

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра метеорологии и климатологии

Внезапные стратосферные потепления над территорией России

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 411 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Капцовой Елизаветы Игоревны

Научный руководитель,

зав. кафедрой, к.г.н. доцент _____

М.Ю.Червяков

Зав.кафедрой,

доцент, к.г.н. _____

М.Ю.Червяков

Саратов 2021

Введение

Изучение явлений, происходящих в стратосфере, в настоящее время становится одной из приоритетных задач, так как эти процессы оказывают влияние на тропосферу, в частности, на нижние ее слои, где формируется погода. Сейчас изучению связи процессов, протекающих в стратосфере, с циркуляцией в тропосфере, уделяется особое внимание. Известно, что между тропосферой и стратосферой существуют как радиационные, так и динамические связи, а изменения в радиационном бюджете стратосферы, вызванные большими изменениями концентрации озона или углекислого газа, могут существенно влиять на температуру у поверхности Земли.

Явление внезапного стратосферного потепления (ВСП) – пример важнейшего динамического зимнего явления, которое связывает стратосферу и тропосферу. В последние годы интерес к изучению событий ВСП существенно возрос. Изучение механизмов этого явления стратосферы необходимо для понимания влияния стратосферных событий на формирование аномалий погоды и климат в тропосфере и их прогнозирование.

В настоящее время используются различные методы получения информации о ВСП: данные наземных спектрометрических и радиофизических наблюдений, различных реанализов (наиболее распространенные MERRA и NCEP/NCAR), спутников, в частности MLS Aura, а так же аэрологическое радиозондирование. Метод аэрологического радиозондирования является самым распространенным и системным видом получения метеорологической информации в верхних слоях атмосферы.

В данной работе была предпринята попытка использования данных аэрологического радиозондирования для оценки изменчивости температуры воздуха в стратосфере, а именно для слоев 30, 20 и 10 гПа. Для этих целей были использован архив результатов радиозондирования, размещенный на

интернет-портале Университета Вайоминга, США. В данный архив оперативно поступает аэрологическая информация со всего мира и является общедоступной.

Во время ВСП происходит существенное изменение не только динамических факторов атмосферы, но общего содержания озона. Поэтому одной из важнейших задач курсовой работы являлась оценка изменчивости содержания озона в атмосфере во время ВСП.

Вышеизложенное определяет главную цель исследования: оценить возможность использования аэрологических наблюдений для выявления внезапных стратосферных потеплений, изучение взаимосвязи температура средней стратосферы и общего содержания озона в период наблюдаемых ВСП.

Основное содержание работы

1 Внезапное стратосферное потепление

В настоящее время внезапные стратосферные потепления (ВСП) считаются одним из самых «драматичных» событий, происходящих в атмосфере. За время наблюдения за ВСП было замечено его влияние не только на полярную и среднеширотную стратосферу, но и зачастую даже на территории низких широт.

В метеорологическом словаре дано следующее определение данному явлению: ВСП – это сильное и внезапное повышение температуры «взрывного характера» в полярной и субполярной стратосфере зимой, иногда на 50° и более в течение нескольких (порядка десяти) суток. При этом меняется знак меридионального градиента температуры над полушарием, формируется стратосферный антициклон, и общий перенос воздуха меняется с западного на восточный. ВСП возникает в верхней стратосфере, в слоях, располагающихся над уровнем около 24 км, и затем распространяется также и на нижнюю стратосферу. Возвращение к нормальному зимнему режиму протекает медленнее, чем развитие потепления. Следует отличать ВСП данного «взрывного» типа от нормального потепления стратосферы в годовом ходе.

В настоящее время стратосферные потепления подразделяют на слабые, типа «minor», и значительные, или сильные, типа «major». Сильные потепления характеризуются сменой знака меридионального градиента температуры над полушарием и направления зональной стратосферной циркуляции на высоте 10 гПа с западного на восточное. Характерная особенность сильных потеплений состоит также в интенсификации горизонтальных градиентов давления, с которой связаны очень сильные

ветры, до 120–200 м/с. Усиление ветра обычно на 8–10 дней предшествует потеплению.

Событие ВСП считается минорным, если в любой области стратосферы на период времени до одной недели произошло повышение температуры на 25 °С и более.

События ВСП мажорного и минорного типа следует отличать от финального стратосферного потепления, которое наступает в весеннее время и характеризуется окончательным разрушением зимнего полярного стратосферного вихря с обращением зональной циркуляции на летний период.

Возвращение стратосферы к нормальному режиму происходит медленнее, чем развитие потепления. В мезосфере во время ВСП наблюдается остывание воздуха над зоной потепления в стратосфере. В результате происходит глобальное изменение динамики полярной и околополярной атмосферы в диапазоне высот от стратосферы до нижней термосферы.

2 Идентификация внезапных стратосферных потеплений по температурным данным аэрологического радиозондирования

Впервые ВСП было обнаружено немецким метеорологом Р. Шерхаг в 1952 г при анализе радиозондовых данных над Берлином.

В настоящее время используются различные методы получения информации о ВСП: данные наземных спектрометрических и радиофизических наблюдений, различных реанализов (наиболее распространенные MERRA и NCEP/NCAR), спутников, в частности MLS Aura, а так же аэрологические наблюдения.

Данные различных реанализов нашли широкое применение во многих климатических исследованиях, так как имеют ряд преимуществ: они находятся в свободном доступе, не имеют пропусков, обладают достаточно высоким пространственным разрешением.

Сканирующий сверхвысокочастотный (СВЧ) лимбовый зонд MLS (Microwave Limb Sounder), установленный на борту космического аппарата EOS Aura, использует микроволновое излучение для измерения температуры стратосферы и компонентов верхней тропосферы. Измерения при любых условиях, с хорошим вертикальным разрешением имеют большое значение для улучшения нашего понимания процессов, происходящих в атмосфере и влияющих на изменчивость климата.

Несмотря на большое разнообразие средств измерения температуры, пожалуй, самым распространенным и системным видом получения метеорологической информации в верхних слоях атмосферы остается метод аэрологического радиозондирования.

Наблюдения с помощью свободнолетающих радиозондов проводятся в стандартные сроки: 00 часов и 12 часов по UTC. Результатами запусков радиозондов являются данные о вертикальном распределении температуры, влажности, геопотенциальной высоте, направлении и скорости ветра, а также о давлении воздуха.

Информация включает значения метеорологических величин на каждом стандартном изобарическом уровне и на каждой стандартной высоте над поверхностью земли, уровне тропопауз и максимальной скорости ветра, а также на уровне особых точек (резких изменений в вертикальном распределении) температуры, влажности, скорости и направления ветра.

На интернет-портале Университета Вайоминга, США (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>) размещен большой архив результатов радиозондирования, куда оперативно поступает аэрологическая

информация со всего мира и является общедоступной.

Результаты аэрологического зондирования на интернет-портале представлены как в табличной форме (распределение метеорологических параметров по высоте), так и в виде комплектов телеграмм, сформированных по правилам кода КН-04. Для наглядного отображения данных представлены также графики.

На основе данных радиозондирования Университета Вайоминга было проведено исследование изменчивости температуры воздуха нижней и средней стратосферы для трех станций с различными климатическими условиями арктического региона: аэрологических станций «Виллойск», «Ханты- Мансийск», «Алдан», «Оленек», «Тикси», «Верхоянск», а также «Салехард» и «ГМО им. Федорова».

В ходе работы были проанализированы данные радиозондирования в зимний период (декабрь-февраль) с 2009 по 2019 г., что в целом составило 1800 подъемов радиозондов. Оценивались вертикальные профили температуры как в ночное (срок 00:00), так и дневное (срок 12:00) время. В некоторые сроки данных не было в связи с отсутствием наблюдений или ограничением вследствие малой высоты подъема радиозонда.

Информация о том, каким видом радиозонда производились измерения в конкретный день, в зашифрованном виде передается в телеграмме и при необходимости может быть учтена при анализе данных радиозондирования.

Выбор станций был осуществлен на основе следующих критериев: близости станции к центрам ВСП, которые наблюдались в указанный период, а также наличие данных в частях С и D аэрологических телеграммах кода КН- 04, в которых содержатся сведения выше уровня 100 гПа (до уровня 10 гПа и более).

На основе архивов радиозондирования трех арктических станций была составлена база данных о характеристиках температуры в зимний

период времени с 2009 по 2019 г для изобарических поверхностей 30, 20 и 10 гПа. Информация комплектовалась для каждого дня месяца, срока наблюдения и включала значение изобарической поверхности и соответствующую ей температуру. На основе сформированного массива данных были исследованы временные вариации температуры для каждой станции.

В качестве примера на рисунке 1 представлены графики изменения температуры для нижней и средней стратосферы (30,20 и 10 гПа) в зимний период 2011-2012 г. для станции «ГМО им.Федорова».

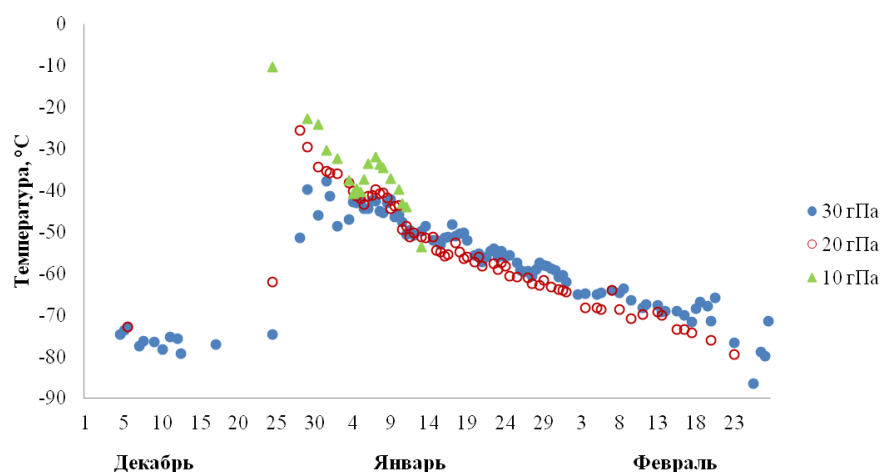


Рисунок 1 - Изменчивость температуры в стратосфере (30, 20 и 10 гПа) в зимний период 2018-2019 гг. для станции «ГМО им. Федорова»

Минимальная температура для станции «ГМО им. Федорова» на уровне 30 гПа составляет $-86,5^{\circ}\text{C}$, а на уровне 20 гПа и 10 гПа соответственно $-79,5^{\circ}\text{C}$ и $-53,7^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура на уровне 30 гПа составляет $-37,9^{\circ}\text{C}$, а на уровне 20 гПа и 10 гПа соответственно $-25,7^{\circ}\text{C}$ и $-10,5^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, можно заметить, что значение температуры зимний период на высоте 30, 20 и 10 гПа может существенно изменяться в период

ВСП, что возможно увидеть с помощью радиозондирования. На всех графиках отчетливо виден рост температуры перед наблюдаемым максимумом значений температуры на уровне 10 гПа, который в целом соответствует дате максимума ВСП по данным метеорологического архива NCEP/NCAR Reanalysis.

3 Изменчивость общего содержания озона во время внезапных стратосферных потеплений

Озон является малой газовой примесью в атмосфере, поглощает ультрафиолетовое излучение. Наибольшая плотность озона наблюдается на высоте около 20—25 км, наибольшая часть в общем объеме — на высоте 40 км.

Химические свойства озона обуславливают его сильные окислительные свойства, поэтому в тропосфере озон — загрязнитель воздуха, оказывающий токсичное влияние на здоровье человека и экосистемы.

Общее содержание озона в атмосфере (ОСО) — толщина его слоя, приведенного к нормальному давлению и температуре. Регулярные наблюдения за ОСО ведутся много лет по единообразным, разработанным весьма тщательно методам.

Озон является продуктом соединения молекулярного кислорода с атомарным, образующимся под воздействием ультрафиолетовых солнечных лучей. Общее содержание озона в атмосфере невелико — 2,10%, но он отражает до 95% ультрафиолетовых лучей, что предохраняет живые организмы от их губительного действия. Озон также повышает утепляющие действия атмосферы задерживая до 20% инфракрасных излучений, достигающих Земли.

ОСО в атмосфере определяется как количество озона, находящегося в вертикальном столбе с основанием 1 м^2 . Типичное значение ОСО, выражаемого в специальных единицах шкалы высот, составляет около 300 единиц Добсона.

Одна единица Добсона соответствует толщине слоя озона в см при нормальном давлении и температуре, что примерно соответствует средней концентрации озона в атмосфере, равной одной частице на миллиард.

При анализе пространственно-временных вариаций ОСО часто используются базы данных спутниковых измерений на основе приборов TOMS, OMI, а также объединенная база данных, дополненная измерениями на аппаратуре SBUV/SBUV2 – TOMS-SBUV merged total ozone data.

Так, спутниковый спектрометр TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) ежедневно осуществляет более 180 000 измерений на освещенной Солнцем поверхности Земли. Спутниковый прибор OMI Ozone Monitoring Experiment продолжает серию сканирующих в горизонтальном направлении спектрометров для надирных измерений уходящего (отраженного и рассеянного) излучения в различных диапазонах спектра. Прибор OMI работает на борту американского спутника AURA. На приборе выполняются измерения спектров уходящего излучения в области 270—500 нм с разрешением ~ 0.4 нм. Схема сканирования прибора OMI позволяет выполнять ежедневное глобальное картирование поля.

В Общее содержание озона (ОСО) в настоящей работе оценивалось по данным прибора OMI, размещенных на сайте NASA Earth Observations для регионов близких к выбранным станциям радиозондирования. Для каждого пункта (Вилуйск, Ханты-Мансийск, Алдан и Жиганск) была оценена синхронная изменчивость температуры на уровнях 10, 20 и 30 гПа и ОСО.

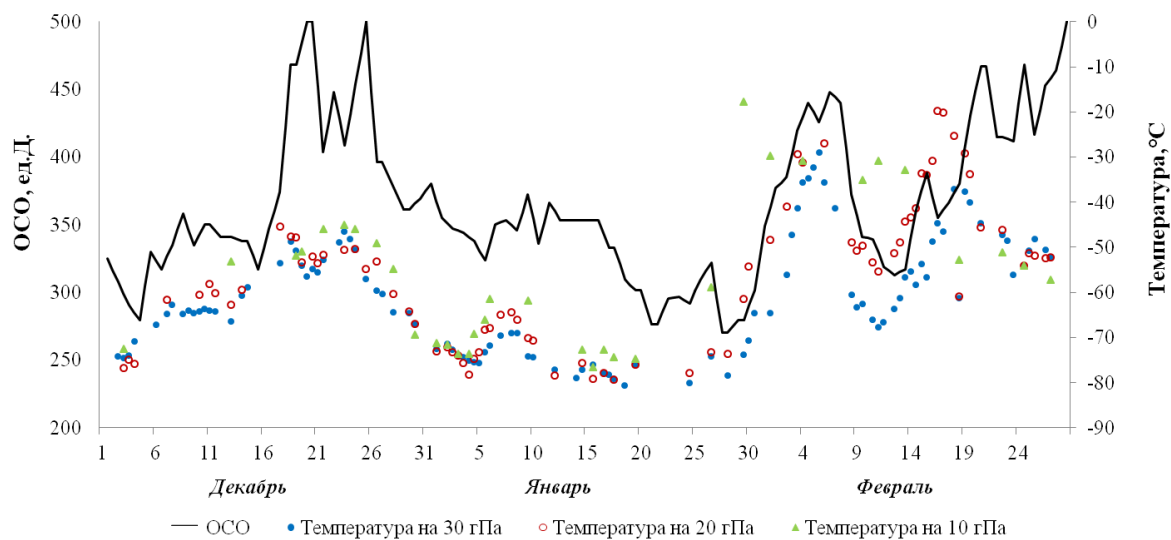


Рисунок 2 - Графики изменения температуры для нижней и средней стратосферы (30,20 и 10 гПа) и ОСО в зимний период 2015-2016 г. для станции «Виллюйск» (составлено автором).

В целом корреляция между температурой и общим содержанием озона зимой на уровне 30 гПа для трех станций в среднем составляла от 0,73 до 0,78. Корреляция для остальных станций составила около 0,5.

Из графиков видно, что существует определенное сходство изменения температуры и ОСО в на уровнях 30,20 и 10 гПа. Рост температуры и рост ОСО в период ВСП происходит практически одновременно.

Заключение

Данные по температуре, полученные с помощью радиозондирования атмосферы, позволяют детектировать в средней стратосфере ВСП, а так же проследивать изменения температуры во время ВСП на различных уровнях.

Во время ВСП отмечался рост ОСО. Корреляция между температурой средней стратосферы и ОСО в среднем составила 0,76. С помощью расчета коэффициентов кросс-корреляции удалось выяснить, что запаздывание резкого увеличения ОСО во время ВСП по сравнению с температурой составляет 0-2 дня для 30 гПа, 2-4 дня для 20 гПа и 3-5 дней для 10 гПа.

Таким образом, содержание озона в средней стратосфере, которое зависит от положения и формы полярного вихря, является индикатором крупномасштабных атмосферных процессов в Северном полушарии, приближающихся сильных стратосферных потеплений.

Полученные результаты свидетельствуют об общем характере изменений озона в ряде зим с внезапными стратосферными потеплениями. Причина этих изменений связана, вероятно, с общими особенностями эволюции полярных вихрей и развития планетарных волн.

Рассмотренные межгодовые различие ОСО и температуры воздуха средней стратосферы свидетельствуют о важности дальнейшего мониторинга атмосферного озона, что необходимо для прогнозов эволюции озоносферы и климата.