

УДК 551.513

ЦИРКУЛЯЦИЯ ТРОПОСФЕРЫ ЛЕТОМ В СВЯЗИ С ВАРИАЦИЯМИ ВЕСЕННЕГО РЕЖИМА ЦИРКУЛЯЦИИ В СТРАТОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

¹Е.В. Девятова, ²А.И. Угрюмов, ¹В.И.Мордвинов, ²Е.К. Ульянец, ¹Л.А. Васильева

CONNECTION BETWEEN THE VARIATIONS IN SPRING STRATOSPHERIC CIRCULATION AND THE SUMMER TROPOSPHERIC CIRCULATION IN THE NORTHERN HEMISPHERE

¹E.V. Devyatova, ²A.I. Ugryumov, ¹V.I. Mordvinov, ²E.K. Ulyanets, ¹L.A. Vasilyeva

В работе с помощью корреляционного метода по данным NCEP/NCAR Reanalysis с 1950 по 2007 г. исследуется связь условий циркуляции в весенней стратосфере с вариациями барического поля в тропосфере. Расчет и сравнение корреляционных полей последовательно за различные десятилетия позволили выделить в долговременной динамике стратосферно-тропосферных связей периоды с различным характером корреляционных связей.

Connection between the spring stratospheric circulation conditions and the summer tropospheric geopotential heights variations in the Northern Hemisphere is investigated by correlation method, using NCEP/NCAR Reanalysis data for the period 1950–2007. Calculation and comparison of the correlation patterns step by step for different decades show that in the long-time stratosphere-troposphere dynamics there are several periods with different character of the correlation connections.

Введение

Проблема стратосферно-тропосферного взаимодействия является одной из наиболее актуальных в настоящее время проблем исследования общей циркуляции атмосферы. Изучению связей между циркуляционными процессами в стратосфере и тропосфере посвящено большое количество работ [Угрюмов, 1971; Thompson et al., 2002; Kushner et al., 2004; 2006; Gerber et al., 2009]. В монографии [Угрюмов, 1971] для исследования связи между весенним режимом циркуляции в стратосфере и барическим полем летней тропосферы был использован корреляционный метод. Автором монографии были построены и проанализированы распределения коэффициентов корреляции индекса меридиональности I_m (характеристика степени возмущенности стратосферы), рассчитанного на уровне 10 мбар за месяц до весенней перестройки циркуляции, с июньским барическим полем в тропосфере за 1958–1966 гг. по данным станций, интерполированным в узлы сетки.

Мы провели аналогичное исследование по предложенной в монографии методике (но с некоторыми различиями в способе расчета индекса меридиональности) на основе среднесуточных данных о высоте геопотенциальных поверхностей из архива NCEP/NCAR Reanalysis с 1950 по 2007 г. в узлах регулярной сетки $2.5 \times 2.5^\circ$. Цель нашей работы – сравнить корреляционные распределения из монографии Угрюмова, рассчитанные за период с 1958 по 1966 г., с распределениями, построенными за тот же период по данным NCEP/NCAR Reanalysis, а также проследить динамику корреляционных полей последовательно от десятилетия к десятилетию по данным NCEP/NCAR Reanalysis с 1950 по 2007 г.

Методика расчета

Методика расчета индекса меридиональности в работе Угрюмова несколько отличается от примененной в данном исследовании. В монографии вычислялся средний по полушарию индекс меридиональности на уровне 10 мбар, осредненный за месяц до даты перестройки стратосферной циркуляции на данном уровне. Расчет осуществлялся по трем параллелям 70, 50 и 30° N, и затем находилось среднее

значение. Расчет для определенного круга широты производился по формуле

$$I_{\text{мф}} = \frac{mb}{360^\circ \cos \varphi},$$

где m – число пересечений данной параллели с изогипсами на карте абсолютной топографии; b – разность геопотенциальных высот соседних изогипс. Множитель $1/\cos \varphi$ был введен для того, чтобы привести вычисленные по широтам значения градиента геопотенциала к одной единице расстояния.

В данной работе числитель вышеприведенной формулы мы рассчитали несколько иначе: сначала вдоль круга 70, 50 и 30° N была посуточно рассчитана дисперсия высоты геопотенциальной поверхности 10 гПа. Затем было вычислено среднее значение дисперсии за фиксированный интервал времени февраль – первая половина марта. Наконец за каждый год исследуемого периода было рассчитано среднее значение «аналога» индекса меридиональности (обозначим его как I'_m) по трем параллелям 70, 50 и 30° N. Интервал времени февраль – первая половина марта выбран в связи с тем, что коэффициенты корреляции между вариациями летнего барического поля в тропосфере и индексом I'_m , рассчитанным за этот интервал, максимальны. Значения коэффициентов корреляции убывают при использовании «более зимнего» или «более весеннего» I'_m . Индекс I'_m более удобен для расчета, чем $I_{\text{мф}}$, но вместе с тем он дает и более грубую оценку степени меридиональности циркуляции атмосферы, так как при расчете дисперсии высоты геопотенциальной поверхности вдоль широтного круга вклад в дисперсию дают не только стационарные возмущения, амплитуда которых характеризует степень меридиональности, но и бегущие возмущения, распространяющиеся в зональном направлении.

Далее были вычислены межгодовые разности I'_m и межгодовые разности среднеиюньских значений высот геопотенциальных поверхностей H500 и H1000 в узлах сетки (аналогично тому, как это было сделано в монографии [Угрюмов, 1971]), для того чтобы исключить влияние на результат более длительных колебаний. Наконец, были построены кар-

ты распределений коэффициентов корреляции между I'_m и июньскими барическими полями в средней и нижней тропосфере Северного полушария.

Результаты

Сравнение корреляционных распределений, рассчитанных по двум различным наборам данных

На рис. 1 вверху приведено взятое из монографии [Угрюмов, 1971] распределение коэффициентов корреляции межгодовых изменений даты весенней перестройки циркуляции в стратосфере (индекс I_m) с межгодовыми изменениями средних значений высоты геопотенциальной поверхности H500 в июне, рассчитанное за 1958–1966 гг., внизу – корреляционное распределение, построенное по данным NCEP/NCAR Reanalysis за тот же период.



Рис. 1. Вверху – распределение коэффициентов корреляции межгодовых изменений I_m с межгодовыми изменениями средних значений H500 в июне за 1958–1966 гг. [Угрюмов, 1971]. Внизу – распределение коэффициентов корреляции межгодовых изменений I'_m с межгодовыми изменениями средних значений H500 в июне по данным NCEP/NCAR Reanalysis за тот же период.

Сравнение распределений, представленных на рис. 1, показывает неплохое общее пространственное соответствие областей положительных и отрицательных корреляций. При более детальном рассмотрении оказывается, что некоторые из полюсов корреляций в распределении, построенном по данным NCEP/NCAR Reanalysis, смещены относительно полюсов в распределении из монографии. Так, например, область максимальных положительных коэффициентов корреляции, расположенная на нижней панели в северо-восточной части Евразии, на верхней панели отсутствует, а области максимальных положительных корреляций расположены к юго-западу и юго-востоку. Возможно, что эти и другие различия появились вследствие различий в способах расчета индекса меридиональности.

Аналогично было проведено сравнение корреляционных распределений для нижней тропосферы, показанных на рис. 2. Здесь, как и для средней тропосферы, в целом отмечается хорошее пространственное соответствие областей положительных и отрицательных корреляций и рассогласованность в пространственном положении полюсов корреляции.

Так как в целом контуры областей положительных и отрицательных корреляций, построенные по разным наборам данных, совпадают, мы сочли соответствие распределений удовлетворительным, а методику расчета I'_m и данные NCEP/NCAR Reanalysis пригодными для исследования связей между весенней стратосферной циркуляцией и циркуляцией летней тропосферы на масштабах времени в несколько десятилетий.

Долговременные изменения структуры корреляционных полей

Для того чтобы проследить долговременную динамику корреляционных связей I'_m с барическими

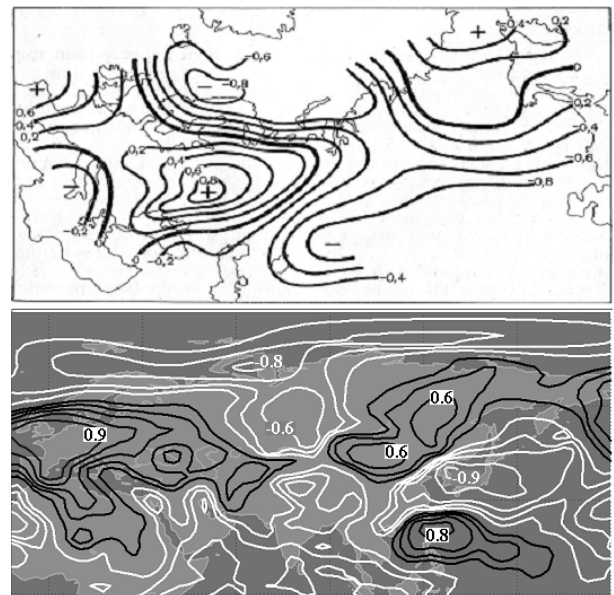


Рис. 2. Вверху – распределение коэффициентов корреляции межгодовых изменений I_m с межгодовыми изменениями среднего июньского приземного давления за 1958–1966 гг. [Угрюмов, 1971]. Внизу – распределение коэффициентов корреляции межгодовых изменений I'_m с межгодовыми изменениями средних значений H1000 в июне по данным NCEP/NCAR Reanalysis за тот же период.

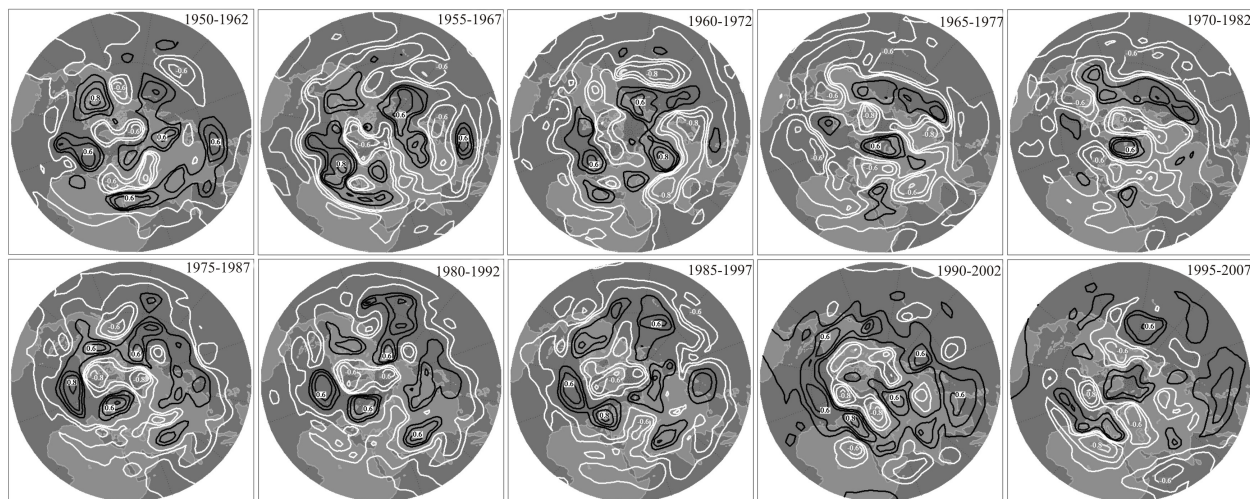


Рис. 3. Распределения коэффициентов корреляции межгодовых изменений I'_m с межгодовыми изменениями средних значений H500 в июне по данным NCEP/NCAR Reanalysis, рассчитанные последовательно за следующие периоды: 1950–1962, 1955–1967, 1960–1972, 1965–1977, 1970–1982, 1975–1987, 1980–1992, 1985–1997, 1990–2002, 1995–2007 гг. Черным цветом обозначены изолинии положительных значений коэффициента корреляции (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9), белым цветом – изолинии отрицательных значений коэффициента корреляции (–0.2, –0.4, –0.6, –0.8, –0.9).

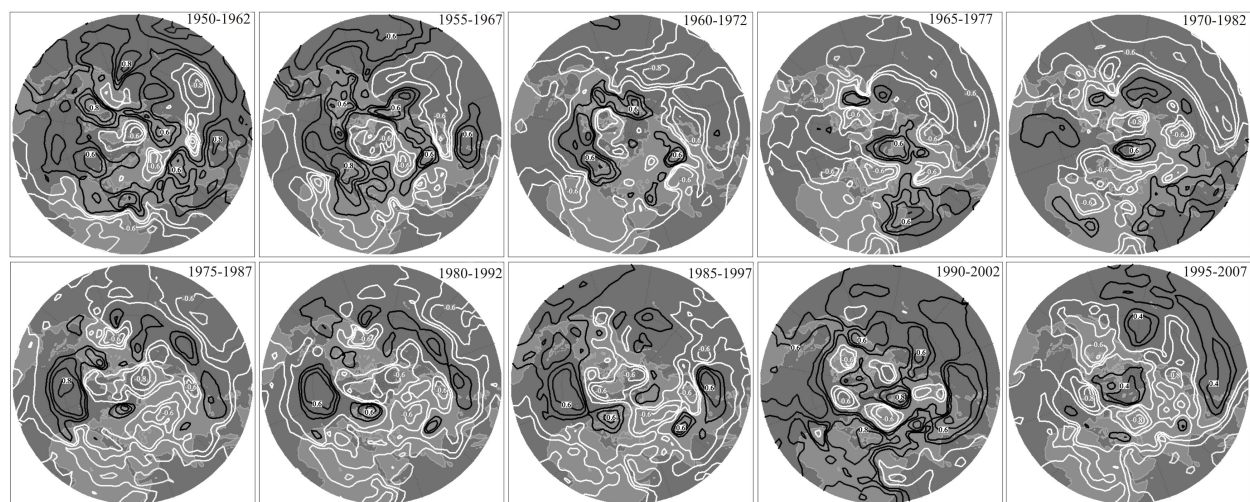


Рис. 4. То же, что на рис. 3, для значений H1000.

полями средней и нижней тропосферы, мы использовали корреляционный метод последовательно от десятилетия к десятилетию. Были построены распределения коэффициентов корреляции межгодовых изменений I'_m с межгодовыми изменениями средних значений H500 и H1000 в июне по данным NCEP/NCAR Reanalysis, рассчитанные за следующие периоды: 1950–1962, 1955–1967, 1960–1972, 1965–1977, 1970–1982, 1975–1987, 1980–1992, 1985–1997, 1990–2002, 1995–2007 гг. (рис. 3 и 4 соответственно). Оказалось, что пространственная структура корреляционных полей не остается постоянной, а претерпевает изменения от десятилетия к десятилетию. Визуальный анализ сходства корреляционных карт для средней и нижней тропосферы (рис. 3 и 4) позволяет разделить исследуемый интервал с 1950 по 2007 г. на четыре периода, различающихся по структуре корреляционных полей, и приблизительно определить длительность каждого из них: 1950–1970 гг. (период I), 1970–1980 гг. (период II), 1980–1995 гг. (период III) и с 1995 г. по настоящее время (период IV). Если рассматривать только Евразию с прилегающими частями Ат-

лантики и Тихого океана, можно выделить два типа распределения знака корреляции.

Первый тип: полюса положительной корреляции над Европой и Восточной Сибирью, полюса отрицательной корреляции над Арктикой и Западной Сибирью (периоды I и III).

Второй тип: полюс положительной корреляции над Арктикой, полюса отрицательной корреляции над Европой и Восточной Сибирью (периоды II и IV).

Закключение

В работе исследованы корреляционные связи между вариациями весеннего режима циркуляции в стратосфере Северного полушария и летней циркуляцией в тропосфере. Сравнение корреляционных распределений, построенных по наблюдательным данным [Угрюмов, 1971] и данным NCEP/NCAR Reanalysis за 1958–1966 гг., показало хорошее пространственное соответствие областей положительных и отрицательных корреляций, что позволило использовать данные NCEP/NCAR Reanalysis за более длительный интервал времени 1950–2007 гг.

Визуальный анализ сходства построенных последовательно за разные десятилетия корреляционных карт позволил выделить четыре периода с различным характером корреляционных распределений: 1950–1970, 1970–1980, 1980–1995 гг. и с 1995 г. по настоящее время. Были также выделены два типа распределения знака корреляции: первый тип – над Европой плюс, над Арктикой и Западной Сибирью минус, над Восточной Сибирью плюс (периоды I и III); второй тип – над Европой минус, над Арктикой плюс, над Восточной Сибирью минус (периоды II и IV).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Угрюмов А.И. Квазидвухлетняя цикличность весенне-летней циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 81 с. (Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 77).

Gerber E.P., Polvani L.M. Stratosphere-troposphere coupling in a relatively simple AGCM: The importance of stratospheric variability // J. Climate. 2009. V. 22, Iss. 8. P. 1920–1933.

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.

Kushner P.J., Polvani L.M. Stratosphere-troposphere coupling in a relatively simple AGCM: The role of eddies // J. Climate. 2004. V. 17, Iss. 3. P. 629–639.

Kushner P.J., Polvani L.M. Stratosphere-troposphere coupling in a relatively simple AGCM: Impact of the seasonal cycle // J. Climate. 2006. V. 19, Iss. 21. P. 5721–5727.

Thompson D.W.J., Lee S., Baldwin M.P. Atmospheric processes governing the Northern hemisphere annular mode // The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact / Eds. J.W. Hurrell et al. Washington, 2002. P. 1–31. (Geophys. Monogr. Ser. V. 134, N 29).

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург