



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: «Межгодовая изменчивость широтного распределения среднего
зонального ветра в стратосфере»

Исполнитель Лотова Марина Константиновна
(фамилия, имя, отчество)

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

Ермакова Татьяна Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой


(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 1 » июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ	4
1.1 Общие сведения	4
1.2 Ветры в стратосфере	5
1.3 Квазидвухлетние колебания	8
1.4 Солнечная активность	10
1.5 Число Вольфа.....	11
ГЛАВА 2 ДАННЫЕ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА	13
1.2 Реанализ MERRA-2	13
2.2 Остаточная меридиональная циркуляция	14
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ДАННЫХ	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	69

ВВЕДЕНИЕ

Стратосфера – это слой атмосферы, который находится между тропосферой и мезосферой и ее границы варьируются в зависимости от широты и времени года.

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. Минимальные ветровые условия в течение значительной части года делают стратосферу оптимальным регионом для высотных дирижаблей. На самом деле воздушные шары могут работать здесь месяцами, при этом вертикальное движение достигается за счет изменения количества воздуха в объеме, а горизонтальное движение связано с ветром. В частности, наличие противоположных ветров на разных высотах позволяет станции оставаться относительно статичной; т. е. аэростат поддерживается на расстоянии менее 50 км от своей станции [1].

Актуальность работы определяет важность изучения стратосферы, как часть общей циркуляции атмосферы в целях использования информации о ней для обеспечения полетов гиперзвуковой авиации, для запуска космических летательных кораблей, а также повседневные эксплуатация и применение радиоэлектронной техники специального и бытового назначения.

Целью данной работы является выявление особенностей межгодовой изменчивости широтного распределения среднего зонального ветра в стратосфере

Для достижения цели, в работе решались следующие задачи:

1. Определение лет из разных солнечных циклов в условиях высокой и низкой солнечной активности с использованием индекса солнечной активности $f_{10.7}$ (когда значения солнечной активности превышает 150 и когда значение солнечной активности меньше отметки 100)
2. Исследование срездnezональной компоненты в условиях низкой солнечной активности на разных высотах: 15, 25, 35 км и выше; аналогично для лет с высокой солнечной активностью
3. Анализ влияния фазы квазидвухлетнего колебания (КДК) на отклонение зональной компоненты от осредненного значения над тропиками и в средних широтах на 15, 25 и 35 км.
4. Анализ влияния остаточной меридиональной циркуляции (ОМЦ) на отклонение зональной компоненты от осредненного значения над средними широтами.

ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ

1.1 Общие сведения

Деление на слои в атмосфере идет по распределению температуры. Есть области, где температура повышается с высотой, понижается и есть зоны, в которых она постоянна.

Стратосфера — устойчивый слой атмосферы, расположенный между тропосферой и мезосферой и простирающийся от тропопаузы вверх до высоты около 50-55 километров над поверхностью Земли. На средних широтах стратосфера простирается на высоте около 10-50 км над поверхностью Земли, в тропиках высота тропопаузы выше, соответственно стратосфера начинается немного выше, на высоте около 18 км. В зимнем и летнем полушарии нижняя граница стратосферы разная.

Стратосфера очень устойчива, потому что температура воздуха увеличивается с высотой до стратопаузы, которая является слоем температурной изотермии [2].

В стратосфере температура повышается с высотой из-за наличия в ней озонового слоя. Находящийся в верхней части стратосферы, озоновый слой, поглощает ультрафиолетовое излучение, которое ионизирует молекулы и разрушает их. В результате выделяется тепловая энергия, которая повышает температуру воздуха в этой области. Температура достигает максимальных значений в пределах 10-30 км, затем начинает постепенно понижаться на больших высотах. На границе стратосферы и мезосферы (на высоте около 50 км) обычно наблюдается максимальная инверсия температуры. В этой зоне температура может достигать 0°C, тогда как в более низких слоях и выше этой зоны температура снижается (Рисунок 1.1).

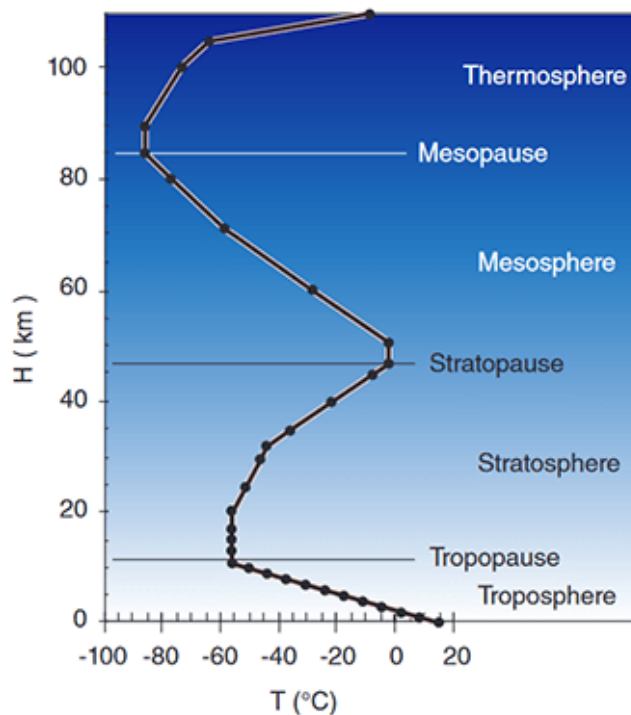


Рисунок 1.1 – Изменение температуры с высотой в соответствии со стандартной атмосферой [3]

1.2 Ветры в стратосфере

Ветры в стратосфере и мезосфере обычно оцениваются по температурным данным, собранным спутниками. Предполагается, что ветры на этих высоких уровнях являются геострофическими. В целом, в средних широтах они имеют западную составляющую зимой и восточную составляющую летом. Самые высокие зональные ветры имеют скорость около 60-70 метров в секунду (216-252 км в час) на высоте 65-70 км над поверхностью Земли. Западная компонента ветра сильнее зимой в Южном полушарии. Зональная составляющая термического сдвига ветра согласуется с зональным распределением температуры.

В стратосфере отклонения от среднего поведения ветров происходят во время событий, называемых внезапными потеплениями, когда

меридиональный градиент температуры меняется на противоположный в течение нескольких дней. Это также приводит к изменению направления зонального ветра. Внезапные стратосферные потепления, как правило, происходят в начале и середине зимы и в переходный период от зимы к весне. Последний знаменует собой переход от холодного зимнего полярного циклона к теплему летнему полярному антициклону.

Зональная составляющая ветров в стратосфере над экваториальными и тропическими регионами в среднем относительно слабая. Это не всегда так, поскольку они меняют направление в среднем каждые 13-14 месяцев. Это явление, известное как квазидвухлетняя осцилляция или квазидвухлетние колебания, вызвано взаимодействием вертикально распространяющихся волн со средним потоком. Его влияние наиболее сильно проявляется на высоте около 27 км над поверхностью Земли в экваториальной области. Самые сильные восточные ветры сильнее самых сильных западных ветров.

В средних широтах в динамически устойчивой стратосферной циркуляции преобладают западные ветры в зимнем полушарии и восточные ветры в летнем полушарии, а также связанная с ними меридиональная опрокидывающая циркуляция Брюера-Добсона. В тропиках зональные ветры меняют направление примерно каждые два года при распространяющемся вниз КДК [4]. Озон образуется преимущественно в тропиках и переносится в более высокие широты циркуляцией Брюера-Добсона. Климатологические стратосферные зонально-средние значения зональных ветров (т.е. западный ветер, усредненный по широтным кругам) из различных данных показывают общее хорошее соответствие во внетропической зоне, тогда как относительно большие различия наблюдаются в тропиках [5].

Преломление вертикально распространяющихся волн, исходящих из тропосферы, замедляет западные потоки в стратосфере. Иногда это вызывает "внезапное потепление", когда западный полярный вихрь разрушается с сопутствующим потеплением полярной стратосферы, что может быстро изменить широтный градиент температуры [6]. Если в 1990-1998 годах в

течение девяти зим подряд в Северном полушарии не наблюдалось значительного потепления, то в 1999-2004 годах произошло семь значительных потеплений [7]. Как отметили [8], многие из недавних стратосферных потеплений после 2000 года были нетипично ранними, и холодный вихрь восстановился в марте. В сентябре 2002 года впервые на шельфе наблюдалось значительное потепление [9, 10]. Это значительное потепление последовало за относительно слабым зимним полярным вихрем [11].

Анализ прошлых изменений в стратосфере основывается на сочетании информации радиозондов (доступной с 1950-х годов), спутниковой информации (доступной с 1970-х годов) и глобальных реанализов. В середине 1990-х годов в Северном полушарии было несколько лет, когда арктический зимний вихрь был холоднее, сильнее [12, 13] и более устойчивым [14, 15]. Некоторые исследования показывают тенденцию к снижению воздействия волн в период с 1979 по 2000 год, особенно в январе и феврале [16, 17]. Однако расчеты трендов очень чувствительны к месяцу и периоду расчета, поэтому обнаружение долгосрочных изменений на основе относительно коротких рядов стратосферных данных по-прежнему проблематично [18].

В Южном полушарии, используя данные радиозондирования, [19] отмечается о значительном снижении высоты геопотенциала нижней стратосферы, усредненной над полярной шапкой Южного полушария с октября по март и май в период с 1969 по 1998 год. Повторные анализы высоты стратосферы ERA-40 и NRA указывают на тенденцию к усилению антарктического вихря с 1980 года летом [20], в значительной степени связанную с разрушением озонового слоя [21, 22]. Озоновая дыра привела к охлаждению стратосферного полярного вихря поздней весной [23], а также к двух-трехнедельной задержке разрушения вихря [14].

1.3 Квазидвухлетние колебания

Циркуляция в нижней стратосфере в тропической зоне и вблизи экватора имеет некоторые особенности. В экваториальной стратосфере зональная компонента ветра периодически меняется с восточной на западную со средним периодом от 28 до 29 месяцев. Эти колебания получили название квазидвухлетние колебания (КДК) [24].

КДК — наиболее значимая из высокочастотных квазирегулярных компонент межгодовых колебаний атмосферы и климата Земли. КДК могут отражать как глобальные климатические изменения, так и локальные структурные особенности климатической системы Земли, поскольку они проявляются в различных атмосферных и климатических параметрах: в скорости зонального ветра, в распределении озона, температуры и давления воздуха, облачности и др. [25].

Квазидвухлетнее колебание первоначально было известно, как ветры Кракатау или восточные ветры Кракатау. Эти названия были получены в связи с той ролью, которую ветры сыграли в переносе пыли, выброшенной в атмосферу в результате взрыва (1883 год) вулканического острова Кракатау на территории современной Индонезии [26].

Квазидвухлетние колебания (КДК) экваториальной нижней и средней стратосферы представляет собой достаточно регулярный 2-3-летний цикл, характеризующийся чередованием режимов восточного и западного зонального ветра. КДК зонального ветра сопровождается аномалиями температуры и средней меридиональной циркуляции. КДК доминирует в экваториальной нижней и средней стратосфере и влияет на другие области атмосферы, включая тропическую тропосферу, верхнюю стратосферу и мезосферу, а также внетропическую среднюю атмосферу зимой [27].

Квазидвухлетние колебания не являются строго двухлетними, однако сезонная смена фазы колебаний наблюдается (Рисунок 1.2, Рисунок 1.3).

Переходы между режимами восточного и западного ветра на высоте 50 мб (21 км) происходят в основном поздней весной или летом [28]. Ряд работ, посвященных исследованию межгодовых колебаний скорости зонального ветра в стратосфере, показал, что КДК зонального ветра наблюдаются над тропическими широтами с максимумом амплитуды над экватором и над средними широтами, где амплитуда КДК мала. В высоких широтах в обоих полушариях в стратосфере и в тропосфере наблюдается годовая модуляция среднего зонального ветра [29].

Осцилляция наблюдается уже более полувека, с довольно постоянной амплитудой, и, судя по всему, является постоянной характеристикой тропической стратосферы.

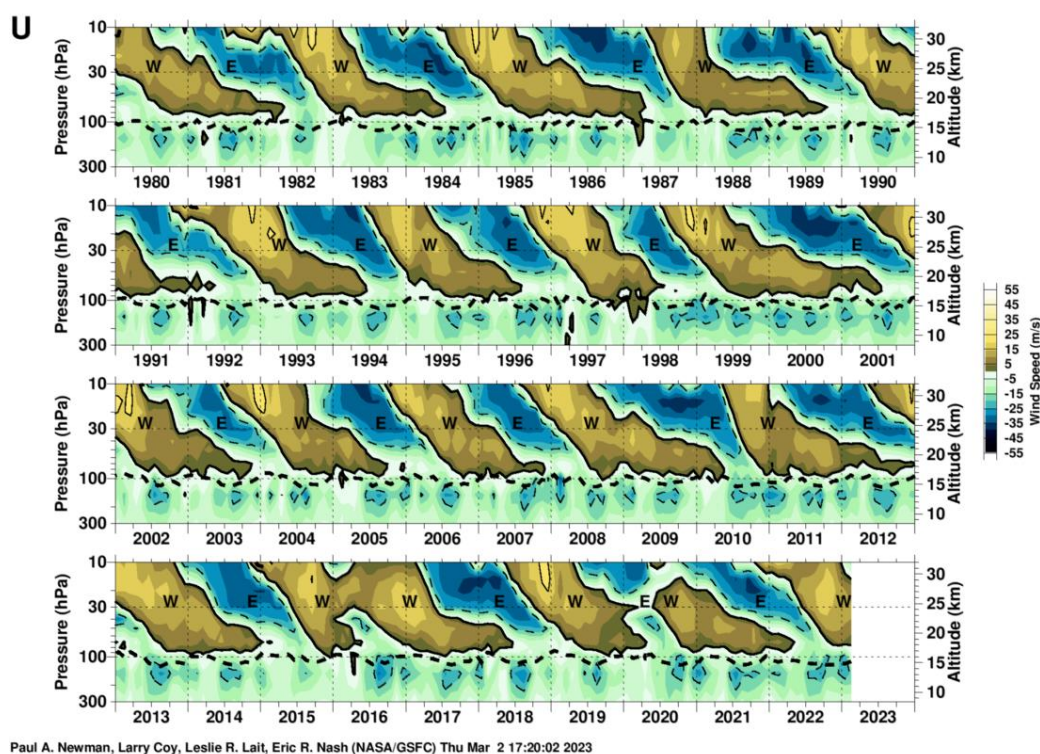


Рисунок 1.2 – Высотно-временной разрез осредненного по широте за месяц зонального ветра на экваторе, иллюстрирующий КДК с 1980 по 2023г., по данным Сингапурского зонда. Буквами E и W обозначены восточная и западная фазы КДК соответственно, пунктирной линией показана средняя высота тропопаузы [30]

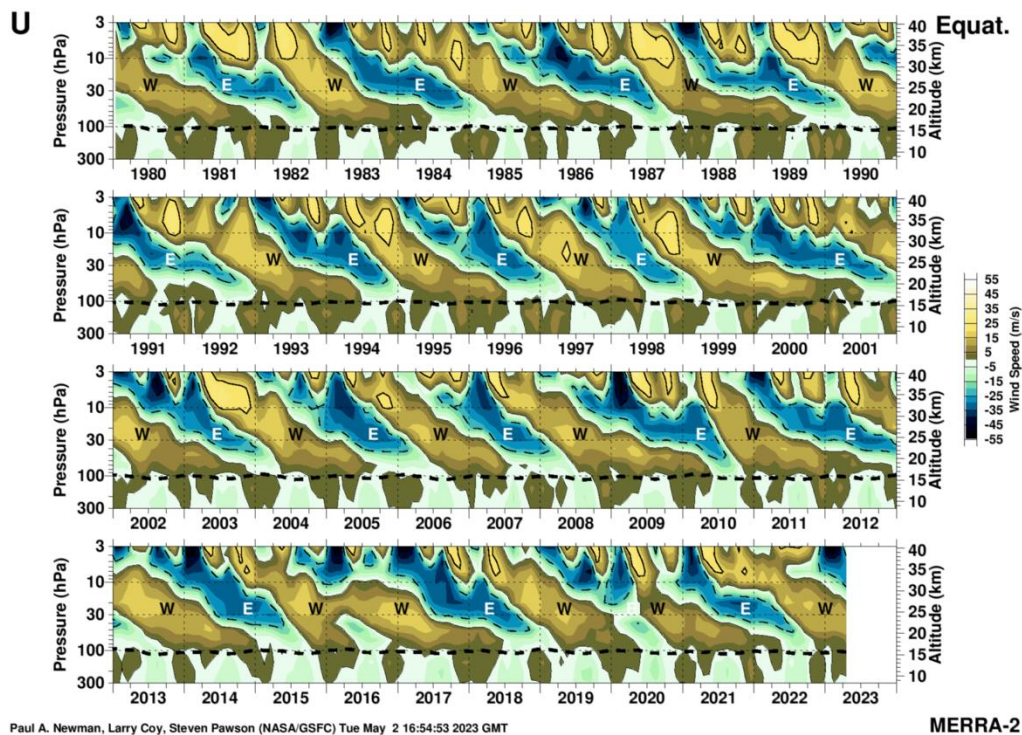


Рисунок 1.3 – Высотно-временной разрез осредненного по широте за месяц зонального ветра на экваторе, иллюстрирующий КДК с 1980 по 2023г., по данным реанализа MERRA-2. Буквами Е и W обозначены восточная и западная фазы КДК соответственно, пунктирной линией показана средняя высота тропопаузы [30]

1.4 Солнечная активность

Солнце – это звезда G-класса, чей современный возраст составляет 4,6 миллиарда лет. Это умеренно активная звезда, магнитная активность которой приводит к краткосрочным и долгосрочным колебаниям ее активности [31].

Солнечная активность — это совокупность физических явлений, происходящих на Солнце. Поскольку они происходят преимущественно в центрах активности, то солнечная активность непосредственно связана с количеством и интенсивностью центров активности на Солнце.

Появление солнечных пятен на солнечной поверхности происходит периодически. Солнечная активность так же, как и количество солнечных пятен, претерпевает циклические колебания со средним периодом в 11 лет. Такой период часто называют 11-летним циклом солнечной активности (цикл Швабе или цикл Швабе-Вольфа, поскольку на эту периодичность впервые обратил внимание немецкий астроном Г. Швабе, а затем швейцарский астроном Р. Вольф).

Солнечный максимум и солнечный минимум относятся к периодам максимального и минимального количества солнечных пятен. Циклы проходят от одного минимума до следующего и условно нумеруются, начиная с марта 1755 г. Сопровождая 11-летнюю периодичность в солнечных пятнах, крупномасштабная дипольная (север-юг) составляющая магнитного поля Солнца также обращается каждые 11 лет [24].

Многолетние наблюдения в течение четырех столетий, начиная с изобретения телескопа в начале 1600-х годов, показывают, что количество наблюдаемых на Солнце пятен циклически увеличивается и уменьшается [32, 33] тем самым формируя солнечный цикл

Солнечная активность повышается и понижается с 11-летним циклом, который влияет на современную жизнь во многих отношениях. Увеличение солнечной активности включает в себя увеличение экстремального ультрафиолетового и рентгеновского излучения от Солнца, которое вызывает значительные изменения в верхней и средней атмосфере Земли [34].

1.5 Число Вольфа

Количество солнечных пятен и занимаемая ими площадь на поверхности Солнца непрерывно изменяются (Рисунок 1.5). Для характеристики пятнообразовательной деятельности Р. Вольф в 1849 г. предложил использовать так называемое относительное число солнечных

пятен (relative sunspot number), которое впоследствии стали называть числом Вольфа (Wolf number) или цюрихским числом (Zürich number). Число Вольфа W рассчитывается по формуле

$$W = k(10g + f), \quad (1.1).$$

где g — число групп солнечных пятен; f — число пятен; k — коэффициент приведения к однородному ряду (его значение зависит от особенностей и условий наблюдений, а также используемого инструмента).

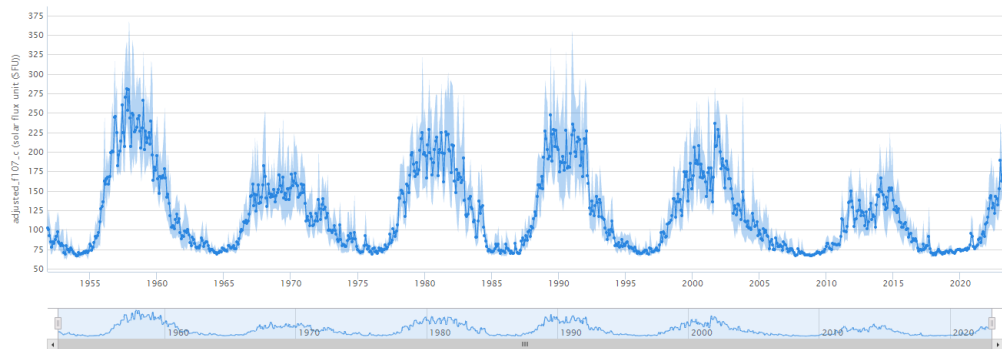


Рисунок 1.5 – Уровень солнечной активности, поток радиоизлучения 10,7 см в 1955-2020 годах [35]

ГЛАВА 2 ДАННЫЕ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА

1.2 Реанализ MERRA-2

В данной работе для анализа изменчивости среднезональной компоненты ветра от средних широт Южном полушарии до средних широт в Северном на разных высотах стратосферы для каждого месяца года с учетом солнечной активности были использованы данные MERRA-2.

MERRA-2 – это глобальный атмосферный реанализ, произведенный Управлением глобального моделирования и ассимиляции NASA (GMAO). MERRA-2 охватывает диагностику поверхности суши за период с 1980 года по настоящее время с пространственным разрешением $0,5^\circ \times 0,625^\circ$ и временным разрешением 1 час. MERRA-2 использует сетку кубической сферы, что позволяет относительно равномерно распределить расстояние между сетками на всех широтах. MERRA-2 был введен для замены оригинального продукта MERRA и отражает последние достижения в области атмосферного моделирования и ассимиляции данных. MERRA-2 предназначен в качестве промежуточного реанализа, который использует последние разработки GMAO в области моделирования и ассимиляции данных для решения некоторых известных ограничений MERRA, но также обеспечивает ступеньку к долгосрочной цели GMAO-разработке возможностей комплексного анализа систем Земли 16 (IESA), объединяющих ассимиляционные системы для атмосферы, океана, суши и химии. MERRA-2 была разработана с двумя основными целями: обеспечить непрерывный климатический анализ спутниковой эры почти в реальном времени, который устраняет известные ограничения заверщенного в настоящее время реанализа MERRA (январь 1979-февраль 2016) и продемонстрировать прогресс в развитии будущего потенциала IESA. "MERRA-2" достигла этих целей в нескольких отношениях. Они включают в себя ассимиляцию спутниковых

наблюдений, недоступных MERRA, которая не ассимилировала никаких новых спутниковых наблюдений после NOAA-18 (запущено в 2005 году) - уменьшение некоторых смещений и дисбалансов в круговороте воды, а также уменьшение паразитных тенденций и скачков в осадках, связанных с изменениями в системе наблюдений. В качестве шага на пути к будущей IESA, MERRA-2 включает в себя ассимиляцию аэрозольных данных и улучшенные представления аспектов криосферы и стратосферы, включая озон, по сравнению с MERRA [36].

2.2 Остаточная меридиональная циркуляция

Оценить влияние солнечной активности и КДК на зональную компоненту, наблюдаемую в стратосфере высоких широт можно опосредовано через остаточную меридиональную циркуляцию.

Остаточная меридиональная циркуляция (ОМЦ) – суперпозиция вихревых и адвективных среднезональных значений.

ОМЦ оценивает остаточные части среднего стока, которые остаются после частичной компенсации эйлеровой среднезональной циркуляции волновыми вихревыми потоками массы, импульса и тепла. Формулы, описывающие ОМЦ включают зонально осреднённые значения параметров атмосферы. Именно такой подход обеспечивает эффективную диагностику воздействия волн на средний поток и дает возможность рассчитать меридиональный перенос массы в атмосфере [37].

$$\bar{v}^* = \bar{v} - \rho^{-1} \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho \frac{\overline{v'\theta'}}{\partial\theta/\partial z} \right) \quad (2.1)$$

$$\bar{w}^* = \bar{w} + \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{\cos \varphi \overline{v'\theta'}}{\partial\theta/\partial z} \right) \quad (2.2)$$

Где, v , w - меридиональная и вертикальная составляющие ветра, ρ - фоновая плотность атмосферы, z - вертикальная логарифмическая изобарическая координата, θ - потенциальная температура, φ – широты, a - радиус земли, v' - отклонения гидродинамических величин от их среднезональных значений, $\bar{w}$ - среднезональное значение.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ДАННЫХ

При работе с данными реанализа MERRA-2, полученными для периода с 1980 по 2020 год, были выделены года с низкой (1985г., 1986г., 1987г., 1994г., 1995г., 1996г., 1997г., 2006г., 2007г., 2008г., 2009г., 2010г., 2017г., 2018г., 2019г., 2020г.) и высокой солнечной активностью (1980г., 1981г., 1989г., 1991г., 2002г.).

Очевидно, что в тропических широтах обоих полушарий должен быть некий отклик на КДК, т.к. КДК – это стратосферное тропическое колебание. В первую очередь анализ проводился на высоте 25 км для 1985г., 1986г., 1987г., 1994г., 1995г., 1996г., 1997г., 2006г., 2007г., 2008г., 2009г., 2010г., 2017г., 2018г., 2019г., 2020г с низкой солнечной активностью. Исследовались отклонения от осредненного широтного профиля без анализа полярных областей, т.к. в стратосфере Северного полушария практически каждую зиму наблюдается внезапное стратосферное потепление, которое нарушает «типичный» термодинамический режим высоких широт.

На рисунке 3.1 представлено распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра от среднего значения, рассчитанного отдельно для лет с низкой солнечной активностью на высоте 25 км. Осцилляция, как и средняя скорость, осреднялась для каждого месяца отдельно в 1985, 1986 и 1987 годах.

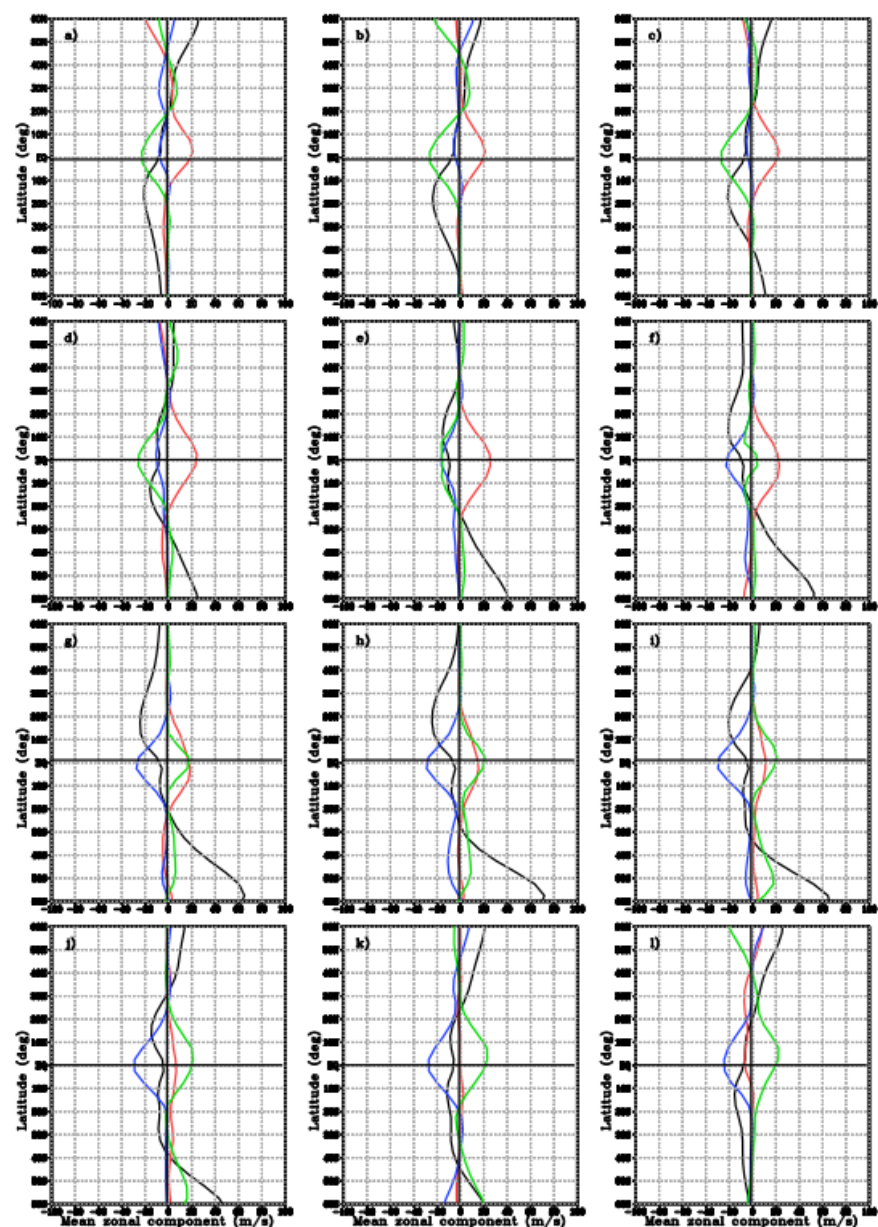


Рисунок 3.1 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 25 км (1985 г. – красная линия, 1986г. – синяя линия, 1987г. – зеленая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, d) – апрель, е) – май, f) – июнь, g) – июль, h) – август, i) – сентябрь, j) – октябрь, k) – ноябрь, l) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.1, можно заметить, что красная (1985г.) и зеленая (1987г.) кривые в средних широтах в период с августа по октябрь отклоняются от средней в одинаковом положительном направлении с равным значением скорости (20 м/с). Сопоставив полученные распределения с фазами КДК (Рисунок 1.2) в эти года, можно увидеть, что в 1985 году была западная фаза КДК, в 1986 – первый триместр года – западная, далее резко меняющаяся на восточную, а в 1987 году фаза резко сменилась с восточной на западную во второй половине года. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что КДК при низкой солнечной активности в 1985-1986гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 25 км.

На рисунке 3.2 представлено аналогичное рисунку 3.1 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 25 км осредненной за каждый месяц в 1994, 1995, 1996 и 1997 годах.

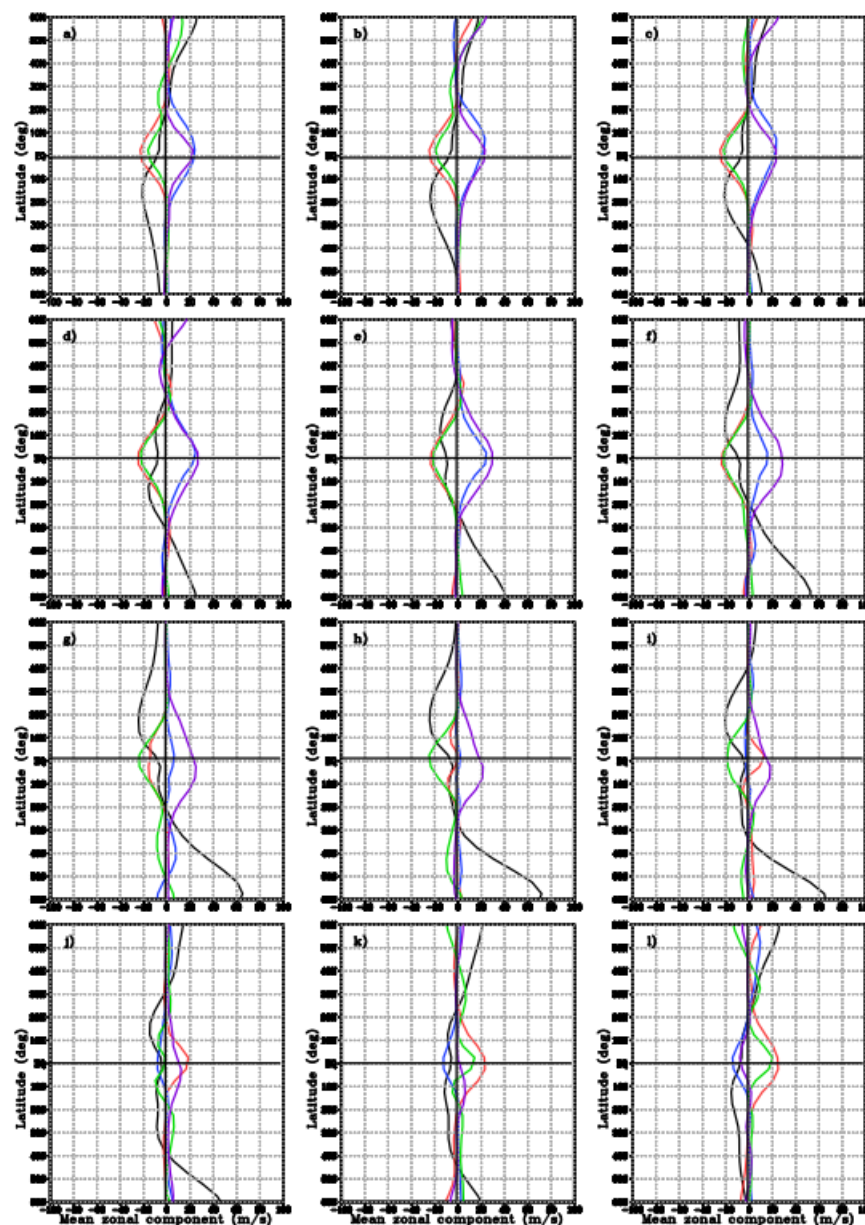


Рисунок 3.2 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 25 км (1994г. – красная линия, 1995г. – синяя линия, 1996г. – зеленая линия, 1997г. – фиолетовая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, д) – апрель, е) – май, ф) – июнь, г) – июль, х) – август, и) – сентябрь, ж) – октябрь, к) – ноябрь, л) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

Из рисунка 3.2 видно, что красная (1994 г.) и зеленая (1996 г.), а также синяя (1995 г.) и фиолетовая (1997г.) кривые в средних широтах отклоняются от средней в отрицательном со скоростью 20 м/с и положительном (20-30 м/с) направлении соответственно. Сравнив полученный результат с фазами КДК (Рисунок 1.2) в 1994, 1995, 1996 и 1997 годах, можно увидеть, что в 1994 году с января по август преобладала восточная фаза КДК, затем плавно сменилась на западную и продлилась с сентября 1994 года по сентябрь 1995 года. После в октябре 1995 года фаза КДК снова плавно сменилась на восточную и продлилась до конца 1996 года, в 1997 году с января по сентябрь преобладала западная фаза, которая в октябре резко сменилась на восточную. Из этого следует, что КДК при низкой солнечной активности в 1994-1997гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 25 км.

На рисунке 3.3 представлено аналогичное рисунку 3.1 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 25 км осредненной за каждый месяц в 2006, 2007, 2008,2009 и 2010 годах.

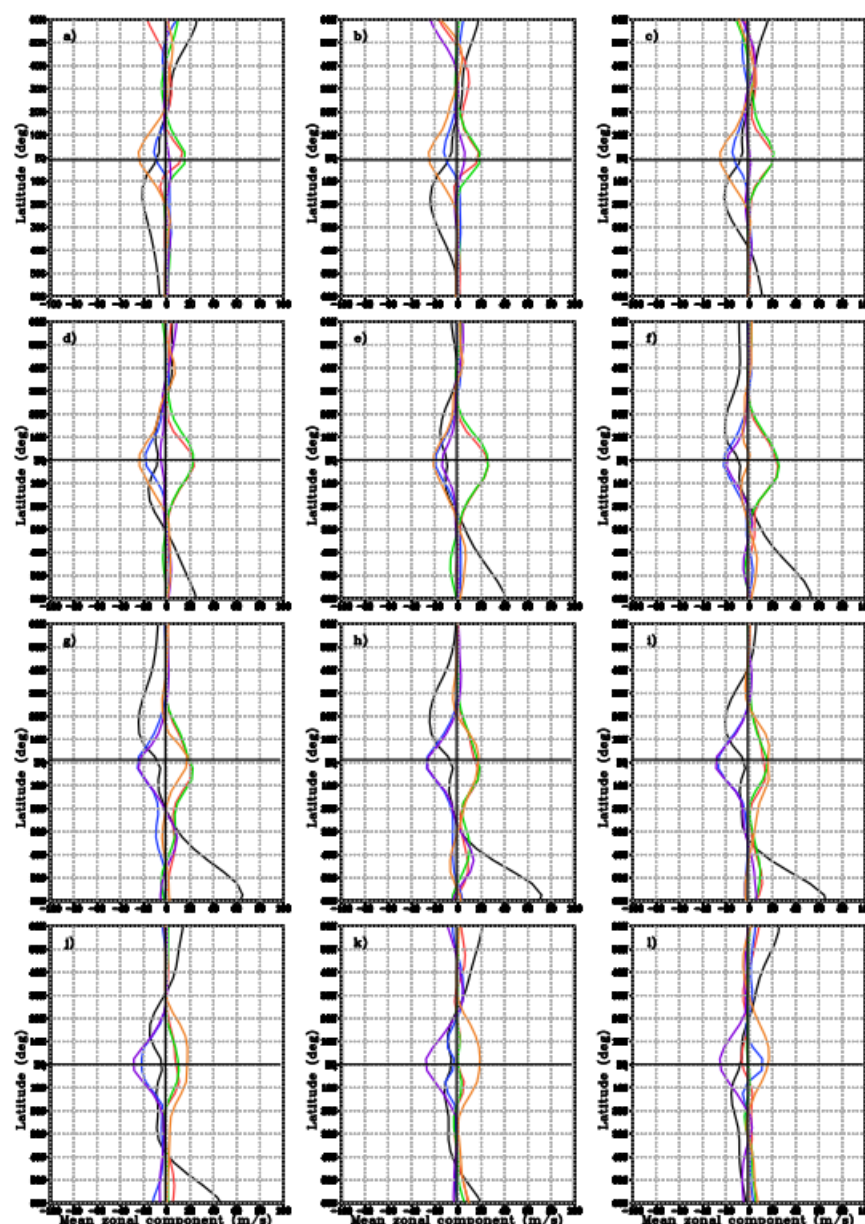


Рисунок 3.3 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 25 км (2006г. – красная линия, 2007г. – синяя линия, 2008г. – зеленая линия, 2009г. – фиолетовая линия, 2010г. – оранжевая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, в) – март, г) – апрель, д) – май, е) – июнь, ж) – июль, з) – август, и) – сентябрь, к) – октябрь, л) – ноябрь, м) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.3 заметно, что красная (2006г.) и зеленая (2008г.) кривые отклоняются от средней в положительном направлении со скоростью 15-25 м/с, а синяя (2007г.) и фиолетовая (2009г.) – в отрицательном, скорость 15-30 м/с. При сравнении с фазами КДК (Рисунок 1.2), видно, что с марта 2006 года по март 2007 года преобладала западная фаза КДК, после ее резко сменила восточная вплоть до февраля 2008, затем ее плавно сменила западная фаза КДК до середины 2009 года, далее до середины 2010 преобладала восточная фаза, которая резко сменилась на западную в июле 2010 года. Из вышесказанного можно сделать вывод, что КДК при низкой солнечной активности в 2006-2009гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 25 км, однако в 2010г. закономерностей не обнаружено.

На рисунке 3.4 представлено аналогичное рисунку 3.1 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 25 км осредненная за каждый месяц в 2017, 2018, 2019 и 2020 годах.

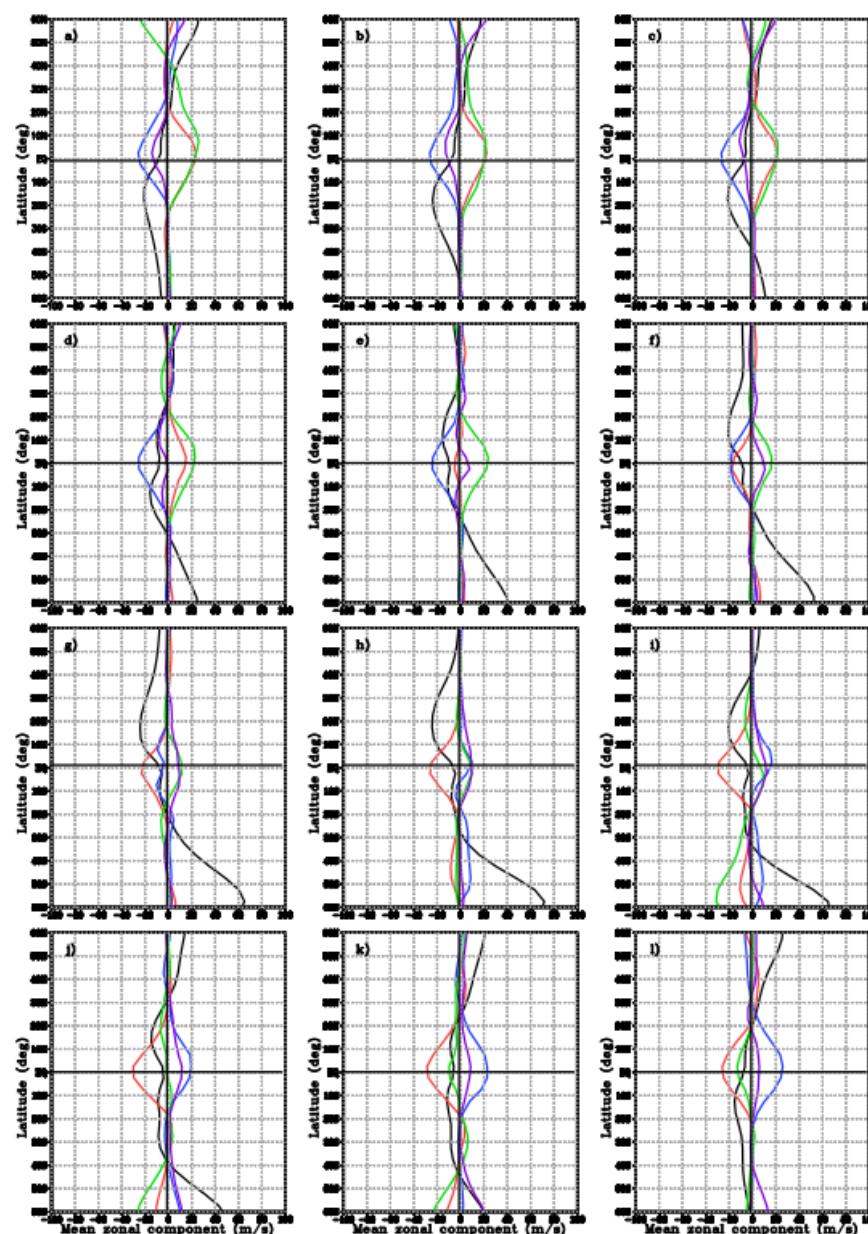


Рисунок 3.4 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 25 км (2017г. – красная линия, 2018г. – синяя линия, 2019г. – зеленая линия, 2020г. – фиолетовая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, d) – апрель, е) – май, f) – июнь, g) – июль, h) – август, i) – сентябрь, j) – октябрь, k) – ноябрь, l) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.4 красная (2017г.) и зеленая (2019г.) кривые одинаково отклоняются от средней в положительном направлении со скоростью 15-20 м/с в январе, феврале, марте и апреле, 2018 и 2020 года различны. Проанализировав фазы КДК для данных лет (Рисунок 1.2), можно увидеть, что в 2017 году с января по апрель была западная фаза КДК, которая в мае 2017 года резко сменилась на восточную и продлилась до сентября 2018 года. Год 2019 полностью приходился на западную фазу КДК, которая продлилась до марта 2020 года, после в 2020 году (фиолетовая кривая) наблюдается «опрокидывание» фазы, следовательно, что КДК при низкой солнечной активности в 2017-2020гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 25 км.

Следующим этапом проводился анализ тропических широт на высоте 35 км и выше для 1985г., 1986г., 1987г., 1994г., 1995г., 1996г., 1997г., 2006г., 2007г., 2008г., 2009г., 2010г., 2017г., 2018г., 2019г., 2020г с низкой солнечной активностью.

На рисунке 3.5 распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра от среднего значения, рассчитанного отдельно для лет с низкой солнечной активностью на высоте 35 км и выше. Осцилляция, как и средняя скорость, осреднялась для каждого месяца отдельно в 1985, 1986 и 1987 годах.

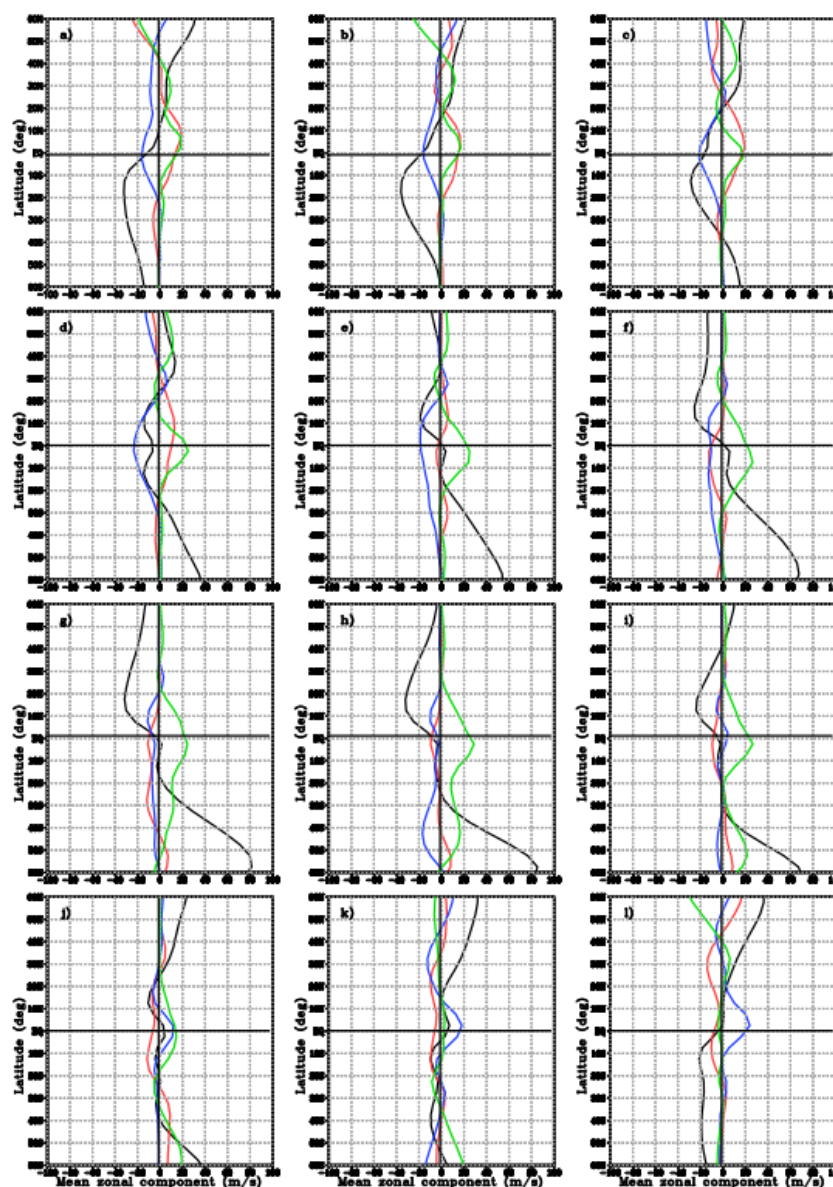


Рисунок 3.5 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 35 км (1985 г. – красная линия, 1986г. – синяя линия, 1987г. – зеленая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, d) – апрель, е) – май, f) – июнь, g) – июль, h) – август, i) – сентябрь, j) – октябрь, k) – ноябрь, l) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.5, закономерностей не обнаружено, следовательно, КДК при низкой солнечной активности в 1985, 1986 и 1987 годах на высоте 35 км проявляются, но не доминируют как на высоте 25 км.

На рисунке 3.6 представлено аналогичное рисунку 3.5 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 35 км осредненная за каждый месяц в 1994, 1995, 1996 и 1997 годах.

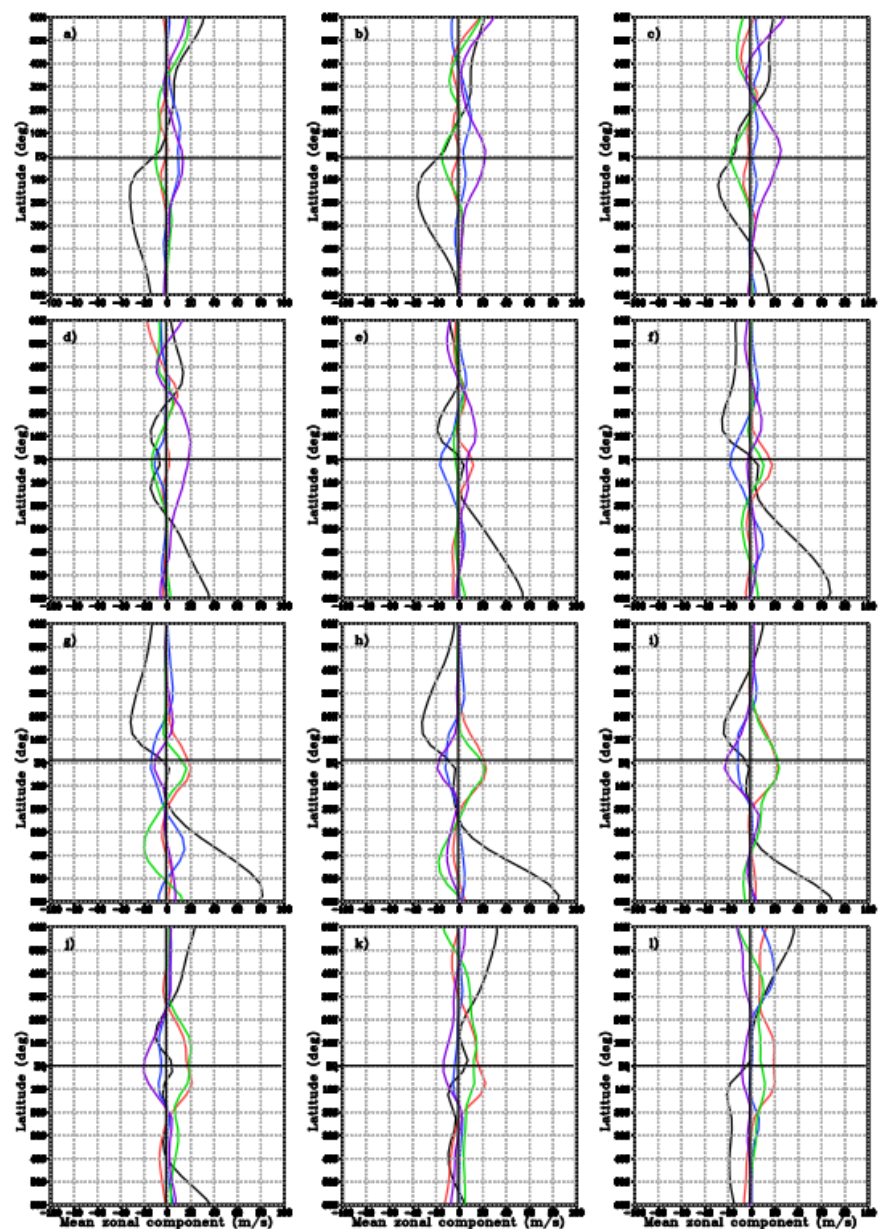


Рисунок 3.6 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 35 км (1994г. – красная линия, 1995г. – синяя линия, 1996г. – зеленая линия, 1997г. – фиолетовая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, д) – апрель, е) – май, ф) – июнь, г) – июль, h) – август, i) – сентябрь, j) – октябрь, k) – ноябрь, l) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.6 можно заметить, что красная (1994 г.) и зеленая (1996г.) кривые в тропических широтах во второй половине года одинаково отклоняются от средней в положительном направлении со скоростью 20 м/с. Синяя (1995 г.) и фиолетовая (1997 г.) кривые в начале года (январь – март) и с июля по декабрь также отклоняются от средней в схожем направлении. Сравнив вышесказанное с фазами КДК (Рисунок 1.2) в эти года, можно увидеть, что с января по май 1994 года доминировала восточная фаза КДК, после чего резко сменилась на западную, которая продлилась до марта 1995 года. Затем в апреле 1995 года произошла резкая смена фазы КДК. Эта восточная фаза доминировала вплоть до июля 1996 года. С августа 1996 года до июля 1997 года была западная фаза КДК, которая в августе резко сменилась на восточную, продолжающуюся до конца рассматриваемого периода. Следовательно, КДК при низкой солнечной активности в 1994-1997гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 35км и выше.

На рисунке 3.7 представлено аналогичное рисунку 3.5 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 35 км осредненная за каждый месяц в 2006, 2007, 2008,2009 и 2010 годах.

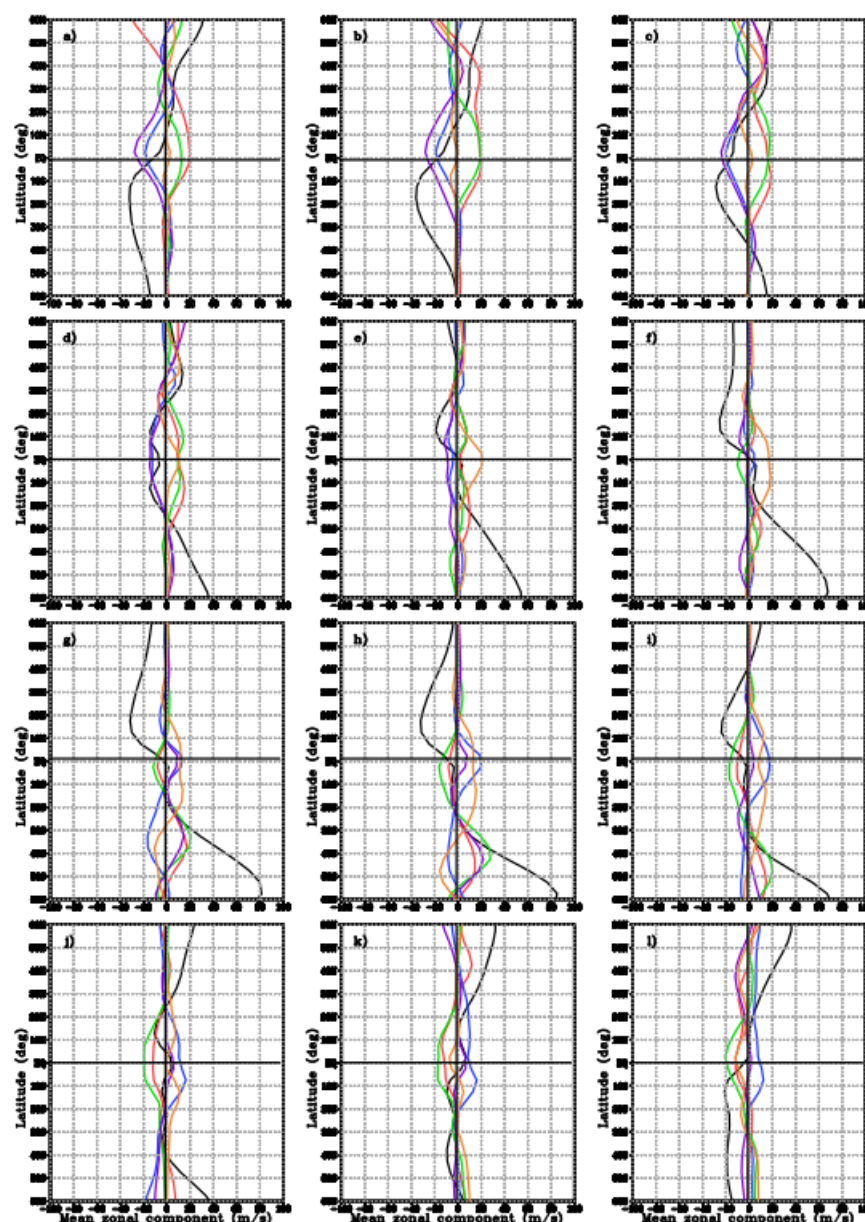


Рисунок 3.7 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 35 км (2006г. – красная линия, 2007г. – синяя линия, 2008г. – зеленая линия, 2009г. – фиолетовая линия, 2010г. – оранжевая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, d) – апрель, е) – май, f) – июнь, g) – июль, h) – август, i) – сентябрь, j) – октябрь, k) – ноябрь, l) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

Из рисунка 3.7 видно, что красная (2006 г.) и зеленые (2008 г.) кривые отклоняются от средней в положительном направлении в первую половину года и в отрицательном во вторую половину года со скоростью 15-20 м/с, это связано с тем, что на май – июль приходится смена фазы КДК (Рисунок 1.2) синяя (2007 г.) и фиолетовая (2008 г.) кривые в первую половину года отклоняются в отрицательном направлении со скоростью 15-30 м/с, после чего происходит смена фазы КДК (Рисунок 1.2). Из этого следует вывод, что КДК при низкой солнечной активности в 2006-2010гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 35 км и выше, однако в 2010г. закономерностей не обнаружено.

На рисунке 3.8 представлено аналогичное рисунку 3.5 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 35 км осредненная за каждый месяц в 2017, 2018, 2019 и 2020 годах.

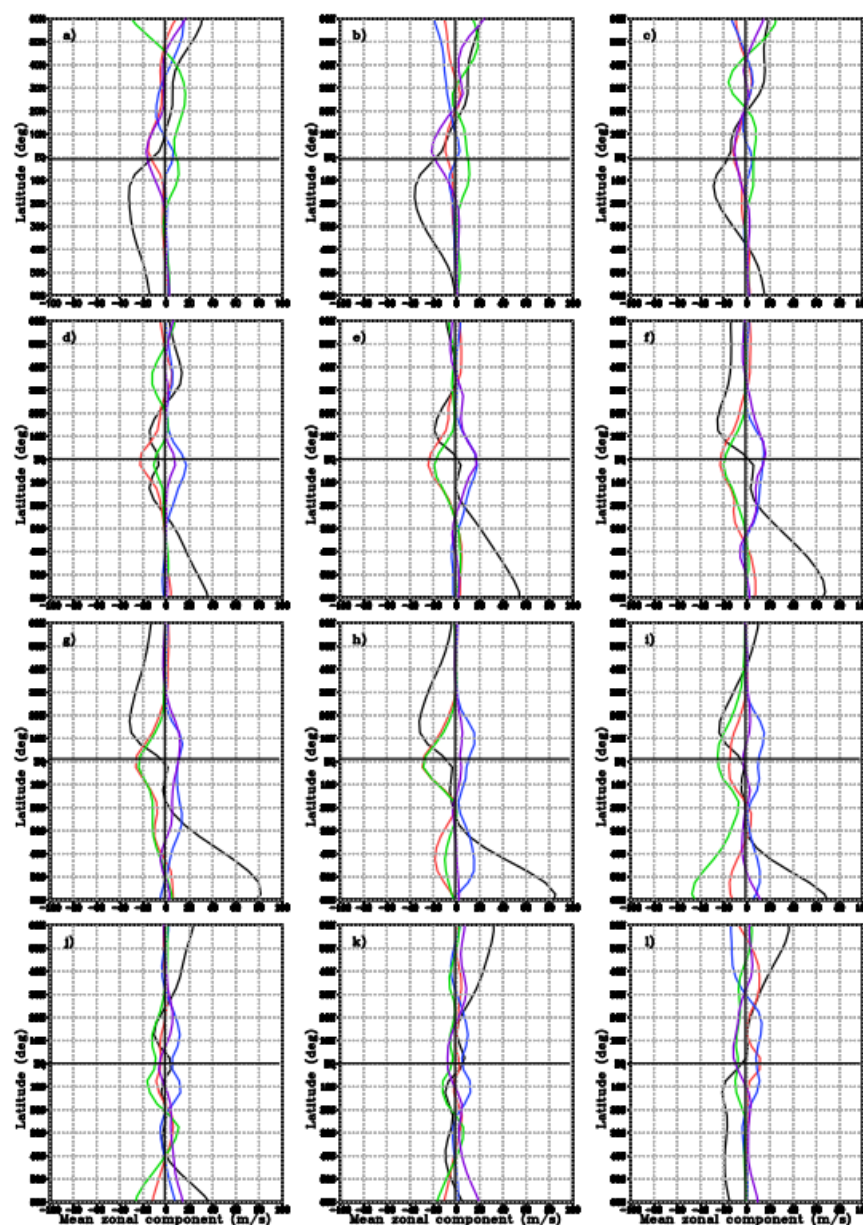


Рисунок 3.8 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 35 км (красный - 2017г. – красная линия, 2018г. – синяя линия, 2019г. – зеленая линия, 2020г. – фиолетовая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, в) – март, г) – апрель, д) – май, е) – июнь, ж) – июль, з) – август, и) – сентябрь, я) – октябрь, к) – ноябрь, л) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.8 заметно, что красная (2017 г.) и зеленые (2019 г.) кривые одинаково отличаются от средней с мая по сентябрь, а синяя (2018 г.) и фиолетовая (2020г.) кривые схожи в мае, июне и июле, при сравнении с фазой КДК (рисунок 1.2), можно увидеть, что в случае с красной кривой (2017 г.) смена фазы приходится на март-апрель, с зеленой (2019г.) смена фазы приходится на апрель-май, в случае с синей кривой (2018г.) на апрель-май, а в случае фиолетовой (2020г.) смена фазы происходит дважды в апреле-мае и июле –августе, наблюдается «опрокидывание» фазы КДК. Тем не менее КДК при низкой солнечной активности в 2017-2020 годах доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 35 км и выше.

На рисунке 3.9 представлено распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра от среднего значения, рассчитанного отдельно для лет с низкой солнечной активностью на высоте 15 км. Осцилляция, как и средняя скорость, осреднялась для каждого месяца отдельно в 1985, 1986 и 1987 годах.

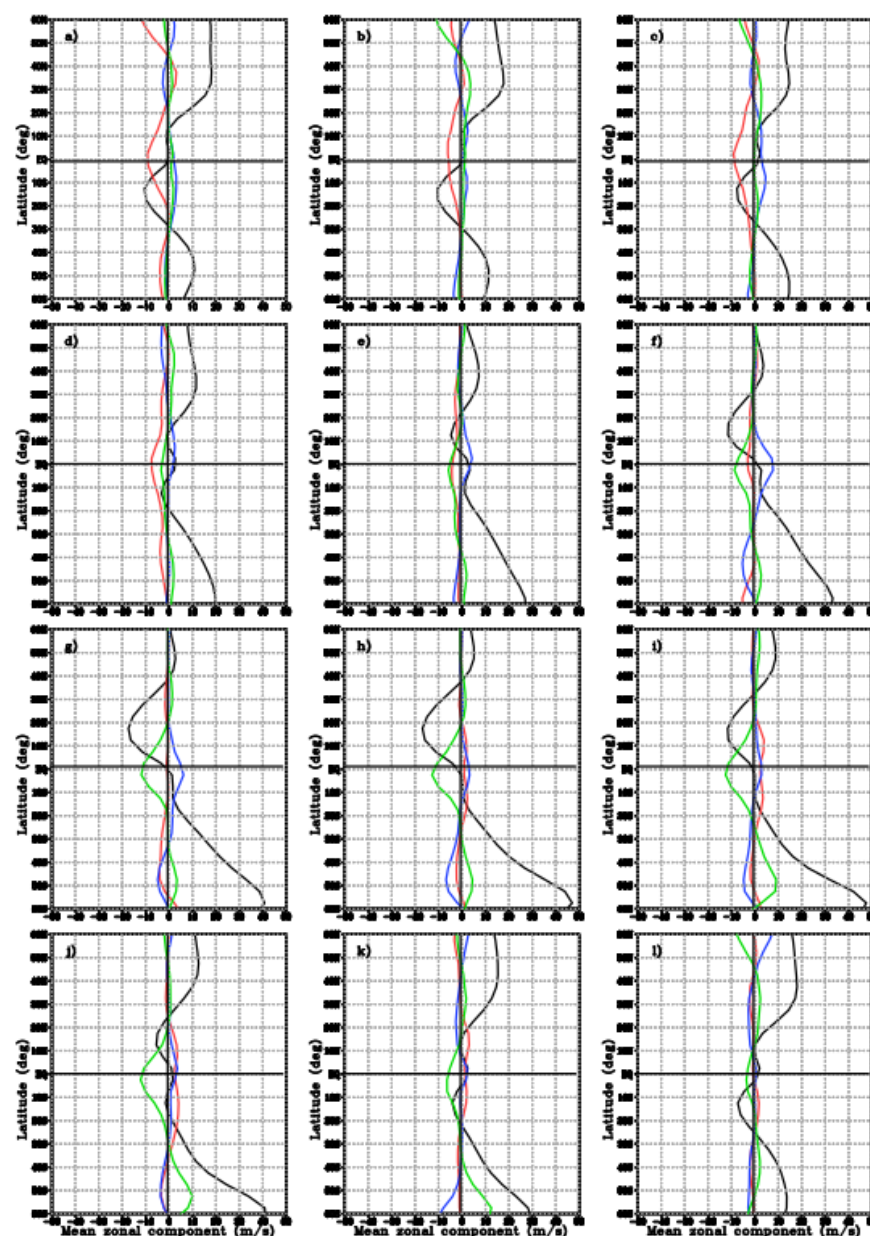


Рисунок 3.9 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 15 км (1985 г. – красная линия, 1986г. – синяя линия, 1987г. – зеленая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, д) – апрель, е) – май, ф) – июнь, г) – июль, h) – август, i) – сентябрь, j) – октябрь, к) – ноябрь, l) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.9, можно заметить, что красная (1985 г.) и зеленая (1987 г.) кривые отклоняются от средней в отрицательном направлении в апреле – июне с равным значением скорости 5-10 м/с. Сопоставив данные рисунка 3.9 с фазами КДК (Рисунок 1.2) в эти года, можно увидеть, что в 1985 в первую половину года преобладала восточная фаза КДК, после сменилась на западную и продлилась до марта 1987 года, затем в апреле 1987 сменилась на восточную. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что КДК при низкой солнечной активности доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 15 км только в апреле – июне 1985 и 1986 годов.

На рисунке 3.10 представлено аналогичное рисунку 3.9 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 15 км осредненная за каждый месяц в 1994, 1995, 1996 и 1997 годах.

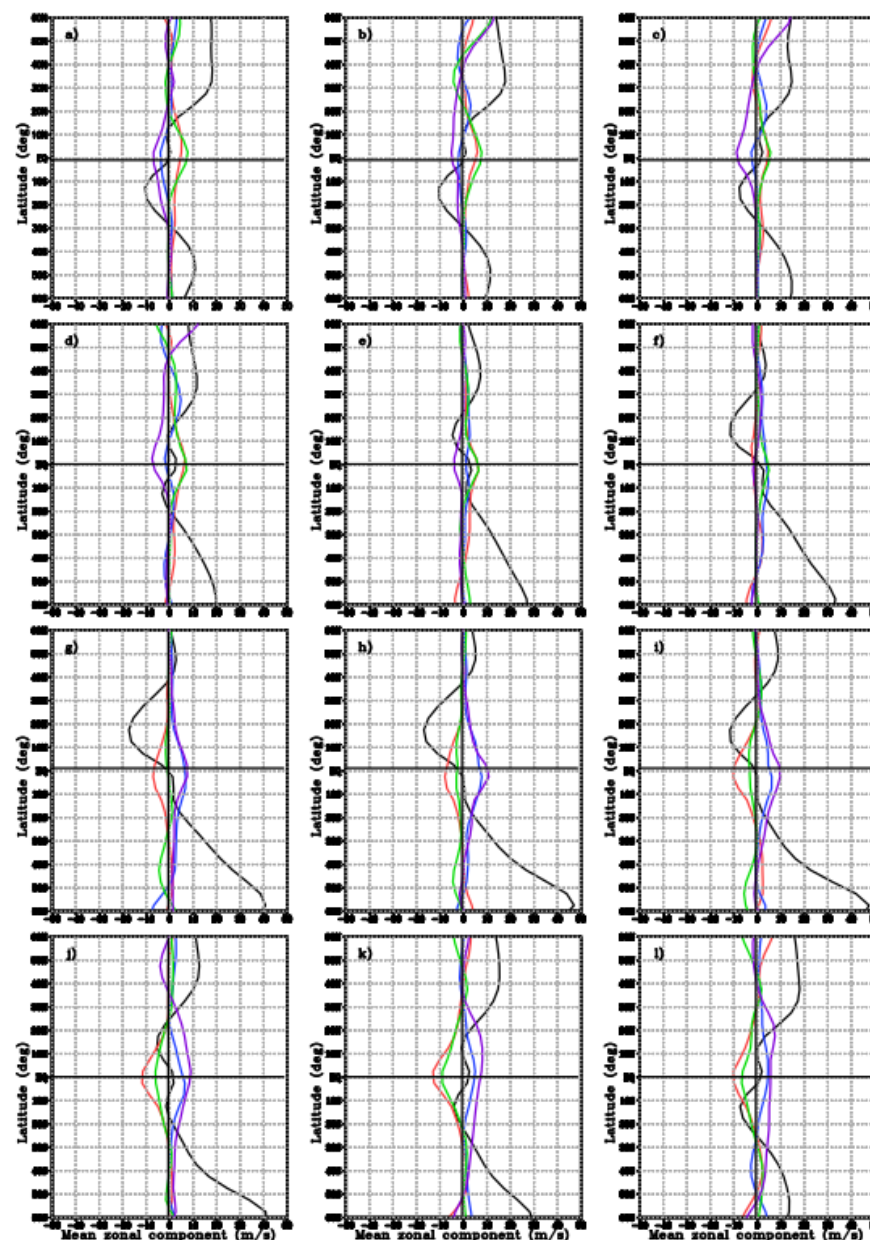


Рисунок 3.10 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 15 км (1994г. – красная линия, 1995г. – синяя линия, 1996г. – зеленая линия, 1997г. – фиолетовая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, д) – апрель, е) – май, ф) – июнь, г) – июль, h) – август, i) – сентябрь, j) – октябрь, k) – ноябрь, л) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.10 видно, что красная (1994 г.) и зеленая (1996 г.) кривые отклоняются от средней в положительном направлении со значением скорости 5-10 м/с в первую и в отрицательном направлении во вторую половину года со скоростью 5-15 м/с. Синяя (1995 г.) и фиолетовая (1997 г.) кривые с июля по октябрь отклоняются от средней в положительном направлении с равным значением скорости 5-10 м/с. Сопоставив эти данные с фазами КДК (Рисунок 1.2) в эти года, можно увидеть, что в первую половину 1994 года преобладала западная фаза КДК, после сменилась на восточную, которая в середине 1996 года переменялась на западную. С середины 1996 года по середину 1997 года преобладала восточная фаза КДК. В июле – ноябре 1997 года была западная фаза, в декабре проникла восточная. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что КДК при низкой солнечной активности в 1994-1997 гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 15 км только в некоторых месяцах каждого года данного солнечного цикла.

На рисунке 3.11 представлено аналогичное рисунку 3.9 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 15 км осредненная за каждый месяц в 2006, 2007, 2008, 2009 и 2010 годах.

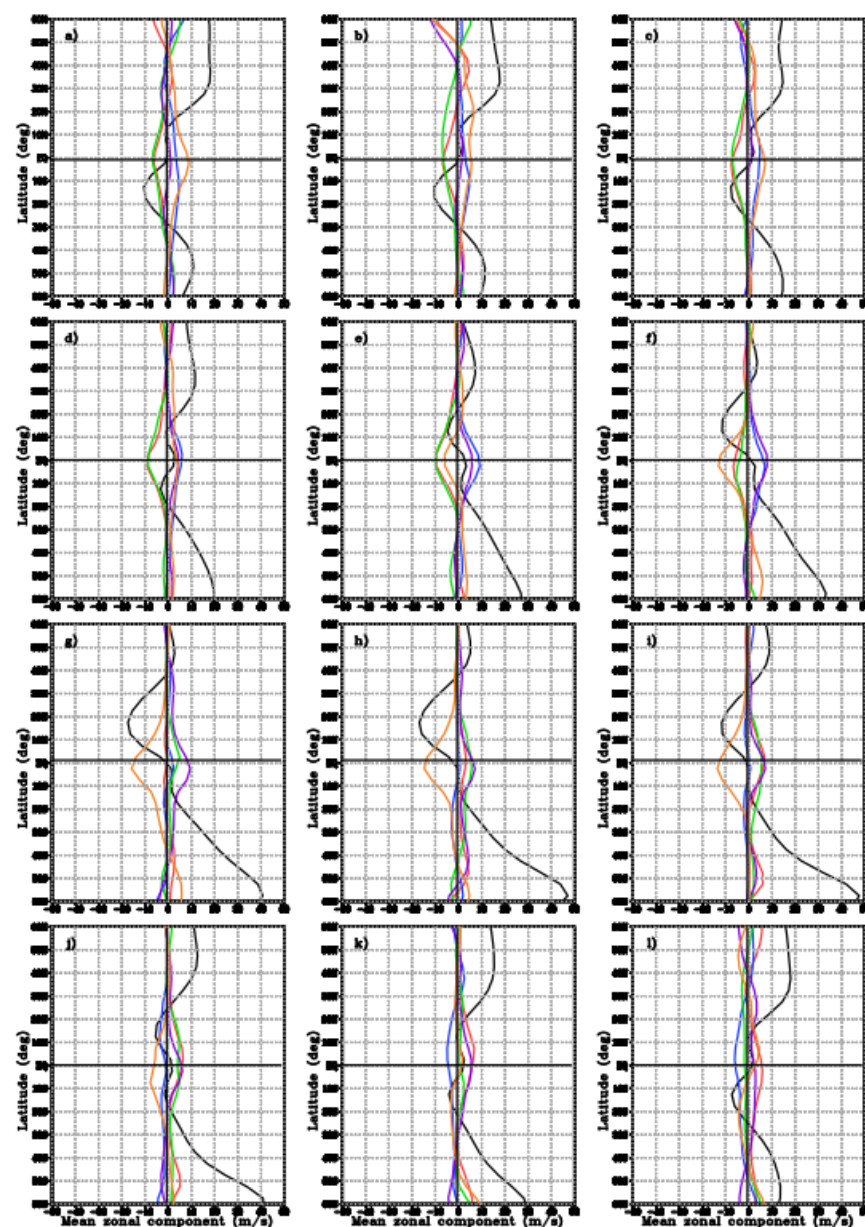


Рисунок 3.11 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 15 км (2006г. – красная линия, 2007г. – синяя линия, 2008г. – зеленая линия, 2009г. – фиолетовая линия, 2010г. – оранжевая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, d) – апрель, е) – май, f) – июнь, g) – июль, h) – август, i) – сентябрь, j) – октябрь, k) – ноябрь, l) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

Из рисунка 3.11 заметно, что зеленая (2006 г.) и красная (2008 г.) кривые отклоняются от средней влево в первую половину года с равным значением скорости 5-10 м/с, в сентябре и октябре отклоняются вправо со значением скорости около 5 м/с. Оранжевая (2010 г.) кривая ведет себя похоже с 2006 и 2008 годом только в мае, июне (скорость 5-15 м/с). Синяя (2007 г.) и фиолетовая (2009 г.) кривые одинаково ведут себя и отклоняются от средней в положительном направлении со скоростью 5-10 м/с лишь в период с апреля по июнь. Сопоставив данные с рисунка 3.11 с фазами КДК (Рисунок 1.2) в эти года, можно увидеть, что с января по август 2006 года была восточная фаза КДК, после с сентября 2006 года по октябрь 2007 года преобладала западная. С ноября 2007 по июль 2008 года наблюдалась восточная фаза, которая сменилась в августе на западную фазу КДК, продлившуюся лишь до ноября 2008 года. В декабре 2008 и январе 2009 года была восточная фаза КДК. С февраля 2009 по апрель 2010 года снова преобладала западная фаза, которая в мае сменилась на восточную и продлилась до ноября 2010г. в декабре 2010 года доминировала западная фаза КДК. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что КДК при низкой солнечной активности в 2006-2010гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 15 км только в некоторых месяцах каждого года данного солнечного цикла.

На рисунке 3.12 представлено аналогичное рисунку 3.9 распределение отклонение среднезональной компоненты скорости ветра на высоте 15 км осредненная за каждый месяц в 2017, 2018, 2019 и 2020 годах.

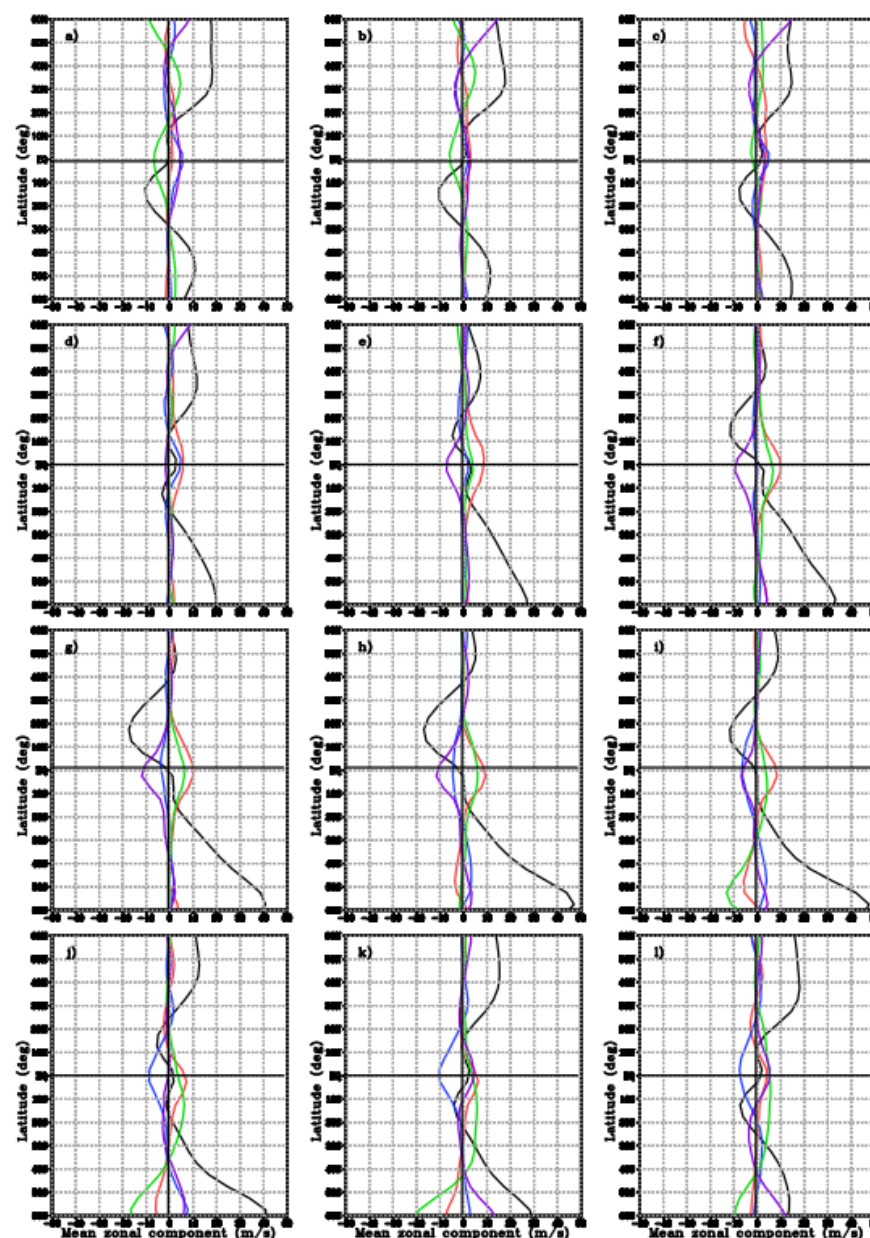


Рисунок 3.12 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при низкой солнечной активности на высоте 15 км (красный - 2017г. – красная линия, 2018г. – синяя линия, 2019г. – зеленая линия, 2020г. – фиолетовая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, д) – апрель, е) – май, ф) – июнь, г) – июль, h) – август, и) – сентябрь, j) – октябрь, k) – ноябрь, л) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.12 можно заметить, что красная (2017г.) и зеленая (2019 г.) кривые отклоняются от средней в положительном направлении с июня по сентябрь с равным значением скорости (5-10 м/с). Синяя (2018 г.) и фиолетовая (2020 г.) отклоняются от средней в одинаковом отрицательном направлении со скоростью 5-15 м/с с июля по сентябрь. Сравнив данный рисунок с фазами КДК (Рисунок 1.2), можно увидеть, что с января 2017 по май 2018 года доминировала западная фаза, после в июне сменилась на восточную, которая была до мая 2019 года. В июне 2019 года началась западная фаза, затем в 2020 году с мая по октябрь проникла восточная фаза, после чего снова доминировала восточная фаза КДК. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что КДК при низкой солнечной активности в 2017-2020гг. доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 15 км только частично.

Далее проводился анализ тропических широт на высоте 25 км для 1980г., 1981г., 1989г., 1991г. и 2002г. с высокой солнечной активностью.

На рисунке 3.13 представлено распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра от среднего значения, рассчитанного отдельно для лет с высокой солнечной активностью на высоте 25 км. Осцилляция, как и средняя скорость, осреднялась для каждого месяца отдельно в 1980, 1981, 1989, 1991 и 2002 годах.

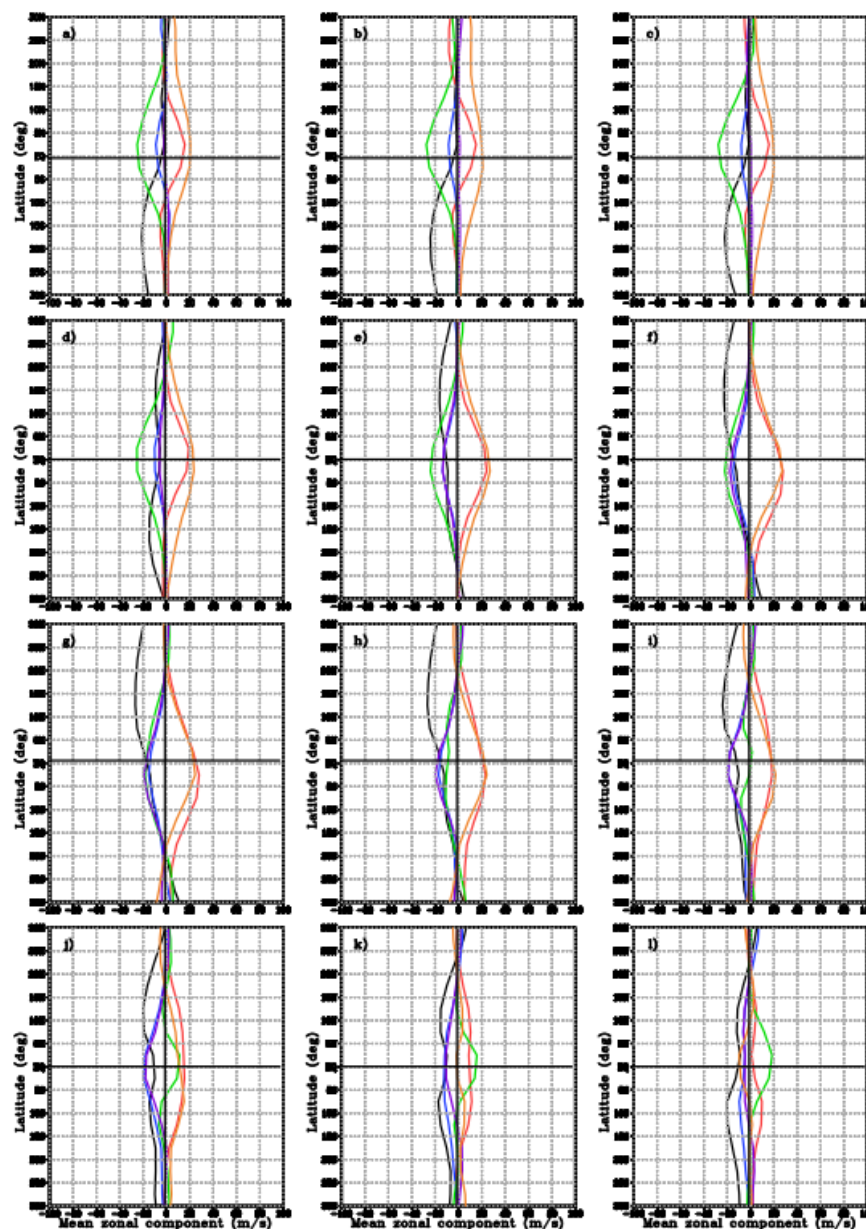


Рисунок 3.13 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при высокой солнечной активности на высоте 25 км (1980г. – красная линия, 1981г. – синяя линия, 1989г. – зеленая линия, 1991г. – фиолетовая линия, 2002г. – оранжевая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, д) – апрель, е) – май, ф) – июнь, г) – июль, h) – август, и) – сентябрь, j) – октябрь, к) – ноябрь, л) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.13 видно, что красная (1980г.) и оранжевая (2002г.) кривые отклоняются от средней в положительном направлении со скоростью 25-30 м/с. Синяя (1981г.) и фиолетовая (1991г.) кривые отклоняются от средней в отрицательном направлении со скоростью до 20-25 м/с. Сопоставив эти данные с фазами КДК (Рисунок 1.2) в эти года, можно увидеть, что в 1980 году весь год доминировала западная фаза КДК, которая продлилась до апреля 1981 года, затем с мая по декабрь была восточная фаза КДК. В 1989 весь год доминировала восточная фаза КДК. В 1991 с января по апрель преобладала западная фаза КДК, после с мая по декабрь сменилась на восточную. В 2002 году с января по октябрь доминировала западная, после чего с ноября по декабрь – восточная фаза КДК. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что КДК при высокой солнечной активности в 1980, 1981, 1989, 1991 и 2002 годах доминирует в определении направления среднезональной компоненты на 25 км.

На рисунке 3.14 представлено распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра от среднего значения, рассчитанного отдельно для лет с высокой солнечной активностью на высоте 35 км. Осцилляция, как и средняя скорость, осреднялась для каждого месяца отдельно в 1980, 1981, 1989, 1991 и 2002 годах.

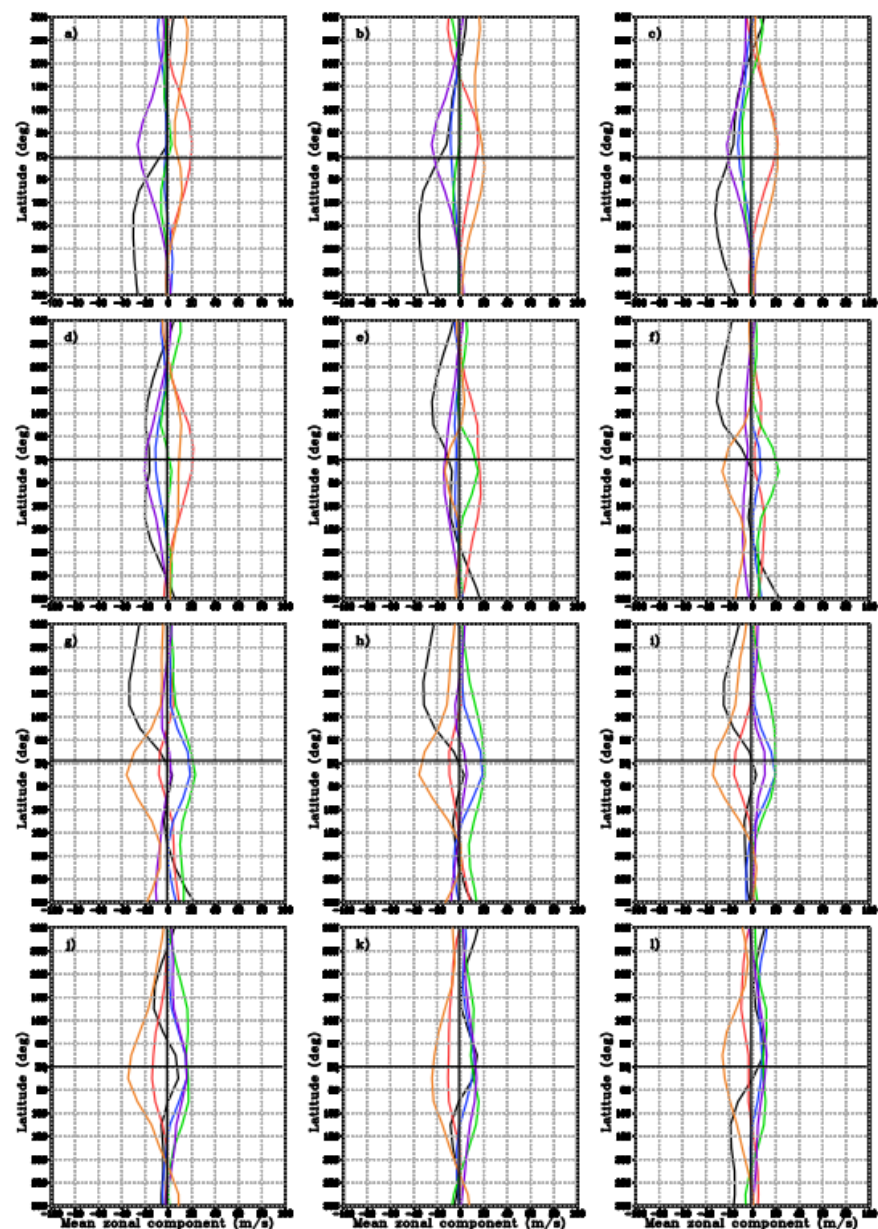


Рисунок 3.14 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при высокой солнечной активности на высоте 35 км (1980г. – красная линия, 1981г. – синяя линия, 1989г. – зеленая линия, 1991г. – фиолетовая линия, 2002г. – оранжевая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, с) – март, д) – апрель, е) – май, ф) – июнь, г) – июль, h) – август, и) – сентябрь, j) – октябрь, к) – ноябрь, л) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.14 можно заметить, что красная (1980г.) и оранжевая (2002г.) кривые в первом полугодии отклоняются от средней в положительном, а во втором полугодии – в отрицательном направлении с разными скоростями. Синяя (1981г.) и фиолетовая (1991г.) кривые отклоняются от средней в первом полугодии в отрицательном со скоростями до 25 м/с, а во втором – в положительном направлении со скоростями до 20 м/с. Зеленая (1989г.) кривая во втором полугодии ведет себя схоже с 1981 и 1991 годами. Сопоставив эти данные с фазами КДК (Рисунок 1.2) в эти года, можно увидеть, что с января по июнь 1980 года доминировала западная фаза КДК, после с июля по ноябрь доминировала восточная фаза, затем на один месяц (декабрь) пришлась западная фаза. 1981 год начался с доминирования восточной фазы КДК до июня, после в июле фаза сменилась на западную, которая продлилась до конца этого года. В 1989 году с января по июль преобладала восточная, а после до декабря западная фазы КДК. Большая часть 1991 года (с января по сентябрь) была в восточной фазе, а с октября по декабрь наблюдалась западная фаза. 2002 год начался с западной фазы, которая в мае-июне сменилась на восточную фазу КДК. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что КДК при высокой солнечной активности в 1980, 1981, 1989, 1991 и 2002 годах не преобладает в определении направления среднезональной компоненты на 35 км.

На рисунке 3.15 представлено распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра от среднего значения, рассчитанного отдельно для лет с высокой солнечной активностью на высоте 15 км. Осцилляция, как и средняя скорость, осреднялась для каждого месяца отдельно в 1980, 1981, 1989, 1991 и 2002 годах.

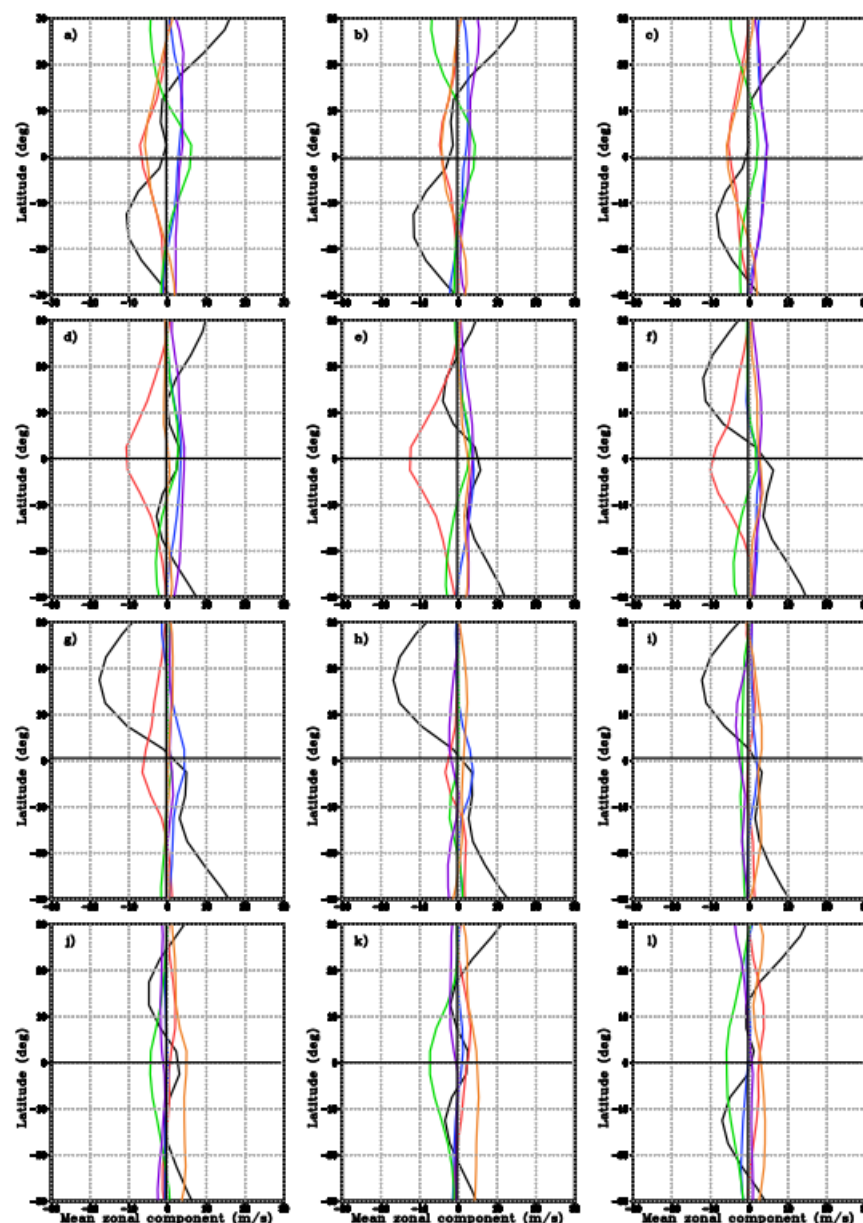


Рисунок 3.15 – Распределение осцилляции среднезональной компоненты скорости ветра среднего многолетнего значения при высокой солнечной активности на высоте (1980г. – красная линия, 1981г. – синяя линия, 1989г. – зеленая линия, 1991г. – фиолетовая линия, 2002г. – оранжевая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия) а) – январь, б) – февраль, в) – март, г) – апрель, д) – май, е) – июнь, ж) – июль, з) – август, и) – сентябрь, я) – октябрь, к) – ноябрь, л) – декабрь. Ось X – скорость ветра, м/с, ось Y – широты (град.)

На рисунке 3.15 можно заметить, что красная (1980г.) и оранжевая (2002г.) кривые в январе, феврале и марте отклоняются от средней в отрицательном направлении со скоростью около 5 м/с, в другие месяцы без закономерностей. Синяя (1981г.) и фиолетовая (1991г.) кривые отклоняются от средней в положительном направлении в первом полугодии со скоростью также около 5 м/с. Сопоставив эти данные с фазами КДК (Рисунок 1.2) в эти года, можно увидеть, что в 1980 году доминировала восточная, а в 1981 году западная фаза КДК. С января по сентябрь 1989 года была западная, а с октября по декабрь восточная фаза. В первом полугодии 1991 года доминировала западная фаза КДК, которая в августе этого же года сменилась на восточную и продлилась до конца года. В 2002 году с января по август была восточная фаза, а с сентября по декабрь – западная. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что КДК при высокой солнечной активности в 1980, 1981, 1989, 1991 и 2002 годах не преобладает в определении направления среднезональной компоненты на 15 км.

На рисунках 3.16, 3.17 представлено распределение среднезональной компоненты скорости ветра в годы с низкой (2006-2010гг.) и высокой (1980, 1981, 1989, 1991 и 2002гг.) солнечной активности на высоте 25 км в средних широтах.

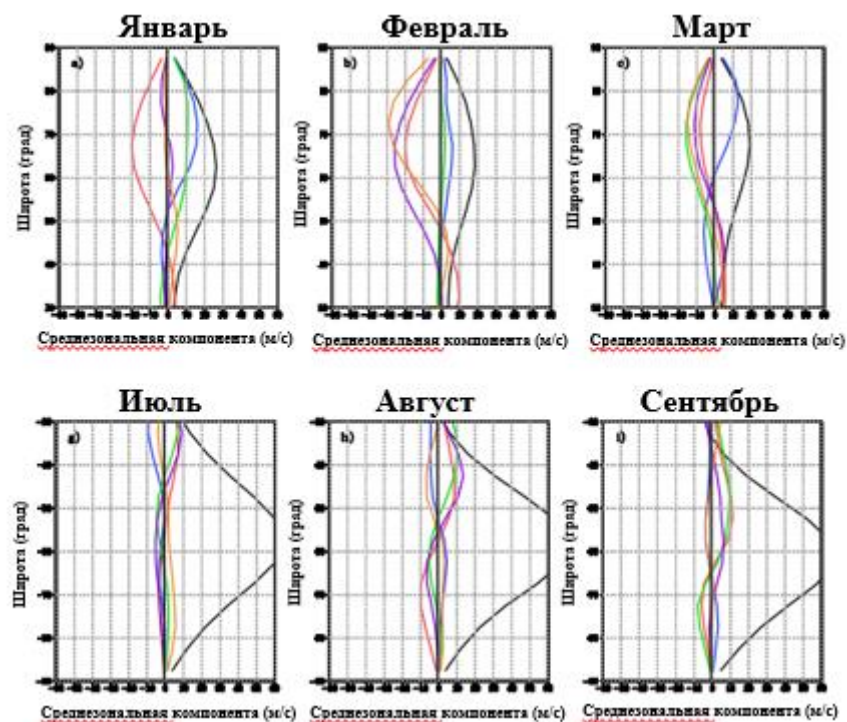


Рисунок 3.16 – Распределение среднезональной компоненты скорости ветра при низкой солнечной активности на высоте 25 км в средних широтах в 2006-2010гг. (2006г. – красная линия, 2007г. – синяя линия, 2008г. – зеленая линия, 2009г. – фиолетовая линия, 2010г. – оранжевая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия)

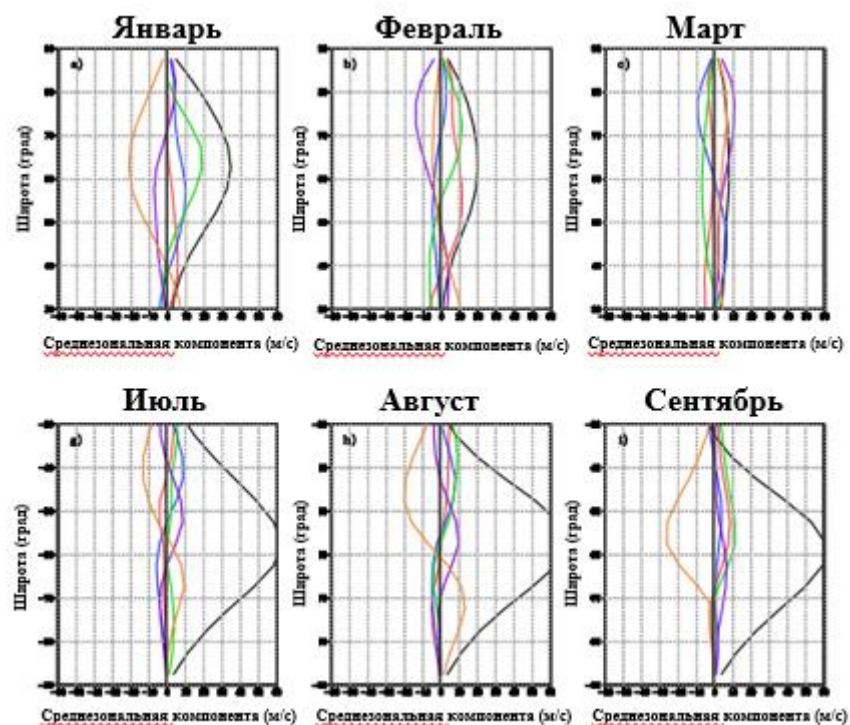


Рисунок 3.17 – Распределение среднезональной компоненты скорости ветра при высокой солнечной активности на высоте 25 км в средних широтах в 1980, 1981, 1989, 1991 и 2002гг. (1980г. – красная линия, 1981г. – синяя линия, 1989г. – зеленая линия, 1991г. – фиолетовая линия, 2002г. – оранжевая линия, осредненная зональная компонента за все годы с низкой активностью – черная линия)

Из рисунков 3.16 и 3.17 видно, что в средних широтах Северного полушария при высокой солнечной активности аномалии меньше (до 20 м/с). При низкой солнечной активности отклонения от средней достигают 30 м/с. В Южном полушарии аномалии одинаковые (до 10 м/с) как при высокой, так и при низкой солнечной активности, исключение составляет 2002 год, когда наблюдалось внезапное стратосферное потепление. Осцилляции в Северном полушарии больше, что связано с топографическими особенностями.

Проанализировав исследуемые года с низкой и высокой солнечной активностью, можно сделать следующие выводы:

1. Отклонение от осредненной среднезональной компоненты вне зависимости от солнечной активности не превышают 30 м/с по модулю. Следует отметить, что отклонения, достигающие 30 м/с наблюдаются как в условиях с низкой, так и с высокой солнечной активностью. Максимальное отклонение при низкой солнечной активности на высоте 25 км наблюдается в августе – сентябре 1986г., 2009г. и 2017г. от 5° ю.ш. до 5° с.ш., при высокой солнечной активности на этой же высоте максимальное отклонение наблюдается в июне-июле 1980 г. на 5° ю.ш. На высоте 35 км максимальное отклонение – 35 м/с в 2002г. июль – октябрь на 5° ю.ш. Анализ полярных широт не проводился.

2. Влияние фазы КДК при низкой солнечной активности на разных высотах в тропической стратосфере сказывается по-разному: на 15 км влияние КДК – наименьшее, что вероятно связано с влиянием тропопаузы и особенностью используемой модели реанализа, на высоте 25 км направление зональной компоненты в тропической зоне всегда соответствует фазе КДК, максимальное отклонение от средней – 30 м/с, на высоте 35 км влияние КДК ослабевает, четче всего отклик КДК виден в 1994-1997 года (переходный период между 22-23 солнечными циклами), обратная ситуация для переходного периода между 21-22 солнечными циклами (1985-1987гг.).

3. Влияние фазы КДК при высокой солнечной активности на разных высотах в тропической стратосфере сказывается по-разному: на 15 км влияние КДК – наименьшее, на высоте 25 км направление зональной компоненты в тропической зоне соответствует фазе КДК, на высоте 35 км фаза КДК не прослеживается.

4. Средние широты сложно анализировать, фазы КДК здесь уже меньше сказываются. В средних широтах Северного полушария при высокой солнечной активности аномалии меньше (до 20 м/с). При низкой солнечной активности отклонения от средней достигают 30 м/с. В Южном полушарии

аномалии одинаковые (до 10 м/с) как при высокой, так и при низкой солнечной активности, исключение составляет 2002 год, когда наблюдалось внезапное стратосферное потепление. Осцилляции в Северном полушарии больше, что связано с топографическими особенностями.

КДК играет важную роль в тропиках, а к средним широтам оно ослабевает, но опосредованно через остаточную меридиональную циркуляцию (ОМЦ) оно влияет на динамику стратосферы высоких широт, поэтому для сравнения были выбраны «яркие» года в высокую (1989г. и 1991г.) и в низкую (1994г. и 1995г.) солнечную активность.

На рисунке 3.16 представлена ОМЦ в первом полугодии 1994 года на высоте 15 – 45 км при низкой солнечной активности.

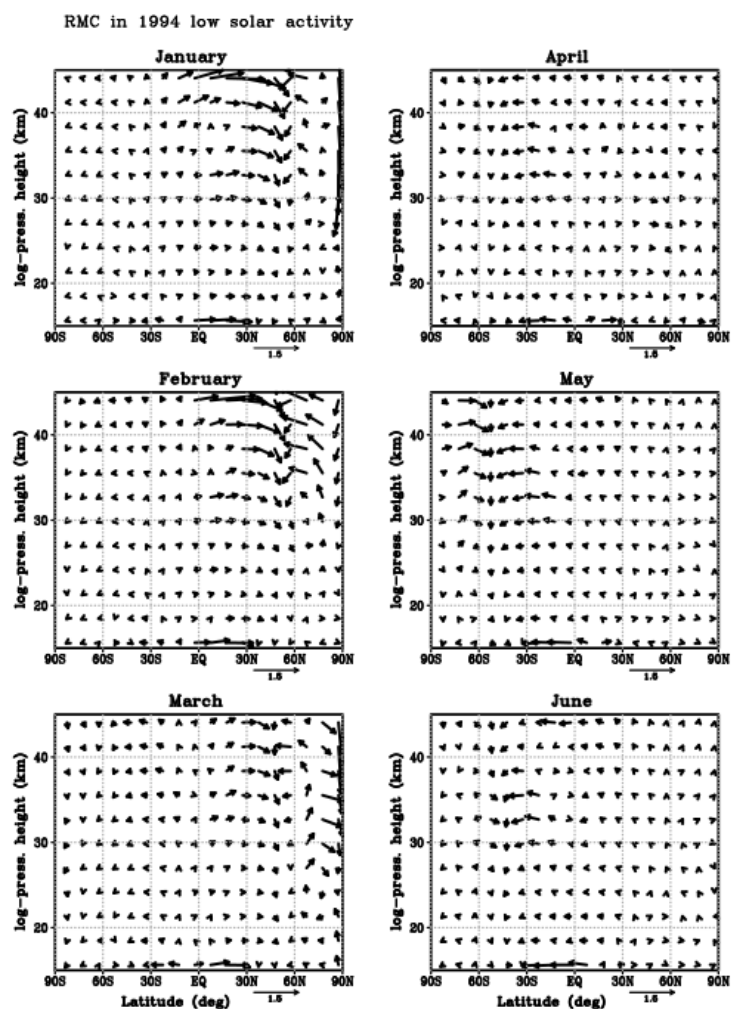


Рисунок 3.16 – Остаточная меридиональная циркуляция в январе (а), феврале (б), марте (с), апреле (д), мае (е) и июне (ф) 1994 года на высоте 15 – 45 км при низкой солнечной активности.

На рисунке 3.16 в январе наблюдается поток ОМЦ от экватора к 50° с.ш. на высоте 30-45 км, причем с высоты 40 км заметно усиление данного потока. Также присутствуют потоки от Северного полюса к 50° с.ш. на высоте 30-45 км, соответственно можно заметить сходимость потоков на данной широте. Видны сильные нисходящие потоки на 90° с.ш. от 45 км до 25 км. В Южном полушарии очень слабый перенос.

В феврале наблюдается поток ОМЦ от экватора к 50° с.ш. на высоте 33-45 км, с тенденцией на усиление. Также присутствуют потоки от Северного полюса к 50° с.ш. на высоте 33-45 км, соответственно можно заметить

сходимость потоков на данной широте. Видны нисходящие потоки, которые слабее, чем в январе на 90° с.ш. от 45 км до 30 км. В Южном полушарии перенос незначительный.

В марте можно заметить слабую сходимость потоков на 45° с.ш. на высоте 30-45 км, восходящие потоки на 70° с.ш. и нисходящие потоки на 90° с.ш.

В апреле наблюдается слабый перенос в обоих полушариях.

В мае видно схождение потоков на 50° ю.ш. от экватора и от Южного полюса на высоте 30-45 км. В Северном полушарии незначительный перенос.

В июне можно заметить очень слабый перенос от 20° ю.ш. к 45° ю.ш. на высоте 30-40 км и небольшие затоки с Южного полюса и соответственно сходимость потоков на данной широте и высоте. В Северном полушарии незначительный перенос.

На рисунке 3.17 представлена ОМЦ во втором полугодии 1994 года на высоте 15 – 45 км при низкой солнечной активности.

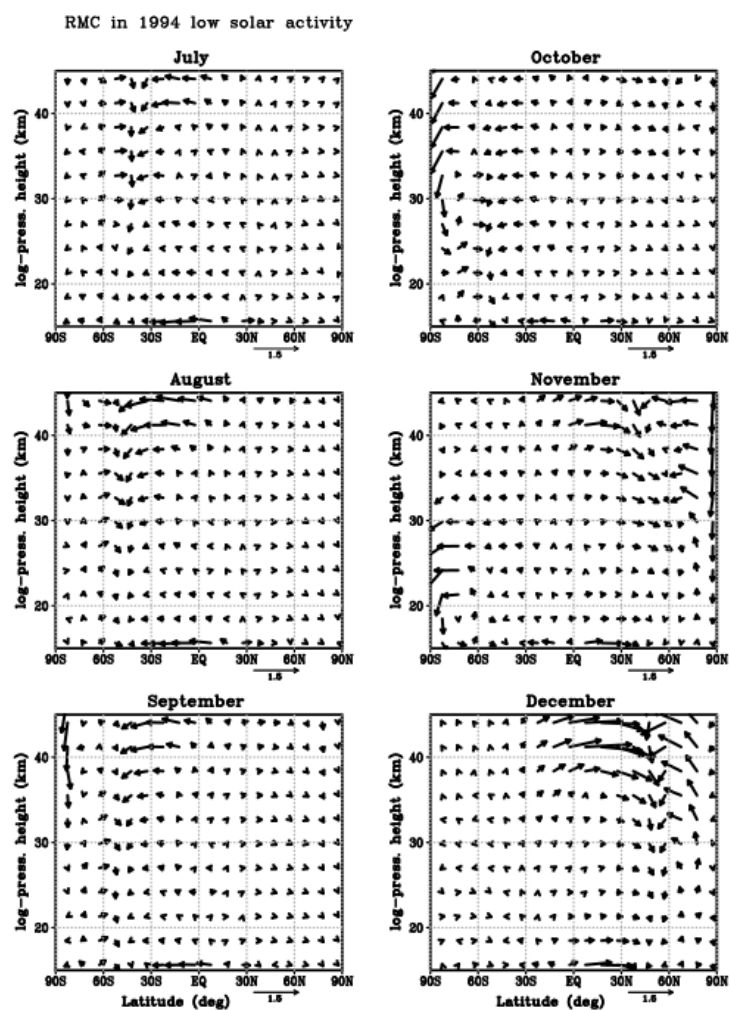


Рисунок 3.17 – Остаточная меридиональная циркуляция в июле (а), августе (б), сентябре (с), октябре (д), ноябре (е) и декабре (ф) 1994 года на высоте 15 – 45 км при низкой солнечной активности.

На рисунке 3.17 в июле можно увидеть сходимость потоков ОМЦ на высоте 30-45 км, причем на высоте 30-40 км они идут от широт 30° и 60° ю.ш. соответственно, а на высоте 40-45 км перенос увеличивается и становится от экватора. В Северном полушарии перенос незначителен.

В августе заметен перенос с 30° ю.ш. и 60° ю.ш. к 45° ю.ш. - сходимость на высоте 25-40 км. Выше 40 км перенос усиливается и наблюдается та же сходимость на 45° с экватора и 70° ю.ш. Также можно увидеть нисходящий перенос от 45 км к 40 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

В сентябре замечен перенос к 50° ю.ш. на высоте от 20 до 45 км как с 30° ю.ш. так и с 70° ю.ш., с тенденцией на усиление. Выше 40 км перенос становится от экватора. Также видны нисходящие потоки на 90° ю.ш. от 40 км до 33 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

Октябрь отличается от всех месяцев. Можно увидеть слабое схождение на 50° ю.ш., перенос от 60° ю.ш. к Южному полюсу и нисходящие потоки на 90° ю.ш. с высоты 45 км до 25 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

В ноябре на высоте 25-40 км наблюдается перенос от тропиков к 60° с.ш., на высоте 40-45 км виден перенос от 30° ю.ш. к 40° с.ш. и от 90° с.ш. также к 40° с.ш., что говорит о сходимости потоков. Со стороны Северного полюса можно заметить перенос к 60° с.ш., а также нисходящие движения на высоте от 45 км, до приземного слоя. В Южном полушарии наблюдаются потоки от 60° ю.ш. к Южному полюсу на высоте 20-30 км.

В декабре наблюдается перенос от экватора к 50° с.ш. на высоте 25-45 км, причем с 37 км – усиление с захватом воздуха из Южного полушария (30° ю.ш.), также виден «куполообразный» перенос от Северного полюса к 50° с.ш. на этой же высоте – сходимость потоков.

На рисунке 3.18 представлена ОМЦ в первом полугодии 1995 года на высоте 15 – 45 км при низкой солнечной активности.

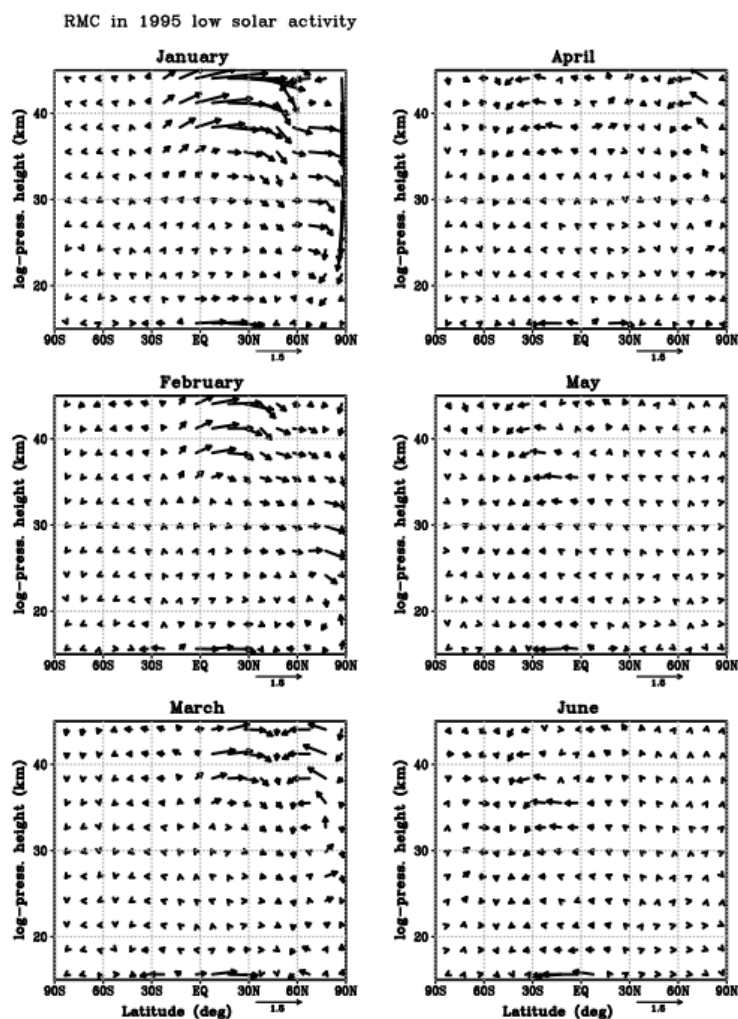


Рисунок 3.18 – Остаточная меридиональная циркуляция в январе (а), феврале (б), марте (с), апреле (д), мае (е) и июне (ф) 1995 года на высоте 15 – 45 км при низкой солнечной активности.

На рисунке 3.18 в январе наблюдается поток ОМЦ от 30° ю.ш. к 60° с.ш. на высоте 30-45 км, причем с отметки 37 км заметно усиление данного потока. Также можно заметить перенос от 60° с.ш. к Северному полюсу на высоте 20-40 км. Видны сильные нисходящие потоки на 90° с.ш. от 45 км до 20 км.

В феврале наблюдается поток ОМЦ от экватора к 45° с.ш. на высоте 35-45 км, с тенденцией на усиление. Также можно заметить перенос от 75° с.ш. к Северному полюсу на высоте 25-35 км. В Южном полушарии перенос незначительный.

В марте можно заметить сходимость потоков на 45° с.ш. на высоте 35-45 км от экватора и Северного полюса. В Южном полушарии перенос незначительный.

В апреле наблюдается слабый перенос в Южном полушарии от экватора к 45° ю.ш. на высоте 35-45 км. Видны токи с Северного полюса к 50° с.ш. в Северном полушарии.

В мае наблюдается слабый перенос в Южном полушарии от экватора к 45° ю.ш. на высоте 30-45 км. В Северном полушарии незначительный перенос.

В июне можно заметить очень слабый перенос от экватора к 45° ю.ш. на высоте 30-45 км и небольшие затоки с Южного полюса и соответственно сходимость потоков на данной широте и высоте. В Северном полушарии незначительный перенос.

На рисунке 3.19 представлена ОМЦ во втором полугодии 1995 года на высоте 15 – 45 км при низкой солнечной активности.

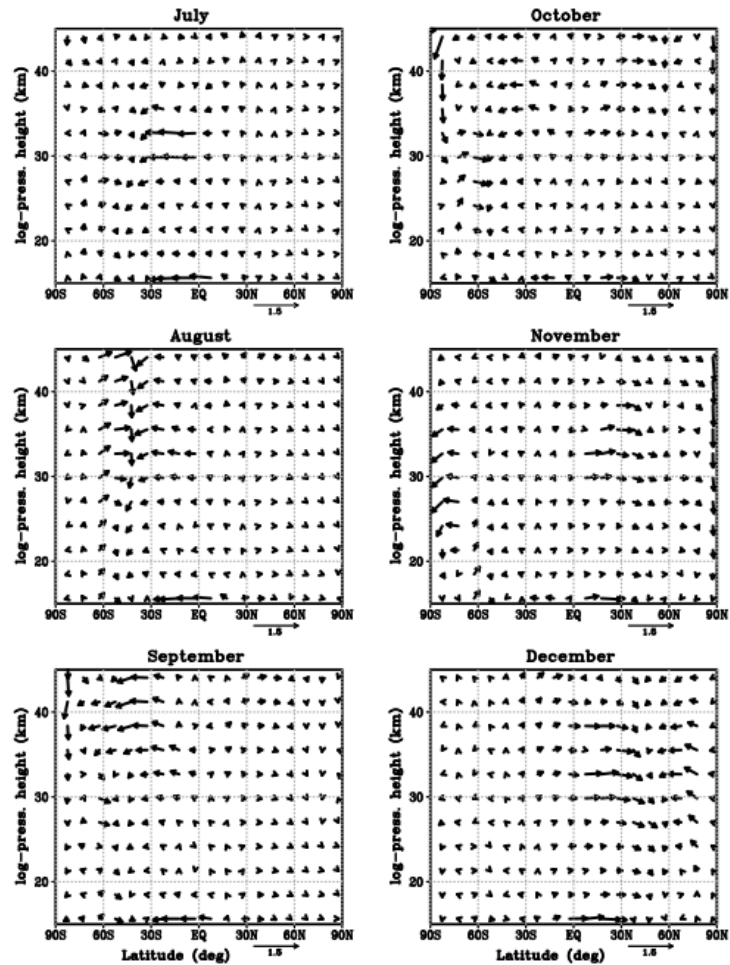


Рисунок 3.19 – Остаточная меридиональная циркуляция в июле (а), августе (b), сентябре (с), октябре (d), ноябре (е) и декабре (f) 1995 года на высоте 15 – 45 км при низкой солнечной активности.

На рисунке 3.19 в июле можно заметить перенос в слое 30-35 км от экватора к 40° ю.ш. В Северном полушарии перенос незначителен.

В августе замечен перенос с экватора и 60° ю.ш. к 45° ю.ш. - сходимость на высоте 25-45 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

В сентябре замечен перенос к 60° ю.ш. на высоте от 35 до 45 км как с 15° ю.ш. Также видны нисходящие потоки на 90° ю.ш. с 45 до 30 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

В октябре можно увидеть слабый перенос от 70° ю.ш. к 50° ю.ш. на высоте 25-30 км и нисходящие потоки на 90° ю.ш. с высоты 45 км до 35 км. В Северном полушарии перенос незначителен, видны нисходящие потоки на 90° с.ш. от 45 до 30 км.

В ноябре на высоте 30-40 км наблюдается перенос от экватора к 50° с.ш. Также на 90° с.ш. нисходящие движения на высоте от 45 км, до приземного слоя. В Южном полушарии наблюдаются потоки от 60° ю.ш. к Южному полюсу на высоте 20-35 км.

В декабре наблюдается перенос от экватора к 50° с.ш. на высоте 25-40 км, причем, также виден перенос от Северного полюса к 50° с.ш. на этой же высоте – сходимости потоков.

На рисунке 3.20 представлена ОМЦ в первом полугодии 1989 года на высоте 15 – 45 км при высокой солнечной активности.

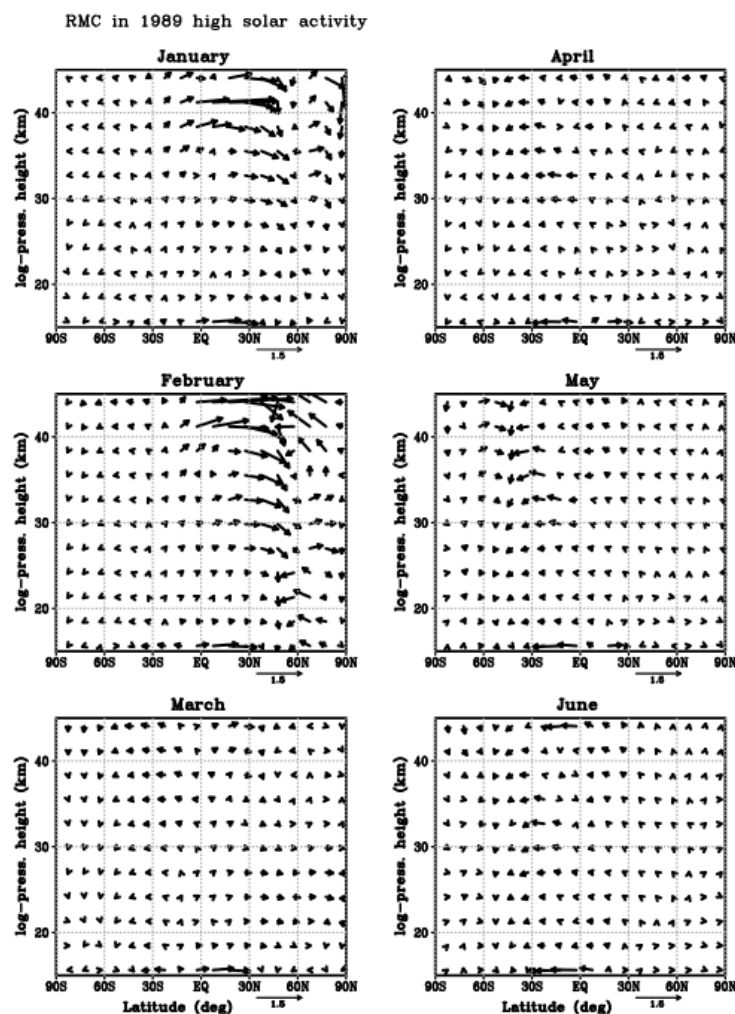


Рисунок 3.20 – Остаточная меридиональная циркуляция в январе (а), феврале (b), марте (с), апреле (d), мае (е) и июне (f) 1989 года на высоте 15 – 45 км при высокой солнечной активности.

На рисунке 3.20 в январе наблюдается поток ОМЦ от экватора к 50° с.ш. на высоте 30-45 км, причем с отметки 35 км заметно усиление данного потока. Также можно заметить перенос от 60° с.ш. к Северному полюсу на высоте 30-40 км. Видны нисходящие потоки на 90° с.ш. от 45 км до 30 км. В Южном полушарии перенос незначительный.

В феврале наблюдается поток ОМЦ от экватора к 50° с.ш. от приземного слоя до 45 км, с тенденцией на усиление. Также можно заметить сильный перенос от Северного полюса, что может говорить о влиянии ВСП. В Южном полушарии перенос незначительный.

В марте и апреле наблюдается слабый перенос в обоих полушариях.

В мае наблюдается слабый перенос в Южном полушарии от экватора к 45° ю.ш. на высоте 30-45 км и от Южного полюса к 45° ю.ш, что показывает схождение потоков. В Северном полушарии незначительный перенос.

В июне можно заметить очень слабый перенос на высотах 33 и 45 км от экватора. В Северном полушарии незначительный перенос.

На рисунке 3.21 представлена ОМЦ во втором полугодии 1989 года на высоте 15 – 45 км при высокой солнечной активности.

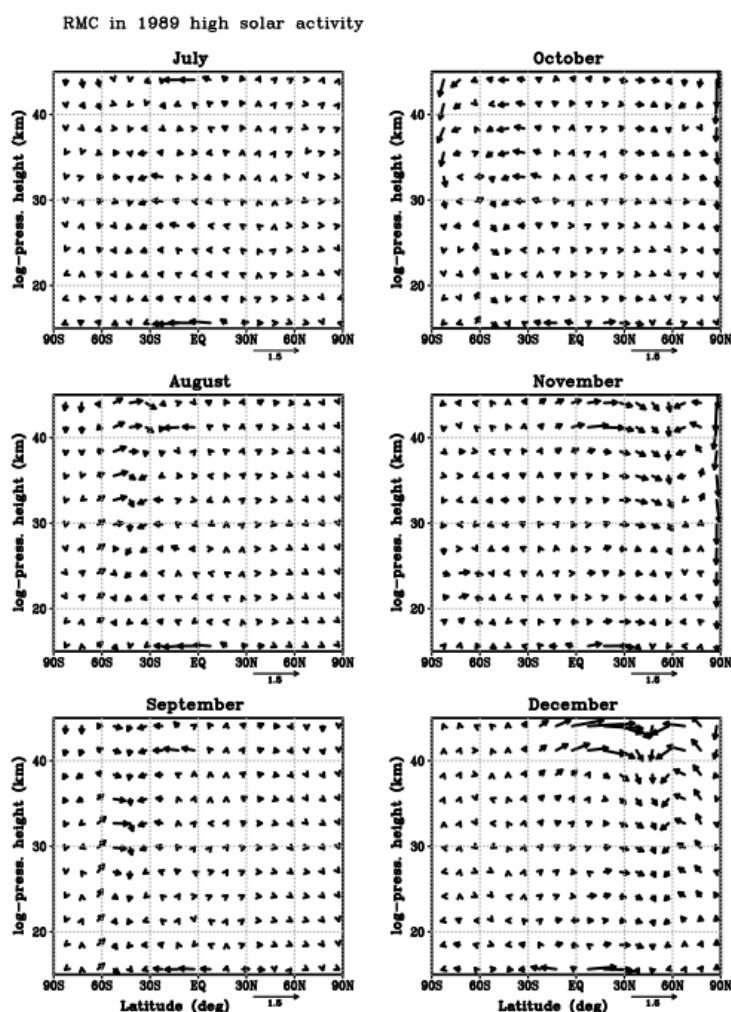


Рисунок 3.21 – Остаточная меридиональная циркуляция в июле (а), августе (б), сентябре (с), октябре (д), ноябре (е) и декабре (ф) 1989 года на высоте 15 – 45 км при высокой солнечной активности.

На рисунке 3.21 в июле можно заметить незначительный перенос, усиление на высоте 45 км от экватора к 30° ю.ш.

В августе замечен перенос с 30° ю.ш. и 60° ю.ш. к 45° ю.ш. - сходимости на высоте 30-45 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

В сентябре замечен перенос с 30° ю.ш. и 60° ю.ш. к 45° ю.ш. - сходимости на высоте 30-45 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

В октябре можно увидеть слабый перенос от 30° ю.ш. к 50° ю.ш. на высоте 25-45 км и нисходящие потоки на 90° ю.ш. с высоты 45 км до 30 км. В Северном полушарии перенос незначителен, видны нисходящие потоки на 90° с.ш. от 45 до 20 км.

В ноябре на высоте 30-45 км наблюдается сходимость потоков к 60° с.ш. Также на 90° с.ш. нисходящие движения на высоте от 45 км, до приземного слоя.

В декабре наблюдается перенос от экватора к 50° с.ш. на высоте 25-40 км, причем, также виден перенос от Северного полюса к 50° с.ш. на этой же высоте – сходимость потоков. На высоте 40-45 км наблюдается усиление.

На рисунке 3.22 представлена ОМЦ в первом полугодии 1991 года на высоте 15 – 45 км при высокой солнечной активности.

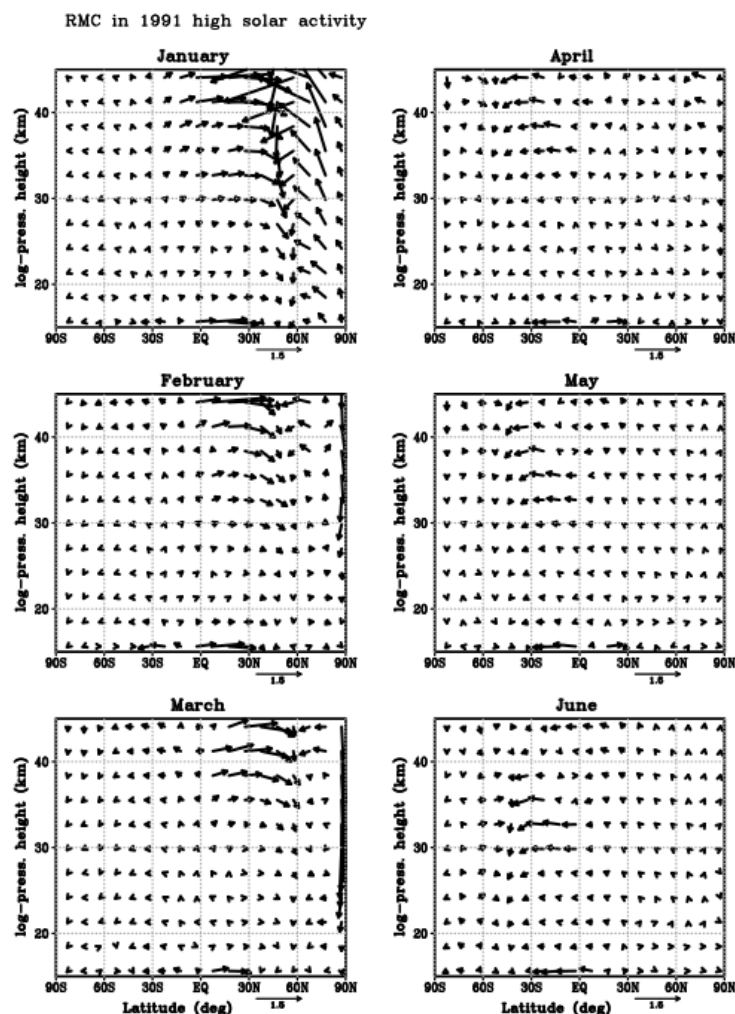


Рисунок 3.22 – Остаточная меридиональная циркуляция в январе (а), феврале (б), марте (с), апреле (д), мае (е) и июне (ф) 1991 года на высоте 15 – 45 км при высокой солнечной активности.

На рисунке 3.22 в январе наблюдается поток ОМЦ от экватора к 50° с.ш. на высоте 30-45 км. Также можно заметить сильный перенос от Северного полюса к экватору, что может говорить о влиянии ВСП. В Южном полушарии перенос незначительный.

В феврале наблюдается поток от экватора к 50° с.ш. на высоте от 30 до 45 км, с тенденцией на усиление, от 70° с.ш. также к 50° с.ш., что показывает сходимость потоков. Видны нисходящие потоки на 90° с.ш. от 45 км до 15 км. В Южном полушарии перенос незначительный.

В марте виден поток от экватора к 60° с.ш. на высоте 35-45 км, с тенденцией на усиление, от 80° с.ш. также к 60° с.ш., что показывает сходимостъ потоков. Видны нисходящие потоки на 90° с.ш. от 45 км до приземного слоя. В Южном полушарии перенос незначительный.

В апреле наблюдается слабый перенос в Южном полушарии от экватора к 50° ю.ш. на высоте 35-45 км и от 70° ю.ш. к 45° ю.ш., что показывает схождение потоков. В Северном полушарии незначительный перенос.

В мае наблюдается слабый перенос в Южном полушарии от экватора к 45° ю.ш. на высоте 30-45 км. В Северном полушарии незначительный перенос.

В июне можно заметить перенос на высоте 30-45 км от экватора к 45° ю.ш. В Северном полушарии незначительный перенос.

На рисунке 3.23 представлена ОМЦ во втором полугодии 1991 года на высоте 15 – 45 км при высокой солнечной активности.

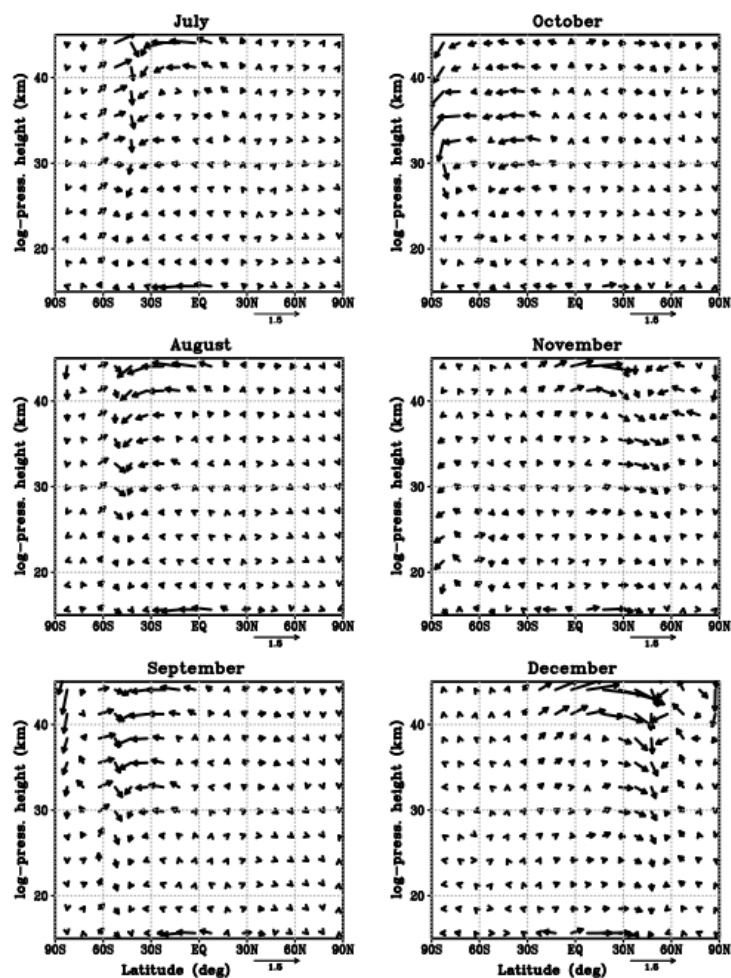


Рисунок 3.23 – Остаточная меридиональная циркуляция в июле (а), августе (b), сентябре (с), октябре (d), ноябре (е) и декабре (f) 1991 года на высоте 15 – 45 км при высокой солнечной активности.

На рисунке 3.23 в июле можно заметить слабую сходимость потоков на 45° ю.ш. на высоте 25-40 км, усиление на высоте 40-45 км: потоки от экватора к 45° ю.ш. и от 60° ю.ш. к 45° ю.ш. В Северном полушарии перенос незначителен.

В августе заметен перенос от экватора и 70° ю.ш. к 45° ю.ш. - сходимость на высоте 30-45 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

В сентябре замечен перенос с 30° ю.ш. и 60° ю.ш. к 45° ю.ш. - сходимоссть на высоте 25-45 км, тенденция на усиление. Видны нисходящие потоки на 90° ю.ш. с 45 км до 30 км. В Северном полушарии перенос незначителен.

В октябре можно увидеть перенос от 30° ю.ш. к 90° ю.ш. на высоте 25-45 км. В Северном полушарии перенос незначителен, видны нисходящие потоки на 90° с.ш. от 45 до 20 км.

В ноябре на высоте 30-45 км наблюдается сходимоссть потоков к 50° с.ш. от 30° ю.ш. и от 70° с.ш. Также на 90° с.ш. нисходящие движения на высоте от 45 км, до 37 км.

В декабре наблюдается перенос от экватора к 50° с.ш. на высоте 25-40 км, причем, также виден перенос от 70° к 50° с.ш. на этой же высоте – сходимоссть потоков. На высоте 40-45 км наблюдается усиление. На 90° с.ш. нисходящие движения на высоте от 45 км, до 40 км.

Так как в полярной стратосфере Северного полушария в зимние месяцы часто наблюдаются внезапные стратосферные потепления, анализировать декабрь, январь, февраль и март в условиях высокой и низкой солнечной активности крайне сложно.

При сравнении отдельных месяцев при высокой (1989 и 1991 гг.) и низкой (1994 и 1995 гг.) солнечной активности следует отметить:

В апреле месяце не зависимо от солнечной активности и фазы КДК переносы слабые. В мае несмотря на солнечную активность самый слабый перенос из тропических широт в сторону полюса на высоте стратосферы наблюдаются при западной фазе КДК. В июне месяце не зависимо от солнечной активности максимальная ОМЦ от тропиков к полюсам наблюдается на высотах 30-38 км. В июне 1995 года наблюдается переход фазы с западной на восточную, вероятно именно с этим связано то, что высота с максимальным переносом ОМЦ в данный год выше, 35-42 км. В июле максимальная ОМЦ от тропиков к полюсам наблюдается на высотах 40-45 км

не зависимо от солнечной активности, в то время как в 1995 году высота с максимальным переносом ОМЦ в данный год ниже, 30-35 км, что вероятно связано с переходом фазы КДК с западной на восточную. В августе 1995 года наблюдается самая большая (глубокая) сходимоть потоков в районе 40° ю.ш. (в восточную фазу КДК) с высоты 23 км, в то время как остальные с высоты лишь 27-30 км. В сентябре и октябре ни солнечная активность, ни фаза КДК в анализируемые года не проявляются. В ноябре над Южным полюсом в высокую солнечную активность (1989г. и 1991г.) наблюдается самая слабая ОМЦ, в то время как в года с низкой солнечной активностью (1994 и 1995гг.) на нижних слоях стратосферы, до 35 км, четко выражен перенос к полюсу. Для Северного полушария самый слабый перенос при восточной фазе КДК (1995г.).

При анализе ОМЦ в годы с высокой и низкой солнечной активностью, видно, что КДК опосредованно сказывается на зональной компоненте через ОМЦ. Зональная компонента одинакова при высокой и низкой солнечной активности, но разная при разных фазах КДК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были выделены года из разных солнечных циклов с высокой и низкой солнечной активностью за 40 лет с 1980г. по 2020г. (включительно) с использованием данных реанализа MERRA-2.

За исследуемый период была проанализирована среднезональная компонента (с использованием данных реанализа MERRA-2) для условий низкой ($f_{10.7} < 100$) и высокой ($f_{10.7} > 150$) солнечной активности из 4 циклов с 1980г. по 2020г. В выбранные года был проведен анализ среднезональной компоненты в тропических широтах обоих полушарий с учетом фазы квазидвухлетнего колебания. Аналогичный анализ проводился и для средних широт обоих полушарий.

Была проанализирована изменчивость остаточной меридиональной циркуляции в Северном и Южном полушариях с учетом солнечной активности и фаз КДК.

По итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Отклонение от осредненной для каждого месяца среднезональной компоненты вне зависимости от солнечной активности не превышают 30 м/с по модулю. Следует отметить, что отклонения, достигающие 30 м/с наблюдаются как в условиях низкой, так и в высокой солнечной активности. Максимальное отклонение при низкой солнечной активности на высоте 25 км наблюдается в августе – сентябре 1986г., 2009г. и 2017г. от 5° ю.ш. до 5° с.ш., при высокой солнечной активности на этой же высоте максимальное отклонение наблюдается в июне-июле 1980 г. на 5° ю.ш. На высоте 35 км максимальное отклонение – 35 м/с в 2002г. июль – октябрь на 5° ю.ш. Анализ полярных широт не проводился.

2. Влияние фазы КДК при низкой и высокой солнечной активности на разных высотах в тропической стратосфере сказывается по-разному: на 15

км влияние КДК – наименьшее, что вероятно связано с влиянием тропопаузы и особенностью используемой модели реанализа, на высоте 25 км направление зональной компоненты в тропической зоне всегда соответствует фазе КДК, максимальное отклонение от средней – 30 м/с, на высоте 35 км влияние КДК ослабевает, отклонения от среднего значения не зависимо от фазы КДК, может быть как сильно положительным (до 25 м/с), так и сильно отрицательным (до 35 м/с), четче всего отклик КДК виден в 1994-1997 года (переходный период между 22-23 солнечными циклами), обратная ситуация для переходного периода между 21-22 солнечными циклами (1985-1987гг.).

3. Средние широты сложно анализировать, фазы КДК здесь явно не сказываются. В средних широтах Северного полушария при высокой солнечной активности аномалии меньше (до 20 м/с). При низкой солнечной активности отклонения от средней достигают 30 м/с. В Южном полушарии аномалии одинаковые (до 10 м/с) как при высокой, так и при низкой солнечной активности, исключение составляет 2002 год, когда наблюдалось внезапное стратосферное потепление. Осцилляции в Северном полушарии больше, что связано с топографическими особенностями.

4. При анализе ОМЦ в годы с высокой и низкой солнечной активностью, видно, что КДК опосредованно сказывается на зональной компоненте через ОМЦ. Зональная компонента одинакова при высокой и низкой солнечной активности, но разная при разных фазах КДК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bucchignani, E. Wind Predictions in the Lower Stratosphere: State of the Art and Application of the COSMO Limited Area Model. *Meteorology* 2022, 1, 311–326. <https://doi.org/10.3390/meteorology1030020>
2. Brusseau M.L., Bohn H.L.. *Environmental and Pollution Science* (Third Edition), 2019, 633
3. Weather for Sailing, Flying & Snow Sports [Электронный ресурс]. - https://www.eoas.ubc.ca/courses/atsc113/flying/met_concepts/03-met_concepts/03a-std_atmos/index.html
4. Andrews, D. G., Holton, J. R., and Leovy, C. B.: *Middle Atmosphere Dynamics*, Academic Press, 489 pp., 1987. 11654, 11655, 11656, 11661
5. Randel, W. J., Udelhofen, P., Fleming, E., Geller, M., Gelman, M., Hamilton, K., D., K., Ortland, D., Pawson, S., Swinbank, R., Wu, F., Baldwin, M. P., Chanin, M. L., Keckhut, P., Labitzke, K., Remsberg, E., Simmons, A. J., and Wu, D.: The SPARC Intercomparison of Middle-Atmosphere Climatologies, *J. Climate*, 17, 986–1003
6. Kodera, K., Kuroda Y., and Pawson S., 2000: Stratospheric sudden warming and slowly propagating zonal-mean zonal wind anomalies. *J. Geophys. Res.*, 105, 12351–12359.
7. Manney, G. L., Krüger, K., Sabutis, J. L., Sena, S. A., and Pawson, S. (2005), The remarkable 2003–2004 winter and other recent warm winters in the Arctic stratosphere since the late 1990s, *J. Geophys. Res.*, 110, D04107
8. Naujokat B., Krüger K., Matthes K., Hoffmann J., Kunze M., and Labitzke K., The early major warming in December 2001 – exceptional *Geophys. Res. Lett.*, 29(21), 2002, , 2002.
9. Krüger K., Naujokat B., and Labitzke K., 2005: The unusual midwinter warming in the Southern Hemisphere stratosphere, 2002: A comparison to Northern Hemisphere phenomena. *J. Atmos. Sci.*, 62, 603–613.

10. Simmons, Stuart F., White, Noel C., and John, David A. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume: 1905-2005*. Edited by Jeffrey W. Hedenquist, John F. H. Thompson, Richard J. Goldfarb, and Jeremy P. Richards. Littleton, CO, U.S.A.: Society of Economic Geologists. 485-522.
11. Newman P. A., and Nash E. R., 2005: The unusual Southern Hemisphere stratosphere winter of 2002. *J. Atmos. Sci.*, 62, 614–628.
12. Kodera K., and Koide H. (1997), Spatial and seasonal characteristics of recent decadal trends in the northern hemispheric troposphere and stratosphere, *J. Geophys. Res.*, 102(D16), 19433– 19447.
13. Pawson S., and Naujokat B. (1999), The cold winters of the middle 1990s in the northern lower stratosphere, *J. Geophys. Res.*, 104(D12), 14209– 14222.
14. Waugh, D. W., Randel W. J., Pawson S., Newman P. A., and Nash E. R, 1999: Persistence of the lower stratospheric polar vortices. *J. Geophys. Res.*, 104 (D22), 27 191–27 202.
15. Zhou, S., Miller, A.J. and Hood, L.L. (2000). A partial correlation analysis of the stratospheric ozone response to 27-day solar UV variations with temperature effect removed. *Journal of Geophysical Research* 105. doi: 10.1029/1999JD901082. issn: 0148-0227.
16. Newman, P. A., and Nash, E. R. (2000), Quantifying the wave driving of the stratosphere, *J. Geophys. Res.*, 105(D10), 12485– 12497.
17. Randel, W. J., F. Wu, and R. Stolarski, 2002: Changes in column ozone correlated with the stratospheric EP flux. *J. Meteor. Soc. Japan*, 80.
18. Labitzke, Karin, Kunze, Markus (2005). Stratospheric temperatures over the Arctic: Comparison of three data sets, *JO. Meteorologische Zeitschrift*, 65-74
19. Thompson D. W. J., and Solomon S., 2002: Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. *Science*, 296, 895–899.

20. Renwick J. A. (2004), Trends in the Southern Hemisphere polar vortex in NCEP and ECMWF reanalyses, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07209,
21. Ramaswamy, V., et al., 2001: Radiative forcing of climate change. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 349– 416.
22. Gillett N., and Thompson D. W. J., 2003: Simulation of recent Southern Hemisphere climate change. *Science*, 302, 273–275.
23. Randel, W., & Wu, F. (1999). A stratospheric ozone trends data set for global modeling studies. *Geophysical Research Letters*, 26, 3089-3092. doi:10.1029/1999GL9006
24. Кулешов Ю.В., Краснов В.М., Готюр И.А. Основы физики околоземного космического пространства, 2022.— 353 с.
25. Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М.. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Обзор: наблюдение и механизмы формирования, 2011 – 60 с.
26. Hamilton K., Observations of tropical stratospheric winds before World War II, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 1367– 1371, 1998a
27. Dunkerton T J: MIDDLE ATMOSPHERE / Quasi-Biennial Oscillation, 2003
28. Gray L. J., and Dunkerton T. J., 1990: The Role of the Seasonal Cycle in the Quasi-biennial Oscillation Of Ozone. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2429–2452.
29. Kistler R., and Coauthors, 2001: The NCEP–NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 247–268.
30. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center [Электронный ресурс]. - https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/qbo.html

31. Nandy D., Martens P.C.H., Obridko V. et al. Solar evolution and extrema: current state of understanding of long-term solar variability and its planetary impacts. *Prog Earth Planet Sci* 8, 40 (2021).
32. Schwabe H (1844) Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1843, *Astron. Nachr.* 21:233–236
33. Hathaway D (2015) The Solar Cycle. *Living Rev Solar Phys* 7:1
34. David H., Hathaway. (2015). The Solar Cycle. *arXiv: Solar and Stellar Astrophysics*, doi: 10.1007/LRSP-2015-4
35. LISIRD LASP Interactive Solar Irradiance Datacenter [Электронный ресурс]. - https://lasp.colorado.edu/lisird/data/cls_radio_flux_f107
36. Ronald Gelaro, Will McCarty, Max J. Suárez, Ricardo Todling , 2017: The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2), 5419–5454
37. Koval A. V., Chen W., Didenko K. A., Ermakova T. S., Gavrilov N. M., Pogoreltsev A. I., Toptunova O. N., Wei K., Yarusova A. N., and Zarubin A. S.: Modelling the residual mean meridional circulation at different stages of sudden stratospheric warming events, *Ann. Geophys.*, 39, 357–368, <https://doi.org/10.5194/angeo-39-357-2021>, 2021.