

Исследование особенностей проявления зимних стратосферных потеплений над Томском по данным лидарных измерений температуры в 2010–2011 гг.

В.Н. Маричев*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 13.09.2011 г.

Анализируются слабое (минорное) стратосферное потепление и процесс перехода стратосферы к фоновому термическому режиму, наблюдаемому в 2011 г., в сравнении с предыдущим (мажорным) потеплением в период с 22 по 29 января 2010 г. В этот период в отдельные ночи температура в стратопause поднималась до +300 К, а высота стратопause опускалась до 37–38 км. В феврале температура заметно убывала. Ее положительное отклонение от среднемесячного значения наблюдалось в интервале высот ниже 40 км. Стратопause достигала рекордно низких высот (23–25 км). В апреле вертикальное распределение температуры вышло на описываемую моделью CIRA-86.

Потепление 2011 г. происходило в январе. Резкое изменение было зарегистрировано 14 января, когда, согласно лидарным и спутниковым данным, высота стратопause опустилась до 32–35 км, а отклонение достигло 42–45 К. 15 января по лидарным измерениям высота стратопause «размывается» (она простирается от 30 до 37 км), а по спутниковым наблюдениям опускается на 31 км. В последующие месяцы (февраль–апрель) происходит стабилизация в вертикальном распределении температуры с переходом в фоновое состояние.

Ключевые слова: стратосфера, вертикальное распределение температуры, зимние стратосферные потепления, лидарные наблюдения; stratosphere, vertical temperature profile, winter stratospheric warming events, lidar observations.

Лидарные исследования термического режима стратосферы над Томском были начаты в Институте оптики атмосферы СО РАН в 1994 г. и с 1996 г. проводятся на регулярной основе. Особый интерес в данных исследованиях представляют температурные аномалии, вызванные зимними стратосферными потеплениями (СП). Последние изучаются уже более 50 лет, но по-прежнему являются актуальными в связи с их влиянием на изменчивость параметров средней атмосферы [1]. Стратосферное потепление — это сильное и внезапное повышение температуры «взрывного характера» в течение нескольких суток [2]. По классификации ВМО потепления разделяются на сильные и слабые (мажорные и минорные) [3]. При сильных потеплениях происходит смена западного переноса на восточный на уровне 10 гПа. Они захватывают стратосферу и мезосферу и проявляются не каждую зиму. В отличие от них слабые потепления наблюдаются каждую зиму и часто локализируются в определенном слое.

Считается, что основным механизмом образования СП является динамическое взаимодействие распространяющихся из тропосферы в стратосферу планетарных волн с зональным течением, приводящим к их разрушению и выделению тепла [4]. Также предполагается, что локальные СП могут быть вызваны

вертикальным перемещением внутренних гравитационных волн [5, 6]. Есть и другие версии причин возникновения СП, например предполагающие наличие источника зимних стратосферных потеплений в верхних слоях атмосферы. В целом природа зимних стратосферных потеплений еще до конца не выяснена.

Наиболее интенсивное влияние стратосферных потеплений на строение и циркуляцию средней атмосферы происходит в полярных областях [2, 3, 7, 8] и может распространяться на средние широты [9]. Это было показано также и в наших ранних лидарных наблюдениях над Томском за 1996–2000 гг. [10]. В настоящее время в России лидарные исследования СП проводятся в составе межрегиональной лидарной сети РАН, созданной ИОА и ИКФИА СО РАН и ИКИР ДВО РАН, над регионами Западной и Восточной Сибири и Камчаткой [11]. В настоящей статье обсуждаются результаты дальнейшего изучения проявления СП над Томском на лидарной станции ИОА СО РАН в 2010–2011 гг.

Результаты исследования температурных аномалий и перехода к фоновому термическому режиму стратосферы

Результаты измерений вертикального распределения температуры представлены на рис. 1–8, где

* Валерий Николаевич Маричев (marichev@iao.ru).

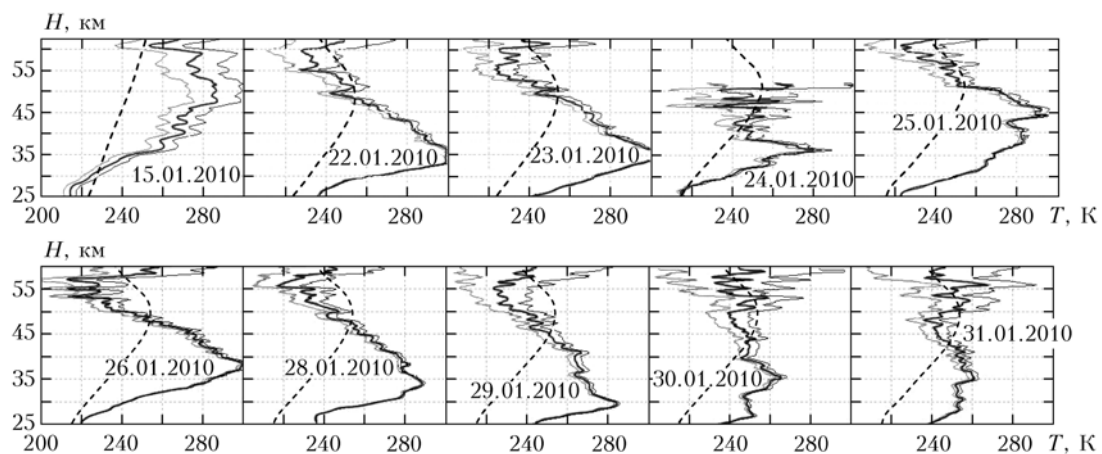


Рис. 1. Лидарные наблюдения аномального распределения температуры в стратосфере в январе 2010 г.

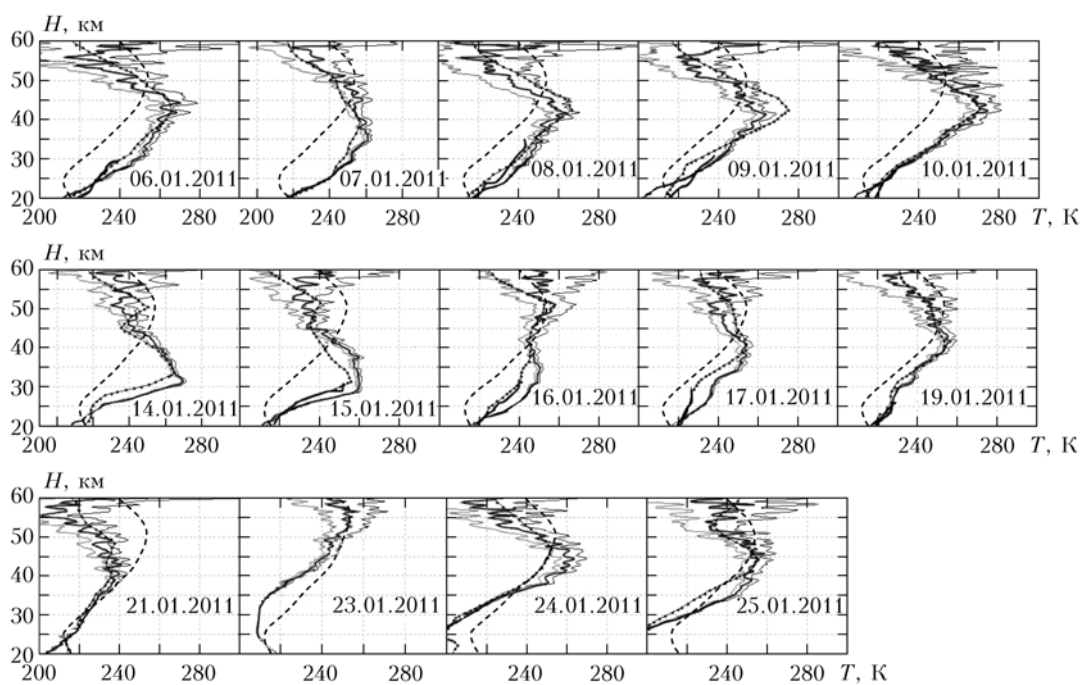


Рис. 2. Лидарные наблюдения аномального распределения температуры в стратосфере в январе 2011 г.

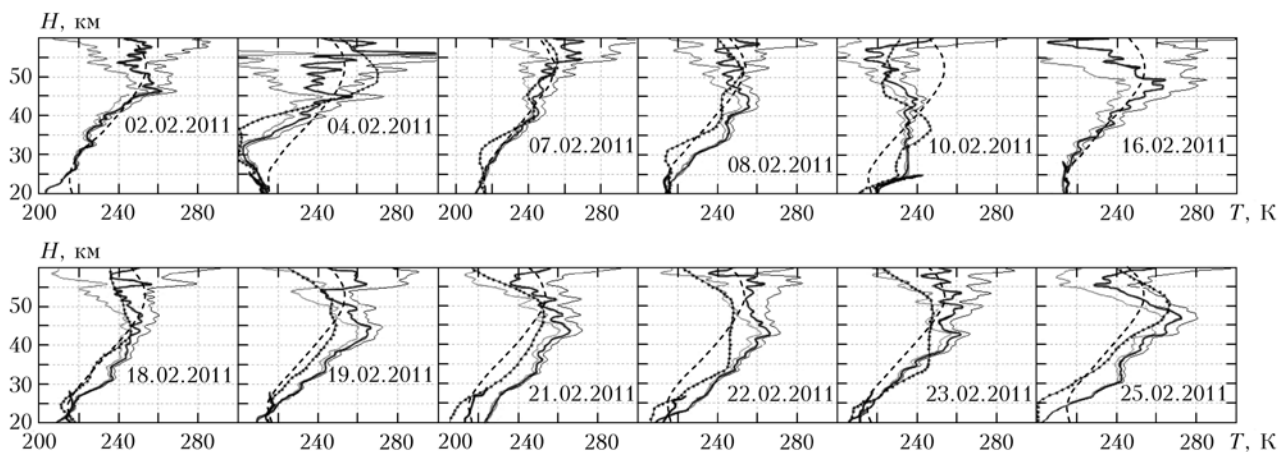


Рис. 3. Лидарные наблюдения распределения температуры в стратосфере в феврале 2011 г.

приведены средние лидарные профили температуры (жирные кривые) с их стандартным отклонением (тонкие кривые) и модельные профили CIRA-86 (штриховые кривые). В отдельных случаях нанесены профили, полученные при спутниковом («Аура») (точки) и аэрологическом зондировании (метеостанции Новосибирска и Колпашева, кривые до высот 35 км в нижней части рисунков). Пространственное разрешение составляло около 200 м. Расчет температурных профилей выполнялся по сигналам, накопленным за 2 ч. Измерения проводились в ночное время суток.

Стратосферное потепление в 2010 г.

Это потепление относилось к мажорному типу (подробно рассмотрено в работе [12]). В настоящей статье приводится описание его кульминационного периода – возникновения и развития в январе 2010 г. в сравнении с потеплением в 2011 г.

Первое температурное возмущение было зарегистрировано 15 января (см. рис. 1). Это был очаг теплого воздуха в области высот 34–44 км с отклонением от модельного профиля от 20 до 40 К в максимуме на высоте 40 км. К 18 января произошла некоторая его трансформация с опусканием в целом и перемещением максимума на высоты 34–36 км. Далее 19 января весь профиль температуры в области высот 32–44 км был сдвинут в положительную сторону от модельного, а 21 января появилась двугорбая структура с четко обозначенными максимумами на высотах 36 и 40 км с отклонениями от среднеянварского профиля примерно на 20 К.

Следующее мощное стратосферное потепление было зафиксировано 22 января. Стратопауза резко опустилась на высоту 38 км. Перепад температур на уровне стратопаузы (максимум в вертикальном распределении) составил более 60 К, что для Томска за весь период лидарных наблюдений (начиная с 1996 г. [10]) было зарегистрировано впервые. Подобная структура распределения в виде мощного очага потепления в стратосфере и похолодания в мезосфере (в смысле классического определения высотных интервалов этих областей атмосферы в невозмущенном состоянии) оставалась и 23 января. Но уже 24 января происходит трансформация структуры этого мощного теплового очага в достаточно локализованный слой меньшей интенсивности на нижних высотах 34–43 км с максимумом на $H = 40$ км. Таким образом, на основании измерений от 21 до 24 января было установлено, что мощное СП просуществовало около 2 сут.

Далее, 26 января как по форме (положительная и отрицательная полуволна), так и по интенсивности очаг потепления становится подобным максимальному СП за 22–23 января с пиком на высоте 38 км. И наконец, 28 и 29 января мощность потепления убывает, а стратопауза продолжает опускаться до уровня 30 км. При этом полуволновая структура также продолжает существовать. В остальные дни января профиль температуры выше 40 км выходит на модельный профиль, а ниже этого уровня продолжает приближаться к нему.

С конца января и весь февраль очаг потепления постепенно убывает и локализуется ниже 40 км. Стратопауза опускается до рекордно низких высот 23–25 км. В верхней части профиля распределение температуры близко к модельному и измеренному со спутника.

В марте заканчивается возмущение стратосферы потеплениями и наблюдается переход к спокойному периоду. В этих условиях вертикальное распределение температуры соответствует модельному.

Стратосферное потепление в 2011 г. и переход к фоновому состоянию

Результаты наблюдений за январь 2011 г. представлены на рис. 2.

Видно достаточно хорошее совпадение температурных профилей, полученных лидаром, со спутника «Аура» и радиозондами. По их отклонениям в положительную сторону от среднестатистического модельного январского профиля CIRA-86 можно судить о проявлении стратосферного потепления в первых двух декадах месяца.

Из-за небольшой величины положительного отклонения данное потепление относится к минорному типу, при котором не происходит перестройки циркуляции воздушных масс. Видно, что в первой декаде января очаг теплого воздуха простирается от 20 до 55 км. Максимальное отклонение составляет 30 К, высота стратопаузы сохраняется на стандартном уровне. Резкое изменение происходит 14 января, когда согласно лидарным и спутниковым данным высота стратопаузы опускается до 32–35 км, а отклонение достигает 42–45 К.

По лидарным измерениям 15 января высота стратопаузы «размывается» (она простирается от 30 до 37 км), а по спутниковым наблюдениям опускается на 31 км. В последующие даты мы видим некоторую трансформацию температурных профилей в нижней части рис. 2 вплоть до отрицательного отклонения в конце месяца и сближение с моделью в средней части. На высотах над стратопаузой практически всегда наблюдается отрицательное отклонение от модельного профиля.

В феврале было проведено 12 результативных ночных измерений температуры (см. рис. 3).

Наблюдается некоторая динамика в вертикальном распределении температуры. В ряде случаев это небольшие положительные отклонения лидарных профилей от среднемесячного модельного. Вместе с тем выделяется наблюдение за 4 февраля, когда на высоте около 30 км была зарегистрирована низкая температура на уровне 200 К, и наблюдение за 10 февраля с очагом теплоты воздуха $T \approx 245$ К, локализованным в области высот 25–35 км. Но в целом лидарные профили приближаются к модельному распределению температуры и даже в отдельные ночи совпадают с ним.

В наблюдениях за март (см. рис. 4) вертикальное распределение температуры продолжает стабилизироваться. Причем лидарные профили более близко ложатся на модельный по сравнению с профилями,

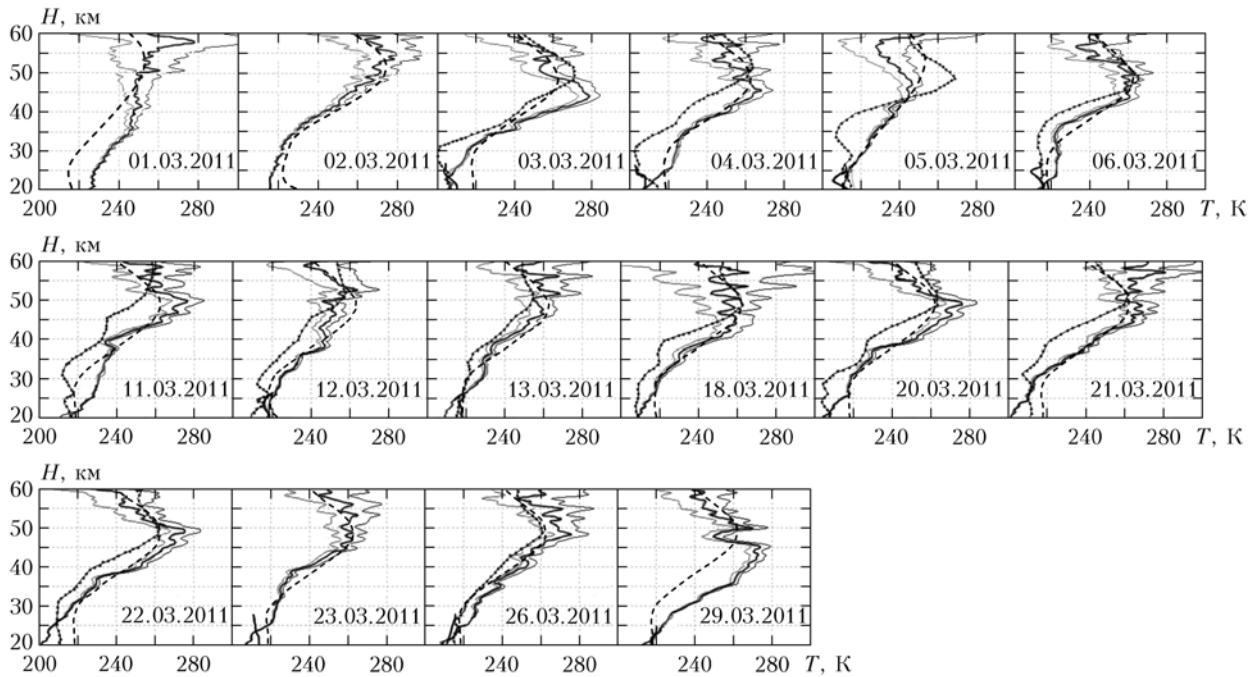


Рис. 4. Лидарные наблюдения распределения температуры в стратосфере в марте 2011 г.

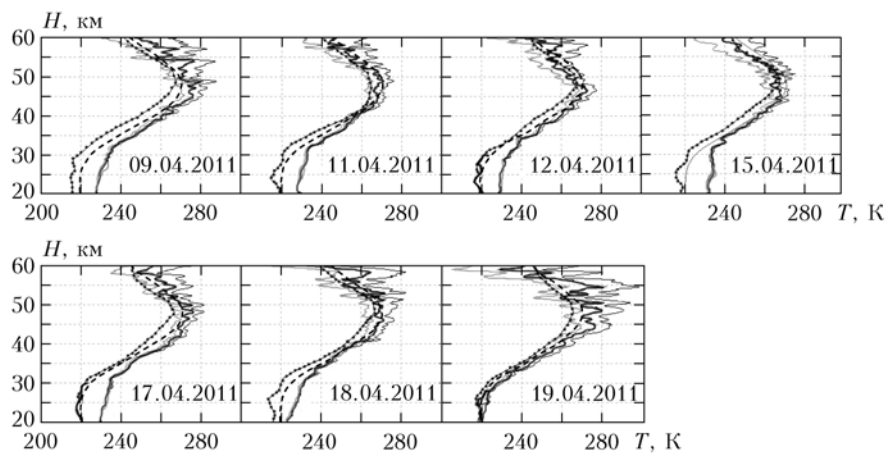


Рис. 5. Лидарные наблюдения распределения температуры в стратосфере в апреле 2011 г.

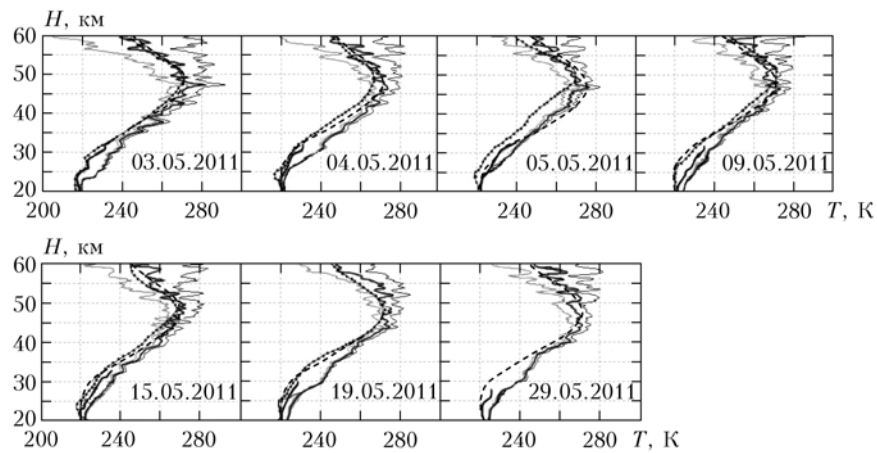


Рис. 6. Лидарные наблюдения распределения температуры в стратосфере в мае 2011 г.

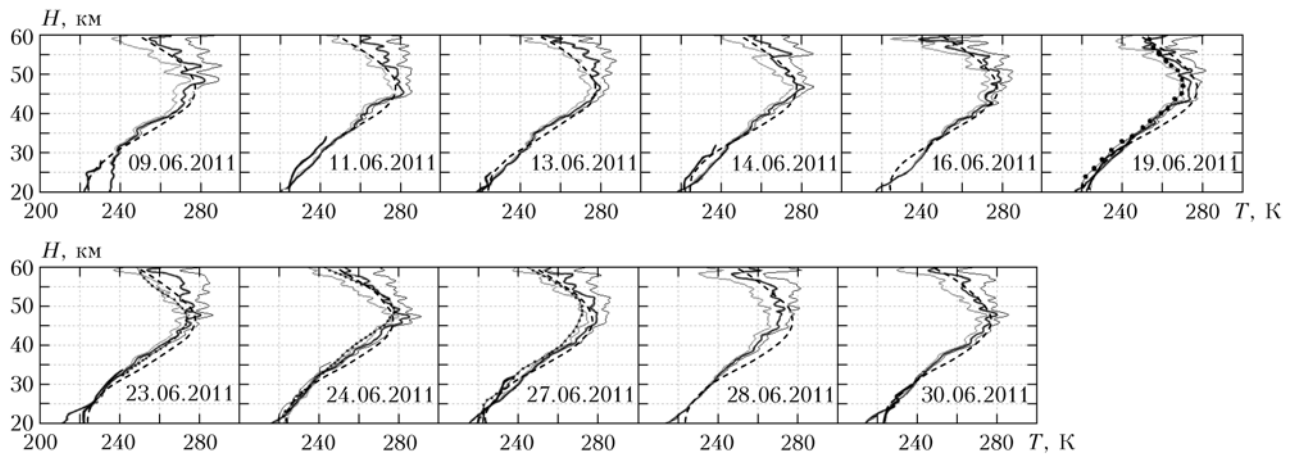


Рис. 7. Лидарные наблюдения распределения температуры в стратосфере в июне 2011 г.

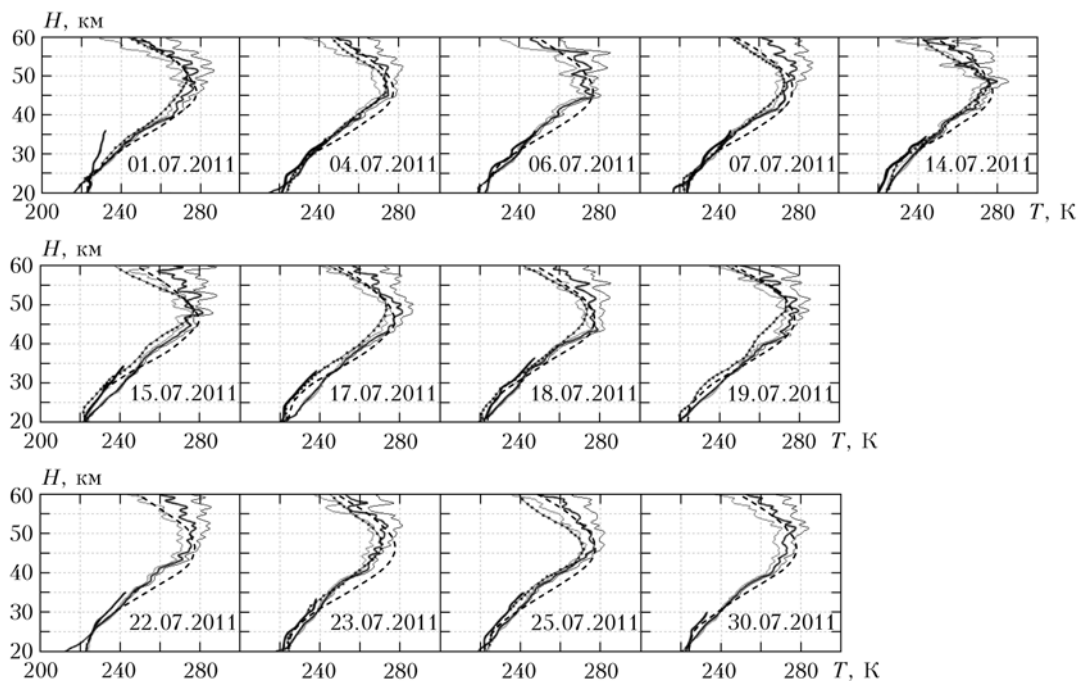


Рис. 8. Лидарные наблюдения распределения температуры в стратосфере в июле 2011 г.

полученными со спутника «Аура». Исключением являются наблюдения с положительными отклонениями лидарных измерений температуры за 1 и 29 марта.

В апреле из-за облачной погоды было выполнено лишь семь ночных измерений. Но, несмотря на их малое количество, просматривается общая картина высотного распределения температуры (см. рис. 5). Лидарный профиль, как и профиль «Аура», выходит на модельный. Выше 30 км лидарные профили совпадают с модельным.

В мае также по причине облачности неба было проведено всего 7 результативных ночных измерений (см. рис. 6).

Видно, что за исключением проявления некоторой динамики в нижней стратосфере лидарные профили в интервале высот 35–60 км близки к модельному распределению.

В наблюдениях за июнь и июль вертикальное распределение температуры, измеренное лидаром, соответствует модельному (см. рис. 7 и 8). Отмечается хорошее сходство лидарных, спутниковых и аэрологических измерений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ГК № 16.518.11.7048, проекта Минобрнауки РФ АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.1/1333 (2011 г.), Интеграционного научно-исследовательского проекта СО РАН – ДВО РАН – НАН Украины «Диагностика динамических процессов в среднеширотной и субполярной атмосфере» и гранта РФФИ № 10-05-00907-а «Выявление региональных особенностей условий формирования и механизмов образования аэрозольных слоев в стратосфере и мезосфере Северного полушария».

1. Barnett J.J., Labitzke K. Planetary waves // Handbook for MAP. 1985. V. 16. P. 138–143.
2. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.
3. Атмосфера: Справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 510 с.
4. Matsuno T. A dynamical model of stratospheric sudden warming // J. Atmos. Sci. 1971. V. 28. P. 1479–1494.
5. Pal S.R., Carswell A.I., Bird J., Donovan D.P., Duck T.J., Whiteway J.A. Lidar measurements of the stratosphere at the Eureka and Toronto NDSC stations // Proc. SPIE. 1990. V. 2833. P. 28–39.
6. Whiteway J.A., Duck T.J., Carswell A.I. Measurements of gravity wave activity within and around the Arctic stratospheric vortex // Geophys. Res. Lett. 1997. V. 24, N 11. P. 1387–1390.
7. Кокина Г.А., Гайгеров С.С. Метеорология верхней атмосферы земли. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 270 с.
8. Холтон Дж.Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 224 с.
9. Гайгеров С.С., Жорова Э.Д. Термический режим и циркуляция в средней атмосфере // Метеорол. и гидрол. 1986. № 7. С. 5–10.
10. Маричев В.Н. Лидарные наблюдения зимних стратосферных потеплений над Томском в 1996–2000 гг. // Метеорол. и гидрол. 2001. № 8. С. 41–48.
11. Куркин В.И., Черниговская М.А., Маричев В.Н., Николашкин С.В., Бычков В.В. Особенности проявления зимних внезапных стратосферных потеплений в период 2008–2010 гг. над регионами Сибири и Дальнего Востока России по данным лидарных и спутниковым измерений температуры // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 17. С. 166–173.
12. Маричев В.Н. Лидарные исследования проявления стратосферных потеплений над Томском в 2008–2010 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 5. С. 386–391.

V.N. Marichev. Investigation into features of manifestation of winter stratospheric warming events over Tomsk from the data of lidar temperature measurements in 2010–2011.

A weak (minor) stratospheric warming event and transition of the stratosphere to the background thermal regime observed in 2011 is analyzed in comparison with the preceding (major) warming event observed from January 22 till January 29, 2010. During this period, the temperature in the stratopause at some nights increased up to +30 °C, and the tropopause height decreased to 37–38 km. In February, the temperature noticeably decreased; its positive deviation from the average monthly value was observed in the altitude range below 40 km. The stratopause reached record low altitudes of 23–25 km. In April, the vertical temperature profile approached that, described by the CIRA-86 model.

For the warming event in 2011, dynamic events occurred in January. Thus, a sharp temperature change was observed on January 14, when in accordance with lidar and satellite data, the stratopause height decreased to 32–35 km, and the temperature deviation reached 42–45 K. On January 15, from the data of lidar measurements, the stratopause height was smeared (it extended from 30 to 37 km), and from the data of satellite observations, it decreased by 31 km. In the subsequent months in February–April, the vertical temperature profile was stabilized with transition to the background state.