

## **Отзыв**

**официального оппонента на диссертационную работу  
Лубкова Андрея Сергеевича «Долгосрочное прогнозирование явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья с использованием модели на основе нейронных сетей»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате**

**Актуальность темы диссертационной работы.** В условиях современного глобального потепления климата все чаще стали возникать опасные явления катастрофического характера к числу которых относятся Эль-Ниньо и Ла-Нинья. В связи с этим проблема заблаговременного прогноза этих событий, приносящий огромный социально-экономический ущерб, с использованием передовых технологий становится все более актуальной.

**Цель данной работы.** Создание модели долгосрочного прогноза событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья с заблаговременностью до 12 месяцев и более на основе искусственных нейронных сетей.

**Научная новизна.** Создана эффективная модель нейросетевого долгосрочного прогноза явлений Эль-Ниньо, Ла-Нинья и нейтральной фазы ЭНЮК с заблаговременностью более 1 года.

**Степень обоснованности научных положений, выводов.** Защищаемые положения и выводы, представленные в диссертации, соответствуют поставленным в ней цели и задачам. В качестве основного метода исследования современного и будущего состояния явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья и нейтральной фазы ЭНЮК используется разработанная автором модель нейросетевого долгосрочного прогноза, показавшая высокую оправдываемость прогнозируемых событий. Научные положения, защищаемые в работе, логичны и обоснованы, они включают в себя изложение разработанной модели долгосрочного прогноза аномалий температуры поверхности океана (ТПО) в экваториальной зоне Тихого океана, алгоритма отбора предикторов, отражающих связь гидрометеорологических показателей с аномалиями ТПО в экваториальной зоне Тихого океана. Защищается положение о преимуществе авторской прогностической модели по сравнению с современными статистическими моделями прогноза Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Выводы работы базируются на результатах использования разработанной модели по прогнозу событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Показаны ее преимущества перед другими прогностическими моделями поскольку она обладает минимальной чувствительностью к весеннему порогу предсказуемости.

Достоверность результатов и выводов, полученных в диссертации, подтверждается использованием фундаментальных положений климатологии и океанологии, теории климата, подбором наиболее адекватных поставленным задачам методам исследования, оценкой достоверности полученных результатов.

Работа состоит из введения, 4-х глав, списка литературы и 4-х приложений. Объем работы составляет 182 страницы, включая 36 рисунков. Список цитируемой литературы насчитывает 194 наименования.

Во введении диссертации дано обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цель и задачи работы, защищаемые положения, изложена научная новизна исследования, ее теоретическая и практическая значимость.

В первой главе (обзорной) с привлечением обширного списка литературы, начиная с пионерских работ Г. Уокера (1924 г.) и Я. Бьеркнеса (1966 г.) и заканчивая современными исследованиями, дается обстоятельный анализ степени изученности явления ЭНЮК, состояния современных прогностических методов событий Эль-Ниньо и Ла-Ниньо и их типов. Показано преимущество прогностических моделей, базирующихся на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС), перед гидродинамическими и статистическими моделями. Отмечены проблемные вопросы как моделей ИНС, так и классических моделей. Если первые модели ограничены качеством входных данных, то вторые – весенним порогом предсказуемости (ВПП).

В связи с этим во второй главе главное внимание было уделено комплексному анализу современных доступных международных баз данных, характеризующих состояние атмосферы и температуры поверхности океана (ТПО) и разработке алгоритма отбора входных в модель на основе ИНС предикторов, удовлетворяющих требованиям по достаточной продолжительности, однородности и оперативному обновлению. Анализ используемых данных производился с использованием статистических методов и оценкой степени достоверности получаемых результатов.

В третьей главе представлено последовательное описание разработанной нейросетевой прогностической модели, базирующейся на многоуровневой системе моделирования с использованием многослойного персептрона. Рассмотрены результаты тестирования модели на основе реальных данных, дано описание подходов позволивших сократить вычислительное время путем оптимизации модели и декомпозиции прогностического ряда. Основное внимание уделено моделированию низкочастотной и высокочастотной компонент индексов Nino3, Nino4 и Nino3,4, в результате чего была разработана прогностическая схема индексов Nino. Использование контрольной выборки за 2007-2023 гг. позволило дать статистическую оценку качества расчетов.

В четвертой заключительной главе представлены результаты применения разработанной на основе ИНС модели для прогноза Эль-Ниньо, Ла-Нинья и их типов. К числу наиболее важных результатов следует отнести следующие: 1) установлена различная зависимость воспроизведения термических условий Эль-Ниньо и Ла-Нинья от заблаговременности прогноза; 2) успешное прогнозирование с годовой заблаговременностью событий Эль-Ниньо и их типов; 3) разработанная модель, имеющая низкую чувствительность к весеннему порогу предсказуемости, лучше воспроизводит индексы Nino3 и Nino4, чем индекс Nino3,4; 4) авторская модель лучше воспроизводит индекс Nino3,4, чем модели ИС, основанные на алгоритмах глубокого обучения; 5) успешное прогнозирование начала Эль-Ниньо на 2023 г., рассчитанное в ноябре 2022 г., опередившее на 4 месяца официальное сообщение ВМО о вероятности наступления этого события.

Все рассмотренные главы завершаются выводами, что позволяет ознакомиться с их основными результатами.

В заключение работы сформулированы ее основные выводы (4).

В 4-х приложениях к диссертации представлены наглядные материалы отражающие главные достижения выполненного исследования.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Научная значимость работы заключается в создании авторской модели нейросетевого долгосрочного прогноза событий Эль-Ниньо, Ла-Нинья и нейтральной фазы ЭНЮК с заблаговременностью более 1 года, превосходящей по качеству ранее созданные гидродинамические, статистические модели и модели, основанные на искусственном интеллекте.

Практическая значимость состоит в возможном использовании ее результатов и методов в прогностических учреждениях Росгидромета, при чтении лекционных курсов по теории климата и общей циркуляции атмосферы в российских университетах при подготовке специалистов по направлению «Гидрометеорология». Полученные результаты использовались в последние годы в отчетах по грантам РФФИ и РГО, а также по государственным научным темам Института природно-технических проблем.

Основные научные результаты, полученные автором:

1. В результате комплексного анализа глобальных гидрометеорологических полей подобраны необходимые индексы для прогностического моделирования событий ЭНЮК.
2. Разработана модель на основе нейронных сетей для долгосрочного прогноза явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья и их типов с заблаговременностью более 12 месяцев.

3. Апробация авторской модели, обладающей минимальной чувствительностью к весеннему порогу предсказуемости, на контрольной выборке показала успешное воспроизведение событий Эль-Ниньо и их типов.
4. Разработанная модель на основе ИНС позволила успешно спрогнозировать начало явления Эль-Ниньо в 2023 г., оказавшее заметное влияние на глобальные климатические события последующих лет.

#### **Основные замечания к работе:**

1. В оглавлении к работе на стр. 2 отсутствует раздел «Введение», который присутствует в самой диссертации.
2. Понятие «весеннего порога предсказуемости» (ВПП) прогностических моделей получило объяснение лишь на стр. 38, хотя и употреблялось в тексте раньше.
3. Не представлено конкретное обоснование выбора в качестве атмосферного индекса для моделирования областей геопотенциальной высоты на изобарической поверхности 500 гПа, в частности, в районе Берингова пролива (рис. 2.6, стр. 74).
4. Третий вывод (фундаментальный) к главе 3 (стр. 112) желательно было представить в более развернутом виде.
5. В работе отсутствует ссылка на ключевую статью И.И. Мохова, Д.А. Смирнова (Эмпирические оценки вклада парниковых газов и естественной климатической изменчивости в тренды приповерхностной температуры для различных широт // ДАН. Науки о Земле, 2022, т. 509, № 1, с. 53-59), в которой дана оценка вклада явления Эль-Ниньо в тренды приповерхностной температуры различных широтных зон для 20, 30 и 50-летних периодов. Ее результаты можно было бы использовать при обосновании выбора для моделирования предикторов.
6. К числу технических замечаний можно отнести следующие: 1) название п. 4.2.2 «Сопоставление способностей модели с современными моделями НС глубокого обучения» (стр. 134) желательно конкретизировать (какой модели, каких способностей?); 2) вместо термина «изобарической поверхности» в тексте иногда используется выражение «барическая поверхность» (стр. 60), выражение «на 500 изобарической поверхности» (стр. 54) надо записывать как «на изобарической поверхности 500 гПа»; 3) в тексте иногда встречаются незначительные грамматические ошибки (например, стр. 18, 101, 137).

Однако эти немногочисленные замечания не снижают общего впечатления от высокого научно-методического и практического уровня выполненного исследования фундаментального характера.

**Заключение.** Результаты работы опубликованы в 23 научных статьях и 4-х сборниках конференций «IOP Conference Series». 9 статей вошли в наукометрические базы Scopus и Web of Science. Автор диссертации принимал активное участие с докладами на многочисленных всероссийских и международных научных конференциях, что дает полное представление о выполненном исследовании.

Содержание опубликованных работ и автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы.

Таким образом, диссертация Лубкова Андрея Сергеевича соответствует паспорту специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате, требованиям п. 11 и 13 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявленным к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Доктор географических наук, профессор,  
Заслуженный работник высшей школы РФ,  
профессор кафедры метеорологии,  
климатологии и экологии атмосферы  
Института экологии, биотехнологии и  
природопользования Казанского  
(Приволжского) федерального университета

Переведенцев Юрий  
Петрович  
13.03.2025 г.

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18  
E-mail: [ypereved@kpfu.ru](mailto:ypereved@kpfu.ru)  
Тел.: (843)206-52-21 (доб. 3030)

Я, Переведенцев Юрий Петрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

