

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК  
ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ  
В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ ЗА ПЕРИОД 1975–2013 гг.**

**М.А. Руднева, О.С. Кочеткова, В.И. Мордвинов**

**INVESTIGATION OF LONG-TERM PARAMETERS OF SUDDEN STRATOSPHERIC WARMING  
IN THE NORTHERN HEMISPHERE IN 1975–2013**

**M.A. Rudneva, O.S. Kochetkova, V.I. Mordvinov**

В работе исследована динамика внезапных стратосферных потеплений (ВСП) в Северном полушарии с 1975 по 2013 г. В большинстве случаев ВСП наблюдались над Азиатско-Тихоокеанским регионом, что соответствует типу II по классификации Ю.Б. Храброва. В целом за весь период с 1975 по 2013 г. устойчивый тренд в температуре или значениях геопотенциала во время стратосферных потеплений отсутствовал, однако с середины 90-х гг. интенсивность и пространственный масштаб стратосферных потеплений уменьшались. Возрастание интенсивности ВСП в 2005–2009 гг. было обусловлено одним из самых мощных стратосферных потеплений в 2009 г.

We have studied the dynamics of sudden stratospheric warming (SSW) in the Northern Hemisphere from 1975 to 2013. In most cases, the SSW were seen over the Asia-Pacific region, which corresponds to Type II classification U.B. Khrabrov. Overall, for the entire period from 1975 to 2013 stable trend in temperature or geopotential values at the time of the stratospheric warming was absent, but since the mid 90's intensity and spatial scale of the stratospheric warming decreased. The increase in the intensity of the SSW in 2005–2009 was due to one of the most powerful stratospheric warming in 2009.

**Введение**

Внезапное стратосферное потепление (ВСП) – это повышение температуры «взрывного характера» в полярной и субполярной стратосфере зимой в течение нескольких (порядка десяти) суток. Явление происходит на высотах от 10 до 50 км, при этом меняется знак меридионального градиента температуры над полушарием, формируется стратосферный антициклон, а зональные ветры могут изменить направление с западного на восточное. Возвращение к нормальному зимнему режиму протекает медленнее, чем развитие потепления.

Характеристиками ВСП являются интенсивность, продолжительность и место возникновения. Большой интерес представляют изменения этих характеристик на длительных интервалах времени, сопоставимых с масштабами времени изменений климатических характеристик. Цель нашей работы – выявить места наиболее частой локализации ВСП в Северном полушарии, а также исследовать динамику характеристик ВСП за длительный интервал времени.

**Данные и метод**

В работе рассмотрены изменения высот геопотенциальных поверхностей и температуры на уровне 10 гПа за период 1975–2013 гг. по данным архива NCEP/NCAR Reanalysis [Kalnay et al., 1996]. На основе этих данных были определены следующие характеристики ВСП: положение, максимальные значения температуры и геопотенциала в период ВСП, а также продолжительность каждого события. Для характеристики циркуляционных процессов в стратосфере во время ВСП была использована типизация Ю.Б. Храброва [Храбров и др., 1967], основанная на определении секторов, в которых располагаются центры циклонического и антициклонического вихрей на уровне 10 гПа, а также очаги положительных аномалий  $H_{500/1000}$ , расположенные севернее  $60^\circ N$ . В зависимости от этих параметров аномалии циркуляции в стратосфере делятся на пять типов:

Тип I: стратосферный циклонический вихрь (СЦВ) находится над атлантическим сектором Арктики между меридианами 0 и  $70^\circ W$ , а тихоокеанский, атлантический и азиатский антициклонические центры располагаются в субтропических широтах.

Тип II: СЦВ находится над европейским сектором Арктики между меридианами 0 и  $90^\circ E$ , а тихоокеанский максимум смещен к северу, к Берингову проливу.

Тип III: СЦВ над азиатским сектором Арктики между меридианами 90 и  $180^\circ E$ .

Тип IV: СЦВ располагается над американским сектором Арктики между меридианами  $180^\circ E$  и  $70^\circ W$ .

Тип V: раздвоение стратосферного циклонического вихря. Один центр располагается над евразийской частью полушария, второй – над американской частью.

**Результаты**

В таблице представлено распределение ВСП по типам согласно классификации Храброва. Преобладающим является второй тип циркуляции (51 %), 22 % случаев ВСП относятся к типу I, примерно в равном количестве наблюдаются III и V типы (13, 9 %), наиболее редким является IV тип – всего 5 % случаев.

Распределение числа случаев по типам

	типы по классификации Храброва				
	Тип I	Тип II	Тип III	Тип IV	Тип V
число случаев	30	71	18	7	12
%	22	51	13	5	9

Однако данная типизация была разработана для оценки циркуляционных условий и не вполне применима для анализа ВСП, так как в ней не отражается локализация самого очага потепления. Поэтому для каждого из рассмотренных событий ВСП мы определили дополнительно долготный сектор, в котором располагался очаг потепления (рис. 1). Наибольшая повторяемость потеплений отмечается в долготном интервале  $0-180^\circ$  (такая ситуация

наиболее вероятно при реализации типа II из таблицы). На втором месте по частоте появления – события с меньшим пространственным масштабом, локализованные в секторе 90–180°. Третьими по повторяемости являются крупномасштабные ВСП, охватывающие долготный сектор 0–270°. Относительно редко (семь событий) наблюдались крупномасштабные ВСП, охватывающие все полушарие, а также локальные атлантические потепления, соответствующие типу IV из таблицы.

Для исследования долговременных изменений локализации ВСП мы выделили интервалы 1975–1979, 1980–1984, 1985–1989, 1990–1994, 1995–1999, 2000–2004, 2005–2009, 2010–2013 гг., для каждого из которых построили распределения ВСП по восьми долготным секторам (рис. 2, а) и гистограммы типов Храброва (рис. 2, б). Видно, что до середины 90-х гг. преобладали крупномасштабные события, охватывающие до половины полушария. Исключение составляет пятилетний период 1980–1984 гг., в котором практически все события имели еще больший масштаб и занимали до трех четвертей полушария. Во второй половине 90-х гг. и до 2005 г. уменьшилась частота появления событий ВСП, а сами события стали менее масштабными. В последние три пятилетних периода (2000–2013 гг.) преобладающими стали ВСП в секторе 90–180°, почти не было случаев с атлантическими потеплениями.

По типизации Храброва в течение всего периода преобладающим был тип II, он встречался в половине случаев, и это соотношение сохранялось практически на протяжении всего исследуемого периода. Исключение составила лишь первая половина 90-х гг., когда увеличилась частота появления типа I. Второе место до первой половины 90-х гг. занимал тип III, затем он сменился типом I. Типы IV и V с середины 90-х гг. встречались гораздо реже, чем в предыдущий период: отмечались либо единичные случаи, либо эти типы отсутствовали совсем.

Для дополнительного анализа изменений ВСП на уровне 10 гПа были рассчитаны также средние и максимальные за пятилетку значения максимальных температур ВСП, максимальные значения геопотенциала во время ВСП и максимальные значения геопотенциала в день с максимальной температурой (рис. 3).

За весь период с 1975 по 2013 г. средняя температура в области потеплений составила –18 °С, тогда как средняя многолетняя температура в полярной области равна –59 °С. Двадцатого января 2009 г. максимальная температура в период ВСП составила 11.4 °С – это самая высокая температура за весь период. Температура в этот момент превышала среднюю многолетнюю температуру в полярной области на 70.4 °С. В целом за исследуемый период максимальное давление и максимальное давление в день с максимальной температурой изменялись в пределах 3206–3077 гПа и 3186–3075 гПа соответственно.

Хорошо видно снижение средних значений максимальной температуры и давления во время ВСП с середины 90-х гг. до 2005 г. Этот период с пониженной интенсивностью ВСП согласуется с ранее отмеченным уменьшением пространственного масштаба

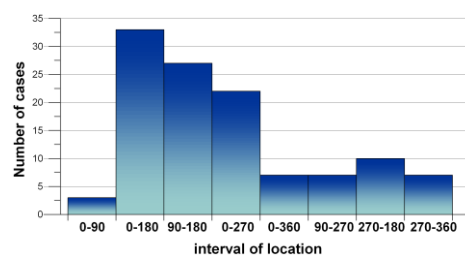


Рис. 1. Число случаев внезапных стратосферных потеплений в различных долготных секторах за период с 1975 по 2013 г.

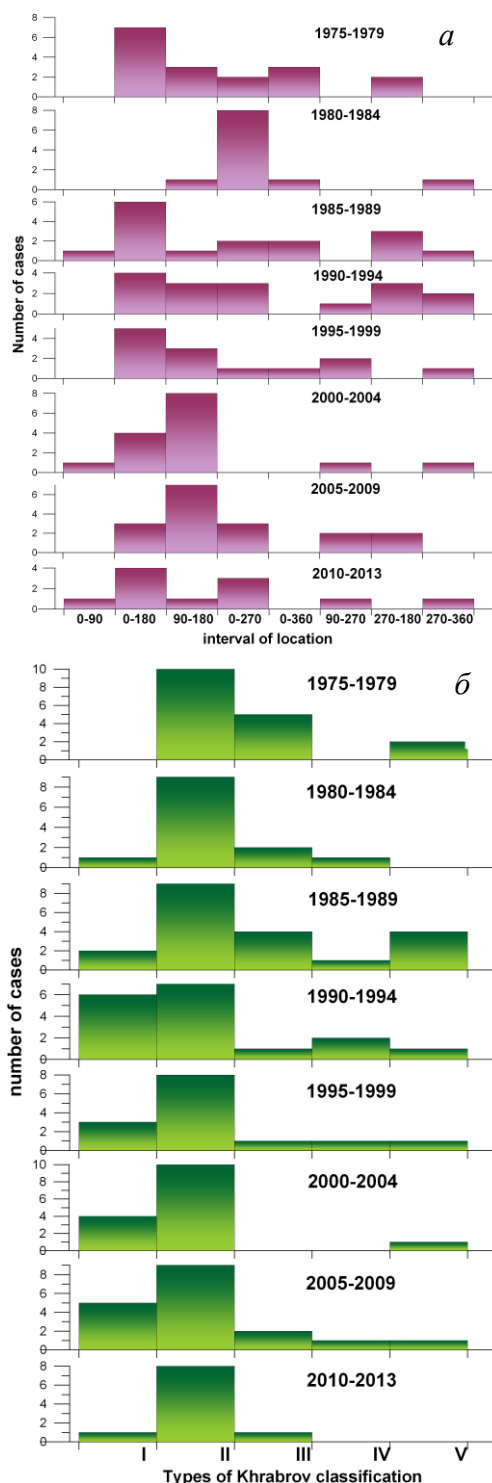


Рис. 2. Распределения за пятилетние периоды с 1975 по 2013 г.: а – местоположения ВСП, б – типов циркуляций по Храброву.

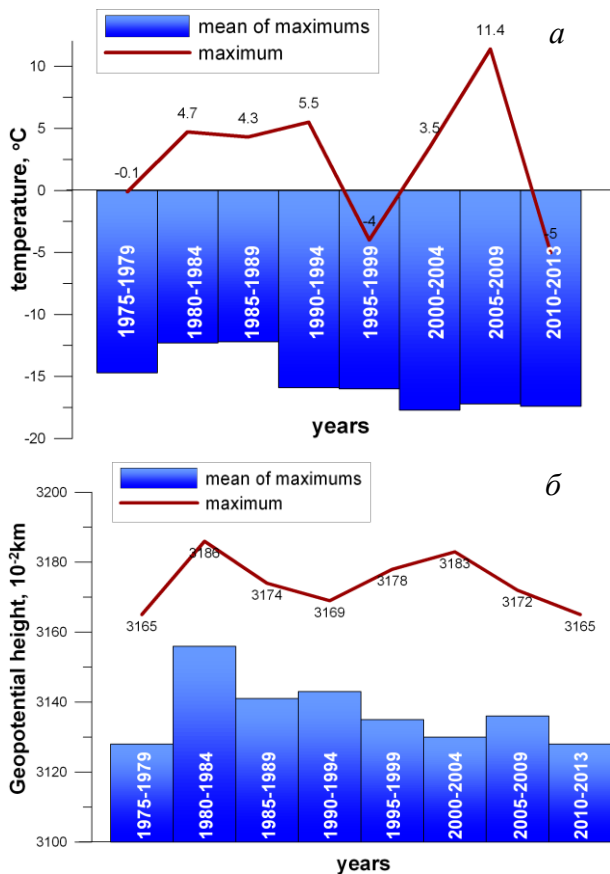


Рис. 3. Изменения со временем температурных характеристик ВСП (а), максимальных значений геопотенциала во время ВСП (б).

событий. Несколько сложнее ведут себя графики максимальных значений температуры и геопотенциала. Снизилась повторяемость мажорных ВСП, уменьшилась амплитуда температурных аномалий. Стоит отметить, что в период с 2005 по 2009 г. интенсивность стратосферных потеплений несколько возросла, наибольший вклад в увеличение интенсивности ВСП в этот период внесло рекордное потепление в январе 2009 г.

### Заключение

Проведенное исследование показало, что в большинстве случаев стратосферные потепления наблюдаются над Азиатско-Тихоокеанским регионом, что соответствует типу II по классификации Ю.Б. Храброва. Наиболее редкими событиями являются ВСП над атлантическим сектором Арктики (тип IV). В целом за весь период с 1975 по 2013 г. устойчивый тренд в температуре или значениях геопотенциала во время ВСП отсутствовал, однако с середины 90-х гг. интенсивность и пространственный масштаб стратосферных потеплений уменьшались. Кратковременное возрастание интенсивности стратосферных потеплений в 2005–2009 гг. было обусловлено одним из самых мощных ВСП в 2009 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Храбров Ю.Б., Бурлуцкий Р.Ф., Рафаилова Х.Х., Семенов В.Г. Колебания общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы погоды. Л.: Гидрометеороиздат, 1967. 300 с.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. V. 77, N 3. P. 437–471.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия