



Федеральная служба по гидрометеорологии и  
мониторингу окружающей среды

**Федеральное государственное  
бюджетное учреждение  
«Институт глобального климата и  
экологии имени академика  
Ю. А. Израэля»  
(ФГБУ «ИГКЭ»)**

107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20 Б  
Тел.: (499) 160-59-07, Факс: (499) 160-59-07  
Телекс: Москва 111120 ЭКЛИ  
www.igce.ru

№ \_\_\_\_\_

На Ваш № \_\_\_\_\_

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Врио директора Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения «Институт глобального  
климата и экологии имени академика  
Ю. А. Израэля»,  
кандидат географических наук

  
С.А. Громов

«5» сентября 2022 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения  
«Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»  
на диссертационную работу

**Аверьяновой Екатерины Анатольевны**

«Климатическая изменчивость и термохалинная циркуляция в Атлантическом океане»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 25.00.30 — Метеорология, климатология, агрометеорология

Диссертационная работа Аверьяновой Е.А. выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Институт природно-технических систем» (ФГБНУ «ИПТС»). Она посвящена исследованию режимов Атлантической термохалинной циркуляции (ТХЦ), и возможности реализации термохалинной катастрофы (ТХК) в условиях меняющегося климата.

На отзыв ведущей организации были представлены 1 экз. диссертации объемом 281 стр. и 1 экз. автореферата объемом 20 стр.

### **Актуальность темы работы.**

В 80-е годы прошедшего столетия благодаря возможности анализа глубинных гренландских ледовых кернов обнаружили быстрые перебросы состояния климата, наблюдающиеся одновременно в удаленных регионах Европы (Dansgaard et al., 1984;



Oeschger et al., 1984). Для объяснения этого явления была, в частности, привлечена старая работа Стоммела (1961), где в двухблочной модели океанической циркуляции с обменом температурой и соленостью наблюдалась неединственность равновесных состояний с разной интенсивностью меридионального переноса тепла. Предполагалось, что быстрый переброс между состояниями такой термохалинной циркуляции потенциально может быть ответственен за быстрые изменения климата в атлантико-европейском секторе. Параллельно развивавшаяся проблематика глобального потепления вызвала предположение о возможности таких перебросов при быстром таянии льда на севере Атлантики. С этого момента проблема возможности «термохалинной катастрофы» прочно заняла место в кругу тем, постоянно рассматриваемых в отчетах МГЭИК и, тем самым, стала рассматриваться как одна из актуальных проблем современной теории климата (включающей в климатическую систему атмосферу, океан, криосферу и деятельный слой суши). Проблема эта, наряду с очевидным научным интересом, имеет бесспорное прикладное значение при определении климатических рисков, связанных с глобальным потеплением. В ее решении принимают участие многочисленные исследовательские группы, в теоретической части - занимающиеся климатическим моделированием и анализом результатов, а также поиском свидетельств реальности указанного явления в данных наблюдений, прокси и палеоклиматических данных.

**Целью работы** является исследование режимов ТХЦ в Атлантическом океане в современную климатическую эпоху и возможности реализации ТХК с использованием данных реанализов и результатов численного моделирования в рамках блочной модели.

Для достижения этой цели Е.А. Аверьянова решала следующие задачи:

- систематизация сведений о механизмах, формирующих ТХЦ и ее изменчивость в Атлантическом океане;
- описание современного состояния проблемы множественности циркуляционных режимов Атлантического океана;
- оценка изменчивости основных факторов изменчивости меридиональную термохалинную циркуляцию в Атлантическом океане;
- проведение серии численных экспериментов с четырехблочной моделью Северной Атлантики с типичными для современного климата параметрами;

- исследование режимов ТХЦ и возможности реализации ТХК в Северной Атлантике.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка сокращений, списка использованных источников и 6 приложений. Список использованных источников включает в себя 527 наименований.

#### **Содержание диссертационной работы.**

**Введение** содержит обоснование актуальности темы диссертации, постановку целей и задач работы, связь работы с научными программами, планами, темами, методы и материалы исследования, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, основные положения, выносимые на защиту, личный вклад соискателя, апробацию результатов исследования и список публикаций.

**В первом разделе** обобщены результаты анализа большого количества современных литературных источников. Подробно исследован вопрос множественности циркуляционных режимов меридиональной циркуляции в Атлантике (МЦА), рассмотрены основные механизмы, отвечающие за формирование и устойчивость меридиональной циркуляционной ячейки. Показано, что термохалинный механизм является основным, отвечающим за переключение между режимами МЦА. Описана связь резких климатических изменений в прошлом с режимами ТХЦ. Продемонстрировано, что формирование резких переходных циркуляционных режимов МЦА в прошлом могло происходить в ответ на термохалинный форсинг, связанный, например, с поступлением значительных объемов пресных вод в северную часть Северной Атлантики. Кроме этого, в первом разделе приведены характеристики и оценки скоростей формирования различных компонент глубинных и придонных водных масс в Атлантическом океане, выполнена обобщенная оценка интенсивности МЦА, описана взаимосвязь Атлантической мультидекадной осцилляции и МЦА.

**Во втором разделе** исследуется изменчивость потоков тепла и пресных вод на акватории Атлантического океана, особое внимание уделяется регионам формирования Североатлантических глубинных водных масс (САГВ). Описываются данные реанализов ORA-S3 и NCEP/NCAR, используемые при оценке изменчивости термохалинных характеристик вод и турбулентных потоков тепла, потоков пресных вод (определяемых как осадки минус испарение,  $P - E$ ), приводится методика обработки данных. Изменчивость потока пресных вод за счет изменения морского льда и наземного оледенения описывается на основании результатов исследований, представленных в научной литературе.

На основании собственных расчетов с использованием данных реанализа NCEP за период 1950–2020 гг. показано что:

- в областях формирования САГВ обнаружены колебания суммарных турбулентных потоков тепла ( $H + LE$ ) с типичными периодами ( $T$ ) несколько десятков лет и амплитудами от 80 до 170 Вт/м<sup>2</sup>;

- тренды суммарных турбулентных потоков тепла и потоков пресных вод ( $P - E$ ) в различных регионах формирования САГВ имеют разную направленность, но в целом по региону формирования этих вод тренд незначим на уровне 95%;

- установлен уровень высокочастотных шумов суммарных турбулентных потоков тепла и потоков пресных вод на поверхности в регионе формирования САГВ: СКО высокочастотных колебаний ( $H + LE$ ) ( $T < 10$  лет) варьируют в интервале от 60 до 230 Вт/м<sup>2</sup>, а ( $P - E$ ) – от  $0,5 \cdot 10^{-5}$  до  $2 \cdot 10^{-5}$  кг/(м<sup>2</sup>/с).

На основании собственных расчетов диссертанта с использованием данных реанализа ORA-S3 и обобщения результатов работ современных авторов показано наличие междесятилетней изменчивости термохалинных характеристик вод в регионе формирования САГВ значительной амплитуды.

В **третьем разделе** дается литобзор по проблеме моделирования ТХЦ с использованием боксовых моделей различного типа, обосновывается выбор конфигурации модели для дальнейших экспериментов. В этом разделе особое внимание уделяется подбору параметров боксовой модели, выбору граничных и начальных условий. Далее с помощью четырехбоксовой модели Северной Атлантики с параметрами, наиболее приближенными к современному климатическому состоянию, исследуется ТХЦ. Рассматривается влияние различных механизмов на режимы ТХЦ, исследуется относительная роль ветра и нелинейности связи между меридиональными градиентами плотности и объемным меридиональным транспортом в формировании различных режимов ТХЦ. Показано, что учет дрейфового переноса между северными и южными боксами приводит к незначительному уменьшению стабильности ТХЦ в модели, а использование нелинейной зависимости объемного переноса от меридиональной разности плотностей между северным и южным боксами – к противоположному эффекту. Приводятся также результаты экспериментов, в которых уравнение состояния задается в линейной и более полной форме. Получено, что использование уравнения состояния в более полном виде способствует незначительному уменьшению стабильности современного циркуляционного режима в боксовой модели. В этом же разделе проведен стандартный статистический анализ

температуры и солености, соответствующих каждому боксу, включая спектральный анализ эффективных температуры и солености. Полученные результаты использованы при решении нестационарной задачи, когда на систему, находящуюся в стационарном термическом режиме, накладывался внешний форсинг в виде мгновенных и периодических возмущений и белого гауссового шума. Пороговые возмущения, при которых в модели происходит термохалинная катастрофа, сравниваются с соответствующими современному климату характеристиками (полученными автором или взятыми из научной литературы). Делается вывод о том, что реализация термохалинной катастрофы в ближайшем будущем маловероятна. Наименьшее различие между пороговой и наблюдаемой амплитудами периодических возмущений отмечается для колебаний с периодом около 20 лет, типичным для Тихоокеанской декадной осцилляции. Соискателем в явном виде проанализирован механизм формирования собственных колебаний в боксовой модели с периодом около 100 лет, проявляющихся в виде АМО.

В **заключении** Аверьянова Е.А. сформулировала основные выводы диссертационной работы. Они соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

**Научная новизна.** Из результатов работы, научная новизна которых не вызывает сомнений, можно выделить следующие:

- в регионе формирования САГВ выявлены максимумы низкочастотной изменчивости суммарных турбулентных потоков тепла с типичными периодами несколько десятков лет и амплитудами 80–170 Вт/м<sup>2</sup>;

- в целом по региону формирования САГВ для периода 1950–2020 гг. показано, что тренды суммарных турбулентных потоков тепла и потоков пресных вод (P – E) статистически незначимы на уровне 5%;

- в рамках авторской четырехбоксовой модели Северной Атлантики, параметры которой подобраны так, что она была максимально приближена к современному климату

- уточнен механизм генерации Атлантической мультидекадной осцилляции как внутренней термохалинной моды;
- показано, что в современной климатической ситуации реализация термохалинной катастрофы маловероятна;

- продемонстрирована потенциальная важность Тихоокеанской декадной осцилляции, которая может дестабилизировать ТХЦ при увеличении амплитуды этой осцилляции в несколько раз.

Новизна научных результатов подтверждена наличием у Аверьяновой Е.А. публикаций по теме диссертации в ведущих профильных журналах, входящих в наукометрические базы РИНЦ, ВАК РФ, ВАК Украины, SCOPUS и Web of Science.

**Обоснованность и достоверность результатов** обеспечивается глубокой теоретической проработкой диссертантом темы исследования (о чем, в частности, свидетельствует внушительный (527 источников) список литературы, использованием современных массивов данных океанических и атмосферных ре-анализов, корректным применением боксовой модели Северной Атлантики, которая описывает термохалинную циркуляцию в Атлантическом океане, включая основной механизм, отвечающий за переключение между режимами меридональной циркуляции в Атлантическом океане, аккуратным подбором параметров боксовой модели, применением стандартных численных алгоритмов, множеством проведенных численных экспериментов, качественным анализом результатов численных экспериментов. Полученные выводы не противоречат результатам работ, посвященных устойчивости меридональной циркуляционной ячейки в Атлантическом океане, полученными с использованием сложных современных моделей климатической системы, в том числе, входящих в проект CMIP6.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации представлялись на 22 конференциях различного уровня, и опубликованы в соавторстве в 22 публикациях, в том числе 2 публикациях, отвечающих требованиям ВАК РФ, в 4 статьях в журналах, входящих в систему РИНЦ; в 5 статьях, в изданиях из перечня ВАК Украины.

#### **Научная и практическая значимость полученных результатов**

В диссертационной работе количественно описаны закономерности изменчивости суммарных турбулентных потоков тепла и потоков пресных вод, термохалинных характеристик вод в местах формирования САГВ, изменчивость которых является одним из проявлений крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы. Получены фундаментальные результаты и уточнены имеющиеся знания об Атлантической термохалинной циркуляции и ее изменчивости в современную климатическую эпоху. Выводы имеют важное значение при оценке климатических рисков в европейском секторе и Северной Евразии при глобальном потеплении,

соответственно, могут учитываться при выработке мер по адаптации к изменению климата.

Полученные результаты можно использовать для усовершенствования учебных и рабочих программ по специальностям экологической, океанологической, метеорологической и географической направленности в вузах, полученные выводы могут быть полезны для политиков при принятии управленческих решений, связанных с антропогенным воздействием на климатическую систему, и использованы в научно-популярных передачах, посвященных термохалинной катастрофе.

### **Соответствие автореферата тексту диссертации**

Автореферат в целом достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

### **Замечания**

Имеется ряд замечаний, которые перечислены ниже. Основные замечания относятся к автореферату.

- изложение содержания первой главы в автореферате слишком сжато и скомкано; в результате читатель не может получить определенного представления об основных характеристиках современного состояния проблемы. Например, сам вопрос о существовании множественных режимов ТХЦ освещен косвенно фразой (автореферат, с. 11) «В результате выполненного обобщения показано, что термохалинный механизм является основным, отвечающим за переключение между режимами МЦА» - отметим, что в данном случае, никто не наблюдал ни режимов как таковых, ни переключения между ними *Показать* можно только, что на настоящий момент этот механизм рассматривается большинством исследователей как наиболее вероятный. Непонятно, каково состояние вопроса о возможной термохалинной катастрофе в современную эпоху.

- (автореферат, с. 11) «В Атлантическом океане в последние 120 тыс. лет, кроме современного, реализовывались и другие режимы меридиональной циркуляции» - Изложено так, как будто эти режимы реально наблюдались или есть прямые свидетельства их существования

- в изложении главы 2 в автореферате имеется ряд не расшифрованных акронимов и обозначений. Если акроним САГВ и обозначения Н+LE, Р-Е являются более-менее общепринятыми, то понять, что такое СКОвч10-НLE довольно затруднительно.

- соискатель обращает внимание на преимущества простых моделей климатической системы, которые позволяют провести намного большее количество численных экспериментов по сравнению со сложными трехмерными моделями. При этом четко не сформулировано отношение автора к циркуляционным моделям промежуточной сложности и результатам, полученным с их помощью;

- в основной части работы диссертант чрезмерно увлекается описанием мелких деталей, имеющих лишь косвенное отношение с поставленным в работе задачам, и это несколько усложняет восприятие основных результатов работы. Попытка автора смягчить остроту этой проблемы путем вынесения многочисленных подробностей в приложение принципиально ее не решает;

- часть текста диссертации составлена из множество громоздких предложений, что затрудняет восприятие.

- местами автор для обозначения одного и того же термина использует то английскую, то русскую аббревиатуру. Например, Антарктическая придонная водная масса в большей части диссертации сокращается, как АДВ, но на стр. 36 и стр. 242 она же обозначается как ААВW. При этом в списке сокращений присутствуют обе аббревиатуры;

Перечисленные замечания относятся в основном к особенностям изложения и существенно не снижают в целом положительную оценку исследования, представленного в диссертации Аверьяновой Е.А.

**Заключение.** Диссертация Аверьяновой Е.А. «Климатическая изменчивость и термохалинная циркуляция в Атлантическом океане» представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему и соответствует **паспорту научной специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология** и требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Аверьянова Екатерина Анатольевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Диссертационная работа Аверьяновой Е.А. и отзыв на нее обсуждались и были одобрены на заседании межотдельского научного семинара Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» протокол № 3 от «31» августа 2022 года.

Отзыв подготовил заведующий отделом мониторинга и вероятностного прогноза климата, ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», кандидат физико-математических наук по специальности 04.00.22 – геофизика.



*М.Ю.* Бардин Михаил Юрьевич

«01» сентября 2022 года

Подпись Бардина М.Ю. заверяю,

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», в.н.с., к.х.н.



*А.* Гладильщикова Анна Артемьевна

«05» сентября 2022 года

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ»)

Адрес: 107258, Москва, ул. Глебовская, д. 20Б. Телефон: +7 499 160-59-07

Факс: +7 499 160-08-31 Эл. почта: [fgbuiigce@igce.ru](mailto:fgbuiigce@igce.ru). Веб-сайт: <http://www.igce.ru/>

*С отзывом ознакомлена*

*13.09.2022*

*А.И. Дверьякова Е.А.)*

**Сведения о ведущей организации**  
по диссертационной работе **Аверьяновой Екатерины Анатольевны**  
на тему **«Климатическая изменчивость и термохалинная циркуляция в  
Атлантическом океане»**,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 25.00.30 — Метеорология, климатология, агрометеорология

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГБУ «ИГКЭ»
Почтовый индекс, адрес организации	107258, Москва, ул. Глебовская, д. 20Б
Веб-сайт	<a href="http://www.igce.ru/">http://www.igce.ru/</a>
Телефон	+7 499 160-59-07
Адрес электронной почты	<a href="mailto:fgbuigce@igce.ru">fgbuigce@igce.ru</a>
Список основных публикаций работников структурного подразделения, в котором будет готовиться отзыв, по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	<p>Семенов С. М., Гладильщикова А. А. Сценарии антропогенных изменений климатической системы в XXI веке // <i>Фундаментальная и прикладная климатология</i>. – 2022. – Т. 8. – №. 1. – С. 75-106.</p> <p>Бардин М. Е., Платова Т. В., Самохина О. Ф. Долгопериодные изменения повторяемости циклонов в умеренных широтах Северного полушария // <i>Фундаментальная и прикладная климатология</i>. – 2021. – Т. 7. – №. 2. – С. 57-80.</p> <p>Bardin M. Yu., Korshunova N.N. 2021: Russia [in “State of the Climate in 2020”]. <i>Bull. Amer. Meteor. Soc.</i>, 102 (8), S426, S429–S431, <a href="https://doi.org/10.1175/2021BAMSSStateoftheClimate_Chapter7.1">https://doi.org/10.1175/2021BAMSSStateoftheClimate_Chapter7.1</a>.</p> <p>Бардин М.Ю., Платова Т.В. Изменения сезонных показателей экстремумов температуры воздуха в Москве и центральных областях европейской части России // <i>Метеорология и гидрология</i>. - 2020. - №7. - С. 20-35.</p> <p>Гинзбург В.А., Кострыкин С.В., Рябошапка А.Г., Ревокатова А.П., Бушмелев И.О. Условия стабилизации средней глобальной приповерхностной</p>

температуры на уровнях +2 и +1.5 С при использовании геоинженерного метода на основе стратосферных аэрозолей // Метеорология и гидрология. – 2020. - № 5. – С. 66-76.

Бардин М. Ю., Ранькова Э. Я., Платова Т. В., Самохина О. Ф., Корнева, И. А. Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга // Метеорология и гидрология. – 2020. – №. 5. – С. 29-45.

Черенкова, Е. А., Бардин, М. Ю., Платова, Т. В., & Семенов, В. А. Влияние долгопериодной изменчивости температуры поверхности океана в Северной Атлантике и изменений атмосферной циркуляции на повторяемость сильных атмосферных засух летом на юге Восточно-Европейской равнины // Метеорология и гидрология. – 2020. – №. 12. – С. 5-19.

Bardin M. Yu., Korshunova N.N. 2020: Russia [in “State of the Climate in 2019”]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 101 (8), S338–S339, [https://doi.org/10.1175/2020BAMSSStateoftheClimate\\_Chapter7.1](https://doi.org/10.1175/2020BAMSSStateoftheClimate_Chapter7.1).

Бардин М. Ю., Платова Т. В. Долгопериодные вариации показателей экстремальности температурного режима на территории России и их связи с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции и глобальным потеплением. – Метеорология и гидрология, - 2019 - №12,- с.5-19

Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Корнева И. А., Самохина О. Ф., Щенин М. В. Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2018 году // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019. – Т. 1. – С. 97-127.

Семенов С. М., Иголкина Е. Д. Современные климатообусловленные глобальные изменения океана и криосферы: Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) 2019 года // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019. – Т. 4. – С. 30-48.

	Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария - Фундаментальная и прикладная климатология. - 2019 — Т.3, с. 32-58.
--	---

Верно

Врио директора  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения  
«Институт глобального климата и  
экологии имени академика Ю.А. Израэля»  
к.г.н.



Гинзбург В.А.

«6» июля 2022 г.