

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

Мировой океан, будучи консервативным компонентом климатической системы, является источником собственной изменчивости на масштабах от лет до десятилетий. Эта собственная изменчивость океана существенно влияет на предсказуемость глобального и регионального климата. Вне пределов предсказуемости первого рода (задача на начальные значения – дни и недели), где роль океана мала, влияние океанского сигнала существенно увеличивается именно на масштабах десятилетий. Это сильно осложняет прогнозы климата на первые десятилетия (которые иногда называют серой зоной климатических прогнозов) поскольку здесь магнитуа изменений климата, связанных с внешним воздействием (например, антропогенным) становится сопоставимой с магнитудой изменений, связанных с собственной изменчивостью. Сегодня ясно, что наиболее важным источником таких долгопериодных колебаний в океане является Северная Атлантика, где формируется Атлантическое звено межокеанской глобальной циркуляции. Именно эти процессы и являются главными механизмами мультидекадной изменчивости океана и соответствующего отклика в атмосфере. При этом изучены они крайне недостаточно как в диагностическом, так и в модельном плане. Именно таким задачам и посвящена диссертация В.А. Багатинского. В этом смысле ее актуальность не вызывает сомнений.

В ходе выполнения работы В.А. Багатинским получено новое решение актуальной научной проблемы – исследование механизмов долгопериодной климатической изменчивости Северной Атлантики на масштабах десятилетий на основе данных наблюдений и численного моделирования с помощью

современной модели общей циркуляции океана. Среди положений, вынесенных В.А. Багатинским на защиту, отметим следующие.

Количественно оценены тренды в верхнем и нижнем слоях Атлантики на основе различных реанализов (включая EN4, WOA13, GFDL, ESTOC, ORAS4 и GECCO2) и показана их разнонаправленность в верхнем и нижнем слое.

Проведен критический анализ динамики интенсивности функции тока Атлантической меридиональной циркуляции по данным модельных экспериментов с моделью INMOM и результатам различных реанализов, обнаружены значимые качественные различия (различные знаки) в оценках долгопериодных трендов.

Обнаружено, что тренды усиления АМОС до 1990 года были связаны с изменениями потенциальной температуры, а тренд ослабления в последние десятилетия – с влиянием солености, при этом в качестве одного из механизмов обозначена динамика выноса льдов и поступление Атлантических вод в Северный Ледовитый океан, а в качестве индикатора - среднезональные градиенты уровня моря, связанные с изменчивостью функции тока АМОС.

Выполнено количественное описание различных фаз Атлантической мультидекадной осцилляции и для этих фаз получены оценки температурных и соленостных изменений в разных слоях, показана возможность распространения температурных и солёностных аномалий с периодом около 60 лет по ходу движения вод в АМОЦ с опусканием в глубинные слои океана примерно на 60°с.ш.

Ниже я остановлюсь на несомненных достоинствах работы, определяющих ее научную ценность и большое значение для науки и практики.

В первой главе В.А. Багатинский дает полный и высокопрофессиональный критический анализ современных представлений о динамике циркуляционных процессов в Северной Атлантике. Я считаю, что эти 20 с небольшим страниц безусловно являются украшением работы. Автор детально проанализировал не только последние статьи по данному вопросу,

но и дал очень содержательный исторический обзор. Это особенно приятно отметить, поскольку данный анализ выполнен в рамках модельно-диагностической работы, что выгодно отличает ее от некоторых подобных работ, авторы которых просто откровенно плохо знают региональную океанографию бассейна, который изучают (например, моделируют). Кроме того, мне понравилось структурирование главы, в которой отдельно рассматриваются феноменология и более современные представления, основанные на океанских реанализах. Также сильным разделом, вернее разделами (1.3, 1.4) является описание связи Атлантической мультидекадной осцилляции с АМОС, которая отнюдь нетривиальна, и между которыми нельзя ставить знак равенства, что зачастую ошибочно делается многими авторами. Идея использования осциллятора Шулейкина среди прочего контролируемого усилением выноса льда из Северного Ледовитого Океана с последующим распреснением и охлаждением поверхностных вод в субполярной Атлантике и ослаблением АМОС с уменьшением меридионального переноса тепла кажется вполне уместной здесь. Важно, что авторы используют ее, как концепцию, анализируя затем процесс с учетом современных представлений об океанских процессах. Это правильный подход в отличие от догматического использования многих относительно старых идей (что приводит часто к спорным выводам), что свидетельствует о высокой квалификации автора.

Во второй главе описывается численное экспериментирование с моделью в сигма-координатах INMOM с использованием различных данных по поверхностным температурам и соленостям и атмосферному форсингу, а также метода диагноза-адаптации для восстановления динамики океана по данным объективных анализов. Данный метод является, безусловно, остроумной идеей автора и обеспечивает учет данных наблюдений в восстановлении 3-мерной динамики океана, устраняя погрешности динамического расчета квазигеострофической циркуляции, но при этом сохраняя основные свойства решения. В этом смысле крайне показателен

рисунок 12 диссертации, показывающий средние течения на поверхности океана за 70-летний период по результатам эксперимента в режиме диагноза и адаптации (б) на основе данных океанского объективного анализа EN4. Автором хорошо изложена методология планирования и выполнения экспериментов, весьма обоснованно выбрана в качестве ключевой диагностики зонально проинтегрированная функция тока и проведено всеобъемлющее сравнение результатов многочисленных экспериментов, показавшее, что модель INMOM в режиме диагноз-адаптация адекватно воспроизводит среднеклиматическую наблюдаемую структуру основных гидрофизических полей в средних и высоких широтах Атлантики. Считаю также положительным моментом, что автор ушел от детального описания ядра модели INMOM, что стало бы рутинным дополнением к работе, в известной степени мешающим восприятию основных результатов.

В третьей главе анализируются трендовые измерения в различных термодинамических параметрах в реанализах и выполненных численных экспериментах, что позволяет детально проследить различные фазы развития АМОС. Помимо рассмотрения всего периода, достаточно обоснованно выбраны сегменты, для которых проведены оценки более короткопериодных трендов, что позволяет описать, в частности, периоды формирования АМОС с относительно глубоким и относительно мелким верхним лимбом (см., например Koltermann et al. 1999). Интересен в этом смысле рисунок, показывающий климатические тренды потенциальной температуры в верхнем 400-метровом слое за периоды 1951-2017 и отдельно за 1951-1991 и 1991-2017 гг. Хорошо видно, что смена режимов не происходит за счет равномерного распространения сигнала в Атлантике, а связана с существенной перестройкой циркуляции, что согласуется с существующими представлениями об основных механизмах формирования долгопериодной изменчивости атлантической циркуляции. Интересен также факт наличия отрицательных трендов в области Северо-Атлантического течения, за период 1991 по 2017 гг., что свидетельствует потенциально о недостаточном учете

вихревых процессов в зоне мощной трансформации вод во всем термостате САК. В этом контексте я ниже отмечу, как недостаток работы, отсутствие обсуждения данного эффекта, хотя приводимое автором обоснование представляется вполне логичным, но в рамках модели с промежуточным разрешением.

Четвертая глава посвящена исследованию динамики Атлантической мультидекадной осцилляции и ее связи с океанической динамикой. Автор вполне логично использует анализ композитов (то есть композиционных картин параметров осредненных за выбранный период) для того, чтобы оценить сигнал климатической изменчивости в Атлантике в аномалиях потенциальной температуры и солёности для различных фаз Атлантической мультидекадной осцилляции. Этот анализ позволил установить, что перемежающиеся периоды усиления и ослабления АМО с периодом примерно 60 лет имеют четкое отражение в динамике всей меридиональной циркуляции в Атлантике. Проведенный анализ для различных океанских реанализов позволил выделить анализы/реанализы EN4, WOA13 и ORA-S4, где эта связь проявляется особенно четко. Это позволяет автору далее положить найденные особенности в канву парадигмы Шулейкина и дополнить ее анализом распространения аномалий, причем с учетом их распространения в глубоком океане. В частности, интересен вывод о возможности заглубления аномалий в субполярной Атлантике сочлененном с адвекцией льда и изменениями в величинах меридионального переноса.

Как и всякая крупная работа и сильная работа диссертация В.А.Багатинского не лишена недостатков. Опуская неизбежные мелкие и редакционные замечания, остановлюсь на нескольких принципиальных.

Во-первых, отмечу некоторую неаккуратность в оценивании значимости трендов, которые активно используются в работе для диагностики. В частности, я не нашел в работе обоснования выбора критерия для оценивания трендов (параметрический или непараметрический). Не на всех рисунках значимость обозначена. В различных местах работы даются оценки с

различной значимостью, в некоторых дается диапазон значимостей, что трудно интерпретируемо. Довольно странно звучит пассаж о том, что «...по исходным данным (Рисунок 17) все тренды значимы на уровне 99%, т.к. временной шаг исходных данных меньше и составляет 1 месяц....». Это свидетельствует о том, что сериальная автокорреляция рядов не была проанализирована достаточно, что могло сказаться на оценке значимости. Кроме того, при анализе композитов также необходим детальный анализ значимости различий между ними в терминах доверительных интервалов для средних.

В работе используется модель с разрешением 0.5 градуса, относящаяся к моделям грубого и, в низких широтах, промежуточного разрешения. Это не есть недостаток работы, такие эксперименты весьма важны и самоценны. Однако хотелось бы увидеть в работе дискуссию о том, что потенциально было потеряно при использовании такого разрешения. Более того, какие-то рассуждения о параметризации подсеточных эффектов и ее эффективности также были бы полезны. В частности, насколько эффективно использование в данном случае GM90 (кстати в работе нет ссылки на Gent and McWilliams 1990), тоже было бы неплохо обсудить.

Наконец, мне представлялось бы желательным рассмотрение некоторых эффектов в рамках соотношений температурно-соленостных свойств (T,S – координат), использование которых (например, для статистических или волюметрических T,S – диаграмм) могло бы существенно обогатить анализ трендовых измерений в полях температуры и солености. Этот анализ, безусловно, может быть выполнен в будущем.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Владислав Андреевич широко известен научной общественности по публикациям и публичным выступлениям. Его результаты активно используются и будут использоваться в практике климатического прогнозирования в ИВМ РАН. Работа и автореферат

написаны хорошим научным языком, лишенным наукообразия, и очень легко читаются. Кроме того, они хорошо подготовлены технически.

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, профессор,
главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, член-корр. РАН
ГУЛЕВ Сергей Константинович



_____ .11.2022

Контактные данные:

тел.: +7(499)124-79-85, e-mail: gul@sail.msk.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 25.00.28 - Океанология

Адрес места работы:

117997, Российская Федерация, Москва, Нахимовский проспект, д. 36
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук
тел.: +7(499)124-79-85, e-mail: gul@sail.msk.ru

Подпись С.К. Гулева удостоверяю:



