

СЕЗОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В МЕЗОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ ОПТИЧЕСКИХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.Б. Андреев

SEASONAL BEHAVIOR OF WAVE DISTURBANCES IN THE MESOSPHERE FROM GROUND-BASED OPTICAL AND SATELLITE OBSERVATIONS

A.B. Andreyev

Представлены результаты экспериментальных исследований сезонного поведения акустико-гравитационных волн (АГВ) на высотах мезосферы. Наблюдения АГВ выполнялись при помощи спектрометра SATI (Spectral Airglow Temperature Imager) в ДТОО Институт ионосферы, г. Алматы. Результаты оптических наземных наблюдений сопоставляются с данными спутниковых наблюдений эксперимента MLS (Microwave Limb Sounder). Продемонстрировано, что в данных наземных и спутниковых измерений регистрируются одни и те же короткопериодные волновые процессы масштаба акустико-гравитационных волн.

Presents the results of experimental studies of the seasonal behavior of acoustic-gravity waves (AGW) at altitudes of mesosphere. The observations were made using the AGW spectrometer SATI (Spectral Airglow Temperature Imager) in DТОО Institute of Ionosphere, Almaty. Results of the ground-based optical observations were compared with data of satellite observations of the experiment MLS (Microwave Limb Sounder). It is demonstrated that in the ground-based and satellite measurements recorded the same short-period wave processes having scale of acoustic-gravity waves.

Введение

Исследования волновых возмущений атмосферы позволяют раскрывать механизмы динамических процессов в атмосфере, как открытой неравновесной системе. Интерес к исследованиям этих динамических процессов сегодня весьма высок, в связи с проблемами изменения климата, возрастания катастрофических явлений в атмосфере [Нао и др., 2012; Negai и др., 2009; Liu и др., 2011]. Актуальным является сегодня и поиск предвестников землетрясений в вариациях параметров различных слоев атмосферы, включая мезосферу [Pulinets и др., 2004; Shepherd, 2002]. Но для выделения атмосферных эффектов, обусловленных различными проявлениями сейсмоактивности и других катастрофических событий, необходимо знание сезонно-суточных особенностей поведения волновых возмущений, связанных с регулярными источниками волн, к каким относятся приливы, солнечный терминатор и др. [Somsikov, 2011].

Методы исследования

Для выявления характера распространения АГВ на высотах мезосферы, в работе используются данные измерений температуры и эмиссии гидроксила, полученные с помощью инструмента SATI (Spectral Airglow Temperature Imager), установленном в Институте ионосферы (43°03'30" N, 76°58'24" E, высота 2730 м).

Характеристики SATI позволяют осуществлять регистрацию волновых возмущений в мезосфере, таких как приливные, планетарные и акустико-гравитационные волны (АГВ). К настоящему времени накоплены непрерывные ряды наблюдений за период более 5 лет. Данные оптических измерений SATI (значений температуры и эмиссии гидроксила) были обработаны с помощью модифицированного алгоритма преобразования Фурье, известного, как метод со-phase [Hernan, Montes и др., 1971]. Этот метод позволяет автоматически выявлять перемещающиеся волновые возмущения, определять направление распространения, период волны, скорость распространения и длину волны.

На рис. 1 приведен типичный пример регистрации АГВ 11 мая 2010 г. Так, для данной ночи измерений, основная волновая мода представляет горизонтально распространяющееся волновое возмущение,двигающееся в юго-восточном направлении, скорость волны составляет 140–160 км/ч, период колебания 40–50 мин, и длина волны определена как 90–130 км.

Результаты наблюдений и их анализа

Анализ зарегистрированных волновых возмущений за весь период наблюдения показал распределение по длинам волн, характерное для АГВ (рис. 2). Как видно, максимальное количество зарегистрированных возмущений имеет длину около 100–200 км. Так же наблюдается заметный отдельный пик для длин волн около 350–400 км.

На рис. 3 приведено распределение зарегистрированных АГВ по направлению распространения за 5 лет для разных сезонов. Как видно из рисунков, полученные направления имеют сезонную зависимость. Можно выделить западный и юго-юго-западный и восточно-северо-восточный максимумы. Западный максимум в направлениях распространения наблюдается во все сезоны. Юго-юго-западный представлен в основном только зимой и осенью. Восточно-северо-восточный наоборот, имеет максимальную величину в весенне-летние месяцы, хотя и присутствует во все сезоны. В целом большинство волн имеют зимой западное, а летом восточное направление.

Сопоставление данных наземных и спутниковых измерений

Из современных спутниковых экспериментов по исследованию параметров атмосферы, наилучшим пространственным разрешением обладает эксперимент MLS. Как было показано в работе [Перцев и др., 2013], измерения MLS и SATI находятся в хорошем согласии друг с другом. Спутниковые эксперименты все еще имеют существенное ограничение – низкое горизонтальное пространственное разрешение.

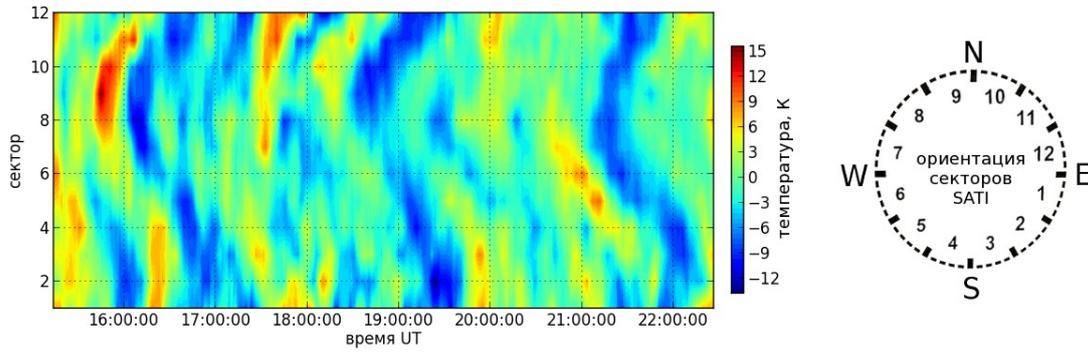


Рис. 1. Волновая структура температуры гидроксила, значения для различных точек на плоскости «кольца» диаметром ≈ 100 км, по данным наблюдения на SATI 11.05.2010 г.

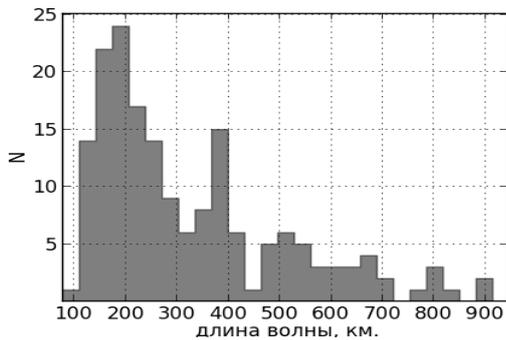


Рис. 2. Распределение длин волн горизонтальных перемещающихся волновых возмущений по данным SATI за 5 лет (2010–2015 гг.).

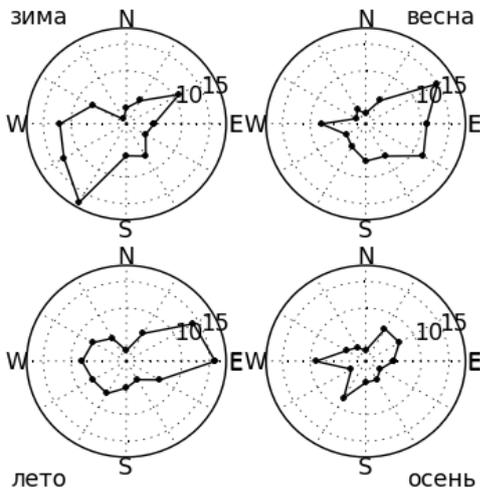


Рис. 3. Сезонная зависимость направлений распространения волновых возмущений.

Так, эксперимент MLS производит измерения профиля параметров атмосферы вдоль траектории полета спутника через промежутки примерно 150 км. Такое пространственное разрешение является недостаточным для регистрации волн длиной менее 300 км.

Анализ данных эксперимента MLS показал наличие волновой картины вдоль траектории измерений на высотах мезосферы, с амплитудой до 10 Кельвинов. Такие возмущения могут быть вызваны акустико-гравитационными волнами. Дальнейший анализ позволяет утверждать, что в данных MLS

наблюдаются именно АГВ. Так, в случае распространения АГВ под углом к траектории измерений MLS близком к прямому, проекция длины АГВ на траекторию MLS превышает предел Найквиста, и можно ожидать наличие в данных MLS достаточно гладкой волновой картины. На рисунке 4 приведено схематичное расположение траектории измерений MLS и положение SATI, а так же продолженная в пространстве АГВ наблюдавшаяся на SATI, для данных 16 мая 2010 г. (а), а так же график температуры по данным MLS вдоль траектории (в) и данные температуры SATI (б). Траектория для этого дня проходит мимо точки расположения SATI на расстоянии 80 км, в 20:55 UT. Согласно измерениям SATI, в эту ночь наблюдалась четкая АГВ, двигавшаяся в юго-восточном направлении, имевшая период 70 мин, скорость горизонтального распространения 140 км/ч, длину волны около 160 км. Как видно из рисунка, при таком взаимном расположении траектории измерения MLS и направления распространения АГВ, и при предположении ширины фронта АГВ не менее 1000 км, в данных MLS должна быть зафиксирована волна с длиной 600–800 км, что и наблюдается в данных MLS (рис. 4, в). Амплитуда изменения температуры согласно SATI при этом примерно вдвое выше, чем по данным MLS, что можно объяснить тем, что спутниковые измерения дают осредненные значения температуры на горизонтальном участке размером несколько десятков километров из-за чего она оказывается более сглажена, нежели в измерениях SATI.

Как видно из этого сопоставления, волновая картина наблюдаемая в данных измерений MLS вдоль траектории спутника может являться акустико-гравитационной волной с высокой долей вероятности.

Заключение

Измерения вариаций температуры гидроксила на высотах мезосферы, выполненные путем регистрации свечения неба с использованием SATI в течении пяти лет свидетельствуют о наличии сезонного хода параметров АГВ на высотах мезосферы. Четко выражен сезонный ход направлений перемещения АГВ. Во всех сезонах явно преобладают восточно-западные направления движений. Причем летом и весной преобладают направления АГВ восточного направления, а зимой западного.

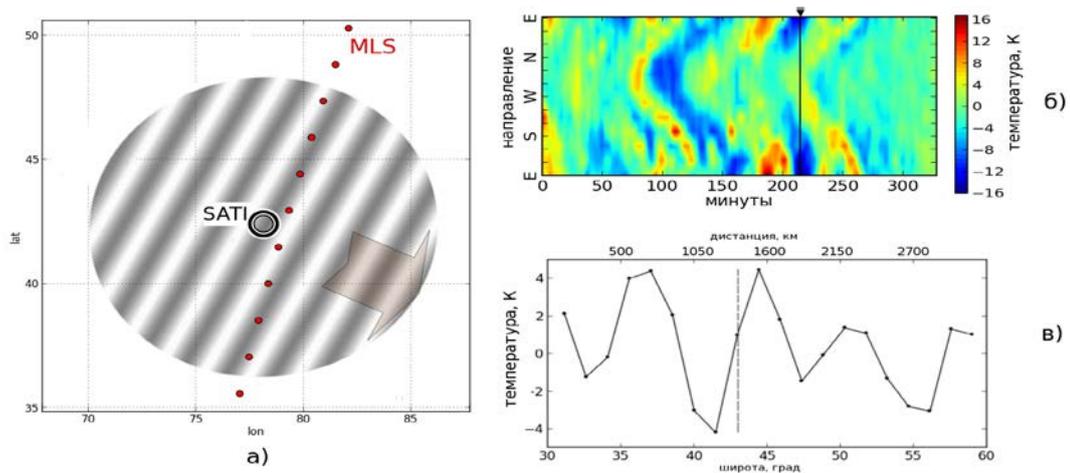


Рис. 4. Схематичное расположение траектории измерений MLS, положения SATI и продолженной в пространстве АГВ наблюдавшаяся на SATI, для данных 16 мая 2010г. (а); данные температуры SATI (б), линией отмечен момент измерения MLS; график температуры по данным MLS вдоль траектории измерений (в).

Совместное использование данных наземных и спутниковых измерений параметров мезосферы возможно не только на среднезональных масштабах или масштабах планетарных приливных атмосферных волн, но и для исследования короткопериодных волновых возмущений масштабов АГВ. Совместный анализ данных SATI и MLS показал, что в этих экспериментах регистрируются одни и те же короткопериодные волновые процессы.

Работа выполнена в рамках проекта № РБП-076: «Изучить механизмы взаимосвязи вариаций геофизических параметров на земной поверхности и в верхних слоях атмосферы, обусловленных источниками земного и космического происхождения», Регистрационный номер (РН) 0115PK01274.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Перцев Н.Н., Андреев А.Б., Мерзляков Е.Г., Перминов В.И. Мезосферно-термосферные проявления стратосферных потеплений: совместное использование спутниковых и наземных измерений. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 1. С. 93–100.

НАО Y.Q., Xiao Z., Zhang D. H. Multi-instrument observation on co-seismic ionospheric effects after great Tohoku earthquake // J. Geophys. Res. 2012, N 117. P. 2305. doi:10.1029/2011JA017036.

Hegai V.V., Legenka A.D., Kim V. P., Georgieva K. Wave-like perturbations in the ionospheric F2-layer observed after the M8.1 Samoa earthquake of September 29, 2009 // Adv. Space Res. 2011. N 47. P. 1979–1982. doi:10.1016/j.asr.2011.01.011.

Montes H.A., Posmentier E.S. Co-Phase Analysis of Atmospheric Wave Data // Geophys. J. R. astr. Soc. 1971. V. 26. P. 271–278.

Liu J.-Y., Chen C.-H., Lin C.-H., et al. Ionospheric disturbances triggered by the 11 March 2011 M9.0 Tohoku earthquake // J. Geophys. Res. 2011. N 116. P. 6319. doi: 10.1029/2011JA016761.

Pulinets S.A., Boyarchuk K.A. Ionospheric Precursors of Earthquakes. Berlin - New York, Springer, 2004. 316 p.

Shepherd G. Spectral Imaging of the Atmosphere, V. 82 of the International Geophysics Series Academic, San Diego, Calif., 2002.

Somsikov V.M. Solar Terminator and Dynamic Phenomena in the Atmosphere: a review // Geomag. Aeron. 2011. V. 51. P. 707–71.

Дочернее товарищество с ограниченной ответственностью «Институт ионосферы», Алматы, Казахстан