

Вертикальные температурные вариации в зимней атмосфере над Якутском по данным оптических измерений

Николашкин С.В.^{1,2}, Аммосов П.П.¹, Игнатъев В.М.¹, Титов С.В.¹,
Колтовской И.И.¹, Решетников А.А.¹

¹ Институт космических исследований и аэронавтики им.Ю.Г. Шафера СО РАН,
Россия

² Томский государственный университет, Россия

nikolashkin@ikfia.ysn.ru

Представлены результаты одновременных измерений температуры атмосферы от 0 до 100 км лидарным, спектрометрическим и интерферометрическими методами в зимнее время 2008 г. в Якутске. Показано, что структура вертикального профиля температуры во время стратосферного потепления испытывает противофазные вариации и определяется распространением вверх планетарных волн.

Знание температурной стратификации атмосферы является одним из ключевых инструментов в исследовании физических механизмов эволюции вертикально распространяющихся планетарных волн. Особую ценность имеют экспериментальные измерения температуры с максимально возможным широким высотным охватом. Для каждого слоя атмосферы существуют различные общепринятые методы исследований, такие как радиозондовые, ракетные и оптические. Нами представлены результаты одновременных измерений температуры атмосферы над Якутском оптическими и радиозондовыми методами в зимнее время 2008 г. в интервале высот 0-100 км.

Температурные измерения для приземного слоя от 0 до 20–25 км были получены по данным радиозондирования на аэрологической станции г. Якутска. Запуски радиозондов осуществляются дважды в сутки в сроки 0 и 12 часов UT. Данные были получены на сайте Университета штата Вайоминг (США) (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

Измерения температуры средней атмосферы от 25 до 55–60 км производились при помощи рэлеевского лидара, установленного около Якутска [1]. К моменту проведения эксперимента параметры лидара были следующие: передатчик Nd-YAG лазер, работающий на длине волны 532 нм и энергией импульса 200 мДж; приемник – телескоп с диаметром главного зеркала 60 см и фокусным расстоянием 200 см с системой счета фотонов и спектроанализатором. Зондирование проводилось в ясные ночи с интервалом два часа в течении 20 минут. За ночь проводилось 6–7 сеансов. При этом значения температуры восстанавливали по молекулярному рассеянию излучения лазера для интервала высот с 25 до 50–60 км с ошибкой от 2 К на нижней точке до 10 К на верхней.

Температура верхней атмосферы измерялась на трех высотных уровнях: по излучению гидроксильного слоя на уровне мезопаузы, по излучению молекулярного кислорода при помощи инфракрасного спектрографа [2] и по излучению атомарного кислорода на линии 557,7 нм по данным спектрометра Фабри-Перо [3]. Излучение молекулы гидроксила возникает в верхней атмосфере в результате фотохимических реакций на высоте 87 км в большей части в инфракрасной области спектра. Нами были проведены измерения вращательной температуры гидроксила по молекулярной полосе 6,2 (~700 нм) при помощи спектрографа на базе СП-50 с цифровой ПЗС камерой SBIG ST-6 на оптическом полигоне “Маймага” в 120 км северу от Якутска. Наблюдения проводились в темное время суток с экспозицией 10 мин, независимо от состояния неба – наличие облачности на результат измерения температуры не влияет. Вращательная температура определялась по

соотношению интенсивностей Р-ветвей полосы 6,2 [4]. Точность определения температуры по данному методу составляет 2–3 К. Также, заодно и измерялась температура по первой Атмосферной полосе (0-0) излучения молекулярного кислорода в верхней атмосфере, максимум излучения которого находится на высоте 94 км. Измерения температуры по доплеровскому уширению линии излучения атомарного кислорода на длине волны 557,7 нм (высота максимума слоя ~ 97 км) осуществлялось при помощи сканирующего спектрометра Фабри-Перо на полигоне “Маймага”. Апертура интерферометра составляла 15 см, толщина разделителя 1,5 см, коэффициент отражения пластин 0,85, тонкость 12. В излучении свечения ночного неба одно измерение температуры получается за 16 мин, с точностью 5-10 К, таким образом за ночь получается 40–50 измерений температуры.

Таким образом, в данной работе нам удалось охватить температурными измерениями бóльшую часть атмосферы за исключением слоя мезосферы от 60 до 87 км (Рис.1). Причем, надо оговориться, что максимальное пространственное разнесение пунктов измерения составляет 150 км по прямой, что вполне допустимо при исследовании осредненных за ночь вариаций температуры.

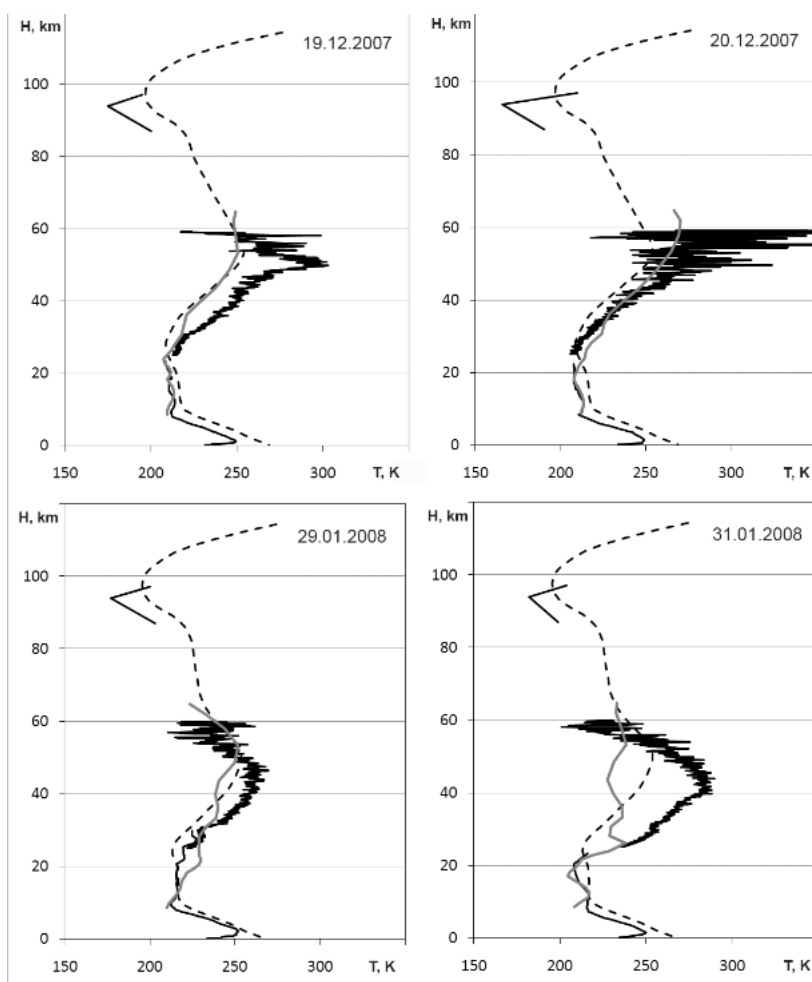


Рис. 1. Вертикальные профили температуры, экспериментально измеренные в Якутске (сплошная черная линия), модель CIRA (пунктир) и данные спутника AURA (MLS) (серая линия)

На рис.1 для сравнения также показаны температурные профили по модели CIRA и по измерениям при помощи прибора MLS (MicroLimb Sounder), установленного на спутнике AURA. Как видно отсюда, в декабре 2007г. стратопауза находилась на высоте около 50 км и измеренные различными методами профили показывают сходное поведение, за

исключением некоторого повышения температуры в стратосфере по лидарным измерениям 19 декабря. Средненочные температуры верхней атмосферы в эти дни составляли: 200 К по излучению гидроксила ($H\sim 87$ км), 175 К по O_2 ($H\sim 94$ км), 196 К по зеленой линии излучения кислорода ($H\sim 97$ км). Измерения в конце января проводились во время стратосферного потепления, что хорошо видно по лидарным профилям. В эти дни стратосфера опустилась до 42–45 км. Температуры же верхней атмосферы сильных изменений не показывают, хотя на уровне излучения гидроксила отмечается некоторая тенденция повышения температуры и понижения в области нижней термосферы. Это говорит о том, что планетарное возмущение еще не дошло в эти дни до уровней верхней атмосферы – для этого потребуется время около 5–7 дней [5]. Предполагается, что такое волнообразное изменение вертикального температурного профиля является результатом особенностей вертикального распространения планетарной волны во время стратосферного потепления.

Данная работа поддержана Интеграционным проектом СО РАН №106 и грантами РФФИ № 12-05-98547-а, № 12-05-31144.

Литература

1. Тимофеева Г.А., Титов С.В., Николашкин С.В. Лидарные и фотометрические исследования атмосферного аэрозоля в Якутии // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2006. – №3. – С. 260–261.
2. Аммосов П.П., Гаврильева Г.А. Инфракрасный цифровой спектрограф для измерения вращательной температуры гидроксила // Приборы и техника эксперимента. – 2000. – № 6 . – С.73–78.
3. Игнатьев В.М., Николашкин С.В., Авксентьев А.Г., Аммосов П.П. Светосильный спектрометр Фабри-Перо // Приборы и техника эксперимента, 2000, № 6 . – С.73–78.
4. Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики. –М.: ГЕОС, 2006. 741 с.
5. Югов В.А., Николашкин С.В., Игнатьев В.М. Связь температуры субавроральной мезопаузы и нижней термосферы с температурой полярной стратосферы во время зимних сильных потеплений // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1998. – Т.38, №1. – С.115–121.

Vertical temperature variations in winter atmosphere above Yakutsk by optical measurement data

Nikolashkin S.V., Ammosov P.P., Ignatiev V.M., Titov S.V., Koltovskoy I.I., Reshetnikov F.F.

Institute of cosmophysical research and aeronomy SB RAS, Russia

The results of simultaneous measurements of atmospheric temperature from 0 to 100 km by lidar, spectrometric and interferometric methods in winter 2008 in Yakutsk are presented. It is shown, that vertical temperature profile structure during stratospheric warming undergoes antiphase variations and determined by upward propagation of planetary waves.