

ИЗМЕРЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ГИДРОКСИЛА НА РАЗНЫХ ШИРОТАХ

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

Институт космофизических исследований и аэронавтики СО РАН, Якутск, Россия
koltigor@mail.ru

MEASURING THE HYDROXYL ROTATIONAL TEMPERATURE AT DIFFERENT LATITUDES

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

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

Аннотация. В данном докладе представлен предварительный анализ вращательных температур полосы OH(3,1) на высоте 87 км измеренный спектрографами ANDOR, установленными на оптических станциях ПГО Тикси и Маймага. Прибор представляет собой — спектрограф SR303i производства ANDOR Technology со светодиодной линейкой iDus InGaAs DU490A-1.7. Она регистрирует свечение ночного неба под зенитным углом 47°. Метод оценки вращательной температуры молекулярных эмиссий основан на подгонке модельных спектров, построенных с учетом аппаратной функции прибора для различных заранее заданных температур, к реально измеренному спектру методом наименьших квадратов. Для анализа использованы данные наблюдений за один наблюдательный сезон.

Ключевые слова: атмосфера, мезосфера, гидроксил, вращательная температура.

Abstract. The report provides a preliminary analysis of the band rotational temperatures OH (3,1) at an altitude of 87 km measured ANDOR spectrographs, mounted on optical stations Tiksi and Maimaga. Infrared spectrograph consists of a monochromator Shamrock SR-303i, equipped with highly sensitive infrared iDus InGaAs photodiode array detector DU490A-1.7 ANDOR. The device registers the night sky glow. The method for estimating the rotational temperature of molecular emissions is based on the least squares fit of model spectra constructed with regard to the instrument function for different previously specified temperatures to an actually measured spectrum. For the analysis of observational data for one season will be used.

Keywords: atmosphere, mesopause, hydroxyl, rotational temperature

Введение

В настоящее время область мезопаузы авроральных широт относится к наименее изученным областям атмосферы. Известно, что на авроральной широте температура мезопаузы может варьировать от 120 К в летние месяцы до 210 К в зимние, и с уменьшением широты амплитуда сезонного изменения температуры мезопаузы должна уменьшаться [Lubken, von Zahn, 1991]. С целью исследования вариаций температуры мезопаузы и волновых процессов с увеличением широты было принято решение создать меридиональную сеть, состоящую из инфракрасных спектрографов, а именно их установкой на трех оптических станциях: Тикси (71.6° N, 128.7° E), Маймага (63° N, 129.5° E, возле Якутска) и Нерюнгри (56.7° N, 124.7° E) (рис. 1). Инфракрасные спектрографы регистрируют полосы гидроксила OH(3,1) в далекой инфракрасной области (около 1.5 мкм), излучающиеся на высоте мезопаузы ~87 км. Вращательная температура полос гидроксила OH(3,1) соответствует температуре области мезопаузы на данной высоте.

Инфракрасный спектрограф на оптической станции Маймага был установлен в 2013 г., а в Тикси — в сентябре 2015 г. Разработанное нами программное обеспечение позволяет приборам работать полностью в автоматическом режиме. Прибор автоматически начинает регистрировать излучение ночного неба, при угле погружения Солнца >9°, а с началом рассвета останавливает свою работу.

Расположение станций
Маймага (63.04° N, 129.51° E) и Тикси (71.58° N, 128.77° E)

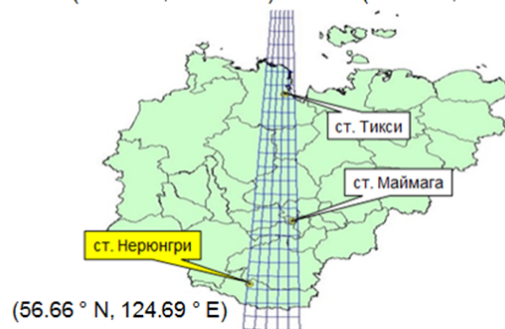


Рис. 1. Расположение станций

Каждое утро через интернет передает в г. Якутск отснятые за ночь данные. Таким образом, на станции Тикси и Маймага установлены идентичные светочувствительные инфракрасные спектрографы, регистрирующие полосу OH(3,1).

В данном докладе представляются научно-техническое обоснование создания меридиональной сети из инфракрасных спектрографов и полученные на данный момент результаты с установленных спектрографов. Сравнение вращательных температур полосы OH(3,1) на высоте около 87 км измеренных двумя спектрографами, установленными на разнесенных по широте оптических станциях: Маймага и Тикси.

Приборы и станции

Постоянная регистрация полос гидроксидов $\text{OH}(3,1)$ в далекой инфракрасной области (около 1.5 мкм) проводится на оптическом полигоне Маймага Института космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН с 2013 г. Оптический полигон Маймага расположен в ~130 км к северу от г. Якутска. Инфракрасный спектрограф состоит из монохроматора Shamrock SR-303i оснащенного высокочувствительным инфракрасным iDus InGaAs фотодиодным детектором DU490A-1.7 производства фирмы ANDOR. Рабочий диапазон длин волн 1490–1544 нм. Охлаждение –60°C. Угол зрения ~3°. Разрешение спектрографа при ширине входной щели 0.2 мм равно 0.8 нм. Спектры молекулы гидроксидов $\text{OH}(3,1)$, излучающиеся на высоте около 87 км, регистрируются в автоматическом режиме при угле погружения Солнца >9° каждую минуту и передаются ежесуточно через интернет на сервер Института. С сентября 2015 г. аналогичный инфракрасный спектрограф был установлен на станции ПГО Тикси [Kolotovskoi et.al, 2016]. Согласно многим последним работам полоса $\text{OH}(3,1)$ достаточно хорошо термализируется и соответствует температуре окружающей нейтральной атмосферы на высоте ее излучения. Выбор полосы излучения гидроксидов в далекой инфракрасной области обусловлен тремя обстоятельствами. Во-первых, наибольшей интенсивностью эмиссий гидроксидов в этой области спектра, во-вторых, меньшим вкладом паразитного света от звезд и Луны, в-третьих отсутствием эмиссий полярных сияний.

Измерение и обработка

Измерения проводились в ночное время в безоблачную и малооблачную погоду. Регистрировались эмиссии гидроксидов $\text{OH}(3,1)$ с экспозицией 60 с. Далее, используя известную методику, находим вращательную температуру эмиссии гидроксидов $\text{OH}(3,1)$. Метод оценки вращательной температуры молекулярных эмиссий основан на подгонке модельных спектров, построенных с учетом аппаратной функции прибора для различных, заранее заданных температур, к реально измеренному спектру методом наименьших квадратов. При оценке вращательной температуры по полосе гидроксидов были использованы вероятности перехода, рассчитанные в работе [Mies, 1974]. Подробное описание данного метода можно найти в работе [Аммосов, Гаврильева, 2000].

Обсуждение и сравнение

На данный момент сделано сравнение температуры атмосферы в области мезопаузы на двух разных широтах, на авроральной (Тикси) и субавроральной (Маймага), по измерениям, проведенным в первый сезон совместных наблюдений.

На рис. 2 приведены среденочные вращательные температуры полосы $\text{OH}(3,1)$, измеренные на разных широтах в течение одного наблюдательного сезона (2015–2016 гг.). По измерениям, прове-

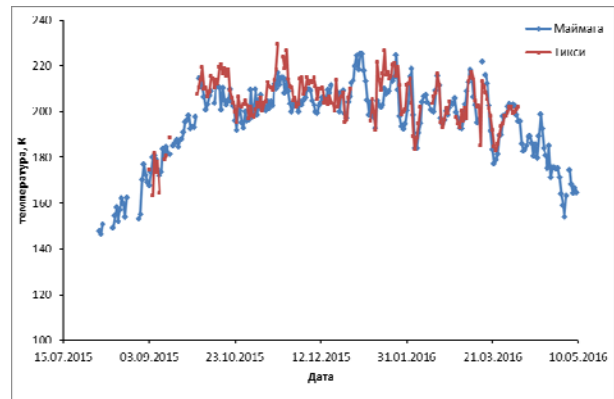


Рис. 2. Ход среденочных вращательных температур области мезопаузы, измеренных одновременно в Тикси (красная кривая) и Маймаге (синяя кривая)

денным на оптическом полигоне Маймага, атмосфера на высоте излучения гидроксидов нагревается с 150 К в середине августа до 210 К в зимние месяцы и охлаждается до 160 К в весенний период. В сентябре измеренные в полигоне Тикси температуры мезопаузы чуть ниже, чем температуры, полученные в Маймаге. В октябре температура мезопаузы в Тикси, становится выше, чем в Маймаге. В середине сезона наблюдений идет тенденция к выравниванию температур, измеренных на обеих станциях. Нужно особо отметить тот факт, что, несмотря на небольшие различия, отмеченные выше, вариации температуры мезопаузы на субавроральной и авроральной станциях практически идентичны. Коэффициент корреляции между рядами среднесуточных температур достигает до 0.83. Колебания температуры с периодами несколько суток, наблюдаемые одновременно на двух станциях с середины января по конец марта, можно отнести к планетарным волнам. Они не имеют фазового сдвига.

Заключение

Таким образом, инфракрасные спектрографы, регистрирующие полосу $\text{OH}(3,1)$ в далекой инфракрасной области установлены в ПГО Тикси и Маймаге. Получены предварительные результаты измерений вращательной температуры гидроксидов на высоте мезопаузы за один сезон. Несмотря на широтную разность, наблюдается очень хорошая корреляция между вращательными температурами гидроксидов. Предполагалось, что в области полярной шапки температура вращательной температуры гидроксидов зимой должна быть выше, а в летние месяцы ниже. По нашим данным такая закономерность описывается за исключением второй половины декабря. Причиной такого понижения температуры мезопаузы может быть отсутствие разного рода активностей.

Следующим этапом в развитии меридиональной сети планируется установка идентичного инфракрасного спектрографа в г. Нерюнгри. В настоящее время заканчивается изготовление и испытания спектрографа на полигоне Маймага. При измерении вращательных температур гидроксидов с разных географических пунктов появляется возмож-

ность исследовать сложные пространственно-временные вариации в зависимости от их типа. Например, разделение на мигрирующие или немигрирующие приливы, направление распространения планетарных и внутренних гравитационных волн и т. д. Создание меридиональной сети инфракрасных спектрографов, измеряющей температуру мезопаузы от средних (Нерюнгри) до высоких широт (Тикси) позволит исследовать термические и динамические особенности мезопаузы Восточной Сибири. В дальнейшем, полученные результаты помогут оценить не только волновую динамику, но и глобальные климатические изменения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-35-00204 мол_а, 16-35-00121 мол_а, 15-05-05320 А, 15-45-05066-р_восток_а, 17-05-00855 А.

Список литературы

Аммосов П.П., Гаврильева Г.А. Инфракрасный цифровой спектрограф для измерения вращательной температуры гидроксила // Приборы и техника эксперимента. 2000. № 6. С. 73–78.

Koltovskoi I.I., Ammosov P.P., Gavrilyeva G.A., Ammosova A.M. Preliminary results of a comparison of the rotational temperature of the hydroxyl at the height mesopause measured at two different latitudes // Proc. SPIE. 2016. 10035. 100356W. DOI: 10.1117/12.2249257.

Lubken F.-J., U. von Zahn Thermal structure of the mesopause region at polar latitudes // J. Geophys. Res. 1991. V. 96, no. D11. P. 20841–20857.

Mies F.H. Calculated vibrational transition probabilities of OH(X²Π) // J. Molecular Spectrosc. 1974. V. 53, N 2. P. 150–188.