УДК 551.524.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СТРАТОСФЕРЫ НАД ТОМСКОМ*

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]- [8]. В настоящей статье представлены исследования вертикального распределения температуры над Томском в возмущенный и спокойный периоды 2018 г.

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

© Маричев В. Н., Бочковский Д. А., 2019

Результаты исследований

Измерения вертикального распределения температуры были получены лидарными методами молекулярного упругого и спонтанного комбинационного рассеяния света (в иностранной литературе принято называть 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 2018 г приведены на рис. 1.

Здесь, как и на последующих рисунках, показаны вертикальные профили температуры (ВРТ), полученные из лидарных измерений, в сравнении с профилями

*Работа выполнена в рамках базового проекта №АААА-А17-117021310145-6 при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №19-45-700008 и гранта президента МК-4592.2018.8.

Рис. 1. Лидарные и спутниковые наблюдения проявления стратосферного потепления в январе 2018 г. 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 голубая кривые) и среднемесячный профиль по модели CIRA-86 (зеленая кривая)

температуры, измеренными со спутника Аура [9] и со станции аэрологического зондирования г. Новосибирска [10], а также взятых из модели CIRA-86 [11]. Проявление стратосферного потепления зимы 2017 - 18 гг. наблюдалось как в лидарных, так и спутниковых измерениях последней декады января 2018 г. Начало потепления было зарегистрировано 19 января. Пик потепления образовался в области стратопавузы (19,21 января, $H=50$ км). В последующие даты наблюдений высота стратопавузы опустилась до отметки 40 км, а максимальное положительное отклонение от среднемесячного значения температуры достигало 50К.

Потепление распространилось и на февраль (рис.2), охватывая довольно значительную область высот от 20 до 50 км. Его затухание происходило в первой декаде месяца с окончательным разрушением в середине месяца.

Рис. 2. Динамика вертикального распределения температуры в феврале

Далее в последующий период мартовских наблюдений (рис.3) термический режим стратосферы пришел в стабильное состояние, о чем свидетельствует хорошее совпадение лидарных и спутниковых профилей температуры с модельным.

Рис. 3. Динамика вертикального распределения температуры в марте

Стабильное состояние стратосферы продолжалось в последующие месяцы наблюдений вплоть до декабря. Выборочные типичные профили температуры за отдельные месяцы периода апрель - ноябрь показаны на рис. 4.

Рис. 4. Динамика вертикального распределения температуры в апреле - ноябре

Профили температуры, измеренные лидаром, со спутника Аура и радиозондом, хорошо согласуются между собой и следуют модельному распределению.

Очередное стратосферное потепление началось в первой декаде декабря. Вертикальное распределение температуры в период СП декабря 2018 показано на рис.5.

Рис. 5. Лидарные и спутниковые наблюдения динамики стратосферного потепления зимы 2018-19 гг

Выраженный очаг потепления локализуется на высотах от 20 до 50 км и сопровождается похолоданием на высотах от 10 до 20 км. Отмечается длительное протекание стратосферного потепления продолжительностью целого месяца с большой амплитудой положительного отклонения до 60K.

Наблюдаемое в декабре 2018 г. СП относилось к мажорному типу, когда в стратосфере произошло изменение направления переноса воздушных масс от западного к восточному, на что указывает данные, взятые с сайта Европейского Центра среднесрочных прогнозов погоды [12] (рис. 6).

Рис. 6. Высотное распределение направления и скорости зонального ветра Северного полушария, зарегистрированного 8 и 27 декабря 2018г. Оранжевый цвет - западный ветер, синий - восточный. Вертикальная жирная прямая – высотный разрез для широты Томска

Список литературы/References

- [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., “Lidarnyye issledovaniya proyavleniya stratosfernnykh potepleniy nad Tomskom v 2008-2010 gg.”, *Optika atmosfery i okeana*, **24**:5 (2011), 386-391, (in Russian)].
- [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., “Issledovaniye osobennostey proyavleniya zimnikh stratosfernnykh potepleniy nad Tomskom po dannym lidarnykh izmereniy temperatury v 2010-2011 gg.”, *Optika atmosfery i okeana*, **24**:12 (2011), 1041-1046, (in Russian)].
- [3] Маричев В. Н., “Исследования особенностей проявления зимних стратосферных потеплений над Томском по данным лидарных измерений температуры.”, *Сборник докладов 20-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»*, г. Новосибирск, курорт-отель «Сосновка», 23-27 июня 2014 г., D67-D72. [Marichev V. N., “Issledovaniya osobennostey proyavleniya zimnikh stratosfernnykh potepleniy nad Tomskom po dannym lidarnykh izmereniy temperatury.”, *Sbornik dokladov 20-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery»*, g. Novosibirsk, kurort-otel’ «Sosnovka», 23-27 iyunya 2014 g., D67-D72, (in Russian)].
- [4] Маричев В. Н., Бочковский Д. А., “Результаты измерений температуры в верхней тропосфере и средней атмосфере лидаром с использованием каналов релеевского и комбинационного рассеяния света”, *Сборник докладов 21-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»*, г. Томск, 22-26 июня 2015 г., D51-D54. [Marichev V. N., Bochkovskiy D. A., “Rezultaty izmereniy temperatury v verkhney troposfere i sredney atmosfere lidarom s ispol'zovaniyem kanalov releyevskogo i kombinatsionnogo rasseyaniya sveta”, *Sbornik dokladov 21-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery»*, g. Tomsk, 22-26 iyunya 2015 g., D51-D54, (in Russian)].
- [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** (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 yeye vozmushchennogo i spokoynogo sostoyaniy, vypolnennyy po rezul'tatam lidarnykh izmereniy”, *Optika atmosfery i okeana*, **26**:9 (2013), 783-792, (in Russian)].
- [7] Marichev V. N., Bochkovskii D. A., “Lidar investigations of thermal regime of the stratosphere over Tomsk in 2015”, *Proceedings of SPIE*, **10035** (2016), 100356E-1 - 100356E.
- [8] 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), 44-49. [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, № 4(20), 44-49, (in Russian)].
- [9] <http://mirador.gsfc.nasa.gov>
- [10] <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- [11] Rees D., Barnett J. J., Labitske K., “COSPAR International Reference Atmosphere: 1986. Part II, Middle Atmosphere Models”, *Adv. Space Res.*, **10**:12 (1990), 525.
- [12] <http://users.met.fu-berlin.de>

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. Исследования особенностей проявления зимних стратосферных потеплений над Томском по данным лидарных измерений температуры // *Сборник докладов 20-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»*. г. Новосибирск, курорт-отель «Сосновка», 23-27 июня 2014 г. D67-D72
- [4] Маричев В. Н., Бочковский Д. А. Результаты измерений температуры в верхней тропосфере и средней атмосфере лидаром с использованием каналов релеевского и комбинационного рассеяния света // *Сборник докладов 21-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»* г. Томск, 22-26 июня 2015 г. D51-D54..
- [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. 9680.
- [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. 10035. 100356E-1 - 100356E
- [8] 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. 44-49.
- [9] <http://mirador.gsfc.nasa.gov>
- [10] <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- [11] 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.
- [12] <http://users.met.fu-berlin.de>

Для цитирования: Маричев В. Н., Бочковский Д. А. Исследование динамики термического режима стратосферы над Томском // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2019. Т. 29. № 4. С. 159-165. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-159-165

For citation: Marichev V. N., Bochkovsky D. A. The study of the dynamics of the thermal regime of the stratosphere over Tomsk, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2019, **29**: 4, 159-165. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-159-165

Поступила в редакцию / Original article submitted: 04.09.2019

DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-159-165

MSC 78A10

THE STUDY OF THE DYNAMICS OF THE THERMAL REGIME OF THE STRATOSPHERE OVER TOMSK¹

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 for lidar technologies is to study the thermal regime of the atmosphere. In V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, these studies in a monitoring mode have been initiated since 1994 and continue into the present. A special attention is devoted to studying the manifestations of sudden disturbances occurring in the middle stratosphere under the influence of wintertime stratospheric warmings. In this paper we present the studies of the vertical temperature distribution over Tomsk in disturbed and quiescent periods of 2018.

Keywords: stratosphere, vertical temperature distribution, stratospheric warming, lidar

© Marichev V. N., Bochkovsky D. A., 2019

¹This work was carried out as part of the basic project No. AAAA-A17-117021310145-6 with partial financial support from the RFBR grant No. 19-45-700008 and the president's grant MK-4592.2018.8.