

УДК 551.513

ДИАГНОСТИКА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ВЕСЕННЕЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ЦИРКУЛЯЦИИ

Е.Н. Савенкова, А.И. Погорельцев

DIAGNOSTICS OF WAVE PROCESSES IN THE MIDDLE AND UPPER ATMOSPHERE DURING THE SPRINGTIME RECONFIGURATION OF THE CIRCULATION

E.N. Savenkova, A.I. Pogoreltsev

Анализ данных наблюдений показывает, что существует достаточно сильная межгодовая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы. В данной работе на основе анализа данных, ассимилированных в моделях UK Met Office и NCEP, проанализирована межгодовая и климатическая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции в Северном полушарии. В качестве характеристики среднезонального потока использовался геострофический ветер, рассчитанный по данным о геопотенциальной высоте для уровня 10 гПа на широте 67.5 N. В среднем за много лет весенняя перестройка происходит в середине апреля, но иногда – очень рано (середина марта) или очень поздно (начало или даже середина мая). Результаты проведенного анализа показали, что дата перестройки зависит от активности планетарных волн в стратосфере и имеется тенденция сдвига сроков весенней перестройки на более поздние (скорость сдвига составляет порядка 9 дней за декаду).

Analysis of observation data shows significant interannual variation of breakup date of the stratospheric circulation. The paper presents analysis of interannual and climatic variability of the springtime transition date of the circulation for the Northern Hemisphere; the analysis is based on data assimilated in the UK Met Office and NCEP models. The geostrophic wind calculated from geopotential height data at latitude 65.7 N and 10 hPa was used as a characteristic of the mean zonal flow. The springtime transition generally occurs in the middle of April; however, sometimes it takes place earlier (in the middle of March) or later (at the beginning or even in the middle of May). The obtained results show that the springtime transition date depends on the planetary-wave activity in the stratosphere; besides, there is a tendency for the shift of the breakup date to a later date (the speed of this shift is about 9 days per decade).

Общая циркуляция стратосферы в зимний период контролируется как радиационными, так и динамическими процессами, обусловленными нелинейным взаимодействием среднего потока с планетарными волнами. Весенняя перестройка циркуляции (смена направления зонального потока с западно-восточного на восточно-западное) происходит в основном за счет изменения зенитного угла Солнца и в среднем должна происходить примерно в середине апреля. Однако динамические процессы могут существенно влиять на срок перестройки. Как правило, в реальной ситуации процессу перестройки предшествует так называемое финальное стратосферное потепление (ФСП), когда амплитуда планетарных волн возрастает, температура в высоких широтах увеличивается и зимний полярный вихрь ослабевает или даже разрушается.

За критерий определения климатического значения даты перестройки был выбран день, когда абсолютная величина скорости изменения (уменьшения) геострофического ветра на уровне 10 гПа и широте 67.5° N, рассчитанная на основе данных UK Met Office, достигает максимального значения. Так как существуют сильные осцилляции значений скорости изменения ветра, для определения абсолютного минимума значения градиента геострофического ветра рассчитывались по сглаженным по 31 дню значениям.

Таким образом, мы получили среднюю за 18 лет дату перестройки – 6 апреля. Далее была рассчитана невязка между наблюдаемым изменением геострофического ветра для рассматриваемого года и его климатическим ходом. Для расчета невязки использовался временной интервал в 60 дней, центрированный на климатической дате перестройки, и временной сдвиг между наблюдаемым и климатическим изменениями ветра варьировался в пределах ± 30 дней. Это

значение было выбрано из расчета, что временной интервал между ранними и поздними перестройками составляет примерно 2 мес. [1]. Дата весенней перестройки для каждого отдельного года определялась по климатической с учетом временного сдвига, при котором невязка имела минимальное значение. Таким образом, был получен временной ряд дат весенних перестроек с 1992 по 2009 г. (рис. 1). Анализ полученных результатов показал, что дата перестройки изменяется в пределах 2 мес. (с середины марта до середины мая). Кроме того, существует заметный тренд смещения сроков в сторону более поздних дат перестроек (рис. 1).

Чтобы детально проанализировать процессы, протекающие в средней атмосфере в течение ранних и поздних перестроек, из наблюдаемого временного

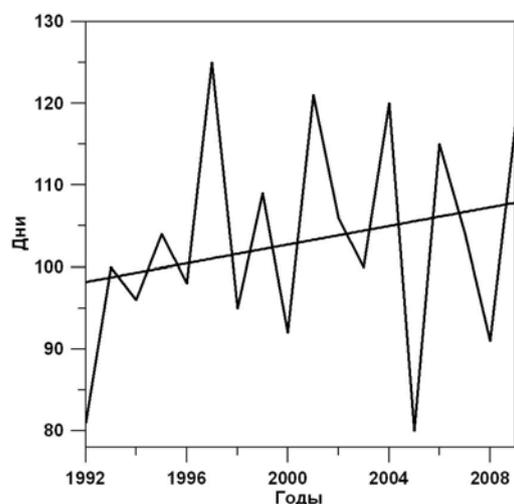


Рис. 1. Временной ряд дат весенних перестроек с 1992 по 2009 г. на уровне 10 гПа на широте 67.5 N по данным UK Met Office.

ряда были выбраны год с поздней перестройкой (1997) и год с ранней перестройкой (1998). Для данных лет был рассмотрен широтно-временной разрез изменения амплитуды первой зональной гармоники в поле геопотенциальной высоты, которая примерно отражает изменчивость квазистационарной планетарной волны с зональным волновым числом $m=1$ (СПВ1) на уровне 10 гПа (рис. 2, 3). Из сопоставления рис. 2, 3 видно, что в обоих случаях наблюдается усиление волны непосредственно перед самой перестройкой. Отсюда можно сделать предположение, что волновое усиление играет значительную роль в обращении циркуляции стратосферы в годы как с ранними, так и с поздними перестройками.

Для обоих лет были построены вейвлет-спектры распространяющихся на запад волн (рис. 4, 5). Эти волны представляют собой собственные резонансные колебания атмосферы, которые могут возбуждаться любыми движениями в нижней атмосфере. Видно, что при ранней перестройке бегущие 10–15-дневные волны активны более продолжительное время в течение весенних месяцев. Вероятно, что в тот момент, когда бегущие волны по фазе совпадают со стационарной, суммарная волна усиливается, что ведет к ослаблению среднего потока. При поздней перестройке бегущие волны имеют большие амплитуды в течение короткого времени и интерференция

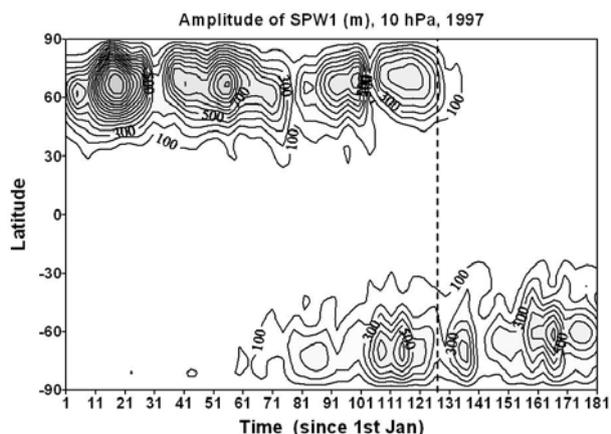


Рис. 2. Широтно-временной разрез изменения амплитуды СПВ1 для 1997 г. (поздняя перестройка).

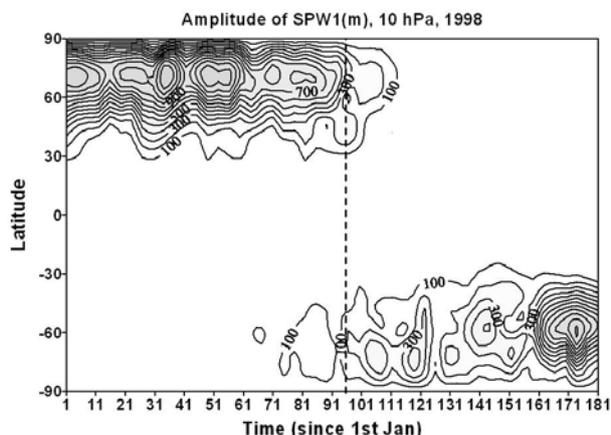


Рис. 3. Широтно-временной разрез изменения амплитуды СПВ1 для 1998 г. (ранняя перестройка).

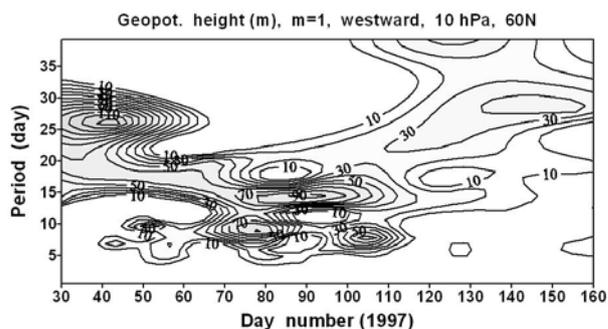


Рис. 4. Вейвлет-спектры распространяющихся на запад волн для 1997 г. (поздняя перестройка).

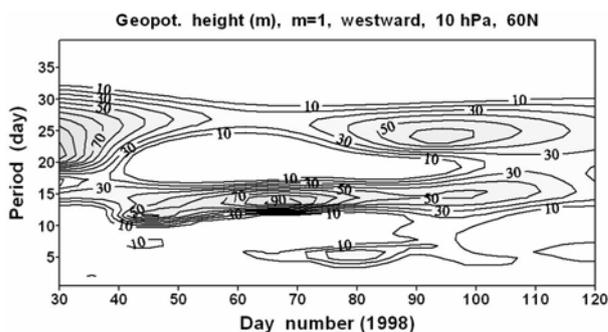


Рис. 5. Вейвлет-спектры распространяющихся на запад волн для 1998 г. (ранняя перестройка).

со стационарной волной не приводит к такому усилению суммарной волны, которое необходимо, чтобы привести к существенному торможению среднего потока. Для этих же лет было рассмотрено поведение зонального ветра (рис. 6, 7). Заметно, что в годы с ранней перестройкой зональный ветер довольно слабый, что обусловлено присутствием сильных бегущих и стационарной волн. В годы с поздними перестройками, наоборот, зональный ветер довольно сильный при слабых бегущих волнах.

Для анализа климатической изменчивости сроков перестройки циркуляции стратосферы был использован NCEP/NCAR реанализ. Для расчета сроков перестройки за период с 1971 по 2008 г. (с января по июнь) были использованы данные о геопотенциальной высоте на уровне 10 гПа, 67.5° N. Климатическое значение даты перестройки по данным NCEP/NCAR реанализа за период с 1971 по 2008 г. соответствует 30 марта.

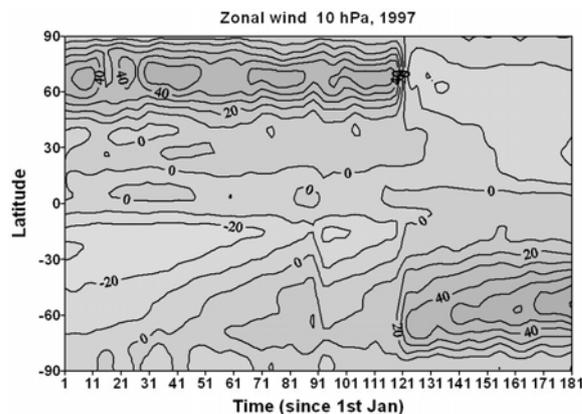


Рис. 6. Поведение зонального ветра в зимне-весенние месяцы для 1997 г. (поздняя перестройка).

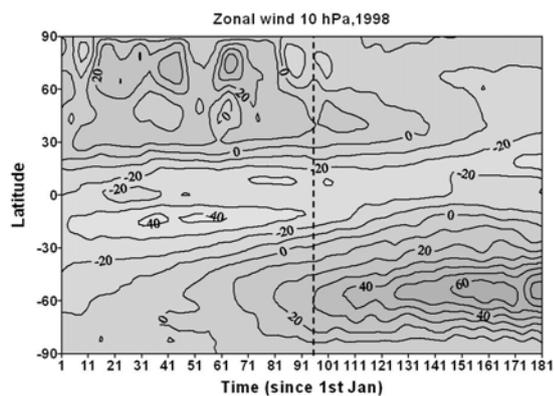


Рис. 7. Поведение зонального ветра в зимне-весенние месяцы для 1998 г. (ранняя перестройка).

Далее, рассчитав по вышеуказанному методу даты весенней перестройки за каждый отдельный год, мы получили временной ряд сроков весенней перестройки за последние 38 лет (рис. 8). Из рисунка видно, что существует заметный тренд смещения сроков в сторону более поздних дат перестроек, как и в результатах, которые получились при анализе данных UK Met Office. Видно, что сроки ранних перестроек значительно сместились (на 18 дней) в сторону более поздних дат.

В результате анализа временных рядов сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы, рассчитанных по данным NCEP/NCAR реанализа за период с 1971 по 2008 г. и UK Met Office за период с 1992 по 2009 г., было выявлено, что существует заметный тренд смещения сроков в сторону более поздних перестроек. По методу наименьших квадратов была рассчитана статистическая значимость тренда изменчивости сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы. По критерию Стьюдента определено, что t -тест составляет 2.1, т. е. статистическая значимость линейного тренда составляет более 97.5 % для анализируемых 38 лет. Скорость смещения даты перестройки равна 4 дням за десять лет.

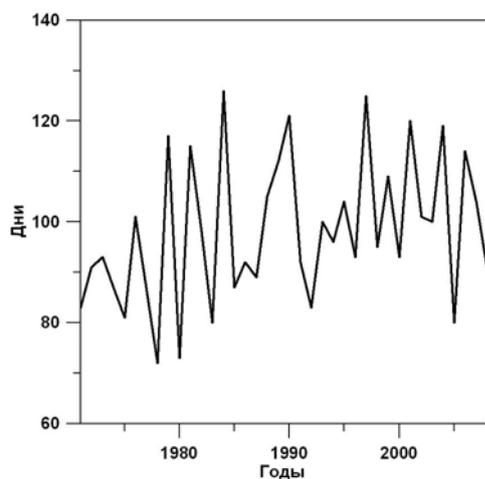


Рис. 8. Временной ряд дат весенних перестроек с 1971 по 2008 г. на уровне 10 гПа на широте 67.5 N по данным NCEP/NCAR.

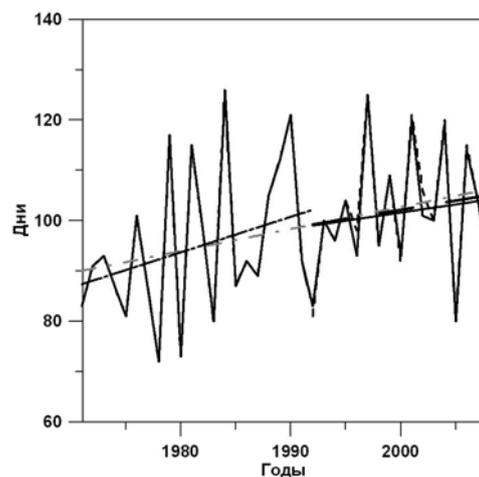


Рис. 9. Временные ряды сроков весенней перестройки и их тренды.

Временные ряды дат весенних перестроек и их тренды показаны на рис. 9. Причем ряд с 1971 по 2008 г. был разбит на две части (с 1971 по 1991 г. и с 1992 по 2008 г.). Если сравнивать между собой эти два временных отрезка, то можно заметить, что в последние десятилетия изменчивость снизилась, тренд смещения в сторону более поздних дат перестроек уменьшился. В принципе, это указывает на то, что необходимо рассматривать квадратичную зависимость смещения дат весенних перестроек, т. е. в последние годы это смещение стремится к насыщению.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ №09-05-16028).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wei K., Chen W., Huang R.-H. Dynamical diagnosis of the breakup of the stratospheric polar vortex in the Northern Hemisphere // *Sci. China D-Earth Sci.* 2007. V. 50, N 9. P. 1369–1379.
2. Бакулина Е.А., Угрюмов А.И. Весенние перестройки циркуляции в стратосфере в 1958–2003 годах // *Ученые записки РГМУ.* 2008. Вып. 5. С. 25–32.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург