

минимумами температуры, измеренными при пролете спутника в ночных условиях (4:00-5:00 Lt). Верхние значения температуры на графике получены в точках траекторий при пролете в дневное местное время, около 15:00-16:00 Lt. Точки измерения отобраны по критерию минимального расстояния от лидара и в таком виде дают представление о величине суточных вариаций температуры. Непосредственно по маркерам видно, что уже 17 июня наблюдаются пониженное ночное значение температуры равное 141.5°K, а 20, 22, 27 и 29 июня температура на высоте 87 км опускается ниже 140 градусов. Ход линии маркеров наглядно показывает, что в июне наблюдались два периода с ночными понижениями температуры ниже 140 градусов – с 17 по 22 и 27-29 июня. В первом случае были зарегистрированы области повышенного светорассеяния на высотах 80-87 км. Эти обстоятельства позволяют сделать заключение том, что наблюдавшиеся в период с 17 по 23 июня повышения отношения рассеяния в области 80-87 км не являются случайными флуктуациями аэрозольного содержания и соответствуют появлению на этих высотах полярных мезосферных облаков.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН №16, гранта РФФИ № РФФИ 07-05-00734а, программы ДВО РАН №06-II-CO-07-026

Литература

1. Hansen, G., Serwazi, M., and von Zahn, U.: First detection of a noctilucent clouds by lidar // GRL, 16, 1445-1448, 1989.
2. J. Fiedler, G. Baumgarten, G. von Cossart. Mean diurnal variations of noctilucent clouds during 7 years of lidar observations at ALOMAR // Annales Geophysicae, 23, 1175-1181, 2005.
3. Бычков В. В., Маричев В.Н., Пережогин А. С., Шевцов Б. М., Шумейко А. В. Динамика лидарных отражений в мезосфере Камчатки в период зимнего аномального поглощения радиоволн в ионосфере // Оптика атмосферы и океана. 2008, № 12, с. 1083-1087.
4. Бычков В. В., Пережогин А. С., Шевцов Б. М., Маричев В.Н., Новиков П.В., Черемисин А.А. Сезонные вариации аэрозольного наполнения стратосферы и мезосферы Камчатки по результатам лидарных наблюдений в 2007-2009 г. // Материалы V международной конференции “Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений”

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ АЭРОЗОЛЬНОГО НАПОЛНЕНИЯ СТРАТОСФЕРЫ И МЕЗОСФЕРЫ КАМЧАТКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛИДАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2007 – 2009 Г.Г.

SEASONAL VARIATIONS OF AEROSOL FILLING OF STRATOSPHERE AND MESOSPHERE OF KAMCHATKA BY RESULTS OF LIDAR OBSERVATIONS IN 2007-2009
Бычков В. В.¹, Пережогин А. С.¹, Шевцов Б. М.¹, Маричев В.Н.², Новиков П.В.³, Черемисин А.А.⁴

¹Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатского края,

²Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск.,

³Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ГОУ ВПО ИрГУПС в г. Красноярске

⁴Сибирский Федеральный Университет, Красноярск

By results of lidar observations carried out in 2007-2009 years in Kamchatka, the seasonal dynamics of aerosol distributions in the range 30-80 km is analysed. Double layered structure of aerosol appearance, located at 35-50 and 60-75 km was find out. The similarity and distinctions of aerosol distribution in Kamchatka with the West Siberian ones was established. The method of correcting lidar signals, allowing to restore dispersion ratio up to 80 km, is described.

Введение. Считается, что при высотах зондирования больших 30 км лидарные сигналы воспроизводят молекулярное рассеяние [1,2] и только в особых случаях, например при вторжениях больших комет, наблюдается слои аэрозольного рассеяния в верхней стратосфере и мезосфере [3]. Между тем, по данным лидарных наблюдений над Томском, обнаружено появление аэрозольного рассеяния в зимнее время на высотах 35-45 км [4]. В январе 2008 года, над Камчаткой обнаружено появление аэрозольных слоев над стратопавзой [5]. В настоящей работе представлены результаты анализа двухлетних лидарных наблюдений верхней стратосферы и мезосферы над Камчаткой.

Коррекция сигналов на последствие ФЭУ на мезосферных высотах. Как показали результаты обработки сигналов лидарной станции Камчатки в 2007-2009 годах, в измеренных сигналах, начиная с 60 км, прослеживается влияние последствия ФЭУ, что приводит к ложному росту отношения рассеяния. Рост влияния последствия ФЭУ обусловлен уменьшением сигналов молекулярного рассеяния, падающим в интервале высот 60 - 100 км на 3 порядка, в соответствии с экспоненциальным уменьшением плотности атмосферы. В связи с этим была разработана методика вычитания этой помехи.

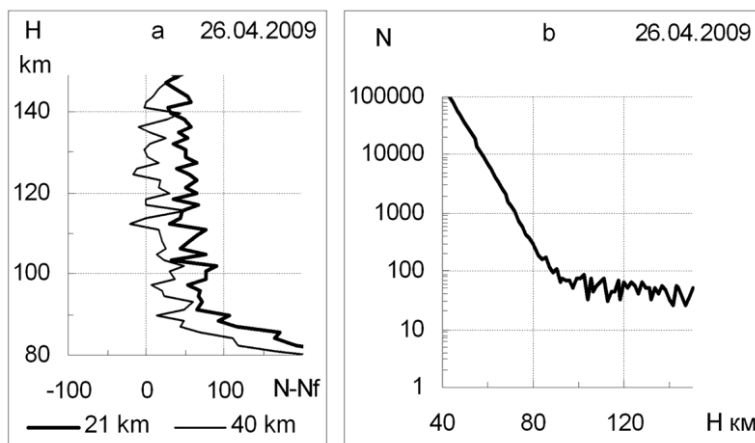


Рис. 1. Лидарные сигналы N_1 и N_2 , накопленные при запирании ФЭУ до 21 и 40 км, фон вычтен (а), сигнал N_1 в логарифмическом масштабе (б).

На рис. 1 представлены результаты специального эксперимента по оценке возможного последствия ФЭУ, проведенного 26 апреля 2009 года. На рис 1а приведены сигналы, накопленные при различных высотах запирания ФЭУ. Основной сигнал накапливался в течение 4 часов, число учтенных лазерных импульсов N_1 равно 134400, запираение ФЭУ устанавливалось до 21 км. В эту же ночь дополнительно были проведены двухчасовые наблюдения, с запираением ФЭУ до 40 км, число суммированных сигналов N_2 равно 66800. Из исходных сигналов вычтен фон, который определялся усреднением данных специальных синхронных измерений фонового сигнала. Как видно из рис. 1а, на высотах больших 80 км, на сигнале с отсечкой ФЭУ до высоты 21 км, отчетливо выделяется сигнал последствия ФЭУ. Использование логарифмической шкалы для интенсивности сигнала на рис. 1б, позволяет видеть, что в его высотной зависимости выделяются два линейных участка - на высотах более и менее 80 км. Для каждого из участков характерно экспоненциальное уменьшение сигнала при увеличении высоты. Характерный масштаб уменьшения для участка, расположенного на высотах меньших 80 км, равен примерно 6.5 км. Это значение хорошо соответствует средней высоте однородной атмосферы, которая варьируется в диапазоне высот 40-80 км от 6 до 8 км. Для второго участка характерный масштаб увеличивается больше чем на порядок и примерно равен 180 км. На этом участке сигнал определяется главным образом последствием ФЭУ.

Экспоненциальная зависимость сигнала последствия ФЭУ на высотах больших 90 км (рис. 1б) может наблюдаться, если последствие определяется только одним постоянным временем релаксации. Можно представить сигнал последствия I_t в виде:

$$I_t(h|h_0) = \int_{h_0}^h I(z)Q(h-z)dz, \quad (1)$$

где $I(z)$ – основная часть интенсивности сигнала с ФЭУ, пропорциональная падающему потоку излучения; h – высота (время) наблюдения, h_0 – высота запираения ФЭУ, Q – импульсная характеристика, описывающая последствие в линейном приближении.

Опуская промежуточные выкладки в связи с ограничением объема работы, используя приближенные выражения для Q и I , для высот превышающих, как высоту однородной атмосферы, так и высоту отсечки ФЭУ, можно записать следующее выражение для последствия:

$$I_t(h|h_0) = I_0 Q_0 H_0 1/h_0^2 \exp(-h_0/H_0) \exp[-h-h_0/H_\tau] \quad (2)$$

Это выражение можно интерпретировать следующим образом. На больших высотах величина сигнала последствия пропорциональна общей энергии сигнала, зарегистрированного ФЭУ на границе запираения устройства, и экспоненциально убывает с высотой с характерным масштабом равным H_τ . Дополнительные эксперименты показали, что на высотах 90-150 км сигнал последствия хорошо описывается простой экспоненциальной зависимостью:

$$I(h) = A \exp(-Bh) + C \quad (3)$$

По физическому смыслу C - это фоновый сигнал, который может быть измерен на временах зондирования, соответствующих большим высотам, а затем вычтен из исходного сигнала. Но в общем случае эта аппроксимация включает и фоновый сигнал, а параметры A , B и C оцениваются по экспериментальному сигналу на высотах 90-150 км на основе метода наименьших квадратов. Экстраполяция зависимости (3) вниз позволяет учесть сигнал последействия в исходном сигнале и на высотах меньших 90 км. Эта коррекция существенна для формы профилей отношения рассеяния в области высот больших 60 км.

На рис. 2а и 2б представлено отношение рассеяния, построенное по лидарному сигналу, полученному 26 апреля 2009 года при запирании ФЭУ до высоты 21 км, без коррекции (а), и с коррекцией (б) на последствие ФЭУ, с использованием аппроксимации (3). На рис. 2с приведено отношение рассеяния без коррекции на последствие ФЭУ, полученное по сигналу 26 апреля 2009 года с запиранием ФЭУ до высоты 40 км. В коррекции сигнала для этого профиля необходимости нет - применение процедуры коррекции не приводит к заметному изменению результата. Согласно формуле (2) и экспериментальным данным, представленным на рис. 1а, величина последействия существенно зависит от высоты запирания ФЭУ, и должна экспоненциально падать с увеличением высоты отсечки.

Последствие не обладает стабильными характеристиками. Высота, начиная с которой влияние последействия на профиль становится заметным на глаз, варьируется в зависимости от невыясненных параметров условий наблюдений. Например, многочисленными наблюдениями установлено, что использование светофильтра с шириной полосы пропускания 3 нм, вместо 0.5 нм, уменьшает эту высоту примерно на 10 км. При этом интенсивность сигнала в максимуме, на высоте осечки ФЭУ, увеличивается на 20-30%. По-видимому, эта высота определяется в каждый конкретный день соотношением между величинами сигнала, последействия и фонового сигнала.

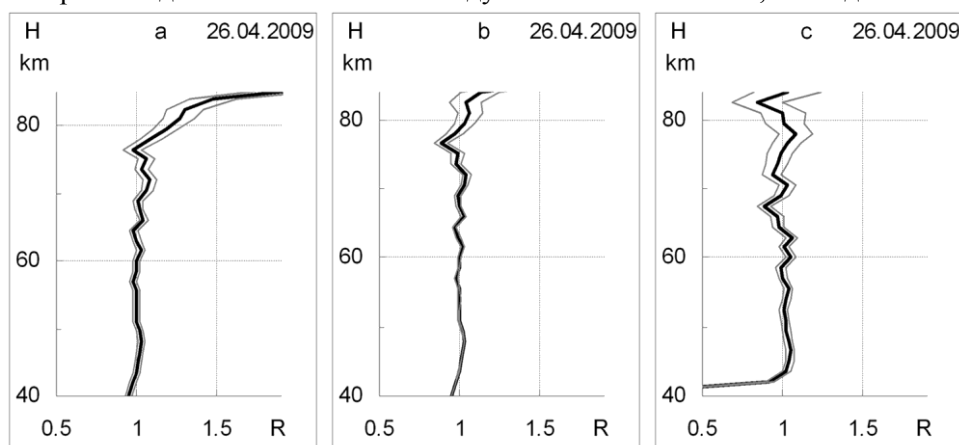


Рис. 2. Отношение рассеяния 26.04.2009 при запирании ФЭУ от сигналов ближней зоны до высоты 21 км (а) и 40 км (с), б – откорректированный сигнал для (а)

Результаты наблюдений. Всего за период с октября 2007 по декабрь 2009 года по погодным условиям было проведено 113 ночей наблюдений. Анализ результатов наблюдений позволяет выделить два периода, отличающиеся особенностями появления аэрозольных слоев в верхней стратосфере и мезосфере. Первый, летний сезон, длится с апреля по октябрь, второй, зимний, продолжается с ноября по март.

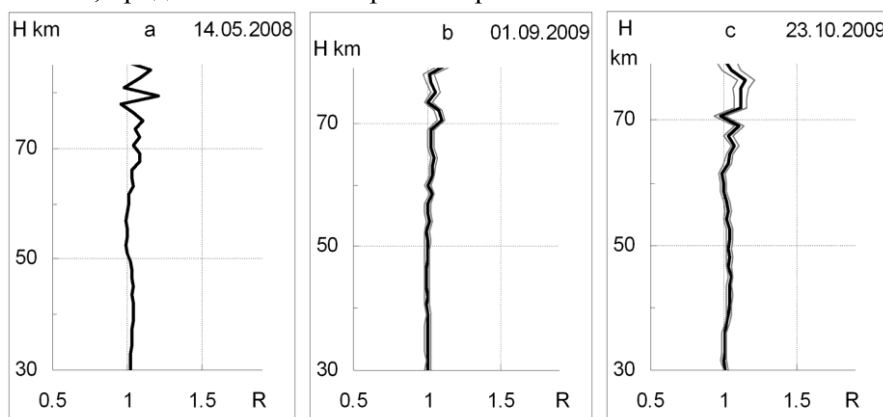


Рис. 4. Профили отношения рассеяния в верхней стратосфере и мезосфере, характерные для периода с апреля по октябрь

На рис. 4 представлены типичные профили отношения рассеяния, получаемые в период с апреля по октябрь 2008-2009 годов. Сентябрьские профиль $R(H)$ на рис. 4 а представлен без коррекции

сигнала на последствие ФЭУ. Для профилей рис. 4а, с применена коррекция на последствие с использованием аппроксимации (3). Для летнего сезона характерно сравнительно слабое проявление аэрозольного рассеяния во всей области высот от 30 до 80 км, отношение рассеяния в целом близко к единице. В зимний сезон, начиная с ноября, появляются выраженные слои аэрозольного светорассеяния в интервалах высот 30-50 и 60-75 км (рис 5). Относительная величина аэрозольного рассеяния может достигать особенно больших величин в области высот меньших 50 км. В декабре 2007 года во все 6 проведенных дней наблюдений получены профили такой же формы, как на рис 5а и 5b. Одна из причин специфичной годовой динамики стратификации аэрозоля в верхней стратосфере и мезосфере может быть связана с влиянием метеорологических факторов. Обращает внимание соответствие периода усиления аэрозольных слоев в верхней стратосфере и мезосфере Камчатки с временем существования арктического циркумполярного вихря, который на широте измерений и на высоте 50 км типично начинается в ноябре и продолжается до марта [7]. Обнаружена систематическая разница в концентрации различных составляющих, в частности водяных паров, внутри и вне циркумполярного вихря. Причем за счет ветровых сдвигов, вызываемых гравитационными волнами, возникает перенос между внутренней и внешней областями вихря [8]. Этот перенос приводит к повышению концентрации водяных паров в верхней стратосфере и нижней мезосфере внутри вихревой области. Циркумполярный вихрь подвержен и более мощным волновым возмущениям, которые вызывают стратосферные потепления. Январские профили, представленные на рис. 5с и 5d, получены во время стратосферного потепления. В связи со значительными отличиями температуры в эти периоды от модельных величин, профили рис. 5с и 5d рассчитаны с использованием данных температуры, измеренных спутником Аура, вместо данных NRLMSIS-00.

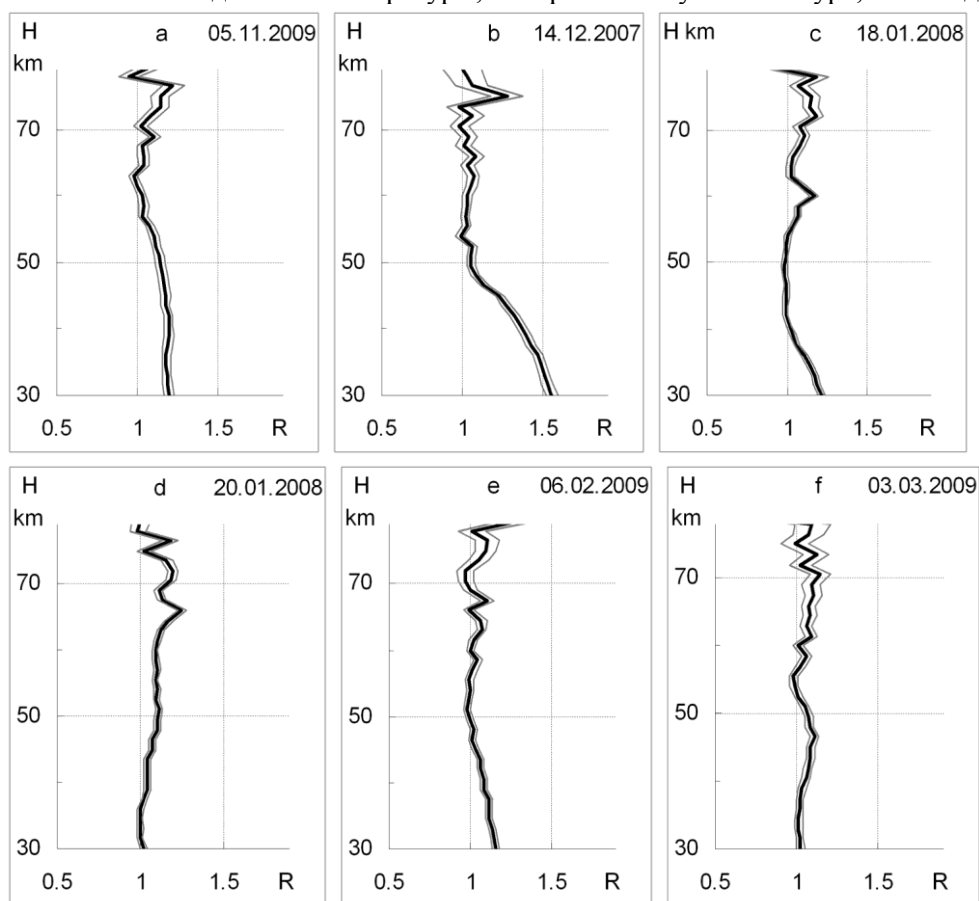


Рис. 5. Профили отношения рассеяния, характерные для зимнего сезона.

Другая причина аэрозольного наполнения верхней стратосферы в зимний период может заключаться в усилении процессов тропосферно-стратосферного обмена за счет турбулентной диффузии, поставляющей аэрозоль из области его богатого содержания – тропосферы, в стратосферу. Такая сезонная особенность динамики вертикального распределения аэрозоля в стратосфере подтверждается длительными лидарными наблюдениями, выполненными в Томске [9]. В этой работе отмечается, что характерной сезонной особенностью, так же как и на Камчатке, являлось отсутствие аэрозоля во всем слое стратосферы от поздней весны до ранней осени. А в период от поздней осени до ранней весны постоянно в нижней стратосфере регистрировалось ее

аэрозольное наполнение до высот около 30-35 км. Циркумполярный вихрь в нижней стратосфере над Томском начинает развиваться в октябре и разрушается в апреле, что, возможно, и определяет сезонность наблюдения аэрозоля. Вынос аэрозоля в зимний сезон до меньших высот, чем на Камчатке, вероятнее всего, обусловлен менее интенсивной турбулентной диффузией в этом регионе и в это время.

Закключение. Получены данные об аэрозольном рассеянии в верхней стратосфере и мезосфере над Камчаткой до высот 75-80 км. Показано, что при электронном записывании ФЭУ до высот 20 км необходима коррекция сигналов на последствие ФЭУ для высот больших 60 км, а при записывании ФЭУ до 40 км такой коррекции не требуется. На основе модельных оценок и специальных экспериментальных наблюдений показано, что коррекцию сигналов можно осуществить путем аппроксимации сигнала на высотах 90-150 км простой экспоненциальной зависимостью и последующего вычитания из исходного сигнала полученной регрессионной зависимости для суммы фонового сигнала и сигнала последствие.

Анализ результатов наблюдений за период с ноября 2007 года по декабрь 2009 года позволяет выделить два периода, отличающиеся особенностями появления аэрозольных слоев в верхней стратосфере и мезосфере. Первый включает летний сезон и охватывает период с апреля по октябрь. Второй, зимний сезон, длится с ноября по март. Показано, что для летнего сезона характерно отсутствие слоев с заметно повышенным светорассеянием во всей области высот от 30 до 80 км, в целом лидарные сигналы в этот сезон хорошо соответствуют релеевскому молекулярному рассеянию. С ноября начинают появляться возмущения в форме профилей, появляются области хорошо выраженного повышенного светорассеяния в мезосфере на высотах 60-75 км, и в верхней стратосфере на высотах 30-50 км, и вероятно ниже, до тропосферы. Возмущения достигают максимальных значений в декабре-январе, и в периоды стратосферных потеплений. С февраля начинается уменьшение этих возмущений, профили окончательно принимают форму, соответствующую летнему сезону в апреле. Выявлено сходство сезонных особенностей динамики стратификации аэрозоля в стратосфере Камчатки с другим регионом - Западной Сибирью (Томск).

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН №16, гранта РФФИ № РФФИ 07-05-00734а, программы ДВО РАН №06-П-СО-07-026

Литература

- 1 Kent G.S., Wright R.W.H. A review of laser radar measurements of atmospheric properties. // J. Atm. and Terr. Phys. - 1970. - V. 32. - N 5. - P. 917-943.
- 2 Poultney S.K. Laser radar studies of upper atmosphere dust layers and the relation of temporary increases in the dust to cometary micrometeoroid streams. // Space Res. - 1972. - V. 12. - P. 403-421.
- 3 Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. - М.: Мир, 1987. - 550 с.
- 4 Бычков В.В., Маричев В.Н. Образование водных аэрозолей в верхней стратосфере в периоды зимнего аномального поглощения радиоволн в ионосфере // Оптика атмосферы и океана. 2008, № 3. с. 248-255
- 5 Бычков В. В., Маричев В.Н., Пережогин А. С., Шевцов Б. М., Шумейко А. В. Динамика лидарных отражений в мезосфере Камчатки в период зимнего аномального поглощения радиоволн в ионосфере // Оптика атмосферы и океана. 2008, № 12, с. 1083-1087.
- 6 V. L. Harvey, R. B. Pierce, T. D. Fairlie, M. H. Hitchman. A climatology of stratospheric polar vortices and anticyclones//J. Geophys. Res. (2002), Vol. 107, D20, P. 4442-4464.
- 7 S. Lossow, M. Khaplanov, J. Gumbel, J. Stegman, G. Witt, P. Dalin, S. Kirkwood, F. J. Schmidlin, K. H. Fricke, and U. Blum. Middle atmospheric water vapour and dynamics in the vicinity of the polar vortex during the Hygrosonde-2 campaign // Atmos. Chem. Phys., Vol. 9, P. 4407-4417, 2009.
- 8 Маричев В.Н. Лидарные исследования вертикальной структуры аэрозоля в верхней тропосфере и стратосфере над Томском в 2008-2009 г. // Сборник трудов 16-го международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2009. С.622-626.