

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ  
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.508

**Некоторые среднестатистические характеристики  
появления аэрозольного рассеяния  
в средней атмосфере Камчатки**

**В.В. Бычков<sup>1</sup>, Б.М. Шевцов<sup>1</sup>, В.Н. Маричев<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup>Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН  
684034, с. Паратунка Камчатской обл., ул. Мирная, 7

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 14.03.2012 г.

Исследуются профили отношения рассеяния, полученные на лидарной станции ИКИР ДВО РАН (Камчатка) с 2007 по 2011 г. в холодные периоды октябрь–март. Полученные среднестатистические профили в мезосфере имеют выраженные максимумы на высотах 65, 69 и 75 км. Обнаружены отрицательные корреляции между средним отношением рассеяния и температурой в мезосфере во время стратосферных потеплений и в стратосфере в спокойные дни.

*Ключевые слова:* лидарные наблюдения, мезосфера, профили аэрозольного рассеяния, температура; lidar observations, mesosphere, aerosol scattering profiles, temperature.

### Введение

Проведенные в работе [1] оценки показывают, что обычное содержание паров воды в средней атмосфере примерно на 4 порядка меньше, чем необходимо для достижения точки росы. Столь низкое содержание паров воды в средней атмосфере является одной из причин широко распространенного представления о том, что на высотах больше 30 км аэрозоля мало, он мелкий и его невозможно обнаружить лидарными методами. Но в период наблюдений, проводившихся на лидарной станции в ИОА СО РАН г. Томска с 80-х гг. и по настоящее время, приборы нередко регистрировали повышенное светорассеяние в области высот 25–45 км в зимнее время.

Лидарные наблюдения на Камчатке проводятся с 2007 г. Всего с 2007 по 2011 г. получены данные по ~ 200 сеансам ночных лидарных наблюдений. В зимний сезон обнаружено регулярное появление повышенного аэрозольного рассеяния как в стратосфере, так и мезосфере, а в период с апреля по октябрь во всей области высот аэрозольное рассеяние выражено слабо либо отсутствует. Цель нашей работы заключается в выявлении характерных особенностей в структуре аэрозольных слоев средней атмосферы и в условиях их образования.

\* Василий Валентинович Бычков (vasily@ikir.ru); Борис Михайлович Шевцов; Валерий Николаевич Маричев (marichev@iao.ru).

### Среднестатистические характеристики аэрозольного рассеяния

Авторы работы [2] на основе статистического анализа более 10 000 наблюдений (за период с 1940 по 1980 г.) выявили наличие аэрозольных образований на высотах 20, 50, 65 и 75 км. На рис. 1, а представлены результаты обработки независимых реализаций данных сумеречных наблюдений, космических наблюдений (день), космических наблюдений (заря), прожекторных, самолетных и наземных измерений (значки 1–6 соответственно). Кривыми 7–9 обозначены теоретические аппроксимации данных, представленных в работе [2]. На кривых выделяются максимумы замутненности атмосферы  $\langle s \rangle$  (отношение коэффициента аэрозольного рассеяния к молекулярному) на высотах 20, 50, 65 и 75 км.

На рис. 1, б и 2, а, б представлены среднестатистические профили аэрозольного отношения рассеяния  $R$  (отношение суммы коэффициентов обратного аэрозольного и молекулярного рассеяния к молекулярному), полученные усреднением данных лидарных наблюдений на Камчатке за отдельные периоды.

Количество дней наблюдений указано в скобках. Обрабатывались профили отношения рассеяния, полученные с 2007 по 2011 гг. за период с октября по

март. Обычное время сеанса зондирования по каждому дню составляло 4 ч. Рисунки за другие периоды аналогичны и поэтому не приводятся.

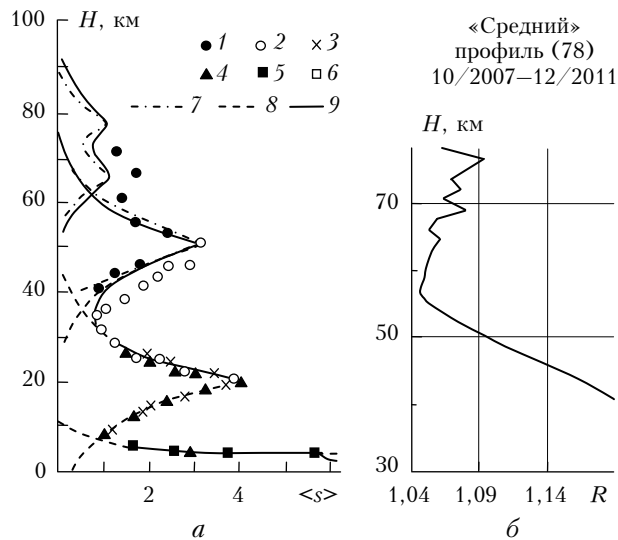


Рис. 1. «Среднестатистические» профили, полученные авторами [2] (а) и нами за холодный сезон по лидарным данным 2007–2011 гг. (б)

Согласно лидарным данным, на всех полученных за холодный сезон усредненных профилях выделяются слои на высотах 65–67,5 и 73–76,5 км. В период октябрь–декабрь 2009 г. (профиль не приводится) и 2011 г. (рис. 2, б) на высоте 69 км появлялся хорошо выраженный слой с отношением рассеяния  $R > 1,15$ , что нашло отражение на усредненном профиле (см. рис. 1, б), имеющем максимумы на высотах 65, 69 и 75 км. Слой на высоте 69 км в сезоны 2009 и 2011 гг. обычно появлялся в декабре. В остальные годы максимум на высоте 69 км выражен слабо (рис. 2, а) либо отсутствует.

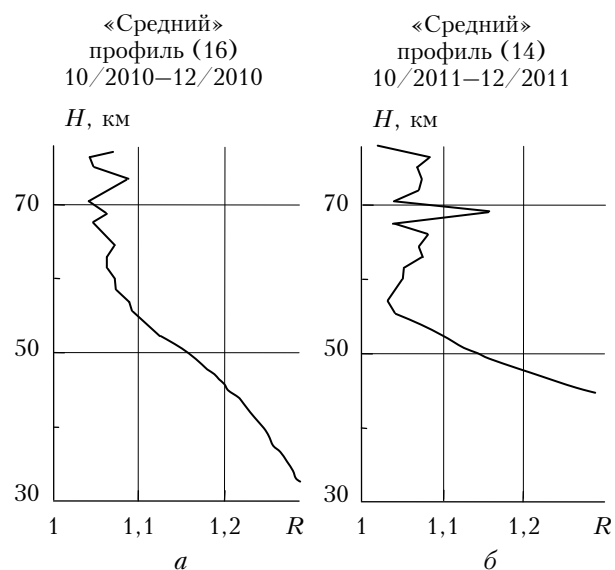


Рис. 2. «Среднестатистические» профили, полученные за холодный сезон по лидарным данным 2010 (а) и 2011 г. (б)

Наличие регулярного слоя на высоте 50 км лидарными наблюдениями на Камчатке не выявлено. Согласно результатам работы [3], по данным измерений телескопа, установленного на космической астрофизической станции «Астрон», слой этот существует «в районе экватора и средних широт». Появление протяженных по высоте слоев аэрозольного рассеяния в области 30–50 км подтверждается многолетними лидарными наблюдениями, проведенными в Томске [4].

Дополнительно были проведены исследования связи аэрозольной стратификации с вертикальным распределением температуры в атмосфере. Исследование выполняли по всем дням лидарных наблюдений с ноября 2007 по февраль 2011 г. за холодный период ноябрь–февраль, когда аэрозольные образования наиболее рельефны. В октябре и марте аэрозольное рассеяние выражено обычно слабо, и эти данные не включались в рассмотрение. Значения температуры, полученные по результатам измерений со спутника «Аура», использованы при расчете профилей отношения рассеяния.

Всего за этот период зарегистрировано 54 профиля отношения рассеяния. Из них были исключены 5 профилей, которые имеют anomalously большие (порядка 2–3) значения отношения рассеяния на высоте 30 км. Оставшиеся 49 профилей были разделены на две группы: 25 профилей, полученных во время стратосферных потеплений, и 24 профиля, полученные в обычных условиях. По каждой группе температура и отношение рассеяния усреднялись в двух интервалах высот: 24–50 и 50–72 км. Такое разделение примерно соответствует стратосфере и мезосфере. Среднее положение стратопазы над Камчаткой зимой равнялось 50 км.

Для обычных условий в области высот 24–50 км коэффициент корреляции между средней температурой и средним отношением рассеяния получился равным  $-0,75$  при доверительном интервале  $\{-0,593; -0,907\}$  и уровне значимости 0,1 по критерию Стьюдента. В области высот 50–72 км выявлены слабые корреляции с коэффициентом  $-0,4$ .

Для второй группы профилей, полученных во время стратосферных потеплений, в области высот 50–72 км коэффициент корреляции составил  $-0,71$  с уровнем значимости 0,1 в доверительном интервале  $\{-0,57; -0,93\}$ . В области высот 24–50 км корреляций не обнаружено. На рис. 3 приведена линия регрессии среднего отношения рассеяния на

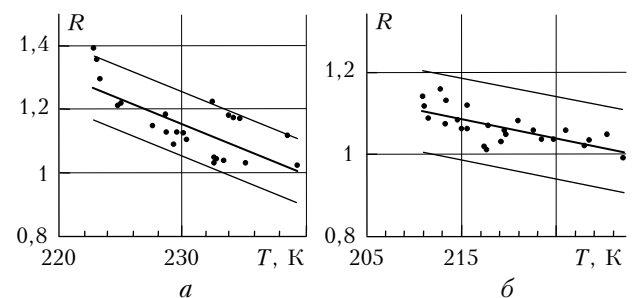


Рис. 3. Линия регрессии  $R$  на температуру  $T$  по слою 24–50 км в стратосфере в обычные дни (а) и 50–72 км в мезосфере во время стратосферных потеплений (б)

среднюю температуру, рассчитанную по точкам коррелянтов в доверительном интервале  $1\sigma$  для обеих групп профилей.

### Заключение

Таким образом, результаты пятилетних лидарных наблюдений на Камчатке подтверждают результаты спектрофотометрических наблюдений прошлого века о наличии среднестатистических мезосферных слоев на высотах 65 и 75 км. Регулярное появление слоя на высоте 50 км не обнаружено. Согласно лидарным данным, среднестатистические профили отношения рассеяния имеют минимум на высоте  $\sim 55$  км.

В работе [1] проведена оценка возможности конденсации паров воды в средней атмосфере и показано, что даже при понижении температуры на  $55^\circ$  по сравнению с модельными значениями конденсация паров воды не представляется возможной в связи с очень низким их содержанием во всей области высот от 30 до 80 км. Полученные корреляции показывают, что тем не менее понижение температуры является одним из факторов, вызывающих формирование аэрозольных слоев в средней атмосфере.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН (грант ДВО РАН № 12-1-П110-01), программы ОФН РАН (грант ДВО РАН 12-1-ОФН-16), гранта РФФИ № 10-05-00907-а, интеграционного проекта СО РАН № 106, Минобрнауки РФ (ГК № 16.518.11.7048 и 14.518.11.7053).

1. Бычков В.В., Пережогин А.С., Пережогин А.С., Шевцов Б.М., Маричев В.Н., Матвиенко Г.Г., Белов А.С., Черемисин А.А. Лидарные наблюдения появления аэрозолей в средней атмосфере Камчатки в 2007–2011 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 1. С. 88–93.
2. Розенберг Г.В., Мельникова И.Г., Мегрелишвили Т.Г. Стратификация аэрозоля и ее изменчивость // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1982. Т. 18, № 4. С. 363–372.
3. Черемисин А.А., Границкий Л.В., Мясников В.М., Ветчинкин Н.В. Дистанционное зондирование в ультрафиолетовом диапазоне аэрозольного слоя в окрестности стратосферы с борта космической астрофизической станции «Астрон» // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 11, № 10. С. 1111–1117.
4. Крученицкий Г.М., Маричев В.Н. Влияние глобальных геофизических процессов на изменчивость вертикального распределения озона, температуры и аэрозоля над Западной Сибирью // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 4. С. 294–298.

*V.V. Bychkov, B.M. Shevtsov, V.N. Marichev. Certain averaged-statistical characteristics of the occurrence of aerosol scattering in the middle atmosphere of Kamchatka.*

We study the scattering ratio profiles obtained from lidar station IKIR FEB RAS (Kamchatka) from 2007 to 2011, during the cold period October–March. Obtained average profiles in the mesosphere have maxima at heights of 65, 69, and 75 km. Negative correlations between the average scattering ratio and temperature in the mesosphere during a stratospheric warming, and in the stratosphere in the serene days are found.