

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Парфеновой Марии Руслановны «Связь протяженности снежного покрова и полярных морских льдов по спутниковым данным и модельным расчетам в 20-21 веках и региональных и глобальных температурных изменений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.16.18 «Науки об атмосфере и климате»

Диссертационная работа М.Р. Парфеновой посвящена развитию одного из актуальных направлений современной климатологии - исследованию происходящих и прогнозируемых изменений площадей распространения снежного покрова и полярных морских льдов. Актуальность исследований в этой области обусловлена тем влиянием, которое оказывают изменения альбедо земной поверхности, вызванные изменениями снежного и ледового покровов, на динамику климатической системы в широком диапазоне временных масштабов. Одна из существенных проблем в рамках этого научного направления – связь покрытия подстилающей поверхности снегом и морским льдом с особенностями внутригодовых и межгодовых вариаций приземной температуры воздуха, а также с прогнозируемым глобальным потеплением. Рост интереса к решению этой проблемы связан с 4-мя обстоятельствами: (1) гляциологические явления в высокой степени чувствительны к изменениям температуры воздуха, а параметры снежного и ледового покровов – один из надежных индикаторов этих изменений; (2) площадь покрытия земной поверхности снегом и льдом – одна из наиболее точно определяемых геофизических переменных, прежде всего, с помощью спутниковых измерений; (3) в последние десятилетия появилось немало надежных и доступных источников информации об исследуемых переменных (базы реанализа, спутниковых данных, данных международных модельных экспериментов и пр.); (4) изменения температуры воздуха, площадей снежного и ледового покровов за период инструментальных наблюдений сравнительно надежно и со сравнительно малой неопределенностью воспроизводятся современными моделями климата. **Актуальность диссертационной работы** М.Р. Парфеновой обусловлена, таким образом, ее направленностью на решение одной из существенных проблем климатологии – анализу влияния внутригодовых и межгодовых вариаций приземной температуры воздуха на площади покрытия земной поверхности снегом и морским льдом и оценке изменения этих площадей в 21 веке с использованием статистического анализа и вейвлет-анализа наиболее современных данных, содержащихся в глобальных информационных базах, включая данные реанализа, спутниковые данные и результаты моделирования. **Новизна исследования** связана с получением соискателем ряда новых результатов в этой хорошо разработанной области климатологии, к которым, прежде всего, относятся: обоснование разнонаправленных тенденций изменения площади арктических и антарктических льдов как следствия аналогичных тенденций изменения региональной приземной температуры воздуха; полученные впервые результаты применения Байесова взвешивания результатов расчетов площади снежного покрова для уменьшения модельной неопределенности полученных оценок; новые оценки чувствительности площади снежного покрова к изменению приземной температуры для Евразии,

включая результаты анализа положительной корреляции изменений площади снежного покрова и температуры воздуха в осенние месяцы. **Практическая значимость** диссертационной работы состоит в предложенном соискателем новом подходе к решению одной из важных социально-экономической задач – получению прогнозной оценки продолжительности навигационного периода на разных участках Северного морского пути. **Обоснованность научных результатов**, полученных М.Р. Парфеновой в диссертационной работе, а также представленных в работе **выводов и суждений**, подтверждается наличием 16-ти рецензируемых научных публикаций, в том числе, 6-ти статей в изданиях из списка ВАК, а также их апробацией на нескольких международных и всероссийских научных конференциях.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 134 наименования.

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель исследования, его научная новизна, практическая значимость и основные защищаемые положения.

**В первой главе** представлены результаты исследования связи площади континентального снежного покрова с изменениями приземной температуры воздуха для Северного полушария в целом, Евразии и Северной Америки с использованием линейного корреляционного и вейвлет-анализов среднемесячных данных о температуре и спутниковых данных за 40 лет (1980-2019), а также за отдельные периоды внутри выбранного интервала времени. Автором показано, что наибольшая изменчивость площади снежного покрова в Северном полушарии и его рассмотренных регионах отмечается в зимние месяцы, а в летние месяцы в наибольшей степени проявляется тенденция снижения площади снежного покрова при потеплении. Приведены результаты анализа чувствительности площади снежного покрова к изменению температуры воздуха для отдельных месяцев. Как полушарная, так и региональные оценки параметра чувствительности (скорости изменения площади снежного покрова при изменении температуры воздуха на градус) показали наибольшую и статистически значимую чувствительность снежного покрова в летне-осенние месяцы. Выделяются два результата, полученные с помощью корреляционного анализа: (1) обнаружение положительных параметров чувствительности (роста площади снежного покрова с ростом температуры воздуха) для осенних месяцев и объяснение этого явления ростом осадков при потеплении и (2) существенный рост (по абсолютной величине) параметра чувствительности за период 2005-2019 по сравнению с предшествующим периодом. Представляют интерес также результаты вейвлет-анализа. Так, автором показано, что для Евразии проявляется устойчивая отрицательная корреляция площади снежного покрова с вариациями температуры в годовом ходе, при этом отмечается существенное ослабление связи на периодах 5-10 лет. Кроме того, доказана слабая когерентность межгодовых вариаций площадей снежного покрова Евразии и Северной Америки.

**Вторая глава** посвящена анализу изменений площади морских льдов в связи с изменениями приземной температуры. Значительный интерес представляет выполненный автором анализ разнонаправленных тенденций многолетних

изменений площади морских льдов в Арктике и Антарктике, подтвержденных спутниковыми данными с конца 1970-х годов. Полученные автором результаты показывают, что эти тенденции отражают особенности температурных изменений: общее понижение приземной температуры в океанических субантарктических широтах и, наоборот, сильное потепление в арктических широтах. Новые результаты получены с помощью вейвлет-анализа, демонстрирующие значимую отрицательную корреляцию долгопериодных вариаций площади антарктических морских льдов с температурным режимом в течение двух последних десятилетий. Отдельный раздел посвящен анализу совместных изменений снежного покрова и морских льдов в связи с температурными изменениями. Получены новые оценки параметров чувствительности изменений площадей снежного покрова и льда к изменению температуры и проанализированы сезонные изменения этих параметров. Продемонстрирована значимая тенденция уменьшения (по абсолютной величине) параметров чувствительности в летние месяцы и увеличения чувствительности в зимние месяцы.

**В третьей главе** представлены оценки возможных изменений площадей снежного покрова и морских льдов в Евразии в 21 веке, полученные по данным расчетов ансамбля 9-ти моделей климата, задействованных в последней фазе международного эксперимента СМIP6. Большое внимание уделено автором верификации результатов расчета моделей климата по данным о площади распространения снежного покрова за исторический период. Это важное методическое достоинство рассматриваемой части диссертации, поскольку положительные результаты тестирования моделей дают основания для большего доверия к полученным оценкам изменений снежного покрова в прогнозируемых (не наблюдавшихся) климатических условиях. Значительный интерес представляет разработанный автором подход к анализу результатов расчетов площади снежного покрова на основе Байесова усреднения, что позволяет уменьшить модельную неопределенность прогностических оценок. На основе предложенного подхода показано, что скорость сокращения площади снежного покрова в Евразии во второй половине 21 века может снизиться. Несомненным достоинством диссертационной работы является применение разработанных подходов для получения прогностических оценок продолжительности навигационного периода на разных участках Северного морского пути.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

По существу и по оформлению диссертационной работе имеются следующие **замечания:**

1. Вызывает вопросы интерпретация параметров чувствительности, приведенных в таблице 3. Значения площади снежного покрова за отдельные месяцы высоко коррелированы, то же относится и к значениям среднемесячной приповерхностной температуры. Соответственно, параметры чувствительности, рассчитанные по значениям площади снежного покрова и температуры воздуха, также статистически связаны для отдельных месяцев. Эта связность увеличивает выборочную изменчивость статистических оценок параметров чувствительности, что влияет на оценки их значимости и может повлиять на интерпретацию полученных результатов.

2. При анализе различия в параметрах чувствительности площади снежного покрова к изменению приземной температуры воздуха между двумя периодами (1980-2019 и 2005-2019), а также в коэффициентах корреляции этой связи между теми же периодами (стр. 20) указано на наличие "существенных различий». При этом отсутствуют статистические критерии для оценки значимости этих различий. Использованный в работе "параметр чувствительности" - есть ни что иное, как один из коэффициентов линейной регрессии, для сравнения которых имеются статистические тесты. То же относится и к сравнению коэффициентов корреляции. Кроме того, более информативным было бы сравнение статистических характеристик за непересекающиеся временные интервалы (например, 1980-2004 и 2005-2019)
3. Оценки локальной когерентности с помощью вейвлет-анализа чувствительны к выбору вейвлет-функции, которая определяет взаимосвязь временного и спектрального разрешений. В работе не описан использованный метод вейвлет-анализа (как и формула расчета локальной когерентности), что затрудняет анализ авторской интерпретации результатов.
4. Требуют пояснения результаты, представленные на рис. 7, на котором показаны линейные связи площади снежного покрова с приземной температурой воздуха для периода 1980-2019 и 3-х подпериодов. Для подпериодов 1980-1992, 1993-2005 и 2006-2019 корреляция отрицательная, а для всего периода – положительная.
5. При вейвлет-анализе изменений взаимных вариаций площади снежного покрова и температуры отмечено «существенное ослабление в последние годы связи для вариаций с характерными периодами около 5-10 лет» (стр. 31). Насколько можно доверять выводам о длиннопериодных колебаниях по ряду наблюдений 40 лет?
6. Результаты вейвлет-анализа колебаний уровня Каспийского моря в связи с изменениями ледовитости Арктики, представленные на страницах 35-36, не соответствуют логике работы. Кроме того, исследованию глобальных механизмов колебаний уровня Каспия посвящено немало работ, и рассмотрение одного из важных аспектов этой проблемы требует более серьезного описания. Представленный же фрагмент текста, пусть даже с рисунком, выглядит, по существу, как аннотация.
7. Фазовые портреты на рис.29 не убеждают, что "модельные оценки, в целом, воспроизводят наблюдаемые вариации протяженности снежного покрова в Евразии". Сравнение рис.29 с рис. 16 показывает, что (1) рассчитанные по моделям вариации в отдельные месяцы существенно отличаются от фактических (вариации по моделям недооцениваются); (2) максимальные наблюдаемые площади снежного покрова в зимние месяцы превышают 30 млн. км<sup>2</sup>, по расчетам - порядка 25 млн. км<sup>2</sup>. Также имеются значительные расхождения в оценках для отдельных месяцев. Все это подтверждается данными таблиц 11, 12. Таким образом, следовало бы смягчить выводы, относящиеся к точности моделирования площади снежного покрова и оценок его будущих изменений, хотя сами по себе результаты анализа точности моделирования за исторический период, несомненно, очень важны для интерпретации оценок изменений в 21 веке.

Помимо замечаний по существу диссертационной работы следует отметить недостатки ее оформления

8. *В работе отсутствует обзор научных публикаций по теме диссертации.* В данной работе такой обзор особенно важен, поскольку анализу изменений площади распространения снежного покрова и морских льдов в Северном полушарии и Евразии посвящены десятки работ, результаты многих из которых обобщены в последних докладах первой и второй рабочих групп IPCC (IPCC, 2013; 2021) и специальных докладах (SROCC, 2019). И хотя наличие главы или раздела с литературным обзором не является строгим требованием к оформлению диссертации, его отсутствие затрудняет экспертизу новизны результатов.

9. *В работе недостаточно внимания уделено описанию методов исследований и анализируемых данных.* Сравнительно подробно (на стр. 80-81) описан лишь метод Байесова оценивания весов данных индивидуальных моделей в ансамбле. Широкое распространение других используемых соискателем методов, таких как методы построения и анализа фазовых портретов, корреляционного анализа, вейвлет-анализа – не может служить основанием для отсутствия их описания в диссертации. Что касается описания данных, то оно имеет важное значение для экспертизы надежности результатов, возможности их обобщения, ограничений и пр. Необходимо понимать, как получены эти данные, каково их пространственное разрешение, почему, наконец, выбрана именно эта база данных и в чем ее отличие от других, столь же широко используемых (для площади снежного покрова - это например, JAXA JASMES Hori et al. (2017)). Представленной в диссертационной работе информации недостаточно, чтобы ответить на перечисленные выше вопросы.

10. *Текст диссертации недостаточно отредактирован.* В тексте немало стилистических и грамматических ошибок, есть неточности в определениях (например, «уровень значимости» вместо «доверительной вероятности» на стр. 17; «антикорреляция» вместо «отрицательной корреляции» во многих местах), подписях к рисункам (все рисунки по результатам вейвлет-анализа), в ссылках на источники. Некоторые разделы (2.1 и 2.2, 3.1 и 3.2) выглядят по оформлению как статьи, во вводных частях которых повторяются обоснования актуальности исследования, присутствуют повторяющиеся короткие подразделы о методах и используемых данных исследования. В разделах 2.1 и 2.2 встречается дублирование фрагментов текста, рисунок 20 повторяет фрагмент рисунка 14.

11. Стилистически неудачное название диссертации: «Связь протяженности снежного покрова и полярных морских льдов по спутниковым данным и модельным расчетам в 20-21 веках и региональных и глобальных температурных изменений». Вызывает вопросы также формулировка защищаемых положений.

Сделанные замечания не являются принципиальными по отношению к существу проведенных М.Р. Парфеновой исследований. Диссертационная работа выполнена на современном уровне, научная новизна и практическая значимость основных полученных результатов не вызывает сомнений. Автореферат дает ясное

представление о диссертационной работе, а публикации автора в рецензируемых журналах освещают ее содержание.

**Диссертационная работа отвечает требованиям пп.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842) предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата наук, и ее автор М.Р. Парфенова заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.16.18 «Науки об атмосфере и климате».**

Главный научный сотрудник  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института водных проблем РАН,  
доктор физико-математических наук  
по специальности 1.6.16 «Гидрология  
суши, водные ресурсы, гидрохимия,  
член-корреспондент РАН

  
Гельфан А.Н.

01 сентября 2023 года

Я, Гельфан Александр Наумович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их обработку

