

ОТЗЫВ официального оппонента на
диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Гаврилова Андрея Сергеевича
на тему:
"Методы эмпирической реконструкции
пространственно распределенных динамических
систем и их приложение к изучению
климатических процессов"
по специальности 01.04.03 — "радиофизика"

Диссертационная работа А.С. Гаврилова посвящена разработке новых методов исследования сложных физических систем, в том числе пространственно-распределённых, часто встречающихся в науке о климате. Актуальность работы обусловлена необходимостью построения оценок будущих изменений климата. В настоящее время для этого используется целая иерархия климатических моделей различной сложности. Разработанные автором статистические модели климата требуют относительно малых затрат вычислительных ресурсов, в связи с чем способны занять достойное место в этой иерархии и использоваться для прогнозов будущих изменений тех или иных составляющих климата.

Научная новизна работы обусловлена использованием современных математических методов для построения статистических моделей, современных данных для их настройки и приложением этих моделей к актуальным задачам климатологии.

Во Введении обоснована актуальность темы диссертации, кратко описываются структура работы и этапы её апробации.

Первая глава диссертации посвящена общим вопросам построения статистической модели на основе нейронных сетей. При этом внимание уделяется байесовому подходу к настройке модели и оптимизации её структурных параметров. Особенностью подхода автора является сведение пространственно-распределённой системы к одномерной (определяемой лишь зависимостью от времени). Для этого используется разложение по эмпирическим ортогональным функциям. Это позволяет резко снизить количество параметров модели и, тем самым, исключить её переобучение. В последних разделах данной главы строится модель которая одновременно учитывает наличие инерционных компонент физической системы с разными временными масштабами и переменные во времени граничные условия (в климате они могут быть связаны, например, с антропогенным воздействием на систему). Реалистичность модели демонстрируется на примере данных для температуры поверхности океана, полученных в расчёте с моделью общей циркуляции, разработанной в Институте вычислительной математики (ИВМ) РАН.

Во второй главе приведено описание разработанного автором диссертации метода эмпирической редукции размерности пространственно-распределённых данных — метода поиска нелинейных динамических мод. Важной особенностью метода является возможность восстановления временных масштабов вариаций в рядах данных. Это свойство является весьма важным для задач науки о климате — временные масштабы отклика земной системы на внешнее (в том числе антропогенное) воздействие во многом определяют временные горизонты на которых необходима разработка мер по адаптации к климатическим изменениям и по смягчению их последствий. Подобно модели, разработанной в первой главе диссертации, основанная на нелинейных динамических модах модель использу-

ется для анализа результатов расчётов с моделью общей циркуляции ИВМ РАН. Кроме того, эта модель используется для анализа полей температуры поверхности океана для интервала 1981–2014 гг., полученных по данным наблюдений. В последнем случае выявлен климатический сдвиг конца 1990–х гг. Хотя этот сдвиг и известен по ряду других работ, его нахождение автором диссертации является важным — это служит ещё одним аргументом в пользу высокого качества разработанной им модели.

Темой третьей диссертации главы является обобщение модели, построенной во второй главе на многомерный случай без использования разложения по эмпирическим ортогональным функциям. Такая модель оказывается более эффективной вычислительно по сравнению с моделью предыдущей главы без потери точности восстановления динамики процессов, описываемых полями данных. В частности, подтверждается известное по другим работам наличие четырех климатических переходов в XX веке, связанных с изменением фазы Тихоокеанского десятилетнего колебания.

В четвертой главе разработанные в предыдущих главах методы используются для задачи прогноза развития Эль-Ниньо. Это — важная прикладная задача климатологии. Принципиально важным является то, что при заблаговременности прогноза до одного года созданная модель не уступает уже существующим моделям для этого процесса.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертации и выносимые на защиту положения, а также научная новизна работы.

Все положения представленной диссертационной работы обоснованы, достоверны и исключают двоякую интерпретацию.

Тем не менее, к работе можно высказать ряд замечаний:

1. К “Введению”:

- В первом параграфе “Введения” при описании классов моделей не указаны два принципиальных недостатка эмпирических моделей. Первым из них является то, что такие модели, вообще говоря, могут быть использованы лишь в области фазового пространства, где была проведена их верификация. При выходе системы в область фазового про-

странства, не покрытую данными, по которым проводилось обучение модели (иначе говоря, при переходе от задачи интерполяции к задаче экстраполяции) применимость любой статистической модели требует дополнительного обоснования. В частности, в задачах прогноза ухудшение предсказуемости при увеличении временного горизонта для статистических моделей значительно сильнее, чем для моделях, основанных на "первых принципах" (рис. 8.5 из монографии Т.Т. Уорнера "Numerical Weather and Climate Prediction"). Отметим, однако, указанные недостатки статистических моделей, судя по всему, не сказываются принципиальным образом на результатах представленной работы.

- На с. 7 говорится о "сравнительно крупномасштабных" процессах, "хорошо представленных в конкретном наблюдаемом ряде данных". Здесь следовало бы уточнить, что имеется в виду под такими процессами, в частности — говорится ли о временном или о пространственном масштабе.

2. К главе 1:

- В данной главе рассматривается лишь аддитивный шум (см. соотношение (1.1)). При этом, в частности, исключается "шум", связанный с неточным определением значений параметров модели и/или нерегулярным изменением этих значений во времени. Интересно было бы услышать, возможно ли обобщение модели на случай неаддитивного шума.
- Годовой ход в модели описывается единственной синусоидальной составляющей (см. (1.45)). Однако годовой ход в реальной климатической системе заметно отличается от единственной синусоидальной гармоника, особенно в тропиках.
- Аббревиатура "CMIP5" на с. 17 не расшифрована.

3. К главе 2:

- Как уже указывалось, одним из преимуществ разработанной в данной главе модели является возможность оценки масштабов времени, проявляющихся в данных. К сожалению, эта возможность модели не протестирована должным образом. В частности, в разделе 2.2.3 было бы целесообразно взять модель с набором явных параметров, описывающих спектр временных масштабов, и продемонстрировать насколько хорошо эти масштабы восстанавливаются с помощью НДМ при изменении значений указанных параметров.
- В разделе 2.3.4 было бы желательно сравнить полученные результаты с результатами, получаемыми по широко используемому в науке о климате методу телеконнекций (см., напр., [Wallace, Gutzler, 1981: doi 10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2], [Hurrell, Gutzler, 1996: doi 10.1029/96GL00459], [Feldstein, 2000: doi 10.1175/1520-0442(2000)013<4430:TTPSAC>2.0.CO;2], [Liu, Alexander, 2007: doi 10.1029/2005RG000172])
- Пространственная структуры NDM2 на рис. 2.6 подобна не ЭНЮК (как это утверждается на с. 70), а ТДК (см., напр., Mantua et al., 1997: doi 10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2], [Deser et al., 2010: doi 10.1146/annurev-marine-120408-151453]). Более того, ЭНЮК-подобные временные вариации соответствующего временного коэффициента на рис. 2.5 очень малы.
- Недостаточно чётко описан алгоритм расчёта НДМ в конце раздела 2.2.2. В частности, что такое “нужное количество раз” (п. 4 алгоритма)?

4. К главе 3:

- В разделе 3.3 следовало бы более подробно обсудить преимущества МНДМ по сравнению с НДМ ввиду выявленной аддитивности (соотношение (3.6)).
- Результаты рис. 3.3 работы целесообразно сравнить с результатами рис. 1 из [Mantua et al., 1997: doi 10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0

и рис. 10 из [Deser et al., 2010: doi 10.1146/annurev-marine-120408-151453]. В целом результаты рис. 3.3 согласуются с результатами этих двух работ. Однако в указанных публикациях видна более тонкая структура временных вариаций временного коэффициента по сравнению с рис. 3.3 диссертации. Целесообразна интерпретация указанного различия в терминах достоинств или недостатков предложенного в диссертации метода МНДМ.

- На с. 99 требует уточнения термин “сигналы, распространяющиеся в направлении экватора через океан” — ЭНЮК само является приэкваториальным явлением, так что затруднительно представить сигналы, распространяющиеся от него в сторону экватора.

К главе 4:

- Согласно расчётам с современными моделями общей циркуляции характеристики ЭНЮК (период, амплитуда, долготная локализация) могут заметно измениться при изменениях климата (см., напр., [Cai et al., 2015: doi 10.1038/nclimate2743]). Представляется целесообразной проверка построенной в диссертации модели воспроизводить такие изменения при задании аномалий температуры поверхности океана по расчётам с моделями общей циркуляции. Впрочем, эти слова следует рассматривать скорее как предложение о будущем развитии работы автора диссертации.

В качестве замечания ко всему тексту работы следует отметить:

- Выводы работы содержат чрезмерно много пунктов (в "Заключении" их 7). Представляется целесообразным их “укрупнение”. Например, можно было бы объединить выводы 3, 4 и 6.
- Из 138 ссылок в диссертации лишь 7 являются русскоязычными. Означает ли это, что значимых работ по теме диссертации или близкой к ней в России нет? Названия [125] и [126] в списке цитирования приведены в виде переводов на английский язык, а не в виде оригинальных русскоязычных публикации.

- Текст работы изобилует пунктуационными ошибками. Часто встречаются предложения, производящие впечатление перевода—“кальки” с английского.
- Подписи к осям всех рисунков выполнены на английском языке.

Приведённые выше замечания к диссертации ни в коей мере не умаляют её значимости и не снижают общего безусловно положительного впечатления о ней. Представленная работа выполнена на хорошем, добротном уровне. Совокупность изложенных в ней результатов следует оценивать как решение задачи, имеющей существенное значение для задач радиофизики и соответствующей пп. 4 (“Исследование флуктуаций, шумов, случайных процессов и полей в сосредоточенных и распределенных стохастических системах (статистическая радиофизика); создание новых методов анализа и статистической обработки сигналов в условиях помех; разработка статистических основ передачи информации; исследование нелинейной динамики, пространственно-временного хаоса и самоорганизации в неравновесных физических, биологических, химических и экономических системах”) и 5 (“Разработка научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач”) паспорта специальности 01.04.03 по номенклатуре ВАК.

По теме диссертации опубликованы 71 работа, в том числе 6 — в изданиях, включённых в список ВАК (более того — в журналах из первого квартиля Web of Science). Результаты работы были представлены на целом ряде различных конференций. Всё это говорит о более чем достаточной апробации работы.

Потенциальными потребителями результатов диссертационной работы являются различные организации Российской Академии наук, Росгидромета, Министерства образования и науки РФ, Министерства по чрезвычайным ситуациям, других ведомств.

Текст автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.03 — “радиофизика”, а также критериям пункта 9 “Положения о порядке присуждения учёных степеней”, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к

кандидатским диссертациям. Таким образом, соискатель — А.С. Гаврилов — заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — “радиофизика”.

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник кафедры физики атмосферы
физического факультета
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
ЕЛИСЕЕВ Алексей Викторович



Дата: 20.08.2019

Контактные данные:

тел.: +7 916 589-65-48, e-mail: eliseev@ifaran.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.29 - физика атмосферы и гидросферы

Адрес места работы: 119991, Россия, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, д. 1,
стр. 2, МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет
Тел.: +7 495 939-16-82; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись сотрудника физического факультета Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова А.В. Елисеева удостоверяю



Декан физического факультета

Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, д.ф.-м.н.,
профессор

Дата: 20.08.19



Н.Н. Сысоев.