

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертационную работу БЕЗОТЕЧЕСКОЙ Евгении Андреевны
«Пространственное распределение и изменчивость верхнетропосферных
струйных течений Северного полушария»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате

В диссертационной работе Безотеческой Е.А. рассмотрена актуальная научная задача, имеющая как теоретическое, так и практическое значение — исследование особенностей пространственного распределения и изменчивости струйных течений (СТ) Северного полушария.

Струйные течения, обладая огромными запасами кинетической энергии, играют большую роль в формировании региональных погодных и климатических аномалий, в частности, атмосферных блокингов, которые представляют собой экстремальные погодные события, сопровождающиеся такими опасными явлениями как засухи, пожары и волны жары летом и аномальные морозы зимой. СТ также оказывают влияние на взаимодействие океана и атмосферы, на траектории перемещения циклонов и другие процессы. Практическое значение исследований СТ связано с тем, что информация о локализации и интенсивности СТ, а также их прогноз важны с точки зрения обеспечения безопасности и оптимизации полетов гражданской и военной авиации. Исследования СТ продолжаются с 50-х годов XX века, однако увеличивающееся количество наблюдений, доступность реанализов высокого разрешения, а также отмечающиеся изменения характеристик СТ на фоне меняющегося климата с одной стороны, создают возможности для детализации уже имеющихся знаний о СТ, а с другой — обуславливают необходимость изучения причин изменений свойств СТ в современном климате и возможных изменений в будущем.

Новизна выносимых на защиту научных положений подтверждается публикациями автора по теме диссертации в рецензируемых журналах, цитируемых в РИНЦ, SCOPUS и Web of Science. Особый интерес представляет разработка нового универсального метода выделения ядер СТ в трехмерных полях скорости ветра, который позволяет отслеживать ветвление и слияние СТ, что особенно важно при их сильном меандрировании. Необходимо отметить, что данный метод применим к идентификации ядер СТ на любом уровне в атмосфере. Важным результатом является выделение для атлантико-евразийского региона двух климатологических режимов повторяемости ядер СТ: холодного (ноябрь-апрель) и теплого (июнь-сентябрь). На основании оценки вклада меридиональной составляющей скорости ветра в кинетическую энергию СТ, получен новый вывод об отсутствии тенденции к усилению меандрирования или зональности СТ в условиях наблюдаемого изменения климата.

Полученные результаты могут иметь практическое применение: предлагаемый метод выделения ядер СТ может быть легко воспроизведен на любом из доступных языков программирования, что позволяет автоматизировать обработку больших объемов данных и исследовать основные характеристики СТ, включая интенсивность и пространственное положение, даже на сильно искривленных участках. Получены статистически значимые тренды — ослабление интегральной кинетической энергии СТ Северного полушария и усиление меридиональных отклонений ПВФЗ относительно климатической нормы — для летнего сезона, что может быть использовано для совершенствования долгосрочных климатических прогнозов и выработки эффективных мер по уменьшению риска негативных последствий опасных погодно-климатических явлений на территории России.

Достоверность результатов определяется использованием современных атмосферных реанализов, прошедших всестороннее тестирование, применением статистически обоснованных методов анализа с оценкой значимости полученных показателей, физической согласованностью выводов с существующими теоретическими представлениями. Текст

диссертации полностью написан автором за исключением случаев, где указаны цитируемые источники.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 127 страниц, включая 55 рисунка, 9 таблиц. Список литературы содержит 132 наименования.

Во **введении** обозначена актуальность темы исследования, поставлены цель и задачи, описаны новизна, практическая и теоретическая значимость работы, приведены основные положения диссертации, выносимые на защиту, личный вклад автора, апробация полученных результатов и публикации соискателя.

В **Главе 1** приведен обзор существующих представлений о струйных течениях, обсуждаются современные направления исследований. В частности, рассмотрены механизмы формирования СТ, их классификация, роль в формировании погодных и климатических аномалий, методы исследования и изменения на фоне наблюдаемого потепления климата. Подчеркивается, что реакция СТ на современное изменение климата остается сложной и дискуссионной проблемой, что объясняется противоположным влиянием на интенсивность СТ уменьшения меридионального температурного градиента в приземном слое и его увеличения на высотах.

В **Главе 2** рассматривается авторский метод выделения ядра струйного течения в трехмерном пространстве, описываются используемые атмосферные реанализы, а также приводится анализ пространственно-временной изменчивости повторяемости ядер СТ в атлантико-евразийском регионе. Разработанный соискателем метод выделения ядер СТ является новым и имеет преимущества по сравнению с другими методами, так как позволяет вычленять участки с отклонениями струи от зонального направления, что важно для оценки степени меандрирования СТ, влияющего на вероятность формирования арктических и тропических вторжений и сопутствующих значительных аномалий температуры воздуха. В разделе 2.3 проводится сравнение результатов выделения ядер СТ, полученных с использованием трех наборов реанализов различного пространственного разрешения, а также проводится верификация корректности выделения струйных течений по спутниковым изображениям. Показано, что, несмотря на различия в пространственном разрешении исходных данных, все три реанализа демонстрируют хорошее согласие в воспроизведении широтного положения ядер СТ, а также согласуются с выраженными грядами перистых облаков на спутниковых снимках. В разделе 2.4 анализируется распределение ядер СТ в атлантико-евразийском регионе, а также проводится сопоставление широтно-долготного распределения повторяемости полярных СТ над Северной Атлантикой, Европой и европейской частью России (ЕЧР) с тремя основными формами циркуляции, выделенными по классификации Вангенгейма.

Глава 3 посвящена анализу кинетической энергии струйных течений Северного полушария. Получены количественные оценки кинетической энергии СТ Северного полушария, доли СТ в общей кинетической энергии атмосферы Северного полушария и доли объема атмосферных слоев в области СТ в общем анализируемом слое атмосферы Северного полушария. Проанализирован сезонный ход перечисленных характеристик, межгодовая изменчивость и долгопериодные тренды для периода 1980–2021 гг. для трех пороговых значений выделения СТ по скорости ветра ($V_m = 20$ м/с, $V_m = 30$ м/с и $V_m = 40$ м/с). Важным новым результатом является обнаружение летних тенденций уменьшения интенсивности СТ, проявившееся во всех характеристиках, а также доказательство отсутствия явно выраженных тенденций на увеличение меридиональности струйных течений в Северном полушарии. Выявлены особенности распределения положения планетарной высотной фронтальной зоны

(ПВФЗ) Северного полушария с детализацией по трем меридиональным секторам. Особый интерес представляет выявленная асимметрия меридиональных смещений – преобладание отклонений ПВФЗ к северу, а также летнее усиление меридиональных отклонений ПВФЗ.

В Главе 4 рассматриваются отдельные аномальные погодные ситуации в атлантико-европейском секторе, оказавшие влияние на формирование аномалий струйных течений, а именно: малое внезапное стратосферное потепление (ВСП) 2014-2015 гг. и атмосферные блокинги 2010 и 2018 гг. Особенности СТ во время блокингов воспроизведены на основе численного моделирования негидростатической мезомасштабной моделью WRF-ARW. Выявлены существенные различия в локализации СТ над Северной Атлантикой в период начала и окончания ВСП.

В **Заключении** представлены основные выводы по выполненному исследованию.

В целом, диссертация Безотеческой Е.А. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне.

Несмотря на указанные достоинства работы, отмечу некоторые недостатки:

1. В главе 1 следовало бы более полно осветить проблему изменений характеристик СТ на фоне потепления климата, а также взаимосвязь струйных течений с формированием аномалий погоды, так как именно эти вопросы в дальнейшем рассматриваются в диссертации.
2. В работе встречается целый ряд неточностей в описании СТ и некорректного представления теории их формирования. Так, СТ характеризуются не просто большими скоростями ветра, а есть четкий порог их выделения – 30м/с. Высотных фронтальных зон (ВФЗ) на земном шаре в каждый момент времени может существовать несколько, и они связаны со струйными течениями, но бароклинная зона в Северном полушарии при этом одна, и, по определению, – это зона значительных меридиональных градиентов температуры (но меньших, чем во фронтальных зонах). С ВФЗ связаны только фронтальные струйные течения, а субтропическое СТ с ВФЗ не связано. В ВФЗ нет интенсивных вертикальных движений, а только горизонтальные. Циклоны и антициклоны формируются на приземных атмосферных фронтах, а не в зоне СТ. Струйные течения безусловно связаны с наличием горизонтального градиента температуры в приземном слое через соотношение термического ветра, но возникновение циклонов со струйными течениями связано только косвенно. По сути их объединяет одна общая причина формирования – наличие больших горизонтальных градиентов температуры. Ведущий поток, который представлен переносом воздуха на поверхностях 500 или 700 гПа, существует всегда, а СТ формируются только в определенных районах. При этом циклоны и антициклоны действительно перемещаются по направлению ведущего потока, который выделяется по барическому полю на АТ500 или АТ700, но струйные течения преимущественно отмечаются выше: с АТ400 до АТ100. На протяжении всей работы используется некорректный термин - «уровень изобарической поверхности». Есть уровень 500 гПа или любой другой, то есть высота, на которой давление достигает значения 500 гПа, а есть высота изобарической поверхности 500 гПа. Уровень изобарической поверхности – это «масло масляное».
3. Возникают некоторые сомнения по поводу результатов, описанных в главе 3 и прежде всего в разделе 3.1. Неужели никто ранее не делал оценок кинетической энергии в Северном полушарии? Если делали, то в чем заключается новизна результатов,

полученных в данной работе, ведь в расчетах кинетической энергии не применяется новая методика выделения ядра, и методика расчета не отличается от традиционной. Совпадают ли полученные оценки трендов с оценками других исследований.

Также можно отметить, что практически нигде в главе 3 не выдвигаются гипотезы, объясняющие механизмы наблюдаемых изменений. В частности, не объясняется, почему проявляются именно летние тренды, хотя уменьшение меридионального градиента температуры максимально зимой. Выявлен интересный факт, что в зимние месяцы доля кинетической энергии, приходящейся на СТ уменьшается незначимо, а объем – значимо. Это говорит о сужении струйных течений. С чем это может быть связано?

Связь изменчивости СТ с Эль-Ниньо рассмотрена очень скудно. Никакие возможные механизмы влияния сигнала в тропиках Тихого океана на характеристики СТ не предлагаются, хотя этому вопросу посвящено немало исследований.

Не до конца понятно назначение раздела 3.5.5: сравнение по геопотенциальной высоте между двумя периодами сделано, но никаких выводов на тему, как это скажется на описанных выше результатах не предоставляется.

4. Анализ взаимосвязей между минорным ВСП и локализацией СТ на Атлантикой вызывает ряд вопросов. Во-первых, если месяц до ВСП заканчивается 6 января, а месяц после ВСП начинается с 7 января, то, когда же собственно наблюдалось само ВСП?

Раздел 4.1. Из текста непонятно, как ВСП привело к формированию циклонической завихренности в верхней тропосфере, и почему делается вывод, что причина циклонической аномалии именно ВСП? Это можно было бы подтвердить анализом других случаев ВСП. Утверждать, что причиной аномалий H250 является именно ВСП, основываясь на том, что взят месяц до и после ВСП (при этом непонятно, когда произошло само ВСП) некорректно. Вполне возможно, что аналогичные случаи наблюдались и без ВСП.

Второй блок вопросов связан с анализом взаимосвязей между СТ и блокинками 2010 и 2018 гг. Почему в 2010 году исследован только период с 21 по 30 июня, тогда как блокинг продолжался до середины августа? Связь процесса формирования блокинга с СТ в тексте прослеживается слабо. Упоминается, что оно было сильно меандрированным над Атлантикой, но почему это привело к столь уникальному блокингу над ЕТР? В тексте диссертации сказано, что роль СТ в формировании блокинга 2010 года рассматривалась во многих исследованиях. Непонятно, дало ли использование WRF какие-то новые результаты, согласуются ли они с тем, что было получено на основании данных наблюдений?

Также есть ряд более мелких замечаний.

Стр. 6. Если речь идет про Арктическое усиление, то в первую очередь должно ослабляться Арктическое СТ, а не полярное.

Стр.15 Уравнение 1. Если уравнение написано в векторной форме, то должны быть знаки векторов на v_g и k .

Стр.17. В современной литературе выделяют два фронтальных СТ: полярное и арктическое.

Стр.18. Второй абзац был бы значительно более понятным, если бы была представлена карта. Что за спираль зимой и кольцо летом из текста не очевидно. Также в этом абзаце явно пропущены некоторые слова: «полоса наибольших значений» - чего, повторяемости СТ или скоростей ветра?

Стр.20. Что такое «неустойчивость СТ»?

Стр.21. Неужели смещение ССТ оказывает влияние на осадки только в Иране? Очевидно, что область влияния значительно шире.

Последний абзац слишком общий и слишком амбициозный. Речь идет о взаимосвязях СТ с процессами в океане, атмосфере и на суше, а не об одностороннем влиянии, тогда как в тексте написано, что СТ определяют синоптическую обстановку и климатическую изменчивость.

Стр.24. При чем здесь отслеживание СТ и температура подстилающей поверхности?

Стр.32 Рис.2.2. Если для меридионального участка проводится сравнение только по кругу широты, а для зонального по меридиану, то почему в обоих случаях представлены двумерные матрицы значений скоростей?

Стр.37. Почему реанализы с более грубым разрешением предпочтительнее для каких бы то ни было задач? Разница в локализации в некоторых областях достигает 10 градусов по широте.

Раздел 2.4 по сути представляет результаты, а не методику исследования. Непонятно, почему он включен в главу 2.

Стр.38 Что означает фраза «Распределение по сезонам года преимущественно в зимний период»?

Стр.41. Рис.2.7 Не вижу сдвига зоны максимальной повторяемости в феврале в направлении полюса. Над западной акваторией Северной Атлантики одно пятно высокой повторяемости во все месяцы холодного полугодия, где две пространственно-разобщенные области, непонятно.

Стр.43. Если характер географического положения СТ при каждой форме циркуляции во все сезоны года имеет схожие черты, то зачем тогда разделение на теплый и холодный периоды?

Стр.63. Очевидно, что для того, чтобы данные по двум реанализам имели одинаковый порядок, необходимо было нормировать на количество узлов сетки. В используемом подходе получается, что величина кинетической энергии СТ различается в 2-4 раза, что не соответствует действительности.

Стр.65. Почему такой разброс в пределах одного сезона – минимум в июле, максимум в июне. Синоптическая ситуация, повторяемость ВФЗ и др. параметры не должны сильно изменяться в атлантико-европейском секторе от июня к июлю.

Стр.71. Что такое Западная территория Евразии? Корректнее пользоваться более конкретными географическими названиями: Европа, Западная Сибирь ...

Стр.92. Как сила циркумполярного вихря может определять широту СТ? Скорее его интенсивность и степень меандрирования, но не широту. Это механизм работает в Южном полушарии, но не в Северном.

Стр.94. Уравнение (5). Почему в формуле присутствуют только производные по высоте от зональной и меридиональной компонент ветра, а не полные выражения для зональной и меридиональной компонент ротора?

Раздел 4.2. Не объясняется, почему выбрана именно данная конфигурация модели WRF-ARW.

Рис.4.7-4.8 (а) Приведены карты, а не вертикальные разрезы.

В целом, указанные замечания не снижают положительного впечатления о работе, они не влияют на главные выводы и практические результаты диссертации, описанные выше.

Результаты диссертационной работы обладают научной новизной и практически значимы, демонстрируют вклад автора в изучение глобальных и региональных изменений характеристик СТ на фоне меняющегося климата. Выполненная работа характеризует соискателя как сложившегося исследователя, умеющего самостоятельно ставить и решать научные задачи.

Автореферат отражает основное содержание диссертации, содержит обоснованные выводы и рекомендации, отвечает требованиям ВАК РФ.

Подводя общий итог, необходимо заключить, что новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для российской науки для решения вопросов климатического прогнозирования, а сама диссертация является законченной научно-квалификационной работой, отвечающей паспорту специальности 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате, что соответствует требованиям «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.

Работа «Пространственное распределение и изменчивость верхнетропосферных струйных течений Северного полушария» отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Безотеческая Евгения Андреевна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате.

Я, **Гущина Дарья Юрьевна**, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

Гущина Дарья Юрьевна

Доктор географических наук, доцент

Научная специальность 25.00.30 Метеорология, климатология, агрометеорология

(1.6.18. – Науки об атмосфере и климате)

Профессор кафедры метеорологии и климатологии географического факультета

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»



Д.Ю. Гущина

01.12.2025

Адрес места работы:

119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы,

1, Московский государственный университет им.

М.В. Ломоносова, Географический факультет

Моб. тел.: +7(903)121-59-22

E-mail: dasha155@mail.ru

Подпись официального оппонента заверяю

Начальник отдела кадров географического
Факультета МГУ имени М.В.Ломоносова




Степаненко Л.А.