

**В.В. Зуев, В.Д. Бурлаков, А.В. Ельников, С.В. Смирнов**

## **ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ЗАПАДНОЙ СИБИРЬЮ**

Исследуется изменчивость стратосферного аэрозольного слоя (САС), обусловленная атмосферными термодинамическими процессами. Анализируются случаи появления над Томском стратосферных облаков типа полярных и быстрого заполнения локального минимума САС, наблюдаемого в нижней стратосфере. Обсуждение ведется на основе результатов мониторинга САС в 1995 г. на двух длинах волн (532, 1064 нм) и анализа синоптической ситуации.

Регулярный лидарный мониторинг за состоянием стратосферного аэрозольного слоя (САС) с 1986 г. в Томске [1] позволяет исследовать его вертикально-временную структуру и выявлять присущие ему вариации. Как правило, эти вариации обуславливаются процессами глобального масштаба. Наибольшие изменения и вариабельность стратосферного аэрозольного слоя наблюдаются после мощных извержений вулканов [2]. Сезонная изменчивость определяется разницей температур зимнего и летнего периодов [3]. Однако процессы, ограниченные как по пространству, так и по времени, также оказывают значительное влияние на вертикальную стратификацию аэрозоля. Проблеме изменчивости САС, обусловленной подобными процессами, и посвящена данная статья. Обсуждение ведется на основе экспериментальных результатов, полученных в 1995 г.

К зимнему периоду 1994/95 г. стратосфера практически полностью очистилась от аэрозоля вулканического происхождения (после извержения вулкана Пинатубо в июне 1991 г.), определявшего более трех лет рассеивающие свойства САС. Профили отношения рассеяния  $R(H)$  ( $R(H) = 1 + \beta_{\pi}^a(H)/\beta_{\pi}^m(H)$ , где  $\beta_{\pi}^a(H)$  и  $\beta_{\pi}^m(H)$  – коэффициенты обратного аэрозольного и молекулярного рассеяния соответственно) в своем максимуме (слой Юнге) на длине волны 532 нм не превышали 1,2.

Однако в последней декаде января 1995 г. наблюдения вертикальной стратификации аэрозоля дали необычно большие значения  $R(H)$ . Результаты лидарного зондирования стратосферного аэрозоля (г. Томск) на двух длинах волн 24 и 26 января 1995 г. даны на рис. 1. На рис. 1, а, помимо профиля отношения рассеяния на длине волны  $\lambda = 532$  нм за 24.01.95, представлены вертикальные профили температуры метеостанции г. Новосибирска за 24 и 26.01.95, полученные практически в то же самое время, и профиль температуры над Томском, измеренный лидаром согласно методике [4]. Судя по вертикальному ходу профиля температуры 26.01.95 температурные профили 24.01.95 (шар-зондовый и лидарный) не противоречат, а хорошо дополняют друг друга. Сравнение измеренных температурных профилей за 24.01.95 с модельными среднеширотными профилями [5] показывает, что их значения температуры во всей нижней и средней стратосфере уменьшались более чем на 20°C. Эти значения больше характерны для полярных широт. По сравнению с 24.01.95 средняя стратосфера 26.01.95 значительно потеплела, однако исследуемые стратосферные слоистые образования не исчезли. Более того, их максимум увеличился. И если 24.01.95 максимум отношения рассеяния ( $R \approx 3$ ) по высоте практически совпадал с минимумом температуры ( $\sim 80^\circ\text{C}$ ), то 26.01.95 он переместился примерно на 2,5 км выше, в более теплую область. При этом, как показали полученные 26 января 1995 г. в течение 1,5 ч профили отношения рассеяния, рассеивающие свойства данных стратосферных образований также имеют значительную динамику.

Несколько раньше (первая-вторая декада января 1995 г.) на ряде лидарных станций, расположенных в полярной зоне, и по данным самолетных лидаров, работающих в данный период в этих же широтах, наблюдались полярные стратосферные облака [6–10], обладающие сильной

пространственно-временной динамикой рассеивающих свойств. Исследование рассеивающих и деполаризирующих характеристик этих облаков позволило провести их типизацию.

Наличие в январе 1995 г. аномально низких для стратосферы Западной Сибири температур (см. рис. 1, *a*) и сильная динамика рассеивающих свойств (рис. 1, *б*) позволяют предположить, что природа наблюдаемых стратосферных образований аналогична природе полярных стратосферных облаков.

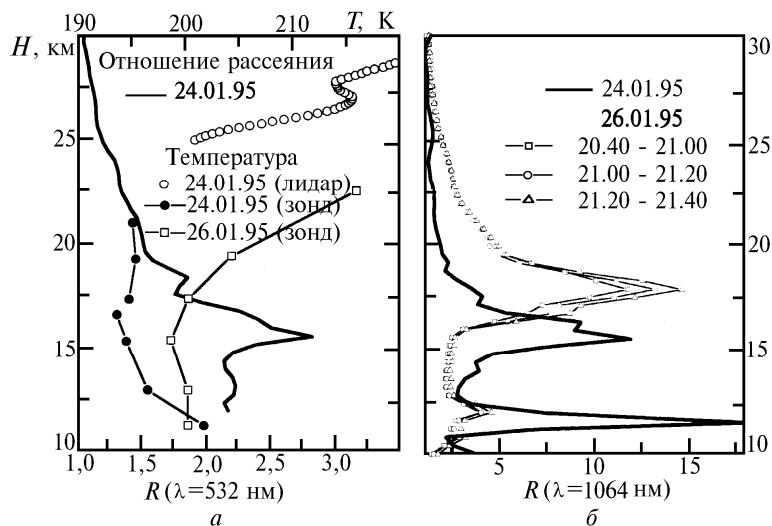


Рис. 1. *a* – Профили отношения рассеяния  $R(H)$  на длине волны 532 нм 24.01.95 (нижняя шкала) и температуры (верхняя шкала), измеренной: шар-зондом 24.01.95 (линия с черными кружками) в г. Новосибирске, шар-зондом 26.01.95 (линия с квадратиками) в г. Новосибирске, лидаром (белые кружки). *б* – Профили отношения рассеяния  $R(H)$  на длине волн  $\lambda = 1064$  нм, измеренные 24 и 26 января 1995 г.

Анализ синоптической ситуации 21–28 января 1995 г. над Томском показал, что наблюдаемые аномально низкие температуры в нижней стратосфере были вызваны арктическим циркумполярным вихрем, сместившимся в сторону Дальнего Востока и захватившим северную часть Западной Сибири. Поэтому разница во времени появления данных облачных образований над различными пунктами наблюдения [6–10] и над Томском в том числе обуславливается перемещением вихря.

Довольно резкое изменение стратосферного аэрозольного слоя в его нижней части, но совершенно другой природы, наблюдалось на втором этапе измерений по программе SATOR. На рис. 2 представлена выборка профилей  $R(\lambda, H)$  на двух длинах волн –  $\lambda = 532$  нм и  $\lambda = 1064$  нм – для соответствующего периода. По характеру вертикальной стратификации стратосферного аэрозоля (СА) профили отношения рассеяния можно разделить на две группы.

Первая группа, соответствующая периоду наблюдений с 4 по 10 июля, обладает стабильностью в поведении отношения рассеяния для обеих длин волн. В вертикальном распределении СА на высоте 15 км сформировался локальный минимум, благодаря которому четко проявился слой Юнге с максимумом  $R = 1,15$  на высотах 18–19 км.

Вторая группа (с 11 по 13 июля) характеризуется заметными изменениями в вертикальной стратификации отношения рассеяния, особенно значительными вблизи 15 км. Наблюдения на длине волны 532 нм выявили последовательную трансформацию вертикального распределения СА, в котором произошло полное исчезновение локального минимума. Изменения в вертикальном распределении аэрозоля проявились также и при зондировании на длине волны 1064 нм. Однако происходили они с некоторым запаздыванием; 13 июля локальный минимум на высоте 14 км просматривается еще достаточно хорошо.

Различия в поведении профилей отношения рассеяния на длинах волн 532 и 1064 нм определяются аэрозольными частицами различных фракций. Если на длине волны 532 нм оптически активным является мелкодисперсный ансамбль частиц САС, то на  $\lambda = 1064$  нм – более крупные частицы. Как правило, чем больше размер аэрозольных частиц, тем больше их масса и они более инерционны. Следовательно, воздействию динамических факторов подвергаются в первую очередь более мелкие частицы. Анализ трансформации профилей отношения рас-

сеяния на двух длинах волн (рис. 2) позволяет проследить развитие данного процесса. Из рис. 2 видно, что существенные изменения в вертикальной стратификации мелкодисперсной части САС («замывание» локального минимума  $R(H)$  на  $\lambda = 532$  нм) начались 11.07.95. Делать выводы о каких-либо изменениях в крупнодисперсной части САС 11.07.95 затруднительно, так как отсутствуют данные на  $\lambda = 1064$  нм. Однако судя по профилю  $R(H)$  на длине волны 1064 нм за 12.07.95, никаких изменений с крупнодисперсной фракцией САС 11.07.95 не произошло, так как профили отношения рассеяния на  $\lambda = 1064$  нм 12.07.95 и за предыдущие дни практически не отличаются, в то время как 12.07.95 на  $\lambda = 532$  нм значения отношения рассеяния в нижней стратосфере стали еще больше. Только 13 июля 1995 г. изменения в стратосферном слое проявились и на длине волны  $\lambda = 1064$  нм.

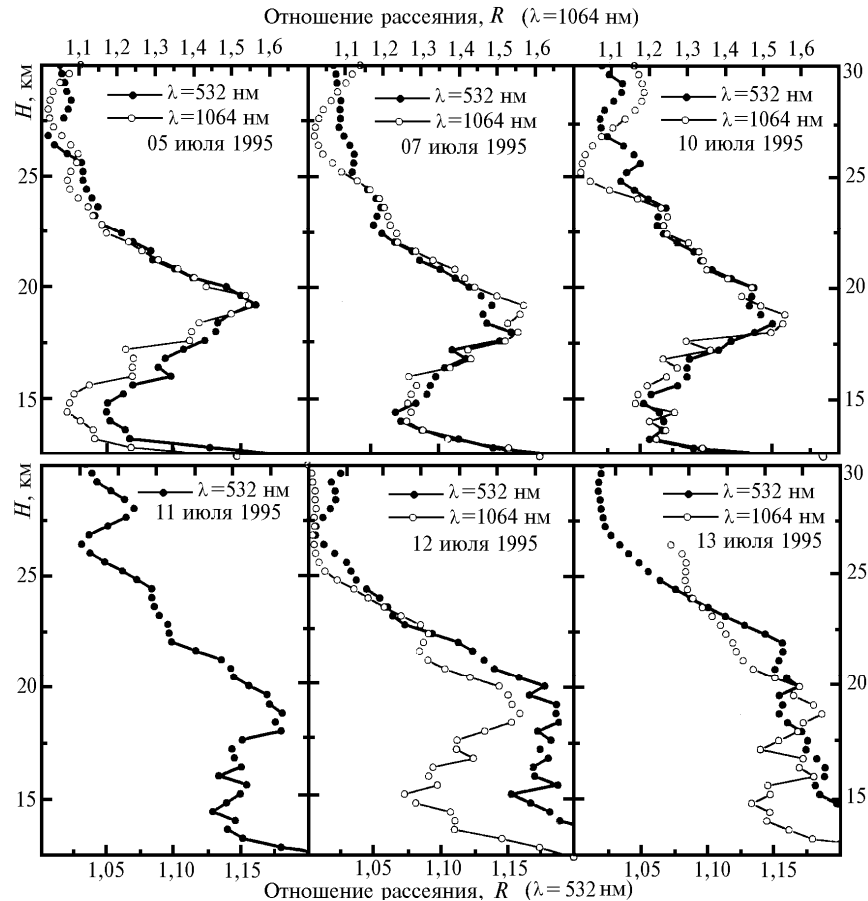


Рис. 2. Профили отношения рассеяния  $R(H)$  на длинах волн  $\lambda = 532$  нм (нижняя шкала) и  $\lambda = 1064$  нм (верхняя шкала)

Анализ синоптической ситуации показал, что с конца июня 1995 г. Томск находился в зоне антициклона. Затем в течение 10–11 июля 1995 г. в тропосфере и нижней стратосфере произошла перестройка циркуляции с антициклонической на циклоническую, и с 12 июля до конца месяца установился период с циклоническим типом. Причем во время перестройки Томск находился в передней части высотной ложбины. Известно [11, 12], что для передней части высотной ложбины характерны высокие температурные и барические градиенты, максимальная положительная адвекция вихря скорости и конвергенция линий тока. В этой объемной и протяженной бароклинной зоне с большой вертикальной мощностью располагается планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ), разделяющая холодную и теплую воздушные массы. Вертикальные движения в ПВФЗ захватывают слои большой вертикальной протяженности. Происходит усиление вертикального воздухообмена между стратосферой и тропосферой. В связи с этим значительное усиление вертикальных движений и турбулентной диффузии могло привести к выносу из тропосферы аэрозоля и привести к изменению его вертикального распределения.

С другой стороны, смена циркуляции атмосферы с антициклонической на циклоническую 10–11 июля 1995 г. привела к смене направления преимущественного переноса воздушных масс. Начал преобладать южный перенос, что могло привести к формированию в стратосфере над Томском вертикальной стратификации САС степной зоны.

В обоих гипотетических случаях более мелкие и легкие частицы увлекаются в движение в первую очередь. Это вполне согласуется с более динамичными изменениями в лидарных профилях  $\beta_{\pi}^a$  (532, H) по сравнению с профилями  $\beta_{\pi}^a$  (1064, H) (см. рис. 2).

Таким образом, анализ результатов зондирования САС показал, что стратосферный аэрозоль является довольно динамичной составляющей атмосферы, подверженной значительному влиянию атмосферных термодинамических процессов локального характера.

Авторы выражают искреннюю благодарность своим коллегам из ЛДСА за профессиональное техническое обеспечение, проведение лидарных измерений и обработку данных, а также Г.М. Крученицкому за предоставленные метеоданные, Т.М. Рассказчиковой и Е.В. Воронцовой за обработку синоптических карт. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Миннауки России на установке «Сибирская лидарная станция» (N 01-64).

1. Ельников А.В., Зуев В.В., Маричев В.Н. // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. N 6. С. 631–637.
2. Бурлаков В.Д., Ельников А.В., Зуев В.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 10. С. 1224–1233.
3. Ельников А.В., Зуев В.В., Копысова Т.С., Маричев В.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 6. С. 193–197.
4. Бондаренко С.Л., Бурлаков В.Д., Гришаев М.В., Зуев В.В., Маричев В.Н., Маричев В.Л. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 11–12. С. 1652–1655.
5. Ипполитов И.И., Комаров В.С., Мицель А.А. // Спектроскопические методы зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1985. С. 4–44.
6. Moerl P., Wirth M., Renger W. // Abstract book 18<sup>th</sup> ILRC. P. 108.
7. Stebel K., Neuber R., Beyerle G. et al. // Ibid. P. 108.
8. Iwasaka Y., Shibata T., Fujiwara M. et al. // Ibid. P. 120.
9. Nagai T., Ucino O., Shibata T. et al. // Ibid. P. 121.
10. Wedekind C., Immler F., Mielke B. et al. // Ibid. P. 121.
11. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
12. Атмосфера: Справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 221–229.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
23 августа 1996 г.

V.V. Zuev, V.D. Burlakov, A.V. Elnikov, S.V. Smirnov. **Peculiarities of Stratospheric Aerosol Variability over Western Siberia.**

Variability of stratospheric aerosol layer (SAL) caused by atmospheric thermodynamical processes is treated in the paper. The occasions of appearance over Tomsk of stratospheric clouds of polar type as well as quick closing SAL local minimum observable in lower stratosphere are analyzed. The discussion is conducted based on the SAL monitoring results obtained in 1995 at two wavelengths (532 and 1064 nm) and the synoptical situation analysis.