

УДК 551.513.7: 551.515.5

ОСОБЕННОСТИ ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ  
ПОТЕПЛЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ И СПОСОБЫ  
ИХ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

Канд. геогр. наук В.Г. Сальников

*Рассмотрены некоторые особенности возникновения внезапных стратосферных потеплений (ВСП) на северном полушарии. Представлены основные современные способы их выявления. Исследована возможность параметризации ВСП с помощью индекса циркуляции  $\Omega$  и использования последнего при изучении атмосферных процессов над Казахстаном.*

Формирование тех или иных условий погоды у поверхности Земли несомненно определяется целым комплексом параметров состояния окружающей среды, которая, в этом смысле, не может ограничиваться только тропосферой, а, по всей видимости, имеет более широкие границы. При изучении условий формирования погоды и климата у поверхности Земли основное внимание уделяется процессам, протекающим в тропосфере, хотя всё больше исследователей приходят к вполне разумному и естественному заключению о необходимости использования данных о состоянии вышележащих слоёв атмосферы, как минимум стратосферы. Это связано с тем, что к настоящему времени между стратосферой и тропосферой выявлены как радиационные, так и динамические связи. Эксперименты с моделью общей циркуляции GFDL SKYHI [8] указывают на то, что изменения в радиационном бюджете стратосферы, вызванные большими колебаниями концентрации озона и углекислого газа, могут существенно влиять на формирование режима общей циркуляции атмосферы (ОЦА), температуры, других метеорологических параметров у поверхности Земли. Конечно, недостаточному вниманию к изучению верхних слоёв атмосферы есть вполне разумное объяснение, в частности, почти полное отсутствие необходимой информации<sup>1</sup>. Однако, по мере ее накопления, всё-таки следует стремиться к тому, чтобы рассматривать всю атмосферу как единую систему и постепенно углублять свои знания о ней, используя их при решении практических задач.

<sup>1</sup> Информация о состоянии верхних слоёв стратосферы начала накапливаться сравнительно недавно, прежде всего благодаря доступности данных по глобальной радиации, полученных спутниковыми радиометрами



В настоящее время наиболее пристальное внимание привлекает квазидвухлетняя цикличность (КДЦ) зонально осреднённых полей температуры и ветра в экваториальной стратосфере и внезапные потепления зимой в полярной стратосфере (ВСП). Эти явления являются одними из наиболее интересных и своеобразных процессов со значительными последствиями для всего режима ОЦА северного полушария. Усиление внимания к их изучению вызвано необходимостью более полного понимания условий формирования режима ОЦА северного полушария и эффективного решения задач долгосрочных прогнозов погоды.

Внезапные стратосферные потепления интересуют специалистов-метеорологов в течение многих лет. Результаты их изучения изложены в многочисленных работах [2-7, 9, 12, 13]. Исследования по данным наблюдений и численные эксперименты последних нескольких лет достаточно убедительно подтвердили, что внезапные стратосферные потепления являются результатом взаимодействия атмосферных возмущений со средним потоком, вызванным усилением вертикально распространяющихся вынужденных планетарных волн. Результаты моделирования показали на возможность диагностирования ВСП по данным наблюдений с помощью преобразованных эйлеровых осреднённых уравнений. Однако полной и эффективной модели ВСП до сих пор не существует и используются эмпирические методы изучения этого явления.

Одной из наиболее важных задач в процессе исследования внезапных стратосферных потеплений является разработка эффективного и объективного критерия их параметризации. С момента открытия этого явления разработано несколько таких параметров, основанных на разных подходах и, следовательно, методически не связанных между собой. Некоторые из них рассмотрены в работе [3]. Так, В.Годлон и С.Уилсон выявляли ВСП, анализируя волновую структуру поля геопотенциала. Они связали его одно- и двухволновую структуру в периоды потепления с особенностями территориального распространения самого потепления. ВСП с одним центром холода были названы асимметричными. Они имеют место в случае перемещения Алеутского антициклона в Арктический бассейн через Северную Америку. Это потепление обычно интенсифицируется над Канадой. Температуры растут до летних значений, после чего наблюдается похолодание.

В зависимости от места зарождения очага тепла и направления его перемещения К.Лабитцке разделила стратосферные потепления на два типа: Американский и Европейский [11]. Первый тип характеризуется формированием очага тепла над востоком США или Канадой и перемещением его на восток. Второй - формированием очага тепла над Восточной или Центральной Европой с последующим перемещением на запад. Тропосферная циркуляция перед потеплением



ми Европейского типа характеризуется сильными струйными течениями, а после потепления - развитием блокирующих ситуаций.

В соответствии с классификацией ВМО, внезапные стратосферные потепления подразделяются на сильные, слабые и локальные. Сильными считаются потепления, при которых движение к полюсу крупномасштабных термических систем приводит к смене зонального переноса с западного на восточный на высотах ниже 10 гПа в связи со сменой меридионального температурного градиента в средней и нижней стратосфере в направлении к полюсу от 60° с.ш.. Слабыми считаются потепления, при которых наблюдаются повышения температуры не менее чем на 25 °С за неделю или более короткий срок на любом уровне стратосферы, но смены направления циркуляции не наблюдается. К локальному типу относятся все остальные виды потеплений, не отвечающие критериям сильных и слабых. Наиболее значительное влияние на режим общей циркуляции атмосферы внетропических широт всего северного полушария оказывают сильные ВСП.

Для количественной оценки изменчивости температуры в стратосфере над высокими широтами ведётся расчёт средних квадратических отклонений и вероятностей распределения температуры по данным многолетнего зондирования, то есть количественные оценки отклонений температуры от нормального закона распределения. Для этого рассчитывались коэффициенты асимметрии (К) и крутости (Е).

Для изучения ВСП также используются индексы Джонсона - НІР и ТІР. НІР- индекс, характеризующий циркуляцию. Он представляет собой разность квадратов амплитуд зональных волн поля геопотенциала с волновыми числами  $m=1$  и  $m=2$

$$НІР = 3 \cdot 10^{-4}(C_2^2 - C_1^2), \quad (3)$$

$$C_i^2 = A_i^2 + B_i^2,$$

где  $A_i$  и  $B_i$  - синусоидальный и косинусоидальный коэффициенты  $i$ -х гармоник.

Индекс НІР изменяется в пределах от минус 12 до плюс 12. Если  $НІР > 0$ , то в волновой структуре поля геопотенциала преобладают волны с числами  $m=2$ . Это служит признаком расщепления полярного вихря или его сильной деформации. Если  $НІР < 0$ , то преобладают волны с числами  $m=1$ . Это служит признаком смещения полярного вихря. Если  $НІР=0$ , тогда имеет место или невозмущённая циркуляция, или преобразование одноволновой структуры поля в двухволновую.

Индекс ТІР характеризует горизонтальное поле температуры на изобарической поверхности. Он представляет собой разность между

температурой на полюсе и средней зональной температурой. Этот индекс характеризует максимальную временную изменчивость температуры на различных уровнях.

С помощью этих индексов можно производить классификацию потеплений. Мощные (сильные) потепления, при которых происходит расщепление полярного вихря и повышение температуры в высоких широтах. Таким потеплениям соответствуют положительные величины циркуляционного и температурного индексов. Слабые потепления, которым соответствуют  $TIP > 0$ , но  $HP < 0$ , т.е. незначительные повышения температуры не приводят к расщеплению или деформации циркумполярного вихря ЦПВ. Недостатком этого индекса является сложность вычисления амплитуд I-х гармоник, что не всегда доступно на практике.

В работе [10] за случай появления ВСП принималось возникновение участка тепла в полярной стратосфере на уровне 10 гПа с температурой выше минус 35 °C. Результаты этих исследований приведены в табл.1.

Таблица 1

Стратосферные потепления, выявленные с помощью температурного критерия по методике [9], за 1973 - 1980 годы

| Периоды с ВСП               | Месяц                 | Продолжительность в сутках |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 04.01.-06.02.1973 г.        | Январь, февраль       | 34                         |
| 15.12.1976 г.-10.01.1977 г. | Декабрь, январь       | 27                         |
| 13.02.- 05.03.1978 г.       | Февраль, март         | 21                         |
| 15.01.- 05.03.1979 г.       | Январь, февраль, март | 40                         |
| 10.02.- 07.03.1980 г.       | Февраль, март         | 27                         |

Таким образом, анализ всех вышеперечисленных критериев ВСП показывает, что полученные с их помощью результаты трудно сопоставимы между собой, и проблема универсального критерия остаётся открытой.

В данной работе предлагается оригинальный подход к выявлению внезапных стратосферных потеплений, смысл которого заключается в использовании индекса циркуляции  $\Omega$ , характеризующего интенсивность стратосферного циркумполярного вихря [1],

$$\Omega = \overline{H_{40}} - H_{90}, \quad (4)$$



где  $\bar{H}_{40}$  - средненное значение геопотенциала поверхности 10 гПа на  $40^\circ$  с.ш.;  $H_{90}$  - значения геопотенциала, взятые на пересечении широтного круга с меридианами, кратными  $10^\circ$  долготы.

В холодный период года в большинстве случаев преобладают положительные значения индекса  $\Omega$ , а в тёплой- отрицательные [1]. Смена знака циркуляции с некоторыми вариациями обычно происходит весной и осенью. Однако во второй половине зимы, в моменты стратосферных потеплений также возможна смена знака циркуляции. Необходимым условием для этого являются именно сильные ВСП, которые, поэтому, представляют наибольший интерес, приводя к нарушениям в системе общей циркуляции атмосферы северного полушария. Следовательно, проводя мониторинг циркуляции циркумполярного вихря, можно судить о возможности появления внезапных стратосферных потеплений.

Для проверки этой гипотезы проведён расчёт индекса  $\Omega$  на поверхности Н-10 за период с 1972 по 1990 гг.. Анализ его временного хода показал, что, действительно, в некоторых случаях в зимний период происходит смена знака циркуляции, которая связана, по всей видимости, именно с ВСП. Результаты этой работы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Даты смены знака индекса  $\Omega$  в период с 1972 по 1990 гг.

| Периоды с ВСП        | Месяцы       | Продолжительность в сутках |
|----------------------|--------------|----------------------------|
| 01-05.02.1973 г.     | Февраль      | 5                          |
| 16-20.02.1973 г.     | Февраль      | 5                          |
| 11-15.01.1977 г.     | Январь       | 5                          |
| 26.02.-01.03.1979 г. | Февраль-март | 4                          |
| 01-05.03.1980 г.     | Март         | 5                          |
| 26.02.-01.03.1984 г. | Февраль-март | 4                          |
| 01-05.01.1985 г.     | Январь       | 5                          |
| 21-25.01.1985 г.     | Январь       | 5                          |
| 01-20.02.1987 г.     | Февраль      | 20                         |
| 11-15.12.1987 г.     | Декабрь      | 5                          |
| 21-25.02.1989 г.     | Февраль      | 5                          |

Анализ данных показывает, что за исследуемый период смена знака индекса циркуляции происходила 11 раз. Сопоставляя эти материалы с результатами исследований, приведёнными в табл.1, отме-

тим, что с помощью параметра  $\Omega$  вполне можно осуществлять мониторинг ВСП, причём этот критерий позволяет выявлять сильные и, следовательно, наиболее важные ВСП, оказывающие наибольшее влияние на режим ОЦА северного полушария. Более короткая продолжительность ВСП, выявленных предлагаемым способом, вероятно объясняется зависимостью смены направления циркуляции от интенсивности и величины потепления. Другими словами, смена знака циркуляции, которую позволяет выявлять параметр  $\Omega$ , наблюдается только при значительных повышениях температуры.

Таким образом, на данном этапе изучения ВСП практически не может быть сомнений в том, что большая часть случаев возникновения этого явления прямо или косвенно обусловлена влиянием тропосферного волнового возбуждения. В то же время, гораздо менее ясно, до каких пределов общая циркуляция стратосферы может влиять на тропосферу. Современные данные [9] позволяют полагать, что, по крайней мере, в некоторых случаях, процессы взаимодействия волн со средним потоком, которые начинаются в стратосфере, могут модифицировать поток во всей тропосфере. Преимущественно это касается, по всей видимости, наиболее сильных ВСП. На последующих этапах исследований представляет несомненный интерес изучение возможностей использования данных о ВСП, параметризованных предлагаемым способом, при изучении общециркуляционных процессов над северным полушарием и в статистических моделях долгосрочного прогноза погодных процессов у поверхности Земли на территории Казахстана.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгосрочные метеорологические прогнозы / Н.А. Багров, К.В. Кондратович, Д.А. Педь, А.И. Угрюмов.- Л.: Гидрометеоиздат, 1985. - 248 с.
2. Геохлянян Т.Х. О природе зимних стратосферных потеплений. - Л.: Гидрометеоиздат, 1972. - 131 с.
3. Геохлянян Т.Х. Изучение стратосферы. - М.: Знание, 1975. - 64 с.
4. Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере/ А. Джеймс, Дж. Уоллес, М. Блэкмон и др.// Под ред. Б. Хоскинса, Р. Пирса.- М.: Мир, 1988.- 218 с.
5. Тарасенко Д.А. Структура и циркуляция стратосферы и мезосферы северного полушария. - Л.: Гидрометеоиздат, 1988.- 286 с.
6. Уэбб В. Структура стратосферы и мезосферы.- М.: Мир, 1969. - 257 с.
7. Холтон Д.И. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы.- Л.: Гидрометеоиздат, 1979. - 224 с.
8. Stratospheric sensitivity to perturbations in ozone and carbon dioxide: Radioactive and dynamical response/ S.B. Fels, J.D. Mahlman,

- M.D. Schwarzkopf., R.W. Sinclair//J. Atmos. Sci.- 1980. - Vol. 37. - P. 2265-2297.
9. Holton J.R., Tan H.C. The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb // J. Atmos. Sci. - 1980. - Vol. 37.- P. 2200-2208.
  10. Jannes P. M., Donald A. D. Sudden Stratospheric Warming and anomalous U.S. Weather //Mon. Weather Rev.- 1988.-Vol. 116, №1.- P. 162-174.
  11. Labitzke K. On the interannual variability on the middle stratosphere during the Northern winters//J. Met. Soc. Japan.- 1982.- Vol. 60.- P. 124-139.
  12. Quiroz R.S., Miller A.J., Nagatani R.M. A comparison of observed and simulated properties of sudden stratospheric warmings//J. Atmos. Sci.- 1975.- Vol. 20.- P. 265-275.
  13. Schoeberl M.R. Stratospheric warmings: Observation and theory//Rev. Geophys. Space Phys.- 1978.- Vol. 16.- P. 521-538.

Казахский Государственный Национальный  
Университет им. аль-Фараби

## СОЛТҮСТІК ЖАРТЫ ШАРДА КЕНЕТТЕН СТРАТОСФЕРАЛЫҚ ЖЫЛЫНУДЫҢ ӨЗГЕШЕЛІГІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ МӨЛШЕРЛЕУ ТӘСІЛДЕРІ

Геогр. ғ. канд. В.Г. Сальников

Солтүстік жарты шарда кенеттен стратосфералық жылынуудың (КСЖ) пайда болуының бірқатар өзгешеліктері қарастырылған. Олардың қазіргі негізгі тәсілдерін білу ұсынылған. Қазақстан үстіндегі атмосфералық процестерді білу кезінде КСЖ-ды айналым индексінің көмегімен шамалау мүмкіндігі және оның қолданылуы зерттелген.