

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Якшиной Дины Фаруковны

«Исследование влияния океанических потоков тепла на состояние морского льда Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа Якшиной Дины Фаруковны посвящена исследованию роли потоков тепла от океанических вод в сокращении площади морского льда в Арктике на основе методов трехмерного численного моделирования.

Последствия изменения климата Земли, наблюдаемые в последние десятилетия, проявляются в интенсивном сокращении ледового покрова в Северном Ледовитом океане (СЛО), что связано с т.н. арктическим усилением наблюдаемого потепления, обусловленным наличием положительных обратных связей в системе атмосфера-лед-океан. Необходимость понимания происходящих процессов предполагает всестороннее исследование физических механизмов, определяющих современную изменчивость основных компонентов климатической системы Земли. Таким образом исследование причин изменений состояния ледового покрова в СЛО представляет **актуальную** научную задачу, которая решается представленной работе с помощью методов численного моделирования на основе трехмерной модели, позволяющей воспроизводить и анализировать пространственно-временную изменчивость состояния атмосферных, ледовых и гидрологических характеристик.

Научная новизна работы заключается в реализации для отечественной совместной модели океан-лед SibCIOM современных параметризаций

турбулентного вертикального перемешивания. По результатам численных экспериментов, проведенных на основе представленной в диссертационной работе версии модели показано, что поступление вод из Атлантического и Тихого океанов в течение продолжительного периода способствует, в дополнение к повышению температуры приземного слоя атмосферы, современному сокращению арктического морского льда.

Обоснованность и достоверность защищаемых автором научных положений и выводов обеспечивается сопоставлением натуральных измерений и результатов модельных расчетов, полученных по хорошо апробированной численной модели SibCIOM, разрабатываемой в ИВМиМГ СО РАН уже на протяжении нескольких десятилетий. SibCIOM принимает участие в международном проекте FAMOS (ранее AOMIP Arctic Ocean Model Intercomparison Project – проект сравнения численных моделей СЛО) и его координированных экспериментах. Несмотря на то, что модель воспроизводит гидрологические и ледовые характеристики с некоторой долей погрешности, это не препятствует проведению сравнительного анализа результатов проведенных численных экспериментов, направленных на понимание причин основных процессов климатической изменчивости состояния вод и морского льда в Арктике.

Научная и практическая ценность результатов представленного диссертационного исследования определяется в т.ч. развитием отечественной совместной модели океан-лед, которая может использоваться как для определения причинно-следственных связей в сложной климатической системе, так и для проведения исследований с целью оценки последствий возможных климатических изменений, происходящих в арктической зоне.

Научная значимость работы подтверждается публикациями результатов исследования в рейтинговых журналах и их представлением на различных научных конференциях. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, из них 4 работы представлены в журналах из перечня ВАК, 4 работы в

базе WoS (1 публикация в журнале Remote Sensing из Q1), 3 работы – в системе индексирования Scopus.

Диссертационная работа Якшиной Д.Ф. написана ясным и четким языком и состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 57 рисунков и 3 таблицы. Общий объем работы составляет 145 страниц.

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель и основные задачи исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна полученных результатов. Приводятся сведения о личном вкладе автора и апробации результатов диссертации.

В главе 1 представлено описание модифицированной соискателем версии трехмерной численной модели океанической циркуляции, являющаяся составным блоком совместной численной модели океана и морского льда SibCIOM, на основе которой проводится исследование изменчивости океана и морского льда. Эта версия модели содержит так же усовершенствованный автором в ходе работы над диссертацией блок вычисления скорости течений, процедуру расчета изопикнической диффузии и метод вихревого перемешивания. Кроме того, в SibCIOM реализована возможность использования различных параметризаций турбулентного перемешивания из пакета GOTM (General Ocean Turbulent Models).

В главе 2 представлены результаты численных экспериментов, в которых моделируются изменения состояния вод и ледяного покрова СЛО на основе трехмерной численной модели океана и морского льда SibCIOM, и данных реанализа атмосферы NCEP/NCAR, используемых для расчета атмосферного воздействия. На основе сравнения результатов численного моделирования с данными наблюдений и результатами аналогичных исследований показано, что численная модель адекватно воспроизводит основные климатические процессы арктического региона, вызванные вариациями состояния атмосферы: сокращение площади и объема морского льда, изменение

траектории поступающих в регион атлантических и тихоокеанских вод. Анализ результатов численного моделирования позволил выделить области наибольшего влияния потока тепла от океанических вод на ледяной покров, которые совпадают с областями распространения тихоокеанских и атлантических вод в СЛО.

В главе 3 проведено исследование чувствительности численной модели океана и морского льда к параметризациям физических процессов, не разрешаемых в рамках крупномасштабного моделирования. Проведен анализ влияния коротковолновой радиации на сезонное изменение толщины ледяного покрова. Кроме того, проведено тестирование выбранных автором одномерных моделей турбулентного перемешивания с точки зрения воспроизведения интегральных характеристик СЛО. Дополнительно проведены эксперименты по оценке чувствительности состояния вод СЛО к параметризации диффузии и вихревого переноса.

В главе 4 проведены эксперименты, направленные на исследование чувствительности используемой версии модели на изменение атмосферного воздействия, начального состояния и морского льда, характеристик вод, поступающих в СЛО. По результатам экспериментов подтвердились высказанные на основе анализа данных наблюдений гипотезы и полученные на основе аналитических оценок заключения других авторов о том, что влияние потоков тепла, поступающих с тихоокеанскими и атлантическими водами, способствовали сокращению ледяного покрова СЛО.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. В нем достаточно подробно представлены основные результаты и положения работы.

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

1. В постановке задачи численного моделирования циркуляции океана следовало бы привести формулы, по которым рассчитывались потоки тепла, импульса и пресной воды на поверхности океана, а также привести сопоставление величины схемной вязкости с задаваемыми коэффициентами боковой диффузии.
2. В диссертации для расчета атмосферного воздействия используются данные атмосферного реанализа NCEP/NCAR. Однако, как правило, в исходных данных атмосферных реанализов не соблюдаются балансы турбулентных и радиационных потоков тепла на поверхности океана, а также пресноводный баланс, которые могут приводить к искусственным трендам в тепло- и солесодержании океанских вод в модельных расчётах. Следовало бы проверить эти балансы и ввести, при необходимости, соответствующие поправки в расчеты потоков тепла и пресной воды.
3. В тексте диссертации не указано, каким образом поддерживается среднее климатическое состояние океана, которое, как правило, нарушается в океанских моделях в автономных расчетах гидротермодинамики океана из-за невозможности точно соблюсти тепловой и водный баланс внешнего воздействия (см. предыдущее замечание).
4. В формуле (2.2) Главы 2, при описании баланса потока тепла из атмосферы в лед почему-то не учитывается поток коротковолновой солнечной радиации, хотя в следующей Главе 3 ей уделяется особое внимание, подчеркивая ее важность в формировании температурного профиля воды. В связи с этим вызывает сомнение рис. 2.18, демонстрирующий, что корреляционные связи между локальными потоками океан-лед и толщиной (в тексте диссертации объёмом?!) морского льда сильнее, чем между потоком атмосфера-лед и толщиной льда. Этот вывод мне кажется сомнительным.

К редакционным замечаниям следует отнести то, что при перечислении российских моделей морской циркуляции на стр. 11 следует называть сигма-

модель морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) в английской аббревиатуре. В подписи к рис. 1.1 указаны модели «суши и земли», которые не присутствуют на схеме. На стр. 24 не раскрывается понятие «мелкомасштабных движений в океане». На стр. 62 суммарный турбулентный и радиационный поток тепла на поверхности льда почему-то назван «радиационным балансом». На стр. 75 на рис. 3.7 приведены результаты сравнения содержания пресной воды по модельным результатам с данными, согласно тексту, океанографического института Вудс-Холла, а не с данными NSIDC, как указано в легенде и подписи рисунка.

Представленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации и никоим образом не умаляют значимости диссертационного исследования, представляющего собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Представленный материал хорошо структурирован. Выводы обоснованы. Результаты опубликованы в журналах из списка ВАК и прошли апробацию на российских и международных конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Дины Фаруковны Якшиной соответствует специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы и удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями, которые утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 20 марта 2021 г. № 426), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Считаю, что автор диссертации, Якшина Дина Фаруковна, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук (специальность 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы), доцент, главный научный сотрудник кафедры

физики моря и вод суши (Физический факультет, Отделение геофизики)
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет им. М.В.
Ломоносова»

Дианский Николай Ардальянович

Телефон: +7 (905) 797-94-12; e-mail: nikolay.diansky@gmail.com

10.06.2022

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.
Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова). ГСП-1, Ленинские горы, МГУ,
д. 1, Главное здание, Физический факультет, г. Москва, 119991.

Тел: +7 (495) 939-31-60

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

Декан физического факультета МГУ

(Сысоев Н.Н./

