

Санкт-Петербургское отделение РАН  
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН  
Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН  
Институт солнечно-земной физики СО РАН



XXX Международный симпозиум  
**Оптика атмосферы и океана.  
Физика атмосферы**

г. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г.

**Материалы**

Томск  
Издательство ИОА СО РАН  
2024

УДК 532+534+535+537.86+539.12+539.2  
ББК Б34  
О62

**Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы** [Электронный ресурс] :  
Материалы XXX Международного симпозиума, г. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. —  
Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Систем.  
требования: PC Pentium 1 или выше; Acrobat Reader 4.0 или выше. Загл. с экрана.

Сборник включает в себя материалы докладов, представленных на  
XXX Международном Симпозиуме «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»  
(г. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г.). Представляет интерес для специалистов в области  
физики, оптики атмосферы и океана, радиофизики, акустики, метеорологии и экологии.

Ответственный редактор – О.В. Харченко.

**Спонсоры Симпозиума:**



**Компания «СЛС Прайм технолоджи»**



**Группа компаний «Научное оборудование»**

Электронное издание

PC Pentium 1 или выше; CD-ROM 16-х или выше; мышка. Acrobat Reader 4.0 или выше

---

Подписано к использованию 27.06.2024 г. 1 CD-ROM. 180 экз.  
Издательство ИОА СО РАН, 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1.  
Тел. 8-3822-492384

---

# ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДА МАКСИМУМОВ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ

Ефимов М.М., Гаврилов Н.М.

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

e-mail: matvey.efimov.96@mail.ru

Выполнено сравнение времени начала и других характеристик мажорных внезапных стратосферных потеплений (ВСП), определенных методом максимумов скорости изменения (МСИ) температуры и среднего зонального ветра на высоте 30 км и широтах выше 60° с.ш. с аналогичными характеристиками, полученными другими общепринятыми методами. Время начала ВСП определяются с использованием моментов максимальной скорости роста температуры и убывания средней зональной скорости по данным японского реанализа метеорологической информации JRA-55 за период с 1958 по 2017 г.

Внезапные стратосферные потепления (ВСП), связанные с активностью планетарных волн создают значительное и быстрое увеличение температуры (до 30-40 К за несколько дней) в стратосфере на высотах 30-50 км и ослабление или разворот направления западного зонального ветра [1]. ВСП происходят зимой на высоких широтах. В [2, 3] разработан метод автоматического определения дат начала и окончания событий ВСП. В данном исследовании этот метод использован для поиска и определения характеристик ВСП на высоте 30 км за период с 1958 по 2017 г по базе данных JRA-55 японского метеорологического реанализа [4].

Использованный метод основан на поиске моментов максимальной скорости изменения (МСИ) температуры и средней зональной скорости во время ВСП [2,3]. В начале ВСП можно найти момент максимального роста температуры,  $t_T$ , когда первая производная по времени 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,  $t_U$ , первая производная отрицательна, а вторая производная проходит нулевое значение. Необходимым условием экстремальной скорости роста и убывания является равенство нулю второй производной по времени.

Для определения параметров ВСП была разработана программа-скрипт для системы графического анализа GRADS [5]. Проанализированы данные метеорологического реанализа JRA-55 [4] за 1958 - 2017 гг. Для уменьшения шума данные реанализа усреднялись по широтному кольцу 60 - 90° с. ш., которое включает 384 узлов широтно-долготной сетки базы данных JRA-55.

На рис. 1 показан пример изменения атмосферных параметров для зимы 1959 г. Видны максимумы температуры и минимумы зонального ветра в стратосфере, которые соответствуют ВСП. Нулевые контуры второй производной, показаны черными линиями на рис. 1 и позволяют найти моменты максимальной скорости изменений температуры  $t_T$ , зонального ветра  $t_U$  и ковариации  $Q$ , пропорциональной меридиональному потоку тепла,  $t_Q$ .

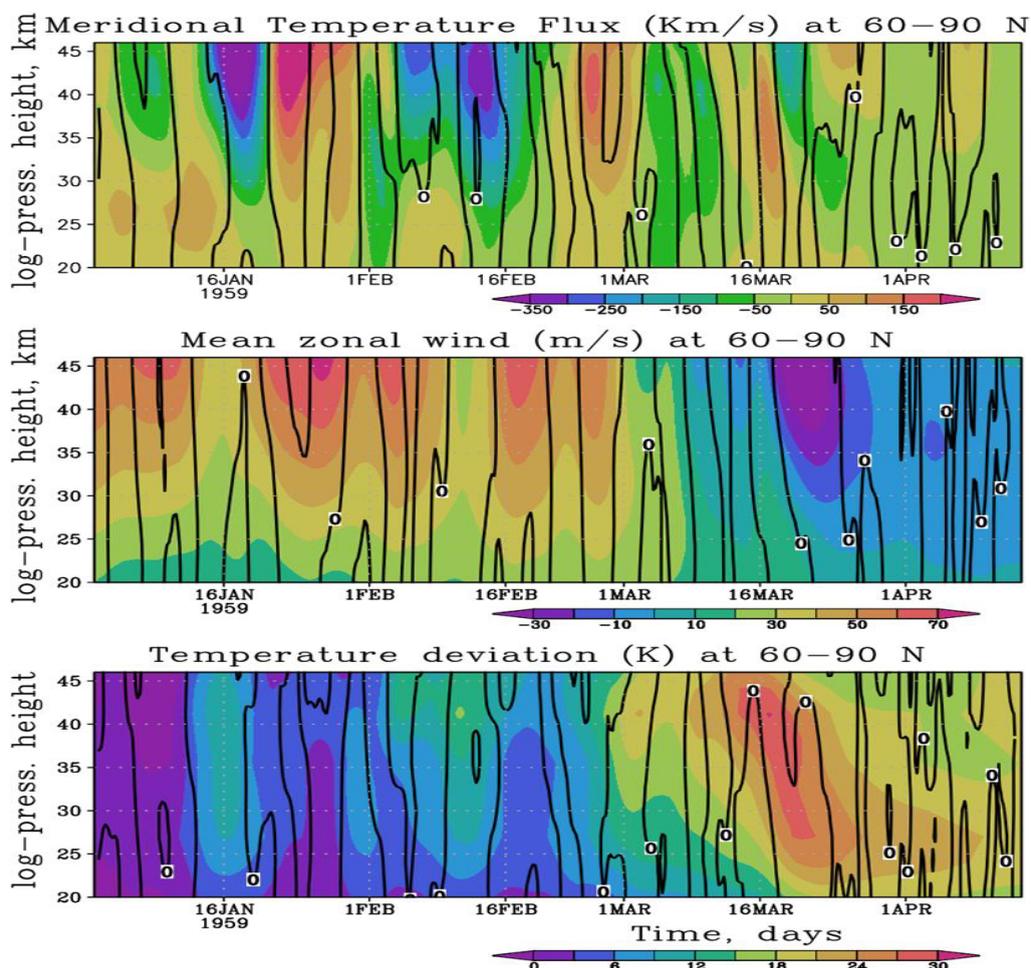


Рисунок 1 – Зависимости от высоты  $z$  в км и времени  $t$  в днях года изменений меридионального потока тепла  $Q$  в Км/с (вверху), скорости зонального ветра в м/с ( в середине) и изменения температуры в К (внизу), осреднённых по широтному кольцу 60-90° с.ш. для зимы 1959 г.

Черными линиями изображены нулевые контуры второй производной

Таблица 1. Параметры мажорных ВСП, зарегистрированных по данным метеорологического реанализа JRA-55

Год	месяц	$t_R$	$t_U$	$t_T$	$t_Q$	$\delta U$	$\delta T$	$\delta Q$	$t_R - t_U$	$t_T - t_U$	$t_Q - t_U$
1958	янв	29,5	26,1	27,2	19,9	-60,0	21,0	200,0	3,4	1,1	-6,2
1960	янв	16,5	14,8	14,0	14,8	-15,0	3,0	300,0	1,7	-0,8	0,0
1963	янв	29,5	28,7	19,3	18,8	-30,0	18,0	100,0	0,8	-9,4	-9,9
1965	дек	17,5	16,5	17,1	26,2	-10,0	10,0	50,0	1,0	0,6	9,7
1966	фев	22,5	16,7	5,6	-1,3	-40,0	15,0	300,0	5,8	-11,1	-18,0
1968	янв	6,5	4,1	0,3	3,8	-40,0	10,0	150,0	2,4	-3,8	-0,3
1968	нов	28,5	27,3	29,1	28,4	-20,0	5,0	100,0	1,2	1,8	1,1
1970	янв	0,5	0,2	0,2	0,2	-20,0	6,0	50,0	0,3	0,0	0,0
1971	янв	17,5	9,0	8,2	6,8	-40,0	15,0	300,0	8,5	-0,8	-2,2
1971	март	19,5	17,5	19,2	18,8	-20,0	12,0	100,0	2,0	1,7	1,3
1973	янв	30,5	27,7	26,9	25,6	-50,0	20,0	400,0	2,8	-0,8	-2,1
1977	янв	8,5	4,5	0,0	15,2	-50,0	5,0	200,0	4,0	-4,5	10,7
1979	фев	21,5	19,1	19,6	17,2	-50,0	12,0	300,0	2,4	0,5	-1,9
1980	фев	28,5	27,1	26,0	25,2	-30,0	20,0	300,0	1,4	-1,1	-1,9
1981	март	3,5	-0,5	-0,5	8,7	-30,0	10,0	50,0	4,0	0,0	9,2
1981	дек	3,5	1,4	1,8	0,4	-25,0	10,0	60,0	2,1	0,4	-1,0
1984	фев	23,5	20,5	14,6	14,0	-70,0	20,0	100,0	3,0	-5,9	-6,5
1987	янв	22,5	21,6	21,3	19,9	-30,0	15,0	100,0	0,9	-0,3	-1,7
1987	дек	7,5	7,4	1,4	0,2	-30,0	25,0	400,0	0,1	-6,0	-7,2
1988	март	13,5	9,9	7,2	2,2	-40,0	15,0	200,0	3,6	-2,7	-7,7
1989	фев	20,5	17,5	18,3	13,5	-50,0	10,0	250,0	3,0	0,8	-4,0
1998	дек	14,5	14,2	12,7	1,0	-40,0	15,0	300,0	0,3	-1,5	-13,2
1999	фев	25,5	22,7	21,4	15,4	-30,0	15,0	200,0	2,8	-1,3	-7,3
2001	дек	30,5	27,4	21,4	15,6	-25,0	20,0	300,0	3,1	-6,0	-11,8
2003	янв	17,5	14,5	13,7	12,6	-30,0	15,0	500,0	3,0	-0,8	-1,9
2004	янв	4,5	0,0	1,7	0,0	-20,0	10,0	100,0	4,5	1,7	0,0
2006	янв	20,5	22,2	8,0	5,8	-40,0	15,0	200,0	-1,7	-14,2	-16,4
2007	фев	23,5	20,7	20,7	11,1	-40,0	12,0	200,0	2,8	0,0	-9,6
2008	фев	21,5	22,4	12,4	12,8	-30,0	15,0	500,0	-0,9	-10,0	-9,6
2009	янв	23,5	21,5	19,5	11,5	-50,0	30,0	500,0	2,0	-2,0	-10,0
2010	фев	8,5	6,0	8,0	1,8	-20,0	0,0	200,0	2,5	2,0	-4,2
2010	март	23,5	19,2	20,0	24,3	-20,0	10,0	100,0	4,3	0,8	5,1
2013	янв	6,5	4,0	3,4	5,3	-50,0	15,0	300,0	2,5	-0,6	1,3
Среднее						-34,70	13,61	224,55	2,41	-2,19	-3,52
Дисперс						13,86	6,27	133,72	1,92	4,08	6,86
Дисп.средн.						2,45	1,11	23,64	0,34	0,72	1,21

Параметры ВСП, полученные по базе данных японского метеорологического реанализа JRA-55 за 1958 – 2017 гг для набора мажорных ВСП, зарегистрированных другими общепринятыми методами [6], приведены в Табл. 1. Приведены также значения  $t_R$  – максимальные изменения зональной скорости (м/с),  $\delta U$ , температуры (К),  $\delta T$ , и меридионального потока тепла в относительных единицах,  $\delta Q$ , во время ВСП. В табл. 1 также приведено время начала ВСП,  $t_R$ , определенное в [1] по моменту разворота зонального ветра на высоте 30 км.

Табл. 1 показывает, что время максимальной скорости уменьшения зонального ветра,  $t_U$ , наблюдается в среднем на  $2.4 \pm 0.3$  сут раньше, чем разворот ветра,  $t_R$ . Максимальная скорость роста температуры,  $t_T$ , происходит на  $2.1 \pm 0.7$  сут раньше, чем  $t_U$ . Раньше всего (на  $3.5 \pm 1.2$  сут относительно  $t_U$ ) происходит увеличение направленного к северному полюсу потока тепла. Этот поток тепла может способствовать дополнительному нагреванию приполярной стратосферы и развитию ВСП.

Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта 116234986. Используются данные, полученные в ресурсном центре СПбГУ «Геомодель».

1. *Butler A., Seidel D., Hardiman S., Butchart N., Birner T., Match A.* Defining sudden stratospheric warmings // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2015. V. 96. P. 1913–1928.

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

3. *Efimov M.M., Gavrilov N.M.* Determination of sudden stratospheric warming dates and their classification according to the JRA-55 reanalysis data // Proc. SPIE. 2023. V. 12780. Art. 127807B.

4. *Kobayashi S., Ota Y., Harada Y., Ebata A., Moriya M., Onoda H., Onogi K., Kamahori H., Kobayashi C., Endo H., Miyaoka K., Takahashi K.* The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics // J. Meteor. Soc. Japan. 2015. V. 93. P. 5-48.

5. Grid Analysis and Display System (GrADS) [Электронный ресурс]. URL: [www.opengrads.org](http://www.opengrads.org) (дата обращения 20.03.2024).

6. Table of major mid-winter SSWs in reanalyses products. [Электронный ресурс]. URL: <https://csl.noaa.gov/groups/csl8/sswcompendium/majorevents.html> (дата обращения 20.03.2024).