



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)

1. На тему: «Влияние событий ВСП на положение ВФЗ и температурные аномалии»

Исполнитель

Винникова Полина Александровна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат физико-математических наук

(ученая степень, ученое звание)

Топтунова Ольга Николаевна

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
заведующий кафедрой**

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«03» июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ВЫСОТНАЯ ФРОНТАЛЬНАЯ ЗОНА И СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ.....	6
1.1. Понятие высотной фронтальной зоны.....	6
1.2. Влияние ВФЗ на метеовеличины	9
1.3. Классификация ВФЗ по форме	11
1.4. Планетарная высотная фронтальная зона.....	13
1.5. Струйные течения.....	14
1.6. Классификация струйных течений	16
1.7. Влияние струйных течений на метеовеличины.....	18
2. ЦИРКУЛЯЦИЯ В СТРАТОСФЕРЕ И ТРОПОСФЕРЕ.....	20
2.1. Циркуляция в тропосфере.....	20
2.2. Циркуляции в стратосфере.....	21
2.3. Влияние стратосферных процессов на погоду.....	22
3. ВНЕЗАПНЫЕ СТРАТОСФЕРНЫЕ ПОТЕПЛЕНИЯ.....	24
3.1. Определение ВСП	24
3.2. Характеристика ВСП	26
3.3. Анализ случаев ВСП.....	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	Ошибка! Закладка не определена.

Используемые сокращения

ВСП – внезапное стратосферное потепление

СП– стратосферное потепление

ВФЗ – высотная фронтальная зона

ПВФЗ – планетарная высотная фронтальная зона

КДК – квазидвухлетнее колебание

ЕСП– естественные синоптические периоды

ВВЕДЕНИЕ

Внезапные стратосферные потепления являются одними из самых впечатляющих динамических событий в физической климатической системе. Эти события, вызванные разрывом планетарных волн, распространяющихся вверх из тропосферы, влекут за собой значительное и быстрое повышение температуры в средней и верхней стратосфере, а также могут вызывать значительные изменения в атмосферных условиях в целом. Целью выпускной квалификационной работы является анализ влияния событий внезапных стратосферных потеплений на положение высотной фронтальной зоны и температурные аномалии.

Тема работы актуальна, поскольку изучение внезапных стратосферных потеплений является важным в связи с их влиянием на погоду и климат Земли.

Определено, что ВСП обнаруживается, если нагрев в главной фазе длится не менее 6 дней. По силе события ВСП подразделяются на малые, крупные и экстремальные. Более 95 % дат начала событий приходится на глубокую зиму (декабрь-январь-февраль, около 50 % в январе), а более трех четвертей приходится на северную Евразию и прилегающий полярный океан [11]. Поэтому для анализа в работе будут рассмотрены события, происходящие зимой в северном полушарии.

Для выполнения цели были выполнены следующие задачи:

- Анализ влияния выбранных ВСП на поведение высотной фронтальной зоны;
- Анализ положения ВФЗ на температурные аномалии в регионах воздействия.

Для выполнения вышеперечисленных задач были взяты семь случаев внезапных стратосферных потеплений и составлены обзоры по ним с

помощью программы AFRICA, температурные аномалии анализировались с использованием реанализа MERRA2.

Исследования в области внезапных стратосферных потеплений помогают лучше понять сложные взаимосвязи между стратосферной и тропосферной циркуляцией, что имеет значение для улучшения наших прогностических возможностей в области погоды и климата.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав и заключения. Список использованных источников содержит 17 наименований.

Во введении аргументируется актуальность работы, четко поставлена цель и установлены задачи данного исследования.

В первой главе содержатся общепринятые представления высотной фронтальной зоне и струйных течениях, их классификации и влияние на метеовеличины.

Вторая глава содержит информацию о циркуляции в тропосфере и стратосфере, их взаимосвязи с анализируемым явлением- ВСП.

Третья глава включает в себя анализ результатов исследования.

1. ВЫСОТНАЯ ФРОНТАЛЬНАЯ ЗОНА И СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

1.1. Понятие высотной фронтальной зоны

Высотная фронтальная зона – объект планетарного масштаба, зона сильного сгущения изогипс на картах абсолютной топографии, которая является переходной зоной между высокими холодными циклонами и высокими теплыми антициклонами в средней и верхней тропосфере (рисунок 1.1) [2].

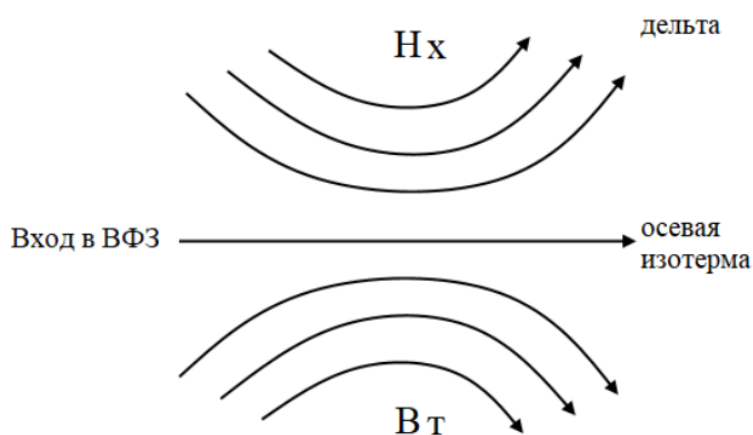


Рисунок 1.1-схема ВФЗ

ВФЗ соответствует зона сгущения изотерм на картах относительной топографии. Также уместно использование определения - зоны относительно повышенных горизонтальных градиентов температуры и давления, прослеживаемые на картах барической топографии (рисунок 1.2).

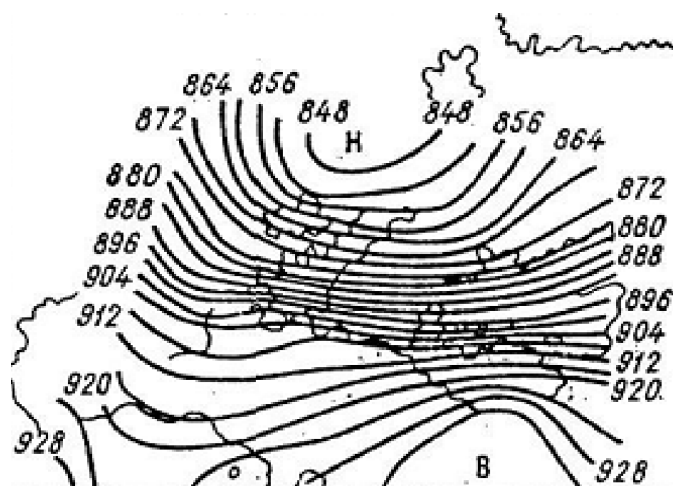


Рисунок 1.2-карта барической топографии

Критерием выделения ВФЗ, помимо сгущения изогипс, является контраст температуры в средней и верхней тропосфере (контраст в 8 градусов на 1000 км, т.е. 4 изотермы). Размеры по горизонтали 3000 до 10000 км, а ширина – 1000-1500 км. С высотой, особенно зимой, ширина фронтальной зоны уменьшается и может составлять всего 300-600 км. В зимнее время ВФЗ может проникать в нижнюю тропосферу, так как вертикальная мощность составляет 10 км, а в летнее время ВФЗ теряет свою мощность. В высотной фронтальной зоне сконцентрированы огромные запасы кинетической внутренней энергии, что является следствием больших контрастов температуры, и атмосферного давления. А из-за большой разности давления создаются большие скорости ветра [7].

Из рисунка 1.1 понятно, что центральную изогипсу/изотерму называют осевой. В сторону холодного циклона расположена циклоническая периферия, а в противоположную сторону – антициклоническая периферия. Также есть зона конвергенции сходимости изогипс – вход ВФЗ, и зона дивергенции линии тока - дельта ВФЗ.

Существует две причины образования ВФЗ: термическая и динамическая. Термическая причина заключается в разном радиационном балансе широтных зон, поэтому формируются значительные градиенты

температуры. Динамическая причина – это перемещение в тропосфере длинных планетарных волн Россби, которые формируют высотные ложбины и гребни (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3- волны Россби на карте

Как правило в окрестность земного шара укладывается от 3 до 6 таких волн. В общем западном переносе эти волны перемещаются, происходит зональное распространение ложбин. Неоднородность и не стационарность такого перемещения создает в определенных участках зону сгущения или разряжения изогипс. Для наглядности, рассмотрим формулу для фазовой скорости волны Россби.

$$C = u - \frac{\beta \cdot L^2}{4\pi^2} \quad (1.1)$$

где u - скорость зонального потока, C - фазовая скорость волны, L - длина волны, а параметр β связан с угловой скоростью вращения волны и равен $\beta = 2\omega \cos \varphi / R$, где φ -географическая широта, ω -угловая скорость вращения Земли, R - радиус Земли.

Для уравнения (1.1) фазовой скорости волны Россби существует два случая использования. Первый случай определяется одинаковой скоростью зонального потока на разных широтах, хотя изначально волны имеют разную длину, то есть $L_1 \neq L_2$ (рисунок 1.4).

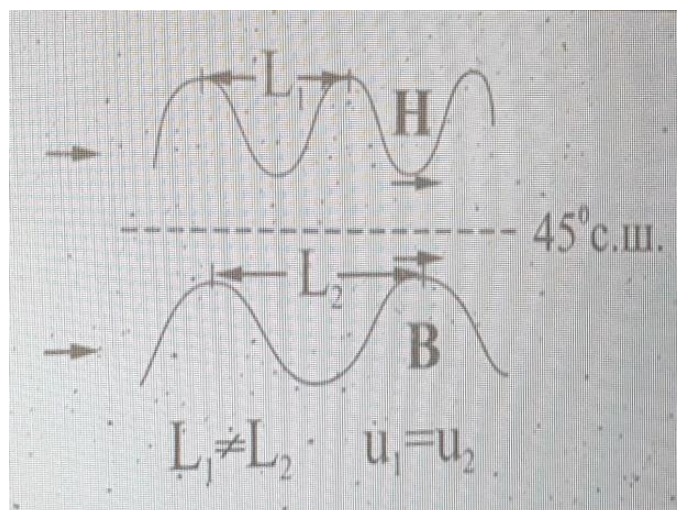


Рисунок 1.4-первый случай уравнения Россби

Тогда естественным образом в каком-то месте гребень приходится на ложбину, возникает сгущение изогипс, как следствие возникает высотная фронтальная зона. Второй случай противоположен первому. Он определяется одинаковой длиной волны, но разной скоростью зонального переноса на разных широтах (рисунок 1.5). Это явление все равно приводит к возникновению высотной фронтальной зоны [7].

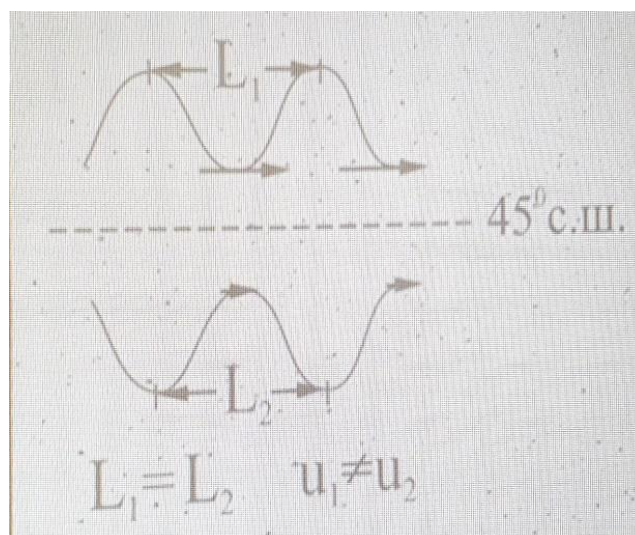


Рисунок 1.5-второй случай уравнения Россби

1.2. Влияние ВФЗ на метеовеличины

Пересечение высотной фронтальной зоны вызывает заметные изменения метеорологических параметров не только в нижних и средних слоях атмосферы, но также в верхних слоях тропосферы и нижней части стратосферы.

Тропопауза в высотной фронтальной зоне либо имеет крутой уклон, либо разорвана. В стратосфере, где воздух холоднее, начальная высота стратосферы ниже, чем в теплом воздухе. Поэтому, когда температура перестает падать на холодной стороне высотной фронтальной зоны, она продолжает падать на противоположной стороне. Это приводит к быстрому снижению горизонтального градиента температуры выше уровня тропопаузы. Затем направление этого градиента меняется и начинает медленно расти, достигая своего максимума преимущественно на уровне тропопаузы в теплом воздухе. Выше этого уровня горизонтальные градиенты температуры обычно снова уменьшаются [8].

При большой разнице в высоте тропопаузы с разных сторон высотной фронтальной зоны в нижней части стратосферы также возникает фронтальная зона. Она наклонена в противоположную сторону по сравнению с фронтальной зоной в тропосфере и отделена от нее тонким слоем с почти отсутствующими горизонтальными градиентами температуры.

В стратосфере могут образоваться зоны с высокими горизонтальными градиентами температуры, не связанные прямо с тропосферными фронтальными зонами. Эти зоны обычно формируются под воздействием радиационных факторов.

В высотной фронтальной зоне изотермы изменяют свое направление незначительно с высотой; ветер стремится выстраиваться параллельно изотермам в средних слоях воздуха и усиливается, превращаясь в струйные течения в верхних слоях тропосферы. Таким образом, фронтальные зоны характеризуются как значительными горизонтальными градиентами температуры, так и высокими скоростями ветра. Существует слабая прямая

связь между высотными фронтальными зонами и атмосферными фронтами. Иногда два приблизительно параллельных фронта, хорошо видимых в нижних слоях атмосферы, объединяются в одну широкую фронтальную зону в верхних слоях. Не всегда фронтальная зона на высоте соответствует поверхностному фронту. Участок фронта в нижних слоях обычно определяется там, где происходит наземная конвергенция ветра. При дивергенции ветра признаков фронта обычно не наблюдается [8].

Итак, фронтальная зона, простирающаяся на большом пространстве в верхних слоях, часто разделяется на несколько отдельных частей в нижней тропосфере — она присутствует в циклонах и отсутствует в антициклонах. В средней и верхней тропосфере высотные фронтальные зоны часто охватывают всю полушарие. Такие высотные фронтальные зоны называются планетарными.

В изменении контраста температуры в области фронтальной зоны решающее значение имеет горизонтальная перемещаемость воздуха с разной температурой. Вертикальные движения и процессы трансформации воздуха также играют важную роль. В обширных горных районах с высокими горными хребтами на изменение контраста температуры сильное влияние оказывает рельеф.

1.3. Классификация ВФЗ по форме

По форме в основном выделяют три вида высотной фронтальной зоны. 1) Нормальная ВФЗ - в центральной части изогипсы представляют прямую, циклонический и антициклонический изгиб расходится в две стороны от центральной части (рисунок 1.1). 2) Циклоническая ВФЗ, характерная для высотных тропосферных ложбин над океанами (рисунок 1.6).

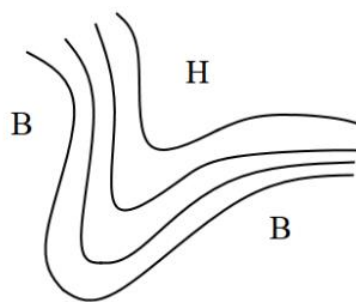


Рисунок 1.6-циклоническая ВФЗ

3) Антициклоническая ВФЗ характерна для верхних средне тропосферных циклонов (рисунок 1.7) [7].

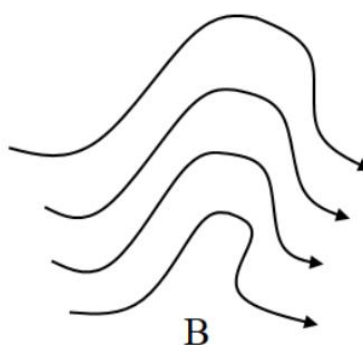


Рисунок 1.7-антициклоническая ВФЗ

Иногда выделяют и тропическую (в восточных потоках) ВФЗ, наблюдаемую в тропиках.

Практически все представленные виды высотной фронтальной зоны имеют тесную связь с атмосферными фронтами, поскольку наибольшие градиенты температуры на картах абсолютной топографии соответствуют месту, где фронтальная поверхность пересекает этот уровень. Поэтому можно сделать вывод, что в нижней тропосфере ВФЗ и фронт плавно переходят друг в друга. Тем не менее тождества между ВФЗ и фронтом нет, потому что фронт -это раздел между соседними воздушными массами, и проявляется он в поле температуры и влажности, а ВФЗ - это структура барического поля.

Однако, бывают случаи несовпадения, например, когда фронт хорошо выражен на приземной карте, но при этом ВФЗ над ним размыто. Также случаем несовпадения является отсутствие фронта на приземной карте,

однако ВФЗ над ним хорошо выражен. Существует правило, если фронты расположены близко и параллельно на приземной карте, то им соответствует одна высотная фронтальная зона.

1.4. Планетарная высотная фронтальная зона

Планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ) представляет собой область сгущения изогипс/изотерм между приполярными и субтропическими широтами, охватывающую практически весь Земной шар. Именно с начала анализа ПВФЗ синоптической ситуации прогноза погоды. Естественный синоптический период, который лежит в основе среднесрочного и долгосрочного прогноза, определяется типом и формой ПВФЗ на уровне 500 гПа [5]. Планетарная высотная фронтальная зона просматривается в диапазоне широт от 25° до 75°. Летом она смещается к более высоким широтам (приблизительно на 10-15 градусов широты, что составляет около 1,5 тысячи км). Интенсивность ПВФЗ зависит от контраста температуры, и летом она примерно вдвое меньше, чем зимой. Положение и интенсивность ПВФЗ определяют районы, где наиболее вероятно образование новых циклонов и антициклонов. Также стоит отметить, что есть места, где ПВФЗ прерывается. Это происходит в областях, где из-за сложившейся циркуляции происходит интенсивный обмен теплом между широтами. Контраст температур выравнивается, и на значительных участках круга широт могут отсутствовать утолщения изогипс, характерные для ПВФЗ [6].

В Российских гидрометцентрах ПВФЗ используется для анализа типов циркуляции и погодных режимов. Понятие зоны бароклинности стали активнее использовать в метеорологических центрах Европы, вместо термина ПВФЗ. Зона бароклинности обозначает полосу широт, где существует значительный меридиональный градиент температур.

1.5. Струйные течения

Струйное течение — синоптический объект, который по механизму своего формирования неразрывно связан с атмосферными фронтами, с ВФЗ и с ПВФЗ. Это узкая зона сильных ветров большой горизонтальной протяженности в тропосфере и стратосфере, характеризующаяся значительными градиентами скорости ветра в горизонтальной и вертикальной плоскости с одним или более максимумом скоростей (рисунок 1.8).

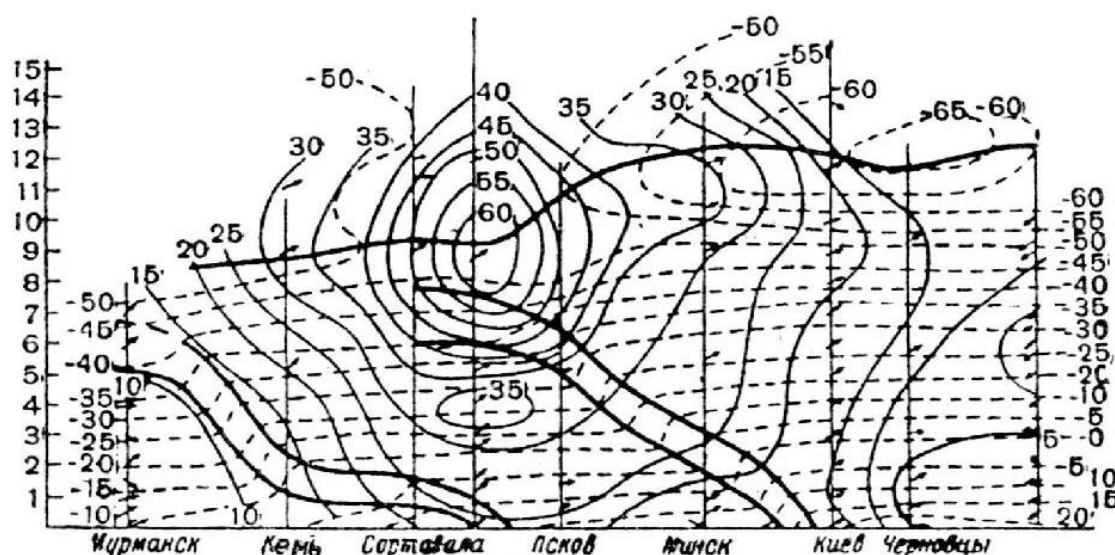


Рисунок 1.8- струйное течение

Говоря о размерах струйного течения стоит отметить большую протяженность вдоль потока, составляющую тысячи километров, то есть, их горизонтальные размеры соизмеримы с размерами ВФЗ. Ширина струйного течения составляет в среднем 300-400 км, а вертикальная мощность от 2 до 4 км. Чаще всего струйные течения локализованы в верхней тропосфере и нижней стратосфере на высотах от 9 до 12 км. Но есть и исключения - определенные типы струйных течений могут быть обнаружены на других высотах. За границу струйного течения принимается изотаха 30 м/с.

Указанный предел скорости выбран с учетом того, что ветер, превышающий 100 км/ч, оказывает заметное влияние на путевую скорость самолетов, летающих в зоне струйных течений. В среднем скорости в струйном течении составляют от 60 до 80 м/с. Вертикальные градиенты скорости превышают 5 м/с на 1 км, горизонтальные градиенты - порядка 10 м/с на 100 км.

Рассмотрим структуру струйного течения. Области максимальных ветров на картах представлены в виде систем замкнутых изотак эллиптической формы, вытянутых вдоль потока (рисунок 1.9).

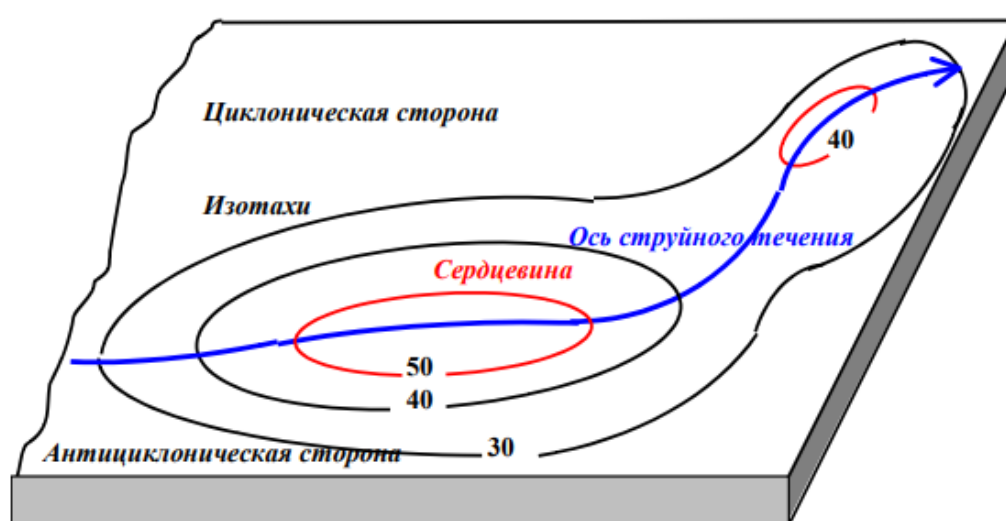


Рисунок 1.9-схема струйного течения

Эти подвижные максимумы перемещаются вдоль оси струйного течения в направлении потока. Ось струйного течения – это линия тока, которая проходит по максимуму скоростей. Центральную часть струйного течения, в которой скорости ветра наибольшие, называют сердцевинной. Поперечное сечение сердцевинной не превышает 50-100 км по горизонтали и 1-2 км по вертикали. Максимальные скорости на оси струйного течения могут достигать 50-100 м/с. Эта ось не строго горизонтальна, поэтому не прослеживается на какой-либо изобарической поверхности. Сдвиг ветра в области струйного течения около 5-10 м/с на 1 км по вертикали и 5-10 м/с и более в горизонтальном направлении [4].

Слева от оси расположена циклоническая периферия (холодная), а справа – антициклоническая периферия (теплая). Поверхность, которая проходит через точки с максимальной скоростью на вертикальных профилях ветра в разных частях струйного течения, называется поверхностью максимального ветра. Ось струйного течения лежит на этой поверхности.

Наименьшие высоты поверхности максимального ветра обычно наблюдаются левее оси струйного течения. Чем сильнее ветер на данном участке струи, тем ниже располагается уровень его максимальной скорости. Наиболее низко ось струйного течения лежит в барических ложбинах, наиболее высоко – в барических гребнях. Одновременно с изменением высоты оси струйного течения вдоль потока изменяется и скорость ветра на оси: образуются подвижные области повышенных скоростей ветра, а в промежутках между ними – области более слабых ветров. Причины такой неоднородности связаны, главным образом, с неоднородной адвекцией ветра и температуры в нестационарных процессах, а также с мезомасштабными явлениями.

1.6. Классификация струйных течений

В первую очередь, струйные течения делятся на фронтальные (связанные с градиентами температуры на атмосферных фронтах и ВФЗ) и безфронтальные (не связанные явным образом с ВФЗ) [6].

Первый тип - фронтальные струйные течения связаны с арктической и полярной ВФЗ, иногда они даже могут сливаться в единую систему - струйное течение умеренных широт. Струйное течение арктического фронта наблюдается севернее 65°с.ш. на высотах 6-8 км. Скорости ветра в нем зимой достигают 60-100 м/с, а летом почти в два раза меньше. Полярнофронтное струйное течение (называют также струйное течение умеренных широт) локализовано в полосе широт от 45 до 65 градуса и выше на высотах 9-12 км.

Скорость в нем в среднем составляет 80-100 м/с, но зимой может достигать и 130 м/с. Летом скорости снижаются до 60-70 м/с.

Второй тип- безфронтальные струйные течения – не связанные явно с ВФЗ. Субтропическое струйное течение западного направления, которое часто называют субтропической струей было открыто первым, именно в этом струйном течении наблюдаются максимальные в земной атмосфере скорости ветра. Также это течение обладает максимальной устойчивостью - оно практически всегда опоясывает земной шар как в Северном, так и в Южном полушариях.

Данное течение наблюдается ежедневно на высоте от 9 до 12 км, именно поэтому его можно обнаружить не только на синоптических, но и на климатических картах. Средняя высота субтропического струйного течения - 12 км. Локализация течения по полушариям несколько различается - в Северном полушарии от 20 до 35°с.ш., в Южном полушарии от 20 до 30°ю.ш. Интенсивность его выше зимой, а в летнее время иногда бывают разрывы, особенно в Северном полушарии, где больше неоднородностей подстилающей поверхности. При этом в Северном полушарии зимой максимальные скорости достигают 400- 500 км/ч, а летом в два раза меньше. Отметим, что в Северном полушарии и интенсивность и локализация меняются намного сильнее, чем в Южном полушарии, так как в Южном полушарии интенсивность струи и летом, и зимой практически одинакова.

Также можно разделить струйные течения на несколько основных типов в зависимости от своего местоположения и характеристик.

1. Полярные струйные течения. Эти струйные течения обычно находятся на высоких широтах в области полярных регионов. Они обычно движутся с запада на восток и имеют большую скорость ветра. Полярные струйные течения играют ключевую роль в формировании погоды на средних широтах.

2. Субтропические струйные течения: Эти струйные течения находятся ближе к экватору и обычно движутся с юго-запада на северо-восток. Они также обладают высокой скоростью ветра, и их воздействие ощущается в тропических и субтропических регионах.
3. Плавающие струйные течения. Иногда струйные течения могут менять свою форму и направление под воздействием различных факторов, таких как взаимодействие с другими атмосферными явлениями. Плавающие струйные течения могут приводить к неустойчивости в погоде и создавать сложные погодные условия.

1.7 Влияние струйных течений на метеовеличины

Вдоль оси струйного течения происходит изменения скорости ветра и образования подвижных областей максимальных ветров и областей более слабых ветров между ними. Главной причиной происходящего являются динамические факторы (дивергенция, перенос вихря, процессы вихреобразования и диссипации вихря). Также важен и термический фактор – адвекция [4].

В струйных течениях сконцентрирована максимальная кинетическая энергия атмосферы. Положение струйных течений совпадает с положением области наиболее сильных меридиональных градиентов температуры и давления в тропосфере, т.е. с положением высотной фронтальной зоны.

Струйные течения умеренных широт связаны с главными фронтами тропосферы – полярными и арктическими. Всякое струйное течение является составной частью планетарной высотной фронтальной зоны, состоящей из нескольких высотных фронтальных зон. Над каждым полушарием всегда можно найти несколько тропосферных струйных течений, в общем направленных с запада на восток. Однако, ориентировка их может сильно меняться и отличаться от зональной, они могут значительно перемещаться по

широте. Подобно слиянию и раздвоению ВФЗ, возможно и слияние, и раздвоение струйных течений.

2. ЦИРКУЛЯЦИЯ В СТРАТОСФЕРЕ И ТРОПОСФЕРЕ

2.1. Циркуляция в тропосфере

Основной чертой тропосферной циркуляции является значительное меридиональное направление воздушных потоков. Это происходит под воздействием нескольких факторов, которые приводят к формированию длинных волн в западно-восточном направлении и переносу воздушных масс с юга на север по меридиану. Среди этих факторов можно выделить климатические условия, межгодовую изменчивость и гидродинамическую неустойчивость зонального потока. Циркуляция в тропосфере подразделяется на зональную и меридиональную [3].

Зональная циркуляция в свободной тропосфере представляет собой непрерывное движение воздушных масс с запада на восток, похожее на "реку", окружающую земной шар. Максимальная скорость западных ветров называется субтропическим струйным потоком. Струйные потоки умеренных широт всегда ассоциируются с атмосферными фронтами, так как в зоне атмосферного фронта температурный градиент между воздушными массами, разделяемыми фронтом, снижается с высотой и исчезает под тропопаузой. В то же время барический градиент увеличивается с высотой и достигает максимума также под тропопаузой, что приводит к образованию фронтального струйного течения.

В тропосфере можно выделить два типа струйных потоков, являющихся областями наибольшего западно-восточного переноса: субтропический и полярно-фронтальный.

По классификации Вангенгейма-Гирса можно выделить три основные формы циркуляции в рамках западно-восточного переноса:

- зональная (W), которая отвечает за перемещение воздуха с Атлантики на континент как зимой, так и летом, и представлена длинными волнами небольшой амплитуды;

- восточная (Е), которая характеризуется выраженным гребнем над Европой;
- меридиональная (С)- которая выражена глубокой ложбиной давления над Европой, что дает значительное количество осадков в этой зоне.

Циркуляции в тропосфере не равномерны по высоте: выше 5 км преобладает западно-восточный перенос, сопровождаемый длинными волнами, а ниже 5 км встречаются замкнутые циркуляции – циклоны и антициклоны. В нижней тропосфере обычно преобладают квазистационарные барические центры, или центры действия, области частых появлений циклонов и антициклонов. Модель меридиональной циркуляции предполагает существование трех ячеек меридионального переноса воздуха:

- Тропическая ячейка (Хэдли) является наиболее мощной и устойчивой ячейкой, в которой воздух поднимается в зоне восходящих ветров и опускается в области субтропических антициклонов. Пассаты дуют с севера на юг в нижней части ячейки, а в верхней – антипассатом, с юга на север;
- Ячейка умеренных широт (Ферреля) соответствует области западно-восточного переноса. Подъем воздуха происходит в холодной части ячейки, на севере, а опускание – в теплой части, на юге. Для существования этой ячейки нужна динамическая вынуждающая сила, поднимающая воздух в циклонах умеренных широт;
- Полярная ячейка – наименее устойчивая, возникающая при появлении полярного антициклона. Она способствует вторжениям арктических воздушных масс в умеренные широты, принося сильные холода.

2.2. Циркуляции в стратосфере

Зимой в стратосфере воздушные потоки движутся под влиянием геострофического закона. Изобарические поверхности изгибаются

величественным образом от экватора к полюсам. Суть проявляется в наклоне изобарических линий, ведущих воздушные массы от теплых широт к холодным просторам полюса.

Под влиянием геострофического закона зимняя стратосфера рождает температурные и барические градиенты, направленные по горизонтали от экватора к полюсу. Воздушные потоки, подчиняясь силе Кориолиса, начинают свое передвижение к полюсу.

Сила Кориолиса, уклоняет движение воздуха вправо пока не достигнет соразмерности с силой барического градиента. Далее рождается перенос воздушных масс. Так возникает геострофический западно-восточный перенос в зимней стратосфере. Однако бывают моменты волнения, когда циркуляция испытывает резкие перемены. В этот период циркумполярный циклон раскалывается на два полюса.

Адвекция тепла по западным перифериям антициклонов поднимает температуру в приполярных районах. Это явление известно как внезапное стратосферное потепление.

Летом же устанавливается восточно-западный перенос. Температурные и барические градиенты меняют свои знаки, (относительное тепло и высокое давление на полюсе, относительный холод и низкое давление у экватора).

2.3. Влияние стратосферных процессов на погоду

Стратосфера играет ключевую роль в формировании погоды на Земле. Несмотря на то, что стратосфера находится выше тропосферы, где происходят основные процессы, изменения в стратосфере могут значительно повлиять на погоду на поверхности.

Один из самых известных стратосферных процессов, влияющих на погоду, это стратосферный муссон - сезонные перестройки полей давления и ветра.

Кроме того, стратосфера может оказывать влияние на распространение атмосферных волн, которые могут изменять характер движения воздушных масс в тропосфере. Это происходит из-за слоя раздела между стратосферными восточными ветрами и тропосферными западными на уровне 20 км. Это, в свою очередь, может вызывать изменения в направлении ветра, атмосферном давлении и температуре на поверхности Земли [1].

Второе явление важнейшее явление - внезапные стратосферные потепления (ВСП) зимой, в период которых антициклоны находятся над полюсом около нескольких недель. В нескольких районах Северного полушария наблюдается нисходящий поток волновой энергии из стратосферы в тропосферу. Он способствует усиленному образованию приземных антициклонов, когда распространяется затем по горизонтали в тропосфере. Влияние этого явления мы будем рассматривать в данной работе.

Таким образом, понимание стратосферных процессов является важным элементом прогнозирования погоды на долгосрочную перспективу. Изучение этих процессов помогает улучшить качество прогнозов и принимать более обоснованные решения в области климатологии и метеорологии.

3. ВНЕЗАПНЫЕ СТРАТОСФЕРНЫЕ ПОТЕПЛЕНИЯ

3.1. Определение ВСП

Внезапное стратосферное потепление (ВСП) было впервые обнаружено Рихардом Шерхагом с помощью радиозондовых измерений в Берлине, Германия, в январе-феврале 1952 года, когда он обнаружил резкое повышение температуры в стратосфере. Примерно через десять лет Комиссия Всемирной метеорологической организации (ВМО) по атмосферным наукам разработала международную программу мониторинга ВСП под названием STRATALERT, основанную на имеющихся наблюдениях с помощью радиозондов и ракетных зондов. Комиссия атмосферных наук предложила, чтобы при обнаружении внезапного и необычного повышения температуры на высоте 30 км или выше подавалось предупреждение ВСП [10].

По прошествии времени и после того, как стали наблюдаться новые события, было признано, что многие ВСП происходили вместе с разворотами ветра и/или смещением или расщеплением полярных вихрей. Начиная с 1970-х годов, многие исследования сочетали повышение температуры и изменение направления ветра для обнаружения ВСП, хотя детальная реализация и используемые пороговые значения различаются. Часто используемое определение на этом этапе было предложено Макинтурфом в 1978 году. Он определил, что событие ВСП происходит, если температура повышается более чем на 25 К, и событие определяется как крупное, если более сильное повышение температуры наблюдается совместно с изменением направления ветра. Поскольку реверсирование ветра является одной из наиболее важных особенностей ВСП, многие исследования предлагают использовать его для обнаружения основных событий ВСП. Одним из наиболее часто используемых определений является определение: большой ВСП возникает, когда зональные средние зональные ветры на 60° с.ш. на уровне 10 гПа становятся восточными в зимнее время. Разворот ветра

является простым и надежным определением и полезен при изучении многих влияний, вызванных ВСП. В дополнение к определениям изменения направления ветра существуют также исследования, в которых для обнаружения событий ВСП использовался вихревой момент, который является еще одной важной характеристикой потепления. Кроме того, для обнаружения событий ВСП использовались аномалии геопотенциальной высоты стратосферы полярной шапки (Арктика и Антарктика) или зональные среднестатистические аномалии высоты при 10 гПа.

Сейчас принято считать, что внезапное стратосферное потепление (ВСП) описывает явление изменчивости атмосферы в ежедневном и месячном масштабе, когда температура в средней стратосфере (около 30 км или 10 гПа) быстро возрастает (> 30 до 40 К) в течение нескольких дней в субполярных и полярных регионах. В крайних случаях аномалии температуры ВСП могут достигать более 70 К относительно среднемноголетнего значения. Во время сильного события западные зональные ветры полярного вихря могут поменяться местами, и трехмерный полярный вихрь может претерпеть смещение или раскол. Обычно считается, что ВСП вызываются тропосферными планетарными волнами, которые проникают в стратосферу, а затем воздействуют на стратосферный полярный вихрь. Считается, что солнечная радиация также является одной из причин стратосферного потепления. ВСП обычно происходят в полярных областях Северного полушария (за пределами 60° с.ш.), в то время как в южной полярной области они редко встречаются из-за меньшей активности тропосферных планетарных волн [9]. Таким образом, мы сосредоточимся на ВСП Северного полушария в этой работе.

3.2. Характеристика ВСП

Мониторинг и анализ ВСП важны потому, что связанные с этими событиями температурные и ветровые аномалии могут опускаться вниз в тропосферу в масштабах от недель до месяцев, оказывая значительное воздействие на зимний климат поверхности Северного полушария. Тропосферная реакция на ВСП очень похожа на отрицательную фазу Североатлантического колебания, включающую экваторное смещение траектории североатлантического шторма; вспышки экстремально холодного воздуха в некоторых частях Северной Америки, северной Евразии и Сибири; сильное потепление в Гренландии, восточной Канаде и южной Евразии.

На рисунке 3.1 показаны быстрые изменения стратосферы во время событий ВСП, которые обычно проявляются одним из двух способов (или обоими): либо вихрь полностью смещается с полюса (рисунок 3.1.а), либо вихрь расщепляется на два меньших вихря (рисунок 3.1.б) [12].

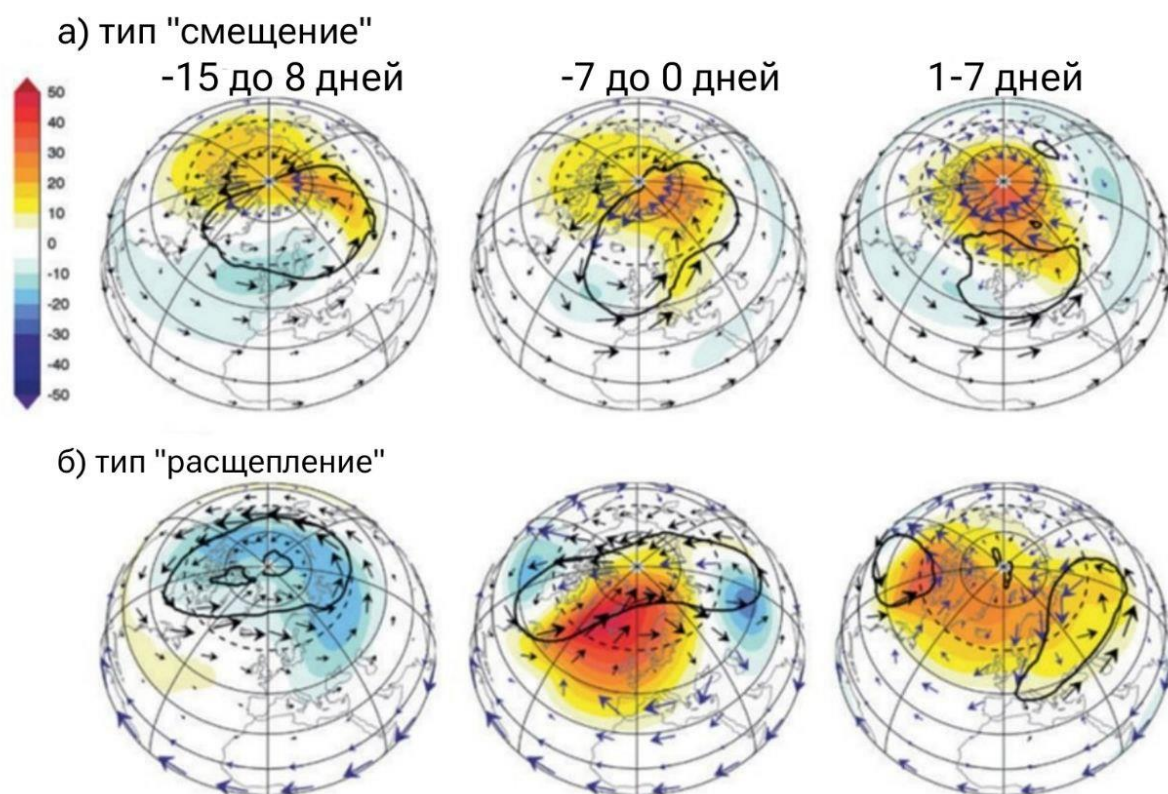


Рисунок 3.1- способы возникновения ВСП

Динамика расщепления вихря контрастирует с динамикой событий, когда вихрь просто смещается с полюса. В стратосфере эти два типа событий динамически различны: события расщепления вихря происходят после четкого предварительного идентифицирования полярного вихря, и их влияние на среднестратосферные температуры длится на 20 дней дольше, чем события смещения вихря. В противоположность этому, влияние внезапных потеплений на тропосферное состояние оказалось в значительной степени нечувствительным к типу события.

Также существует другая классификация ВСП. По ней основные события возникают, когда зимние полярные стратосферные западные ветры сменяются восточными. При незначительных потеплениях полярный температурный градиент меняется на противоположный, но циркуляция не меняется, а при окончательном потеплении вихрь разрушается и остается восточным до следующей осени. Первый тип-большие(major) ВСП: это наиболее интенсивный тип СП, когда температура стратосферы в высоких широтах нарушает стандартный климатический процесс. Обычно происходят в зимний период и могут повлиять на циркуляцию атмосферы, вызвав дальнейшие изменения в погоде. Второй тип - малые(minor): это менее интенсивные потепления, но все равно способны вносить изменения в атмосферные условия. Они могут происходить как в осенне-зимний, так и в весенне-летний периоды. Третий тип-окончательные потепления (final warmings): это процесс наступающего весеннего потепления стратосферы, который может закрыть зимний сезон СП. В это время происходит восстановление нормальной температурной структуры в стратосфере [13].

Поскольку до сих пор не существует однозначного стандартного определения для большого, малого и окончательного потепления, анализ событий ВСП не является простым делом. В данной работе для наглядности мы будем рассматривать 7 ВСП, которые относятся к разным типам.

3.3. Анализ случаев ВСП

Стр. 28-63 являются составной частью другого исследования и не публикуются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение внезапных стратосферных потеплений имеет важное значение для углубленного понимания атмосферных процессов и их влияния на нашу планету, что в конечном итоге может помочь в разработке более точных и надежных долгосрочных прогнозов, а также учета стратосферно-тропосферных связей в климатических моделях и адаптации к изменяющимся климатическим условиям.

Анализ влияния событий внезапных стратосферных потеплений на положение высотной фронтальной зоны показал, что над регионами попавшими под влияние ВСП происходит существенное искажение ВФЗ с ослаблением колебаний к концу периода. Период ВСП обычно не превышает три недели, а пик влияния ВСП на ВФЗ, а соответственно и на приземные аномалии температуры, приходится на первую неделю.

Некоторые отчетливые температурные аномалии обнаруживаются почти каждую зиму в том или ином виде, что подчеркивает тот факт, что полярная стратосфера зимой довольно изменчива. Что касается ВСП, то некоторые зимы сигнализируют об одном сильном потеплении, в то время как другие показывают несколько умеренно сильных или незначительных потеплений. Сильное потепление распространяется на более низкие высотные отметки, а также вызывает более длительные аномалии и, как отмечалось выше, может сопровождаться отчетливым похолоданием.

Несмотря на десятилетия исследований, многие ключевые аспекты ВСП до сих пор остаются неясными, поэтому важно продолжать исследовать и мониторить эти события. Это актуально во всех временных масштабах, от прогнозов погоды до климатических прогнозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колебания общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды / под ред. Ю. Б. Храброва. – Л. : Гидрометеороиздат. 1967. – 152-186 с
2. КЛИМАТОЛОГИЯ И МЕЖГОДОВЫЕ СМЕЩЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН В СРЕДНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ О. А. Разоренова*, П. А. Шабанов
3. Основные закономерности общей циркуляции атмосферы: учебное пособие / А.И. Угрюмов, И.В. Лаврова. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. – 72 с
4. «СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ» Н.А. Дашко Курс лекций по синоптической метеорологии.
5. «О влиянии планетарной высотной фронтальной зоны на изменение некоторых характеристик климатического режима на Северном полушарии» С. В. Морозова
6. Лекция 13. Планетарная высотная фронтальная зона. Струйные течения <https://teach-in.ru/lecture/2020-03-03-Gushina>
7. Лекция 12. Теория Хоскинса: Обратная связь в зоне фронта. Высотная фронтальная зона <https://teach-in.ru/lecture/2020-03-02-Gushina-2>
8. Интернет-журнал <http://meteoweb.ru/phen025.php>
9. Обзорная статья «Внезапное Стратосферное Потепление» Марк Болдуин, Бланка Айарзагуэна, Томас Бирнер.
10. Обзорная статья «DEFINING SUDDEN STRATOSPHERIC WARMINGS» by Amy H. Butler, Dian J. Seidel, Steven C. Hardiman, Neal Butchart, Thomas Birner, and Aaron Match.
11. Обзорная статья «Monitoring sudden stratospheric warmings under climate change since 1980 based on reanalysis data verified by radio occultation» Ying Li , Gottfried Kirchengast , Marc Schwaerz , and Yunbin Yuan.

12. «A New Look at Stratospheric Sudden Warmings. Part I: Climatology and Modeling Benchmarks». ANDREW J. CHARLTON*
13. «A comparative study of the major sudden stratospheric warmings in the Arctic winters 2003/2004–2009/2010» J. Kuttippurath¹ and G. Nikulin.
14. Основные погодно-климатические особенности января 2013 г. в северном полушарии. <https://meteoinfo.ru/>
15. Основные погодно-климатические особенности декабря 2008 г. в северном полушарии. <https://meteoinfo.ru/>
16. «Climate Trends and Variations Bulletin - Winter 1991/1992 - The First Bulletin» <https://www.canada.ca/>
17. «ДОЛГОСРОЧНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ» А.И. Угрюмов.