

<https://symp.iao.ru/en/aoo/27/proceedings>

XXVII International Symposium "Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics"

July 05-09, 2021, Moscow

Proceedings

**Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы
XXVII Международного симпозиума.**

Электронный ресурс

Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем.
требования: PC Pentium 1 или выше; Acrobat Reader 4.0 или выше.

ISBN 978-5-94458-187-7

© ИОА СО РАН, 2021

<https://symp.iao.ru/en/aoo/27/proceedings>

Содержание

1. [Пленарные доклады](#)
2. [Конференция А. Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы](#)
3. [Конференция В. Распространение излучения в атмосфере и океане](#)
4. [Конференция С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами](#)
5. [Конференция Д. Физика тропосферы](#)
6. [Конференция Е. Физика средней и верхней атмосферы](#)
7. [Конференция Ф. Цифровые платформы поддержки исследований атмосферы и океана](#)

Томск 2021

КОНФЕРЕНЦИЯ Е

**ФИЗИКА СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ
АТМОСФЕРЫ**

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАТ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ

Гаврилов Н.М., Ефимов М.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.

e-mail: n.gavrilov@spbu.ru, matvey.efimov.96@mail.ru

Для автоматизации и стандартизации поиска внезапных стратосферных потеплений (ВСП) по базам метеорологических данных в качестве дат их начала/окончания предложено считать моменты экстремумов скорости изменений температуры и зональной скорости, которые соответствуют экстремумам первой производной и нулевым значениям второй производной указанных величин по времени. Выполнен поиск дат ВСП по базе данных JRA-55 за 14 лет. Показано, что даты максимальных скоростей изменения температуры и ветра отличаются не более, чем на два дня. Найденные даты ВСП лежат в пределах неопределенностей других общепринятых методов определения дат ВСП. Развитию ВСП предшествуют увеличения потоков тепла, направленных в сторону полюса, которые могут способствовать нагреванию полярной стратосферы.

Зимние внезапные стратосферные потепления (ВСП), связанные с большой активностью планетарных волн (ПВ), распространяющихся вверх от тропосферы, влекут повышения температуры до 30-40 К в течение нескольких дней на высотах 30 - 50 км и ослабление или разворот направления зонального ветра [1, 2].

Современные методы диагностики минорных, мажорных и финальных ВСП обычно учитывают изменения температуры и среднезонального ветра на уровне давления 10 гПа и широтах выше 60° с.ш. [3, 4]. Часто эти методы сложны и связаны с большим объемом ручной обработки результатов наблюдений, что требует разработки компьютерных методов для автоматизации и стандартизации поиска дат ВСП по базам метеорологических данных.

В данной работе проанализирован и реализован алгоритм поиска моментов максимальных скоростей роста или уменьшения параметров атмосферы во время событий ВСП. Скорость изменения атмосферного параметра $f(t)$ равна первой производной по времени, $df(t)/dt$, которая в данной работе оценивается по разностной формуле

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\Delta t}, \quad (1)$$

где $f_i = f(t_i)$, Δt – шаг данных по времени.

Для определения максимумов и минимумов производной $df(t)/dt$ можно использовать вторую производную $d^2f(t)/dt^2$. Экстремумам первой производной соответствуют нули второй производной. Максимальной скорости роста соответствует $d^2f(t)/dt^2 = 0$ при $df(t)/dt > 0$, а максимальная скорость убывания существует при $d^2f(t)/dt^2 = 0$ и $df(t)/dt < 0$. Таким образом, необходимым условием экстремальной скорости роста/убывания $f(t)$ являются нули второй производной по времени.

Метеорологическая информация, за 2004 -2017 гг взята из японской базы данных 55-летнего реанализа (Japanese Reanalysis Archive - JRA-55). На рис.1 показан пример изменений зональной скорости ветра на высоте 30 км в узле сетки на широте 60° с.ш. по данным базы данных JRA-55, а также результаты расчета первой и второй производных по времени с использованием разностных формул типа (1). Рис. 1b и 1c показывают присутствие нулей второй производной при положительных или отрицательных значениях первой производной. Эти точки соответствуют максимальным скоростям роста или убывания зонального ветра, показанного на рис. 1a.

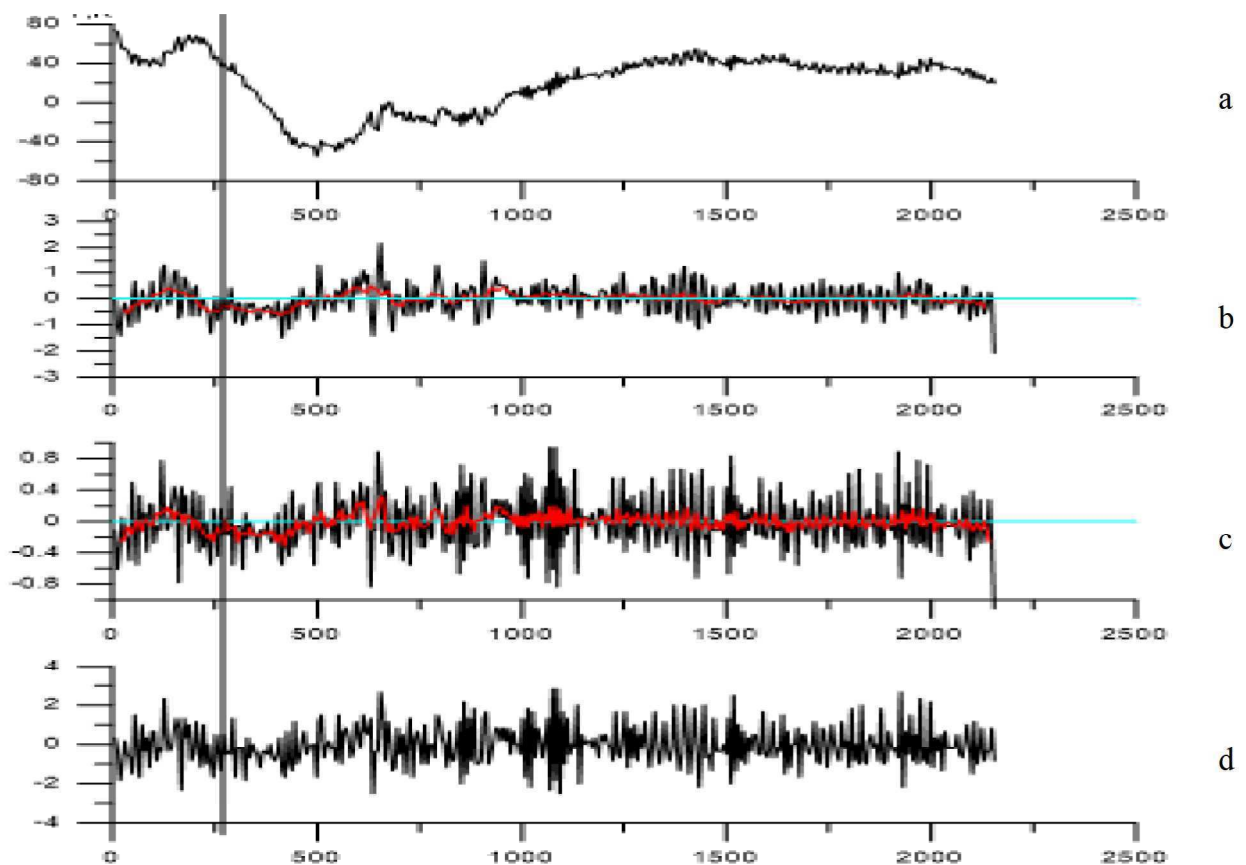


Рисунок 1 – Пример изменения зональной скорости ветра (в м/с) в зависимости от времени (в час) на высоте 30 км по данным JRA-55 – (a); аппроксимация первой производной по времени центральными разностями – (b); вторая производная – (c) и аппроксимация первой производной односторонними разностями – (d). На оси абсцисс время в часах. Красные линии – бегущие средние по 5-ти точкам

В начале ВСП обычно наблюдается максимальный рост температуры, когда первая производная (1) положительна и максимальна, а вторая производная одновременно равна нулю. Западный зональный ветер во время начала ВСП убывает и может менять направление (см. рис. 1). В момент максимальной скорости уменьшения зонального ветра первая производная отрицательна, а вторая производная пересекает нулевую линию на рис. 1c. Моменты

максимальных скоростей роста температуры и уменьшения зонального ветра во время начала ВСП близки. Вместе с тем, рис. 1 показывает наличие сильного шума, который не позволяет точно определить положений нулей второй производной..

Для уменьшения шума значения температуры, скорости ветра и их производных были усреднены по широтному кольцу 60 - 90° с.ш. на каждой высоте и в каждый момент времени. Это кольцо включает 6 узлов сетки по широте и 64 узла по долготе. Таким образом, усреднение производится по $6 \cdot 64 = 384$ значениям в узлах сетки. Это позволяет значительно уменьшить шум при расчете производных.

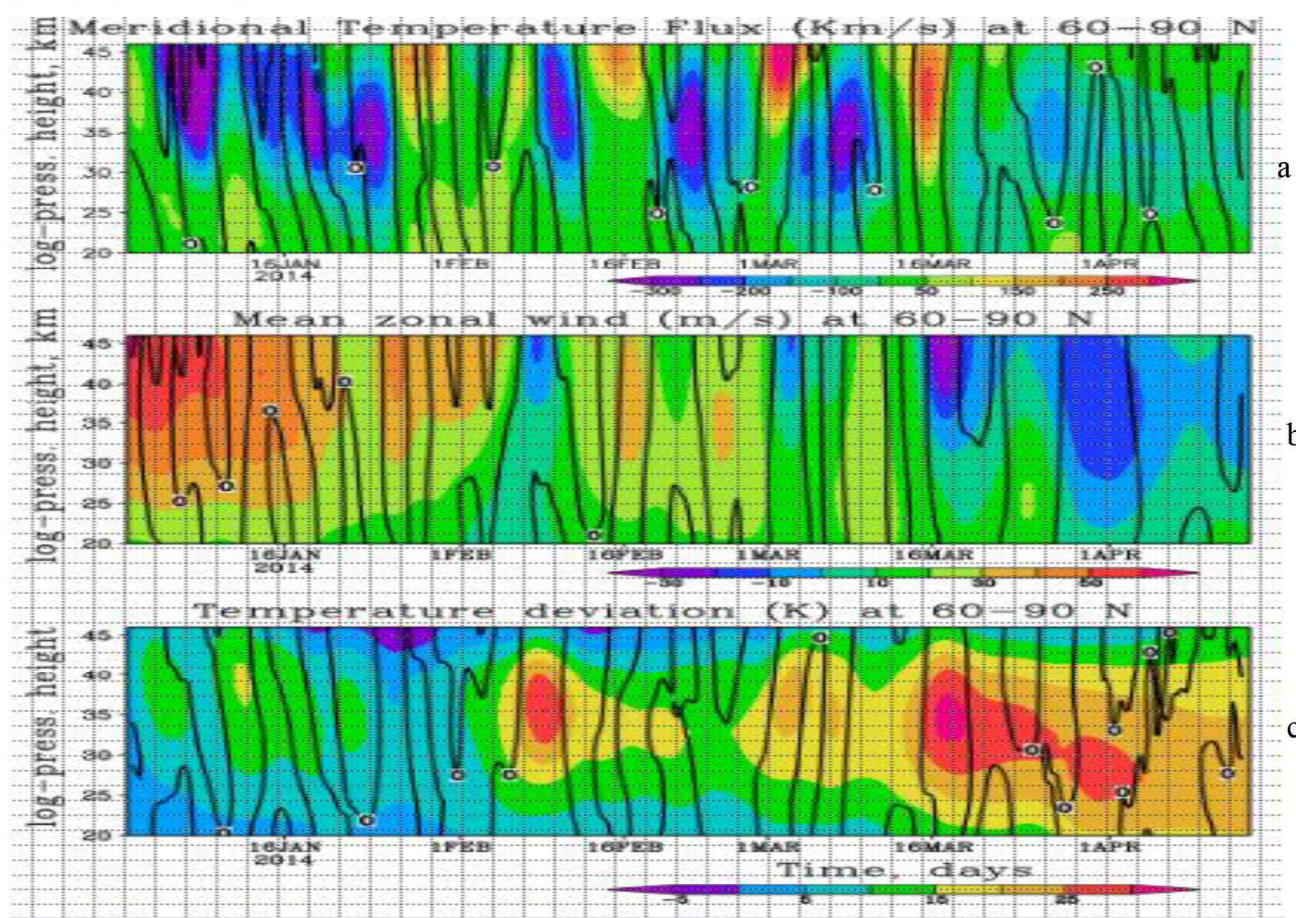


Рисунок 2 – Высотно-временные изменения меридионального потока тепла (а), скорости зонального ветра в м/с (b), приращений температуры в К (с), осредненных по широтному кольцу 60 - 90° с.ш. зимой 2014 г. Черные линии показывают нулевые контуры второй производной

На рис. 2 показан пример полученных результатов для зимы 2014 г. Видны максимумы температуры и минимумы зонального ветра в стратосфере, которые соответствуют ВСП. Нулевые контуры второй производной, показанные черными линиями на рис. 2, позволяют найти моменты максимальной скорости изменений анализируемых параметров на разных высотах. В качестве даты ВСП принимается положение нулевого контура второй производной,

расположенного в начале процесса роста температуры, либо уменьшения ветра. На разных высотах даты ВСП могут отличаться.

Общее количество зарегистрированных ВСП в 2004 – 2017 гг. составляет 29, т.е. примерно по 2 ВСП в год. Из них 15 мажорных ВСП (52%) и 14 (48%) минорных ВСП. Сравнение дат максимальных скоростей изменения разных характеристик показывает, что даты изменения средней скорости зонального ветра могут происходить как раньше (на 1 – 2 дня), так и позже роста температуры.

Анализ показывает, что практически всегда ВСП сопровождаются увеличением меридиональных потоков тепла, направленных в сторону полюса. Такой рост либо совпадает, либо опережает моменты роста температуры. Поэтому, возрастание меридиональных потоков тепла может служить предвестником ВСП.

Было проведено сравнение дат найденных мажорных ВСП с датами аналогичных ВСП, определенных другими методами в [4]. Получено, что погрешность определения дат ВСП предлагаемым методом не превосходит разброса дат ВСП при использовании общепринятых методов.

Данное исследование выполнено в Исследовательской лаборатории озонового слоя и верхней атмосферы СПбГУ при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

1. *Quiroz R.* Stratospheric evolution of sudden warmings in 1969-74 determined from measured infrared radiation-fields // *J. Atmos. Sci.* 1975. V.32. P. 211–224.

2. *Labitzke K.* Interannual variability of the winter stratosphere in the Northern Hemisphere // *Mon. Weather Rev.* 1977, V. 105. №. 6. P. 762–770.

3. *Charlton A.J., Polvani L.M.* A new look at stratospheric sudden warmings. Part I: Climatology and modeling benchmarks // *J. Climate* 2007. V. 20. P. 449–469.

4. *Butler A., Seidel D., Hardiman S., Butchart N., Birner T., Match A.* Defining sudden stratospheric warmings // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2015.