

ОТЗЫВ

официального оппонента

**на диссертацию на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук Багатинского Владислава Андреевича
на тему: «Океанические механизмы мультideкадной изменчивости
климата в атлантическом секторе Мирового океана»
по специальности 1.6.17 – «Океанология»**

Диссертационная работа Багатинского Владислава Андреевича посвящена исследованию изменчивости термохалинной структуры северной Атлантики, связанной с колебаниями Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (АМОЦ) и, возможно, с фазами индекса Атлантической мультideкадной осцилляции (АМО).

Выяснению механизма возникновения мультideкадной осцилляции в северной Атлантике посвящено множество работ, в которых высказывается ряд предположений о причинах их возникновения и характере осциллирующего механизма. Общим местом среди выдвигаемых гипотез является то, что основная роль приписывается активному взаимодействию океана и атмосферы, где действие атмосферы рассматривается как стохастический фактор, а действие океана как долгопериодный отклик. При этом глобальные процессы в океане имеют свои характерные времена на масштабах от нескольких лет до нескольких десятков и сотен лет. Один из таких временных масштабов, связанный со временем рециркуляции водных масс в рамках Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции, близок или даже совпадает с периодом Атлантической мультideкадной осцилляции, составляющим 50-70 лет. Особое место в диссертации уделяется как раз выяснению механизма такой рециркуляции и ее связи с термохалинной структурой океана.

Актуальность данного исследования связана с актуальностью исследования климата и климатических изменений, необходимостью прогноза

дальнейшего развития климатической системы Земли и адаптацией человека к изменяющимся климатическим и погодным условиям. Роль океана и формирующийся океанический отклик на потепление атмосферы, наблюдавшееся последние десятилетия, до сих пор не до конца ясны в основном из-за временных масштабов процессов, протекающих в океане. То, что в наши дни кажется не существенным, может привести к значительным последствиям на масштабе сотен лет. Инерционное воздействие океана в наши дни состоит в том, что благодаря его теплоемкости, экстремальные температуры в атмосфере компенсируются относительно холодным океаном. Однако, в случае продолжительного теплового воздействия, аккумулированное в океане тепло даже после снижения количества парниковых газов в атмосфере будет еще в течение продолжительного времени оказывать свое влияние на климат планеты. Одним из факторов, влияющих на формирование климата умеренных и высоких широт, является меридиональный перенос тепла в Атлантическом океане, осуществляемый в рамках исследуемой в данной работе меридиональной циркуляции.

Диссертационная работа Багатинского В.А. написана ясным и четким языком и состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы и приложения. Работа содержит 23 рисунка и 2 таблицы. Общий объем работы составляет 138 страниц.

Во введении представлено обоснование актуальности представленных исследований и их цель, ставятся задачи, указывается научная новизна и практическая значимость представляемой работы, перечисляются основные методы исследования и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору состояния исследований термохалинной циркуляции, включая историю формирования теории глобального конвейера Мирового океана, роли северной Атлантики в рамках этого конвейера, исследований посвященных Атлантической меридиональной циркуляции. Показано, в какой мере эта циркуляция представлена в имеющихся данных реанализа океана. Также в главе представлены и обсуждены существующие

методы анализа ее изменчивости и гипотезы формирования Атлантической мультideкадной осцилляции.

Вторая глава посвящена восстановлению с помощью модели INMOM структуры циркуляции Атлантического океана с помощью известной комбинации диагноза-адаптации, предложенной академиком А.С. Саркисяном. Восстановление проводилось для каждой из выбранных семи фаз мультideкадной осцилляции, три из которых связаны с периодом максимума температуры в верхнем слое океана, две с периодом минимума и две с переходными периодами от положительной к отрицательной фазе и наоборот. В главе приводится описание используемых данных по температуре и солености, данных атмосферного форсинга, описывается постановка задачи, конфигурация модели и схема численных экспериментов. Анализируются осредненные по периоду 1950-2017 гг. зональные распределения температуры и солености, а также полученная в ходе расчетов функция тока, приводится сравнение с имеющимися данными реанализов океана.

Третья глава посвящена анализу климатических трендов, выявленных в результате расчетов по методике диагноза-адаптации и с помощью имеющихся данных реанализов океана. Среди результатов проведенного анализа следует выделить то, что усиление основного ядра функции тока АМОЦ с 1951 по 1990 гг. вызывается изменениями потенциальной температуры, а его ослабление 1991 по 2017 гг., вызывается изменениями солености. События, последовательно вытекающие друг из друга на основе проведенного анализа и формирующие полный цикл, представляются в следующем виде:

- потепление южной части северной Атлантики,
- усиление функции тока АМОЦ в верхнем 500-м слое,
- усилению меридионального переноса тепла и солей на север,
- усиление циркуляции Северного Ледовитого океана и выноса льда и распресненных вод в северную Атлантику,

- распреснение и охлаждение субарктического круговорота в северной Атлантике,
- усиление функции тока АМОЦ в области ядра и ее замедление в верхнем 500-м слое и в области субарктического круговорота,
- ослабление меридионального переноса тепла и солей на север,
- замедление циркуляции Северного Ледовитого океана и выноса льда и распресненных вод в северную Атлантику,
- замедление функции тока АМОЦ в области ядра,
- потепление и осолонение южной части СА.

Конечно, не для всех элементов этой последовательности причинно-следственные связи являются простыми и понятными и это требует дальнейшей проработки. Однако, выявление самой последовательности является безусловно важным достижением.

В четвертой главе приводится ряд результатов, свидетельствующих о возможной связи выявленной последовательности с Атлантической мультideкадной осцилляцией. Основной упор делается на совпадении положительных и отрицательных фаз двух колебаний. Однако, невозможно сделать вывод об их полном совпадении на основании анализа одного из циклов. Ряд исследований, например (Delworth et al., 1993; Timmermann et al., 1998), указывает на основании численного моделирования, что период колебаний АМОЦ несколько меньший и составляет 30-50 лет. В таком случае не исключено, что полученный результат может оказаться чисто ситуативным и уже не повторится в следующем периоде АМО. Тем не менее проведенный анализ явно свидетельствует в пользу непосредственной связи колебаний АМОЦ и АМО.

Таким образом, проведенный анализ численных расчетов и имеющихся данных говорит о том, что сделанные в работе **выводы** являются полностью **обоснованными** и подтвержденными фактическими и иллюстративными материалами.

Достоверность полученных результатов обеспечивается, с одной стороны, использованием в расчетах одной из наиболее развитых моделей океана INMOM, описывающей океанический блок пока еще единственной в России климатической модели INMCM, участвующей в международном проекте сравнения климатических моделей CMIP6. С другой стороны, достоверность обеспечивается за счет того, что большинство выводов опирается не только на результаты численного моделирования, но и на данные натурных наблюдений и результаты реанализов и согласуется с результатами других исследований в этой области. Результаты исследования в достаточной степени представлены в рейтинговых научных публикациях и на научных конференциях.

Научная **новизна** заключается в сочетании ряда подходов при исследовании пространственно-временной изменчивости термохалинной циркуляции океана, объединяющим анализ данных наблюдений и численного моделирования для восстановления циркуляции океана по этим данным с помощью процедуры диагноза-адаптации.

К числу несомненных достоинств представленной работы следует отнести:

- выявленную цепь событий связанных с развитием АМОЦ,
- развитую методику выделения вкладов изменений температуры и солености в изменчивость термохалинной циркуляции,
- выявленную связь между интенсивностью термохалинной циркуляции и разностью уровней моря между максимумом в субтропиках и минимумом в субарктике,
- свидетельство меридиональной циркуляции аномалий температуры и солености в рамках АМОЦ в течение последнего периода Атлантической мультидекадной осцилляции.

Замечания.

В обосновании теоретической и практической значимости результатов указано на «выявленные по данным наблюдений механизмы связей термохалинного состояния с АМО и АМОЦ». Однако, связи на самом деле были выявлены на основе численного моделирования с использованием данных и то только с АМОЦ. Что касается механизмов связи с АМО, то здесь имеет смысл говорить только о свидетельстве наличия такой связи, поскольку для полного понимания вопроса необходимо рассмотрение не только океанической компоненты, но и атмосферной, например, с помощью климатической модели, учитывающей взаимодействие этих компонент в полной мере.

В обзорной части (глава 1) практически ничего не сказано об исследованиях колебаний АМОЦ, между тем значительная часть результатов диссертации связана именно с этим вопросом. К тому же некоторые оценки свидетельствуют о различии периодов колебаний АМОЦ и АМО. Правда эти оценки основываются исключительно на численном моделировании, поскольку наблюдаемый период слишком короток для более общих оценок, но тем не менее следовало бы включить этот вопрос в данный обзор.

К сожалению, при постановке задачи не рассматривался вопрос об атмосферном форсинге видимо в предположении, что результат его воздействия аккумулирован в наблюдаемом состоянии океана. Однако, никаких оценок относительно этого не приводится и остается только верить, что на этапе адаптации эти взаимодействия не существенны. И все же изменчивость поля ветра и потоков тепла и влаги на поверхности океана в зависимости от фазы АМО следовало бы хотя бы оценить.

Непонятен выбор периодов осреднения произведенных расчетов по методике диагност-адаптация, взятых для анализа циркуляции. В одном случае это связано с максимумом расхода течения Гольфстрим, непонятно причем здесь максимум. В другом - с максимумом течения Ломоносова при условии, что на поверхности реализуется экваториальное течение. Хотелось бы видеть

более четкое определение периода, когда результат диагноза-адаптации считается наиболее приемлемым.

К числу выявленных редакционных замечаний можно отнести:

- отсутствие названия в первой публикации РИНЦ,
- рисунок 1 не изображает конвейера, о котором говорится в описании этого рисунка,
- на рисунках тенденций не следовало бы изображать тенденции температуры и солености на фоне тенденций функции тока, в итоге последние практически невозможно идентифицировать,
- при проведении зонального осреднения не сказано о том, исключаются ли области Тихого и Индийского океанов, входящие в область моделирования.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.17 – «Океанология» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Багатинский Владислав Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – «Океанология».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,

главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук

ПЛАТОВ Геннадий Алексеевич



14.11.2022

подпись

Контактные данные:

тел.: +7-911 ..., e-mail: plat@ommfao.sccc.ru

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

Адрес места работы:

630090, г. Новосибирск, Проспект академика Лаврентьева, 6.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук

тел.: +7-911 ..., e-mail: plat@ommfao.sccc.ru

Подпись Г.А. Платова удостоверяется

Ученый секретарь

ИВМиМГ СО РАН, к.ф.-м.н.



Л.В. Вшивкова

14.11.2022 г.