

## СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СУБАВРОРАЛЬНОЙ МЕЗОПАУЗЫ С РАСЧЕТАМИ МОДЕЛИ NRLMSISE-00

А.М. Аммосова, Г.А. Гаврильева, П.П. Аммосов, И.И. Колтовской

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия  
ammosovaam@mail.ru

## COMPARING SUBAURORAL MESOPAUSE TEMPERATURE WITH THE NRLMSISE-00 MODEL CALCULATIONS

A.M. Ammosova, G.A. Gavrilyeva, P.P. Ammosov, I.I. Koltovskoi

Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia

**Аннотация.** Рассмотрено сравнение вращательной температуры OH(6-2), полученной на станции Маймага (63° N, 129.5° E), расположенной на субаврооральных широтах, с расчетами модели NRLMSISE-00 с 1999 по 2015 г. Эмиссия гидроксильной полосы (6-2), возбуждается в области мезопаузы (~87 км) и интенсивность молекулярной эмиссии измеряется инфракрасным цифровым спектрографом. Модель NRLMSISE-00 описывает изменения температуры на высоте области мезопаузы с октября по апрель в пределах флуктуаций экспериментальных значений при сезонной вариации температуры, составляющей ~35 K, отклонения от экспериментальных значений составляют не более 7±4 K. Был проведен корреляционный анализ для сравнения вращательной температуры OH(6-2) и расчетов модели NRLMSISE-00. При количестве наблюдений на станции Маймага больше 180 дней (примерно полгода) коэффициент корреляции  $R > 0.7$ . Это означает, что модель NRLMSISE-00 достаточно точно описывает изменения температуры субаврооральной мезопаузы.

**Ключевые слова:** вращательная температура OH(6-2), область мезопаузы, модель NRLMSISE-00

**Abstract.** The rotational temperature OH(6-2) obtained at Maimaga station (63° N, 129.5° E) located on the subauroral latitude with the calculations of the NRLMSISE-00 model from 1999 to 2015 are compared. The emission of the hydroxyl band (6-2) is excited at the mesopause region (~ 87 km) and the intensity of molecular emission is measured by an infrared digital spectrograph. The NRLMSISE-00 model describes temperature changes at the mesopause region height within the experimental values fluctuations from October to April for a seasonal temperature variation of ~35 K, deviations from the experimental values are no more than 7±4 K. A correlation analysis was performed to compare the rotational temperature OH(6-2) and the NRLMSISE-00 model calculations. When the number of observations at Maimaga station is more than 180 days (approximately half a year) the correlation coefficient  $R > 0.7$ . The NRLMSISE-00 model precisely describes the changes of the subauroral mesopause temperature.

**Key words:** rotational temperature OH(6-2), mesopause region, NRLMSISE-00 model

### Введение

На основе экспериментальных данных полученных как наземными, так и спутниковыми методами построены различные эмпирические атмосферные модели. Эмпирические модели термосферы и мезосферы являются незаменимым инструментом для исследования верхних слоев атмосферы и анализа экспериментально полученных данных. Так как именно в средней атмосфере большую роль играют волновые процессы различного масштаба в формировании циркуляции атмосферы и радиационно-химические реакции, определяющие энергетический обмен. Данная область является связующим звеном между тропосферными процессами и процессами в верхней атмосфере. Однако, сравнение моделей с измерениями, проводимыми на разных широтах, уже после их создания показывает, что есть существенные отклонения в поведении температурного режима области мезопаузы от модельных [Senft, et al., 1994].

### Аппаратура и метод обработки данных

В данной работе приведены результаты анализа данных о температуре мезопаузы полученных инфракрасным спектрографом, изготовленным на

базе решетчатого спектрографа СП-50. Прибор установлен на оптической станции Маймага (63° N, 129.5° E). Наблюдения проводились в ночное время, при угле погружения Солнца  $> 9^\circ$ , в безоблачную погоду. Для анализа выбирались данные, полученные в безлунное время и при отсутствии сияний. Одним и тем же прибором регистрируется один и тот же параметр вращательная температура молекулы гидроксильной. С 1999 и по настоящее время для регистрации спектра на выходе спектрографа используется цифровая ПЗС камера, что позволяет использовать для оценки вращательной температуры полностью весь спектр [Ammosov et al., 2014]. Как показывают оценки, случайные ошибки измерения температуры лежат в пределах 2–5 K в зависимости от уровня отношения сигнал/шум. Съемки спектра ночного неба ведутся только с августа по май.

Для вычисления температуры и химического состава атмосферы широко используется модель MSIS (Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter). На настоящий момент последней версией модели является NRLMSISE-00 [Picone, et al., 2002] на основе модели MSISE90. NRLMSISE-00 использует ракетные, спутниковые измерения и данные радаров некогерентного рассеяния. Модель рассчитывает кон-

центрации He, O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar, H, N, общую массовую плотность, нейтральную температуру на высотах от поверхности Земли до 1000 км. Для сравнения с температурой гидроксила OH(6-2), полученной на станции Маймага (63° N, 129.5° E) с августа 1999 по май 2015 гг. с моделью NRLMSISE-00 (<http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/nrlmsise00.php>) были введены данные по широте: 63° N, по долготе: 130° E, по высоте: 87 км. Так как эмиссии температуры OH(6-2) измеряются в ночное время, то для модели NRLMSISE-00, в качестве входного параметра было использовано всемирное время UT-15 ч, что соответствует полуночи для нашего географического положения.

### Анализ данных и обсуждение

Для проведения корреляционного анализа для данных модели NRLMSISE-00 была сделана выборка тех дат, когда проводились измерения на станции Маймага. За 16 лет измерений на станции Маймага получено 2254 средне ночных значений температуры гидроксила. На рис. 1 представлены среднемесячные значения температуры по расчетам модели NRLMSISE-00 и вращательной температуры OH(6-2), полученной на станции Маймага. Модель NRLMSISE-00 описывает изменения температуры на высоте области мезопаузы с октября по апрель в пределах флуктуаций экспериментальных значений при сезонной вариации температуры, составляющей ~35 К, отклонения от экспериментальных значений составляют не более 7±4 К. Однако, стоит учесть, что количество данных, полученных спектрографом в осенние месяцы меньше, что связано с повышенной облачностью в ночное время.

Для определения зависимости точности описания моделью NRLMSISE-00 вариации температуры области мезопаузы от каждого года был проведен корреляционный анализ, в котором были использованы модельные расчеты только тех дней, когда проводились измерения на станции Маймага. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице в виде коэффициента корреляции  $R$  по годам и указанием количества экспериментальных измерений вращательной температуры

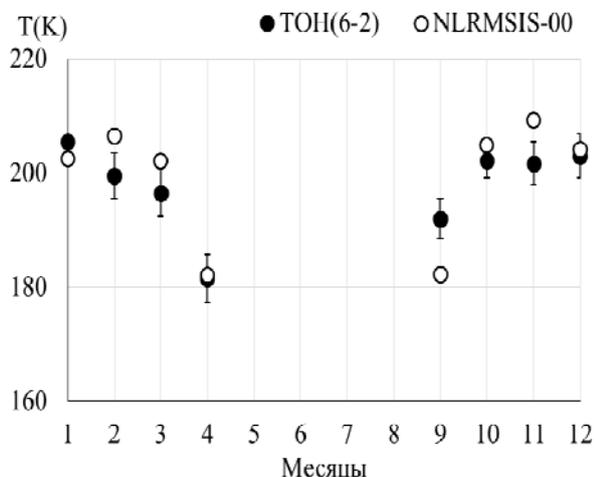


Рис. 1. Среднемесячные значения температуры, усредненные за 16 лет

OH(6-2) за каждый отдельный год. Как видно из таблицы, количество измерений на станции Маймага варьирует в зависимости от года. При количестве наблюдений на станции Маймага больше 180 дней (примерно полгода) коэффициент корреляции  $R$  больше 0.7. Это означает, что модель NRLMSISE-00 достаточно точно описывает изменения температуры субавроральной мезопаузы. На рис. 2 представлены среденочные значения вращательной температуры OH(6-2), измеренные ИЦС в 2012–2013 гг. и температура, рассчитанная по модели NRLMSISE-00. С августа 2012 по май 2013 гг. было получено 183 среденочных измерений вращательной температуры OH(6-2) на станции Маймага.

### Заключение

Модель NRLMSISE-00 описывает изменения температуры на высоте субавроральной мезопаузы с октября по апрель в пределах флуктуаций экспериментальных значений при сезонной вариации температуры, составляющей ~35 К, отклонения от экспериментальных значений составляют не более 7±4 К. Модель NRLMSISE-00 хорошо описывает вариации температуры в области субавроральной мезопаузы: коэффициент корреляции при количестве дней измерений более 180 в год превысил 0.7.

Коэффициенты корреляции  $R$ , рассчитанные по годам

| Годы               | $R$  | Годы               | $R$  |
|--------------------|------|--------------------|------|
| 1999–2000<br>(139) | 0.70 | 2007–2008<br>(173) | 0.64 |
| 2000–2001<br>(109) | 0.65 | 2008–2009<br>(169) | 0.68 |
| 2001–2002<br>(180) | 0.78 | 2009–2010<br>(168) | 0.19 |
| 2002–2003<br>(158) | 0.65 | 2010–2011<br>(122) | 0.55 |
| 2003–2004<br>(133) | 0.38 | 2011–2012<br>(123) | 0.45 |
| 2004–2005<br>(190) | 0.71 | 2012–2013<br>(183) | 0.82 |
| 2005–2006<br>(144) | 0.47 | 2013–2014<br>(100) | 0.71 |
| 2006–2007<br>(167) | 0.62 | 2014–2015<br>(62)  | 0.61 |

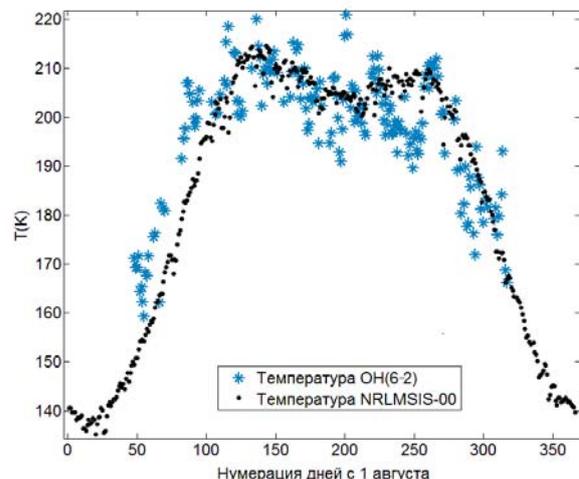


Рис. 2. Значения температуры OH(6-2) и модели NRLMSISE-00 за 2012–2013 гг.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-35-00121 мол\_а, № 16-35-00204 мол\_а, 17-05-00855 А, 15-05-05320 А.

### **Список литературы**

Ammosov P., Gavrilyeva G., Ammosova A., Koltovskoi I. Response of the mesopause temperatures to solar activity over Yakutia in 1999–2013 // *Adv. Space Res.* 2014. V. 54. P. 2518–2524.

Picone J.M., Heding A.E., Drob D.P. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues // *J. Geophys. Res.* 2002. V. 107, N A12. P. 1468–1483.

Senft D.C., Papen G.C., Gardner C.S., et al. Seasonal variations of the thermal structure of the mesopause region at Urbana, IL (40° N, 88° W) and Ft. Collins, CO (41° N, 105° W) // *Geophys. Res. Lett.* 1994. V. 21, N P. 821–824.