

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ  
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.510.385

**Учет импульсов последействия ФЭУ  
в лидарных сигналах средней атмосферы Камчатки**

**В.В. Бычков<sup>1</sup>, А.С. Пережогин<sup>1</sup>, Б.М. Шевцов<sup>1</sup>, В.Н. Маричев<sup>2</sup>,  
П.В. Новиков<sup>3</sup>, А.А. Черемисин<sup>4\*</sup>**

<sup>1</sup>*Институт космифизических 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>*Красноярский институт железнодорожного транспорта  
660000, г. Красноярск, ул. Ладо Кеңховели, 89*

<sup>4</sup>*Сибирский федеральный университет  
660062, г. Красноярск, пр. Свободный, 79*

Поступила в редакцию 23.06.2010 г.

Предложен метод коррекции лидарных сигналов для учета явления последействия фотоэлектронного умножителя. Показано, что такая коррекция лидарных данных на последействие позволяет увеличить интервал высот, в которых восстанавливается профиль отношения рассеяния. В лидарных данных, полученных в июне 2009 г. на Камчатке, коррекция позволила обнаружить пики обратного рассеяния лидарных сигналов с высот 80–87 км. Пики эти могут быть отождествлены с появлением на указанном интервале высот серебристых облаков, что подтверждается данными по температуре, понижавшейся 22 июня на высоте 87 км до 135 К.

*Ключевые слова:* лидар, последействие ФЭУ, стратосфера, мезосфера; lidar, aftereffect, photomultiplier tube, stratosphere, mesosphere.

### Введение

Как показали результаты обработки сигналов лидарной станции Камчатки в 2007–2009 гг., в измеренных сигналах, начиная с 60 км, прослеживается влияние последействия ФЭУ, что приводит к ложному росту отношения рассеяния. Рост влияния последействия 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. Процессы образования импульсов последействия описаны в работе [1]. По характеру возникновения они могут быть классифицированы по группам, с характерными временами задержки относительно основного импульса на время от десятков наносекунд до микросекунд и даже секунд [2]. Характер импульсов последействия в каждом конкретном ФЭУ определяется конструктивными материалами и технологией его изготовления, иначе говоря маркой ФЭУ. Следует отметить, что коррекция исходных сигналов

на последействие ФЭУ является обычной практикой лидарного зондирования, даже для существенно меньших высот [3, 4]. Известно также немало других работ на эту тему.

В работе [4] для исследования влияния импульсов последействия использовалась прямая заставка ФЭУ-130 короткими (300 нс) вспышками светодиода с последующей регистрацией сигнала с ФЭУ в течение 128 мкс. По результатам анализа накопленных данных (10<sup>5</sup> вспышек) был сделан вывод, что ряды значений импульсов последействия можно представить в виде суммы двух экспонент – быстрой и медленной. Для больших высот влияние быстрой компоненты несущественно, она пропорциональна самому сигналу и составляет от него 4%. Медленная компонента на больших высотах может составлять десятки процентов от сигнала. В настоящей статье предлагается альтернативный способ учета влияния импульсов последействия ФЭУ Hamamatsu-M8259-01, используемого на лидарной станции Камчатки.

### 1. Метод коррекции лидарных сигналов на последействие ФЭУ на мезосферных высотах

Описание лидарной станции Камчатки приведено в [5]. На рис. 1 представлены результаты

\* Василий Валентинович Бычков (vasily@ikir.ru); Андрей Сергеевич Пережогин; Борис Михайлович Шевцов; Валерий Николаевич Маричев (marichev@iao.ru); Павел Васильевич Новиков (novikov-pv@yandex.ru); Александр Алексеевич Черемисин (cher@akadem.ru).

эксперимента, проведенного 26 апреля 2009 г. по оценке влияния последствия ФЭУ. Основной сигнал накапливался в течение 4 ч. Запирание ФЭУ от сигналов ближней зоны устанавливалось до 21 км.

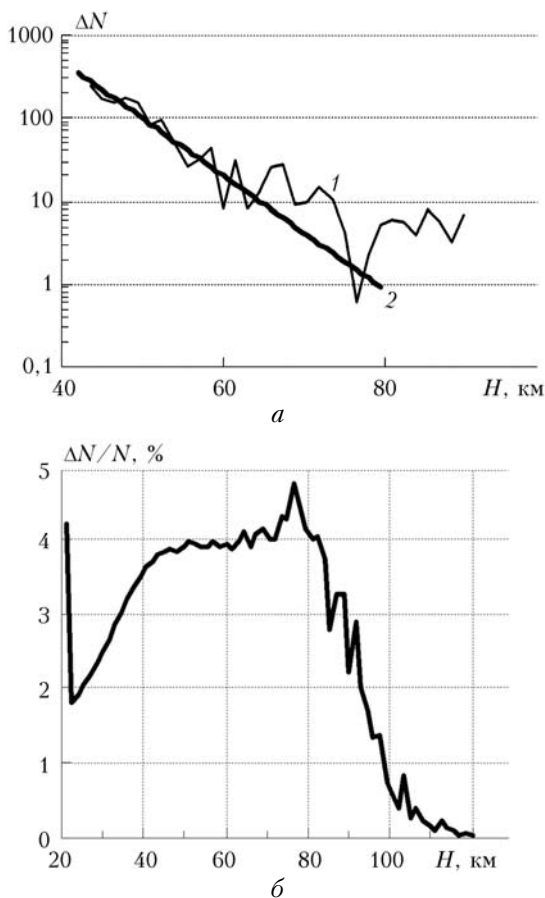


Рис. 1. Разница нормированных сигналов при запуске ФЭУ до 21 и 40 км (а) и относительная поправка к основному сигналу (б)

Дополнительно были проведены 2-часовые наблюдения, с запуском ФЭУ до 40 км. Смысл эксперимента заключался в том, что разница между основным сигналом, полученным при отсечке ФЭУ на границе, равной 21 км, и эталонным, с запуском

ФЭУ до высоты 40 км, не будет содержать сигналов молекулярного рассеяния. И экспонента, выделенная в этой разнице, может рассматриваться как последствие ФЭУ. Суммарные, основной и «эталонный», сигналы содержат разное количество накопленных единичных эхосигналов. Для проведения сравнения оба сигнала нормировались так, чтобы у них была размерность потока фотонов в единицах фотон/с.

Разница основного и дополнительного сигналов  $\Delta N$ , приведенная на рис. 1, а (кривая 1), на интервале высот 43–64 км может быть аппроксимирована формулой (линия 2)

$$\Delta N = 276587 \exp(-0,1586H), \quad (1)$$

где  $H$  – высота. Можно считать эту разницу как проявление импульсов последствия ФЭУ, полученных от засветок сигналами с высот 21–40 км. На рис. 1, б приведен график отношения поправки, вычисленной по формуле (1), к величине основного сигнала. Видно, что последствие сказывается во всем интервале высот от 20 до 120 км, но влияние его на основной сигнал незначительно – поправка к основному сигналу составляет 4% в интервале высот 40–80 км и достаточно резко падает до нуля после 80 км.

Откорректированный с использованием этой формулы профиль отношения рассеяния мало отличается от некорректированного. Корректировка практически не исправляет основного недостатка исходного профиля – общего роста отношения рассеяния на больших высотах. Причина объясняется рис. 1, б. В интервале высот 40–80 км поправка к сигналу составляет 4%, а в области высот больше 80 км резко уменьшается, поэтому вернемся к исходным сигналам за 26 апреля.

На рис. 2, а приведены сигналы, накопленные 26 апреля 2009 г. при высотах запусков ФЭУ 21 и 40 км.

В основном сигнале с запуском ФЭУ до 21 км число учтенных лазерных импульсов  $N_1$  равно 134 400. В дополнительном сигнале, с запуском ФЭУ до 40 км, число суммированных сигналов  $N_2$  равно 66 800. Фоновый сигнал вычтен. Дополнительный сигнал нормирован умножением на  $N_1/N_2$ .

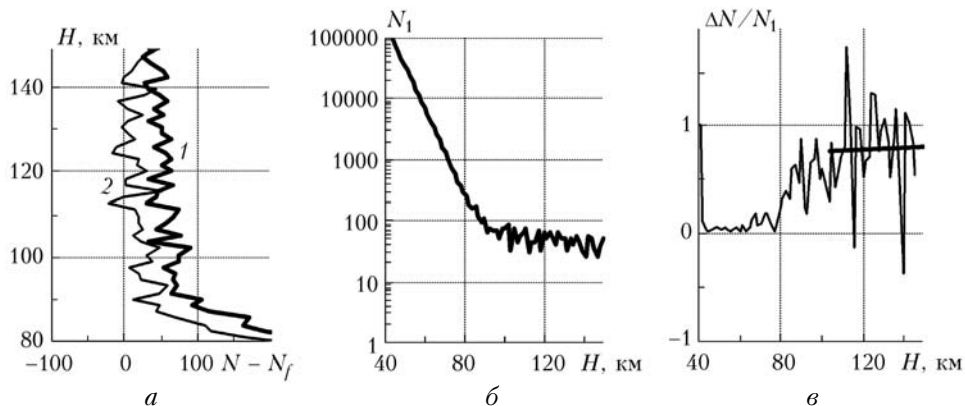


Рис. 2. Лидарные сигналы  $N_1$  и  $N_2$ , накопленные при запуске ФЭУ до 21 (кривая 1) и 40 км (кривая 2): фон вычтен (а); сигнал  $N_1$  в логарифмическом масштабе (б); отношение разности сигналов  $(N_1 - N_2)$  к основному сигналу  $N_1$  (в)

На рис. 2, в изображен график отношения разности сигналов к основному сигналу  $(N_1 - N_2)/N_1$ , построенный по экспериментальным данным, в то время как на рис. 1, б показана его аппроксимация, которую дает экспонента (1).

Если в области высот от 40 до 60–65 км значения относительной поправки примерно совпадают, значения  $\Delta N/N$  на рис. 2, в в этой области также равны примерно 0,04, то, начиная с 65 км, кривые рис. 1, б и 2, в ведут себя прямо противоположно. Экспериментальная величина относительной поправки начинает расти, приближаясь к единице, в то время как относительная поправка, аппроксимированная экспонентой, убывает. Рост экспериментальной относительной поправки понятен. Если разница сигналов есть последствие ФЭУ, то рост поправки означает, что сигнал ослабевает быстрее, чем импульсы последствия, и роль последствия начинает возрастать. И не удивительно, что вычитание экспоненты (1) не приводит к восстановлению профиля молекулярного рассеяния в области высот более 60 км. Поскольку фоновый сигнал мы вычли, то рост  $(N_1 - N_2)/N_1$  после высоты 100 км до значений, близких к единице, свидетельствует о том, что сигнал там состоит главным образом из последствия.

Как видно из рис. 2, а, на высотах больше 80 км на сигнале с отсечкой ФЭУ до высот 21 км отчетливо выделяется сигнал последствия ФЭУ. Второй сигнал также не вполне свободен от его влияния, хотя на высоте 110 км он практически выходит на нуль. Использование логарифмической шкалы для интенсивности сигнала с отсечкой ФЭУ до 21 км (рис. 2, б) показало, что в высотной зависимости сигнала 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 меньше 80 км, равен примерно 6,5 км. Это значение соответствует средней высоте однородной атмосферы, которая варьируется в диапазоне высот 40–80 км от 6 до 8 км. Для второго участка характерный масштаб увеличивается более чем на порядок и равен примерно 180 км. На этом участке сигнал определяется, главным образом, последствием ФЭУ.

Экспоненциальная зависимость сигнала последствия ФЭУ на высотах больше 90 км (рис. 2, б) может наблюдаться, если последствие определяется только одним постоянным временем релаксации. Представим сигнал последствия  $I_t$  в виде

$$I_t(H|h_0) = \int_{h_0}^H I(h)Q(H-h)dh, \quad (2)$$

где  $I(h)$  — основная часть интенсивности сигнала с ФЭУ, которая пропорциональна падающему потоку излучения;  $H$  — высота (время) наблюдения;  $h_0$  — высота записи ФЭУ;  $Q$  — импульсная характеристика, описывающая последствие в линейном приближении.

Используем приближенные выражения для  $Q$  и  $I$ . Согласно лидарному уравнению на больших высотах интенсивность сигнала пропорциональна коэффициенту обратного рассеяния и обратно пропорциональна квадрату высоты точки зондирования. Будем считать, что коэффициент обратного рассеяния определяется молекулярной плотностью. Далее пренебрежем различием температур на разных высотах. В этом приближении плотность атмосферы будет экспоненциально зависеть от высоты  $H$ :  $\rho(h) = \rho_0 \exp(-h/H_0)$ , где  $H_0$  — высота однородной атмосферы (const). Тогда для интенсивности сигнала можно записать следующее выражение:

$$I(h) = I_0 \exp(-h/H_0)/h^2.$$

По своему физическому смыслу импульсная характеристика определяет сигнал последствия в момент  $t$  от кратковременного импульсного воздействия в момент  $t'$ . В терминах времени релаксации импульсную характеристику для последствия во временной шкале можно представить в виде

$$Q(t-t') = Q_0 \exp[-(t-t')/\tau] \text{ при } t > t'$$

и

$$Q = 0 \text{ при } t < t',$$

где  $\tau$  — постоянная времени для последствия. В силу однозначного соответствия между высотой зондирования и временем распространения сигнала, при расчете последствия можно перейти от переменных  $t$  и  $t'$  к переменным  $H$  и  $h$ , т.е. записать

$$Q(H-h) = Q_0 \exp[-(H-h)/H_\tau].$$

Здесь  $H_\tau = \tau c/2$ ,  $c$  — скорость света. Подстановка  $Q$  и  $I$  в интеграл (2) дает выражение, содержащее интегральную показательную функцию.

Используя разложение этой функции, справедливое при больших значениях аргумента (для этого достаточно выполнения условия  $h_0/H^* \gg 1$ , где  $H^* = H_0 H_\tau / (H_\tau - H_0)$  — приведенная высота), получим приближенное выражение

$$\begin{aligned} I_t(H|h_0) &= I_0 Q_0 H^* \exp(-H/H_\tau) \times \\ &\times [(1/h_0^2) \exp(-h_0/H^*) - (1/H^2) \exp(H/H^*)] = \\ &= I_0 Q_0 H^* (1/h_0^2) \exp(-h_0/H_0) \exp[-(H-h_0)/H_\tau] \times \\ &\times \{1 - (h_0^2/H^2) \exp[-(H-h_0)/H^*]\}. \end{aligned} \quad (3a)$$

Как уже отмечалось, в области преобладания последствия ФЭУ прямая, интерполирующая интенсивность сигнала в логарифмической шкале (рис. 2, б), в области 40–80 км наклонена к оси высот значительно меньше, чем при 90–150 км. Это означает, что  $H_\tau \gg H_0$ , и вместо (3a) получаем следующее приближенное выражение:

$$\begin{aligned} I_t(H|h_0) &= I_0 Q_0 H_0 (1/h_0^2) \exp(-h_0/H_0) \times \\ &\times \exp[-(H-h_0)/H_\tau] \{1 - (h_0^2/H^2) \exp[-(H-h_0)/H_0]\}. \end{aligned} \quad (3б)$$

Условие больших значений аргумента интегральной показательной функции, при котором можно пользоваться выражением (3a) и (3б), в данном случае

примет вид  $h_0/H_0 \gg 1$ . Высота однородной атмосферы  $H_0$  равна примерно 8 км, поэтому на использованных значениях высоты записывания ФЭУ, в области верхней стратосферы, это условие выполняется достаточно хорошо. Когда сигнал наблюдается на высотах, значительно превышающих высоту отсечки  $h_0$ , при  $(H - h_0)/H_0 \gg 1$ , выражение (3б) еще более упрощается:

$$I_t(H|h_0) = I_0 Q_0 H_0 (1/h_0^2) \times \exp(-h_0/H_0) \exp[-(H - h_0)/H_\tau]. \quad (3в)$$

Это выражение можно интерпретировать следующим образом. На больших высотах величина последействия пропорциональна общей интенсивности сигнала, зарегистрированного ФЭУ на заданной границе записывания устройства, и экспоненциально убывает с высотой с характерным масштабом, равным  $H_\tau$ .

Если представим относительную поправку к сигналу в виде отношения сигнала последействия к сумме сигнала последействия и основного сигнала, то получим функцию

$$\begin{aligned} \Delta N/N &= \Delta I(H)/[I(H) + \Delta I(H)] = \\ &= I_0 Q_0 H_0 (1/h_0^2) \exp(-h_0/H_0) \exp[-(H - h_0)/H_\tau] / \\ &/ \{I_0 Q_0 H_0 (1/h_0^2) \exp(-h_0/H_0) \exp[-(H - h_0)/H_\tau] + \\ &+ I_0 \exp(-H/H_0)/H^2\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Эта величина ведет себя с ростом высоты  $H$  именно так, как в среднем меняется функция изображенная на рис. 2, в. Если сигнал заметно превышает последействие, отношение последействия к сигналу мало. Когда полезный сигнал уменьшается, отношение это начинает расти и при равенстве сигнала нулю становится равным единице. Мы провели целый ряд таких экспериментов, показавших, что на высотах 90–150 км сигнал последействия хорошо описывается простой экспоненциальной зависимостью, хотя априори можно было предпола-

гать, что последействие ФЭУ обусловлено несколькими процессами релаксации и должно описываться по крайней мере суммой экспоненциальных откликов с разными характерными временами. Таким образом, мы пришли к аппроксимации последействия ФЭУ, в области преобладания последействия над полезным сигналом, вида

$$I(H) = A \exp(-BH) + C. \quad (5)$$

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. Коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  находятся в результате минимизации функционала

$$\sum_{i1}^{i2} (I_i - A \exp(-B \Delta H i) - C)^2$$

по этим трем параметрам, где  $i1$ ,  $i2$  – номера отсчетов, соответствующие высотам 90 и 150 км,  $i$  – номер отсчета ФЭУ от запуска лазерного импульса;  $I_i$  – интенсивность сигнала;  $\Delta H$  – шаг зондирования,  $H = \Delta H \cdot i$  – высота. Экстраполяция зависимости (5) вниз позволяет учесть сигнал последействия в исходном сигнале и на высотах меньше 90 км. Эта коррекция существенна для формы профилей отношения рассеяния в области высот больше 60 км. Как показали оценки, использование более точной зависимости величины последействия ФЭУ (3б) не приводит к заметным дополнительным эффектам коррекции.

На рис. 3, а и б представлено отношение рассеяния, построенное по лидарному сигналу, полученному при записывании ФЭУ до высоты 21 км, без коррекции (а) и с коррекцией на последействие ФЭУ, с использованием аппроксимации (5) (б).

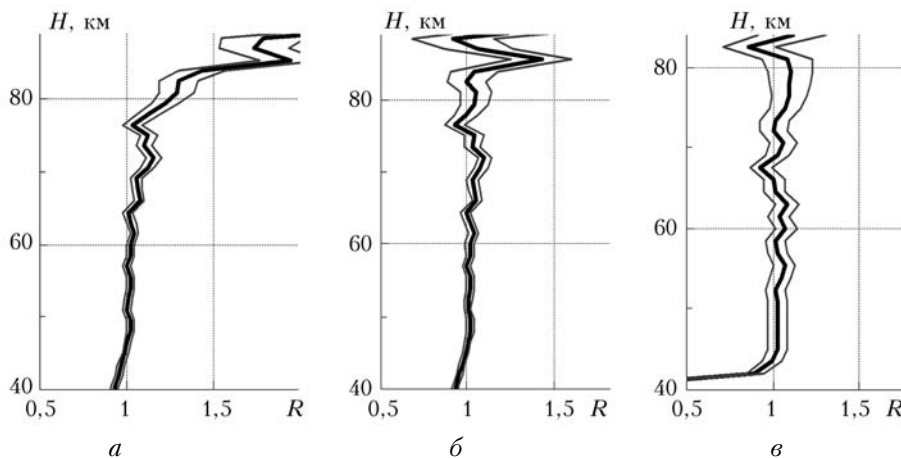


Рис. 3. Отношение рассеяния 26.04.2009 при записывании ФЭУ от сигналов ближней зоны до высоты 21 км (а) и 40 км (в); б – откорректированный сигнал для (а)

На рис. 3, в приведено отношение рассеяния без коррекции на последствие ФЭУ, полученное по сигналу с запирающим ФЭУ до высоты 40 км. В коррекции сигнала для этого профиля необходимости нет — применение процедуры коррекции не приводит к заметному изменению результата. Коридоры ошибок, представленные тонкими линиями для отношений рассеяния на рис. 3, а, в, построены как оценки среднеквадратических флуктуаций сигналов. Для коридора ошибок (рис. 3, б) дополнительно учтены статистические погрешности аппроксимации (5) методом наименьших квадратов. Время накопления сигнала на рис. 3, в примерно вдвое меньше, чем на рис. 3, б, поэтому коридор ошибок для него шире.

Согласно формулам (3б), (3в) и экспериментальным данным, представленным на рис. 2, а, величина последствия существенно зависит от высоты запирающего ФЭУ и должна экспоненциально спадать с увеличением высоты отсечки. Последствие не обладает стабильными характеристиками. Высота, начиная с которой влияние последствия на профиль становится заметным визуально, 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 10–15 км. По-видимому, эта высота определяется в каждый конкретный день соотношением между величинами сигнала, последствия и фонового сигнала.

Кроме того, экспериментально установлено, что для лидара Камчатки при использовании светофильтра с полосой пропускания 0,5 нм на полувисоте и высотах запирающего ФЭУ меньше 30 км последствие ФЭУ присутствует почти всегда. При отсечках на высоте 40 км им обычно уже можно пренебречь. Проведенные многочисленные проверки показывают, что предложенная методика коррекции исходного сигнала путем отыскания экспоненты в области 90–150 км и вычитания ее из исходного сигнала позволяет восстановить профиль отношения рассеяния до высоты около 75–85 км. При запирающем ФЭУ до высоты 40 км и более коррекция на последствие становится несущественной.

## 2. Стратосферные наблюдения

Предложенный метод корректировки сигналов на последствие оказался в полной мере применимым и для данных второго канала лидара, на котором проводятся синхронные контрольные измерения обратных сигналов в области высот 10–40 км. В связи с низким уровнем этого сигнала, полученного отражением нескольких процентов от основного светового потока, запирающее ФЭУ не производится, и высота, с которой начинают регистрироваться лидарные сигналы, равна примерно 5–6 км. Она определяется базой лидара (расстоянием между осями приемника и передатчика), равной 510 см.

Для примера на рис. 4 изображены профили отношения рассеяния, полученные 15 августа 2010 г. двумя регистраторами одновременно с одного телескопа для двух интервалов высот — 30–80 км (а) и 10–50 км (б).

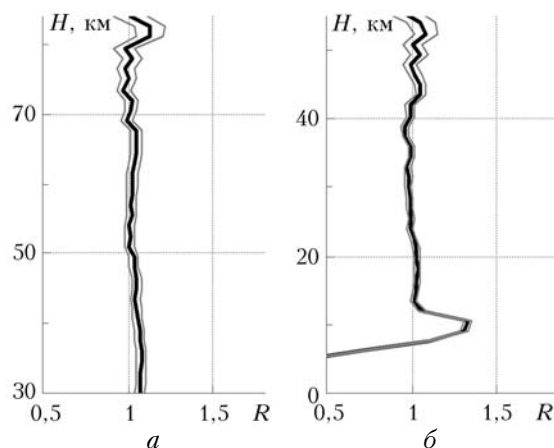


Рис. 4. Профили отношения рассеяния, полученные 15.08.2010 для областей высот 10–50 и 30–80 км

Оба сигнала откорректированы на последствие с использованием формулы (5). Отметим, что на полученном профиле отношения рассеяния (рис. 4, б) наблюдаются полное вхождение луча на высоте 9 км и повышенное значение отношения рассеяния. Максимум отношения рассеяния в этой области высот находился 15.08.10 на высоте 10,5 км или, возможно, ниже. По данным Гидрометцентра Петропавловска-Камчатского, тропопауза, определенная по минимуму профиля температуры, в этот день располагалась на высоте 12,6 км. И соответственно ниже тропопаузы такой максимум может наблюдаться и вызываться повышенной влажностью в этой области высот.

## 3. Наблюдения в области мезопаузы

По рассмотренной выше методике обработаны все лидарные сигналы, накопленные в ИКИР ДВО РАН с осени 2007 г. и по настоящее время. Процедура коррекции добавлена в программу обработки лидарных данных. Управляемым параметром в ней является диапазон высот, в котором отыскивается экспонента, наилучшим образом восстанавливающая профиль. На рис. 5 приведены восстановленные профили отношения рассеяния за 17, 22 и 23 июня 2009 г.

В процессе восстановления профилей отношения рассеяния по всем накопленным с 2007 г. данным лидара было обнаружено, что по причине отсутствия коррекции на последствие не было замечено появление серебристых облаков во второй половине июня 2009 г. Пик отношения рассеяния на высотах 80–87 км ранее был замаскирован общим ростом отношения рассеяния и не обнаруживался визуально. Пик отношения рассеяния на высотах 80–87 км сохранялся в течение как минимум недели.

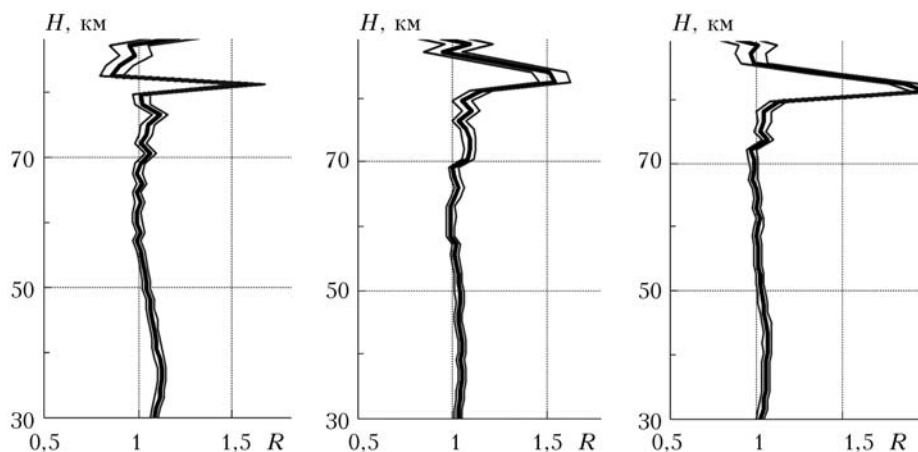


Рис. 5. Пики отношения рассеяния на высоте 80–87 км в июне 2009 г.

Одновременное понижение ночных значений температуры в области мезопаузы до 140 К 17 июня, 135 К 22 июня и 146 К 23 июня подтверждается данными спутника «Аура» (рис. 6).

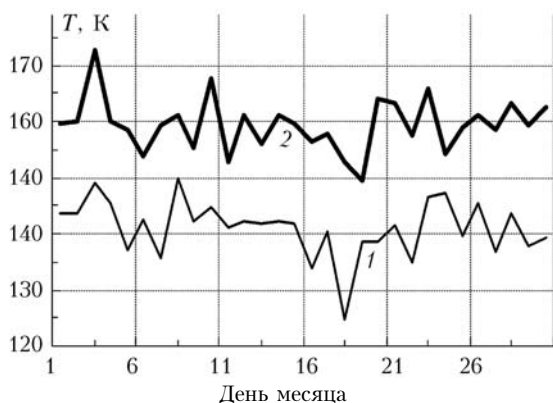


Рис. 6. Месячный ход ночных (кривая 1) и дневных (2) значений температуры за июнь 2009 г. на высоте мезопаузы по данным спутника «Аура»

Наименьшего значения (124 К) температура достигала ночью 18 июня. Для сравнения представлен ход дневных значений (кривая 2).

Таким образом, по совокупности имеющихся данных можно сделать вывод о наблюдении редкого явления — серебристых мезосферных облаков в июне (53° с.ш.) над Камчаткой (см. рис. 5). Появление серебристых облаков над Камчаткой было зарегистрировано 22 июня 2010 г. и подтверждено фотографиями, сделанными жителем Петропавловска Н. Мудреновым в 4.40 утра. Анализ астрономического календаря показал, что в момент съемки, когда Солнце находилось ниже горизонта примерно на 5°, наблюдались мезосферные облака.

### Заключение

Приведенные примеры показывают, что предложенная методика коррекции исходного сигнала путем отыскания экспоненты в области 90–150 км

и вычитания ее из исходного сигнала позволяет «продлить» профиль отношения рассеяния примерно на 15 км и даже более. Для лидара Камчатки удается таким образом восстановить профиль отношения рассеяния до высот около 75–85 км. Кроме того, этот метод также хорошо работает при корректировке исходных сигналов в области стратосферных высот. Полученные результаты качественно согласуются с результатами исследования последействия ФЭУ из работ [3, 4].

Предлагаемая нами процедура коррекции сводится к отысканию экспоненты, наилучшим образом восстанавливающей верхнюю часть профиля. Она выбирается в области, в которой начинается рост отношения последействия к сумме сигнала и последействия. Границы этой области могут меняться ото дня ко дню и определяются условиями прохождения сигнала, высотой отсечки ФЭУ, значением фонового сигнала. Часть сигналов последействия коррекции не поддается, но оказывает незначительное влияние на форму профиля. Описанная методика практически всегда работает при использовании светофильтра с шириной полосы пропускания 3 нм. При использовании светофильтра с полосой пропускания 0,5 нм иногда, в условиях очень хорошей летней погоды, профиль отношения рассеяния восстанавливается до высот, близких к 80 км без всяких коррекций. А дальше сигнал быстро ложится на фон, поэтому выделить вторую экспоненту на коротком отрезке довольно сложно.

С помощью этой методики в июне 2009 г. впервые на Камчатке удалось зафиксировать лидарными наблюдениями появление мезосферных серебристых облаков.

Работа выполнена в Институте космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН при поддержке программы Президиума РАН № 16, гранта РФФИ № 10-05-00907-а, программы ДВО РАН № 9-II-CO-07-001, Интеграционного проекта № 15 СО РАН и проекта Минобрнауки РФ АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.1/1333 (2011 г.).

1. Ветохин С.С., Гулаков И.Р., Перцев А.И. Одноэлектронные фотоприемники. М.: Энергоатомиздат, 1986. 161 с.
2. Зуев В.В. Лидарный контроль стратосферы. Новосибирск: Наука, 2004. 306 с.
3. Ельников А.В., Зуев В.В., Маричев В.Н. Влияние и учет импульсов последействия ФЭУ в лидарных сигналах аэрозольного и молекулярного рассеяния // Оптика атмосф. 1991. Т. 4, № 2. С. 201–209.
4. Кауль Б.В., Краснов О.А., Кузнецов А.Л. Коррекция лидарных сигналов на шум последействия ФЭУ // Оптика атмосф. 1990. Т. 3, № 11. С. 1226–1227.
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 атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 12. С. 1083–1087.

*V.V. Bychkov, A.S. Perezhgin, B.M. Shevtsov, V.N. Marichev, P.V. Novikov, A.A. Cheremisin.*

**Accounting for pulses of photomultiplier tube aftereffect in lidar signals of the Kamchatka middle atmosphere.**

The technique of correction of middle atmosphere lidar signals taking into account the aftereffect of photomultiplier tube is described. It was shown, that correction allowed to increase the height of dispersion ratio representation. By the results of lidar observations carried out in Kamchatka in summer 2009, a rare event for the latitude 53N was found out. During the week from June, 17 to June, 23 noctilucent clouds at the height of 80–87 km were detected. At the same time a considerable decrease of temperature in this area was registered in «Aura» satellite data. On June, 22 temperature of about 135 K degree was recorded at the height of 87 km.