

СОПОСТАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СУБАВРОРАЛЬНОЙ МЕЗОПАУЗЫ С ДАННЫМИ РАДИОМЕТРА SABER ВЕРСИИ V2.0

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

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

COMPARING SUBAURORAL MESOPAUSE TEMPERATURE WITH MEASUREMENTS FROM THE RADIOMETER SABER V.2.0

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

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

Аннотация. Представлено сравнение температуры области мезопаузы на основе вращательной температуры OH(6-2), измеренной инфракрасным цифровым спектрографом на станции Маймага (63° N, 129.5° E) на субавроуральных широтах с данными 10-ти канального инфракрасного радиометра SABER версии v.2.0. Были проанализированы данные измерений наблюдений, совпадающие во времени и пространстве с 2002 по 2015 гг.. Временной интервал исследования охватывает минимум и максимум 11-летнего цикла солнечной активности. Данные полученные радиометром SABER версии v.2.0. хорошо согласуется с данными, измеренными на станции Маймага в период максимума солнечной активности.

Ключевые слова: вращательная температура OH(6-2), область мезопаузы, SABER v.2.0.

Abstract. The mesopause region temperature on the basis of OH (6-2) rotational temperature measured with a digital infrared spectrograph installed at Maimaga station (63°N, 129.5°E) on the subauroral latitude with the data measured with 10-channel infrared radiometer SABER v2.0 are compared. The data of the observations measurements coincident in time and space from 2002 to 2015 have been analyzed. Time series includes the years of maximum and minimum 11-year cycle of solar activity. SABER v2.0 data in good agreement with the temperature measured at Maimaga station for maximum solar activity periods.

Key words: rotational temperature OH(6-2), mesopause region, SABER v.2.0

Введение

В настоящее время, сравнение измерений, полученных с помощью наземных приборов и данными со спутников, является весьма актуальным. Оно необходимо для оценки возможных различий в измерениях наземных приборов и данных со спутника в течение длительного временного периода. В последние годы было опубликовано немало работ о сравнении данных, полученных SABER и наземными приборами [Mulligan, Lowe, 2008; Remsberg et al., 2008; French et al., 2010; Smith et al., 2010]. Каждая работа содержит оценку несоответствия при сравнении данных, полученных наземными приборами и радиометром SABER (Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry) установленного на борту TIMED (Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics) спутника NASA. Однако, все эти исследования являются не долгосрочными и используют лишь старую версию SABER v1.07. Сопоставлять температуры, полученные наземными приборами, с данными со спутника весьма сложная задача, необходимо сопоставление в длительном временном ряде, охватывающем важный фактор в изменчивости околоземного пространства, 11-летний солнечный цикл. Данная работа использует измеренные наземные данные о вращательной температуре OH(6-2) и кинетической

температуре мезопаузы на высоте 87 км измеренной радиометром SABER v.2.0. включает в себя длительный период времени с 2002 по 2015 гг.

Аппаратура и метод обработки данных

Инфракрасный цифровой спектрограф (ИЦС) состоит из дифракционного спектрографа СП-50 и цифровой ПЗС-камеры. Использование ПЗС детектора с термоэлектронной системой охлаждения, которая поддерживает температуру до -50°C , позволяет вести измерения на широте Якутска с августа по май, что связано с географическим расположением станции. ИЦС регистрирует Р-ветви полосы OH(6,2) (высота излучения ~ 87 км). В данной работе проводится сравнение вращательной температуры OH(6-2) с кинетической температурой атмосферы на высоте излучения гидроксила, измеренной со спутника. Угол зрения спектрографа $\sim 9^{\circ}$ и направлен на запад под зенитным углом 49° (поле зрения на высоте 87 км имеет размер 32×13.7 км). Аппаратная функция имеет примерно гауссовский вид, и ширина его составляет ~ 0.8 нм. Отношение сигнал/шум ~ 250 . Метод оценки вращательной температуры подробно описан в [Аммосов et al., 2014]. Случайные ошибки измерения температуры лежат в пределах 2–5 К в зависимости от уровня отношения сигнал/шум. Для анализа выбирались данные, полу-

ченные в безлунное время без сияний. Спектры эмиссии молекулярных полос экспонировались с временным разрешением в 10 мин.

SABER (Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry) – 10 канальный инфракрасный радиометр, осуществляющий лимбовые измерения атмосферы в диапазоне высот от тропосферы до 350 км, установлен на спутнике NASA TIMED. Спутник TIMED (Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics) был запущен 7 декабря 2001 г. и имеет круговую орбиту с наклоном к экватору 74°. Вертикальный профиль кинетической температуры рассчитывается с использованием эмиссии 15 μm CO₂ при условии не локального термодинамического равновесия (non-LTE) на этой высотной области. Алгоритм расчета профиля температуры, который учитывает эффект non-LTE, включая все столкновительные и радиативные процессы. В нашей работе используются профили температур SABER версии v2.0 (<http://saber.larc.nasa.gov>). Температура измеряется в высотном диапазоне от 10–120 км с вертикальным разрешением 2 км и горизонтальным — 400 км. В работе были использованы те данные SABER, когда прибор сканировал излучающий слой гидроксила OH(6-2) с радиусом вдоль слоя не более 500 км от точки пересечения линии визирования ИЦС с излучающим слоем OH во время экспонирования спектра. При спокойных условиях измеряемые температуры должны быть близки, однако при сильных волновых возмущениях, измеряемые температуры могут сильно отличаться.

Анализ данных и обсуждение

Два канала радиометра SABER предназначены для сканирования по высоте свечения атмосферы в области 1.6 μm , где излучаются полосы OH(5-3), OH(4-2) и 2.0 μm , где излучаются OH(9-7) и OH(8-6). Используя высотные профили распределения интенсивностей эмиссий по этим каналам в качестве весовых функций для усреднения температур SABER, можно получить температуру эквивалентную измеренной наземным прибором. Орбита спутника такова, что измерения, совпадающие во времени в пространстве с измерением на станции Маймага проводятся только с октября по конец марта с пробелом весь декабрь и в первую половину января. Из-за малого количества совпадений в осенний период для сравнения анализировались только данные, полученные с середины января до конца марта. Обычно за время экспозиции спектра наземным спектрографом радиометр SABER проводил 3–4 сканирования лимба, которые при анализе усреднялись. Временной критерий отбора совпадений в измерениях составляет не более 30 мин, так как вариации температуры OH(6-2) в течение ночи являются существенными. На рис. 1 приведены среднегодовые температуры, полученные радиометром SABER v.2.0 для высоты 87 км и среднегодовые температуры OH(6-2), полученные спектрографом. На рис. 2 приведены разности среднегодовых температур, измеренных на станции Маймага и радиометром SABER v.2.0, также индекс F10.7 солнечной активности. Поток радиоиз-

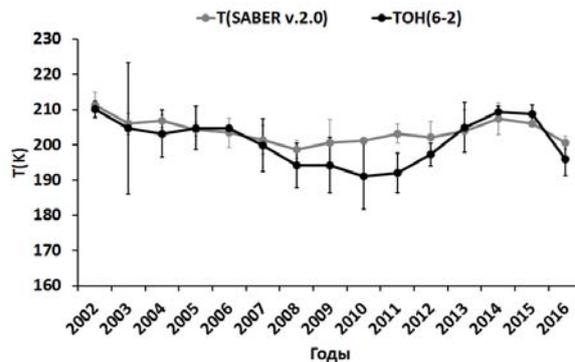


Рис. 1. Среднегодовые температуры, полученные радиометром SABER v.2.0 и инфракрасным цифровым спектрографом

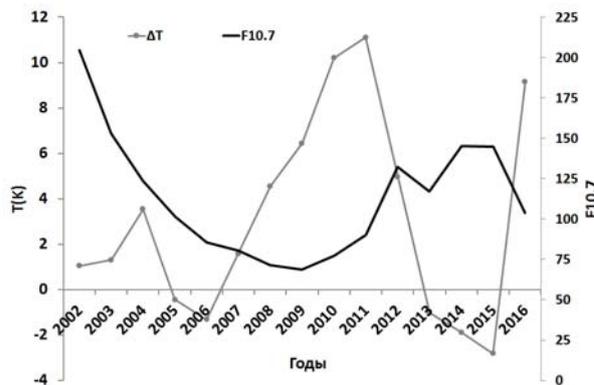


Рис. 2. Разности среднегодовых температур, измеренных на станции Маймага и радиометром SABER v.2.0 и индекс F10.7

лучения F10.7 (в единицах 10⁻²² Вт·м⁻²·Гц⁻¹) на частоте 2800 МГц (длина волны 10.7 см) является индексом, характеризующим условия в солнечной короне и имеющим высокую корреляцию с коротковолновым ультрафиолетовым излучением Солнца.

Можно отметить, что разность среднегодовых температур, измеренных двумя приборами достигает 10 К. Минимальная разность температур достигается при максимальных значениях индекса F10.7, т.е. в годы максимума солнечной активности.

В выводе [French et al., 2010] авторы советуют быть внимательными при использовании данных с радиометра SABER при длительных временных рядах, однако, речь шла о старой версии SABER v1.07. С 2013 для сравнения используется новая версия SABER v2.0, разработчики утверждают, что в новой версии улучшены многие алгоритмы. Алгоритмы старой версии v1.07 имели проблемы, которые привели к отказу от многих событий, в частности, для высокоширотной зимы. Поэтому данные улучшенной версии радиометра SABER v2.0 являются более достоверными.

Заключение

Были проанализированы вращательная температура OH(6-2) и кинетическая температура мезопаузы, измеренная радиометром SABER v.2.0, совпадающие во времени и пространстве с 2002 по 2015 гг.

Временной интервал исследования охватывает минимум и максимум 11-летнего цикла солнечной активности. Среднегодовые температуры, полученные радиометром SABER версии v.2.0. хорошо согласуются с среднегодовыми температурами OH(6-2), измеренными на станции Маймага в период максимума солнечной активности.

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.

French W.J.R., Mulligan F.J. Stability of temperatures from TIMED/SABER v1.07 (2002–2009) and Aura/MLS v2.2 (2004–2009) compared with OH(6-2) temperatures observed at Davis Station, Antarctica // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. V. 10. P. 11439–11446.

Mulligan F.J., Lowe R.P. OH — equivalent temperatures derived from ACE – FTS and SABER temperatures profiles— comparison with OH*(3,1) temperatures from Maynooth (53.2°N, 4.2°W) // *Ann. Geophys.* 2008. V. 26, N 4. P. 795–811.

Remsberg E.E., Marshall B.T., Garcia-Comas M., et al. Assessment of the quality of the Version 1.07 temperature-versus-pressure profiles of the middle atmosphere from TIMED/SABER // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. P. D17101. DOI: 10.1029/2008JD010013.

Smith S.M., Baumgardner J., Mertens C.J., et al. Mesospheric OH temperatures: Simultaneous ground-based and SABER OH measurements over Millstone Hill // *Adv. Space Res.* 2010. V. 45. P. 239–246.