



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Осцилляции в тропических широтах в режиме полярной стратосферы»

Исполнитель Кинев Никита Юрьвич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук
(ученая степень, ученое звание)

Ермакова Татьяна Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 06 » июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Оглавление:

Введение.....	3
Глава I	
1.1 Роль стратосферных процессов в изменении климата.....	4
1.2 Роль термодинамических и динамических процессов.....	5
1.3 Синоптические воздействия и временные масштабы прогнозирования от субсезонного к сезонному (S2S).....	6
1.4 Роль стратосферной термодинамики в климатической изменчивости и тенденциях.....	7
1.5 Заключительные замечания.....	11
Глава II	
2.1 Зональная компонента ветра, реанализ Merra v.2.....	14
2.2 Индекс 10.7.....	17
2.3 Фаза КДК.....	18
2.4 Западная и Восточная фаза КДК.....	19
2.5 Фазы ЭНЮК (Эль-Ниньо и Ла-Нинья).....	19
Глава III	
3.1 Анализ и влияние тропических осцилляций на сезонную перестройку.....	20
3.2 Анализ и влияние солнечной активности на сезонную перестройку...	22
3.3 Анализ и влияние на фазы КДК (ЗКДК и ВКДК).....	24
3.4 Анализ и влияние для фаз ЭНЮК (Эль-Ниньо и Ла-Нинья).....	25
3.5 Таблица с датами переходов на лето и зиму.....	27
Заключение.....	32
Список используемой литературы.....	33

Введение

Благодаря постоянно увеличивающимся объемам данных и более сложным климатическим моделям за последние несколько десятилетий был достигнут значительный прогресс в понимании климата Земли, как прошлого, так и будущего. Серия докладов об оценке изменения климата, подготовленных Межправительственной группой экспертов по изменению климата-(МГЭИК), подтверждает, что увеличение выбросов парниковых газов и аэрозолей было доминирующим внешние воздействия изменения климата в течение последних двух столетий. Однако масштабы и значимость наблюдаемых изменений климата все еще являются предметом широких дискуссий, и наше физическое понимание многих компонентов климатической системы и их роли в изменении климата остается неполным (МГЭИК, 2001, 2014, 2021). Среди ролей различных компонентов климатической системы в изменении климата роль стратосферных процессов была одной из самых горячих тем за последние три десятилетия.

В качестве основного проекта Всемирной программы исследований климата был основан проект под названием стратосферно–тропосферные процессы и их роль в климате и в архитектуре микропроцессов RISH - (SPARC). Этот проект направлен на понимание того, как атмосферные химические и физические процессы в стратосфере взаимодействуют с климатической системой Земли. После 30 лет реализации этого проекта важность стратосферы в модулировании и регулировании климатической изменчивости и тенденций в настоящее время широко признана, и были достигнуты некоторые значительные успехи, несмотря на все еще остающиеся серьезные проблемы в архитектуре микропроцессов. В недавнем всеобъемлющем обзоре исследований прогресса, достигнутый в понимании стратосферы и мезосферы за последние 100 лет, был представлен с широким охватом различных направлений и аспектов в этой области.

Между тем, в некоторых других недавних обзорных документах представлены более подробные описания достижений, достигнутых по

некоторым конкретным темам или проблемам. После 100 лет исследований наше понимание динамических и химических процессов в стратосфере значительно продвинулось вперед. Кроме того, в настоящее время широко признано, что стратосферные процессы оказывают важное воздействие на тропосферную погоду и климат на различных временных масштабах и климатические модели с хорошо разрешенной стратосферой могут давать более точные климатические прогнозы. Несмотря на значительный прогресс в понимании стратосферных процессов, их роль в изменении климата остается предметом дискуссий. Пути, временные масштабы и лежащие в основе механизмы, посредством которых стратосферные процессы влияют на погоду и климат в тропосфере, все еще нуждаются в дальнейшем разъяснении. В этом обзоре мы не намерены подробно описывать все достижения и прогресс, достигнутый в исследованиях стратосферы; скорее, мы будем сосредоточиться на взаимосвязи между стратосферой и тропосферой и обсудите, как и в какой степени стратосферные процессы модулируют тропосферную погоду или формируют климатические вариации и тенденции. При этом мы также намерены осветить вопросы, представляющие текущий научный интерес в исследованиях стратосферы. В разделе 2 обсуждается воздействие термодинамических и динамических процессов на погоду и изменение климата.

Глава I

1.1 Роль стратосферных процессов в изменении климата:

Достижения и новые разработки в области взаимодействия стратосферы с тропосферой и взаимодействия химии стратосферы с климатом, а также обсуждаются некоторые нерешенные вопросы и грандиозные задачи. Был достигнут консенсус в отношении того, что состояние стратосферы является важным источником повышения предсказуемости тропосферы в субсезонном и сезонном временных масштабах и за их пределами. Однако применение стратосферных сигналов в оперативных моделях прогнозирования остается сложной задачей. Проблема из-за недостатков моделей и сложности лежащих в основе механизмов взаимодействия стратосферы и тропосферы. Химический состав стратосферы, который контролирует величину и распределение многих важных факторов, влияющих на климат, играет решающую роль в глобальном изменении климата. Были найдены убедительные доказательства того, что разрушение и восстановление стратосферного озонового слоя вызвали значительные изменения климата в тропосфере, и более поздние исследования показали, что стратосферные колебания озонового слоя могут даже оказывать влияние на температуру поверхности океана (ТПО) и морской лед. Климатические последствия стратосферных аэрозолей и водяного пара. Хотя их количественный вклад в радиационное воздействие был достаточно хорошо определен количественно, все еще существуют большие неопределенности в отношении их долгосрочного воздействия на климат. Достижения и новые уровни понимания, представленные в этом обзоре, позволяют предположить, что в будущем необходимо учитывать взаимодействие всей атмосферы для лучшего и более тщательного понимания взаимосвязи стратосферы и тропосферы и ее роли в изменении климата. [1]

1.2 Роль термодинамических и динамических процессов.

Хорошо известно, что вариации стратосферной циркуляции в значительной степени определяются тропосферными процессами, описанными ниже. Однако стратосфера далека от того, чтобы быть пассивным наблюдателем тропосферных воздействий. Фактически, между стратосферой и тропосферой существует двусторонняя связь. Различные вариации циркуляции стратосферы и теплового состояния (на рисунке 1) могут оказывать влияние на тропосферу внизу в различных временных масштабах. Поэтому знание состояний стратосферы было определено как важное для улучшения предсказуемости тропосферы в субморских временных масштабах от зонального до сезонного и за его пределами. В дополнение к его роли в прогнозировании научное сообщество достигло консенсуса в отношении того, что стратосферные процессы должны быть хорошо представлены в климатических моделях, чтобы точно оценивать будущие изменения климата тем самым подчеркивая важность таких процессов в климатических вариантах. способность.

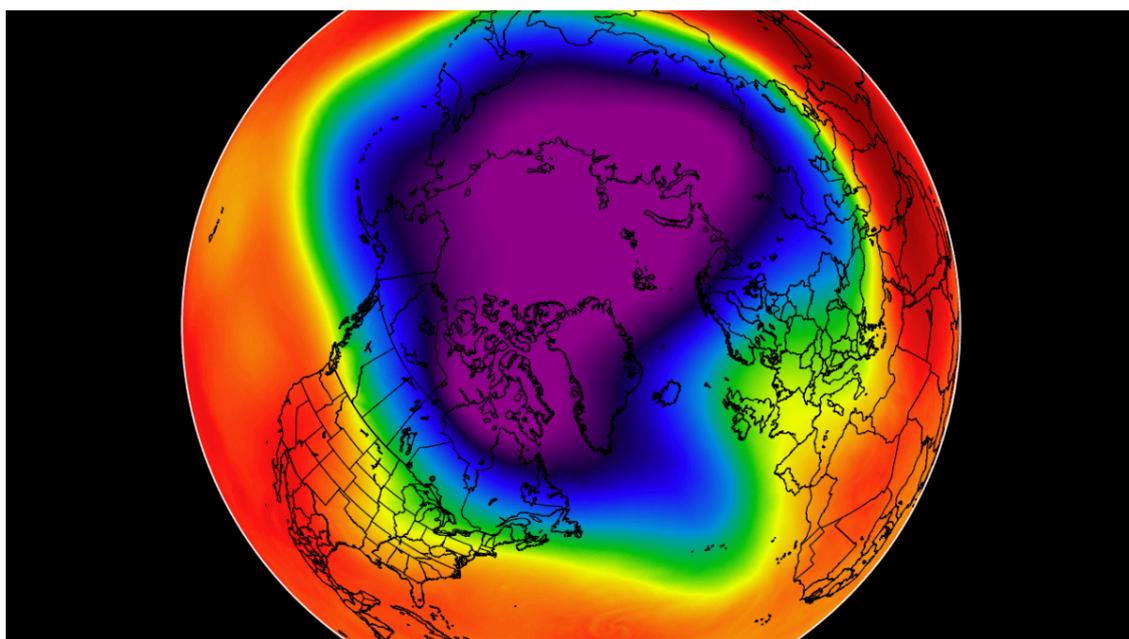


Рисунок 1 - Циркуляции стратосферы и теплового состояния на Земле.

1.3 Синоптические воздействия и временные масштабы прогнозирования от субсезонного к сезонному (S2S)

Наибольшая динамическая изменчивость во временных масштабах прогнозирования от субсезонного к сезонному- (S2S), наблюдается в полярной стратосфере, где существует стратосферный полярный вихрь- (СПВ). Он образуется главным образом за счет радиационного охлаждения. Более конкретно, сильный контраст температур стратосферного воздуха между полюсами и низкими широтами приводит к образованию циркумполярного вихря в обоих полушариях. Стратосферный полярный вихрь в Северном полушарии демонстрирует большую изменчивость по сравнению с его аналогом в Южном полушарии из-за более сильного волнового воздействия, которое тесно связано с более крупными горными хребтами и большим контрастом суши и моря в Северном полушарии. На силу и положение СПВ в значительной степени влияют волны Россби планетарного масштаба, которые распространяются вертикально в полярную стратосферу и разбиваются. В экстремальных случаях последствия разрушения планетарной волны приводят к резкому ослаблению стратосферного полярного вихря с изменением климатических направлений на западные, что хорошо известно, как внезапное стратосферное потепление. [2]

Полушарии, чем в Южном полушарии; например, в Северном полушарии это происходит примерно шесть раз за десятилетие причем в январе и феврале происходит больше событий, тогда как только одно крупное событие в сентябре 2002 года наблюдается с современной спутниковой эры в Южном полушарии. Обратите внимание, что в начале сентября 2019 года в Южном полушарии произошло аналогичное событие, но оно не соответствовало установленным критериям для крупного

обозначение румба зюйд-зюйд-вест (юго-юго-запад)- (SSW). Являясь наиболее драматичной формой изменчивости СПВ, события с обозначением румба зюйд-зюйд-вест (юго-юго-запад)-SSW оказывают важное воздействие на тропосферную погоду и климат, особенно в Северном полушарии. Стратосферные аномалии, связанные с SSW, распространяются вниз, в самую нижнюю стратосферу, где они делятся от одного до в среднем два месяца, а оттуда на поверхность, влияя на погоду в тропосфере. Композиты северного кольцевого типа-(Network analysis model) –модели анализа сети-(NAM), представленные в предыдущих исследованиях остаются распространенным подходом к диагностике связи между стратосферой и тропосферой после SSW. Здесь мы обновляем эти сводные результаты с помощью 46 событий SSW, основанных на повторном анализе ERA5 данные. [3]

Реакция на SSW - это негативная фаза движения неприсоединения, соответствующая смещению траекторий штормов к экватору, сильным вспышкам холодного воздуха и обильным снегопадам на большей части средних широт Северное полушарие. Несмотря на подтверждающие доказательства того, что SPV может оказывать влияние на погоду в тропосфере, динамические механизмы, с помощью которых аномалии циркуляции, связанные с SSW, вызывают изменения погоды на поверхности, все еще находятся в стадии изучения. В литературе было предложено несколько механизмов, но консенсуса достигнуто не было. В некоторых исследованиях утверждается, что SSW влияет на погоду в тропосфере главным образом посредством модуляции арктических колебаний или Североатлантического Колебания, полученного из национальной астрономической обсерватории Японии-National Astronomical Observatory-(NAO) в тропосфере в то время как другие сообщили, что SSW может вызывать изменения в погодных режимах тропосферы, такие как блокирование тропосферы и вихревые струи, а также полусферический перенос холодных воздушных масс в средне-высоких широтах и,

следовательно, изменения в погодных условиях. Кроме того, предыдущие исследования связывали изменения массы или давления на поверхности с вариациями СПВ) и впоследствии влияет на тропосферную циркуляцию и погодные условия на поверхности. Стратосферный полярный вихрь имеет тенденцию быть холоднее и сильнее во время западного квазидвухлетнего колебания-КДК, но теплее и более возмущенным во время восточного КДК (Квазидвухлетние колебания); это хорошо известно как эффект Холтона–Тана т.е. во время восточного КДК (Квазидвухлетние колебания) вертикально распространяющиеся плоские волны из внетропической тропосферы зимой преломляются удаляются из субтропического региона и перенаправляются в полярную стратосферу, где они разрушаются и, в свою очередь, ослабляют полярный вихрь, и наоборот для западного КДК (Квазидвухлетние колебания). Некоторые исследования показали, что эффект Холтона–Тана был ослаблен в течение 1977-97 гг. когда как, согласно прогнозам, он усилится в будущем в соответствии с результатами моделей СМIP5/6, предполагая, что эффект Холтона–Эффект загара не был устойчивым с течением времени. Кроме того, сообщалось, что КДК (Квазидвухлетние колебания) оказывает влияние на стационарную планетарную волновую активность зимой в Северном полушарии, а затем и на климат Восточной Азии. Для получения подробной информации о воздействии КДК на тропосферу, читателей отсылают к обзорам. Заметной меридиональной циркуляцией в стратосфере, соединяющей тропическую стратосферу и полярную стратосферу, является циркуляция Брюера–Добсона- (BD), которая также называется глобальной циркуляцией масс и характеризуется поступлением тропосферного воздуха в стратосферу в тропиках, перемещением вверх и к полюсам, а затем опускается в средних и высоких широтах. Циркуляция Брюера–Добсона- (BD) обусловлена преломлением или рассеянием волн, распространяющихся из тропосферы в средних широтах, и, таким образом, также выражается волновой циркуляцией. В настоящее время появляется больше основанных на моделях

доказательств того, что изменяющаяся циркуляция Брюера–Добсона- (BD) может играть значительную роль в динамической связи между стратосферой и тропосферой, что имеет последствия для приземного климата и погоды. Изменения в циркуляции Брюера–Добсона привели было обнаружено, что они тесно связаны с изменениями интенсивности и местоположения тропосферного струйного течения, изменениями приземного давления в средних и высоких широтах тропосферными следами штормов и осадков. [4]

КДК (Квазидвухлетние колебания), циркуляция Брюера–Добсона и Стратосферный полярный вихрь, также динамически связаны. Например, во время восточного КДК (Квазидвухлетние колебания) планетарные волны преломляются критической линией и перенаправляются в полярные области, где они разрушаются, и таким образом индуцируется аномальная циркуляция Брюера–Добсона, которая перекачивается к полюсу, а затем опускается над полюсом. Нисходящая ветвь этой аномальной циркуляции Брюера–Добсона может вызвать аномальное адиабатическое потепление над полюсом и последующее ослабление СПВ. Было обнаружено, что восточный КДК (Квазидвухлетние колебания) вместе с ослабленным СПВ, способствуют увеличению вероятности возникновения вспышек экстремально холодного воздуха, и наоборот. Помимо крупномасштабных стратосферных процессов, некоторые мелкомасштабные и мезомасштабные процессы в самой нижней стратосфере средних широт (например, сворачивание тропопаузы, проникновение потенциальной завихренности стратосферы, изоэнтропийное перемешивание) также играют роль в тропосферной погоде и изменениях климата, в 2013 обнаружили, что частые складки тропопаузы над районом Мэй-ю в Китае приводят к сильному нисходящему переносу воздушных масс из нижней стратосферы в верхнюю тропосферу. Схема стратосферных динамических процессов, например, КДК, циркуляция Брюера–Добсона, СПВ и сворачивание тропопаузы, которые могут оказывать важное влияние на погоду и климат тропосферы. Сильное потенциальное вторжение вихрей из нижней стратосферы могло бы предоставить полезную информацию для

оценки наступления сезона мэй-ю в Китае. Кроме того, складки тропопаузы тесно связаны с экстремальными порывами приземного ветра, быстрым циклогенезом и даже началом сильных мезомасштабных погодных систем, такие как сильная конвекция. Недавнее исследование, основанное на модели, сообщило о статистически значимом изменении частоты складок тропопаузы в обоих полушариях в условиях будущего изменения климата, что касается мелкомасштабных процессов изоэнтропийного перемешивания, то их воздействие на тропосферную погоду и климат происходит главным образом за счет изменения распределения индикаторов в верхней тропосфере и нижней стратосфере и, следовательно, оказывает косвенное воздействие через химико-радиационное воздействие. Однако до настоящего времени этот вопрос не был должным образом решен из-за сложности связанных химико-радиационно-динамических процессов и отсутствия наблюдений с высоким разрешением. [5]

1.4 Роль стратосферной термодинамики в климатической изменчивости и тенденциях.

Из-за увеличения антропогенных выбросов парниковых газов и озоноразрушающих веществ -(ОРВ) в стратосфере в течение последних нескольких десятилетий наблюдалась значительная тенденция к похолоданию. Однако из-за ограничений в данных существуют большие неопределенности в величине линейных трендов, оцененных из различных источников данных. Например, тренд средней глобальной температуры в средней стратосфере 25-45 км, оцененный по данным Национального управления океанических и атмосферных исследований (англ. National Oceanic and Atmospheric Administration, -NOAA), почти вдвое превышает данные метеорологического управления Великобритании. Эта неопределенность в тренде стратосферной температуры также очевидна при сравнении наблюдений и ретроспективных модельных расчетов. Недавнее

исследование вновь затронуло этот вопрос и показало, что последние спутниковые данные показывают лучшая согласованность друг с другом и лучшее согласие с наблюдениями. Тем не менее, хорошо известное охлаждение стратосферы и потепление тропосферы из-за увеличения концентраций парниковых газов изменит меридиональный и горизонтальный температурные градиенты атмосферы, а также вертикальные температурные градиенты и, в свою очередь, повлияет на стратосферные процессы например, разрушение озонового слоя, циркуляцию Брюера–Добсона, полярный вихрь, из-за термодинамической обратной связи, которая еще больше влияет на погоду и климат в тропосфере. Хотя все еще ведутся дебаты о том, что вызывает изменение циркуляции Брюера–Добсона, научное сообщество достигло широкого консенсуса в отношении того, что наблюдается ускорение циркуляции Брюера–Добсона примерно на 2,0%-3,2% -10 лет, они варьируется в зависимости от рассматриваемого уровня выбросов парниковых газов) в ответ на стратосферное воздействие. похолодание и потепление тропосферы. Кроме того, механизмы, стоящие за усиленной циркуляцией Брюера–Добсона, все еще находятся в стадии изучения. Помимо механизма, согласно которому увеличение волновой активности в тропосфере из-за потепления тропосферы может привести к усилению циркуляции Брюера–Добсона, утверждали, что вызванное парниковыми газами тропосферное потепление выталкивает критические слои в пределах субтропической нижней стратосферы вверх, что позволяет большему количеству волновой активности проникать в атмосферу. Субтропическую нижнюю стратосферу, а затем усилить циркуляцию Брюера–Добсона. Изменение циркуляции Брюера–Добсона способствовало увеличению концентрации озонового столба в средних широтах, более быстрое удаление оценки регулирующего воздействия-ОРВ и увеличение потока озона из стратосферы в тропосферу. Наконец, на динамическую связь между стратосферой и тропосферой также влияет изменяющаяся циркуляция Брюера–Добсона, что имеет важные последствия для приземной погоды и

климата. Наблюдаемая изменчивость и долгосрочные изменения свойств полярного вихря также широко обсуждались. Предыдущие исследования сообщали о наблюдаемом усилении антарктического полярного вихря во время австралийской весны в то время как недавних исследований о прогнозируемых изменениях в антарктическом полярном вихре нет. В целом восстановление озонового слоя, вероятно, приведет к ослаблению антарктического полярного вихря, в то время как увеличение выбросов парниковых газов будут иметь тенденцию к его усилению. Однако, как упоминалось ранее, стратосферный полярный вихрь обладает большими динамическими вариациями. [6] Следовательно, определить тенденцию СПВ довольно сложно. Корейские специалисты показали, что арктический полярный вихрь испытывал тенденцию к ослаблению в середине зимы в течение последних трех десятилетий. Однако ученые из Японии сообщили, что СПВ усилился за последнее десятилетие. Эти расхождения обусловлены либо разной длиной регистраторов данных, использованных в этих исследованиях, либо анализом силы вихря на разных высотах. Что касается изменений в положении СПВ, обнаружили, что арктический СПВ в феврале смещался в сторону Евразии в течение 1980-2016 годов. Более того, примечательно, что степень смещения полярного вихря в последнее десятилетие (2010-е годы) по сравнению с 1980-ми годами была меньше, чем раньше, что позволяет предположить десятилетнюю изменчивость положения СПВ, которая связана с внутренней изменчивостью климатической системы. Кроме того, различные климатические вариации могут влиять на положение СПВ. [7]

1.5 Заключительные замечания

Указанный мною выше текст, показывает основные достижения в области взаимодействия стратосферы и тропосферы и взаимодействия химии стратосферы и климата, а также обсуждает некоторые актуальные нерешенные вопросы и грандиозные задачи. Изменения в стратосферных процессах и их роль в изменении климата подразумевают, что навыки прогнозирования климата могут быть улучшены в субсезонном, сезонном, десятилетнем и даже многодекадном масштабе времени, когда принимаются во внимание стратосферные процессы и сигналы. В частности, СПВ/SSW-обозначение румба зюйд-зюйд-вест (юго-юго-запад), КДК (Квазидвухлетние колебания), и проникновение стратосферного воздуха оказывают важное воздействие на тропосферную погоду и климат в различных временных масштабах, от синоптических до межгодовых. При еще более длительных в масштабах времени изменения состава стратосферы, в частности состава озона, аэрозолей и водяного пара, могут модулировать позднюю глобальную климатическую изменчивость и тенденции посредством сложных химико–радиационно–динамических обратных связей и, следовательно, потенциально полезны для улучшения долгосрочной предсказуемости климата Земли. Однако применение стратосферной информации в оперативных моделях прогнозирования S2S остается сложной задачей, отчасти из–за сложности физических механизмов, ответственных за взаимодействие стратосферы и тропосферы. Другая причина заключается в том, что лучшего прогнозирования стратосферы на временных масштабах S2S пока достичь не удалось. Химико–климатические модели последнего поколения все еще не в состоянии хорошо воспроизвести важные аспекты химического и физического климата стратосферы. Например, из–за относительно грубого пространственного и временного разрешения сетки некоторых химико-климатических моделей стратосферные гравитационные волны (на рисунке 2), возникающие в масштабах меньших, чем разрешение

модели не может быть определено, что в некоторой степени вносит неопределенность и потенциальную погрешность. Кроме того, в большинстве моделей период и амплитуда КДК (Квазидвухлетние колебания) моделируются недостаточно хорошо. Что касается аспектов стратосферной химии, то предыдущие исследования показали, что химико-климатические модели последнего поколения испытывают трудности при моделировании полярных стратосферных облаков и неоднородных реакций, происходящих на моделируемых поверхностях полярных стратосферных облаков. В последние годы были выявлены некоторые механизмы, посредством которых стратосферные процессы модулируют тропосферную погоду и климат. Связь стратосфера–тропосфера работает в различных временных масштабах, и различные связанные процессы имеют разные механизмы и пути в зависимости от масштаба времени. В масштабах времени от синоптического до субсезонного существуют убедительные доказательства того, что аномалии СПВ, в частности события SSW, тесно коррелируют с погодой в тропосфере и изменениями климата с опережением более чем на 15 дней. В межгодовом масштабе времени КДК играет доминирующую роль в взаимодействии стратосферы и тропосферы, особенно в тропиках. Циркуляция Брюера–Добсона, которая является основным регулятором массо-обмена стратосфера–тропосфера, также может выступать в качестве динамического моста между тропической и полярной стратосферой. Несмотря на вышеупомянутые знания, термодинамические механизмы, посредством которых аномалии температуры и циркуляции в стратосфере влияют на погоду и климат на поверхности, все еще до конца не изучены, и в будущем необходимы дополнительные исследования. [8]

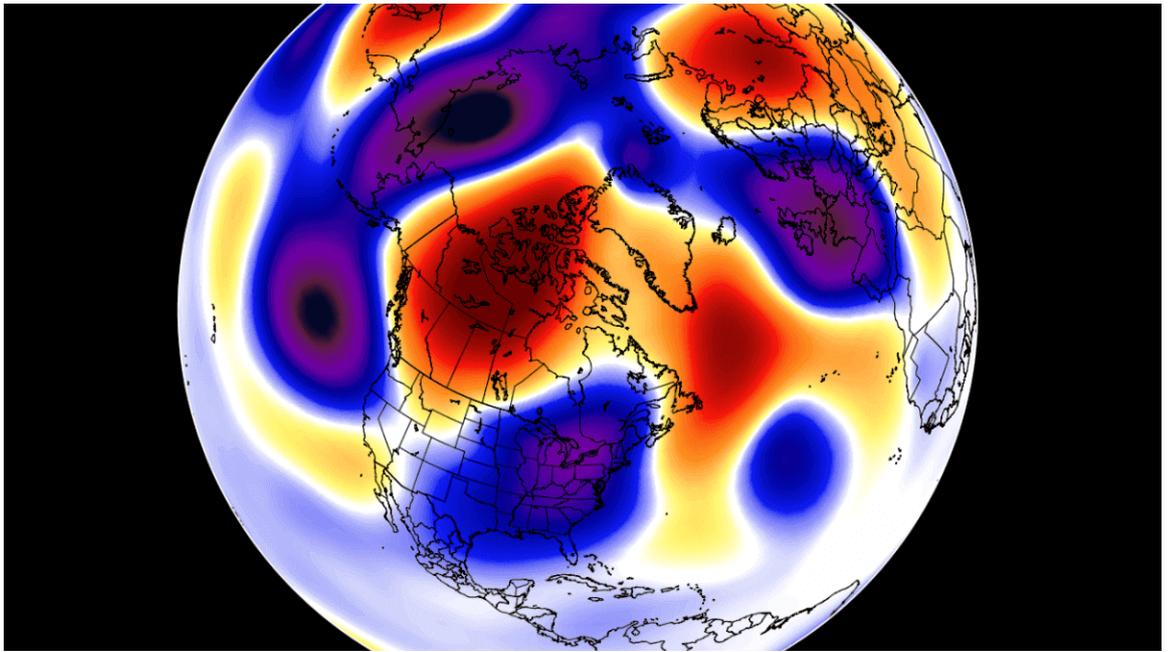


Рисунок 2 - Стратосферные гравитационные волны.

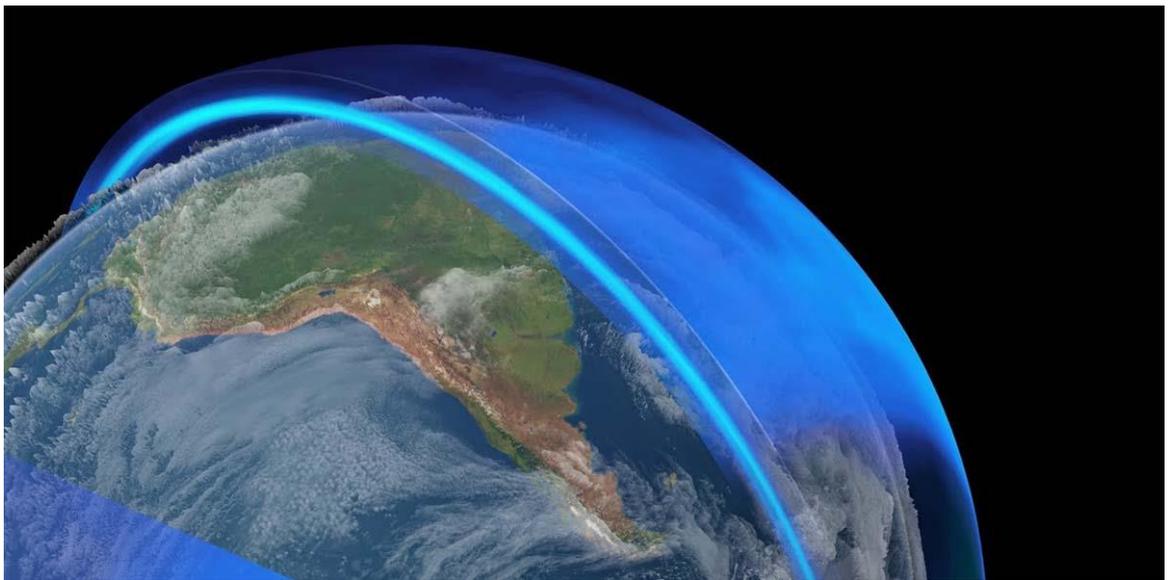


Рисунок 3 – Озоновый слой.

Глава II

2.1 Зональная компонента ветра, реанализ Merra v.2

Современный ретроспективный анализ для научных исследований и приложений, версия 2 (MERRA-2) содержит данные, начиная с 1980 года. Он был введен для замены исходного набора данных MERRA благодаря усовершенствованиям, достигнутым в системе ассимиляции, которые позволяют использовать современные данные гиперспектральных наблюдений радиоизлучения и микроволновых наблюдений, а также наборы данных GPS-радио о затенении. В нем также используются данные наблюдений НАСА за профилем озонового слоя, которые начались в конце 2004 года. В MERRA-2 реализованы дополнительные усовершенствования как в модели GEOS, так и в системе ассимиляции GSI. Пространственное разрешение остается примерно таким же (около 50 км в широтном направлении), как и в MERRA. Наряду с усовершенствованиями в области метеорологической обработки данных, MERRA-2 предпринимает ряд важных шагов для достижения цели GMAO по повторному анализу земной системы. MERRA-2 - это первый долгосрочный глобальный повторный анализ, в котором обобщены данные космических наблюдений за аэрозолями и представлены их результаты. [1]

MERRA-2 - это глобальный повторный анализ атмосферы, подготовленный Управлением глобального моделирования и ассимиляции НАСА (GMAO). Он охватывает период спутниковых наблюдений с 1980 года по настоящее время. Цели MERRA-2 состоят в том, чтобы обеспечить регулярную и однородную регистрацию глобальной атмосферы с привязкой к сетке и включить дополнительные аспекты климатической системы, включая газовые составляющие (стратосферный озон), улучшенное представление поверхности суши и криосферных процессов. MERRA-2

предназначен для замены оригинального продукта MERRA и отражает последние достижения в области моделирования атмосферы и сбора данных. MERRA-2 также является первым глобальным повторным анализом спутниковой эры, который обобщает данные космических наблюдений за аэрозолями и отражает их взаимодействие с другими физическими процессами в климатической системе. Современный ретроспективный анализ для научных исследований и приложений, версия 2 (MERRA-2) - это глобальный повторный анализ атмосферы, подготовленный Управлением глобального моделирования и ассимиляции НАСА (GMAO). Он охватывает период спутниковых наблюдений с 1980 года по настоящее время. Включение этих дополнительных компонентов соответствует общим целям комплексного системного анализа Земли (IESA). [2]

2.2 Индекс F 10.7

Солнечный радио-поток на частоте 10,7 см (2800 МГц) является отличным индикатором солнечной активности. Его часто называют индексом F10.7, и это один из самых продолжительных показателей солнечной активности. В отличие от многих солнечных индексов, радио-поток F10.7 можно легко и надежно измерять изо дня в день с поверхности Земли при любых погодных условиях. Значение F10.7 может варьироваться от менее 50 с.ф.е. до более 300 с.ф.е. (единица измерения солнечного потока). в течение солнечного цикла. Эти результаты измерений F10.7 любезно предоставлены Национальным исследовательским советом Канады в партнерстве с Фондом природных ресурсов. Радиоизлучение F10.7 происходит высоко в хромосфере и низко в короне солнечной атмосферы. Значение F10.7 хорошо коррелирует с количеством солнечных пятен, а также с рядом показателей ультрафиолетового (УФ) и видимого солнечного излучения. F10.7 последовательно измерялся в Канаде с 1947 года, сначала в Оттаве, провинция Онтарио, а затем в Пентиктонской радио-обсерватории в Британской Колумбии, Канада. [3]

2.3 Фаза КДК

Квази-двухлетние колебания (КДК) — одно из хорошо известных межгодовых атмосферных колебаний. Число работ, посвященных различным аспектам КДК, — изучение структуры, механизма формирования, связи с атмосферной циркуляцией, тропическим циклогенезом и т.д. — непрерывно растет. Однако многие вопросы до конца не исследованы, поэтому изучение КДК остается актуальным. Истории открытия КДК, выявлению механизмов их формирования, а также описаны данные наблюдения КДК различных характеристик атмосферы — это, как правило, данные наземных наблюдений, полученные в виде локальных (точечных) измерений. Только приборы, установленные на искусственных спутниках Земли, могут обеспечить глобальные наблюдения в виде полей с необходимыми для дальнейшего анализа пространственной частотой и временной регулярностью. [4]

2.4 Западная и Восточная фаза КДК

Западная фаза квазидвухлетнего колебания характеризуется ослаблением вихревой циркуляции в Северном полушарии, за исключением области средних широт 50-60 км. Это ослабление связано с уменьшением волновой активности субтропических струйных течений и усилением циркулярно-полярного вихря.

Восточная фаза квазидвухлетнего колебания характеризуется усилением вихревой циркуляции в северном полушарии, особенно в области средних широт 50-60 градусов северной широты. Усиление связано с увеличением волновой активности субтропических струйных течений и ослаблением циркулярно-полярного вихря. [5]

2.5 Фазы ЭНЮК (Эль-Ниньо и Ла-Нинья)

Эль-Ниньо-Южное колебание (рисунок 4)- (ЭНЮК)-это своего рода крупномасштабный климатический феномен естественного происхождения, который заключается в средних колебаниях температуры воды в океане в центральной и восточной зонах экваториального пояса. Он протекает в виде нерегулярных циклов продолжительностью от двух до семи лет и состоит из трех фаз: Эль-Ниньо, Ла-Нинья и нейтральной фазы. Фаза Эль-Ниньо обычно длится 12–18 месяцев и представляет собой период повышения температуры поверхностного слоя морской воды и связанного с этим замедления подъема холодных и богатых биогенами вод вдоль побережий Перу и Эквадора. В отличие от нее фаза Ла-Нинья характеризуется периодом, когда средняя температура поверхностных морских вод в центральной и восточной частях Тихого океана становится ниже нормы, а преобладающие поверхностные ветры, дующие с востока на запад, усиливаются. Наблюдаемые взаимосвязи между ЭНЮК и изменением показателей здоровья населения не имеют линейного или прямого характера, а зависят от интенсивности фаз ЭНЮК, времени года и других факторов. Их последствия, как правило, проявляются сильнее в менее развитых странах, население которых располагает ограниченными возможностями для адаптации к изменениям и зачастую не имеет защиты от экстремальных погодных и климатических явлений. Отмечено влияние фаз ЭНЮК на местную заболеваемость трансмиссивными инфекциями, показатели отравления дымом от лесных пожаров, статистику тепловых ударов, а также на состояние здоровья и питание населения в связи с засухами. [6]



Рисунок №4- Эль-Ниньо-Южное колебание.



Рисунок №5 - фаза Ла-Нинья.

Глава III

3.1 Анализ и влияние тропических осцилляций на сезонную перестройку.

Тропические осцилляции (ТО) являются одним из основных механизмов, влияющих на глобальную климатическую систему. Они представляют собой колебания давления и температуры между тропическими и полярными широтами, которые происходят на временных масштабах от нескольких недель до нескольких лет. ТО могут вызывать изменения в общей циркуляции атмосферы, что, в свою очередь, влияет на погоду и климат.

Атмосфера Земли условно подразделяется на слои. Если рассматривать характер изменения температуры с высотой как основной признак деления, то стратосфера является вторым слоем атмосферы и располагается над тропосферой; его начальная и конечная высоты связаны с изменениями температуры с высотой. В прошлом коммерческое использование стратосферы было ограничено, но в последние несколько десятилетий возрос интерес, особенно к системам наблюдения Земли, чтобы заполнить пробел между мирами космоса (спутникового, глобального масштаба) и воздухоплавания (самолеты, дроны). Стратосферные платформы будут играть важную роль в нескольких областях, связанных с окружающей средой, здоровьем и продуктами питания. Различные виды деятельности могут поддерживаться инструментами следующего поколения, способными автоматически обнаруживать данные и изображения в режиме реального времени с большей точностью и непрерывностью наблюдений. Основная идея стратосферных платформ состоит в том, чтобы расширить мониторинг Земли в региональном масштабе с упором на ограниченные области. По этой причине необходимы точные метеорологические прогнозы, чтобы гарантировать стационарность.

Одной из важнейших особенностей стратосферной циркуляции является наличие ее сезонных перестроек – весной зимняя западная циклоническая циркуляция переходит в летнюю антициклоническую, а осенью процесс идет в обратном направлении – восточные потоки заменяются западными. При этом даты перестроек, особенно весенних, испытывают большой межгодовой разброс.

Осцилляция в тропических широтах в режиме полярной стратосферы относится к явлению, когда изменения в тропической атмосфере могут оказывать влияние на полярную стратосферу. Основные механизмы, определяющие эту осцилляцию, включают в себя перенос тепла и массы через границу тропосферы и стратосферы, а также динамику циркуляции атмосферы.

Тропические широты играют ключевую роль в формировании климата планеты, поскольку здесь происходит основная часть солнечного нагрева. Изменения в тропической атмосфере могут вызывать каскадные эффекты, простирающиеся до полярных регионов и оказывающие влияние на состояние стратосферы. Это может приводить к изменениям в циркуляции полярной стратосферы, включая полярную вихрь и осцилляции полярной стратосферы.[1]

Квазидвухлетние колебания (КДК) — одно из хорошо известных межгодовых атмосферных колебаний, механизмы формирования которых еще окончательно не выяснены. КДК — яркий пример высокочастотных квазирегулярных изменений атмосферы (и климата) Земли на межгодовых масштабах. Они модулируют планетарные волны и оказывают влияние на атмосферную ситуацию средних широт, воздействуют на процессы генерации и общую циркуляцию озона и других примесей в атмосфере, а также взаимодействуют с таким важным для системы океан – атмосфера (и климатической системы) явлением как Эль-Ниньо [2].

3.2 Анализ и влияние солнечной активности на сезонную перестройку.

Дату перехода на зимний или летний режим в полярной и умеренной стратосфере определяют по направлению зональной компоненты ветра, она меняет свое направление. На рисунке 1 представлен переход на летний (конец мая и начало июня) и зимний (конец августа и начало сентября) режим в зависимости от солнечной активности. Для выбора лет в условиях низкой и высокой солнечной активности использовался индекс F10.7[3]. Годы с высокой солнечной активностью (значения F10.7 выше 200): 1980,1982,1989,1992,2000,2003,2011,2015; с низкой солнечной активностью (значения F10.7 ниже 100): 1985,1986,1996,1998,2008,2010,2018,2020.

Анализ графиков, представленных на рисунке 1 показывает, что переход на зимний режим в годы с низкой и высокой солнечной активностью происходит (рисунок 3 левая верхняя панель и правая нижняя панель) в среднем 25-26 августа и 24-25 августа соответственно. Переход на летний режим в годы с низкой и высокой солнечной активностью происходит в среднем 2-3 апреля и 4-5 мая соответственно. Количество радиационных и динамических переходов через 0 примерно одинаковое для обоих условий (рисунок 1 верхняя правая панель и левая нижняя панель).

3.3 Анализ и влияние на фазы КДК (ЗКДК и ВКДК).

Для оценки влияния фаз КДК на сезонную перестройку полярной стратосферы были выбраны года в условиях Западной фазы КДК для весны (1980,1995,1999,2002,2004,2011,2019) и для осени (1984,1994,1989,1996,2001,2012,2018,2022); для условий Восточной фазы КДК весной (1985,1990,1997,2006,2008,2013,2015) и осенью (1981, 1989,2005,2007,2014,2017,2021) согласно данным аэрологического зондирования в городе Сингапур [4]. Фаза определялась по направлению зональной компоненты ветра на высоте 30 гПа.

Представленные распределения среднезональной компоненты ветра для выше обозначенных лет на рисунке 2 показывают, что переход стратосферы умеренных и высоких широт на летний режим в условиях Западной фазы КДК происходит в среднем 20-22 апреля, а на зимний – 23-24 августа. Для Восточной фазы КДК аналогичные даты переходов: 26-28 апреля и 23-24 августа. Соотношение радиационных и динамических переходов весной в условиях разных фаз КДК одинаково. Динамические переходы наблюдались в 90-е и в последние 5 лет.

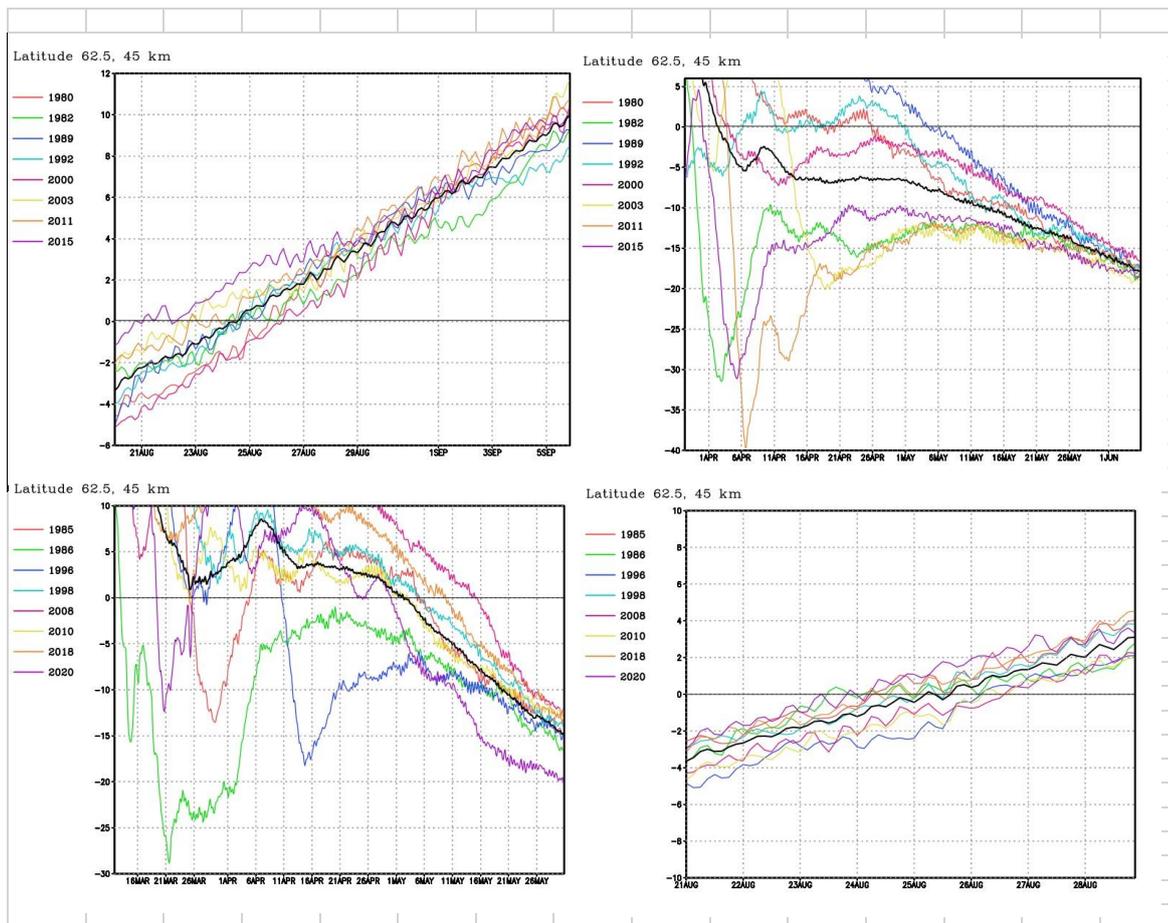


Рисунок 1 – Среднезональная компонента ветра на 62.5° с.ш. на высоте 45 км для разных лет в условиях высокой солнечной активности (сверху) и низкой солнечной активности (снизу). Черная линия – среднезональная компонента ветра осредненная за 8 исследуемых лет.

3.4 Анализ и влияние для фаз ЭНЮК (Эль-Ниньо и Ла-Нинья).

Используя значения индекса MEI.v2 указанные в таблице [5] определяем весенние(1983, 1987, 1992, 1993, 1997) и осенние (1982,1987,1993,1997,2015) периоды в условиях фазы Эль-Ниньо. Аналогично для фазы Ла-Нинья: весна (1989, 1996, 1999, 2000, 2008) и осень (1988,1999,2008,2010,2020). Период для теплой фазы выбирался со значением индекса выше 0.5 и для холодной фазы ниже -0.5 с продолжительностью не менее 5 месяцев.

Анализируя рисунок 3 можно сказать, что переход зональной компоненты ветра на лето и зиму в теплой фазе ЭНЮК (рисунок 3 левые панели) происходил 29 апреля и 25 августа соответственно, а дата перехода на лето и зиму для холодной фазы ЭНЮК (рисунок 3 правые панели)– 1 мая и 26 августа соответственно. Количество динамических переходов в условиях Эль-Ниньо (на рисунке 3 левая верхняя панель) при переходе на лето наблюдалось 1 раз, а количество динамических переходов в условиях Ла-Нинья (на рисунке 3 правая верхняя панель) при переходе на лето наблюдалось 3 раза. Следовательно, в условиях положительной фазы ЭНЮК переход чаще радиационный, но ранний – вторая половина апреля – первая неделя мая.

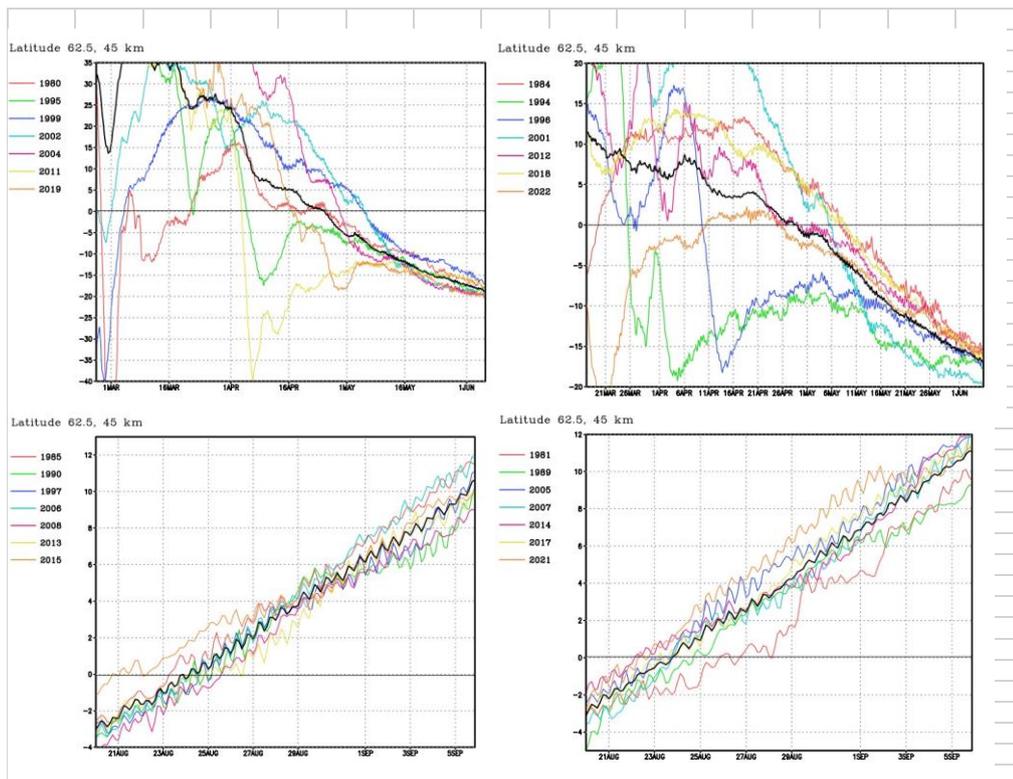


Рисунок 2 – Среднезональная компонента ветра на 62.5° с.ш. на высоте 45 км для разных лет в условиях Западной фазы КДК (слева) и Восточной фазы КДК (справа). Черная линия – среднезональная компонента ветра осредненная за 7 исследуемых лет.

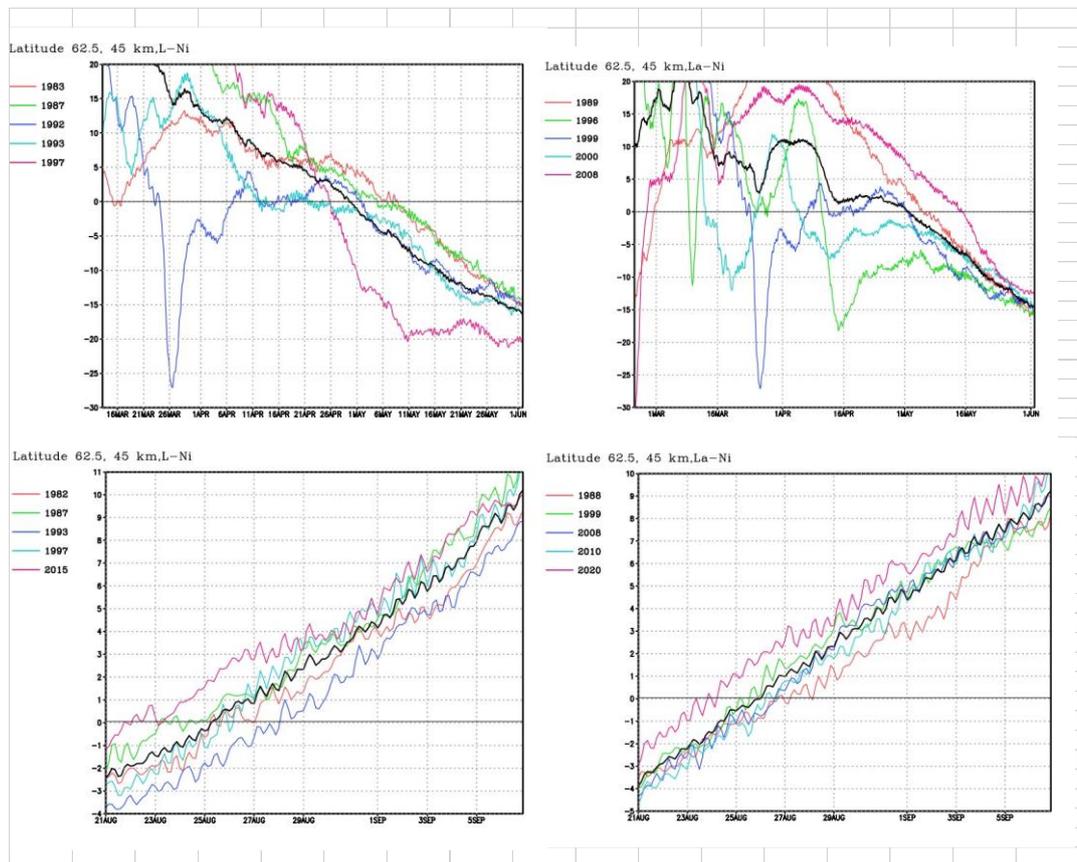


Рисунок 3 – Среднезональная компонента ветра на 62.5° с.ш. на высоте 45 км для разных лет для теплых фаз Эль-Ниньо (левая колонка) и холодных фаз Ла-Нинья (правая-колонка). Черная линия – среднезональная компонента ветра осредненная за 5 исследуемых лет

Таблица №1 - Даты переходов на лето для Высокой и Низкой солнечной активности, фаз Западной и Восточной КДК и ЭНЮК.

переход на лето						
года	ВСА	НСА	ВКДК	ЗКДК	ЭЛЬ	ЛА
	25.апр		25.апр			
	29.мар					
					8 мая	
				8 мая		
		05.апр				
		13.мар				
					5 мая	
	5 мая					5 мая
	24.мар				24.мар	
					12.апр	
				25.мар		
			04.апр			
		10.апр		10.апр		10.апр
					26.апр	
		5 мая				
			04.мар			04.мар
	04.апр					04.апр
				6 мая		
			4 мая			
	13.апр					
			29.апр			
		15 мая				15 мая
		3 мая				
	03.апр		03.апр			
				26.апр		
	29.мар					
		10 мая		10 мая		
			16.апр			
		26.мар				
				26.апр		

Таблица №2 - Даты переходов на зиму для Высокой и Низкой солнечной активности, фаз Западной и Восточной КДК и ЭНЮК.

переход на зиму						
года	ВСА	НСА	ВКДК	ЗКДК	ЭЛЬ	ЛА
	26.авг					
				26.авг		

	25.авГ				25.авГ	
		24.авГ	24.авГ			
		24.авГ				
					24.авГ	
						27.авГ
	25.авГ			25.авГ		
			24.авГ			
	25.авГ					
					28.авГ	
		26.авГ				
			25.авГ		25.авГ	
		25.авГ				
						25.авГ
	26.авГ					
	23.авГ					
				23.авГ		
			24.авГ			
				24.авГ		
		24.авГ	24.авГ			24.авГ
		26.авГ				26.авГ
	23.авГ					
			25.авГ			
				23.авГ		
	22.авГ		22.авГ		22.авГ	
				23.авГ		
		24.авГ				
		24.авГ				24.авГ
				23.авГ		

ВСА – Высокая солнечная активность

НСА – Низкая солнечная активность

ВКДК – Восточная фаза квазидвухлетнего колебания

ЗКДК – Западная фаза квазидвухлетнего колебания

Эль – Эль-Ниньо, фаза

ЛА – Ла-Нинья, фаза

Описание таблицы №1.

Предоставленные в таблице ВСА, НСА, ЗКДК, ВКДК и фазы ЭНЮК имеет наиболее частые и одинаковые для своего собственного года даты переходов. Наиболее часто повторяющимся стал 1996 год. Переход на летний сезон, был в годы Низкой солнечной активности, Западной фазы КДК и Ла-Нинья.

Описание таблицы №2.

При построении графиков и его анализа, из таблицы №2 (ВСА, НСА, ЗКДК, ВКДК и фазы ЭНЮК) были взяты три года, где наиболее часто повторяется дата перехода на зимний режим. Такими стали 1985, 2008 и 2020 года. Переход на зимний сезон, был в годы Низкой солнечной активности, Западной фазы КДК, Восточной фазы КДК и Ла-Нинья.

Заключение

Анализ зональной компоненты ветра при сезонном переходе стратосферной циркуляции в условиях разной солнечной активности, двух фаз КДК и двух фаз ЭНЮК показал, что в среднем самый ранний переход с зимы на лето состоялся 3 апреля в условиях высокой СА, а самый поздний –

3 мая в условиях низкой СА. В условиях Западной и Восточной фаз КДК в среднем переход происходит в 20-х числах апреля. В условиях фаз ЭНЮК переход в среднем наблюдался в конце апреля. Разницы в количестве радиационных и динамических переходов отмечается только в условиях разных фаз ЭНЮК: при Ла-Нинья динамический переход случается чаще. Переход на зимний режим не зависимо от рассмотренных условий всегда происходит с 23-25 августа.

Список используемой литературы:

1.

Abhik, S., H. H. Hendon and M. S. Wheeler, 2019: О чувствительности конвективно связанных экваториальных волн к квазидвухлетним колебаниям. *J. Climate*, 32, 5833-5847,

<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0010.1>. [1]

Akritidis, D., A. Pozzer and P. Zanis, 2019: О влиянии будущего изменения климата на складки тропопаузы и тропосферный озон. *Химия и физика атмосферы*, 19, 14 387-14

401, <https://doi.org/10.5194/acp-19-14387-2019>. [1]

Albert, J. R. and T. R. Nathan, 2013: Потеря и восстановление озона и предварительное кондиционирование распространяющегося вверх планетарного

волновая активность. *J. Атмосфера. Sci.*, 70, 3977-3994, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-12-0259.1>. [1]

Andrews, D. G. and M. E. McIntyre, 1976: Планетарные волны при горизонтальном и вертикальном сдвиге: обобщенное соотношение Элиассена-Пальма и среднее зональное ускорение. *Дж. Атмосфера. Наука*, 33,

2031-2048, <https://doi.org/10.1175/1520-0469> [1]

Andrews, D. G. and M. E. McIntyre, 1978a: Обобщенные Теоремы Элиассена-Палма и Чарни-Дразина для волн на Осесимметричных средних потоках в сжимаемых атмосферах. *J.*

Атмосфера. Наука, 35, 175-185, <https://doi.org/10.1175/1520-0469>

(1978)035<0175:GEPACD>2.0.CO;2. [1]

Andrews, D. G. and M. E. McIntyre, 1978b: О волновом воздействии и его родственниках. *J. Fluid Mech.*, 89, 647-664, <https://doi.org/10.1017/S0022112078002785>.

Angel, J. K. and J. Kersheverm, 1964: Квазидвухлетние колебания температуры, общего содержания озона и высоты тропопаузы. *Дж. Атмосфера*.

Наука, 21, 479-492, <https://doi.org/10.1175/1520-0469> (1964)

021<0479:QBVITT>2.0.CO;2. [1]

Anstey, J. A. и соавторы, 2022 год: последствия, процессы и прогнозы квазидвухлетнего колебания. *Обзоры природы*

Земля и окружающая среда, 3, 588-603, <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00323-7>. [1]

Antonescu, V., G. Vaughan and D. M. Schultz, 2013: Пятилетняя радиолокационная климатология складок тропопаузы и глубокой конвекции над Уэльсом, Соединенное Королевство. *Понедельник*,

141, 1693-1707 гг., <https://doi.org/10.1175/MWR-D-12-002>

46.1. [2]

Aquila V., L. D. Oman, R. S. Stolyarsky, P. R. Kolarko and P. A. Nyumann, 2012: Рассеивание вулканического сульфатного облака

в результате извержения, подобного извержению горы Пинатубо. *J. Геофизика. Res.:*

Атмосфера, 117, D06216, <https://doi.org/10.1029/2011JD01>

6968. [2]

Aquila, V., L. D. Oman, R. Stolarski, A. R. Douglas and P. A. Nyuman, 2013: Реакция озона и диоксида азота

на извержение вулкана Пинатубо в южных и северных средних широтах. J. Atmos. Sci., 70, 894-900, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-12-0143.1>.

T. J., J. Staunton-Sykes, L. R. Marshall, J. Heywood, N. L. Abraham and A. Schmidt, 2021: Изменение климата модулирует жизненный цикл аэрозоля сульфатов вулканов в стратосфере и

радиационное воздействие тропических извержений. Nature Communications, 12, 4708, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-249>

43-7.

Austin, J., 2002: Трехмерная взаимосвязь химии и климата

модельное моделирование прошлых стратосферных тенденций. J. Atmos. Sci., 59, 218-232, <https://doi.org/10.1175/1520-0469> (2002)059

<0218: ATDCCC>2.0.CO;2.

Ayarzaguena, B., W. Langematz, S. Zmeul, S. Oberlander, J. Abalikhin and A. G, 2013: Роль изменения климата

и восстановления озонового слоя в будущих сроках значительного

потепления стратосферы. Геофизика. Res. Латыш., 40, 2460-2465,

<https://doi.org/10.1002/grl.50477>.

Ayarzaguena, B. и соавторы, 2018: Нет надежных свидетельств

будущих изменений в крупных внезапных потеплениях стратосферы: А

АВГУСТ 2023 г. TIAN ET AL. 1391

многомодельная оценка от CCM1. Химия

и физика атмосферы, 18, 11 277-11 287,

<https://doi.org/10.5194/acp> 18-11277-2018 .

Ayarzaguena, В.и соавторы, 2020: Неопределенность в реакции внезапного потепления стратосферы и связи стратосфера-тропосфера на четырехкратное увеличение концентрации CO₂ в моделях СМIP6. J. Геофизика. Адрес: Atmos., 125, e2019JD032345, <https://doi.org/10.1029/2019JD032345>. [2]

Azulai, A., H. Schmidt and K. Timmrek, 2021: Реакция полярного вихря Арктики на вулканическое воздействие различной силы. J. Геофизика. Адрес: Atmos., 126, e2020JD034450, <https://doi.org/10.1029/2020JD034450> . [2]

Болдуин, М. П. и Т. Дж. Данкертон, 2001: Стратосферные предвестники аномальных погодных режимов. Наука, 294, 581-584, <https://doi.org/10.1126/science.1063315>. [2]

Baldwin, M. P. and D. W. J. Thompson, 2009: Критическое сравнение индексов связи стратосферы и тропосферы. Квартет. Дж . Рой. Метеор. Соч., 135, 1661-1672, <https://doi.org/10.1002/qj.479>. [2]

Baldwin, M. P., M. Damaris and T. G. Shepard, 2007: Как стратосфера повлияет на изменение климата? Наука, 316, 1576-1577, <https://doi.org/10.1126/science.1144303>.

Baldwin, M. P. и соавторы, 2001: Квазидвухлетнее колебание. Rev. Geophys., 39, 179-229, <https://doi.org/10.1029/1999RG000073>.

Baldwin, M. P. и соавторы, 2019: 100 лет прогресса в понимании стратосферы и мезосферы. Метеор. 59, 27.1–27.62, <https://doi.org/10.1175/>

AMSMONOGRAPHS-D-19-0003.1.

Baldwin, M. P и соавторы, 2021 год: Внезапное потепление стратосферы. Rev. Geophys., 59, e2020RG000708, <https://doi.org/10.1029/2020RG000708>.

Ball, W. T. и соавторы, 2018: Доказательства непрерывного снижения содержания озона в нижних слоях стратосферы компенсирует восстановление озонового слоя. Химия и физика атмосферы, 18, 1379-1394, <https://doi.org/10.5194/acp-18-1379-2018>. [3]

Banerjee, A., J. S. Fife, L. M. Polwani, D. V and K.- L. Chang, 2020: Пауза в тенденциях циркуляции в Южном полушарии из-за Монреальского протокола. Природа, 579, 544-548, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2120-4>.

Banerjee, A., G. Chiodo, M. Previdi, M. Ponater, A. J. Conley and L. M. Polwani, 2019: Водяной пар в стратосфере: важная обратная связь с климатом. Климатическая динамика, 53, 1697-1710, <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04721-4>.

Belmont, A. D. and D. G. D, 1968: Изменение долготы квазидвухлетнего колебания. Понедельник. Wea. Rev., 96, 767-777, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1968\)096<0767:VWLOTQ>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1968)096<0767:VWLOTQ>2.0.CO;2).

Bitz, K. M. and L. M. Polvani, 2012: Реакция климата Антарктики на разрушение стратосферного озона в модели океанического климата с высоким разрешением. Геофизика. Res. Латышская, 39, L20705, <https://doi.org/10.1029/2012GL053393>.

Boyd, J. P. 1976: Невзаимодействие волн с зонально усредненным потоком на сферической земле и взаимосвязи о вихревых потоках энергии, тепла и импульса. J. Atmosphere. Sci., 33, 2285-2291, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1976\)033<2285:TNOWWT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1976)033<2285:TNOWWT>2.0.CO;2).

Brewer, A. W., 1949: Доказательства мировой циркуляции, полученные в результате измерений распределения гелия и водяного пара в стратосфере. Кварта. Дж. Рой. Метеор. Soc., 75, 351-363, <https://doi.org/10.1002/qj.49707532603>.

Butchart, N., 2014: Циркуляция Брюера-Добсона. Rev. Geo phys., 52, 157-184, <https://doi.org/10.1002/2013RG000448>.

Butchart, N. 2022: Стратосфера: обзор динамики и изменчивость. Динамика погоды и климата, 3, 1237-1272, <https://doi.org/10.5194/wcd-3-1237-2022>.

Butchart, N. and A. A. Scaife, 2001: Удаление хлорфторуглеродов за счет увеличения массообмена между стратосферой и тропосферой в условиях меняющегося климата. Природа, 410, 799-802, <https://doi.org/10.1038/35071047>. [4]

Butchart, N и соавторы, 2010: Химико–климатическая модель моделирования изменений стратосферного климата и циркуляции в двадцать первом веке. J. Climate, 23, 5349-5374, <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3404.1>.

Butler, eh. и соавторы, 2019: Субсезонная предсказуемость и стратосфера. Прогнозирование от субсезонного к сезонному, Robertson and F. Vitart, ред., Elsevier, 223-241, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811714-9.00011-5>.

Butler, A. H. and E. P. Gerbe, 2018: Оптимизация определения внезапного стратосферного потепления. *Ж. Климат*, 31, 2337-2344, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0648.1>.

Butler, A. H., D. J. Seidel, S. S. Hardiman, N. Butchart, T. Berner and A. Матч, 2015: Определение внезапных стратосферных потеплений. *Бык. Амер. Метеор. Соч.*, 96, 1913-1928, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00173.1>.

Calvo, N., L. M. Polani and S. Solomon, 2015:

О воздействии экстремальных значений озона в арктической стратосфере на поверхность. *Экологический*

Исследовательские письма, 10, 094003, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/9/094003>.

Charlton, A. J. and L. M. Polvaney, 2007: Новый взгляд на внезапные потепления стратосферы. Часть I: Критерии климатологии и моделирования. *J. Climate*, 20, 449-469, <https://doi.org/10.1175/JCLI3996.1>.

Charlton-Perez, A. J., L. Ferranti and R. W. Lee, 2018: Влияние состояния стратосферы на погоду в Северной Атлантике

режимы. *Кварта. Дж. Рой. Метеор. Соч.*, 144, 1140-1151, <https://doi.org/10.1002/qj.3280>.

Charney, J. G. and P. G. Drazin, 1961: Распространение возмущений планетарного масштаба из нижних слоев в верхние слои атмосферы.

J. Geophys. Res., 66, 83-109, <https://doi.org/10.1029/JZ066i001p00083>.

Chen, W. and T. M. Lee, 2007: Модуляция

зимней стационарной волновой активности планет Северного полушария: климатические взаимосвязи Восточной Азии с помощью квазидвухлетних колебаний. *J. Геофизика. Разрешение: Atmos.*, 112, D20120, <https://doi.org/10.1029/2007JD008611>.

Chen, W. and K. Wei, 2009: Межгодовая изменчивость зимнего

стратосферного полярного вихря в Северном полушарии и

их связь с QBO и ENSO. *Adv. Атмосфера. Наука*, 26,

855-863, <https://doi.org/10.1007/s00376-009-8168-6>.

Cheung, J. C. H., J. D. Haigh и D. R. Jackson, 2014: Влияние

данных EOS MLS по озону на средне-расширенные

прогнозы погоды в ансамбле. *J. Геофизика. Разрешение: Atmos.*, 119,

9253-9266, <https://doi.org/10.1002/2014JD021823>.

Chipperfield M. P. и соавторы, 2017: Обнаружение восстановления

стратосферного озонового слоя. *Природа*, 549, 211-218, <https://doi.org/10.1038/nature23681>.

Chipperfield M. P. и соавторы, 2018: О причине недавних

изменений озона в нижних слоях стратосферы. *Геофизика. Res. Латыш.*,

45, 5718-5726, <https://doi.org/10.1029/2018GL078071>.

Collimore, K. S., D. W. Martin, M. H. Nitman, A. Huisman, 2009.

Моделирование и прогноз внезапного потепления стратосферы в различных сценариях с помощью CESM2-WACCM. *Динамика климата*, 59,

3741-3761, <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06293-2>.

Liang, Z. K., J. Rao, D. Guo, K. Lu and K. H. Shi, 2022b:
Режимы полярных вихрей в стратосфере северной зимы и их возможное
влияние на внетропическую тропосферу. Динамика климата.,
<https://doi.org/10.1007/s00382-022-06494-9>.

Lim, Yu., S.-V. Song, A. G. Marshall, H. H. Hendon and K.-H. Seo, 2019:
Влияние QBO на умение прогнозировать МЖО в
модели межсезонного прогнозирования. Динамика климата
, 53, 1681-1695 гг., <https://doi.org/10.1007/s00382-019-047> [5]
19-й.

Limpasuvan V. and D. L. Hartmann, 2000:
Кольцевые режимы изменчивости климата, поддерживаемые волнами. J.
Climate, 13,
4414-4429, <https://doi.org/10.1175/1520-0442> (2000)013
<4414:WMAMOC>2.0.CO;2.

Lin, P. and K. Fu, 2013: Изменения в различных ветвях
циркуляции Брюера–Добсона на основе совокупности химических
климатических моделей. J. Geophys. Источник: Atmos., 118, 73-84,
<https://doi.org/10.1029/2012JD018813>.

Lindzen, R. S. and J. R. Holton, 1968: Теория квазидвухлетних колебаний. Дж.
Атмосфера. Sci., 25, 1095-1107, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1968\)025](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1968)025)<1095: АТОТQB>2.0.
CO;2.

Liu, F., J. Chai, B. Wang, J. Liu, H. Zhang, and Z. Yu Wang,
2016: Реакция глобальных муссонных осадков на крупные вулканические
извержения. Научные отчеты, 6, 24331, <https://doi.org/10.1038/srep24331>.

Li, F. и соавторы, 2022: Тропический вулканизм усилил летние муссоны в Восточной Азии в течение последнего тысячелетия. Nature Communications, 13, 3429, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31108-7>.

Lu, H., M. P. Baldwin, L. J. Gray, and M. J. Jarvis, 2008 г.: Изменения в десятилетнем масштабе влияния QBO на северный стратосферный полярный вихрь. J. Geophys. Atmos., 113, D10114, <https://doi.org/10.1029/2007JD009647>.

Lu, H., T. J. Bracegirdle, T. Phillips, A. Bushell, and L. Gray, 2014: Механизмы взаимосвязи Холтон-Тан и ее десятилетние вариации. Дж. Геофизика. Разрешение: Atmos., 119, 2811-2830, <https://doi.org/10.1002/2013JD021352>.

Lu, K., J. Rao, K. H. Shi, D. Guo, G. K. Fuj. Wang and Z. К.Лян, 2022: Возможное влияние внезапного стратосферного потепления на атмосферную среду в регионе Пекин– Тяньцзинь – Хэбэй. Химия и физика атмосферы, 22, 13 087-13 102, <https://doi.org/10.5194/acp-22-13087-2022>.

Lodge. L., V. S. Tian, Tszyu H. Pu, P. K. Zhang, L. Shang, M. Zhang and J. Hu, 2013: Характеристики обмена стратосфера-тропосфера во время сезона Мэйю. Дж. Геофизика. Res.: Атмосфера., 118, 2058-2072, <https://doi.org/10.1029/2012JD018124>.

Lynch, A., P. Uotila and J. J. Cassano, 2006: Изменения в синоптических погодных условиях в полярных регионах в двадцатом и двадцать первом веках, часть 2: Антарктика. Международный журнал климатологии, 26, 1181-1199, <https://doi.org/10.1002/joc>.

Ma, T. J., W. Chen, J. L. Huangfu, L. Song, and K. Y. Tsai, 2021: Наблюдаемое влияние квазидвухлетних колебаний в нижней экваториальной стратосфере на восточноазиатский зимний муссон в начале бореальной зимы. Международный журнал климатологии, 41, 6254-6269, <https://doi.org/10.1002/joc>. [6] 7192.

Ma, H., F. Xie, J. P. Li, H. L. Zheng, V. S. Tian, R. K. Ding, K. Sun and J. K. Zhang, 2019: Влияние изменений озона в арктической стратосфере на весенние осадки на северо-западе Соединенных Штатов. Химия и физика атмосферы, 19, 861-875, <https://doi.org/10.5194/acp-19-861-2019>.

Madden, R. A. and P. R. Julian, 1972: Описание циркуляционных ячеек глобального масштаба в тропиках с периодом 40-50 дней. Дж. Атмосфера. Sci., 29, 1109-1123, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1972\)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1972)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2).

Mahfouz, J. F., D. Kings, J. F. Royer, J. F. Gehlen and V. Timbal, 1994: Реакция климатической модели Метео-Франция на изменения в CO₂ и температура поверхности моря. Динамика климата, 9, 345-362, <https://doi.org/10.1007/BF00223447>.

Maleska, S., K. L. Smith and J. Virgin, 2020: Воздействие экстремальных значений стратосферного озона на высокую облачность в Арктике. *J. Climate*, 33,

8869-8884, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0867.1>.

Man, W. M., T. J. Zhou, and J. H. Jungclaus, 2014: Влияние крупных извержений вулканов на глобальный летний климат и Восточную Изменения муссонов в Азии за последнее тысячелетие: анализ моделирования MPI-ESM. *J. Climate*, 27, 7394-7409, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00739.1>.

Marshall, A. G., H. H. Hendon, S.-W. Song and Y. Lim, 2017 г.: Влияние квазидвухлетнего колебания на предсказуемость колебания Мэддена–Джулиана. *Климатическая динамика*, 49, 1365-1377, <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3392-0>.

Marshall, L. R., K. J. Smith, P. M. Forster, T. J. Aubrey, T. Andrews and A. Schmidt, 2020: Значительные колебания эффективности воздействия вулканического аэрозоля из-за параметров источника извержения и быстрой корректировки. *Геофизика. Res. Латыш.*, 47, e2020GL090241, <https://doi.org/10.1029/2020GL090241>.

Martin, Z., S.-W. Song, A. Butler, H. Hendon, H. Kim, A. Sobel, S. Moden and K. D. Zhang, 2021: Влияние квазидвухлетнего колебания на колебание Мэддена–Джулиана.

Nature Reviews Earth & Environment, 2, 477-489, <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00173-9>.

Matsuno, T., 1971: Динамическая модель внезапного потепления стратосферы. *J. Atmosfera. Sci.*, 28, 1479-1494, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1971\)028<1479: ПРИМЕЧАНИЯ>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1971)028<1479: ПРИМЕЧАНИЯ>2.0.CO;2). [7]

Мэйкок, А. S., G. I. T. Masukvedza, P. Ничкок I. R. Simpson, 2020: Взгляд режима на реакцию североатлантических вихревых струй на внезапное потепление стратосферы. *J. Climate*, 33, 3901-3917, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D 19-0702.1>.

Маускок, А. S., M. M. Joshi, K. P. Shine, S. M. Davis and K. H. Rosenlev, 2014: Потенциальное влияние изменений содержания водяного пара в нижних слоях стратосферы на стратосферные температуры за последние 30 лет. *Кварт. Дж. Рой. Метеор. Soc.*, 140, 2176-2185, <https://doi.org/10.1002/qj.2287>.

Маускок А. S. и соавторы, 2018: Возвращаясь к тайне недавних тенденций температуры стратосферы. *Геофизика. Res. Латыш.*, 45, 9919-9933, <https://doi.org/10.1029/2018GL078035>.

Min, S.-K. and S.-V. Song, 2013: Многомодельная атрибуция расширения ячейки Хэдли в Южном полушарии: основная роль разрушения озонового слоя. *Дж. Геофизика. Источник: Atmos.*, 118, 3007-3015, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50232>.

Mitchell, D. M., L. J. Gray, J. Anstey, M. P. Baldwin, and A. J. Charlton-Perez, 2013: Влияние

смещений и расколов стратосферных вихрей на климат поверхности. *J. Climate*, 26,

2668-2682, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00030.1> .

Mutters, S., F. Farfel, K. S. Raible and E. Rozanov, 2015 г.:

Воздействие вулканического аэрозоля на стратосферный озон и

1396 ОБЗОР СТРАТОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ, ТОМ 40

полярный вихрь Северного полушария: отделение радиационных динамических изменений от прямых воздействий, обусловленных усиленной гетерогенной химией аэрозоля. *Химия*

и физика атмосферы, 15, 11 461-11 476, <https://doi.org/10.5194/acp-15-11461-2015>.

Naoe, H., M. Deushi, K. Yoshida and K. Shibata, 2017: Будущие

изменения в квазидвухлетних колебаниях озона с увеличением выбросов парниковых газов и восстановлением озона в моделировании CCM1. *J. Climate*, 30, 6977-6997, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0464.1>.

Nathan, T. R. and E. S. Cordero, 2007: Модифицированный озоном показатель преломления для вертикально распространяющихся планетарных волн. *J. Геофизика. Разрешение: Atmos.*, 112, D02105, <https://doi.org/10.1029/2006JD007357>.

Ndarana, T., D. V. Vo, L. M. Polani, J. J. P. Correa and E. P. Gerber, 2012: Разрушение озонового слоя в Антарктике и тенденции

разрушения волны Россби в тропопаузе. *Письма по науке об атмосфере*, 13, 164-168, <https://doi.org/10.1002/asl.384>.

Noah, J. L., T. Flury, G. L. Mannu, M. L. Santi, N. J. Livesey, and J. Warden, 2014: Колебания тропосферного озона регулируются изменениями в стратосферной циркуляции. *Nature Geoscience*, 7, 340-344, <https://doi.org/10.1038/ngeo2138>.

Ni, J. and A. H. Sobel, 2015: Реакция тропической глубокой конвекции на QBO: моделирование с разрешением облаков. *Дж. Атмосфера. Sci.*, 72, 3625-3638, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-15-0035.1>.

Novak, P. J., N. L. Abraham, P. Brasik and J. A. Pal, 2018 г.: Влияние обратных связей стратосферного озона на оценки чувствительности климата. *J. Geophys. Разрешение: Atmos.*, 123, 4630-4641, <https://doi.org/10.1002/2017JD027943>.

Novak, P. J., N. Luke Abraham, A. S. Maycock, P. Brasik, J. M. Gregory, M. M. Joshi, A. Osprey and J. A. Pal, 2015 г.: Большая обратная связь с циркуляцией озона и ее последствия для оценок глобального потепления. *Изменение климата в природе*, 5, 41-45, <https://doi.org/10.1038/nclimate2451>.

Oh, Jay, S. W. Song, J. Choi, E. P. Lim, K. Garfinkel, H. Hendon, Y. Kim and H. S. Kang, 2022 год: Влияние стратосферного озона на подсезонный прогноз весны в южном полушарии. *Прогресс в науке о Земле и планетах*, 9, 25, <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00485-4>.

Osprey, S. M., N. Butchart, J. R. Knight, A. A. Scaife, K. Hamilton, J. A. Anstey, W. Schenzinger and K. Zhang, 2016: Неожиданное нарушение атмосферных квазидвухлетних колебаний. *Наука*, 353, 1424-1427, <https://doi.org/10.1126/sci.sсылка.aah4156>.

Palmeira, F. M., D. Barriopedro, R. Garcia-Herrera and N. Calvo, 2015: Сравнение определений внезапного стратосферного потепления

в данных повторного анализа. *J. Climate*, 28, 6823-6840,

<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0004.1>.

Parker, D. E., H. Wilson, P. D. Jones, J. R. Christie, and K. K. Folland, 1996: Влияние горы Пинатубо на температуры во всем мире. *Международный журнал климатологии*, 16,

487-497, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199605\)](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199605)16:5<487::AID-JOC39>3.0.CO;2-J)

16:5<487::AID-JOC39>3.0.CO;2-J.

Perlwitz, J. and N. Harnik, 2003: Данные наблюдений о

влиянии стратосферы на тропосферу путем

отражения планетарных волн. *Ж. Климат*, 16, 3011-3026, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3011:ОЕОАСИ>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3011:ОЕОАСИ>2.0.CO;2). [8]

2.

<https://www.who.int/ru> Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ) [1]

<http://www.iki.rssi.ru/books/2011hairullina.pdf>

Г.Р. Хайруллина,

Н.М. Астафьева Квазидвухлетние Колебания в атмосфере Земли Обзор: наблюдение и механизмы формирования.[2]

https://atm.phys.spbu.ru/images/Koval_etal_2022_FAO_ru.pdf

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОЙ МЕРИДИОНАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В РАЗНЫЕ ФАЗЫ КВАЗИДВУХЛЕТНЕГО КОЛЕБАНИЯ © 2022 г. А. В. Ковальба, , Н. М. Гаврилова, , А. И. Погорельцева,, М. М. Ефимова[3]

<https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>

SPACEWEATHER PREDICTION CENTER. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION[4]

<HTTPS://CLIMATEDATAGUIDE.UCAR.EDU/CLIMATE-DATA/NASAS-MERRA2-REANALYSIS> [5]

<HTTPS://GMAO.GSFC.NASA.GOV/REANALYSIS/MERRA-2/> [6]

3.

1). Гидрометцентр РФ. Основные особенности атмосферной циркуляции и погоды в северном полушарии в марте 2019 года. [Электронный ресурс]. Гидрометцентр России 2024г. Диссертация *Шуваловой*

Ю.О. <https://meteoinfo.ru/categ-articles/91-circulation-review/16015-osnovnye-osobennosti-atmosfernoj-tsirkulyatsii-i-pogody-v-severnom-polusharii-v-marte-2019-goda> (дата обращения 15.03.2024) [1]

2) *Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М.* Квазидвухлетние Колебания в атмосфере Земли Обзор: наблюдение и механизмы формирования. [Электронный ресурс] <http://www.iki.rssi.ru/books/2011hairullina.pdf>. (дата обращения 15.03.2024) [2]

3) Space weather prediction center.. [Электронный ресурс]. Space Weather Prediction Center 325 Broadway, Boulder CO 80305. <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>. (дата обращения 15.03.2024). [3]

4) National Aeronautics and Space Administration.. [Электронный ресурс] https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/qbo.html. NASA. *Official James F. Gleason, Lab Chief.* (дата обращения 15.03.2024). [4]

5)Physical

Sciences

Laboratory..[Электронныйресурс]<https://psl.noaa.gov/enso/mei/> [5]