

# ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЛАСТИ МЕЗОПАУЗЫ И ЕЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ В 24-М СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ

Медведева И.В.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия  
Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН, Москва, Россия  
E-mail: ivmed@iszf.irk.ru



Представлены результаты исследования температурного режима области мезопаузы в 24-м солнечном цикле. Температурные данные получены при помощи спектрометрических измерений параметров эмиссии молекулы гидроксид (полоса (6-2), 834.0 нм, высота максимума излучения ~87 км), в Геофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН (51.8° N, 103.1° E, Торы). Исследованы межгодовые вариации температуры области мезопаузы и ее изменчивости в различных временных периодах: межсуточные вариации ( $T > 24$  ч), приливные вариации ( $8 \text{ ч} \leq T \leq 24 \text{ ч}$ ), а также вариации с периодами внутренних гравитационных волн ( $T < 8$  ч). Проведен анализ влияния солнечной и геомагнитной активности на температурный режим области мезопаузы. Проанализировано влияние нижележащих слоев атмосферы на поведение температуры области мезопаузы и ее изменчивости, для этого к анализу привлечены данные о вариациях индекса Южной осцилляции (Southern Oscillation Index). Обнаружено, что в анализируемый период наибольшее влияние на изменчивость температуры мезопаузы оказывают изменения индекса Южной осцилляции. Внутрисуточная изменчивость температуры имеет максимальные значения в фазе Эль-Ниньо. Наибольшая межсуточная изменчивость температуры наблюдается в фазе Ла-Нинья.

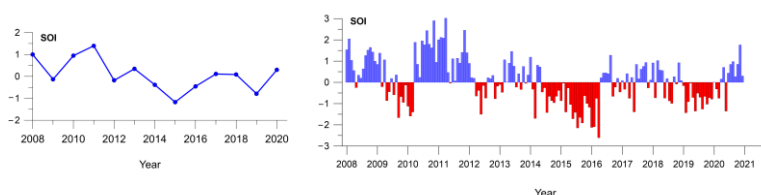


Рис. 3. Усредненные за год (левая панель) и за месяц (правая панель) значения индекса SOI в 2008-2020 гг. Красный цвет на правой панели – фаза Эль Ниньо, синий – фаза Ла Нинья.

## Введение

Температурный режим атмосферы на высотах мезопаузы (80-100 км) подвержен влиянию как солнечного излучения, так и энергии диссипации волновых процессов, возникающих в нижних слоях атмосферы. Изменчивость температуры мезопаузы является индикатором многих метеорологических и климатических процессов в нейтральной атмосфере. Межсуточная и внутрисуточная изменчивость в основном обусловлена волновыми процессами – мигрирующими планетарными волнами, приливами и ВГВ.

Целью настоящей работы является исследование межгодовых вариаций температуры мезопаузы и ее изменчивости на высотах мезопаузы (80-100 км), в 24-м солнечном цикле.

## Анализируемые данные и методика анализа

Для анализа были использованы экспериментальные данные о вращательной температуре молекулы гидроксид (полоса OH(6-2) 834.0 нм, ~87 км), получаемой из спектрометрических измерений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (51.8°N, 103.1°E, Торы) с временным разрешением 10 мин. Вращательная температура молекулы гидроксид отражает температуру атмосферы на высотах мезопаузы. Анализ вариаций солнечной и геомагнитной активности проведен по данным об индексах F10.7 и Ap, полученным через интерфейс GSFC/SPDF OMNIWeb на веб-сайте [1]. В исследовании также были использованы данные о вариациях индекса Южной осцилляции (Southern Oscillation Index, SOI) в формате Climatic Research Unit of East Anglia University [2, 3]. Индекс южной осцилляции (SOI) показывает отклонение разности атмосферного давления от среднего между островом Таити и городом Дарвин (Австралия). Отрицательные значения этого индекса означают, что установилась фаза Эль-Ниньо, положительные – фаза Ла-Нинья. Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) – основной климатический сигнал, обуславливающий межгодовую изменчивость глобальной системы океан – атмосфера.

В качестве характеристики атмосферной изменчивости использованы стандартные отклонения температуры мезопаузы в годовом и ночном ходе, с помощью которых можно анализировать проявление активности волновых процессов различного временного масштаба в верхней атмосфере [4, 5]. Межсуточные изменения температуры в основном обусловлены мигрирующими планетарными волнами, основной вклад в ночную изменчивость вносят приливы и ВГВ. В исследовании использован метод множественного регрессионного анализа.

## Результаты и обсуждение

На Рис. 1 представлены усредненные за каждую ночь наблюдения значения вращательной температуры OH за анализируемый временной интервал (2185 значений). Для каждого года за анализируемый временной интервал были рассчитаны средние значения температуры и ее изменчивости в различных временных периодах: межсуточные вариации ( $T > 24$  ч), приливные вариации ( $8 \text{ ч} \leq T \leq 24 \text{ ч}$ ), а также вариации с периодами внутренних гравитационных волн ( $T < 8$  ч). Полученные результаты были сопоставлены с вариациями среднегодовых индексов геомагнитной (Ap) и солнечной (F10.7) активности, а также с среднегодовыми значениями SOI.

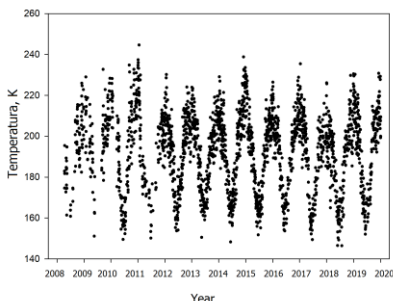


Рис. 1. Усредненные за ночь значения вращательной температуры OH (2185 значений). Метки на оси абсцисс соответствуют началу года.

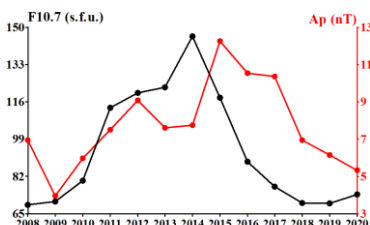


Рис. 2. Вариации среднегодовых индексов геомагнитной (Ap, красный) и солнечной (F10.7, черный) активности.

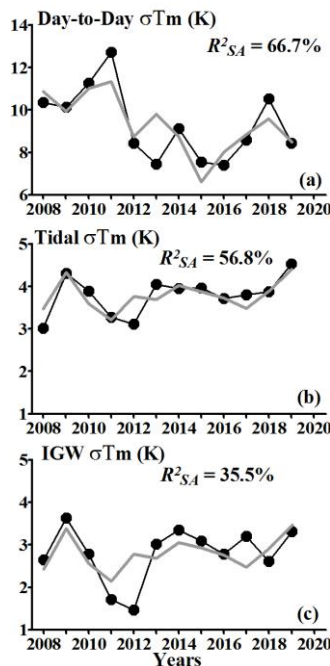


Рис. 4. Межгодовые вариации изменчивости температуры мезопаузы  $\sigma T_m$  (черные линии, кружки) и их аппроксимации при помощи множественной регрессии на SOI и Ap (серые линии). Сверху вниз: межсуточная изменчивость (а), с периодами приливов (б), с периодами ВГВ (с).

Был проведен множественный регрессионный анализ  $\sigma T_m$  на SOI и F10.7, а также  $\sigma T_m$  на SOI и Ap. Наиболее высокие коэффициенты детерминации получены для множественной регрессии на SOI и Ap; результаты этой регрессии показаны на Рис. 4.

Включение индекса SOI в множественный регрессионный анализ изменчивости температуры мезопаузы привело к значительному увеличению коэффициентов детерминации. Это может указывать на влияние явления Эль-Ниньо/Ла-Нинья на характеристики верхней атмосферы средних широт. Было обнаружено, что внутрисуточная изменчивость температуры, обусловленная приливами и ВГВ (Рис. 4б, с) демонстрирует отрицательную корреляцию с индексом SOI (Рис. 3), причем наименьшая изменчивость наблюдается вблизи фазы Ла-Нинья (2011–2012 гг.). В поведении межсуточной температурной изменчивости, обусловленной влиянием мигрирующих планетарных волн, наблюдается корреляция с вариациями SOI, с пиком изменчивости в фазе Ла Нинья (максимум SOI в 2011 г.) и минимумом в фазе Эль Ниньо (Рис. 4, а).

Множественный регрессионный анализ среднегодовой температуры мезопаузы и индексами солнечной и геомагнитной активности (F10.7 и Ap) не выявил их значимой корреляции (коэффициент детерминации 9,1%). Наилучший коэффициент детерминации (18,1%) дает множественная регрессия среднегодовых значений  $T_m$  и индексов SOI и F10.7; результаты анализа представлены на рис. 5.

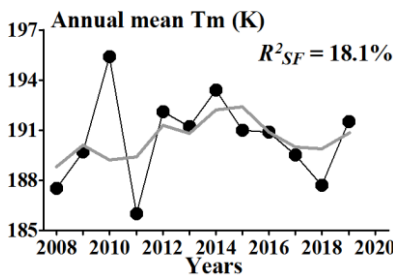


Рис. 5. Вариации усредненных за год значений температуры мезопаузы  $T_m$  (черная линия, кружки) и их аппроксимация при помощи множественной регрессии на SOI и F10.7 (серая линия).

## Заключение

Впервые проведен множественный регрессионный анализ между температурой мезопаузы, ее изменчивостью и индексами солнечной F10.7 и геомагнитной Ap-активности, а также индекса SOI. Установлено, что включение SOI в анализ существенно улучшает коэффициенты детерминации температурной изменчивости. Внутрисуточная изменчивость температуры имеет максимальные значения в фазе Эль-Ниньо, межсуточная изменчивость коррелирует с изменениями SOI, причем максимальная изменчивость наблюдается в фазе Ла-Нинья. На резкие колебания среднегодовой температуры мезопаузы в 2009–2011 гг., вероятно, повлияла холодная фаза Ла-Нинья и самые высокие значения SOI за последние 70 лет.

1. Indices of geomagnetic and solar activity [Электронный ресурс]. URL: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>  
2. Southern Oscillation Index (SOI) [Электронный ресурс]. URL: [https://crudata.uea.ac.uk/cruidata/soi/soi\\_3dp.dat](https://crudata.uea.ac.uk/cruidata/soi/soi_3dp.dat)  
3. Røpelewski C.F., Jones P.D. An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index // Monthly Weather Review. 1987. V. 115. P. 2161-2165.  
4. Medvedeva I., Ratovsky K. Studying atmospheric and ionospheric variabilities from long-term spectrometric and radio sounding measurements // J. Geophys. Res. Space Physics. 2015. V.120, N 6. P. 5151–5159.  
5. Перминов В. И., Семенов А. И., Медведева И. В., Перцев Н. Н. Изменчивость температуры в области мезопаузы по наблюдениям гидроксильного излучения на средних широтах // Геомагнетизм и аэронавигация. 2014. Т. 54, № 2. С. 246–256.