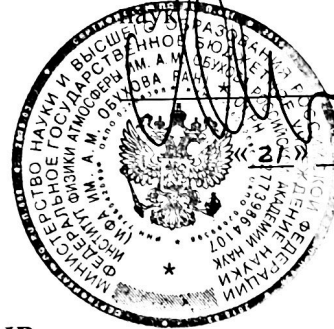


УТВЕРЖДАЮ:

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института физики атмосферы
имени А.М. Обухова Российской
академии наук,
доктор физико-математических



Куличков С.Н.

15 января 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики атмосферы имени А.М. Обухова Российской академии наук
на диссертационную работу
Селезнева Алексея Федоровича

«Развитие методов эмпирической реконструкции распределенных систем с внешними воздействиями и их приложение к исследованию динамики явления Эль-Ниньо»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.4 – радиофизика

Диссертационная работа Селезнева Алексея Федоровича выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук (г. Нижний Новгород)» и посвящена развитию методов эмпирической реконструкции распределенных систем, эволюция которых происходит в присутствии и под влиянием внешних воздействий, и приложению этих методов для построения эффективных моделей динамики явления Эль-Ниньо в широком диапазоне временных масштабов.

Актуальность темы работы. Использование методов радиофизики для создания эмпирических моделей тех или явлений природы и/или общества — актуальная задача современного естествознания. Такие модели позволяют решать практические задачи наук о природе и обществе, даже не имея полных знаний об управляющих системой физических законах. Если же такие законы известны с достаточной полнотой, вычислительная дороговизна моделей, основанных на "первых принципах", может затруднять их использование для ряда стоящих задач. В таком случае эмпирические модели могут служить в качестве вычислительно эффективных эмуляторов для моделей из "первых принципов", дополняя их.

Одной из таких задач является задача прогнозирования процесса Эль-Ниньо-Южное Колебание (ЭНЮК) — одной из важнейших крупномасштабных мод собственной изменчивости климата. События Эль-Ниньо и Ла-Нинья приводят к сильным возмущениям состояния природной среды, в том числе в удаленных регионах, прежде всего, к наводнениям и засухам. При этом сохраняется достаточно известная проблема так называемого "весеннего барьера" в прогнозе развития аномалий этого процесса. Эта проблема является одной из насущных задач прикладной и фундаментальной науки, требующих решения. В связи со всем сказанным выше актуальность работы не вызывает сомнений.

Целями работы являются разработка метода построения эмпирической модели, сочетающего редукцию наблюдаемых данных высокой размерности и реконструкцию оператора эволюции в редуцированном пространстве новых переменных; разработка методов оценки статистической обоснованности выводов, сделанных на основе эмпирической модели; поиск эффективных атмосферных и океанических предикторов, позволяющих преодолеть (или хотя бы существенно снизить) «весенний барьер» при эмпирическом прогнозе поверхностной температуры экваториального Тихого океана; построение на основе найденных предикторов прогностической модели внутригодовой изменчивости явления Эль-Ниньо и анализ ее предсказательной способности; анализ связей между компонентами явления Эль-Ниньо на межгодовых масштабах; построение эмпирической модели изменчивости явления Эль-Ниньо на вековых масштабах и исследование с ее помощью связи температуры поверхности экваториального Тихого океана с сигналом солнечной активности.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, приложения, списка публикаций автора по теме диссертации и списка использованных источников. Общий объем диссертации составляет 113 страниц, включая список литературы из 160 наименований.

Во *введении* дан обзор современного состояния рассматриваемых в диссертации проблем, обоснована актуальность диссертационного исследования и его практическая значимость, сформулированы цели и задачи работы и кратко изложено ее содержание.

Первая глава посвящена изложению метода построения стохастической модели оператора эволюции по многомерному временному ряду данных наблюдений. При этом рассматриваются различные функциональные формы модели с пояснением смысла каждого из структурных параметров для данной функциональной формы. Обучение модели проводится с использованием байесового критерия. Отдельный раздел главы посвящен описанию методов, используемых для оценки статистической обоснованности результатов, полученных на основе эмпирической модели. В последних разделах главы разработанный алгоритм используется для анализа данных о влиянии пандемии COVID-19 на экономическую активность. При этом показано,

что модель хорошо воспроизводит изменения этой активности, известные по данным наблюдений.

Во *второй главе* диссертации разработанные методы эмпирического моделирования применяются для построения прогностической модели явления Эль-Ниньо–Южное Колебание на внутригодовых масштабах. Решение задачи эффективного внутригодового прогноза связанной с ЭНЮК изменчивости температуры поверхности (ТПО) тропического Тихого океана существенно осложняется вследствие существования «весеннего барьера» для предсказуемости. В *главе* демонстрируется, что обоснованный учет в эмпирической модели дополнительных (помимо ТПО) атмосферных и океанических предикторов, позволяет частично решить данную проблему и существенно улучшить качество прогнозирования этого явления.

Третья глава посвящена эмпирическому исследованию низкочастотной — межгодовой и вековой — изменчивости явления ЭНЮК. В отдельных разделах этой главы обсуждаются решаемые задачи, исследуется характер связей между компонентами ЭНЮК на межгодовых масштабах в последние десятилетия, проводится анализ эволюции характера выявленных межгодовых зависимостей в системе ЭНЮК, в том числе с акцентом на известное по данным наблюдений увеличение числа экстремальных событий Эль-Ниньо во второй половине XX века. В последнем разделе проведен анализ отклика характеристик ЭНЮК на вариации солнечной активности на столетних масштабах.

В *заключении* представлены основные результаты диссертации, приведены выносимые на защиту положения, указаны научная новизна, практическая ценность и личный вклад автора.

В *приложении* приведен вывод функции правдоподобия для эмпирической модели.

Из результатов работы, научная новизна которых не вызывает сомнений, можно выделить следующие:

- Разработан новый алгоритм построения динамической системы, имитирующей динамику исходных временных рядов. Этот алгоритм может быть использован для широкого круга задач — от задач динамики климата до экономических задач.

- Разработанная автором модель прогноза внутригодовой динамики Эль-Ниньо успешно прошла сравнение с другими моделями предсказания вариаций ЭНЮК с заблаговременностью до года. Этот результат уже сам по себе является достаточным основанием для положительной оценки представленной диссертации. Это дополнительно усиливается хотя бы частичным решением проблемы наличия "весеннего барьера" предсказуемости ЭНЮК — важной научной задачи, решение для которой не удавалось найти в течение нескольких десятилетий.

Степень достоверности результатов и апробация работы. Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается использованием современных математических методов радиофизики и апробированных данных наблюдений. Разработанный автором алгоритм построения динамической системы по данным временных рядов может быть использован для широкого круга задач из разных областей науки. Все полученные в диссертации результаты дополняют друг друга и развивают современные представления о динамике процессов в тихоокеанском регионе, формирующих ЭНЮК. Работа прошла достаточную апробацию: основные результаты успешно докладывались на многочисленных отечественных и зарубежных конференциях и опубликованы в профильных рецензируемых изданиях. По теме диссертации опубликовано 6 статей (в том числе 4 — в изданиях первого квартала международных систем цитирования WoS и Scopus) и 27 других публикаций.

Автореферат в достаточной степени соответствует содержанию диссертационной работы.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в

- разработанном алгоритме построения динамической системы, имитирующей динамику исходных временных рядов и пригодного для широкого круга научных задач;
- разработанной эмпирической модели процесса ЭНЮК, которая может быть использована для практических задач прогноза этого процесса с улучшением предсказуемости при переходе "весеннего барьера".

В качестве замечаний по диссертационной работе и автореферату можно отметить следующее:

К главе 1:

- Не вполне понятно, зачем вывод функции правдоподобия для эмпирической модели вынесен в приложение. Объем текста вывода невелик и для удобства читателя его целесообразно было бы привести его непосредственно в разделе 1.3.1.
- Выражение "близкие значения гидропараметров" в конце раздела 1.3.2 требует введения хоть каких-то количественных характеристик.

К главе 2:

- В разделе 2.2.1 используется статистический тест для гипотезы о том, что корреляция между временным индексом для Эль-Ниньо и набором рядов давления на уровне моря в различных географических точках является значимой хотя бы в одной такой точке. Следует отметить, что природа статистических тестов приводит к их ложному срабатыванию в некотором числе этих точек. Как следствие, использованная статистическая методика не вполне корректна. Представляется целесообразным в дальнейшем указанный тест заменить тестом, разработанным для статистических полей, а не для отдельных временных рядов и, следовательно,

более корректным с математической точки зрения. Примером последнего является, например, алгоритм false discovery rate.

К главе 3:

- Термин "температурный градиент в тропопаузе" требует дополнительного пояснения. Хотя тропопауза и является слоем конечной (а не нулевой) толщины, вертикальный градиент температуры в ней может менять знак несколько раз по вертикали и вообще определяется недостаточно ненадежно.
- На рис. 3.9.а вообще не проявляется 11-летний цикл солнечной активности — наиболее известный и наиболее надежно определяемый.
- Не вполне обоснованной представляется интерпретация результатов раздела 3.3.2, связанная с влиянием накопления CO₂ в атмосфере на динамику ЭНЮК. На месте концентрации углекислого газа мог быть любой другой временной ряд с монотонным и плавным изменением во времени. В частности, альтернативной интерпретацией является влияние постепенного улучшения качества данных температуры поверхности океана, начиная с середины XX века. Данные ранее середины XIX века — не прямые измерения, а реконструкции, получаемые по простейшим регрессионным моделям с использованием тех или иных предикторов. Такие реконструкции могут занижать частоту экстремальных событий. Как следствие, постепенное улучшение качества данных с заменой подобных реконструкций результатами прямых измерений способно привести к ложному тренду частоты экстремальных Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

К заключению:

- В диссертации из 3 глав число основных (!) результатов составляет 7. Представляется целесообразным их "укрупнение" с описанием в более компактной форме. В частности, можно было бы объединить в группы 1) результаты 1-2, 2) результаты 3-5, 3) результаты 6-7.

Ко всему тексту работы:

- Работа оформлена несколько неаккуратно. Она изобилует грамматическими и пунктуационными ошибками. Список литературы оформлен не в едином стиле.

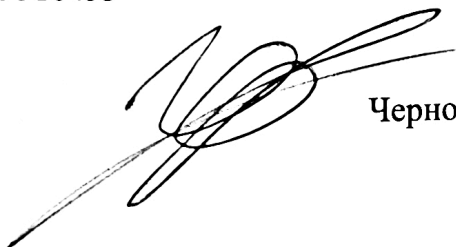
При этом отмеченные недостатки не ухудшают общее сугубо положительное впечатление о диссертационной работе.

Заключение. Диссертационная работа «Развитие методов эмпирической реконструкции распределенных систем с внешними воздействиями и их приложение к исследованию динамики явления Эль-Ниньо» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу и удовлетворяет требованиям "Положения о порядке присуждения учёных степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Результаты диссертации соответствуют п. 4

паспорта специальности 1.3.4 — "радиофизика", а её автор Селезнев Алексей Федорович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 — "радиофизика".

Отзыв подготовил старший научный сотрудник Лаборатории теории климата, кандидат физико-математических наук Чернокульский Александр Владимирович, e-mail: a.chernokulsky@ifaran.ru, телефон: +7 (495) 9516453

Старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.



Чернокульский А.В.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук,

Почтовый адрес: 119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3,

Телефон: +7 (495) 951-55-65,

e-mail: ifaran@ifaran.ru,

сайт: www.ifaran.ru

Я, Чернокульский Александр Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.



Чернокульский А.В.

Подпись Чернокульского А.В. заверяю,

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова Российской академии наук, к.г.н.

___ ноября 2022 года



Краснокутская Людмила Дмитриевна