

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Бокучавы Дарьи Дмитриевны

**«Особенности и механизмы потепления первой половины XX века
в Арктике».**

представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

Диссертационная работа Бокучавы Дарьи Дмитриевны «**Особенности и механизмы потепления первой половины XX века в Арктике**» посвящена исследованию причин потепления первой половины XX века в Арктике (также называемом Потеплением середины XX века – ПСДВ), особенностью которого являются выраженные положительные аномалии приземной температуры воздуха (ПТВ) в арктических широтах в зимний сезон. ПСДВ имело сравнимые показатели с аномалиями ПТВ в Арктике в 1990-2000-х гг., но при этом рост выбросов парниковых газов в атмосфере был в 4–5 раз меньше, и причины формирования ПСДВ все еще остаются предметом дискуссий в научном сообществе.

Актуальность темы. Выбранная тематика является актуальной, т.к. в силу остающейся неопределенности факторов, оказывающих влияние на формирование ПСДВ, анализ «раннего» периода потепления и сравнение его основных характеристик с современным потеплением важны для исследования климатических процессов, происходящих в последние десятилетия, а также для моделирования как региональных, так и глобальных будущих изменений климата.

Целью диссертационной работы является исследование механизмов формирования долгопериодной положительной температурной аномалии в Арктике в первой половине XX века и оценка вклада внутренней естественной изменчивости в аномалии ПТВ.

Структура и объем работы:

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 261 наименования работ отечественных и зарубежных авторов, 12 приложений, и содержит 171 страницу, включая 36 иллюстраций и 4 таблицы в основном тексте, а также 13 иллюстраций в приложениях.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы **цели, задачи и положения**, выносимые на защиту, указаны научно-теоретическая и практическая **значимость** работы, **личный вклад автора**, обоснована **достоверность** полученных результатов, их **апробация и публикации** по теме диссертации.

В Главе 1 дается подробная характеристика ПСДВ, исследованы долгопериодные изменения глобальной приземной температуры воздуха, а также температуры и ледовитости в Арктике в XX–начале XXI-го вв., проведено сравнение пространственно-временных особенностей потепления середины XX века во внетропической зоне Северного полушария (СП) с современным потеплением. На основе анализа наиболее современных массивов климатических данных делается вывод о том, что ПСДВ в Арктике сравнимо с современным периодом по темпам роста температуры.

В Главе 2 представлен анализ особенностей изменений ПТВ и давления на уровне моря в течение XX–начале XXI-го вв. с использованием сеточных массивов данных наблюдений (HadCRUT5, GISTEMP NASA, BERKLEY EARTH) и атмосферных реанализов, охватывающих исследуемый период (ECMWF – ERA20C, CERA20C и NOAA-CIRES-DOE – NOAA20C). Показано, что изменения ПТВ в период ПСДВ по результатам реанализов имеет существенные различия между собой и с эмпирическими массивами данных в первой половине XX века. В целом, установлено, что эволюция и пространственно-временные закономерности аномалий температуры и давления во внетропических широтах северного полушария на протяжении XX века были более реалистично воспроизведены европейскими реанализами ECMWF и CERA20C. Следует отметить, что последний более успешный и при этом в качестве модели усвоения использует совместную модель атмосферы и океана. В работе показано, что реанализ NOAA20C воспроизводит аномалии ПТВ и давления в середине XX века менее успешно.

В Главе 3 представлен аналитический обзор исследований на тему события потепления первой половины XX века в Арктике, обсуждаются возможные механизмы формирования ПСДВ за счет внутренней и внешней изменчивости климата и внешних воздействий, в том числе антропогенных. Дается подробное описание каждого механизма, приводящего к климатическим изменениям в регионе. Установлено, что до сих пор не выделено теории, однозначно объясняющей ПСДВ и природу его максимального проявления в высоких

широтах СП. Проведенный обзор исследований с использованием климатических моделей указывает на важную роль внутренней естественной изменчивости климата, внешних естественных и антропогенных факторов, в том числе сульфатных и сажевых аэрозолей и парниковых газов в формировании этой климатической аномалии. Кроме того, проведенный анализ данных ансамбля моделей климата СМIP поколений 3, 5 и 6 показывает, что амплитуда ПСДВ в Арктике значительно занижается в средних по ансамблю аномалиях приземной температуры, что может указывать на важную роль внутренней изменчивости климата. В то же время некоторые из отдельных реализаций способны достаточно хорошо воспроизвести динамику изменений температуры в Арктике в XX веке, что подразумевает важную роль случайной внутренней динамики климата в формировании ПСДВ.

В Главе 4 анализируется пространственно-временная структура изменчивости климатической системы Земли в XX веке в Арктике. Выполнен множественный регрессионный анализ для оценки воздействия внутренней естественной изменчивости атмосферы и океана на многолетние изменения зимней ПТВ в Арктике и отдельно в ее регионах в течение XX века как по данным наблюдений, так и по данным реанализов. Приведены оценки вклада атмосферно-океанических индексов в колебания ПТВ в Арктических широтах ($60-90^{\circ}$ с.ш.) в четырех долготных секторах, а именно для четырех Европейского ($0 - 90^{\circ}$ в.д.), ; Азиатского ($91 - 180^{\circ}$ в.д.), Тихоокеанского ($180 - 90^{\circ}$ з.д.) и Северо-Атлантического ($90 - 0^{\circ}$ з.д.). Регрессионная модель с использованием как атмосферных, так и океанических мод естественной изменчивости объясняет от 72 до 78% изменчивости зимней детрендрованной ПТВ в Арктике за период XX – начала XXI вв. по различным массивам данных. Обнаружено, что вклад предикторов в изменчивость приземной температуры в Арктике в регрессионной модели существенно различается между собой при использовании различных массивов данных.

В заключении диссертации подчеркнута ее **актуальность** и приведены основные выводы по каждой из глав диссертации.

Диссертация написана хорошим научным языком, характеризуется обоснованным применением используемых терминов. Структура и содержание диссертационной работы Бокучава Д.Д. отмечаются логической последовательностью и всесторонне раскрывают заявленную тематику.

Высоко оценивая диссертационную работу в целом, необходимо отметить следующие выявленные замечания.

1. В диссертации не анализируются изменения состояния ледового покрова в Северном Ледовитом океане, хотя этот фактор имеет важное значение для формирования ПСДВ, т.к. именно площадь ледового покрова во многом определяет положительные обратные связи в климатической системе Земли, отвечающее за т.н. арктическое усиление потепления, рассматриваемое в данной диссертационной работе.

2. При построении регрессионной модели используются оба индекса Северо-Атлантического колебания (САК) и Арктической осцилляции (АО) в качестве влияния на формирование ПТВ в Арктике. Однако физическая связь между АО и САК очень высока. По этой причине САК зачастую называют региональным проявлением АО, и эти два термина используются как синонимы, имеющие общую природу и высокую корреляцию (до 0,95.) между собой (см., например, (Hamouda et al., Nat. Clim. Chang., 2021)). Именно поэтому, при вычислении коэффициентов регрессии получился искусственный результат, что доля объясненной изменчивости ПТВ в СП этими индексами атмосферной циркуляции за период 1905–2015 по данным HadCRUT5 для САК высока (28%), а для АО – незначима. На самом деле нужно было учитывать только один из этих индексов, и предпочтительнее АО, как характеризующий более крупномасштабный процесс. Тем более, что при изучении изменчивости циркуляционных режимов в регионе 30–90° с.ш. СП с помощью метода выделения главных компонент, именно АО выделился в качестве первого, наиболее значимого ЭОФ.

Кроме этих, относящихся к сути исследования, выявлено множество редакционных замечаний. Приведём некоторые из них.

1) В тексте диссертации не объясняется, что слово «декадный» используется как синоним к слову «десятилетний», в то время как в отечественной метеорологии под словом декадный по умолчанию понимается десятисуточный. Поэтому нужно было либо использовать слово десятилетний, либо в начале диссертации дать пояснение к слову декадный. Кроме того в диссертации часто используется термин «многолетний масштаб», но не всегда понятно, о каком временном масштабе идет речь.

2) В четвертом положении, выносимом на защиту, приведено мало количественных оценок. Представлено лишь одно число 70%. При этом отмечается,

что «Преобладающий вклад вносит внутренняя мультидекадная изменчивость температуры поверхности океана в Северной Атлантике.» Однако сама величина вклада не приводится.

3) Непоследовательная нумерация рисунков: рисунок 2.1 первый раз упоминается в разделе 2.3, а рис. 2.2 – в разделе 2.2. Надписи на следующих рисунках (подписи шкал) приведены на английском языке: 2.1, 2.3, 2.4, 2.7, 2.10, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 4.1, 4.8.

4) На стр. 25 обнаружены некорректные окончания в причастных оборотах: *воздействующим*, *зависящий* и *осаждающийся*, когда здесь по смыслу нужно использовать *воздействующем*, *зависящей* и *осаждающейся*.

5) На стр. 28 присутствует упоминание слова *свинец*, непонятное по смыслу употребления: «Другая ветвь атлантических вод, впадающая в Северный Ледовитый океан на запад до Шпицбергена, более эффективно отдает тепло в верхний океанический слой в условиях более тонкого льда со *свинцом* и *попыньями*».

6) На стр. 29 читаем «Холодный Сибирь» и находим новое географическое название «*Баренцево-Карское море*».

Остановимся на этом, отметив, что подобных замечаний неправильного употребления окончаний причастных оборотов, пропуска запятых и повторяющихся слов обнаружено около 50.

Заключение. Отмеченные замечания ни в коем случае не влияют на общую положительную оценку работы. Сформулированные диссертантом задачи научно обоснованы и решены на высоком научном уровне, что отражено в содержании диссертационной работы и автореферата, а также публикациях автора.

В работе получены новые результаты, развивающие и углубляющие современные представления о воздействии внутренних механизмов климатической системы на изменчивость температуры в рассматриваемом регионе. Научная новизна работы заключается в том, что впервые выполнен комплексный статистический анализ вклада основных мод естественной изменчивости циркуляции атмосферы и температуры поверхности океана в изменения ПТВ в XX веке в Арктике, в том числе, для отдельных ее регионов.

Значимость работы состоит в том, что материалы проведенного исследования важны для изучения климатических процессов, происходящих в последние десятилетия, а также для моделирования как региональных, так и глобальных будущих изменений климата.

Обоснованность и степень достоверности результатов выполненной работы подтверждена объективным сопоставлением современных массивов данных, основанных на данных наблюдений на метеорологических станциях, реанализов и результатов моделирования будущих изменений климата, а также применением обоснованных статистических методов и согласованностью с результатами других современных исследований, а также публикацией результатов исследования в высоко рейтинговых рецензируемых научных журналах.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы и оформлен в соответствии установленным требованиям. Основные защищаемые положения сформулированы и раскрыты. Заключение и выводы диссертационной работы отвечают на вопросы, поставленные в целях и задачах исследования.

Основные результаты отражены в 6-и опубликованных научных работах в журналах, рекомендованных ВАК и входящих в базы данных SCOPUS, Web of Science или Russian Science Citation Index (RSCI), а так же и в 4-х рецензируемых тезисах докладов, индексируемых в Web of Science.

Количество опубликованных работ и их объем соответствуют требованиям основного содержания диссертации на получение ученой степени кандидата географических наук.

Диссертация «Особенности и механизмы потепления первой половины XX века в Арктике» является самостоятельным законченным научным исследованием, полностью соответствует паспорту специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате» и удовлетворяет всем требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Бокучава Дарья Дмитриевна, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук.

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



Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук

(25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы)

Главный научный сотрудник

Кафедры физики моря и вод суши, отделения геофизики

Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Дианский Николай Ардальянович

Контактные данные:

+79057979412, e-mail: Nikolay.diansky@gmail.com

Адрес места работы:

119991, Москва, Ленинские горы, д.1

МГУ им. М.В. Ломоносова

Физический факультет, Отделение геофизики

Кафедра физики моря и вод суши

Тел.: +7 495 939 36 98, e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись официального оппонента д.ф.-м.н. Николая Ардальяновича Дианского
заверяю

И.О. декана физического факультета МГУ



Белокуров В.В./

9 ноября 2023 г.