

**В.В. Зуев, В.Н. Маричев, С.И. Долгий, Е.В. Шарабарин**

### **СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В СТРАТОСФЕРЕ ЛИДАРОМ И МЕТЕОЗОНДОМ В ИНТЕРВАЛЕ ВЫСОТ 13–30 км**

Приводится сравнение результатов измерения температуры лидаром и метеозондом в интервале высот 13–30 км. Для сравнения выбран период времени (январь–февраль), характеризуемый наибольшей изменчивостью температуры, превышающей 30 К на высоте 25 км. Пространственная разнесенность между лидаром и метеостанцией составляла 210 км, тем не менее в силу крупномасштабности процессов переноса воздушных масс в стратосфере (~1000 км) проведенное сравнение температуры оправдано.

Получено очень хорошее качественное и количественное совпадение лидарных и радиозондовых профилей температуры. Среднеквадратичный разброс данных, рассчитанных по 73 парам отсчетов, составил 2,4 К. Для сравнения оценка стандартной ошибки восстановления температуры из лидарных сигналов равнялась  $\pm 5$  К на высоте 25 км. Приведенная валидация лидарных измерений подтвердила их достоверность.

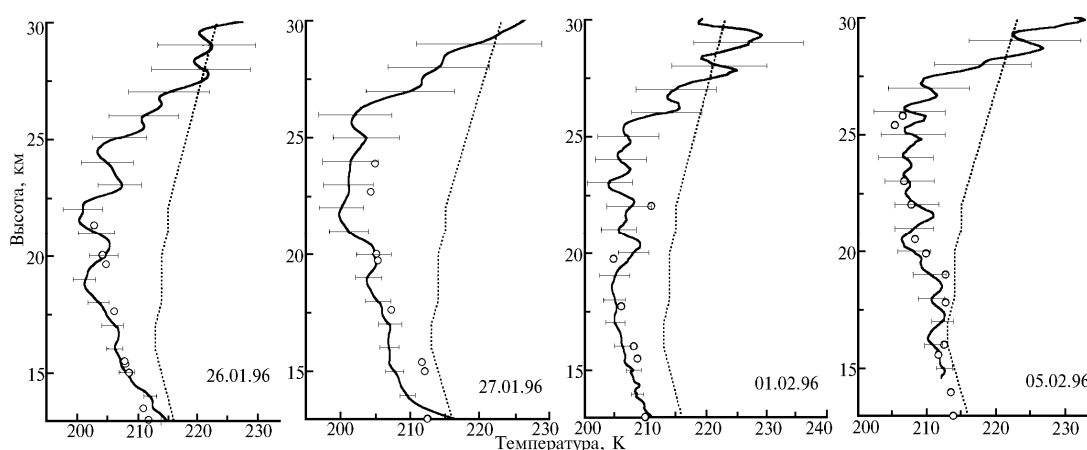
Первые лидарные измерения температуры по рэлеевскому рассеянию света были выполнены Хаучекорном и Шанин в 1982 г. [1]. За период 1980–1996 гг. рэлеевские лидары прошли значительное развитие и получили широкое распространение для зондирования температуры в стратосфере. Информацию о научных коллективах, а также параметрах лидаров и географии их распространения можно найти в справочнике [2].

В Томске (57°с.ш., 85°в.д.) рутинные лидарные измерения температуры в нижней стратосфере были начаты в 1995 г. на лидаре с диаметром приемного зеркала 1 м и ХеСl-эксимерным лазером с ВКР-преобразователем на водороде, дающем на выходе длину волны 353 нм. Параметры лидара и методика обработки сигналов приведены в [3]. За текущий период был накоплен определенный ряд вертикальных профилей температуры. Для дальнейшего использования указанного ряда в интересах задач климатологии и погодообразования естественно показать достоверность этих результатов. Для этого нами были получены формулы для оценки стандартных ошибок по профилю температуры и проведены два сравнительных измерения температуры лидаром и метеозондом. Последние показали, что разброс лидарных и озонзондовых данных в интервале высот 15–25 км не превышает 5°С, что входит в погрешность измерений. Однако в силу ограниченности количества независимых сравнений и определенной субъективности оценки стандартной ошибки указанных мер по валидации данных недостаточно. Поэтому нами было проведено сравнение данных измерения температур, полученных лидаром и метеозондом за период январь–февраль 1996 года. За это время было получено восемь ночных лидарных профилей температуры. Следует отметить, что выбор указанного периода был сделан в интересах повышения требований к валидации данных. Именно в этот период, судя по лидарным наблюдениям, отмечались наибольшие отклонения профилей температуры в отрицательную до 15 К (26 и 27 января, 1 и 5 февраля) и положительную сторону 25 К (12, 22 и 24 февраля) и близкие к модельному (20 февраля). В качестве независимых данных были взяты радиозондовые профили температуры, полученные метеостанцией г. Новосибирска, находящейся на расстоянии 210 км от Томска.

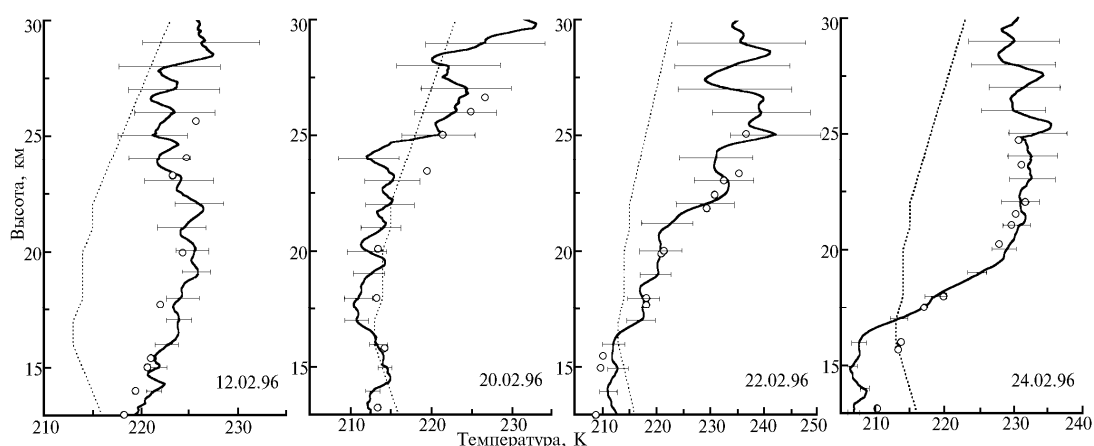
К сожалению, организовать серию запусков шар-зондов из точки нахождения лидара оказалось невозможным. Однако поскольку распределение метеопараметров в стратосфере определяется крупномасштабными (~1000 км) процессами циркуляции воздушных масс, такое сравнение стратосферных профилей температуры можно считать целесообразным. Более того, измерения проводились в устойчивую погоду, а не во фронтальной зоне. Сравнение температурных профилей в интервале высот 13–30 км представлено на рисунке. Здесь сплошной кривой обозначен лидарный профиль, кружочками – радиозондовый, точками – модельный для средних широт, а также нанесены стандартные ошибки восстановления температуры из

лидарных сигналов. Из первых четырех графиков, представляющих данные за 26, 27 января, 1 и 5 февраля, виден уход температуры в интервале высот 15–28 км в отрицательную сторону от модельного профиля. Нанесенные данные радиозондов практически совпадают с лидарными. Потепление наблюдалось 12 февраля в области высот 13–25 км. Причем изменение температуры на высоте 20 км по сравнению с предыдущими профилями составило ~20 К. Радиозондовые измерения показывают аналогичный ход температуры в зависимости от высоты. Лидарный профиль температуры 20 февраля был близок к модельному. Идентичное вертикальное распределение температуры было получено радиозондом. Наконец, на последних двух графиках (22 и 24 февраля) как по лидарным, так и по радиозондовым измерениям заметно сильное изменение температуры в сторону ее увеличения, превышающее 235 К на высоте 25 км. Дискретные измерения температуры радиозондом хорошо согласуются с лидарными профилями температуры.

Как указывалось выше, на графиках приведен вертикальный ход оценки стандартной ошибки восстановления температуры по лидарным сигналам. Ее величина составляет примерно  $\pm 1$  К на высоте 15 км и  $\pm 5$  К на высоте 25 км. Рассчитанное по 73 парам точек среднеквадратическое отклонение между лидарными и радиозондовыми данными составило 2,4 К. Последняя входит в интервал изменения теоретической оценки стандартной ошибки, причем без учета погрешностей измерений радиозондом.



Сравнение результатов измерения температуры лидаром (сплошная кривая) и радиозондом (кружочки) за январь-февраль 1996 г. (Пунктирная кривая – модель)



Продолжение рисунка. Сравнение результатов измерения температуры лидаром (сплошная кривая) и радиозондом (кружочки) за январь-февраль 1996 г. (Пунктирная кривая – модель)

Таким образом, сравнение результатов лидарных и радиозондовых измерений температуры в нижней стратосфере (13–27 км) показало их очень хорошее качественное и количественное совпадение. При этом следует отметить, что для сравнения был специально выбран период,

характеризуемый наибольшей изменчивостью температуры в указанном интервале высот, когда наблюдались колебания температуры как в отрицательную, так и в положительную сторону от модельного профиля с амплитудой до 30 К. Среднеквадратический разброс данных  $\pm 2,4$  К входит в интервал оценки стандартной ошибки лидарных измерений температуры.

Авторы выражают благодарность Г.М. Крученицкому за любезно предоставленные данные по запускам метеозондов.

Работа выполнена на установке «Сибирская лидарная станция» при финансовой поддержке Министерства науки России (регистрационный номер 01–64).

1. Hauchecorne A. and Chanin M.-L. // Geoph. Res. Lett. 1980. V. 7. N 8. P. 565–568.
2. Third International Lidar Resercheres Directors. Compiled by M.P. McCormick. NASA. Hampton. Virginia 23681–0001. 1993.
3. Зуев В.В., Маричев В.Н. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 8. С. 1123–1121.

**V. V. Zuev, V. N. Marichev, S. I. Dolgii, E. V. Sharabarin. Comparison of the Results of Temperature Measurements Using Lidar and Sounding Balloon at Altitudes Ranging from 13 to 30 km.**

The paper presents a comparison of the results measured using a lidar and sounding balloon at altitudes ranging from 13 to 30 km. For the comparison the season (January–February) was chosen characterized by the greatest variability of temperature exceeding 30 K at the altitude of 25 km. The spatial separation between the lidar and meteorological station was 210 km, but due to the large-processes of air mass transfer in the stratosphere (~1000 km) the above comparison of temperature is justified. The paper describes a very good qualitative and quantitative agreement of lidar and radiosonde profiles of temperature (see Fig. 1). The rms data spread, calculated based on 73 pairs of reports, was 2.4 K. For the comparison the estimate of the standard error of temperature reconstruction from lidar signals was  $\pm 5$  K at 25 km. The performed validation of lidar measurements confirmed their reliability.