

ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
Дианского Николая Ардальяновича

на диссертационную работу Лубкова Андрея Сергеевича

«Долгосрочное прогнозирование явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья с использованием модели на основе нейронных сетей» представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате».

Диссертационная работа Лубкова Андрея Сергеевича «Долгосрочное прогнозирование явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья с использованием модели на основе нейронных сетей» посвящена исследованию одного из важнейших факторов глобальной климатической системы – прогнозу термогидродинамических характеристик в системе океан–атмосфера. В качестве объекта исследования соискателем были выбраны события Эль-Ниньо и Ла-Нинья, в качестве предмета исследования – их прогноз с учетом пространственных типов этих событий. Конечная цель работы А.С.Лубкова состояла в создании модели долгосрочного прогноза событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья с учетом их пространственных типов с заблаговременностью 12 месяцев и более на основе искусственных нейронных сетей. В работе решены следующие задачи: проанализированы поля гидрометеорологических характеристик и выбраны климатические сигналы в глобальной системе океан-атмосфера для использования их в качестве предикторов Эль-Ниньо/Ла-Нинья; адаптирован метод искусственных нейронных сетей для создания модели долгосрочных прогнозов Эль-Ниньо, Ла-Нинья и нейтральной фазы Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) с привлечением климатических сигналов в глобальной системе океан-атмосфера в качестве предикторов; разработанная модель применена для прогнозирования Эль-Ниньо, Ла-Нинья и нейтральной фазы ЭНЮК с заблаговременностью более 12 мес. и сделана оценка качества прогностических характеристик разработанной модели и проведено их сравнение с современными динамическими моделями и моделями глубокого обучения.

Актуальность темы диссертации. Эль-Ниньо – Южное колебание один из важнейших факторов межгодовых колебаний климата, обуславливающих экстре-

мальные гидрометеорологические, агротехнические и экологические последствия на Земле. Заблаговременный прогноз составляющих ЭНЮК событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья является одной из приоритетных задач современной климатологии и представляет в настоящее время чрезвычайную актуальность, поскольку он позволит предупредить или минимизировать объемы вызываемых ими ущербов. Прогнозом Эль-Ниньо и Ла-Нинья занимаются ведущие мировые климатические центры. Тем не менее, трудность их прогнозирования сопряжена с проблемой так называемого «весеннего» порога предсказуемости, что ограничивает способности моделей в вопросе прогноза состояния ЭНЮК до 6-12 месяцев. Несмотря на предпринимаемые усилия ученых и специалистов, получение качественного прогноза Эль-Ниньо и Ла-Нинья и их типов становится все более востребованным.

Научная новизна исследования состоит, прежде всего, в том, что созданная автором модель на основе искусственных нейронных сетей обеспечила возможность эффективного долгосрочного прогноза событий Эль-Ниньо, Ла-Нинья, а также нейтральной фазы ЭНЮК с заблаговременностью более 1 года. При этом модель позволяет прогнозировать не только начало изучаемых тихоокеанских событий, но и определить их тип, чего не делают модели ведущих климатических центров. В дополнение к этому, эффективная продолжительность получаемого прогноза заметно лучше современных динамических и статистических моделей за счет способности модели к преодолению весеннего порога предсказуемости.

Достоверность полученных результатов модельных расчетов подтверждается независимой проверкой результатов моделирования с помощью верификационной выборки, а также публикациями в ведущих профильных рецензируемых журналах и выступлениями автора на многочисленных научных конференциях.

Личный вклад автора адекватно представлен в тексте диссертации и автореферата. Даны корректные ссылки на предыдущие исследования. Все вынесенные на защиту положения и полученные научные результаты диссертации получены лично автором. Автору принадлежит ведущая роль в постановке задач, подготовке публикаций и докладов на конференциях, симпозиумах, семинарах и т.д.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, отдельного списка используемых в работе сокращений, списка использованной научной литературы и четырех приложений.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются ее цели и задачи, обозначены основные направления проведенных исследований. Очень важно, что показана конкретная связь данной работы с действующими научными программами, планами, темами.

Первая глава является обзорной. В ней приведен подробный анализ исследований явления Эль-Ниньо — Южное колебание различными авторами, выполненный на основе современных литературных источников. Равномерно уделено внимание причинам возникновения Эль-Ниньо и Ла-Нинья, классификации этих событий и проблемам и современным подходам их прогнозирования. При этом автор делает акцент на использовании машинного обучения, искусственных нейронных сетей и, в особенности, моделей, основанных на алгоритмах глубокого обучения, для прогнозирования этих событий.

Во второй главе подробно представлены используемые данные, проведена проверка их качества. Показано, что выбранные массивы данных обладают необходимыми свойствами для успешной работы модели: достаточная продолжительность, однородность и оперативное обновление актуальных данных. Описан разработанный автором алгоритм пространственно-временного подбора предикторов для корректной работы прогностической модели.

Значительный интерес вызывает содержание **третьей главы** работы, в которой подробно описаны алгоритмы и параметры предлагаемой прогностической модели, в основе которой лежит многослойный персептрон. Тесты на искусственно созданных рядах данных указали на верную сборку математического ядра модели, а моделирование на основе реальных данных выявили проблемы, решение которых описывается в этой главе. Уделено не малое внимание оптимизации, которая, по оценкам автора, ускорила модель в 7-34 раза. В результате модель сводится к множественному перебору большого количества конструкций нейронных сетей для достижения наилучшего модельного результата и трем ключевым выборкам данных: обучающей, тестовой и контрольной.

В четвертой главе последовательно рассмотрены эксперименты моделирования Эль-Ниньо — Южное колебание, оценены способности модели адекватно воспроизводить явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья и определять их типы. Проведено сравнение проведенных прогностических модельных расчетов с аналогичными

прогнозами ведущих климатических центров и передовыми моделями искусственного интеллекта, представлен успешный прогноз последнего Эль-Ниньо 2023 года и рассмотрен прогноз Ла-Нинья 2024-2025 гг., являющийся на сегодня дискуссионным. Отдельно рассмотрены ключевые предикторы, используемые в модели для прогноза событий. Анализ повторяемости используемых моделью предикторов в будущем может быть полезен для выявления схем взаимодействия системы океан-атмосфера, отвечающих за формирования условий, предшествующих событиям Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

В заключении приведены основные выводы, полученные в диссертации. Результаты диссертации изложены в 23 работах автора, 9 из которых входят в наукометрические базы SCOPUS и Web of Science, 11 отвечают требованиям ВАК, опубликовано 60 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях.

Вынесение части материала диссертации в приложения значительно облегчает прочтение, в то же время позволяет при необходимости ознакомиться с проблемой более подробно.

В качестве замечаний по диссертации А.С.Лубкова необходимо отметить следующее.

1. Преимущество разработанной автором прогностической модели составляет ее способность преодолевать «весенний порог предсказуемости», однако в работе недостаточно подробно проведено обсуждение физических механизмов, которые обеспечивает такую способность модели.
2. Из текста диссертации (параграф 3.1.1, схема на рис. 3.2) следует, что автор использовал итерации или, как сегодня принято называть, эпохи обучения. Такой подход обычно сопряжен с риском переобучения модели. Каким образом автор контролирует этот процесс?
3. Следует дать высокую оценку приведённому в обзоре подробному анализу по исследованию явления ЭНЮК. Однако на его основе автор приводит схему инициации событий ЭНЮК с заблаговременностью 6–12 месяцев, на ключевом месте которой поставлено влияние САК на снежный покров Северного полушария. Однако если бы это было так просто, то наблюдалась бы простая корреляционная связь между САК и ЭНЮК, чего нет в действительности.

4. В качестве предикторов выбраны высоты изобарических поверхностей 500 и 1000 гПа, меридиональная и зональная составляющие скорости ветра на поверхности 500 гПа, а также ТПО. При этом сами эти характеристики и их прямоугольные в меркаторской проекции широтно-долготные области влияния выбирались не, допустим, с помощью нейронных сетей, а, как названо в диссертации, экспертным путем, то есть с субъективным участием специалиста, что может снижать объективность выбора этих предикторов для прогнозирования ЭНЮК. Неясно также, как эти области влияния связаны с механизмом генерации ЭНЮК.

5. В диссертации атмосферные предикторы циркуляции атмосферы выбирались только на основе атмосферного реанализа NCEP/NCAR, так как в работе был сделан вывод, что этот реанализ лучше чем ERA-Interim воспроизводит динамику атмосферы, что было показано только для области Европы и акватории Гренадского и Норвежского морей. Однако, например, в серии работ Бокучавы Д.Д. и Семенова В.А. на основе ЭОФ анализа показано, что крупномасштабная циркуляция атмосферы более реалистично воспроизводится именно европейскими реанализами. Т.е. для выбора атмосферного реанализа для целей прогнозирования ЭНЮК необходимо было бы использовать более объективную оценку, например глобальный ЭОФ анализ.

6. В диссертации сделаны амбициозный вывод, что разработанная автором на основе нейронных сетей модель позволяет спрогнозировать явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья, а также их типов, с заблаговременностью более 12 месяцев. Однако с этим трудно согласиться, если внимательно взглянуть на один из ключевых рисунков диссертационной работы за номером 4.8. В представленных здесь 11-месячных прогнозах индексов Nino3.4, Nino3 и Nino4 за 2007–2023 гг. появляются сильные ложные Эль-Ниньо в 2008 и 2015 гг. и Ла-Нинья в 2017 и 2019 гг. При этом четыре сильных Ла-Нинья в период 2007–2012 гг. практически не предсказываются.

7. В тексте диссертации встречается ряд неточностей редакционного характера, которые в отдельных случаях даже затрудняют понимание смысла. Так обнаружено более 18 грамматических ошибок. Причем одна из «Заключения» к диссертации: вместо «...с учетом их пространственного...» написано «...с учетом из пространственного...». Кроме того, аббревиатур АК (Арктическое колебание) и МЛР (множественная линейная регрессия) – нет в списке сокращений.

Однако, в целом, указанные замечания и недочеты ни в коей мере не снижают научной ценности представленного исследования по очень востребованной современной тематике. Диссертационная работа Лубкова Андрея Сергеевича выполнена на высоком научном уровне, а сам автор показал высокую квалификацию для постановки и решения сложных климатических задач с применением современных методов и средств для достижения поставленных целей исследования.

Считаю, что представленная диссертационная работа «Долгосрочное прогнозирование явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья с использованием модели на основе нейронных сетей» является самостоятельным, законченным исследованием, а ее содержание полностью отвечает паспорту специальности 1.6.18 и удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор - Лубков Андрей Сергеевич - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент

Дианский Николай Ардальянович,

д.ф.-м.н., профессор физического факультета

Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ);

Тел.моб. +79057979412, эл.почта: nikolay.diansky@gmail.com

14.05.2025

Адрес: Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Московский государственный Университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет

Я, Дианский Николай Ардальянович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

_____ / Дианский Н.А. /

"Подпись Дианского Николая Ардальяновича заверяю",

И.О. декана физического
факультета МГУ

/Белокуров В.В./

