

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Марчуковой Олеси Владимировны
«События Ла-Нинья: их классификация, особенности формирования и климатические последствия в Атлантико-Европейском регионе», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология

Диссертационная работа Марчуковой О.В. посвящена изучению холодной фазы явления Эль-Ниньо Южное Колебание (ЭНЮК), представляющего собой наиболее яркое проявление климатической изменчивости на межгодовых масштабах. В то время как теплая фаза цикла ЭНЮК – явление Эль-Ниньо – подробно изучена, как с точки зрения механизмов формирования и климатических последствий, так и с точки зрения изменчивости его характеристик, события Ла-Нинья исследованы в меньшей степени. Однозначного мнения в мировом сообществе по поводу классификации Ла-Нинья, в частности возможности выделения двух типов (Восточно-Тихоокеанского и Центрально-Тихоокеанского), по аналогии с явлениями Эль-Ниньо, не существует. Исследований климатических аномалий в Атлантико-Европейском регионе, сопутствующих Ла-Нинья, также значительно меньше по сравнению с Эль-Ниньо. При этом важно отметить, что климатические и социально-экономические последствия Ла-Нинья не менее значимы, чем отклик на Эль-Ниньо, и проявляются во многих регионах Земного шара в виде засух, наводнений, сокращений рыбных уловов, потерь урожая, увеличения числа тропических циклонов, гибели кораллов и т.д. Изучение механизмов Ла-Нинья и Эль-Ниньо, способствует повышению качества долгосрочных прогнозов, в том числе и экстремальных погодных явлений, что, в свою очередь, расширяет возможности адаптации общества к аномальным климатическим флуктуациям и минимизирует социально-экономические потери. Всё это обуславливает актуальность представленной работы.

Новизна выносимых на защиту научных положений подтверждается публикациями автора по теме диссертации в рецензируемых журналах, цитируемых в РИНЦ, SCOPUS и Web of Science. Научная новизна работы сводится к доказательству существования двух типов Ла-Нинья и оценки различий отклика на два типа Ла-Нинья в Атлантико-Европейском регионе. Особый интерес представляет предложенный метод объективной классификации Ла-Нинья, основанный на кластерном анализе.

Достоверность результатов диссертации обеспечена проведенным комплексным статистическим анализом большого объема данных за период с 1870 по 2019 гг. Полученные в работе результаты носят фундаментальный характер и направлены на решение актуальной научной проблемы – исследование характеристик и механизмов формирования крупнейшей климатической осцилляции – цикла ЭНЮК. Результаты исследования могут иметь практическое применение, в частности способствовать совершенствованию методов долгосрочного прогнозирования погоды-климатических условий в Атлантико-Европейском секторе.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и обозначений, приложения и списка использованных источников. Объем работы составляет 169 страниц. Текст исследования иллюстрирован 50 рисунками.

Во **введении** обозначена актуальность темы исследования, поставлены цель и задачи, описаны новизна, практическая и теоретическая значимость работы, приведены основные положения диссертации, выносимые на защиту, личный вклад автора, апробация полученных результатов и публикации соискателя.

В **Главе 1** проведен анализ литературных источников по теме диссертации. Соискатель делает вывод, что для более корректного исследования явления Ла-Нинья и удаленных откликов на него необходима разработка объективной классификация этих

явлений, так как сравнение существующих на настоящий момент классификаций Ла-Нинья показывает, что длина анализируемых временных рядов, не превышающих 62 года, недостаточна для выявления статистически значимых различий между типами Ла-Нинья, а методы классификаций часто слишком упрощены.

В **Главе 2** подробно описаны используемые массивы реконструированных данных и реанализов, дана оценка их качества путем сравнения с данными наблюдений. Безусловным достоинством является использование в работе различных океанологических реанализов и проведенное детальное сравнение их между собой и с данными наблюдений. Учитывая значительные различия между собой данных океанологических реанализов, в отличие от атмосферных, делает невозможным использование для целей исследования только одного массива, без предварительной его валидации. В главе также рассмотрены методы выделения событий Ла-Нинья и их классификации. Подробно описаны используемые в работе статистические методы. В целом можно отметить, что используемые в работе данные, методы и подходы описаны четко и подробно.

В **Главе 3** приведены основные результаты работы. Для периода с 1870 по 2019 гг. выделены события Ла-Нинья, определены их количественные и статистические характеристики, проведена классификация объективным методом. К несомненным достоинствам работы можно отнести проведенное сравнение результатов, полученных по данным разных реанализов, что существенно повышает достоверность полученных выводов. С помощью иерархического метода кластерного анализа доказано существование двух типов Ла-Нинья: Восточно-Тихоокеанского (ВТ) и Центрально-Тихоокеанского (ЦТ). Выявлено, что в формировании событий Ла-Нинья ЦТ типа важную роль играет интенсификация пассатных ветров в центрально-экваториальной зоне Тихого океана, где в период развития явления формируется интенсивный апвеллинг, при котором концентрация хлорофилла «А» увеличивается в 6-8 раз. При Ла-Нинья ВТ типа в формировании отрицательной аномалии ТПО основной вклад вносит усиление Перуанского апвеллинга на востоке Тихого океана, поддерживаемого интенсификацией пассатных ветров над восточно-экваториальным сектором.

Классификация, полученная на основании кластерного анализа, подтверждается разложением полей ТПО в экваториальной полосе Тихого океана на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ). ЭОФ анализ позволил выявить наличие двух основных мод. Первая ЭОФ (описывающая ~44,5% дисперсии) сходна с пространственно-временной структурой ЦТ типа Ла-Нинья, характеризующегося локализацией в центре Тихого океана, и имеющего продолжительность порядка двух лет. Эти явления можно интерпретировать как два последовательных эпизода Ла-Нинья. Вторая мода ЭОФ (описывает 22% изменчивости) соответствует Ла-Нинья ВТ типа, которые возникают в восточно-экваториальной части Тихого океана, там же развиваются и существуют не больше года.

Глава 4 посвящена отклику на Ла-Нинья температуры воздуха, приземного давления и осадков в Атлантико-Европейском регионе. Сделан вывод, что климатические аномалии в Европе в годы разных типов Ла-Нинья существенно различаются. Механизм удаленного отклика реализуется через усиление или ослабление Североатлантического и/или Восточно-Атлантического колебаний.

В целом, диссертация Марчуковой О.В. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне.

Несмотря на указанные достоинства работы, необходимо отметить некоторые недостатки:

1. Основным недостатком главы 1 является поверхностное рассмотрение физических механизмов цикла ЭНЮК. Этот недостаток сказывается и на последующей

интерпретации полученных результатов. В целом ряде работ, обобщенных в частности в (T. Li, P.-C. Hsu. *Fundamentals of Tropical Climate Dynamics*. Springer International Publishing AG 2018, 236 p.) описаны положительные обратные связи в системе океан-атмосфера, ответственные за рост аномалий ТПО в условиях ЭНЮК. Три основных типа обратных связей – это адвективная обратная связь, термоклинная Бьеркнесова обратная связь и Экмановская обратная связь. Именно эти механизмы приводят к нелинейному росту аномалий ТПО как в условиях Эль-Ниньо, так и Ла-Нинья. Однако в работе ни одна из них не упоминается. Также не рассмотрены существующие на настоящий момент теории, объясняющие циклическую природу ЭНЮК, а именно теория запаздывающего осциллятора и теория загрузки-разгрузки. При этом полученные в работе результаты, безусловно могут быть интерпретированы в рамках данных теорий. В разделе 1.3 рассмотрена только роль волн Россби в формировании аномалий, которая не является определяющей, а также приведен перечень наблюдающихся аномалий в условиях Ла-Нинья без описания физических процессов их формирования.

2. С точки зрения целей и задач работы ключевым является вопрос об асимметрии цикла ЭНЮК, а именно о большей амплитуде явлений Эль-Ниньо по сравнению с Ла-Нинья. В главе 1 эта проблема никак не освещена, в частности не рассматривается роль положительных и отрицательных обратных связей в системе океан-атмосфера, ответственных за возникновение этой асимметрии. По сути, упоминается только различная продолжительность явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья со ссылкой на одну достаточно старую работу (Okumura et al., 2010).

3. В главе 1 рассмотрены различные классификации явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья, однако не упоминается широко используемая в настоящий момент классификация, основанная на ЭОФ разложении аномалий ТПО в экваториальном Тихом океане. Как показано в (Takahashi et al., 2011) и целом ряде других работ, данная классификация позволяет наиболее объективно выделить два типа явлений Эль-Ниньо, причем не только при анализе данных наблюдений, но и в климатических моделях, для которых использование классификаций, базирующихся на географически фиксированных районах, неприемлемо.

4. По главе 2 можно высказать два замечания: а) не объяснено почему для ЭОФ-анализа взята такая узкая широтная полоса, тогда как в большинстве исследований используется область от 2°с.ш до 2°ю.ш ; б) Вызывают некоторое сомнение низкие значения корреляции между исследуемыми массивами в районе Теплого языка на западе экваториального Тихого океана. Как известно, Эль-Ниньо и Ла-Нинья характеризуются дипольной структурой аномалий ТПО с аномалиями противоположных знаков, локализованными на западе и востоке экваториального Тихого океана. Соответственно важны значения аномалий ТПО не только на востоке и в центре Тихого океана, но и на западе, так как это ключевой, с точки зрения физического механизма формирования ЭНЮК, район.

5. В главе 3 не до конца понятен анализ функций распределения. В частности, делается вывод, что многомодальность распределения свидетельствует о том, что «в этом экваториальном районе на ТПО влияет большое число малых равнозначных факторов». О каких факторах идет речь, почему они равнозначны, почему они малы и как связаны с многомодальностью распределения непонятно. Указанные выше три типа обратных связей, являющихся основными механизмами роста аномалий ТПО в цикле ЭНЮК, не дают многомодального распределения аномалий ТПО. Из текста работы складывается впечатление, что не соответствие ЭФР нормальному закону распределения является недостатком используемых реанализов. При этом известно, что важнейшим свойством цикла ЭНЮК является его асимметрия в сторону Эль-Ниньо, то есть распределение ТПО на большей части тропического Тихого океана должно иметь положительную

асимметрию. Далее в тексте указано, что на асимметрию амплитуды вероятно влияет интенсивность апвеллинга. Причины асимметрии подробно рассмотрены, например, в работе (Su et al. 2010). В качестве основных причин называется различный вклад процессов нелинейной зональной и меридиональной адвекции, обеспечивающих положительные и отрицательные обратные связи, при Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Если автор не согласен с этой теорией, представленной в целом ряде работ, то целесообразно было указать причины несогласия и привести аргументы в пользу собственной гипотезы.

6. При сравнении результатов, полученных по разным реанализам, не корректно использованы выражения вида «зрелая фаза воспроизводится хорошо». Если сравниваются разные реанализы, то как можно определить, какой из них лучше, а какой хуже?

7. В разделе 3.4 обсуждаются физические причины формирования двух типов Эль-Ниньо с привлечением в качестве доказательств данных о различных метеорологических и океанологических характеристиках. Доказательства выглядят вполне убедительно, однако по-прежнему непонятно, как полученные результаты вписываются в существующие и апробированные (именно на основании этих теорий построены модели численного прогноза ЭНЮК) теории цикличности Эль-Ниньо (запаздывающего осциллятора и «загрузки-разгрузки»), а также, как эти результаты согласуются с механизмами обратных положительных связей, которые обеспечивают нелинейный рост аномалий ТПО при Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

8. Вызывает определенные вопросы интерпретация ЭОФ анализа. В частности, в работе утверждается, что «В физическом смысле первый ЭОФ демонстрирует два последовательных Ла-Нинья, которые возникают после сильного канонического Эль-Ниньо. То есть, после интенсивного Эль-Ниньо обычно возникает Ла-Нинья с формированием максимально отрицательных аномалий в центрально-экваториальной зоне Тихого океана в конце осени и начале зимы, потом утихает и ровно через год усиливается снова. Это доказывает концепцию двухлетнего Ла-Нинья, и еще раз подтверждает, что события Эль-Ниньо и Ла-Нинья асимметричны друг к другу» Если ЭОФы построены только по эпизодам Ла-Нинья, то как можно заключить, какое Эль-Ниньо им предшествует? Что такое концепция двухлетнего Ла-Нинья? И что означает вывод о том, что Эль-Ниньо и Ла-Нинья асимметричны друг другу? По какому показателю? Как это следует из анализа разрезов ЭОФ? Вывод «Таким образом, с помощью разложения на ЭОФ 2,5-летних отрезков изменений аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана по данным массивов HadISST и COBE SST2 с 1900 по 2019 гг. и их дальнейшей кластеризации были получены пространственно временные закономерности формирования явлений Ла-Нинья относительно разных типов Эль-Ниньо» вообще непонятен.

9. Основное замечание по главе 4 касается использования композитного анализа. Композиты не дают представления о причинно-следственных связях. Таким образом, не представляется возможным сделать вывод, что именно Ла-Нинья приводит к формированию положительной (отрицательной) фазы САК или ВАК. В данном случае более показательным является регрессионный анализ, который позволяет выявить статистические взаимосвязи между двумя конкретными процессами, а не констатировать (как в случае композитов) формирование аномалий определенного знака в Атлантико-Европейском секторе и ТПО в Тихом океане, которые совершенно необязательно связаны между собой. В качестве пожелания можно указать, что было бы целесообразно предложить гипотезы формирования такого разного отклика на ВТ и ЦТ Ла-Нинья в Атлантико-Европейском секторе.

10. В качестве замечания по всему тексту работы необходимо указать большое количество стилистических ошибок, начиная от несогласования по роду, числу и

заканчивая некорректным употреблением некоторых терминов. Например, «западные пассатные ветра», «приземное синоптическое давление». Формулировка некоторых фраз не позволяет понять их смысл. Особенно это касается главы 1, и, вероятно, связано с некорректным переводом англоязычных источников.

В целом, указанные замечания не снижают положительного впечатления о работе, они не влияют на главные выводы и практические результаты диссертации, описанные выше.

Результаты диссертационной работы оригинальны, обладают научной новизной и практически значимы, демонстрируют вклад автора в изучение явления ЭНЮК. Выполненная работа характеризует соискателя как вполне сложившегося исследователя, умеющего самостоятельно ставить и решать научные задачи.

Автореферат отражает основное содержание диссертации, содержит обоснованные выводы и рекомендации, отвечает требованиям ВАК РФ.

Подводя общий итог, необходимо заключить, что новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для российской науки для решения вопросов долгосрочного прогнозирования, а сама диссертация является законченной научно-квалификационной работой, отвечающей паспорту специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук,

Работа «События Ла-Нинья: их классификация, особенности формирования и климатические последствия в Атлантико-Европейском регионе» отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Марчукова Олеся Владимировна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Я, **Гущина Дарья Юрьевна**, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

доктор географических наук (25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология), профессор кафедры метеорологии и климатологии МГУ имени М.В. Ломоносова

 Д.Ю. Гущина

4.09.2022 г.

Адрес места работы:

119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы,
1, Московский государственный университет им.
М.В. Ломоносова, Географический факультет

Моб. тел.: +7(903)121-59-22

E-mail: dasha155@mail.ru

Подпись официального оппонента заверяю

Начальник отдела кадров географического
Факультета МГУ имени М.В.Ломоносова



 Степаненко Л.А.