

Поведение вертикального распределения температуры и плотности воздуха в средней атмосфере над Томском во время стратосферных потеплений и спокойные периоды

МАРИЧЕВ В.Н.^{1,2}, БОЧКОВСКИЙ Д.А.¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

marichev@iao.ru, moto@iao.ru

Хорошо известно, что в условиях чистой, свободной от аэрозоля молекулярной атмосферы, лидарные измерения могут быть использованы для нахождения плотности атмосферы. Данное обстоятельство обусловлено пропорциональной связью лидарных сигналов через коэффициент обратного молекулярного рассеяния с плотностью воздуха. На практике такие лидарные наблюдения за плотностью воздуха применимы в средней атмосфере. Несмотря на простоту определения указанного параметра лидарным методом, подобные измерения не ведутся. По крайней мере о выполнении последних в стратосфере и нижней мезосфере авторам неизвестно. Вместе с тем измерения других параметров и физических величин, таких, как температура, аэрозоль и озон широко проводятся за рубежом, например, на сети лидарных обсерваторий NDAAC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change, <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/>) и в России на лидарных станциях институтов РАН [1-3]. В статье рассматривается поведение плотности атмосферы в стратосфере во время ее возмущенного состояния, вызванного внезапными стратосферными потеплениями (СП), и сравнение с поведением в спокойные летние периоды. Одновременно рассматривались изменения вертикального распределения температуры.

Стратосферное потепление 2009/10гг.

СП 2009/10гг относилось к мажорному типу, при котором произошла перестройка циркуляции воздушных масс с западного направления на восточное. Это было самое продолжительное СП за весь опыт лидарных наблюдений с 1996г, которое началось с 15 января и завершилось в конце февраля [1]. Также это было самое мощное потепление, при котором температура в отдельные ночи в стратопause доходила до $+30^{\circ}\text{C}$, а уровень стратопause опускался до 37-38км (см.рис.1).

Почти до конца января характерным для профиля температуры была структура с положительной полуволевой в стратосфере и отрицательной в мезосфере. С конца января и весь февраль очаг потепления постепенно убывал и был локализован только в нижней части профиля ниже 40км. Стратопause опускалась до рекордно низких высот 23-25км. В верхней части профиля распределение температуры было близко к модельному и измеренному со спутника.

Результаты анализа вертикального распределения плотности и температуры воздуха в стратосфере приведены на рис. 2. Здесь для отдельных ночей наблюдений показаны отклонения этих метеовеличин от среднемесячных значений, взятых из модели CIRA-86.

Как видно из рисунков 1 и 2, отклонения идут в противофазе, и их максимальные значения приходятся на период наиболее интенсивного развития СП 22-26 января. Пик наблюдается на высоте 36-37км. и достигает 30%. В конце месяца амплитуда отклонений спадает до 15-10%, как и их высотный диапазон, в котором они наблюдаются, с 45-50км ÷ 22км (23.01) до 35 ÷ 22км (31.01). Противоположные отклонения происходят на больших высотах. Они могут достигать до 20% (29.01) и распространяться на область высот 40 ÷ 50км.

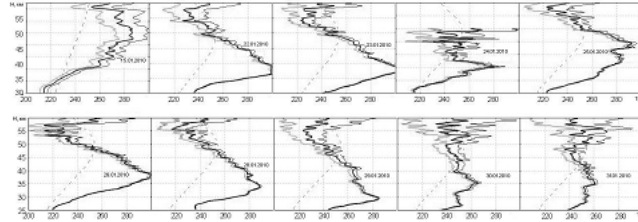


Рис. 1. Лидарные наблюдения аномального распределения температуры в стратосфере в период СП января 2010г. Лидарные профили приведены со стандартным отклонением. Пунктирная кривая – модель CIRA-86

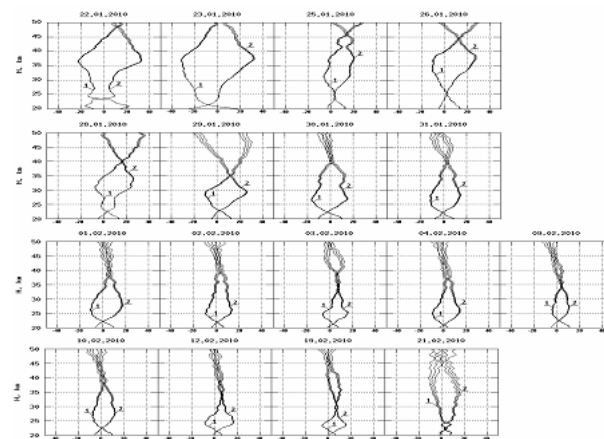


Рис. 2. Отклонения профилей плотности $(\rho - \rho_{cira} / \rho_{cira}) * 100\%$ (кривая1) и температуры $(T - T_{cira} / T_{cira}) * 100\%$ (кривая2) в процентах от среднемесячных значений. Для ρ и T на графиках приведены также коридоры стандартного отклонения

До высоты 28 км., на которой для обеих метеовеличин выделялся некий экстремум., коридор отклонений не превышал 5%, при этом отрицательный тренд отмечался для плотности, положительный – для температуры. Выше для плотности отклонения с высотой росли. В отрицательную сторону они сохранялись на уровне 5%, а в положительную увеличивались до 12%. Наоборот, для температуры с высотой отклонения преобладали в отрицательную сторону и уменьшались до уровня 3% в интервале высот 40-50км.

Ситуация для спокойного периода летних месяцев июнь-июль показана на рис.3.

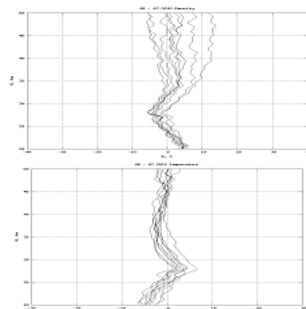


Рис. 3. Отклонения профилей плотности воздуха (а) и температуры (б) от среднемесячного значения, полученные за июнь-июль 2010 г.

Стратосферное потепление 2010/11гг.

Потепление 2010/11гг. относилось к слабому, минорному типу без перестройки циркуляции стратосферы. Наиболее динамические события происходили в январе 2011г. (см. рис.4). Так, резкое изменение происходит 14 января, когда, согласно лидарным и спутниковым данным высота стратоспаузы опускается до 32-35км., а отклонение достигает значений 42-45К. 15 января по лидарным измерениям высота стратоспаузы “размывается” (она простирается от 30 до 37км), а по спутниковым наблюдениям опускается на 31км. В последующие месяцы февраль - апрель происходила стабилизация в вертикальном распределении температуры с переходом в фоновое состояние.

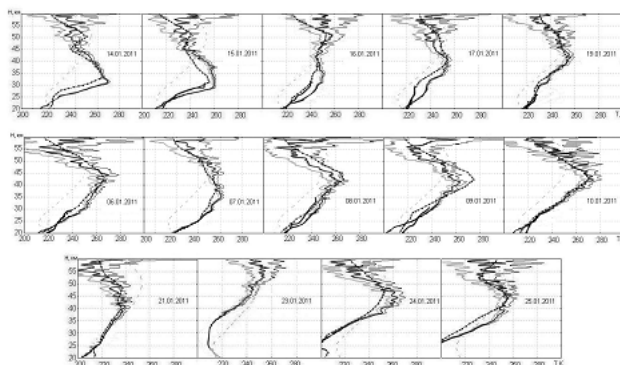


Рис. 4. Лидарные наблюдения аномального распределения температуры в стратосфере в период СП января 2011г. Кривая с точками и сплошная кривая внизу графиков – измерения со спутника “Аура” и метеозондов аэрологической станции Новосибирска

Особенности отличия вертикального распределения плотности и температуры от стандартного показаны на рис. 5. Из рисунков 4 и 5 хорошо заметно, что наиболее выраженное отличие вертикального распределения плотности и температуры от стандартного характерно как раз для периода кратковременного СП 14-16 января. На графиках отмечается четко выраженный максимум с обратными знаками до 20% на высоте около 30км. Затем следует распад СП, при котором профили температуры приближаются к среднемесячному распределению, а отклонения плотности атмосферы исчезают на высоте бывшего

максимума 30км (17 и 19 января). 21 и 23 января происходит их рост с высотой до более чем 20% на Н=50км.

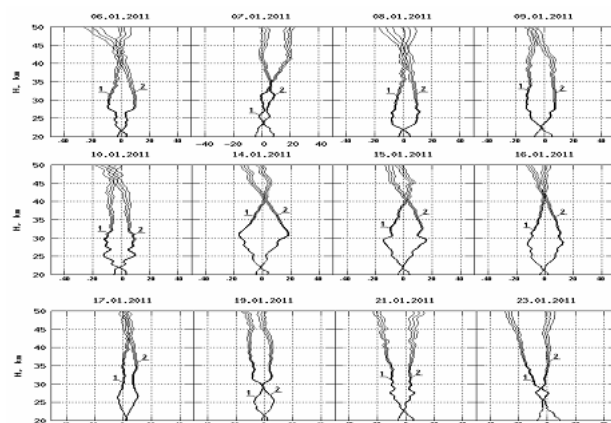


Рис. 5. Отклонения профилей плотности и температуры от среднемесячных значений во время СП января 2011 г.

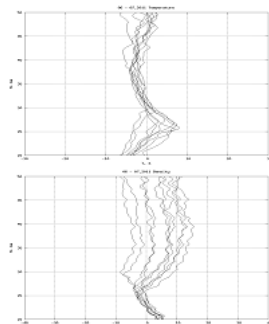


Рис. 6. Отклонения профилей плотности воздуха (а) и температуры (б) от среднемесячного значения, полученные за июнь-июль 2011 г.

Картина поведения плотности и температуры для лета 2011г. демонстрируется рис.6.

Для плотности наименьшие отличия наблюдаются в нижнем слое 20-25км, которые не выходят за пределы 5%. В слое 25-30км они возрастают. И в интервале высот 30-50км имеют отклонения со знаком минус менее 10% и со знаком плюс до 12%. У температуры, наоборот, наибольшие отличия попадают в интервал высот 20-30км и находятся в основном коридоре $\pm 5\%$. Далее с высотой их разброс значительно сокращается.

Заключение.

По результатам анализа лидарных наблюдений вертикального распределения плотности воздуха и температуры в стратосфере над Томском за периоды внезапных стратосферных

потеплений зим 2009/10 и 10/11гг и спокойные летние периоды 2010-11гг выявлены следующие их особенности.

В периоды СП:

1. Вертикальные профили отклонения плотности и температуры от их среднемесячного значения происходят в противофазе и имеют выраженную зеркальную симметрию относительно нулевого значения.

2. Максимальная амплитуда их колебаний может достигать 30% со знаком плюс для температуры и минус для плотности (мажорное потепление января 2010г на высоте 37км) и меньших значений $\pm 20 \div 30\%$ (минорные потепления января 2011г.на высоте).

В спокойные от возмущений летние периоды:

1. Более стабильное вертикальное распределение плотности отмечается в нижнем слое $20 \pm 27 \div 30$ км, коридор отклонения в котором не превышает $\pm 5\%$. Такие же отклонения в этом слое происходят для температуры.

2. В интервале высот 30-50 км отклонения плотности увеличиваются. Они находятся в пределах $\pm 10\%$ для лет 2010-11 гг. Наоборот, вертикальное распределение температуры более стабильное.

Основной коридор отклонений составляет $\pm 3\%$.

Литература

1. *Маричев В.Н.* Лидарные исследования проявления стратосферных потеплений над Томском в 2008-2010 гг. // Оптика атмосферы и океана. -2011. -Т. 24. -№ 5. -С.386-391.
2. *Маричев В.Н., Самохвалов И.В.* Лидарные наблюдения аэрозольных вулканических слоев в стратосфере Западной Сибири в 2008-2010 гг. // Оптика атмосферы и океана.- 2011.-Т. 24. -№ 03. -С.224-231.
3. *Бычков В.В., Шевцов Б.М., Маричев В.Н.* Некоторые среднестатистические характеристики появления аэрозольного рассеяния в средней атмосфере Камчатки. // Оптика атмосф. и океана. 2012.- Т. 25.-№8. -С.868-870.

Behavior of air temperature and density vertical distribution in the middle atmosphere above Tomsk during stratospheric warming and quiet periods.

Marichev V.N., Bochkovsky D.A.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Russia

The paper analyzes the influence of winter stratospheric warming (SW) on the characteristics of air temperature and density vertical distribution in the middle atmosphere above Tomsk. Sudden SW in winters of 2009/10, 10/11 and 11/12 and summers of 2010 -12 with a stable vertical temperature distribution were considered. It is shown, that for disturbed conditions, caused by winter warming, air temperature and density deviation from the mean values are in opposition. Their maximum amplitude is observed at the height from 35 to 40 km and can reach +30% for temperature and -30% for density. Under quiet conditions in summer months the temperature deviation is within $- 6\% \div +8\%$, and air density $- 8\% \div +15\%$.