 имеет размерность $1/\text{гПа}$, хотя должен быть безразмерным.

Несколько режет глаз формулировка «основоположник учений об Эль-Ниньо» на стр. 18.

На стр. 20 говорится о том, что «в ряде исследований было предложено разделять события ЭНЮК на два динамических режима», что легло в основу типизации. В итоге же проведенных в диссертации исследований делается вывод о том, что для двух типов ЭНЮК динамические процессы в целом одинаковы, просто различаются количественно. Означает ли это, что

предположение о двух динамических режимах в указанных работах было неверным?

На стр. 25 у автора, на мой взгляд, некоторая путаница с циклом явления Эль-Ниньо и его квазициклической повторяемостью. Обратные связи (положительные и отрицательные) необходимы для формирования цикла зарождение-развитие-затухание Эль-Ниньо, а не для «существования квазипериодического цикла ЭНЮК».

На стр. 34 приводится упрощенное уравнение 1.2 для тенденции аномалий температуры, включающее только зональную и вертикальную скорости. Вместе с тем ранее (стр. 30) говорится о важности межширотного обмена тепла. Какие допущения делались при указанном упрощении?

Глава 2. Стр. 28. Ошибка в 25 см/сек для океанических течений представляется довольно большой при средних скоростях 10-50 см/сек.

Стр. 47. Событие ВТ Эль-Ниньо определяется как превышение индекса Е над С. Но это, согласно определениям 2.2, 2.3 означает, что $PC2 > 0$, т.е. не зависит от $PC1$, которое соответствует структуре АТПО при каноническом (ВТ) типе Эль-Ниньо (стр. 43). Так ли это?

В целом к методике оценки составляющих теплового баланса два основных вопроса. 1. Почему на расчеты не влияет толщина перемешанного слоя? Ведь его глубина на протяжении экваториальной зоны Тихого океана меняется в разы, соответственно и отклик температуры на аномалии притока тепла должен меняться так же. Автором указывается, что расчеты для 50м и 100м слоя не сильно отличаются, также приведены ссылки на статьи, где делаются аналогичные выводы. В чем, по мнению диссертанта причина такого результата? 2. Расчет компонент теплового баланса выполнялся, фактически, для регионов максимальных аномалий явлений двух типов (раздел 2.7, проекция компонент на моды). Таким образом, можно диагностировать процессы, влияющие на изменения ТПО в регионе, где формируются максимальные аномалии. Но не важно ли также исследовать почему в другом регионе аномалий ТПО не возникает? Является ли это

следствием динамического равновесия, или все компоненты малы (что маловероятно)?

Глава 3. На стр. 63 указан список сильных и умеренных явлений Эль-Ниньо (табл. 3.1), которые далее используются в работе для композитного анализа. Сильных явлений только 2. Являются ли представленные далее результаты для сильных явлений осреднением по двум событиям? Если да, то следовало это обсудить, т.е. в таком случае невозможно оценить статистическую значимость результатов. И далее в целом на всех рисунках с результатами композитного анализа нет оценок статистической значимости.

Глава 4. Стр. 93. Не указан период, за который брались данные моделей климата (указана лишь его продолжительность). Предполагаю, что это период с 1851 по 2005 г. Каков был тренд ТПО в этот период и как он соотносится с трендом в 2005-2100 гг.?

Оценки успешности моделей по динамическим критериям обобщены в табл. 4.4. Вместе с тем, успешность, в т.ч. для практических целей, связана с реалистичным воспроизведением амплитуды и повторяемости (максимум в спектре изменчивости) аномалий ТПО. Являются ли модели, реалистичные по величине и соотношению компонентов теплового баланса также лучшими по воспроизведению спектра изменчивости ТПО? Делались ли такие оценки?

На стр. 109 отмечается, что наиболее близка к реанализу модель IPSL. Эта модель использует ту же океаническую модель NEMO, что и реанализ GLORYS2V4. Это важно было отметить.

Можно ли из рис. 4.4 сделать вывод о том, что модели существенно хуже воспроизводят стадию зарождения Эль-Ниньо, чем стадию развития?

На стр. 113 делается вывод о том, что «механизмы формирования соответствующих типов Эль-Ниньо из разных классификаций не имеют значительных отличий друг от друга». Почему тогда пространственная структура аномалий ТПО существенно (качественно) отличается?

Глава 5. Интенсивность явлений Эль-Ниньо, их динамика и частота во многом связаны с зональным градиентом температуры (напр. Nino3-Nino4) и

«объемом теплой воды» в западной части экваториального Тихого океана. Эти характеристики и их изменения имеют важное значение как для реалистичного воспроизведения Эль-Ниньо в моделях, так и для модификации Эль-Ниньо при глобальном потеплении. Если анализ данных характеристик не проводился, рекомендую сделать это в следующих этапах 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.

Отдельно следует отметить, что нашей стране крайне мало специалистов, занимающихся изучением процессов формирования Эль-Ниньо, хотя, повторюсь, это важнейший элемент динамики глобального климата, одна из сложнейших систем формирования квазициклических колебаний атмосферы и океана, один из ведущих факторов формирования погодных аномалий в мире и источник сезонной предсказуемости. Качество проделанной работы, ее результаты, продемонстрированный уровень понимания механизмов и процессов динамики ЭНЮК, характеризуют диссертанта как высококвалифицированного специалиста, способного к самостоятельной работе, что весьма важно для развития направления тропической метеорологии и океанологии в нашей стране.

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 физико-математических наук,
академик РАН, и.о. директора
ФГБУН Институт физики атмосферы
им. А.М. Обухова РАН

СЕМЁНОВ Владимир Анатольевич

«27» апреля 2024 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(495)959-37-93, e-mail: vasemenov@ifaran.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы»

Адрес места работы:

119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3,

ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Тел.: +7(495)951-55-65, e-mail: vasemenov@ifaran.ru