ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ВЫПУСК 28, 35 – 39, 2020

Поступила в редакцию 16.11.2020 г.
Опубликована 12.12.2020 г.

ISSN 2304-7380

УДК 550.3

ВАРИАЦИИ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРКТИКЕ И НАБЛЮДЕНИЕ ШИРОТНЫХ ВАРИАЦИЙ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ МЕТОДОМ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С БОРТА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА

М.С. Иванов [1], В.Н. Кузьменко, Ю.Е. Беликов [1], С.В. Дышлевский [1], Г.Ф. Тулинов

[1]*Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Федорова, г. Москва, Россия*

В данной статье представлены методы исследования высоких слоёв атмосферы, методом лазерной локации, которые проводились в Центральной Арктике на о. Хейса. Представлен также метод зондирования атмосферы с помощью лидара на судовом аппаратурном комплексе в период перехода через экватор Атлантического океана.

Ключевые слова: ВЕРХНИЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ, МОЛЕКУЛЯРНОЕ РАССЕЯНИЕ, ЛАЗЕРНАЯ ЛОКАЦИЯ; ЛИДАРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ, ВЕРХНИЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ, МОЛЕКУЛЯРНОЕ РАССЕЯНИЕ.

1. ВВЕДЕНИЕ

С 1976 г. на о. Хейса (Земля Франца-Иосифа 80 ˚37 с.ш. 58˚ в.д.) проводятся работы по исследованию высоких слоёв атмосферы методом лазерной локации. Основная цель работ – изучение вариаций мезосферного натрия (70–100 км) в зависимости от метеорологических и гелиогеографических условий.

С декабря 1985 по апрель 1986 г. выполнялся 40-й антарктический рейс научно-исследовательского судна (НИС) “Профессор Зубов”. В период перехода через Атлантику к берегам Антарктиды и обратно впервые с борта судна были проведены исследования широтных вариаций стратосферного аэрозоля с помощью лидара, предназначенного для зондирования высоких слоёв атмосферы.

2. . ЗОНДИРОВАНИЕ ГЕНЕРИРУЕМЫМ ЛАЗЕРОМ И РАСЧЁТЫ ВЫСОТНЫХ ПРОФИЛЕЙ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ПО ДАННЫМ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Зондирование выполняется на длине волны 589.0 нм, генерируемой лазером на органическом красителе родамин 6ж с ламповой накачкой. Энергия в импульсе составляет 0.8–1.0 Дж, а частота повторения 0.25–0.5 Гц., толщина слоя опроса 1.2 км. Результирующая расходимость пучка 0.5 млрад. Диаметр главного зеркала приёмного телескопа 410 мм. Засветка ФЭУ в ближайшей зоне исключается

Электронная почта автора для переписки:
Иванов Михаил Сергеевич, e-mail: mi_ivanov@list.ru

ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.

путём использования механического обтюратора, обеспечивающего нижнюю границу наблюдений на высоте 10-15 км. Используемый аппаратурный комплекс наряду с резонансным рассеянием лазерного излучения на атомах Na позволяет регистрировать молекулярное и аэрозольное рассеяние на атмосферных компонентах до высот 35–40 км. Используя известное уравнение лазерной локации, барометрический закон высотного распределения компонент атмосферного воздуха, а также полагая в данном случае, что на высотах 15–30 км концентрация аэрозоля мала и регистрируемый сигнал представляет собой практически чисто молекулярное рассеяние, можно получить коэффициент аэрозольного рассеяния.

С декабря 1985 г. по апрель 1986 г. выполнялся 40-й антарктический рейс научно-исследовательского судна (НИС) “профессор Зубов” [5]. В период перехода через Атлантику к берегам Антарктиды и обратно впервые с борта судна были проведены исследования широтных вариаций стратосферного аэрозоля с помощью лидара, предназначенного для зондирования высоких слоёв атмосферы [1,2] зондирование атмосферы проводилось в ночное время на ходу судна, снабженного специальными успокоителями качки, при этом средняя скорость его движения составляла примерно 500 км в сутки.

Расчёты высотных профилей стратосферного аэрозоля выполнялись непосредственно на данных лидарного зондирования путём исключения из суммарного сигнала той его части, которая обусловлена молекулярным рассеянием [4]. Данные молекулярной компоненты обратного рассеяния проводился с использованием данных аэрологического радиозондирования, регулярно осуществляемого непосредственно с борта судна. В качестве параметра, характеризующего высотное распределение аэрозоля в стратосфере разных широт, использовался коэффициент аэрозольного рассеяния $K_{аэр} = (\rho - \rho_m)/\rho_m$, где ρ – нормированный по плотности воздуха на нижней и верхней границе отражённый лазерный сигнал, ρ_m – плотность воздуха.

3. ИЗМЕРЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

Предполагалось, что содержание аэрозоля на границах слоя на уровне тропопаузы и верхней границы пренебрежимо мало (верхняя граница выбиралась на высоте 30 км, а на экваториальных широтах поднималась до 35–38 км).

Резкое увеличение аэрозоля в районе экватора обусловлено извержением вулкана Руис в Колумбии. Основная эруптивная деятельность этого вулкана наблюдалась в ноябре 1985 г., а последние выбросы приходятся на декабрь, что и нашло своё отражение в наблюдаемой нами картине. Характерной особенностью декабрьского распределения вулканического аэрозоля является наличие 2-х максимумов на высотах около 25 и 22 км, при этом концентрация аэрозоля в них соответственно на 2 порядка и на порядок превышает фоновые значения. Спустя 4 месяца (апрель 1986 г.) верхний максимум практически полностью исчез, а нижняя граница распространяется вниз и вверх. Концентрация нижнего максимума осталась практически без изменения. Примерно аналогичная картина распределения и последующей динамики стратосферного аэрозоля наблюдалась при одном из самых мощных в последние годы извержений вулкана Эль-Чичон [3].

Из рисунков 2 и 3 видно, что область вулканического аэрозоля увеличилась по широте за 4 месяца с 10˚ до 30˚. Очевидно, что аэрозольный шлейф, по аналогии с вулканом Эль-Чичон, уже неоднократно обогнул земной шар. Таким образом, полученные результаты в полной мере соответствуют общим представлениям об эволюции в стратосфере продуктов вулканических извержений. Необходимо отметить, что при сравнении рисунков 1 и 2 (декабрь, апрель), стратосферный аэрозоль распространяется в обе стороны и достигает широт ± 60˚.

Для оценки изменчивости высотного распределения $K_{аэр}$ в Центральной Арктике за период с 1976 по 1984 гг. (рис.1) были выбраны результаты отдельных дней зондирования с непрерывными измерениями не менее целых суток (1976 – 62 день (2 марта); 1977 – 337; 1978 – 13; 1979 – 40; 1979 – 349; 1980 – 10; 1980 – 353; 1981 – 316; 1982 – 322; 1983 – 15; 1984 – 25). Горизонтальная черта на каждом профиле соответствует уровню, равному 1. Представлено изменение общего содержания (площадь профиля) стратосферного аэрозоля за указанный период со сводными данными низко-среднеширотных измерений коэффициента обратного рассеяния ($\beta\pi$), взятыми из работы [3].

© Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова

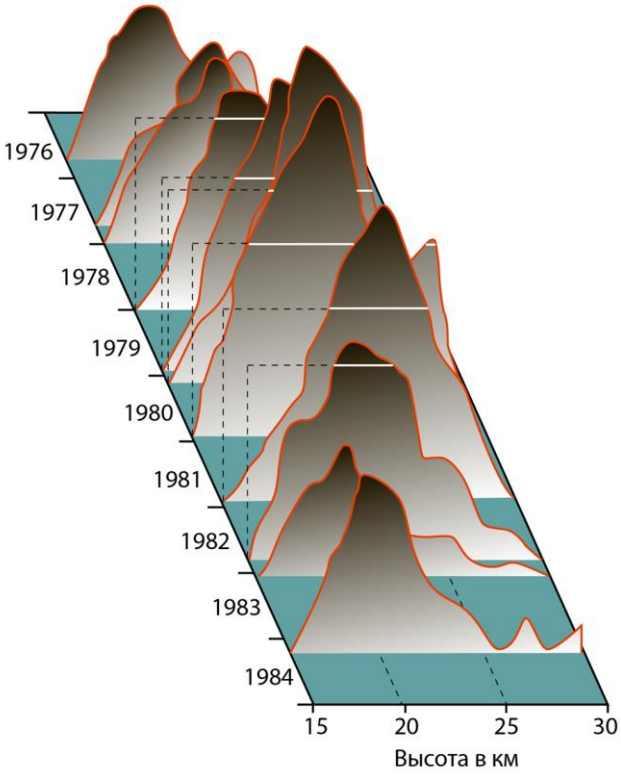

Рис. 1. Представлен высотно-широтный разрез вариаций стратосферного аэрозоля для второй половины декабря-начала января (1976-1984 гг.)

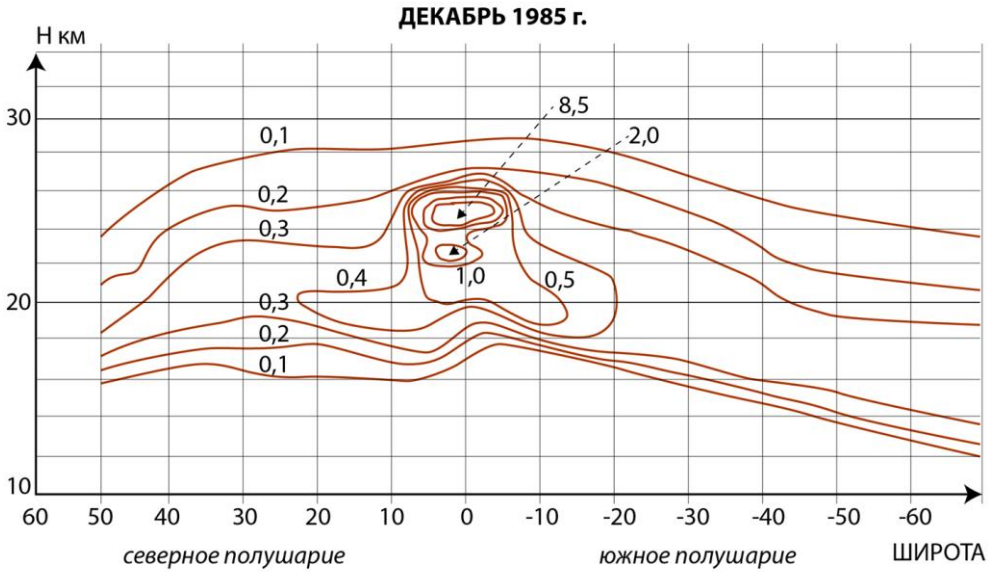

Рис. 2. Высотно-широтный разрез вариаций стратосферного аэрозоля для второй половины декабря-начала января (1985–1986 гг.)

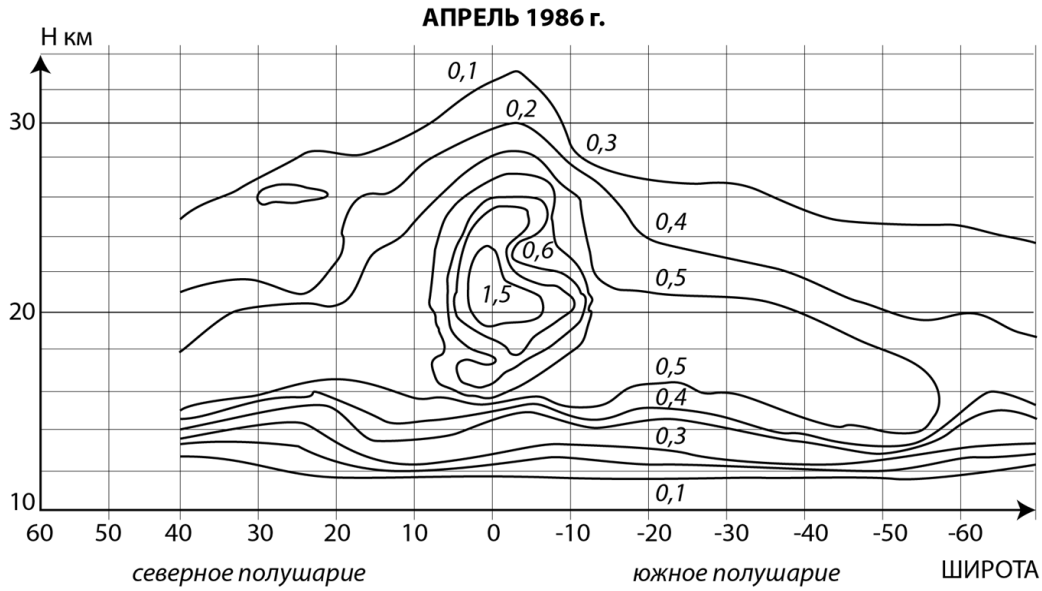

Рис. 3. Высотно-широтный разрез вариаций стратосферного аэрозоля спустя 4 месяца (апрель 1986 г.)

Основные вулканы, извержения которых увеличивают концентрацию стратосферного аэрозоля, это вулкан Сент-Хеленс (максимальный выброс произошел 18 мая 1980 г.), Аланд (Остров Атласов, Курильские острова с 1970 – 1986 гг.), Эль-Чичон (Мексика, мощное извержение в 1982 г.), неизвестный вулкан Килауэа (извержение 1983 г., высота 580 м, высота над уровнем моря 1247 м).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, что вариации общего содержания аэрозоля в арктической стратосфере в целом согласуются с эффектами вулканической деятельности, степень влияния конкретных вулканических извержений на арктическую стратосферу требует дополнительных исследований. Настоящая работа, помимо научного интереса, демонстрирует возможности эффективного использования лидаров в качестве судовых аппаратурных комплексов, которые в перспективе существенно дополнят сеть стационарных лидарных установок. В перспективе предполагается уточнить полученные данные, повысив их надёжность за счет исключения нормировки на высоте 15 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тулинов Г.Ф., Дудоладов Ю.П., Образцов М.В., Шанэн М.Л., Межи Ж.* Лазерное зондирование верхней атмосферы Центральной Арктики. //Доклады АН СССР. 1976. Т. 230, № 4, С. 819-821
2. *Тулинов Г.Ф., Дудоладов Ю. П., Шанэн М.Л., Межи Ж.* Техника и результаты лазерного зондирования верхней атмосферы полярной области. //Ионосферные исследования 1982. № 32. С. 104-112.
3. *Асатуров М.Л., Будыко М.И., Винников К.Я и др.* Вулканы, стратосферный аэрозоль и климат Земли – Ленинград. Гидрометеоиздат. 1986. 256 с.
4. *Тулинов Г.Ф., Дудоладов Ю.П., Иванов М.С. и др.* Лидарный аппаратурный комплекс для исследования верхних слоев атмосферы. Стр. 117. Тезисы докладов. В кн.: Пятое Всесоюзное совещание по исследованию динамических процессов в верхней атмосфере Земли. (Обнинск, нояб. 1985 г.). Тез. докл. - Обнинск: б. и., 1985. 142 с.
5. Аппаратурный лидарный комплекс на НИС “Профессор Зубов" для исследования высоких слоёв атмосферы. Серия “Приборы и оборудование ВДНХ”. Гидрометеоиздат. 1987 г.
6. *Кароль И.Л.* Радиационные эффекты продуктов извержения вулкана Эль-Чичон. Метеорология и гидрология. № 3. с. 102-104. 1984

© Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова

VARIATIONS OF STRATOSPHERIC AEROSOL BY LASER LOCATION IN THE CENTRAL ARCTIC AND OBSERVATION OF LATITUDINAL VARIATIONS OF STRATOSPHERIC AEROSOL BY LIDAR SENSING FROM A RESEARCH VESSEL

Ivanov M. S., Kuzmenko V. N., Belikov Yu. E., Dyshlevsky S. V., Tulinov G. F.

This article presents methods for studying the stratospheric and mesospheric layers by laser sounding, which were conducted in the Central Arctic on Heiss Island, Franz Josef Land, Russia. A method and the results of the vertical atmospheric sounding by a shipboard research equipment lidar during the Atlantic equatorial crossing by the scientific research vessel 'Professor Zubov' are also presented.

KEYWORDS: UPPER ATMOSPHERE, MOLECULAR SCATTERING, LASER RANGING; LIDAR SOUNDING, UPPER ATMOSPHERE, MOLECULAR SCATTERING.