

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Сухоноса Павла Алексеевича «Физические закономерности, определяющие изменчивость теплового баланса верхнего перемешанного слоя Северной Атлантики, и Североатлантическое колебание», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – «метеорология, климатология, агрометеорология»

В диссертационной работе Сухоноса Павла Алексеевича представлены результаты исследования физических факторов, определяющих изменчивость теплового баланса верхнего перемешанного слоя (ВПС) Северной Атлантики и влияния на эту изменчивость Североатлантического колебания (САК).

Актуальность исследования определяется тем, что верхний перемешанный слой океана играет определяющую роль в формировании и изменчивости климатической системы океан-атмосфера. В особенности, эти процессы важны для акватории Северной Атлантики, которая в значительной мере определяет климат Европы.

Изучению межгодовой изменчивости климатических процессов в Северной Атлантике посвящено значительное количество исследований. Тем не менее, существует ряд важных и актуальных вопросов, требующих дальнейшего изучения. К таким вопросам следует отнести: (1) выявление относительного вклада составляющих теплового баланса ВПС Северной Атлантики в формировании аномалий ВПС на межгодовом масштабе на основе анализа уравнения баланса тепла ВПС; (2) анализ особенностей взаимосвязи ВПС с САК. Именно этим двум аспектам климатической изменчивости процессов в Северной Атлантике и посвящена диссертация.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Объем работы составляет 165 страниц, список литературы включает 257 наименований.



Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определена его научная новизна, фундаментальная и практическая значимость, дана оценка достоверности полученных результатов. Приведены сведения о личном вкладе автора, аprobации работы, публикациях по теме диссертации и информация о структуре диссертации.

В главе 1 дано описание исходных данных и используемых методов исследования. Используются массивы 3-х ре-анализов, включающие среднемесячные данные о температуре океана, компонентах касательного напряжения трения ветра, потоках тепла, компонентах вектора скорости течений и толщине ВПС. Также привлекается массив индекса САК за последние 60 лет. Отмечается, что толщина ВПС в этих ре-анализах значительно отличается.

Дается вывод уравнения теплового баланса верхнего слоя океана. Исходным является трехмерное уравнение переноса-диффузии тепла. Это уравнение интегрируется по вертикали от нижней границы ВПС до поверхности океана. Интегрирование проводится с использованием условия твердой крышки и предположения о вертикальной однородности поля температуры в ВПС. Толщина верхнего слоя считается функцией горизонтальных координат и времени. В полученное уравнение баланса тепла входят потоки тепла на поверхности океана и нижней границе ВПС, которые определяются по данным ре-анализа.

Сформирован массив слагаемых уравнения теплового баланса ВПС по данным ре-анализов, и проведена оценка их погрешностей. Погрешности расчета отдельных компонентов оцениваются как остаточные члены рядов Тейлора в разложении исходных полей. Получено, что типичная величина погрешности расчета отдельных слагаемых уравнения теплового баланса ВПС составляет порядка 10%.

В этой же главе анализируются сезонные изменения компонентов теплового баланса. Показано, что на сезонном масштабе все компоненты баланса тепла значимы. Установлено, что основной вклад в полное изменение

температуры ВПС в средних и высоких широтах вносят потоки тепла на границе океан-атмосфера, а также горизонтальная вихревая диффузия тепла. В экваториальной зоне и области Гольфстрима горизонтальная вихревая диффузия тепла велика в течение всего года. Тепловые потоки на нижней границе ВПС в целом по акватории не вносят значительного вклада в изменение температуры ВПС.

Глава 2 посвящена изучению межгодовых изменений компонентов баланса тепла верхнего слоя Северной Атлантики. Дан подробный анализ межгодовых изменений теплового баланса по литературным источникам.

Проведенные расчеты показали, что среднегодовой баланс тепла в ВПС на десятилетнем масштабе в основном определяется адвекцией и горизонтальной диффузией тепла. При этом межгодовые флюктуации компонентов баланса тепла ВПС Северной Атлантики имеют хорошо выраженные сезонные особенности. Межгодовые колебания температуры ВПС по времени характеризуются наибольшей изменчивостью весной, а наименьшей – осенью. Наиболее значимый вклад флюктуаций горизонтальной адвекции тепла в изменение температуры ВПС на межгодовом масштабе отмечается зимой.

В главе 3 изучаются закономерности формирования межгодовых изменений адвекции тепла в Северной Атлантике. Получены вклады различных физических механизмов в общий адвективный перенос тепла в ВПС на межгодовом масштабе для основных ветвей циркуляции вод Северной Атлантики. Получено, что в области Гольфстрима аномалии горизонтальной адвекции тепла в ВПС обусловлены изменениями интенсивности течения, в Гвианском течении – изменениями горизонтальных градиентов температуры в ВПС. В Лабрадорском течении интенсивность течения и температурные градиенты имеют один знак, а Восточно-Гренландском течении эти компоненты имеют разные знаки.

В главе 4 исследуются связи между САК и межгодовой изменчивостью компонентов теплового баланса верхнего слоя Северной Атлантики. Показано, что аномалии ВПС, сформированные межгодовыми вариациями САК в

центральной и восточной частях Северной Атлантики, изменяются под влиянием адвекции и диффузии. Аномалии характеристик ВПС сопровождаются аномалиями теплообмена океана с атмосферой и фаза САК меняется на противоположную. Выявлено, что полный цикл взаимодействия САК с межгодовыми аномалиями ВПС с учетом времени их адвекции составляет около 8 лет.

Заключение содержит основные научные результаты, полученные в диссертации.

К диссертации имеются следующие **вопросы и замечания**.

1. В главу 1 входит описание исходных данных, методов и здесь же приводится анализ внутригодовой изменчивости. Представляется, что логичнее было бы, посвятить главу 1 только данным и методам.
2. Требуют пояснения соображения, исходя из которых в исходном уравнении (1.2) коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии представляется в виде суммы двух коэффициентов (D_H и k).
3. На стр. 17, 20 используется не вполне удачный термин – «гармоническая диффузия». С математической точки зрения, любая диффузия гармоническая, в том смысле, что она описывается оператором эллиптического типа.
4. Стр. 23. В тексте нет четкого пояснения, как получено уравнение (1.26). Что такое величины со штрихами?
5. Стр. 24. Труднопонимаемая фраза – «Последнее слагаемое в правой части уравнения (1.26) содержит неопределенность оценок среднегодовых потоков тепла на поверхности океана (δq_0) и нижней границе ВПС (δq_{-n})». Что за неопределенность?
6. Стр. 25. Почему выбран 20-летний период для корреляционной функции?
7. Стр. 26. В формуле (1.30) не выписан конкретный вид ошибки аппроксимации 2-ой производной. Как оценивались производные в остаточных членах формул (1.28) – (1.30)?
8. На стр. 28 написано «Для условий неустойчивой стратификации применяется конвективное приспособление [Wolff et al., 1997]. При этом коэффициент

вертикального турбулентного обмена теплом считается бесконечным». Что физически означает бесконечный коэффициент турбулентного обмена?

9. В работе неоднократно используется термин «замкнутое уравнение баланса тепла ВПС», но нигде четко не указывается, что понимается под словом «замкнутое». Уравнение баланса должно быть по определению замкнутым.
10. В пункте «Достоверность полученных результатов» (стр. 8) указывается, что «все полученные в диссертации результаты дополняют друг друга и развиваются современные представления о динамике системы океан-атмосфера». Какое это имеет отношение к достоверности исследования?

Сделанные замечания не умаляют достоинств работы. Основные положения и выводы диссертации достаточно хорошо обоснованы. Полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам работы.

Достоверность выводов обеспечивается использованием нескольких независимых источников исходных данных большой продолжительности; учетом всех основных компонентов теплового баланса ВПС и оценкой их погрешностей.

Диссертация является важным вкладом в исследование физических механизмов, обуславливающих особенности эволюции структуры ВПС и характеристик приводного слоя атмосферы на межгодовом масштабе. Получены новые результаты, развивающие и углубляющие современные представления о климатических процессах в Северной Атлантике.

Работа имеет и практическое значение, поскольку ее результаты могут быть использованы при решении задач долгосрочного прогноза погоды.

Результаты диссертации были представлены на ряде национальных и международных конференций. По результатам работы опубликовано 18 статей, из них 6 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология, по пунктам 3 «Взаимодействие атмосферы и океана, явление Эль-Ниньо и глобальная атмосфера» и 10 «Пограничные слои в атмосфере и океане», отрасль наук – физико-

математические науки. Автореферат диссертации полностью отражает основное содержание работы.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Сухонос Павел Алексеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Владимир Владимирович Фомин

доктор физико-математических наук, заведующий отделом вычислительных технологий и математического моделирования ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»

«11» января 2021 г.

 В.В. Фомин

Адрес места работы: 299011, РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская 2

телефон/факс: +7 8692 54 52 41

адрес электронной почты: secretary@mhi-ras.ru

Подпись Фомина Владимира Владимировича удостоверяю:

Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ МГИ

кандидат физико-математических наук

 Д.В. Алексеев

«11» января 2021 г.

С отзывом организован

Сухонос П. А.

11.01.21.



М.П.

Сведения об официальном оппоненте
 по диссертационной работе **Сухоноса Павла Алексеевича**
на тему «Физические закономерности, определяющие изменчивость теплового баланса верхнего перемешанного слоя Северной Атлантики, и Североатлантическое колебание», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 — Метеорология, климатология, агрометеорология

Фамилия Имя Отчество оппонента	Фомин Владимир Владимирович
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	04.00.22 – «Геофизика», 2008 г.
Ученая степень и отрасль науки	Доктор физико-математических наук
Ученое звание	Старший научный сотрудник
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГБУН ФИЦ МГИ
Ведомственная принадлежность организации	Российская академия наук
Структурное подразделение	Отдел вычислительных технологий и математического моделирования
Почтовый индекс, адрес	299011, Севастополь, ул. Капитанская 2
Веб-сайт	http://mhi-ras.ru
Телефон	+797860772
Адрес электронной почты	v.fomin@ukr.net
Список основных публикаций в рецензируемых научных изданиях, монографии за последние 5 лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fomin V. V. Numerical modeling of wind waves in the Black Sea generated by atmospheric cyclones // Journal of Physics: Conf. Series 899 (2017) 052005 2. Belokopytov V.N., Fomin V.V., Ingerov A.V. On Multidisciplinary Investigations of Dangerous Natural Phenomena in the Azov–Black Sea Basin. // Physical Oceanography, 2017 (3), pp. 28-44. 3. Fomin V. V., Lazorenko D. I., Fomina I. N.

	<p>Numerical Modeling of Water Exchange through the Kerch Strait for Various Types of the Atmospheric Impact.// Physical Oceanography, 2017 (4), pp. 79-89.</p> <p>4. Ratner Yu. B., Fomin V. V., Ivanchik A. M., Ivanchik M. V. System of the Wind Wave Operational Forecast by the Black Sea Marine Forecast Center. // Physical Oceanography, 2017 (5), pp. 51-59.</p> <p>5. Fomin V.V., Alekseev D.V., Lemeshko E.M., Lazorenko D.I. Simulation and Analysis of Sea Floods in the Don River Delta // Russian Meteorology and Hydrology, 2018, Vol. 43, No. 2, pp. 95–102</p> <p>6. Fomin V. V., Lemeshko E. M., Lazorenko D. I. Modeling of marine inundations in the Kuban river delta. // Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika. 2018, 11, 1, pp. 1—11</p> <p>7. Manilyuk, Yu.V., Lazorenko, D.I. and Fomin, V.V., 2019. Resonance Oscillations on the System of Adjacent Bays. Physical Oceanography, 26(5), pp. 374-386.</p> <p>8. Boris V. Divinsky, Vladimir V.Fomin, Ruben D. Kosyan, Yuri D. Ratner Extreme wind waves in the Black Sea // Oceanologia Volume 62, Issue 1, January–March 2020, Pages 23-30</p>
Являетесь ли Вы работником ФБГНУ “Институт природно-технических систем” или ФГАОУ ВО “Севастопольский государственный университет” (в том числе по совместительству)?	Не являюсь
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организации, где работает соискатель ученой степени или его научный руководитель?	Не являюсь
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организаций, где ведутся научно-исследовательские работы, по	Не являюсь

которым соискатель ученой степени является руководителем или работником организации-заказчика или исполнителем (соисполнителем)?	
Являетесь ли Вы членом Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом экспертных советов Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом диссертационного совета, принявшего диссертацию к защите?	Не являюсь
Являетесь ли Вы соавтором соискателя степени по опубликованным работам по теме диссертационного исследования?	Не являюсь

 Фомин В.В.

Подпись В.В. Фомина удостоверяю:

Начальник ОК ФГБУН ФИЦ МГИ

«18» ноябрь 2020 г.

 Е.Г. Подлипаев

