

## АНОМАЛЬНЫЕ АЭРОЗОЛЬНЫЕ СЛОИ НАД ТОМСКОМ В ПЕРИОД ЛЕТО-ОСЕНЬ 2017 г.

<sup>1</sup>А.П. Макеев, <sup>1</sup>С.И. Долгий, <sup>2</sup>А.В. Ельников, <sup>1</sup>А.В. Невзоров, <sup>3</sup>Д.С. Ломов

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия  
map@iao.ru

<sup>2</sup>Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

<sup>3</sup>Томский государственный университет, Томск, Россия

## ANOMALOUS AEROSOL LAYERS OVER TOMSK IN SUMMER AND AUTUMN 2017

<sup>1</sup>A.P. Makeev, <sup>1</sup>S.I. Dolgii, <sup>2</sup>A.V. Elnikov, <sup>1</sup>A.V. Nevzorov, <sup>3</sup>D.S. Lomov

<sup>1</sup>V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia  
map@iao.ru

<sup>2</sup>Surgut State University, Surgut, Russia

<sup>3</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia

**Аннотация.** В докладе представлены результаты наблюдений на Сибирской лидарной станции ИОА СО РАН аномальных аэрозольных слоев на двух длинах волн (355 и 532 нм) в стратосфере над Томском, в летне-осенний период 2017 г., а также проведен траекторный анализ их движения. По результатам траекторного анализа движения воздушных масс источником этих аэрозольных слоев явились лесные пожары в районе оз. Атабаска в Канаде.

**Ключевые слова:** лидар, лазерное зондирование атмосферы, вертикальное распределение стратосферного аэрозоля.

**Abstract.** The report presents the results of observations at the Siberian Lidar Station of the IAO SB RAS anomalous aerosol layers at two wavelengths (355 and 532 nm) in the stratosphere over Tomsk, in the summer-autumn period of 2017, and also a trajectory analysis of their movement. According to the results of the trajectory analysis of the movement of air masses, the source of these aerosol layers was forest fires in the area of Lake Athabasca in Canada.

**Keywords:** lidar, laser sounding of the atmosphere, vertical distribution of stratospheric aerosol.

### ВВЕДЕНИЕ

Стратосферный аэрозоль (СА), представляющий собой 75 % водный раствор серной кислоты и находящийся в стратосфере в виде капель или замерзших кристаллов в зависимости от окружающей температуры, влияет на радиационные, динамические, химические процессы в атмосфере Земли [Асатуров, 1998; Гинзбург и др., 2008].

Эффективность влияния СА на различные атмосферные процессы определяется состоянием стратосферного аэрозольного слоя (САС). Факторы, определяющие состояние САС, могут иметь характер кратковременного мощного возмущения или постоянного, постепенно накапливающегося воздействия. Особенно ярко эффекты влияния СА проявляются после взрывных вулканических извержений, когда серосодержащие продукты выбрасываются через тропоплазу непосредственно в стратосферу и через серию фотохимических реакций преобразуются в сернокислотный аэрозоль, по своей массе в десятки раз превышающий массу фонового аэрозоля. Недавние исследования свидетельствуют о том, что продукты горения биомассы также являются важным источником стратосферного аэрозольного бюджета. Вызванная лесными или степными пожарами пироконвекция способна загрязнять стратосферу продуктами сгорания в масштабе полушария [Cammass et al., 2009; Fromm et al., 1999].

### МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ЗОНДИРОВАНИЯ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

При лазерном зондировании стратосферного аэрозоля определяемым параметром, является отношение рассеяния  $R(H)$  [Межерис, 1987; Ельников, и др., 1989].

Отношение рассеяния на любой длине волны, используемой при зондировании стратосферного аэрозоля, определяется методом калибровки лидарного сигнала по рэлеевскому рассеянию. Точка калибровки выбирается по минимальному значению лидарного сигнала на высотах 25–35 км, в предположении, что сигнал в этом минимуме определяется только рэлеевским рассеянием. Стратосферный аэрозольный лидар комплекса Сибирской лидарной станции (СЛС), предназначенный для измерения данного параметра стратосферного аэрозоля, представлен на рис. 1.

Базовым лазером аэрозольного лидара является Nd:YAG лазер — модель LS-2132T-LBO Минской фирмы «LOTIS ТП», работающий на длинах волн 532 и 355 нм (вторая и третья гармоники Nd:YAG лазера) с частотой следования импульсов генерации 20 Гц при энергии импульсов 100 и 40 мДж, соответственно. Излучение на двух длинах волн проходит коллиматор и направляется в атмосферу автоматизированным поворотным зеркалом (ПЗ 2). Оптические лидарные сигналы регистрируются приемным телескопом, который разработан по схеме Ньютона на основе зеркала диаметром 0.3 м. затем они поступают в кювету спектральной селекции (КСС), которая выделяет оптические сигналы на отдельных длинах волн зондирования. Для регистрации лидарных сигналов используются фотоэлектронные умножители (ФЭУ) фирмы Hamamatsu. Регистрация осуществляется в режиме счета импульсов фототока. Время накопления лидарных сигналов одного акта измерений составляет 40 мин. с пространственным разрешением 100 м. Ошибка измерений лидара — 3–6.5 % для высотного диапазона 10–30 км. Более подробно аппаратура стратосферного аэрозольного лидара СЛС представлена в работе [Матвиенко и др., 2016].

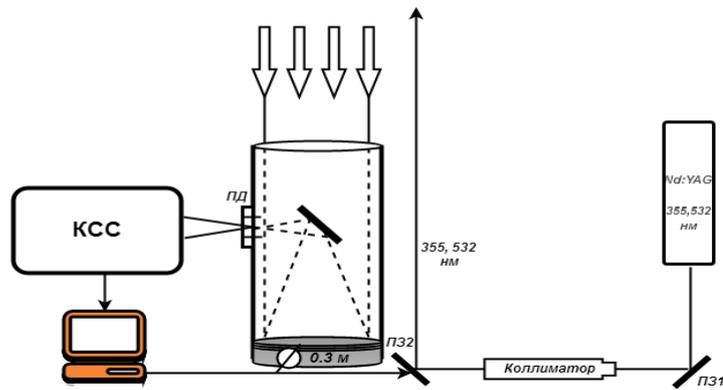


Рис. 1. Схема двухчастотного стратосферного аэрозольного лидара измерительного комплекса Сибирской лидарной станции: ПД — полявая диафрагма; Nd:YAG — твердотельный лазер; ПЗ 1 — поворотное зеркало, ПЗ 2 — автоматизированное поворотное зеркало; КСС—кювета спектральной селекции с блоками фотоэлектронных умножителей

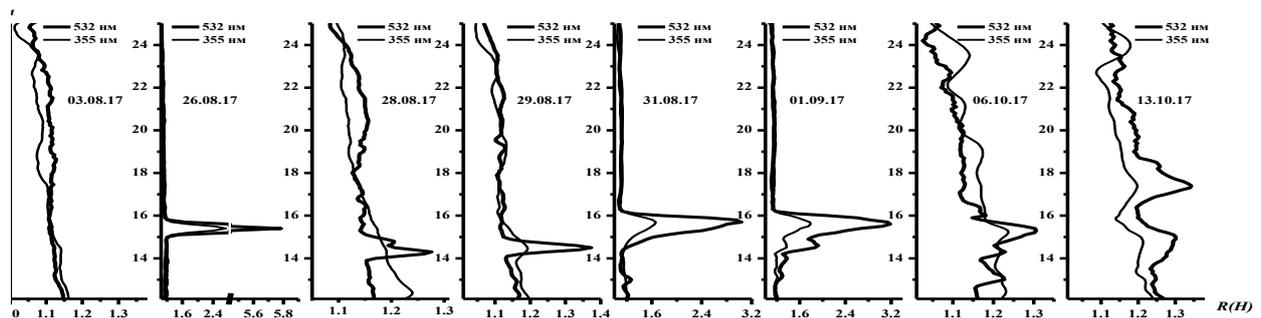


Рис. 2. Вертикальные профили  $R(H)$  для соответствующих дней на длинах волн зондирования 355 нм (тонкая линия) и 532 нм (жирная линия)

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Лидарный мониторинг стратосферного аэрозольного слоя (САС) над Томском в первом полугодии 2017 г. продемонстрировал установившееся после 2012 г. фоновое состояние аэрозольного наполнения стратосферы. Это состояние на рис. 2 иллюстрируется вертикальными профилями отношения рассеяния, полученными 03.08.17 на двух длинах волн 355 и 532 нм. Изменения имеют достаточно плавный характер и не превышают значений 1.2. Но результаты лидарного зондирования стратосферного аэрозольного слоя за 26.08.17 продемонстрировали, что это фоновое состояние было нарушено. В диапазоне высот 15–16 км наблюдался выраженный аэрозольный слой с существенными отличиями значений отношения рассеяния на зондируемых длинах волн:  $R(355)=2.8$ ;  $R(532)=5.8$  (на рис. 3, а они изображены с разрывом по оси абсцисс). В последующие дни (2–29.08.2017) значения отношения рассеяния аномального слоя стали значительно меньше, а сам аэрозольный слой регистрировался на меньших высотах (14–15 км). В наблюдениях 31.08.2017 и 01.09.07 этот аномальный слой проявился на той же высоте, что и 26.08.17, но занимал более широкий высотный диапазон (14–16 км), а значениями отношения рассеяния, практически, в два раза были меньше. Дальнейшие мониторинговые наблюдений свидетельствуют о наличии следов этих аномальных слоев в стратосфере над Томском и 13 октября 2017 г.

Для выявления источника наблюдаемых аномальных аэрозольных слоев над Томском из интернет ресурса [<https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/trajsrc.pl>]

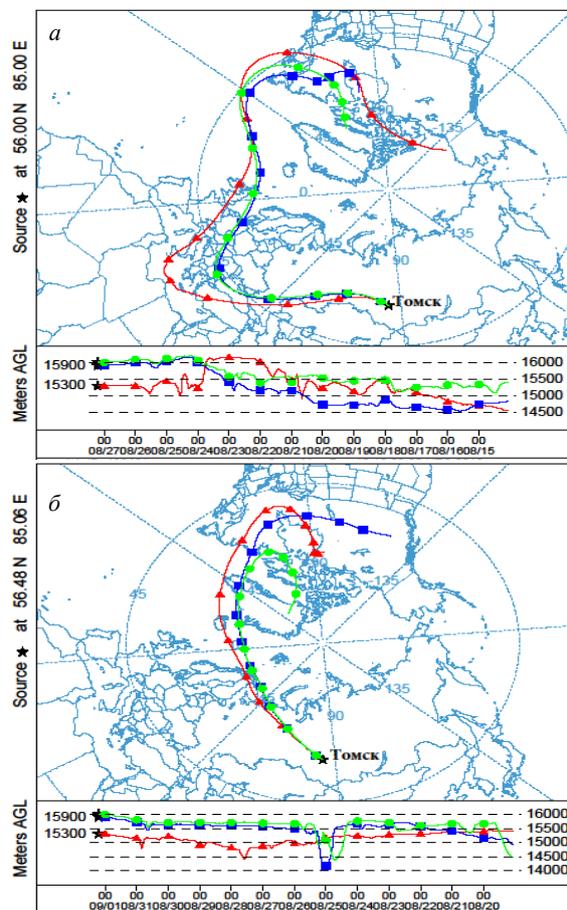


Рис. 3. Обратные траектории движения воздушных масс от Томска 26.08.2017 г. (а) и 31.08.2017 г. (б)

были построены обратные траектории переноса воздушных масс в атмосфере по моделям NOAA HYSPLIT рис. 3.

Построенные обратные траектории показали, что воздушные массы в Томске 26 и 31 августа 2017 г., были принесены из районов Северной Америки, где в течение августа бушевали мощные канадские лесные пожары. Эти пожары привели к возникновению нескольких пирокумулятивных облаков, подняв продукты горения выше тропопаузы в стратосферу, где они общим движением воздушных масс распространились по всему Северному полушарию. Это подтверждается результатами измерений, полученными при помощи приборов, установленных на спутнике Суоми [<https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2017/8/18/very-smoky-skies-persis-over-canada-and-now-new-en>], которые зарегистрировали 16 августа максимальное значение за все время наблюдений аэрозольного индекса 55.4. Последствия лесных пожаров в Канаде также регистрировались в стратосфере над Европой. На лидарной обсерватории Верхнего Прованса (Южная Франция) эти слои наблюдались 29 августа 2017 г. с локализацией на высотах: 10–13 км и на 18–20 км [Khaykin et al., 2018]. В стратосфере значениями отношения рассеяния оказались несколько большими ( $R_{355} \approx 3.0$ ,  $R_{532} \approx 8.0$ ), чем наблюдались на СЛС (рис. 2). Аэрозольные слои от пожаров в Канаде также были зафиксированы лидарными станциями в Лейпциге и Хоэнпайсенберге (Германия) и на обсерватории в Козетице (Чехия) 21–22 августа 2017 г. с локализацией на высотах: 5–9 км и 14.0÷16.5 км [Ansmann et al., 2017].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В августе–октябре 2017 г. на СЛС ИОА СО РАН были зафиксированы стратосферные аэрозольные слои невулканического происхождения, отношение рассеяния  $R(H)$  которых в максимуме на длине вол-

ны 532 нм достигало 5.8. Построенные обратные траектории движения воздушных масс показали, что источником этих аэрозольных слоев в стратосфере над Томском, явились канадские лесные пожары Северной Америки, которые имели место в середине августа. За счет пироконвекции продукты горения биомассы были подняты на стратосферные высоты и распространились по всему северному полушарию. Таким образом, наблюдаемые аэрозольные слои в стратосфере над Томском в конце лета и осенью 2017 г. — это продукты горения, вынесенные в стратосферу.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Асатуров М.Л. Влияние стратосферного аэрозоля на климат // Метеорология и гидрология. 1998. № 3. С. 5–12.
- Гинзбург А.С., Губанова Д.П., Минашкин В.М. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. LII, № 5. С. 112–119.
- Ельников А.В., Кавкянов С.И., Креков Г.М. Маричев В.Н. Процедура обработки сигналов лазерного зондирования стратосферы // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2, № 5. С. 537–540.
- Матвиенко Г.Г., Балин Ю.С., Бобровников С.М. и др. Сибирская лидарная станция: аппаратура и результаты. Томск. Изд-во ИОА СО РАН. 2016. 414 с.
- Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.
- URL: <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/trajsrc.pl>.
- URL: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2017/8/18/very-smoky-skies-persis-over-canada-and-now-new-en>.