

ИЗУЧЕНИЕ СРЕДНЕЗОНАЛЬНЫХ ВАРИАЦИЙ СКОРОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ В СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЕ

^{1,2}Н.С. Домбровская, ¹О.С. Зоркальцева, ^{1,2}В.И. Мордвинов

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
ndombrovskaya@inbox.ru

STUDYING ZONE AVERAGE VARIATIONS OF VELOCITY AND TEMPERATURE IN THE MIDDLE ATMOSPHERE

^{1,2}N.S. Dombrovskaya, ¹O.S. Zorkaltseva, ^{1,2}V.I. Mordvinov

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia
ndombrovskaya@inbox.ru

Аннотация. Для исследования среднезональных вариаций скорости и температуры в средней атмосфере использована модель циркуляции средней и верхней атмосферы (МСВА) и данные архива ERA-interim. Сопоставление модельных расчетов и данных архивов ERA-interim показало, что использованная модель адекватно воспроизводит основные особенности циркуляционных процессов в зимней стратосфере. По данным наблюдений и модельным расчетам выполнен анализ вариаций средних зональных характеристик атмосферы. В стратосфере и мезосфере выделяются синхронные колебания в температуре в диапазоне 10–30 сут, занимающие протяженные широтные зоны по горизонтали и имеющие значительную протяженность по вертикали. Знак вариаций меняется по горизонтали в области струйных течений (и не меняется на экваторе), а по вертикали смена знака происходит в областях стратопазы и мезопазы.

Ключевые слова: атмосфера, моделирование, циркуляция, внезапные стратосферные потепления.

Annotation. The model of the middle and upper atmosphere circulation (MUAM) and the data of the ERA-interim archive are used to study the mean-zone variations of velocity and temperature in the middle atmosphere. Comparison of model calculations and data of ERA-interim archives showed that the model adequately reproduces the main features of circulation processes in the winter stratosphere. The analysis of variations in the mean zonal characteristics of the atmosphere is carried out according to observations and model calculations. In the stratosphere and mesosphere in the range of 10–30 days there are synchronous fluctuations in temperature. They occupy long latitudinal zones horizontally and have a significant length vertically. The sign of the variations varies horizontally in the region of jet streams (and does not change at the equator), and the vertical change of sign occurs in areas of the stratopause and the mesopause.

Keywords: atmosphere, modeling, circulation, sudden stratospheric warming.

Наиболее сложным комплексным явлением в атмосфере в зимний период времени являются внезапные стратосферные потепления (ВСП). Теоретически генерацию ВСП связывают либо с собственными неустойчивостями струйных течений в стратомезосфере [Кочеткова и др., 2014], либо с какими-либо «внешними» воздействиями — распространяющимися из тропосферы стационарными планетарными волнами, блокинками, возмущениями, обусловленными конвективными процессами в тропиках [Савенкова и др., 2017; Butler et al., 2017; Liu et al., 2002; Plumb et al., 1985]. Неясно только, какой из механизмов вносит больший вклад в развитие ВСП. Сопоставление крутильных колебаний в спокойные периоды и во время ВСП позволило бы приблизиться к пониманию механизма развития ВСП, в частности, к ответу на вопрос о соотношении внутренних и внешних факторов в возникновении и развитии ВСП. Для ответа на этот вопрос мы использовали метод выделения крутильных колебаний. Метод включает фильтрацию зонально осредненных метеорологических величин и последующую их нормировку в разных широтных зонах на разность между максимальным и минимальным значением временного ряда.

Для моделирования теплового режима и общей циркуляции атмосферы использовалась трехмерная

нелинейная модель циркуляции атмосферы (МСВА) в области высот 0–293 км, реализованная на сетке 5.625° по долготе, 5° по широте, 56 уровней по высоте [Pogoreltsev, 2015]. Шаг интегрирования по времени составлял 225 с. В последней версии МСВА включена новая параметризация эффектов орографических гравитационных волн [Гаврилов и др., 2013], а также новые климатические распределения озона [Суворова и др., 2017] и паров воды в тропосфере [Ермакова и др., 2017], учитывающие зависимость от долготы. Вертикальной координатой модели является безразмерная log-изобарическая высота $x = -\ln(p/1000)$, где p — давление в гПа. Нижние граничные условия на уровне 1000 гПа представляют собой распределения геопотенциальной высоты и температуры за 1 января, учитывающие средние зональные значения и стационарные планетарные волны с зональными волновыми числами $m=1-5$. Для исключения влияния явления Эль Ниньо/Южное Колебание (ЭНЮК) при расчете нижних граничных условий использовались данные наблюдений в январе 1982, 1991, 1994, 2002, 2004 гг., во время которых наблюдалась нейтральная фаза ЭНЮК согласно индексу MEI (Multivariate ENSO Index).

Влияние КДК задавалось дополнительным слагаемым в прогностическом уравнении для зональной компоненты скорости, пропорциональным раз-

ности рассчитанных и климатических распределений средних значений зональной скорости ветра для западной и восточной фазы КДК [Погорельцев и др., 2014]. Дополнительное слагаемое «включалось» в интервале широт $17.5^{\circ} S - 17.5^{\circ} N$ на высотах 0–50 км. Характерное время «притяжения» модельного среднего зонального потока к наблюдениям составляло 5 суток.

На рис.1 приведен пример изменений со временем распределений U^* и T^* на высоте 30 км по данным наблюдений зимой 2017 г. (справа) и по данным модельных расчетов (слева) для одной из реализаций при западной фазе КДК. На рисунках внизу изображены графики изменений средней зональной температуры в полярной области. Выделяются два эпизода стратосферных потеплений в конце января и конце февраля.

В верхних слоях атмосферы были выделены колебания, простирающиеся от северного до южного полюса (рис. 1). Лучше всего колебания видны в вариациях температуры и представляют собой практически синхронные возрастания и понижения температуры по разные стороны от областей струйных течений по горизонтали и по разные стороны от стратопавзы и мезопавзы (рис. 2). Вариации T^* напоминают колебания температуры в конвективных ячейках с чередующимися во времени восходящими и нисходящими движениями. Кроме почти

синхронных колебаний в вертикальной плоскости достаточно хорошо видны и бегущие возмущения, распространяющиеся чаще всего сверху вниз.

Чтобы проанализировать динамику процессов по вертикали более детально, мы построили распределения средней зональной температуры и средней зональной скорости на диаграммах высота-время для широтного круга $62.5^{\circ} N$ для западной и восточной фазы КДК. На рис.2 приведен пример диаграммы для той же реализации, что и на рис.1. Диапазон уровней по вертикали охватывает стратосферу, мезосферу и нижнюю часть термосферы.

В мезосфере хорошо виден перенос возмущений сверху вниз и в T^* , и в U^* (рис. 2). В стратосфере можно видеть движения и сверху вниз и снизу вверх, однако в T^* преобладают все же движения снизу вверх, а в U^* — сверху вниз. Характер движений одинаков и при западной и при восточной фазах КДК. Основной особенностью распределений T^* является противоположный знак возмущений температуры в стратосфере и мезосфере.

Анализ вариаций средних зональных характеристик циркуляции позволил расширить наши знания о характере низкочастотной изменчивости в стратосфере и мезосфере в зимний период. Если в тропосфере в частотном диапазоне 10–30 сут наиболее яркой особенностью являются «крутильные колебания» — вариации средней зональной скорости,

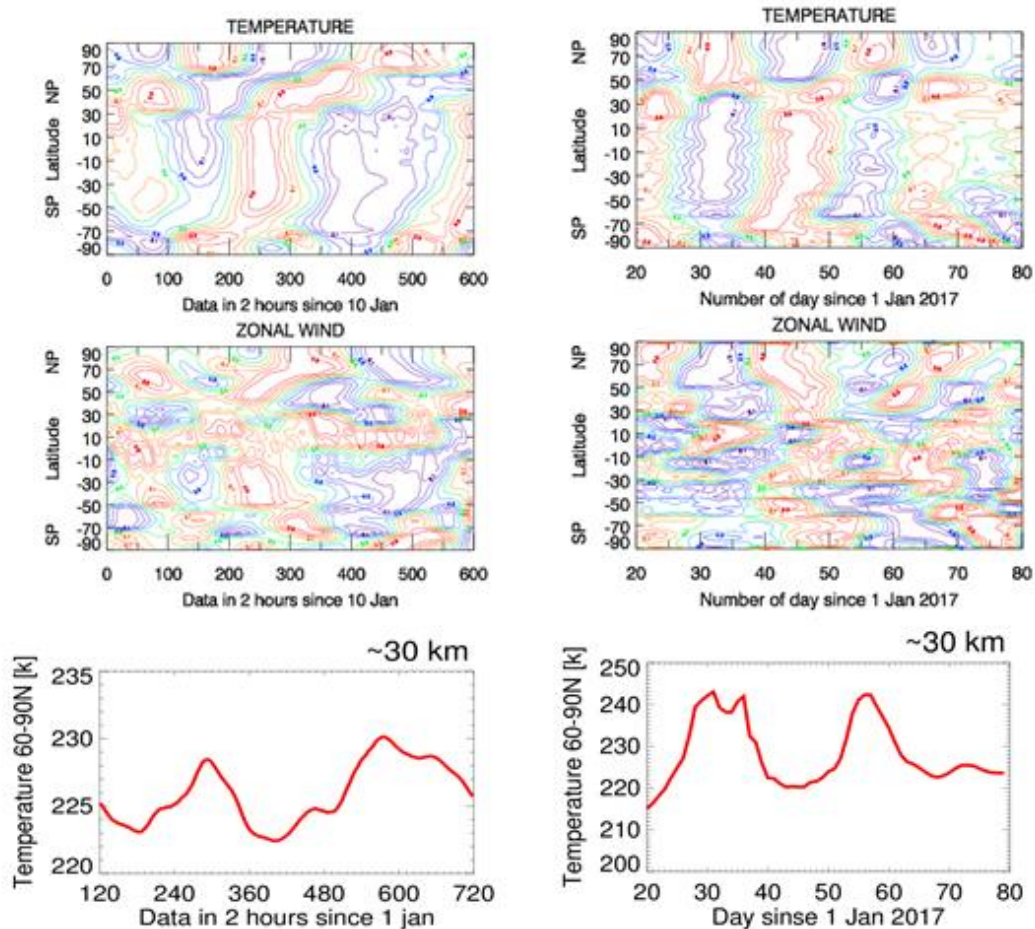


Рис 1. Диаграммы широта-время T^* и U^* по данным МСВА (слева) и по данным Era-interim (справа). Внизу графики среднезональной температуры воздуха в полярной области по данным МСВА (слева) и по данным Era-interim (справа)

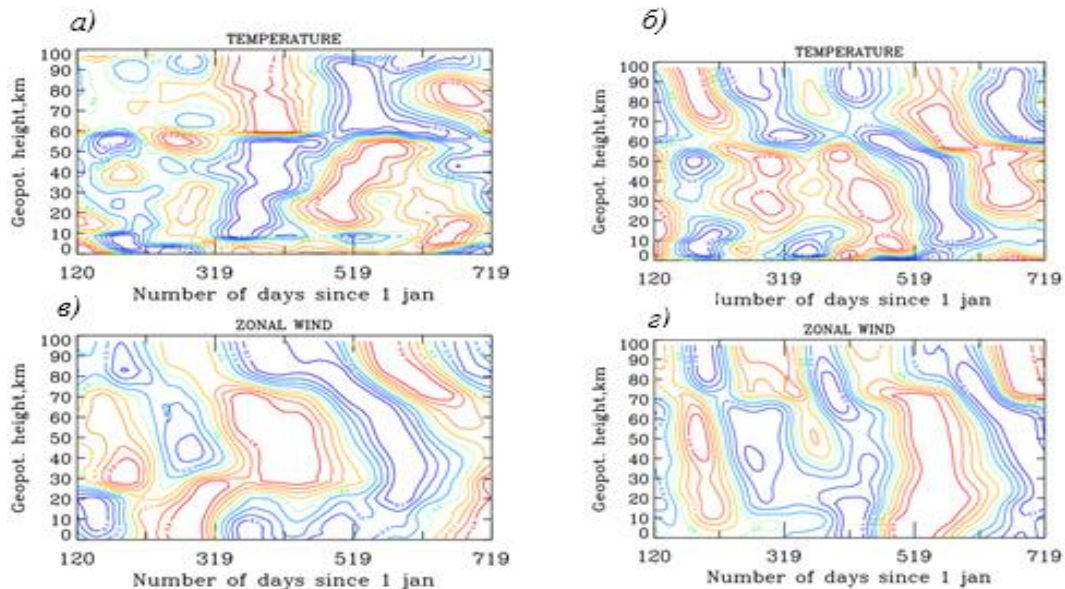


Рис 2. Распределения по вертикали среднезональной температуры воздуха (а, б) и среднезональной скорости ветра (в, г) для западной (слева) и восточной (справа) фазы КДК.

перемещающиеся в меридиональном направлении, то в верхних слоях атмосферы выделяются синхронные колебания в скорости и температуре, занимающие протяженные широтные зоны по горизонтали и имеющие значительную протяженность по вертикали. Знак вариаций меняется по горизонтали в области струйных течений (и не меняется на экваторе), а по вертикали смена знака происходит в областях стратопauses и мезопauses. «Крутильные колебания» также видны, однако хуже, чем в тропосфере. Возможно, причиной этих различий является меньшая инерционность динамических процессов в стратосфере и мезосфере по сравнению с тропосферой. Возможно, «крутильные колебания» выполняют роль переносчика возмущений, а результатом переноса возмущений является формирование крупномасштабных конвективных ячеек с относительно небольшими вертикальными скоростями по сравнению со скоростями циркуляции Бревера–Добсона. Из-за относительно малой инерционности этот процесс в верхних слоях атмосферы происходит быстрее, чем в нижних слоях, и при обработке данных мы чаще видим уже окончательный итог динамики возмущений. Другим возможным объяснением может быть то, что колебания циркуляции «конвективного» типа являются собственными колебаниями ОЦА, а крутильные колебания лишь побочным эффектом. В пользу этого предположения говорит глобальность колебаний — возмущения температуры практически синхронно охватывают большую часть средней атмосферы и слабо зависят от внезапных стратосферных потеплений. Скорее, наоборот, высока вероятность того, что ВСП согласованы с колебаниями. В среднем, ВСП развиваются в два этапа — на предварительном этапе за две-три недели до разрушения полярного вихря возрастает вихревая активность в стратосфере, вихревой поток проникает в тропосферу и через некоторое время возвращается в стратосферу над востоком Азии и северной частью Тихого океана. Нелинейные взаимодействия воз-

мущений с полярным вихрем и стационарным антициклоном в стратосфере приводят к разрушению полярного вихря и сильному, мажорному потеплению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гаврилов Н.М., Коваль А.В. Параметризация воздействия мезомасштабных стационарных орографических волн для использования в численных моделях динамики атмосферы // Известия РАН, «Физика атмосферы и океана». 2013. Т. 49, № 3. С. 271–278.
- Ермакова Т.С., Статная И.А., Федупина И.Н. и др., Трехмерная полумпирическая климатическая модель распределения водяного пара и ее использование в радиационном блоке модели средней и верхней атмосферы // Метеорология и гидрология. 2017. № 9. С. 75–82.
- Кочегурова О.С., Мордвинов В.И., Руднева М.А. Анализ факторов, влияющих на возникновение стратосферных потеплений // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 8. С. 719–727.
- Погорельцев А.И., Савенкова Е.Н., Перцев Н.Н. Внезапные стратосферные потепления: Роль нормальных атмосферных мод // Геомагнетизм и Аэронавтика. 2014. Т. 54, № 3. С. 387–403.
- Суворова Е.Н., Дробашевская Е.А., Погорельцев А.И. Климатическая модель трехмерных распределений озона по данным реанализа MERRA / Ученые записки РГГМУ. 2017. № 49. С. 38–46.
- Butler A.H., Sjoberg J.P., Seidel D.J., Rosenlof K.H. A sudden stratospheric warming compendium / Earth Syst. Sci. Data. 2017. V. 9. P. 63–76.
- Liu H.-L., Roble R.G. A study of a self-generated stratospheric sudden warming and its mesospheric-lower thermospheric impacts using the coupled TIME-GCM/CCM3 // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. P. 46–95.
- Pogoreltsev A.I., Savenkova E.N., Aniskina O.G., et al. Interannual and intraseasonal variability of stratospheric dynamics and stratosphere–troposphere coupling during northern winter // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2015. V. 136. P. 187–200.
- Plumb R.A. On the Three-Dimensional Propagation of Stationary Waves // J. Atmos. Sci. 1985 V. 42.