

## ОЦЕНКА СВЯЗИ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА МЕЗОСФЕРЫ СО СТРАТОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ПО ДАННЫМ РЕ-АНАЛИЗА И СВЧ-РАДИОМЕТРИИ

А.В. Соколов<sup>1,2</sup>, А.В. Коваль<sup>1,2</sup>, Е.Н. Савенкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,  
anigahuchi@yandex.ru

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## ESTIMATION OF THE RELATION BETWEEN THE MESOSPHERIC DYNAMIC REGIME AND THE STRATOSPHERIC CIRCULATION FROM REANALYSIS AND MICROWAVE RADIOMETRY DATA

A.V. Sokolov<sup>1,2</sup>, A.V. Koval<sup>1,2</sup>, E.N. Savenkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg University, Saint-Petersburg, Russia,  
anigahuchi@yandex.ru

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

**Аннотация.** Данные ТВЗА MLS/Aura на частотах 118 и 190 ГГц применены для изучения аномалий среднезональных температуры и объемного отношения смеси водяного пара на высотах мезосферы в весенние месяцы за период с 2008 по 2022 гг. Также для данных лет были рассчитаны вейвлет-амплитуды бегущих на запад ПВ в температуре на уровне 0.002 гПа. Установлено, что в годы усиления амплитуды ПВ1 с периодом 10 суток (2013, 2015 г.), наблюдаются отрицательные аномалии температуры (от 5 до 10°) и положительные аномалии объемного отношения смеси водяного пара (до 1 млн<sup>-1</sup>). Для установления связи усиления амплитуды ПВ1 со стратосферной циркуляцией построены амплитуды СПВ1, а также среднезональный ветер по данным ре-анализа UKMO.

**Ключевые слова:** СВЧ-радиометрия, планетарные волны, стратосферно-мезосферное взаимодействие.

**Abstract.** 118 and 190 GHz MLS/Aura microwave radiometry data was used to investigate spring-time mesosphere zonal mean temperature and vapour mixing ratio in 2008–2022. 0.002 hPa level temperature wavelet amplitudes of westward propagating PW were calculated for these years. It has shown that when amplitude of PW1 with 10-day period is present (2013, 2015), there are negative temperature (5–10°) and positive vapour mixing ratio (1 ppmv) anomalies. To investigate a relation between PW1 amplitude increasing and stratosphere circulation SPW1, amplitudes and zonal mean zonal wind were calculated based on UKMO data.

**Key words:** microwave radiometry, planetary waves, stratosphere-mesosphere interactions.

### ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса по сей день является безальтернативным источником информации о состоянии системы океан-атмосфера (СОА). Радиометрическая аппаратура, размещаемая на низкоорбитальных космических аппаратах (КА), собирает информацию о вертикальном распределении метеорологических характеристик столба атмосферы путем спектрометрии в линиях поглощения атмосферных газов, в первую очередь, кислорода и водяного пара. Таким образом возможен глобальный мониторинг состояния климата.

Температурно-влажностное зондирование атмосферы (ТВЗА) СВЧ-зондом MLS (Microwave Limb Sounder) [Waters et al., 2007] с борта солнечно-синхронного КА Aura на частотах 118 и 190 ГГц позволяет восстанавливать вертикальные профили температуры и влажности на высотах от 10 до 100 км. КА пересекает экватор в 01:45 и 13:45 LT (Local Time). За сутки Aura совершает 15 витков вокруг Земли, что позволяет получать 3500 вертикальных профилей в сутки. Данные ТВЗА MLS/Aura в формате HDF (Hierarchical Data Format) можно найти на официальном сайте: <https://mls.jpl.nasa.gov/eos-aura-mls>. Радиометрическая аппаратура на борту Aura измеряет тепловое излучение атмосферного лимба на миллиметровых и субмиллиметровых длинах волн [Соколов и др., 2024].

### ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МЕЗОСФЕРЫ В 2008, 2013, 2015 И 2016 Г.

Рассчитанные по данным ТВЗА аномалии среднезональных температуры (рис. 1) и объемного отношения смеси водяного пара (рис. 2) позволяют обнаружить сильное выхолаживание и увлажнение весенней (май) атмосферы на высотах 80–90 км в 2013 и 2015 гг. Для сравнения дополнительно представлены 2008 и 2016 гг., когда мезосфера Северного полушария была значительно теплее и менее увлажненной.

Из радиометрических измерений температуры на уровне 0.002 гПа, методом комплексного вейвлет-преобразования Морле [Torrence, Compo, 1998] были получены широтно-временные структуры амплитуд распространяющейся на запад планетарной волны с зональным волновым числом 1 (ПВ1) с периодом 10 суток (первая асимметричная мода Россби [Forbes, 1995]) с 2008 по 2022 гг. Установлена закономерность: в 2013 и 2015 гг. (рис. 3) имеет место усиление амплитуды ПВ1, продолжающееся с конца апреля по начало мая. В годы, когда температура/объемное отношение смеси водяного пара сохранялись в пределах нормы, первая асимметричная мода Россби либо существует зимой, затухая к началу весны, либо отсутствует вовсе.

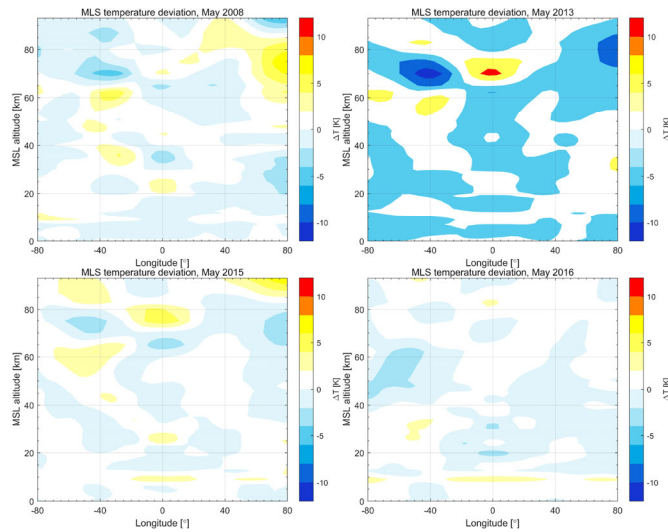


Рис. 1. Аномалии температуры в мае 2008, 2013, 2015 и 2016 г. соответственно, данные MLS/Aura (118 ГГц)

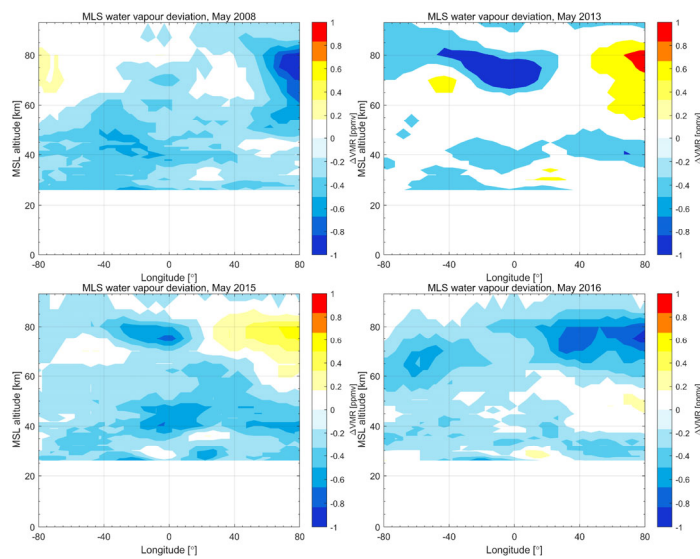


Рис. 2. Аномалии объемного отношения смеси водяного пара в мае 2008, 2013, 2015 и 2016 г. соответственно, данные MLS/Aura (190 ГГц)

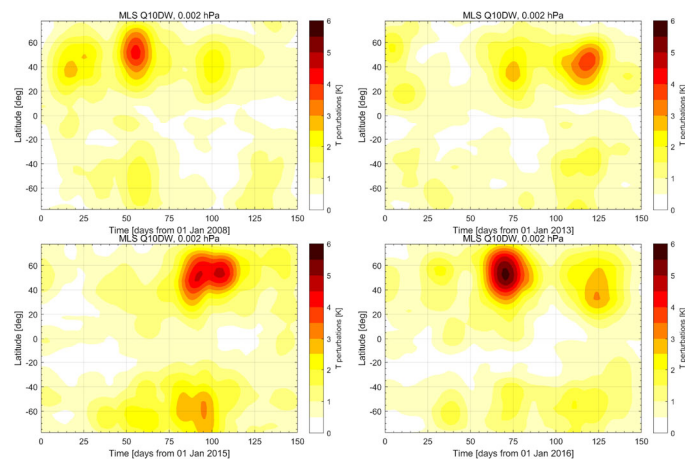


Рис. 3. Широтно-временные структуры амплитуд ПВ1 за 2008, 2013, 2015 и 2016 г. соответственно, данные MLS/Aura (118 ГГц)

### ЦИРКУЛЯЦИЯ ЗИМНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ

Условием возможной генерации, а также распространения первой асимметричной моды Россби в среднюю атмосферу является динамический режим зимней стратосферы: усиление амплитуды

стационарной планетарной волны с  $m = 1$  (СПВ1) и скорость зонального ветра в этом слое. Для рассматриваемых лет были построены амплитуды СПВ1 и среднезональный зональный ветер по данным модели UK Met Office (рис. 4).

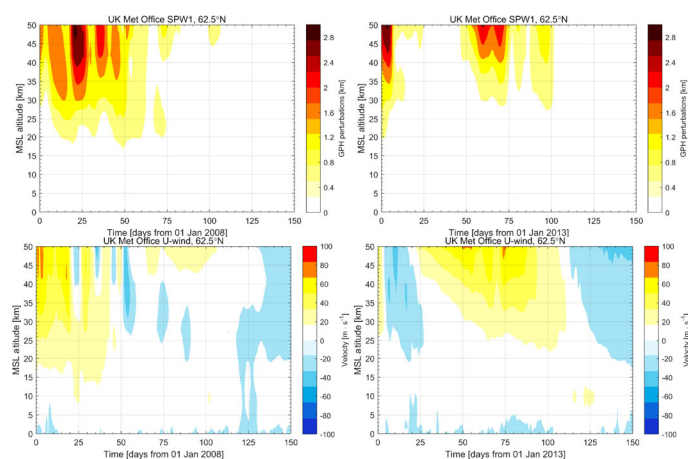


Рис. 4. Амплитуды СПВ1 (вверху) и среднесезонный зональный ветер (внизу) за 2008 и 2013 г. соответственно, данные UK Met Office

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПВ1 нарушает сезонную вариацию температурно-влажностного режима верхней мезосферы, вызывая преждевременные выхолаживание и увлажнение этого слоя. Условием возможной генерации, а также распространения первой асимметричной моды Россби в среднюю атмосферу является динамический режим зимней стратосферы: усиление амплитуды СПВ1 и скорость зонального ветра в этом слое.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ (грант №20-77-2021-10006-П).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Соколов А.В., Савенкова Е.Н., Коваль А.В. Анализ динамического режима зимней стратосферы на основе

данных спутникового зондирования EOS MLS // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития». СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, (в печати).

Forbes J. M. Tidal and planetary waves, The Upper Mesosphere and Lower Thermosphere: A Review of Experiment and Theory // Geophys. Monogr. Ser. 1995. V. 87. P. 67–87. <https://doi.org/10.1029/GM087p0067>

Torrence Ch., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis // Bull. Amer. Met. Soc. 1998. V. 79. N. 1. P. 61–78.

Waters, J.W., Froidevaux, L., Harwood, R.S. et al. The Earth Observing System Microwave Limb Sounder (EOS MLS) on the Aura satellite // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2006. V. 44, iss. 5. P. 1075–1092.