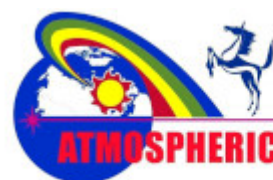


• **ОПТИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА**[2023 \(29\)](#) [Первое информационное
сообщение](#)[Второе информационное
сообщение](#)[Третье информационное
сообщение](#)[Четвертое
информационное
сообщение](#)[Программный комитет](#)[Организационный
комитет](#)[Местный оргкомитет](#)[Организаторы](#)[Спонсоры](#)[Полученные доклады](#)[Программа](#)[Программа \(.pdf\)](#)[Авторский указатель](#)[Организации-участники](#)[Труды](#)[Дополнительная
информация](#)[Родственные конференции](#)[Онлайн регистрация,
приём докладов и оплата
участия](#)[2022 \(28\)](#) [2021 \(27\)](#) [2020 \(26\)](#) [2019 \(25\)](#) [2018 \(24\)](#) [2017 \(23\)](#) [2016 \(22\)](#) [2015 \(21\)](#) [2014 \(20\)](#) [2013 \(19\)](#) [Главная](#) / [Оптика атмосферы и океана](#) / [2023 \(29\)](#) / [Труды](#)

XXIX Международный Симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы"

26-30 ИЮНЯ 2023 ГОДА, МОСКВА**MOSCOW 2023****ATMOSPHERIC and OCEAN OPTICS. ATMOSPHERIC PHYSICS**

Труды

**Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы
XXIX Международного симпозиума.****Электронный ресурс**

Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2023. - 169 МВ. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: PC Pentium 1 или выше; Acrobat Reader 4.0 или выше.

ISBN 978-5-94458-196-9

© ИОА СО РАН, 2023

Содержание

1. [Конференция А. Молекулярная спектроскопия и распространение излучения в атмосфере и океане](#)
2. [Конференция В. Исследование атмосферы оптическими методами](#)
3. [Конференция С. Исследование океана оптическими методами](#)
4. [Конференция D. Физика тропосферы](#)
5. [Конференция Е. Физика средней и верхней атмосферы](#)

КОНФЕРЕНЦИЯ Е

**ФИЗИКА СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ
АТМОСФЕРЫ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАТ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА JRA-55

Ефимов М.М., Гаврилов Н.М.

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

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

Для автоматического поиска внезапных стратосферных потеплений (ВСП), в качестве дат их начала и окончания предложено считать моменты экстремумов скорости изменений температуры и зональной скорости ветра, которые соответствуют экстремумам первой производной и нулевым значениям второй производной указанных величин по времени. Выполнен поиск дат ВСП на 30 и 40 км по базе данных JRA-55 за 59 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. Были проанализированы различные типы ВСП и предложен способ их классификации. 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].

В [5] был 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 [5].

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 [5].

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. В момент максимальной скорости уменьшения зонального ветра первая производная отрицательна, а вторая производная пересекает нулевой контур (см. рис.1). Моменты максимальных скоростей роста температуры и уменьшения зонального ветра во время начала ВСП близки.

Был разработан скрипт для системы GRADS, позволяющий рассчитывать требуемые производные на различных высотах. Для минимизации шума значения температуры, скорости зонального ветра, меридионального притока тепла были усреднены по широтному кольцу 60-90° с.ш. Это кольцо включает 6 узлов сетки по широте и 64 узла по долготе. Таким образом, усреднение производится по $6 \times 64 = 384$ значениям в узлах сетки. Проанализированы данные метеорологического реанализа JRA-55 за 1958-2017 гг. Для зимних периодов исследовались следующие параметры на разных высотах от 20 км до 50 км: средняя скорость зонального ветра, изменение температуры, а также среднее произведение $\langle T'v' \rangle$, которое пропорционально меридиональному потоку тепла. Были также рассчитаны нулевые контуры второй производной, которые показывают максимумы и минимумы скоростей изменения анализируемых величин. В качестве даты ВСП можно принять положение нулевого контура второй производной, расположенного в начале процесса уменьшения зонального ветра. Альтернативно, нулевые контуры второй производной температуры и меридионального потока тепла показывают даты максимальной скорости роста или уменьшения этих величин.

На рис. 1 показан пример полученных результатов для зимы 2008 г. Видны максимумы температуры и минимумы зонального ветра в стратосфере, которые соответствуют ВСП. Нулевые контуры второй производной, показанные черными линиями на рис. 1, 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 различных высотах даты ВСП могут отличаться.

Даты ВСП были определены для высот 30 и 40 км. Определялись даты максимального роста температуры, максимальной скорости убывания зонального ветра и максимальной скорости роста меридионального потока тепла. Также ВСП классифицировались, в соответствии с наличием разворота среднезонального ветра и скорости роста температуры на мажорные, минорные и импульсы потеплений. Всего зарегистрировано 148 событий ВСП, в среднем по 2-3 ВСП в год. Средняя продолжительность событий ВСП 7-9 дней.

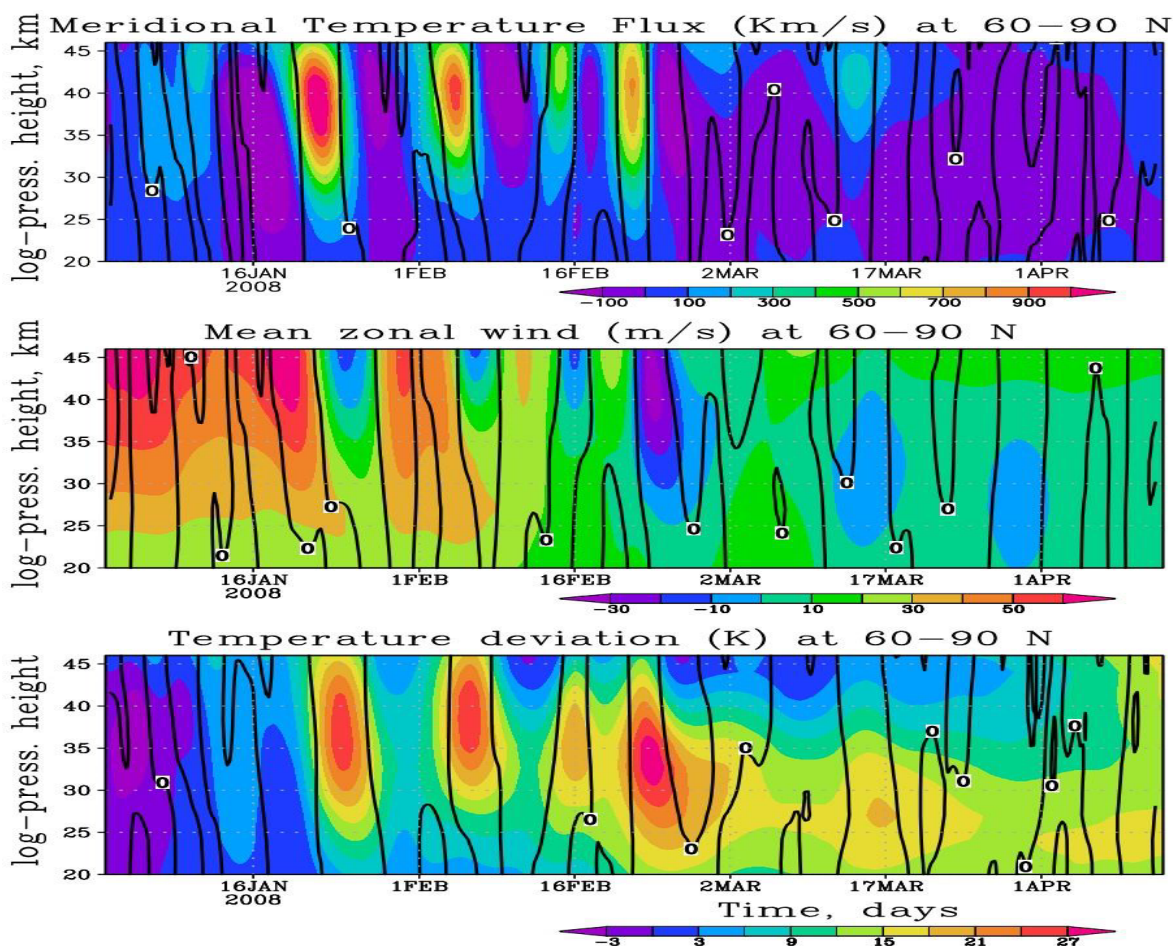


Рисунок 1 - Высотно-временные изменения меридионального потока тепла (вверху), скорости зонального ветра в м/с (в середине) и приращений температуры в К (внизу), осреднённых по широтному кольцу 60 - 90° с.ш. зимой 2008 г. Черные линии показывают нулевые контуры второй производной соответствующих величин.

В данном исследовании были также определены значения медианы максимального увеличения температуры при потеплении и наличие или отсутствие разворота среднезонального ветра на высотах 30 и 40 км. Было предложено считать событие ВСП мажорным, если был обнаружен разворот среднезонального ветра и, одновременно, максимальное увеличение температуры превышало значение медианы. Потепление считалось минорным, если значение максимального увеличения температуры превышало медиану, но разворота ветра не было. Событие ВСП считалось импульсом потепления, если вне зависимости от наличия или отсутствия разворота среднезонального ветра значение максимального увеличения температуры при событии было ниже значения медианы.

Значение медианы изменения температуры на уровнях 30 км и 40 км составило 10 К. Всего было обнаружено 63 мажорных потепления на уровне 30 км и 69 на уровне 40 км. Было установлено что в среднем мажорное ВСП происходит 1 раз в год. Продолжительность

мажорного ВСП составляет 8-10 дней. Наибольшее количество мажорных ВСП было обнаружено в январе. 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.

За период 1958 – 2017 гг. было найдено 41 минорное потепление на высоте 30 км и 35 потеплений на высоте 40 км. Средняя продолжительность минорного потепления составила 6 дней. В среднем количество минорных ВСП составляет 0.6 – 0.7 событий в год. Наибольшее количество минорных потеплений обнаружено также в январе. Кроме того, было установлено 44 факта импульса потеплений на высотах 30 и 40 км. В среднем частота потепления такого типа составляет 0.75 событий в год. Их средняя продолжительность составляет 6 дней. Наибольшее количество событий ВСП данного типа обнаружено в феврале

Анализ показывает, что практически всегда событиям ВСП предшествуют увеличения 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.

Также было получено, что на высоте 40 км ВСП начинаются раньше в среднем на $(0,6 \pm 0,3)$ сут. На высоте 30 км длительность ВСП больше, чем на высоте 40 км, в среднем на $(1,0 \pm 0,3)$ сут.

Данное исследование выполнено в Лаборатории исследований озонового слоя и верхней атмосферы СПбГУ при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение 075-15-2021-583).

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.

5. *Gavrilov N.M., Efimov M.M.* Automated determination of the dates of sudden stratospheric warming // *Proc. SPIE.* 2021. V. 11916. 119167T.