

На правах рукописи



Собаева Дарья Антоновна

**Влияние крупномасштабных аномалий температуры
поверхности Тихого океана на динамику
стратосферно-тропосферного взаимодействия в
Северном полушарии в модельных экспериментах**

Специальность 1.6.18 —
«Науки об атмосфере и климате»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук
Зюлева Юлия Анатольевна

Официальные оппоненты: **Гущина Дарья Юрьевна**,
доктор географических наук, профессор РАН,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего об-
разования «Московский государственный
университет имени М. В. Ломоносова»,
профессор

Смышляев Сергей Павлович,
доктор физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего об-
разования «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Гидрометеорологический на-
учно-исследовательский центр Российской
Федерации»

Защита состоится 17 декабря 2025 г. в 14:00 часов на заседании дис-
сертационного совета Д002.096.XX (24.1.130.01) на базе Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмо-
сферы им. А. М. Обухова Российской академии наук по адресу: 119017,
Москва, Пыжевский пер., 3, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФА РАН и на офици-
альном сайте ИФА РАН: <https://ifaran.ru/ru/about/dissertations>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учре-
ждения, просьба направлять по адресу: 119017, Москва, Пыжевский
пер., 3, стр. 1, ученому секретарю диссертационного совета Д002.096.XX
(24.1.130.01) и в электронном виде e-mail: a.chernokulsky@ifaran.ru.

Автореферат разослан « » октября 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д002.096.XX (24.1.130.01),
к. физ.-мат. наук

Чернокульский А. В.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Успешность прогноза динамики атмосферы на масштабах от 10 дней до нескольких месяцев в значительной степени зависит от точности физического описания механизмов, контролирующих сигналы компонент климатической системы на данном временном масштабе. Одним из таких механизмов является стратосферный полярный вихрь (СПВ). Именно динамика СПВ определяет прогностический потенциал стратосферы в зимний период в Северном полушарии. Циркуляционные аномалии, которые формируются в периоды экстремальных состояний СПВ, таких как экстремально сильный вихрь и сильно ослабленный или разрушенный вихрь, могут распространяться в нижележащие слои атмосферы и проследиваться в тропосфере до двух месяцев [Baldwin and Dunkerton, 2001]. В свою очередь, изменчивость СПВ зависит от динамики квазистационарных планетарных волн, которая определяется крупномасштабными модами климатической системы.

Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) является наиболее сильной модой внутренней изменчивости климатической системы, влияющей на крупномасштабную циркуляцию атмосферы и определяющей отклики, проявляющиеся на различных континентах. Во время положительной фазы ЭНЮК, Эль-Ниньо, происходит углубление Алеутского минимума и усиление Тихоокеанского-Северо-американского колебания [Trenberth et al., 1998; Gushchina et al., 2022]. В стратосфере отклик на Эль-Ниньо наблюдается в увеличении средней температуры в полярной области, ослаблении СПВ и росте частоты возникновения внезапных стратосферных потеплений по сравнению с годами нейтральной фазы ЭНЮК [Manzini et al., 2006; Taguchi and Hartmann, 2006; Garfinkel and Hartmann, 2007].

С конца XX века увеличилась частота наблюдений событий Эль-Ниньо, во время которых крупномасштабные положительные аномалии температуры поверхности Тихого океана (ТПТО) в экваториальной зоне наблюдаются в центральной части тропического Тихого океана [Ashok et al., 2007]. Такие события, получившие название Эль-Ниньо Модок, отличаются по своим характеристикам от событий канонического Эль-Ниньо, характеризуясь меньшей амплитудой аномалий ТПТО [Amaya and Foltz, 2014; Sohn et al., 2016], вследствие чего их климатическому влиянию уделяется меньше внимания [Dogar, 2019]. Однако при событиях Эль-Ниньо Модок создаются более благоприятные условия для формирования глубокой конвекции в районе положительных аномалий ТПТО [Zhang, 1993]. В свою очередь, глубокая конвекция является источником волн Россби, которые распространяясь из низких в высокие широты, могут изменять пространственную структуру квазистационарных волн умеренных широт и, как следствие, модифицировать характер тропосферно-стратосферного взаимодействия.

В этом контексте установление связи явлений Эль-Ниньо (как канонического, так и Модоки) со стратосферной динамикой является крайне важной задачей, открывая новые возможности для прогнозирования на субсезонном масштабе [Weinberger et al., 2019]. Это определяет актуальность изучения влияния локализации крупномасштабных положительных аномалий ТПТО в экваториальной зоне на динамику стратосферно-тропосферного взаимодействия.

Основная цель работы — детально исследовать физические механизмы отклика динамики стратосферно-тропосферного взаимодействия в Северном полушарии на крупномасштабные аномалии температуры поверхности Тихого океана в экваториальной зоне, соответствующие по локализации каноническому Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки, на основе анализа данных идеализированных модельных экспериментов.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи**:

1. Провести численные эксперименты на модельной платформе Isca с различными граничными условиями, представленными глобальными полями температуры поверхности океана (ТПО), соответствующими событиям канонического Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки, а также соответствующими положительной и отрицательной моде Тихоокеанского десятилетнего колебания (ТДК).
2. Выявить особенности крупномасштабной тропосферной циркуляции в условиях аномалий ТПТО, соответствующих по локализации каноническому Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки, в том числе таких мод тропосферной изменчивости, как Тихоокеанско-Северо-американское колебание или Арктическая осцилляция, а также пространственной структуры и характера распространения волн Россби из тропиков в умеренные широты, их влияние на пространственную структуру квазистационарных планетарных волн в умеренных широтах.
3. Оценить отклик стратосферной динамики, в частности интенсивности СПВ и частоты возникновения внезапных стратосферных потеплений (ВСП), на крупномасштабные аномалии ТПО в экваториальной области Тихого океана, соответствующие событиям канонического Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки, по данным идеализированного моделирования.
4. Выявить и оценить воздействие крупномасштабных аномалий ТПТО в умеренных широтах, соответствующих по локализации положительной фазе ТДК, на эффект, оказываемый аномалиями ТПТО, соответствующими событиям канонического Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки, на интенсивность СПВ и частоту ВСП по данным идеализированного моделирования.

5. Описать различие в динамике распространения сигнала от крупномасштабных аномалий ТПТО, соответствующих двум разным типам Эль-Ниньо, в нижнюю стратосферу на основе анализа характера распространения квазистационарных планетарных волн.

Научная новизна. В работе впервые изучено влияние локализации океанического сигнала, соответствующего событиям канонического Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки, на крупномасштабную динамику тропосферы и, как следствие, на процессы тропосферно-стратосферного взаимодействия в Северном полушарии в зимний период, по данным численных экспериментов. Разработана концептуальная схема тропосферно-стратосферного взаимодействия при различной локализации положительных аномалий ТПТО в экваториальной зоне, объясняющая механизм распространения сигнала из низких широт в высокие и в среднюю атмосферу. Впервые показано различие во взаимодействии волн Россби, источником которых является зона глубокой конвекции в экваториальной зоне Тихого океана, с квазистационарными волнами умеренных широт при условиях канонического Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки. Получены количественные характеристики фокусировки волновой активности в полярную область при различной локализации аномалий температуры поверхности Тихого океана в экваториальной зоне, соответствующих двум разным типам Эль-Ниньо. Впервые получены количественные оценки изменения интенсивности стратосферного полярного вихря Северного полушария как отклика на различную локализацию аномалий ТПТО, соответствующую событиям Эль-Ниньо Модоки и канонического Эль-Ниньо.

Практическая и научная значимость. Научная значимость работы заключается в выявлении физических механизмов, определяющих формирование аномалий интенсивности стратосферного полярного вихря как отклика на различную локализацию крупномасштабных положительных аномалий температуры поверхности Тихого океана в экваториальной зоне. Полученные в работе зависимости и количественные оценки представляют ценность для субсезонного прогноза в Северном полушарии в зимний период, так как позволяют уточнить механизмы формирования внезапных стратосферных потеплений, которые являются одним из ключевых источников предсказуемости тропосферной динамики на данном временном масштабе.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Аномалии температуры поверхности Тихого океана (ТПТО), соответствующие по локализации событиям канонического Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки и сравнимые по амплитуде, формируют различные по интенсивности аномалии стратосферного полярного вихря.
2. При аномалиях ТПТО, соответствующих по локализации событиям Эль-Ниньо Модоки, формируются две волновые структуры в

средней тропосфере, ориентированные вдоль 20° с. ш. и 50° с. ш., тогда как при аномалиях ТПТО, соответствующих по локализации каноническим Эль-Ниньо, формируется одна волновая структура, которая распространяется над акваторией Тихого океана на юго-восток от 50° с. ш. до 20° с. ш.

3. Аномалии ТПТО, соответствующие положительной фазе Тихоокеанского десятилетнего колебания, усиливают эффект, оказываемый аномалиями ТПТО, соответствующими по локализации событиям канонического Эль-Ниньо, что выражается в значимом ослаблении стратосферного полярного вихря с декабря по апрель.
4. При аномалиях ТПТО, соответствующих по локализации событиям Эль-Ниньо Модокки, наблюдается более интенсивное распространение волн Россби из экваториальной зоны в умеренные широты по сравнению с условиями канонического Эль-Ниньо. Это приводит к усилению волновой активности в полярной зоне и, как следствие, к более частым внезапным стратосферным потеплениям в условиях Эль-Ниньо Модокки, по сравнению с каноническим Эль-Ниньо.
5. Частота возникновения внезапных стратосферных потеплений, сигнал после которых распространяется в тропосферу, одинакова при локализации положительных аномалий ТПТО, соответствующих как каноническому Эль-Ниньо, так и Эль-Ниньо Модокки. Данная частота в два раза ниже, чем в среднеклиматических условиях.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием одной из наиболее развитых атмосферных моделей с динамическим ядром, разработанным в Лаборатории геофизической гидродинамики в Принстоне, США (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL), а также использованием современных высокоточных массивов данных о состоянии тропосферы, стратосферы и ТПО. Количественные результаты получены с применением обоснованных статистических методов анализа и сопровождаются оценками значимости. Кроме того, достоверность результатов работы подтверждается физической непротиворечивостью выводов.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на:

- 21-ой ежегодной ассамблее геофизического общества Азии и Океании (AOGS-2024), Пхенчхан, Республика Корея, 2024 г. (устный доклад);
- V Всероссийской конференции с международным участием «Турбулентность, динамика атмосферы и климата», Москва, Россия, 2024 г. (устный доклад);
- конференции «Комплексные исследования Мирового океана» (КИМО-2024), Владивосток, Россия, 2024 г. (постерный доклад);

- 28-ой генеральной ассамблее международного общества геодезии и геофизики (IUGG-2023), Берлин, Германия, 2023 г. (устный доклад);
- международной конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», Москва, Россия, 2023 г. (постерный доклад);
- 65-ой Всероссийской научной конференции МФТИ, Долгопрудный, Россия, 2023 г. (устный доклад);
- IV Всероссийской конференции с международным участием «Турбулентность, динамика атмосферы и климата, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова», Москва, Россия, 2022 г. (устный доклад).

Личный вклад. Все научные результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично автором. Автору принадлежит ведущая роль в постановке задач, подготовке научных публикаций полученных результатов, а также в подготовке и представлении докладов на конференциях и семинарах. Все проведенные в ходе работы эксперименты, статистическая обработка полученных данных, а также построение графиков и таблиц были выполнены лично автором.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 18 печатных изданиях, 5 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, и в журналах, входящих в базы данных SCOPUS, Web of Science или Russian Science Citation Index (RSCI), 13 — в тезисах докладов.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, к.ф.-м.н. Зюляевой Ю. А. за терпение, полезные советы и рекомендации по усовершенствованию работы. Выражает признательность академику РАН, д.ф.-м.н., профессору Гулеву С. К. за прочтение материалов автора, критику и научные наставления. Благодарит д.т.н. Вильфанда Р. М., д.ф.-м.н. Елисеева А. В., д.ф.-м.н. Иванову А. Н. и д.ф.-м.н., профессора Толстых М. А. за внимание проявленное к работе и конструктивные замечания, которые позволили существенно улучшить диссертацию. Также автор благодарит преподавательский состав кафедры термогидромеханики океана МФТИ за формирование знаний в сфере наук о Земле; особую признательность автор выражает к.ф.-м.н. Степановой Н. Б. за знакомство с миром океанологии. Автор благодарит коллег из ИО РАН за помощь в проведении модельных экспериментов, а также друзей и коллег за терпение и помощь, особенно Цуканову Е. С. за многолетнюю поддержку на общем научном пути, Белоусову О. А. и Савина А. С. за продуктивные научные дискуссии. Особую благодарность автор выражает своей семье, которая является главным примером для подражания, за бесконечную любовь, поддержку и веру.

Содержание работы

Во **Введении** обоснована актуальность и научная новизна темы исследования, а также сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Представлены положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов и их практическая и научная значимость. Приведены сведения о личном вкладе автора и об апробации результатов. Представлен список публикаций соискателя по теме диссертационной работы, ее структура и объём.

Глава 1 посвящена обзору современного состояния исследований динамики стратосферно-тропосферного взаимодействия в Северном полушарии в зимний сезон, а также ее отклика на крупномасштабную моду изменчивости системы океан–атмосфера — Эль-Ниньо — Южное колебание (ЭНЮК). В **разделе 1.1** представлено описание процесса формирования стратосферного полярного вихря (СПВ), его динамики и факторов, влияющих на изменчивость интенсивности СПВ в зимний сезон. Подробно рассмотрен процесс взаимодействия квазистационарных планетарных волн с малыми волновыми числами, распространяющихся из тропосферы в стратосферу, и среднего потока в нижней стратосфере [Matsuno, 1971]. В **разделе 1.2** приводится обоснование существования прогностического потенциала стратосферной динамики относительно тропосферных процессов на субсезонном масштабе в зимний период. В частности, показано, что циркуляционные аномалии могут распространяться из стратосферы в тропосферу и достигать поверхности Земли. В нижней тропосфере данные аномалии могут прослеживаться на периоде до двух месяцев [Baldwin and Dunkerton, 2001]. Источником стратосферного сигнала, который, в том числе, может быть оценен как аномалия индекса Арктической осцилляции, являются динамические возмущения СПВ.

Раздел 1.3 посвящен факторам, влияющим на динамику тропосферно-стратосферного взаимодействия, таким как Эль-Ниньо — Южное колебание, Тихоокеанское десятилетнее колебание (ТДК) и квазидвухлетние колебания (КДК). **Раздел 1.3.1** содержит подробное изложение современных представлений о ЭНЮК, характеристику состояния системы океан–атмосфера во время нейтральной, положительной и отрицательной фаз ЭНЮК. С конца XX века наблюдается увеличение частоты событий Эль-Ниньо нового типа — Эль-Ниньо Модоки. В отличие от канонического Эль-Ниньо, Эль-Ниньо Модоки характеризуется триполярным пространственным распределением аномалий температуры поверхности океана: положительные аномалии ТПО наблюдаются в центре экваториальной части Тихого океана, а в западной и восточной частях — отрицательные аномалии ТПО [Ashok et al., 2007]. Показано, что нерегулярность возникновения событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья может быть связана с Тихоокеанским десятилетним колебанием (ТДК) [Trenberth and Hoar, 1997].

Различия в пространственной структуре двух типов Эль-Ниньо, тропосферной динамике и, как следствие, путях распространения сигнала приводят к тому, что два типа Эль-Ниньо (каноническое и Модоки) могут оказывать различное влияние на состояние нижних слоев атмосферы, поэтому необходимо раздельно изучать эффекты, оказываемые этими явлениями, на динамику стратосферно-тропосферного взаимодействия при дальнейшем исследовании, учитывая при этом возможные корректировки, возникающие при добавлении аномалий ТПТО в умеренной зоне.

В разделе **1.3.2** описаны характеристики крупномасштабной моды изменчивости умеренных широт Тихого океана — Тихоокеанского десятилетнего колебания, а также влияние этой моды на тропосферно-стратосферное взаимодействие, а в разделе **1.3.3** — характеристики и влияние КДК.

В **Главе 2** дано подробное описание данных и методов, использованных в работе. В разделе **2.1** приводится обоснование использования платформы Isca [Vallis et al., 2018] для моделирования общей циркуляции атмосферы с параметризацией подсеточных процессов. Показано, что задача определения изолированного влияния локализации крупномасштабных аномалий ТПТО на динамику тропосферно-стратосферного взаимодействия может быть решена с использованием идеализированного моделирования. Обоснован выбор конфигурации модели, обеспечивающей реалистичное воспроизведение стратосферной динамики: горизонтальное спектральное разрешение — T42; вертикальное разрешение — 40 уровней, 18 из которых выше тропопаузы; временное разрешение — 6 часов. В проведенных в ходе работы экспериментах верхняя граница модели находилась на уровне 0,02 гПа (около 73 км) и имела диссипативный характер, нижняя граница диссипативного слоя была на уровне 150 Па. Длительность каждого эксперимента составляла 100 лет. Среди используемых параметризаций были: радиационный перенос RRTM, схема конвекции Бетс-Миллер, химические процессы. Такой набор параметризаций уже был успешно применен в моделировании стратосферной динамики на данной платформе [Thompson and Vallis, 2018].

Для валидации результатов, полученных в ходе моделирования, были использованы данные реанализа JRA-55 [Kobayashi et al., 2015] (раздел **2.2.1**). Характеристики используемого реанализа оптимальны для исследования динамики средней и верхней атмосферы. Помимо продолжительного временного периода (1958–2022 года), реанализ использует самую современную схему 4DVAR для усвоения данных на вертикальных уровнях, соответствующих средней и верхней атмосфере. JRA-55 имеет 40 вертикальных уровней и диссипативную верхнюю границу. В разделе **2.2.2** описаны данные, которые были использованы при построении полей ТПО, взятых в качестве граничных условий в модельных экспериментах. Аномалии температуры поверхности Мирового океана, соответствующие

аномалиям канонического Эль-Ниньо, Эль-Ниньо Модокки, Ла-Нинья, а также Тихоокеанского десятилетнего колебания (ТДК), были рассчитаны по данным Центра Хэдли Метеорологического бюро Великобритании (HadISST1) [Rayner et al., 2003] и массива Национальной администрации океанических и атмосферных исследований (NOAA Optimal Interpolation v2) [Reynolds et al., 2007].

В разделе 2.3 приводится описание 10 модельных экспериментов, которые были проведены в ходе выполнения данной работы. Численные эксперименты отличались граничными условиями. В первую очередь для валидации модели, а также для последующего определения влияния аномалий ТПТО в экваториальной зоне, был проведен контрольный эксперимент (КОНТР), в котором использовались среднеклиматические поля ТПО AMIP [Taylor et al., 2000]. При построении полей граничных условий для двух экспериментов с положительной фазой ЭНЮК к среднеклиматическим значениям ТПО Мирового океана в районе [140° в. д. – 80° з. д.; 20° ю. ш. – 20° с. ш.] были добавлены усиленные аномалии ТПТО, соответствующие событиям канонического Эль-Ниньо (эксперимент КЭН) и Эль-Ниньо Модокки (эксперимент ЭНМ) (рис. 1). Для эксперимента КЭН согласно [Kug and Jin, 2009] был выбран год с максимальной за период наблюдений амплитудой события – 1997/1998. Проведенные эксперименты на чувствительность модели указывают на то, что существует некий порог чувствительности к граничным условиям. С учетом этого, а также для получения более выраженного отклика тропосферно-стратосферного взаимодействия на океанический сигнал, в последующих экспериментах использовались увеличенные аномалии ТПО. В эксперименте КЭН коэффициент увеличения составлял 2, в то время как аномалии в эксперименте ЭНМ были увеличены в 5,4 раза для того, чтобы амплитуды аномалий были сравнимы в обоих экспериментах, так как аномалии ТПТО, соответствующие каноническому Эль-Ниньо, в несколько раз сильнее. Рассматриваемый год аномалий ТПТО для Эль-Ниньо Модокки – 1994/1995.

Аналогичный подход был использован для построения граничных условий для экспериментов с аномалиями Тихоокеанского десятилетнего колебания. Аномалии положительной фазы ТДК определялись по 1949 г. (эксперимент ТДК+), отрицательной – 1941 г. (эксперимент ТДК-). Удвоенные аномалии ТПО в районе [120° в. д. – 110° з. д.; 20° – 60° с. ш.] (рис. 2) были добавлены к среднеклиматическим полям, построенным по данным AMIP. Кроме того, были проведены совместные эксперименты с различными комбинациями фаз ЭНЮК и ТДК: каноническое Эль-Ниньо и положительная фаза ТДК (эксперимент КЭН&ТДК+), Эль-Ниньо Модокки и положительная фаза ТДК (эксперимент ЭНМ&ТДК+).

В разделе 2.4 представлены основные методы анализа результатов модельных экспериментов. Для оценки интенсивности стратосферного полярного вихря был выбран широкоиспользуемый индекс U_{60_10} (зональная

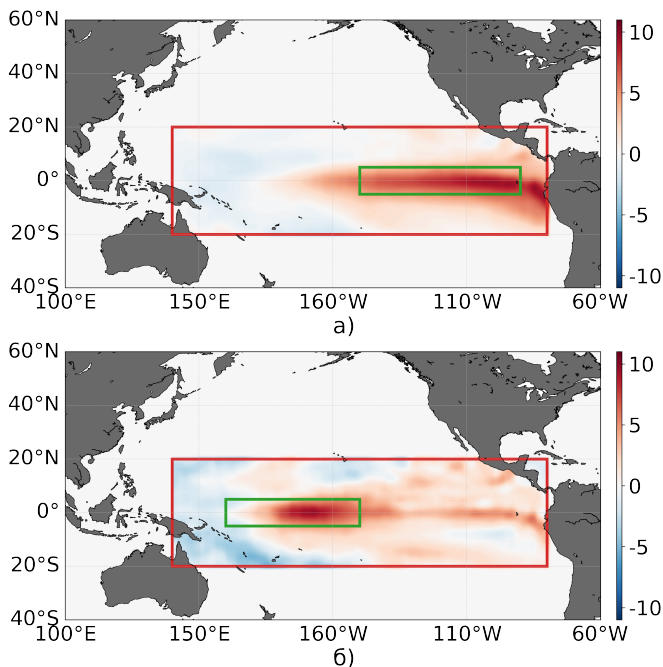


Рисунок 1 — Увеличенные аномалии температуры поверхности океана в регионе $[140^{\circ}$ в. д. – 80° з. д.; 20° ю. ш. – 20° с. ш.], используемые при построении граничных условий в эксперименте КЭН (а), ЭНМ (б), $^{\circ}\text{C}$, зеленым цветом ограничены районы Nino-3 (а) и Nino-4 (б), красным – район, в котором были увеличены аномалии ТПО

компонента скорости ветра, осредненная вдоль 60° с. ш. на уровне 10 гПа) (**раздел 2.4.1**). При анализе частоты возникновения внезапных стратосферных потеплений (ВСП) их центральная дата определялась как срок, в который индекс U_{60-10} меняет знак на отрицательный (то есть происходит поворот ветра с западного на восточный) [Charlton and Polvani, 2007; Butler et al., 2015; White et al., 2019]. Согласно критериям из [White et al., 2019; Karpechko et al., 2017] датированные ВСП были разделены на два типа: события, при которых аномалии индекса Арктической осцилляции распространяются в нижележащую тропосферу (тип РТ), и события, при которых сигнал не распространяется в тропосферу (тип НРТ). В **разделе 2.4.2** описан метод расчета индекса Арктической осцилляции [Baldwin and Thompson, 2009; Martineau and Son, 2015; White et al., 2019]. Для количественной оценки синоптической активности, а также для расчета ежедневных значений компонент трехмерного потока Пламба был использован метод полосовой фильтрации Ланцоша [Duchon, 1979], описанный

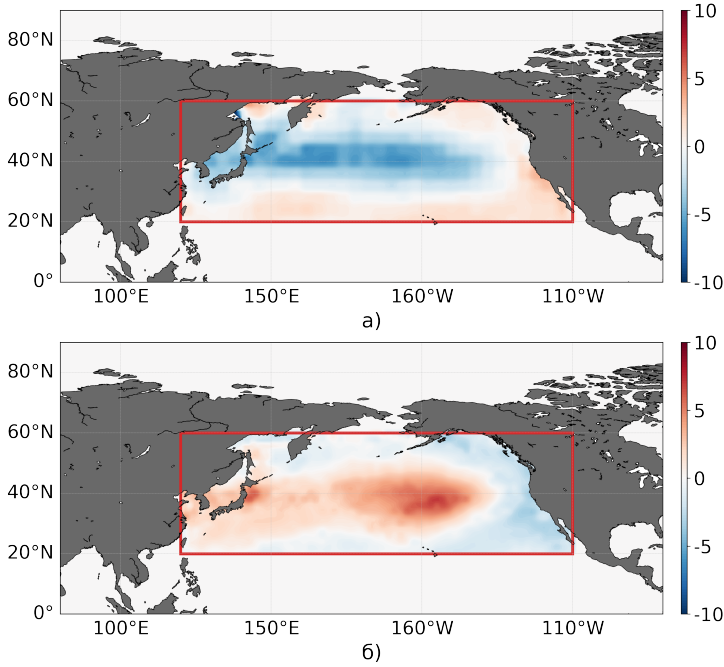


Рисунок 2 — Увеличенные аномалии температуры поверхности океана в регионе [120° в. д. – 110° з. д.; 20° с. ш. – 60° с. ш.], используемые при построении граничных условий для экспериментов с положительной фазой ТДК (а), отрицательной фазой ТДК (б), °C, красным цветом ограничен район, в котором были увеличены аномалии ТПО

в **разделе 2.4.3**. Так как вместо среднемесячных значений полей метеопараметров для расчета компонент потока Пламба были использованы ежедневные значения, методом Ланцоша с окном 30 дней была отфильтрована высокочастотная изменчивость. Для исследования синоптической активности был использован диапазон 2–6 дней.

Количественная оценка интенсивности распространения квазистационарных планетарных волн из тропосферы в стратосферу, а так же трехмерная пространственная структура данного распространения были оценены с помощью метода расчета потока волновой активности, предложенного Плаббом в 1985 году [Plumb, 1985]:

$$F_x = \frac{p}{p_0} \cos \varphi [v'^2 - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(v'\psi')}{\partial \lambda}], \quad (1)$$

$$F_y = \frac{p}{p_0} \cos \varphi [-u'v' + \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(u'\psi')}{\partial \lambda}], \quad (2)$$

$$F_z = \frac{p}{p_0} \cos \varphi \frac{2\Omega \sin \varphi}{S} \times [v'T' - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial(T'\psi')}{\partial \lambda}], \quad (3)$$

$$S = \frac{\partial \hat{T}}{\partial z} + \frac{k\hat{T}}{H}, \quad (4)$$

где u' , v' , T' , ψ' – отклонение от средних зональных значений зональной и меридиональной скоростей ветра, температуры и геопотенциала, соответственно, S – параметр статистической устойчивости, $\hat{T}$ – температура, осредненная по району, расположенному севернее 20° с.ш., k – коэффициент температуропроводности, φ – широта, λ – долгота, Ω – угловая скорость вращения Земли, a – радиус Земли, p – давление на заданном уровне, $p_0 = 1000$ гПа (**раздел 2.4.4**).

Глава 3 посвящена исследованию влияния локализации крупномасштабных положительных аномалий температуры поверхности в экваториальной зоне Тихого океана на стратосферно-тропосферное взаимодействие по результатам моделирования на платформе Isca. В **разделе 3.1** приведена валидация модели: данные метеопараметров, полученные в ходе контрольного эксперимента, сравнивались с соответствующими значениями реанализа JRA-55. Показано, что динамика стратосферного полярного вихря воспроизводится реалистично, однако есть несколько особенностей. Средняя многолетняя интенсивность СПВ по данным JRA-55 в Северном полушарии ниже средней интенсивности вихря по данным контрольного эксперимента, а в Южном – выше интенсивности вихря в КОНТР. Значимые различия в обоих полушариях наблюдаются на протяжении всего расширенного зимнего периода (ноябрь–апрель). Меньшая возмущенность вихря в данных контрольного эксперимента объяснена отсутствием в КОНТР как в атмосфере, так и в океане Северного полушария каких-либо аномальных событий (например, крупномасштабных аномалий ТПТО Эль-Ниньо – Южного колебания). Кроме того, показано, что данная конфигурация модели не воспроизводит квазидвухлетние колебания (КДК), так как для этого необходимо разрешение в нижней стратосфере меньше 1 км и наличие эффективной параметризации сильного сигнала неорографических гравитационных волн [Anstey et al., 2016; Lott et al., 2022]. В данном исследовании главной задачей было изучение изолированного влияния аномалий ТПО, и задачи воспроизведения КДК не стояло.

В эксперименте КОНТР в качестве граничных условий использованы среднеклиматические значения, а реанализ JRA-55 (зимы 1958/1959 – 2020/2021 гг.) содержит 22 события Эль-Ниньо (15 из которых относятся к каноническому типу, 7 – к типу Модоки), 21 событие Ла-Нинья и 20 лет нейтральной фазы ЭНЮК. Поэтому по данным проведенных экспериментов были созданы три дополнительные выборки ВАЛ1, ВАЛ2 и ВАЛ3, протяженность каждой из которых составляла 63 года. Кроме того, в каждой выборке количество событий ЭНЮК соответствовало количеству

событий реанализа, годы событий из экспериментов были выбраны случайным образом. На рис. 3 представлено сравнение интенсивностей СПВ по данным реанализа и валидационных выборок. В Северном полушарии статистически значимые различия всех трех выборок с реанализом JRA-55 на расширенном зимнем периоде наблюдаются только в марте–апреле. Весенняя интенсивность вихря может сильно зависеть от изменчивости концентрации озона, которая в свою очередь зависит от динамики СПВ в предыдущую зиму. Различие в интенсивности СПВ в весенний период в данных реанализа и валидационных выборок может определяться тем, что после экстремально сильного вихря наблюдаются высокие значения озона, так как в экспериментах было использовано фиксированное распределение озона. Данное исследование посвящено зимнему периоду (декабрь–февраль), из рис. 3 видно, что осенняя перестройка на зимнюю циркуляцию и зимняя динамика стратосферы (до марта) воспроизводятся реалистично.

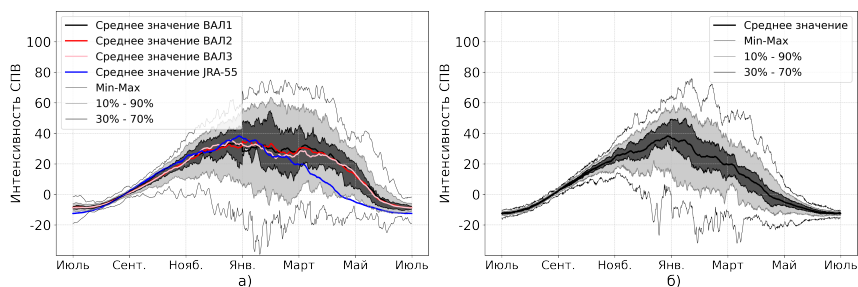


Рисунок 3 — Среднее значение зональной компоненты скорости ветра, осредненная вдоль 60° с. ш. на уровне 10 гПа, по данным выборки BAL2 (а) и реанализа JRA-55 (б), м/с. Также представлены 10, 30, 70, 90 перцентили, минимальное и максимальные значения

В разделе 3.2 проведен анализ влияния локализации крупномасштабных аномалий температуры поверхности Тихого океана в тропической зоне на тропосферную динамику. Анализ полей конвергенции на уровне 200 гПа и 1000 гПа (рис. 4), а также интенсивности осадков (рис. 5) показал, что в эксперименте ЭНМ наблюдается смещение приповерхностной зоны конвергенции и области интенсивных осадков вслед за аномалиями ТПТО к центральной части Тихого океана. Это согласуется с представлением о динамике средней тропосферы: в условиях Эль-Ниньо Модокки формируется две ячейки Уокера, в то время как при каноническом Эль-Ниньо только одна [Ashok and Yamagata, 2009]. То есть при различной локализации крупномасштабных положительных

аномалий ТПТО происходит существенная перестройка тропосферной циркуляции, и с физической точки зрения модель реалистично воспроизводит циркуляционные процессы двух типов Эль-Ниньо.

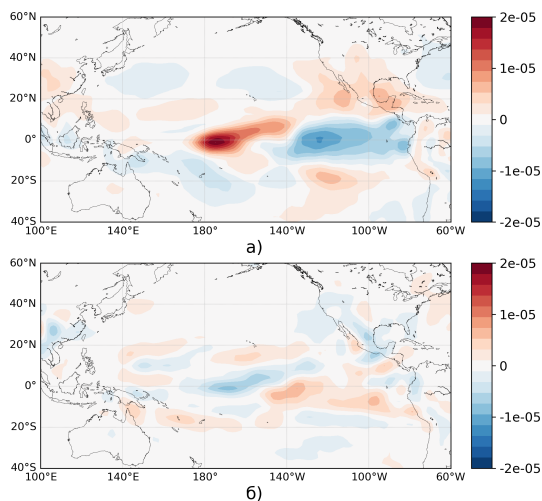


Рисунок 4 — Разница дивергенции, осредненной за зимний период (декабрь–февраль), в экспериментах ЭНМ и КЭН на уровне 200 гПа (а), на уровне 1000 гПа (б), с^{-1}

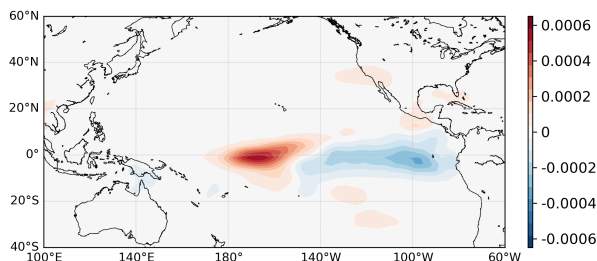


Рисунок 5 — Разница осадков, осредненных за зимний период (декабрь–февраль), в экспериментах ЭНМ и КЭН, $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$

В отклике крупномасштабной структуры поля давления в средней тропосфере в экспериментах КЭН и ЭНМ наблюдается усиление Тихоокеанского-Северо-американского колебания (рис. 6). Анализ различий

пространственной структуры квазистационарных планетарных волн с волновыми числами 1 и 2 в средней тропосфере в проведенных экспериментах показал, что основные различия наблюдаются в структуре волны 2, в то время как волна 1 не характеризуется значимыми различиями.

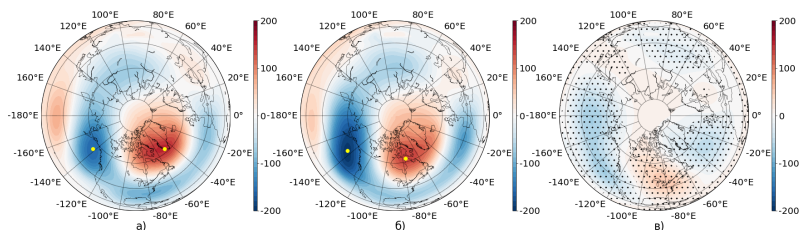


Рисунок 6 — Разницы зимней (декабрь – февраль) геопотенциальной высоты поверхности 850 гПа в экспериментах КЭН и КОНТР (а), ЭНМ и КОНТР (б), ЭНМ и КЭН (в), м. Положения максимальных абсолютных значений отмечены желтыми точками (а, б). Области значимых по критерию Стьюдента разниц отмечены точками (в)

Раздел 3.3 содержит анализ динамики планетарных волн в экспериментах КЭН и ЭНМ. Анализ эмпирическими ортогональными функциями (ЭОФ) показал, что в обоих экспериментах главную роль играет волна 2, объясняющая 23% изменчивости в эксперименте КЭН и 26% — в ЭНМ. Вторая ЭОФ в обоих экспериментах отражает структуру волны 1. В эксперименте ЭНМ восходящий поток волновой активности сдвигается к центру Тихого океана вслед за изменением локализации положительных аномалий ТПТО (рис. 7). При этом распространение волнового фронта можно проследить из тропиков в умеренные широты, а вдоль 160° з. д. наблюдается распространение волнового потока в арктический регион, интенсивность которого выше, чем в эксперименте КЭН. Структурированное и более интенсивное распространение волн Россби из тропиков в умеренные широты в эксперименте ЭНМ может приводить к большей фокусировке волновой энергии в полярной зоне и, как следствие, более частым ВСП. Аналогичная пространственная картина наблюдается и для периода 5–20 дней до ВСП. Зимой (декабрь–февраль) в эксперименте ЭНМ на уровне 30 гПа над Беринговым проливом наблюдается большая интенсификация вертикального распространения потока Пламба, чем в эксперименте КЭН (рис. 8). Именно этот регион 165° в. д. – 165° з. д., $52,5^\circ$ с. ш. – $72,5^\circ$ с. ш. критичен для формирования ВСП и получил название региона-прекурсора ВСП [Garfinkel et al., 2012]. Сравнение пространственного распределения

вертикальной компоненты в экспериментах КЭН, ЭНМ и КОНТР показало, что в последнем отсутствует распространение волн Россби из тропиков в полярную область, но происходит интенсификация планетарной волны умеренных широт. Было показано, что интегральный меридиональный поток в эксперименте ЭНМ в умеренных широтах выше, чем в эксперименте КЭН, на зимнем периоде (таблица 1) и на периоде 5–20 дней до ВСП. Кроме того, интегральный поток в полярный регион увеличивается перед ВСП в обоих экспериментах (кроме потока через 50° с. ш. в эксперименте ЭНМ).

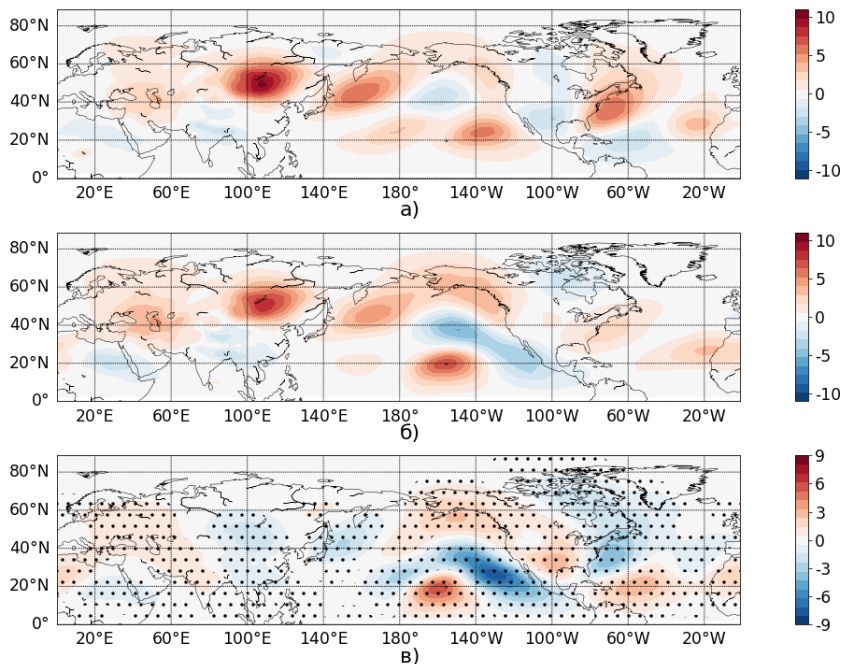


Рисунок 7 — Вертикальная компонента потока волновой активности на 200 гПа в экспериментах КЭН (а), ЭНМ (б), осредненная за зимний период (декабрь – февраль), $10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}^2$. Разница вертикальных компонент потока волновой активности в экспериментах ЭНМ и КЭН (в), $10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}^2$. На (в) разницы статистически значимые на уровне 5% отмечены точками

Особенности характера распространения волн Россби из низких широт в высокие приводят к формированию различной крупномасштабной структуры циркуляции средней тропосферы. В условиях увеличенных аномалий ТПТО, соответствующих каноническому Эль-Ниньо, зимой в тропосфере наблюдается формирование одной волновой структуры, распространяющейся с северо-запада на юго-восток над Тихим океаном.

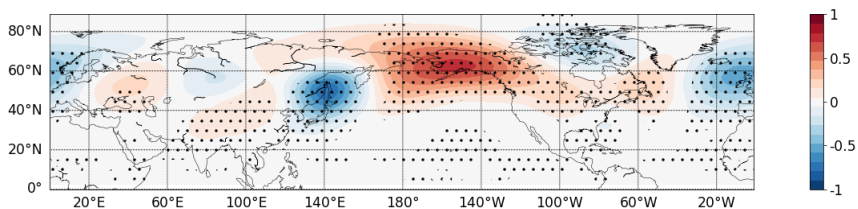


Рисунок 8 — Разница зимних (декабрь – февраль) вертикальных компонент потока волновой активности в экспериментах ЭНМ и КЭН на уровне 30 гПа, $10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}^2$ (разницы, статистически значимые на уровне 5%, отмечены точками)

Таблица 1 — Меридиональная компонента потока волновой активности на 200 гПа, осредненная за зимний период, в экспериментах с аномалиями ТПТО, соответствующими Эль-Ниньо Модокки и каноническому Эль-Ниньо, $\text{м}^2/\text{с}^2$

Эксперимент	50° с. ш.	60° с. ш.	70° с. ш.
Контрольный	-0,98	1,02	0,55
КЭН	0,12	1,10	0,36
ЭНМ	0,51	1,35	0,52

В отличие от этого, в эксперименте ЭНМ присутствует две волновые структуры. Они ориентированы вдоль 20° с. ш. и 50° с. ш. (рис. 9).

Раздел 3.4 содержит исследование различий в динамике стратосферы по данным численных экспериментов на платформе Isca. Было получено, что положительные аномалии ТПТО, по локализации соответствующие обоим типам Эль-Ниньо, приводят к ослаблению стратосферного полярного вихря в сравнении с контрольным экспериментом (рис. 10). Зимой (декабрь–февраль) интенсивность СПВ, выраженная как U_{60-10} , в эксперименте КЭН ослабляется на 40%, в то время как в эксперименте ЭНМ наблюдается ослабление почти на 50%. Разницы для экспериментов КОНТР и КЭН, КОНТР и ЭНМ статистически значимы на всем расширенном зимнем периоде (ноябрь–апрель).

Большая возмущенность вихря в экспериментах Эль-Ниньо также отмечена и в частоте внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Их частота возрастает в 3 раза в КЭН и в 3,5 в ЭНМ по сравнению с контрольным экспериментом. Соотношение ВСП типа РТ и НРТ противоположно в экспериментах КОНТР и КЭН/ЭНМ. Так, в контрольном эксперименте главную роль играют ВСП, сигнал от которых распространяется в тропосферу, в то время как в экспериментах КЭН и ЭНМ только 35%

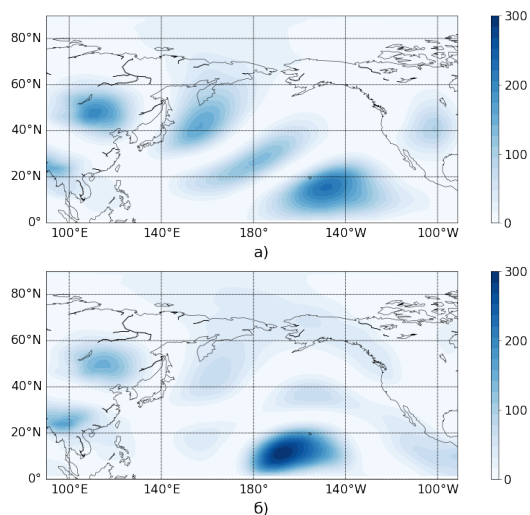


Рисунок 9 — Квадрат меридиональной компоненты скорости ветра на уровне 200 гПа, осредненной за зимний период (декабрь – февраль), по данным экспериментов КЭН (а) и ЭНМ (б), $\text{м}^2/\text{с}^2$

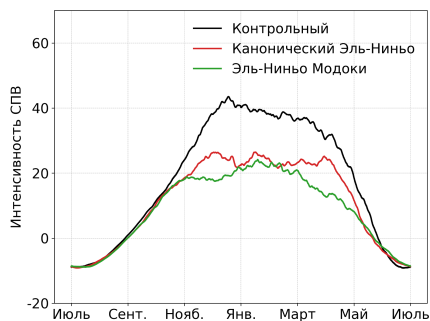


Рисунок 10 — Интенсивность стратосферного полярного вихря, выраженная как зональная компонента скорости ветра, осредненная вдоль 60° с. ш. на уровне 10 гПа (индекс U_{60_10}), по данным модельных экспериментов КОНТР (черным), КЭН (красным), ЭНМ (зеленым), $\text{м}/\text{с}$

всех ВСП относятся к типу РТ. Показано, что наиболее продолжительное сохранение аномалий индекса Арктической осцилляции наблюдается в среднеклиматических условиях, наименьшее – в условиях Эль-Ниньо Модоки. Количество ВСП по данным реанализа JRA-55 и контрольного эксперимента минимально в ноябре, растет к середине зимы и затем

уменьшается к началу весеннего периода. Максимальные различия в интенсивности СПВ в экспериментах КЭН и ЭНМ наблюдаются в начале зимы (ноябрь, декабрь) и в конце расширенного зимнего периода (март, апрель). Ноябрь и декабрь характеризуются значимыми различиями в частоте ВСП в экспериментах КЭН и ЭНМ, в то время как в марте–апреле ослабление вихря в эксперименте ЭНМ соответствует увеличенному количеству наблюдаемых финальных потеплений в этом эксперименте.

В **Главе 4** приведены результаты анализа влияния аномалий Тихоокеанского десятилетнего колебания на стратосферно-тропосферную динамику в условиях нейтральной фазы ЭНЮК, а также двух типов Эль-Ниньо. В первую очередь были проведены эксперименты, где в качестве граничных условий были использованы только аномалии ТПО, соответствующие положительной и отрицательной фазам ТДК (**раздел 4.1**). Показано, что аномалии обеих фаз ТДК не оказывают значимого влияния на интенсивность СПВ на всем расширенном зимнем периоде. В **разделе 4.2** представлены результаты экспериментов с совместным влиянием положительной фазы ЭНЮК (каноническое Эль-Ниньо или Эль-Ниньо Модоки) и положительной фазы ТДК (рис. 11). Эксперименты были проведены именно с положительной фазой ТДК, поскольку она характеризуется положительными аномалиями ТПТО вдоль побережья Северной Америки, что может быть рассмотрено, как продолжение аномалий Эль-Ниньо в умеренных широтах, и может привести к усилению эффектов, оказываемых Эль-Ниньо на динамику тропосферы и стратосферы.

В условиях положительной фазы ТДК и канонического Эль-Ниньо наблюдается статистически значимое ослабление вихря на периоде с декабря по апрель по сравнению с экспериментом КЭН (рис. 12). Стоит отметить, что наблюдаемое в эксперименте КЭН&ТДК+ в январе–марте ослабление СПВ на 17% больше, чем в эксперименте ЭНМ. Анализ корректировки влияния Эль-Ниньо Модоки положительной фазой ТДК показал, что статистически значимые отличия наблюдаются только в январе и марте. Сравнение экспериментов КЭН&ТДК+ и ЭНМ&ТДК+ показало, что различия интенсивности СПВ между двумя экспериментами находятся на грани статистической значимости и заметны лишь в ноябре и марте. Добавление аномалий ТПТО Тихоокеанского десятилетнего колебания также приводит к увеличению количества ВСП. В эксперименте КЭН&ТДК+ оно возрастает на 30% по сравнению со значениями эксперимента КЭН, а в ЭНМ&ТДК+ — на 25% по сравнению с экспериментом ЭНМ. Наибольший рост количества ВСП в эксперименте КЭН&ТДК+ наблюдается в декабре и январе, что согласуется со значимым ослаблением интенсивности СПВ в эти месяцы, относительно значений эксперимента КЭН.

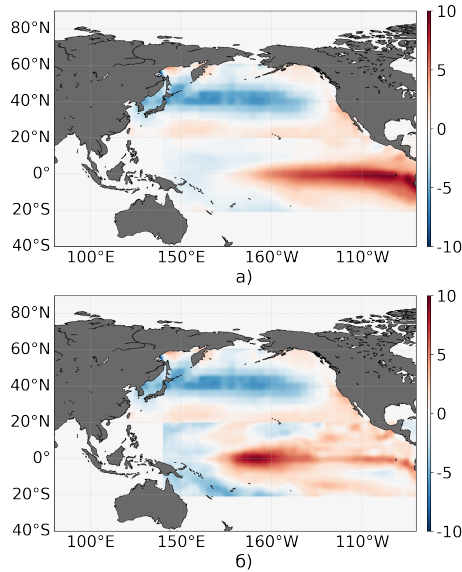


Рисунок 11 — Увеличенные аномалии температуры поверхности океана в регионе $[120^\circ \text{ в. д.} - 110^\circ \text{ з. д.}; 20^\circ \text{ с. ш.} - 60^\circ \text{ с. ш.}]$ и $[140^\circ \text{ в. д.} - 80^\circ \text{ з. д.}; 20^\circ \text{ ю. ш.} - 20^\circ \text{ с. ш.}]$, используемые при построении граничных условий для экспериментов КЭН&ТДК+ (а), ЭНМ&ТДК+ (б), $^\circ\text{C}$

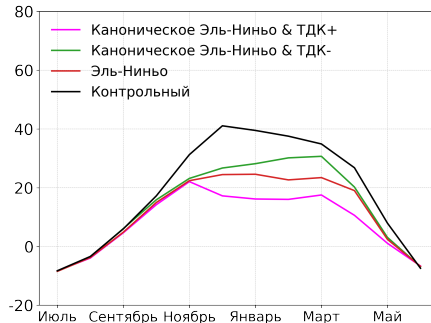


Рисунок 12 — Интенсивность стратосферного полярного вихря, выраженная как зональная компонента скорости ветра, осредненная вдоль 60° с. ш. на уровне 10 гПа (индекс $U_{60\ 10}$), по данным модельных экспериментов КЭН (красным) и КЭН&ТДК+ (синим) (а), ЭНМ (зеленым) и ЭНМ&ТДК+ (черным) (б), м/с

В заклучении приведены основные результаты работы:

1. На основе анализа данных, полученных в ходе модельных экспериментов на платформе Isca, было показано, что крупномасштабная тропосферная циркуляция в условиях аномалий ТПО, соответствующих по локализации каноническому Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модок, характеризуется усилением Тихоокеанского Северо-американского колебания. При этом, основные различия в экспериментах наблюдаются в структуре волны 2, которая играет главную роль в обоих экспериментах и объясняет 23% изменчивости в эксперименте КЭН и 26% — в ЭНМ. Волна 1 не характеризуется значимыми различиями и является второй ЭОФ вертикальной компоненты потока волновой активности Пламба.
2. Показано, что на зимнем периоде (декабрь–февраль) и на периоде 5–20 дней до внезапных стратосферных потеплений в эксперименте ЭНМ интегральный меридиональный поток в умеренных широтах выше, чем в эксперименте КЭН. При этом, интегральный поток в полярный регион увеличивается перед ВСП в обоих экспериментах (кроме потока через 50° с. ш. в эксперименте ЭНМ). Кроме того, по сравнению с экспериментом КЭН, в ЭНМ на обоих периодах наблюдается более структурированное и интенсивное распространение волн Россби из тропиков в регион-прекурсор ВСП, что может приводить к большей фокусировке волновой энергии в полярной зоне и, как следствие, более частым ВСП в условиях Эль-Ниньо Модок.
3. Показано, что в условиях увеличенных аномалий ТПО, соответствующих каноническому Эль-Ниньо, зимой в тропосфере наблюдается формирование одной волновой структуры, распространяющейся с северо-запада на юго-восток над Тихим океаном. В отличие от этого, в эксперименте ЭНМ присутствует две волновые структуры. Они зонально ориентированы вдоль 20° с. ш. и 50° с. ш.
4. Отклик стратосферной динамики на крупномасштабные аномалии ТПО в экваториальной области Тихого океана выражается в значимом ослаблении стратосферного полярного вихря на всем расширенном зимнем периоде (ноябрь–апрель) в условиях положительных аномалий ТПО, по локализации соответствующих обоим типам Эль-Ниньо. Вместе с этим возрастает и частота внезапных стратосферных потеплений в этих экспериментах по сравнению с контрольным экспериментом.
5. По данным численного моделирования установлено, что крупномасштабные аномалии ТПО, соответствующие Тихоокеанскому десятилетнему колебанию, не оказывают значимого влияния на интенсивность СПВ, но добавление положительной фазы ТДК

корректирует эффект, оказываемый каноническим Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки на динамику стратосферного полярного вихря. Совместное воздействие аномалий положительной фазы ТДК с каноническим Эль-Ниньо приводит к значимому ослаблению стратосферного полярного вихря с декабря по апрель.

6. На основе анализа характера распространения квазистационарных планетарных волн была разработана концептуальная схема тропосферно-стратосферного взаимодействия при различной локализации положительных аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана, объясняющая механизм распространения сигнала из низких широт в высокие и в среднюю атмосферу (рис. 13).

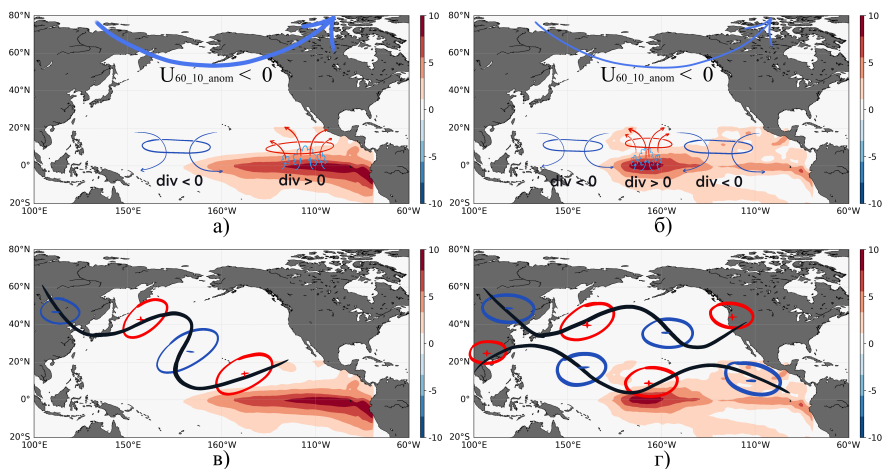


Рисунок 13 — Схема формирования крупномасштабных волновых структур средней тропосферы при локализации положительных аномалий температуры поверхности Тихого океана в экваториальной зоне, соответствующих каноническому Эль-Ниньо (а, в) и Эль-Ниньо Модоки (б, г)

Триполярная структура, наблюдающаяся в условиях аномалий ТПО в экваториальной зоне, соответствующих по локализации Эль-Ниньо Модоки приводит к формированию положительной аномалии меридиональной компоненты скорости ветра над центральной частью экваториального Тихого океана, что способствует формированию в этих условиях второй волновой структуры над тропиками Тихого океана. В то же время локализация крупномасштабных положительных аномалий температуры поверхности в центральной части экваториального Тихого океана формирует более интенсивное распространение волны Россби из тропиков в

умеренные широты по сравнению с более восточной локализацией аномалий ТПТО, в следствие чего большее количество энергии, сфокусированное в полярной зоне, приводит к более частым ВСП в условиях аномалий ТПТО, по локализации соответствующих Эль-Ниньо Модокки.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. **Sobaeva D.**, Zyulyaeva Y., Gulev S. ENSO and PDO Effect on Stratospheric Dynamics in Isca Numerical Experiments //Atmosphere. 2023. Vol. 14(3). No. 459.
2. Зюляева Ю. А., **Собаева Д. А.**, Гулев С. К. Отклик тропосферной динамики на экстремальные состояния стратосферного полярного вихря в различные фазы ЭНЮК в идеализированных модельных экспериментах //Известия РАН.Физика атмосферы и океана. 2023. Т. 59. №. 6. С. 707–719.
3. **Собаева Д. А.**, Зюляева Ю. А., Гулев С. К. Влияние локализации положительных аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана на тропосферно-стратосферную динамику в идеализированных модельных экспериментах //Океанологические исследования. 2024. Т. 52. №. 1. С. 34–56.
4. **Собаева Д. А.** Влияние локализации положительных аномалий температуры поверхности Тихого океана в экваториальной зоне на характер распространения волновой активности из тропосферы в стратосферу в модельных экспериментах //Океанологические исследования. 2024. Т. 52. №. 4. С. 224–242.
5. Панасик А. В., Зюляева Ю. А., **Собаева Д. А.**, Гулев С. К. Различие в прогностическом потенциале тропосферных предикторов внезапных стратосферных потеплений в различные фазы ЭНЮК по данным идеализированных численных экспериментов //Известия РАН.Физика атмосферы и океана. 2025. Т. 61. №. 5. С. 589–596.
6. **Собаева Д. А.**, Зюляева Ю. А. Отклик динамики арктического стратосферного полярного вихря на крупномасштабные аномалии температуры поверхности Тихого океана в идеализированных модельных экспериментах //Тезисы докладов IV Всероссийской конференции с международным участием «Турбулентность, динамика атмосферы и климата, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова». 2022.
7. Зюляева Ю. А., **Собаева Д. А.** Динамика стратосферно-тропосферного взаимодействия в различные фазы Эль-Ниньо Южного Колебания и Тихоокеанского десятилетнего колебания в идеализированных модельных экспериментах //Тезисы докладов IV

- Всероссийской конференции с международным участием «Турбулентность, динамика атмосферы и климата, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова». 2022.
8. **Собаева Д. А.** Отклик динамики арктического стратосферного полярного вихря на крупномасштабные аномалии температуры поверхности Тихого океана в идеализированных модельных экспериментах //Тезисы 65-ой Всероссийской научной конференции МФТИ. 2023.
 9. **Собаева Д. А.,** Зюляева Ю. А. Различия тропосферно-стратосферной динамики под влиянием Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки в идеализированных модельных экспериментах //Тезисы международной конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования». 2023.
 10. Зюляева Ю. А., **Собаева Д. А.** Отклик тропосферной динамики на внезапные стратосферные потепления в различные фазы ЭНЮК и ТДК в идеализированных модельных экспериментах //Тезисы международной конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования». 2023.
 11. Панасик А. В., **Собаева Д. А.,** Зюляева Ю. А. Интенсивность стратосферного полярного вихря в различные фазы ЭНЮК в идеализированных численных экспериментах //Тезисы международной конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования». 2023.
 12. **Sobaeva D.,** Zyulyaeva Yu. Dynamical response of Arctic stratospheric polar vortex to ENSO and PDO sea surface temperature anomalies in idealized modeling //XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) Abstracts. 2023.
 13. Zyulyaeva Yu., **Sobaeva D.,** Gulev S. Troposphere-stratosphere interaction during different ENSO and PDO phases in idealised model experiments //XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) Abstracts. 2023.
 14. **Собаева Д. А.,** Зюляева Ю. А. Различия тропосферно-стратосферной динамики под влиянием канонического Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки в идеализированных модельных экспериментах //Тезисы КИМО-2024. 2024.
 15. **Собаева Д. А.,** Зюляева Ю. А. Влияние локализации аномалий ТПО в тропическом Тихом океане на крупномасштабную структуру планетарных волн и тропосферно-стратосферную динамику в идеализированных модельных экспериментах //Тезисы V Всероссийской конференции с международным участием «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». 2024.

16. Зюляева Ю. А., **Собаева Д. А.** ЭНЮК и изменчивость стратосферного полярного вихря, как факторы формирования предсказуемости погоды на внутрисезонном временном масштабе в Атлантико-Европейском секторе //Тезисы V Всероссийской конференции с международным участием «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». 2024.
17. **Sobaeva D.**, Zyulyaeva Yu., Gulev S. Differences in Response of Stratosphere-troposphere Dynamics to Canonical El Niño and El Niño Modoki in Idealized Modeling //AOGS-2024 21-st Annual Meeting Abstracts. 2024.
18. Zyulyaeva Yu., **Sobaeva D.**, Gulev S. Troposphere-stratosphere Interaction During Different ENSO and PDO Phases in Idealised Model Experiments //AOGS-2024 21-st Annual Meeting Abstracts. 2024.

Собаева Дарья Антоновна

Влияние крупномасштабных аномалий температуры поверхности Тихого океана на динамику стратосферно-тропосферного взаимодействия в Северном полушарии в модельных экспериментах

Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук

Подписано в печать _____._____._____. Заказ № _____

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Типография _____

