

УДК 551.524.7

**ЛИДАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В СТРАТОСФЕРЕ НАД ТОМСКОМ В  
2016 ГОДУ**

**В. Н. Маричев, Д. А. Бочковский**

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634055,  
г. Томск, площадь Академика Зуева, 1  
E-mail: marichev@iao.ru, moto@iao.ru

Одним из важных применений лидарных технологий является исследование термического режима атмосферы. Такие исследования в мониторинговом режиме в институте оптики атмосферы СО РАН были начаты с 1994 года и продолжаются в настоящее время. Особое внимание уделяется изучению проявления внезапных возмущений в средней стратосфере, вызываемых зимними стратосферными потеплениями (СП). С полученными по данной тематике результатами можно ознакомиться в работах [1]-[7]. В настоящей статье представлены исследования вертикального распределения температуры над Томском в возмущенный и спокойный периоды 2016 г.

*Ключевые слова: стратосфера, вертикальное распределение температуры, стратосферное потепление, лидар*

© Маричев В. Н., Бочковский Д. А., 2017

MSC 78A10

**LIDAR STUDIES OF THE DYNAMICS OF THE VERTICAL TEMPERATURE  
DISTRIBUTION IN THE STRATOSPHERE OVER TOMSK IN 2016 YEAR**

**V. N. Marichev, D. A. Bochkovsky**

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (IAO SB RAS), 634055, Tomsk, 1,  
Academician Zuev square, Russia  
E-mail: marichev@iao.ru, moto@iao.ru

One of the important applications of lidar technologies is the study of the thermal regime of the atmosphere. Such studies in the monitoring mode at the Institute of Atmospheric Optics of the SB RAS have been launched since 1994 and are continuing at the present time. Particular attention is paid to the study of the manifestation of sudden disturbances in the middle stratosphere caused by winter stratospheric warming (SW). The results obtained on this topic can be found in [1]-[7]. In this paper, studies of the vertical temperature distribution over Tomsk in the disturbed and calm periods of 2016 are presented.

*Key words: stratosphere, vertical temperature distribution, stratospheric warming, lidar.*

© Marichev V. N., Bochkovsky D. A., 2017

## Результаты исследований

Данные по вертикальному распределению температуры за 2016 г были получены на основе зондирования атмосферы лидарными методами молекулярного упругого и спонтанного комбинационного рассеяния света (иначе рэлеевского и рамановского рассеяния света). Зондирование проводилось лазерным излучением на длине волны 532 нм, а прием сигналов на длинах волн 532 и 607 (упругое и комбинационное рассеяние) нм. Профили температуры в интервале высот 10-25 км рассчитывались по рамановским сигналам, а в интервале высот 25 - 60(70) км - по рэлеевским сигналам. Результаты наблюдений за январь 2016 г приведены на рис. 1.

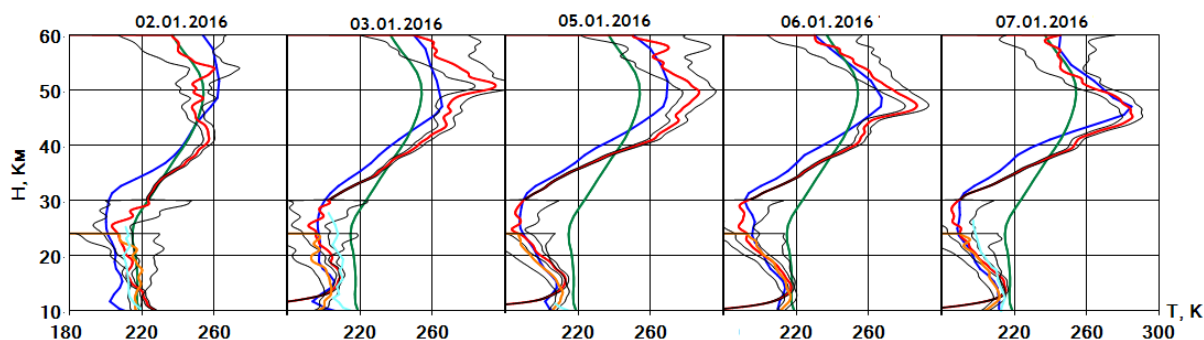


Рис. 1. Лидарные и спутниковые наблюдения проявления стратосферного потепления в январе 2016г. Лидарные измерения (кривые: красный и желтый цвет - профили температуры, рассчитанные по рэлеевским и рамановским сигналам; черный цвет – стандартное отклонение), измерения со спутника «Аура» и метеозондами (синяя и желтая кривые) и среднемесячный профиль по модели CIRA-86 (зеленая кривая)

Здесь, как и на последующих рисунках, показаны вертикальные профили температуры (ВРТ), полученные из лидарных измерений, в сравнении с профилями температуры, измеренными со спутника Аура [5] и со станции аэрологического зондирования г. Новосибирска [4], а также взятых из модели CIRA-86 [6]. Из рис. 1 видно, что стратосферное потепление началось в первых числах января и в последующих датах наблюдений проявлялось в его классическом виде - полуволнам с положительным отклонением от среднемесячного значения температуры в верхней половине стратосферы и отрицательным в ее нижней половине. Профили температуры, полученные из лидарных и спутниковых измерений, находятся в хорошем согласии. Максимальное развитие СП приходится на 11 и 12 января, при котором положительное отклонение составляет около 40 К на высоте 43-47 км. В период с 19 по 26 января СП разрушается и в виде слабого всплеска вновь проявляется в конце месяца. Примечательно, что на протяжении всей третьей декады в нижней стратосфере наблюдается устойчивое похолодание с понижением температуры на 20-30 К.

Проявившее в конце января потепление продолжается 1 февраля. Оно было замечено как из лидарных, так и со спутниковых наблюдений в верхней стратосфере (см. рис.2).

Далее в последующий период февральских наблюдений термический режим стратосферы пришел в стабильное состояние, о чем свидетельствует хорошее совпадение лидарных и спутниковых профилей температуры с модельным.

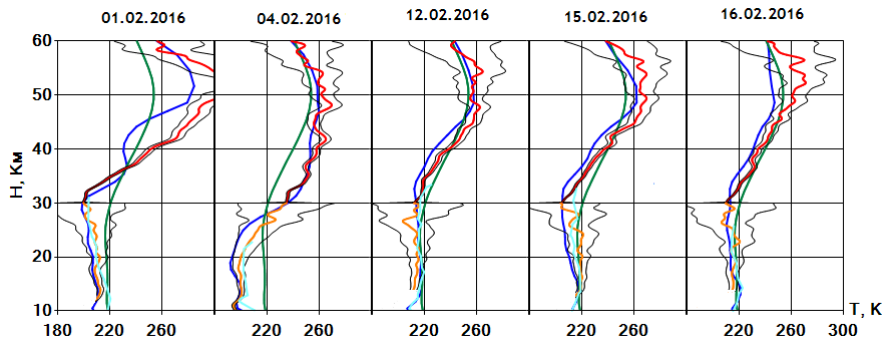


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры в отдельные ночи февраля 2016 г.

Наблюдаемое в январе - феврале 2016 г. СП относилось к минорному типу, когда в стратосфере не происходило изменения направления переноса воздушных масс от западного к восточному, на что указывает данные, взятые с сайта Европейского Центра среднесрочных прогнозов погоды [11] для всех дат лидарных наблюдений.

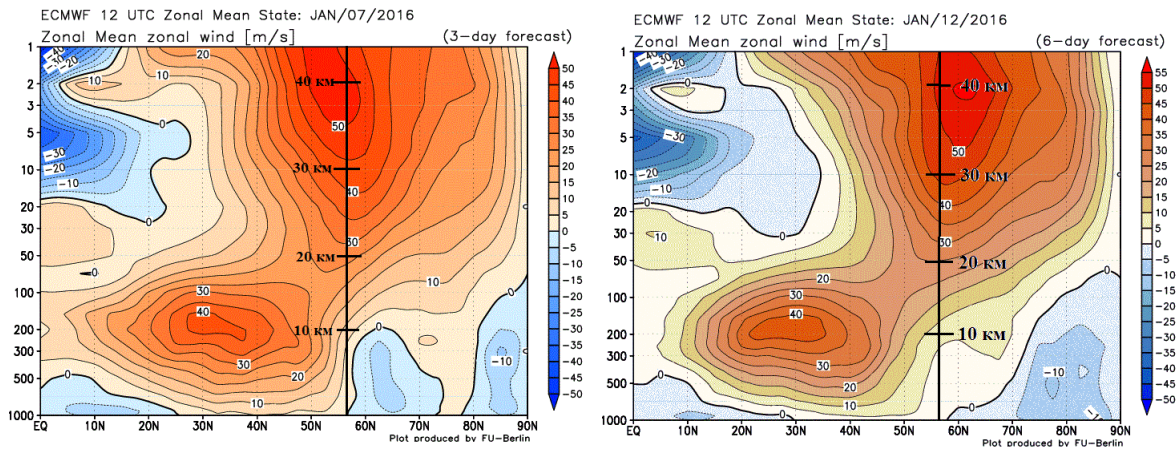


Рис. 3. Высотное распределение направления и скорости зонального ветра Северного полушария, зарегистрированного 7 (слева) и 12 (справа) января 2016г. Вертикальная жирная прямая – высотный разрез для широты Томска

Для примера, на рис. 3 приведено высотное распределение направления и скорости зонального ветра. Как видно из рисунка, направление скорости ветра в периоды максимальных СП над Томском во всем интервале высот от 0 до 50 км неизменно остается западным.

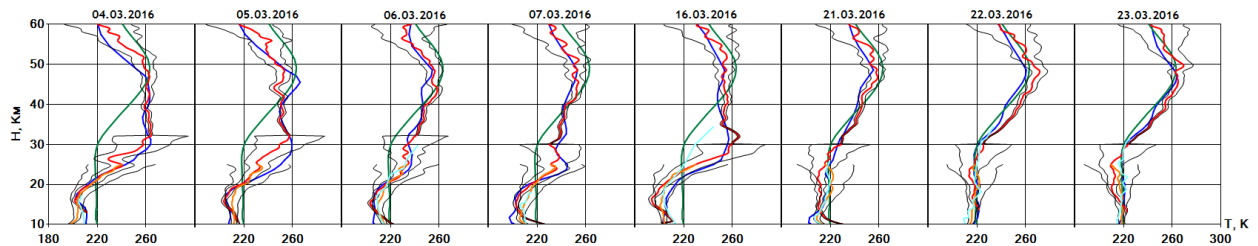


Рис. 4. Вертикальное распределение температуры в марте 2016 г

На следующем рис.4. показана динамика вертикального распределения температуры за март 2016 г. По согласующимся лидарным и спутниковым измерениям

четко прослеживается образование очага потепления в средней стратосфере, который просуществовал в течение первой половины месяца. В последней декаде месяца происходит стабилизация ВРТ.

Профили температуры для, спокойного периода 2016 г. (месяцы апрель - сентябрь) показаны на рис.5.

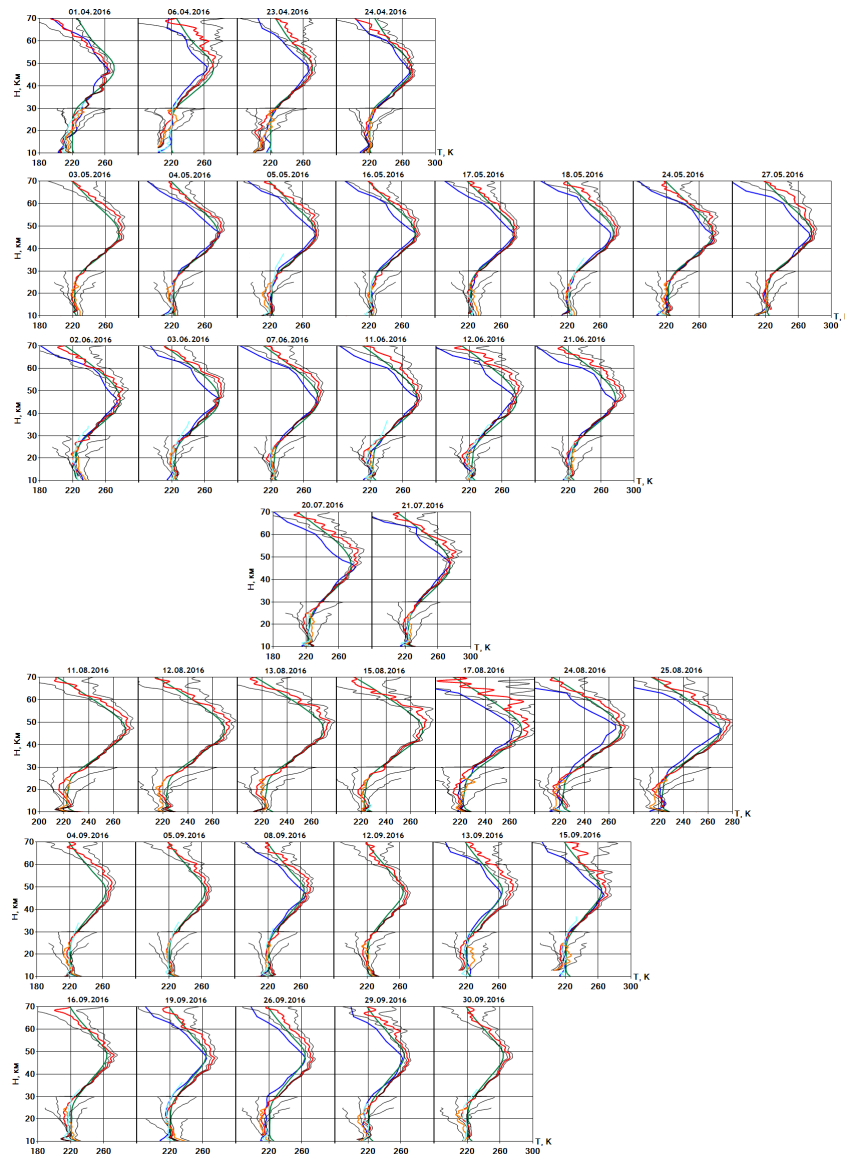


Рис. 5. Вертикальное распределение температуры в отдельные ночи месяцев апрель-сентябрь 2016 г.

Согласно представленным на рис. 5 температурным профилям, в стратосфере длительный период времени устанавливается стабильный термический режим, когда вертикальное распределение температуры хорошо согласуется со среднемесячным модельным распределением.

Заметная динамика вертикального распределения температуры начинает проявляться в декабре (рис. 6).

Так, 13 декабря примерно на высоте 50 км возникает положительное отклонение температуры от среднемесячного значения примерно на 30 К.

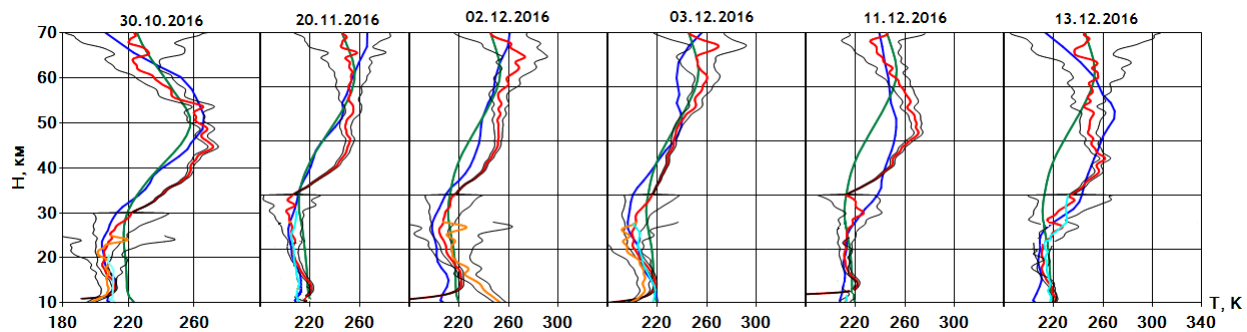


Рис. 6. Вертикальное распределение температуры в отдельные ночи месяцев октябрь - декабрь 2016 г

Далее, 18 декабря очаг "теплого" воздуха охватывает интервал высот от 37 до 60 км со средним значением температуры около 260 К. Максимальное потепление отмечается 29 декабря, когда уже в указанном интервале высот температура превышает 260 К и достигает 270 К на высотах 40-50 км. Данная ситуация связана с началом очередного зимнего стратосферного потепления.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-05-00901 и гранта Президента РФ НШ 4714.2014.5.

## Список литературы

- [1] Маричев В. Н., "Лидарные исследования проявления стратосферных потеплений над Томском в 2008-2010 гг.", *Оптика атмосферы и океана*, **24**:5 (2011), 386-391. [Marichev V. N., "Lidarnye issledovaniya proyavleniya stratosfernnykh potepleniya nad Tomskom v 2008-2010 gg.", *Optika atmosfery i okeana*, **24**:5 (2011), 386-391].
- [2] Маричев В. Н., "Исследование особенностей проявления зимних стратосферных потеплений над Томском по данным лидарных измерений температуры в 2010-2011 гг.", *Оптика атмосферы и океана*, **24**:12 (2011), 1041-1046. [Marichev V. N., "Issledovanie osobennostey proyavleniya zimnikh stratosfernnykh potepleniya nad Tomskom po dannym lidarnykh izmereniy temperatury v 2010-2011 gg.", *Optika atmosfery i okeana*, **24**:12 (2011), 1041-1046].
- [3] Маричев В. Н., "Лидарные исследования годовой изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем над Томском в период 2011-13 гг.", *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы*, Сборник докладов, 20-ый международный симпозиум (г. Новосибирск, курорт-отель «Сосновка»), Новосибирск, 2014, D62-D66. [Marichev V. N., "Lidarnye issledovaniya godovoy izmenchivosti napolneniya stratosfery fonovym aerozolem nad Tomskom v period 2011-13 gg.", *Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery*, Sbornik dokladov, 20-yy mezhdunarodnyy simpozium (g. Novosibirsk, kurort-otel' «Sosnovka»), Novosibirsk, 2014, D62-D66].
- [4] Маричев В. Н., Бочковский Д. А., "Исследование изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в 2014 г.", *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы*, 21-ый международный симпозиум (Сборник докладов), Томск, 2015, D41-D45. [Marichev V. N., Bochkovskiy D. A., "Issledovanie izmenchivosti napolneniya stratosfery fonovym aerozolem v 2014 g.", *Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery*, 21-yy mezhdunarodnyy simpozium (Sbornik dokladov), Tomsk, 2015, D41-D45].
- [5] Marichev V. N., Bochkovskii D. A., "Lidar studies of specific manifestation features of stratospheric warming in winter of 2014-2015", *Proceedings of SPIE.*, **9680**:6Y (2015).
- [6] Маричев В. Н., "Анализ поведения плотности воздуха и температуры в стратосфере над Томском в периоды ее возмущенного и спокойного состояний, выполненный по результатам лидарных измерений", *Оптика атмосферы и океана*, **26**:9 (2013), 783-792. [Marichev V. N., "Analiz povedeniya plotnosti vozdukha i temperatury v stratosfere nad Tomskom v periody ee vozmushchennogo i spokoynogo sostoyaniy, vypolnennyy po rezul'tatam lidarnykh izmereniy", *Optika atmosfery i okeana*, **26**:9 (2013), 783-792].



- [7] Marichev V. N., Bochkosvkii D. A., "Lidar investigations of thermal regime of the stratosphere over Tomsk in 2015", *Proceedings of SPIE.*, **10035**:100356E (2016), 100356E-1–100356E-5.
- [8] <http://mirador.gsfc.nasa.gov>
- [9] <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- [10] Rees D., Barnett J. J., Labitske K., "COSPAR International Reference Atmosphere: 1986. Part II, Middle Atmosphere Models", *Adv. Space Res.*, **10**:12 (1990).
- [11] <http://users.met.fu-berlin.de/Aktuell/strat-www/wdiag/>

## Список литературы (ГОСТ)

- [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. Исследование особенностей проявления зимних стратосферных потеплений над Томском по данным лидарных измерений температуры в 2010-2011 гг // *Оптика атмосферы и океана*. 2011. Т. 24. №12. С. 1041–1046
- [3] Маричев В. Н. Лидарные исследования годовой изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем над томском в период 2011-13 гг // *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. 20-ый международный симпозиум. Сборник докладов*. г. Новосибирск, курорт-отель «Сосновка». г. Новосибирск. 2014. С. D62–D66
- [4] Маричев В. Н., Бочковский Д. А. Исследование изменчивости наполнения стратосферы фоновым аэрозолем в 2014 г // *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. 21-ый международный симпозиум. Сборник докладов*. Томск. 2015. С. D41-D45
- [5] Marichev V. N., Bochkosvkii D. A. Lidar studies of specific manifestation features of stratospheric warming in winter of 2014-2015// *Proceedings of SPIE*. 2015. vol. 9680. no. 6Y
- [6] Маричев В. Н. Анализ поведения плотности воздуха и температуры в стратосфере над Томском в периоды ее возмущенного и спокойного состояний, выполненный по результатам лидарных измерений // *Оптика атмосферы и океана*. 2013. Т. 26. №9. С. 783–792
- [7] Marichev V. N., Bochkosvkii D. A. Lidar investigations of thermal regime of the stratosphere over Tomsk in 2015 // *Proceedings of SPIE*. 2016. vol. 10035. no. 100356E. pp. 100356E-1–100356E-5
- [8] <http://mirador.gsfc.nasa.gov>
- [9] <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- [10] Rees D., Barnett J. J., Labitske K. COSPAR International Reference Atmosphere: 1986. Part II, Middle Atmosphere Models // *Adv. Space Res.* 1990. vol. 10. no. 12
- [11] <http://users.met.fu-berlin.de/Aktuell/strat-www/wdiag/>

**Для цитирования:** Маричев В. Н., Бочковский Д. А. Лидарные исследования динамики вертикального распределения температуры в стратосфере над Томском в 2016 г. // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2017. № 4(20). С. 51-56. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-51-56

**For citation:** Marichev V. N., Bochkovsky D. A. Lidar studies of the dynamics of the vertical temperature distribution in the stratosphere over Tomsk in 2016, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2017, **20**: 4, 51-56. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-51-56

Поступила в редакцию / Original article submitted: 28.11.2017