

## СОПОСТАВЛЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ОБЛАСТИ МЕЗОПАУЗЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СТАНЦИИ МАЙМАГА С ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ДАННЫМИ EOS MLS (AURA)

**В.И. Сивцева, П.П. Аммосов, Г.А. Гаврильева, И.И. Колтовской, А.М. Аммосова**

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю. Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия  
verasivtseva@gmail.com

## COMPARING EOS MLS (AURA) TEMPERATURE DATA WITH VARIATIONS IN INTERNAL GRAVITY WAVES IN THE MESOPAUSE DERIVED FROM OBSERVATIONS AT MAIMAGA STATION

**V.I. Sivtseva, P.P. Ammosov, G.A. Gavrilyeva, I.I. Koltovskoi, A.M. Ammosova**

Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, Yakutsk, Russia  
verasivtseva@gmail.com

**Аннотация.** Исследованы данные температуры области мезопаузы, полученные за период 2013–2018 гг. на ст. Маймага (63.04° N, 129.51° E). В зимний период сезона наблюдений 2014–2015 гг. характеристика активности внутренних гравитационных волн (ВГВ)  $\sigma_{\text{gw}}$  имеет более низкие значения, чем в другие сезоны, а средненочная температура, наоборот, превышает аналогичные значения в другие сезоны. Для сопоставления рассматривались спутниковые данные температурных профилей полученные EOS MLS (Aura). После выделения и вычитания вклада гравитационной составляющей из температурных профилей EOS MLS для области над ст. Маймага заметно отличие в зимней стратопаузе сезона 2014–2015 гг. В этот сезон зимняя стратопауза имеет более низкие температуры, чем в остальные сезоны, с учетом вычета вклада флуктуаций температуры обусловленных ВГВ.

**Ключевые слова:** внутренние гравитационные волны, мезопауза, стратопауза, гидроксил.

**Abstract.** The temperature data of the mesopause region obtained for the period 2013–2018 at the station Maimaga (63.04° N, 129.51° E) was investigated. During the winter period of the 2014–2015 observation season, the characteristic of the internal gravity waves (IGW) activity  $\sigma_{\text{gw}}$  has lower values than in other seasons, and the average night temperature of the mesopause region, on the contrary, exceeds corresponding values in other seasons. For comparison, satellite data of temperature profiles obtained by EOS MLS (Aura) are given. After isolating and subtracting the contribution of the gravity waves from the EOS MLS temperature profiles for the region above the st. Maimaga, the difference in the winter stratopause of the 2014–2015 season is noticeable. During this season, the winter stratopause has lower temperatures than in other seasons, taking into account the deduction of the contribution of temperature fluctuations due to IGW.

**Keywords:** internal gravity waves, mesopause, stratopause, hydroxyl.

### ВВЕДЕНИЕ

Волновая активность вносит существенный вклад в температурный режим мезопаузы. В частности, внутренние гравитационные волны (ВГВ), распространяясь вверх из нижних слоев атмосферы, осуществляют перенос импульса и энергии в мезосферу и термосферу. На высоте мезопаузы из-за ветрового сдвига ВГВ подвергаются спектральной фильтрации и поглощаются, вызывая разогрев в данной области [Hines, 1974].

На высотах мезопаузы волновую активность исследуют как методом спутниковых измерений, так и с помощью наземных наблюдений. Наиболее распространенными и доступными среди наземных методов являются спектральные наблюдения эмиссий гидроксила OH (3, 1), которые возбуждаются в области мезопаузы. Спутниковые наблюдения предоставляют обширный объем данных для исследований. Но для определенных географических зон, из-за особенностей орбит, на протяжении года данные обычно имеют существенные пробелы. Aura — американский научно-исследовательский спутник, предоставляющий почти непрерывные температурные данные для высокоширотных зон.

В данной работе представлены исследования активности ВГВ в области мезопаузы (87 км) по изме-

рениям на высокоширотной станции Маймага и сопоставление результатов с температурными данными EOS MLS (Aura).

### НАЗЕМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА СТАНЦИИ МАЙМАГА

На ст. Маймага (63.04° N, 129.51° E) с 2013 г. ведется наблюдение температуры мезопаузы с помощью спектрографа Shamrock (Andor), регистрирующего полосу OH (3, 1). Спектрограф позволяет измерять температуру мезопаузы с точностью ~2 К. Разработанное программное обеспечение позволяет прибору работать полностью в автономном режиме [Koltovskoi et al., 2017].

В качестве характеристики ночной волновой активности принято стандартное отклонение  $\sigma$  температуры от ее средненочного значения. Согласно работе [Offermann et al., 2009] суперпозиция волн может быть представлена в виде  $\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{tid}}^2 + \sigma_{\text{gw}}^2 + \sigma_{\text{noise}}^2}$ ,

где  $\sigma_{\text{tid}}$  — стандартное отклонение температуры, обусловленное приливными волнами,  $\sigma_{\text{gw}}$  — внутренними гравитационными волнами,  $\sigma_{\text{noise}}$  — шумом темного тока детектора.  $\sigma_{\text{noise}}$  была рассчитана как средняя арифметическая ошибок каждого отдельного измерения за ночь. Из рассмотрения исключались пла-

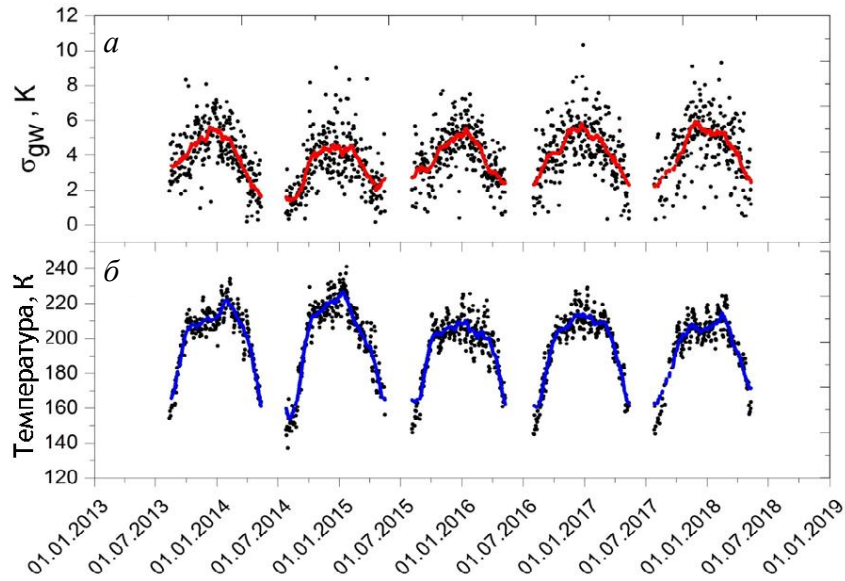


Рис. 1. Сезонные вариации ВГВ-компоненты стандартных отклонений температуры, являющиеся скользящим средним с окном усреднения 30 дней (а), средненочные вращательные температуры гидросила (б) по наблюдениям на ст. Маймага

нетарные волны, так как их временной масштаб много больше, чем одна ночь. Величина  $\sigma_{id}$  определялась посредством выделения из ночного температурного ряда методом наименьших квадратов гармоник, соответствующих 24-, 12- и 8-часовой компонентам суточного прилива [Сивцева и др., 2018].

Стандартные отклонения температуры, соответствующие ВГВ показаны на рис. 1, а, где красной линией обозначено скользящее среднее с окном пропускания 30 дней, представляющее сезонный ход гравитационной компоненты  $\sigma_{gw}$ . На рис. 1, б показаны средненочные вращательные температуры гидросила. Синяя линия является линией скользящего среднего (30 дней).

В сезоне наблюдений 2014–2015 гг. гравитационная компонента стандартных отклонений температуры  $\sigma_{gw}$  имеет более низкие значения в зимний период, чем в остальные сезоны наблюдений. Сезонное изменение гравитационной составляющей варьирует от 2 до 6 К, а в сезоне 2014–2015 гг. от 1.5 до 5 К. Кроме того, в этот сезон средненочные температуры зимней мезопаузы, наоборот, превышают значения в другие сезоны.

### ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАННЫЕ EOS MLS (AURA)

Орбита Ауры является солнечно-синхронной. Наблюдения MLS на данной широте на восходящей или нисходящей сторонах орбиты имеют примерно одинаковое местное солнечное время (с точностью до нескольких минут) на протяжении всей миссии. Следовательно, из данных температуры EOS MLS (Aura) невозможно определить вклад приливных волн, так как приливы в основном обуславливаются сменой дня и ночи (перемещением терминатора день-ночь). А над ст. Маймага спутник снимает показания один раз за ночь всегда примерно в одно и то же местное солнечное время (~03:00 UT).

В этом исследовании ВГВ анализируются аналогичного методу, представленному в работе Preusse et al. [2002, 2009] и Fetzer and Gille [1994]. Метод, используемый здесь, резюмируется следующим образом: компоненты температуры соответствующие зональным волновым числам 1–6 (соответствующие волнам Россби) оцениваются путем подгонки методом наименьших квадратов, а сумма зональных средних температур ( $\bar{T}$ ) (волновое число 0) и вклада компонент зональных волновых чисел 1–6 ( $T_{pw}$ ) рассматриваются как «фоновые температуры ( $T_{BG}$ )». При измерениях в фиксированное местное солнечное время вклад всех приливных компонент включается во вклад компонент волновых чисел 0–6 и поэтому может быть вычтен вместе с планетарными волнами ( $T_{pw}$ ). Следовательно, «фоновые температуры ( $T_{BG}$ )», оцениваемые вышеуказанным методом, должны содержать среднюю зональную температуру ( $\bar{T}$ ), планетарные волны ( $T_{pw}$ ) и приливные волны. Остаточные температурные возмущения ( $T_{gw}$ ) рассчитываются путем вычитания фоновой температуры из наблюдаемой температуры (то есть  $(T_{gw}) = \bar{T} - T_{BG}$ , а  $T_{gw}$  рассматриваются как температурные возмущения, вызванные ВГВ.

Данные Aura для одного широтного кольца (широта ст. Маймага  $63.04^\circ$  N) состоят из рядов температур по долготам для 55 различных уровней высоты. Чтобы построить вертикальный профиль температуры, расчет  $T_{BG}$  должен повторяться для каждого слоя (всего 55 раз). После выделения и вычитания вклада гравитационной компоненты из температурных профилей Aura над ст. Маймага, заметно отличие в зимней стратопаузе сезона 2014–2015 гг. (рис. 2). В этом сезоне зимняя стратопауза имеет более низкие температуры, чем в другие сезоны.

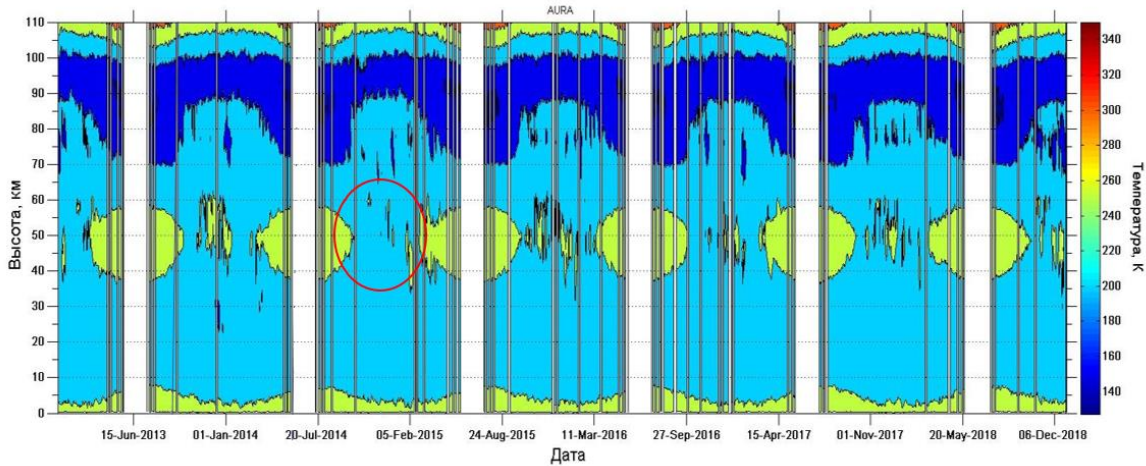


Рис. 2. Температурный профиль атмосферы над ст. Маймага в течение 2013–2018 гг.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы данные температуры области мезопаузы, полученные за период 2013–2018 гг. на ст. Маймага (63.04° N, 129.51° E). В зимний период сезона наблюдений 2014–2015 гг. характеристика активности ВГВ  $\sigma_{gw}$  имеет более низкие значения, а температура области мезопаузы превышает аналогичные значения в другие сезоны. После выделения и вычитания вклада гравитационной составляющей из температурных профилей EOS MLS (Aura) для области над ст. Маймага заметно отличие в зимней стратосфере сезона 2014–2015 гг. В этот сезон зимняя стратосфера имеет более низкие температуры, чем в остальные сезоны.

Более низкие показатели активности ВГВ в области мезопаузы в зимний период сезона 2014–2015 гг. (см. рис. 1, а) могут быть объяснены тем, что возможно в этот сезон холодная стратосфера (см. рис. 2) позволила ВГВ пройти наверх из нижних слоев атмосферы, затем значительная часть энергии ВГВ была поглощена на высоте близкой к высоте эмиссионного слоя гидроксила, нагревая область мезопаузы (см. рис. 1, б).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Сивцева В.И., Аммосов П.П., Гаврильева Г.А. и др. Сравнение сезонных вариаций активности приливных и внутренних гравитационных волн по наблюдениям на станциях Маймага и Тикси // Солнечно-земная физика. 2018. Т. 4, № 2. С. 109–115.
- Fetzer E.J., Gille J.C. Gravity wave variance in LIMS temperatures. Part I: Variability and comparison with background winds // J. Atmos. Sci. 1994. V. 51, P. 2461–2483.
- Hines C.O. The upper atmosphere in motion. Washington D. C.: AGU, 1974. 1027 p.
- Koltovskoi I.I., Ammosov P.P., Gavrielyeva G.A., et al. New infrared spectrograph for the investigation of the mesopause region // Proc. SPIE 10466, 23<sup>rd</sup> International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2017. P. 1046645.
- Offermann D., Gusev O., Donner M., et al. III. Relative intensities of middle atmosphere waves // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. P. D06110.
- Preusse P., Dörnbrack A., Eckermann S.D., et al. Space based measurements of stratospheric mountain waves by CRISTA: 1. Sensitivity, analysis method and a case study // J. Geophys. Res. 2002. V. 107 (D23). P. 8178.
- Preusse P., Eckermann S.D., Ern M., et al. Global ray tracing simulations of the SABER gravity wave climatology // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. P. D08126.