

УДК 551.521.3 (575.2) (04)

АЭРОЗОЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЕРЕНОС РАДИАЦИИ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

Л.Г. Свердлик – зам. директора ЛСТ КРСУ

Modern data, characterizing influence of the atmospheric aerosol on climate change on base calculation direct and indirect aerosol radiative influence, and need of the regional experimental studies of the aerosol characteristics are brought. Short characteristics of multi-wavelength laser sensing as one of the methods of the remote measurement aerosol parameter marketed on Lidar Station Teplokluchenka in Central Asia is given.

Проблема существенно возрастающего, особенно в последние годы, аэрозольного загрязнения воздушного бассейна становится актуальной для многих регионов Земли. В значительной степени это относится к Азиатскому континенту, где загрязнение тропосферы в виде коричневого газа (АВС) простирается над большей частью континента в течение продолжительного сухого сезона (с ноября по май). Концентрация тропосферного аэрозоля в атмосфере, как показано в ряде работ [1–3], возрастает вследствие увеличения антропогенных выбросов частиц и газов (включая сжигание ископаемых видов топлива и биомассы). Вместе с прогрессирующим иссушением внутренних районов Азии, в результате которого ежегодно поднимаются в воздух миллионы тонн пыли, распространяющейся на большие расстояния и оседающей на подстилающей поверхности, это оказывает негативное воздействие на окружающую среду и жизнедеятельность миллионов людей. Кроме того, установлено, что, являясь оптически активным компонентом атмосферы, аэрозоль в значительной степени влияет на ее радиационный баланс, которому отводится важная роль в формировании климата Земли. Наиболее существенное в отношении климатических изменений радиационное влияние аэрозолей происходит двумя

различными путями, а именно: 1 – прямое влияние, при котором аэрозоли сами рассеивают и поглощают солнечное и тепловое инфракрасное излучение; 2 – косвенное влияние, когда аэрозоли видоизменяют микрофизические и, соответственно, радиационные свойства облаков и их количество [1].

Главная задача, связанная с изучением воздействия аэрозоля на климат, состоит в учете его влияния на перенос коротковолновой и длинноволновой радиации, вызванного региональными и глобальными вариациями содержания и состава аэрозоля в атмосфере. Большая часть аэрозолей находится в слоях нижней тропосферы (на высоте до нескольких километров), подвергаясь химическим и физическим изменениям. Появившиеся в атмосфере частицы вовлекаются в процессы переноса и перемешивания, удаляются из атмосферы, а также участвуют в процессах внутриатмосферной трансформации. Вследствие короткого времени пребывания в атмосфере (как правило, в течение одной недели) и неоднородности источников аэрозоли распределяются в тропосфере неравномерно, при этом их максимальное количество остается около источников. Различающиеся по величине и диапазону изменений уровни загрязнения атмосферы в различных районах отражают региональные

особенности основных процессов образования аэрозолей. Радиационное воздействие, связанное с аэрозолями, зависит не только от этой изменчивости пространственного распределения, но также и от размера, формы и химического состава частиц, а также от различных аспектов (например, образования облаков) гидрологического цикла. Учитывая наличие всех этих факторов пространственно-временной изменчивости, возникает сложность в получении точной оценки этого воздействия как с теоретической точки зрения, так и с точки зрения применения данных экспериментальных наблюдений.

Прогресс, достигнутый в области проведения наблюдений и работы с моделями аэрозолей и излучения, позволил получить количественные оценки диапазона прямого радиационного воздействия отдельных компонентов [2, 3]. Прямое радиационное воздействие, согласно оценкам, составляет $-0,4 \text{ Вт/м}^2$ для сульфатов, $-0,2 \text{ Вт/м}^2$ для аэрозолей от сжигания биомассы, $-0,1 \text{ Вт/м}^2$ для органического углерода от сжигания ископаемых видов топлива и $+0,8 \text{ Вт/м}^2$ для аэрозолей в виде черного углерода (сажа) от сжигания ископаемых видов топлива. Однако при этом остаются сравнительно большие неопределенности. Это связано с трудностями в определении концентраций и радиационных характеристик аэрозолей в атмосфере и доли аэрозолей, имеющих антропогенное происхождение, в частности, определение источников углеродистых аэрозолей. Это ведет к значительным расхождениям (в 2–3 раза) в определении нагрузки и к значительным расхождениям в определении вертикального распределения аэрозоля (в 10 раз). Данные наблюдений со спутников вместе с результатами расчетов с помощью моделей дают возможность идентифицировать общее аэрозольное радиационное влияние при безоблачной атмосфере, однако количественные показатели при этом все еще остаются неопределенными.

К числу ключевых климатообразующих факторов относятся сложные процессы взаимодействия аэрозоля с облаками, существенно влияющие как на динамику облачного покрова, так и на аэрозоль. Согласно имеющимся оценкам, под влиянием частиц аэрозоля происходят изменения микрофизических характе-

ристик, оптической толщины, альбедо и главное водосодержания (водности) облаков, составляющее 15–20% [1, 2]. Основное воздействие поглощающего и рассеивающего радиацию аэрозоля состоит в уменьшении поступления воды к облакам, обусловленное происходящим под влиянием аэрозоля снижением температуры подстилающей поверхности. Оценки косвенного радиационного воздействия под влиянием антропогенных аэрозолей и полученные в ходе многочисленных наблюдений свидетельства указывают на отрицательное косвенное воздействие под влиянием аэрозолей в теплых облаках, образующихся над верхней границей пограничного слоя атмосферы (от $0,0$ до $-4,8 \text{ Вт/м}^2$) [1, 4]. Региональные статистические данные свидетельствуют о том, что, как правило, существует положительная корреляция между оптической толщиной облачности нижнего яруса, количеством облаков и общим содержанием аэрозоля в атмосфере. Использование подобных корреляционных связей приводит к оценке среднеглобального косвенного воздействия аэрозоля в пределах от $-0,6$ до $-1,2 \text{ Вт/м}^2$ [4].

Суммарное, обусловленное аэрозолем отрицательное радиационное возмущающее воздействие сравнимо по величине с положительным “парниковым” воздействием (около $4,3 \text{ Вт/м}^2$), которое должно возникнуть при удвоении концентрации CO_2 . Главное отличие здесь заключается в том, что действие парниковых газов, как известно, распределено глобально, в то время как аэрозольно-радиационное – регионально. Другое отличие состоит в том, что отрицательное действие аэрозоля на подстилающей поверхности и положительное в атмосфере (поглощение солнечного излучения черным углеродом), способствует, в частности, несимметричному перераспределению коротковолновой радиации между атмосферой и сушей.

Оценки показывают [5], что даже если содержание в атмосфере кристаллического углерода составляет всего несколько миллионов долей его содержания в форме углекислого газа, а продуктивность процессов его образования существенно меньше продуктивности источников углекислого газа, то это может привести к несравненно большей эффективности сажевых частиц в радиационных процессах,

чем углекислого газа, которому приписывают особо важную (и, несомненно, неоправданно преувеличенную) роль в климатологии. Это обусловлено тем, что поглощение сажевыми частицами является малоселективным и относится ко всему широкому диапазону излучения Солнца от 0,3 до 3–4 мкм, а не только к узкой полосе поглощения углекислым газом. Малоселективное коротковолновое поглощение аэрозолями, как оказалось, связано в основном с существованием отдельной субмикронной фракции из частиц сажи. Остальные фракции аэрозоля играют в его коротковолновом поглощении заведомо второстепенную роль, т.е. радиационное и климатологическое влияние аэрозоля целиком связано с его сажевой компонентой.

Известное всем утверждение о превалирующей роли увеличения антропогенного углекислого газа на потепление климата ныне, по данным последних исследований, не совсем очевидно. Так, например, в соответствии с [6], углекислый газ антропогенного происхождения в глобальном углеродном цикле занимает малые доли процента. Рост же CO_2 в последние годы в атмосфере, скорее всего, является следствием действительно наступающего очередного естественного цикла потепления или потепления за счет антропогенной деятельности, не имеющей связи с выбросами углекислого газа. Во всех известных обоснованиях о ведущей роли в потеплении климата CO_2 совершенно не учитывается вклад аэрозолей различного антропогенного происхождения, в том числе антропогенных паров воды – главного парникового газа, ответственного за 78% парникового эффекта, хотя выбросы CO_2 в последние годы составляют $0,023 \cdot 10^{12}$ т в год, а антропогенные перемещения воды превышают $6 \cdot 10^{12}$ т в год [5].

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о сложности природы воздействия аэрозоля на климат и необходимости комплексного подхода к решению этой проблемы. Отсюда очевиден вывод о важном новом этапе в понимании и количественной оценке роли атмосферного аэрозоля как климатообразующего фактора и осознание ее критически существенного значения в формировании современных изменений климата, о необходимости проявления в ближайшие годы

повышенного внимания к проблеме “аэрозоль–климат” [7]. В этой связи решение важных задач дальнейших исследований по физике климата, по изучению аэрозольных загрязнений и построению их оптических и радиационных моделей в настоящее время невозможно без фундаментальных и экспериментальных исследований оптики и микрофизики атмосферного аэрозоля. Поэтому большое значение приобретает необходимость получения более полной информации о свойствах атмосферного аэрозоля как естественного, так и антропогенного происхождения.

Среди различных методов дистанционного измерения параметров атмосферы, например, по спутниковым данным, с помощью солнечных фотометров, лазерными локаторами, последние оказались особенно эффективными из-за своей независимости от времени зондирования, хорошего временного и пространственного разрешения и в связи с возможностью восстановления вертикальных профилей оптических характеристик аэрозоля [8]. Наибольшее распространение в последнее время получили лазерные локаторы, имеющие 3–5 приемных каналов и обеспечивающие получение минимального объема данных, необходимых для корректного решения обратной задачи. Наряду с регистрацией сигналов обратного рассеяния на рабочих длинах волн лазера, реализация многоканального режима работы лидарных систем предоставляет возможность принимать сигнал комбинационного рассеяния (КР) от атмосферного азота (N_2). Одно из уникальных преимуществ лидара, использующего эффект КР, заключается в том, что вклады молекулярной и аэрозольной компонент атмосферы могут быть определены простым сравнением интенсивности обратного рассеяния на частоте излучения лазера с интенсивностью линии азота, находящегося в том же рассеивающем объеме, поскольку азот атмосферы имеет известную концентрацию. Важность этого подхода заключается в том, что использование в измерениях сигнала КР устраняет необходимость абсолютной калибровки лидара [9]. Кроме того, применение многоволнового и рамановского лидара дает возможность не только определять оптические свойства различных слоев атмосферы, оцени-

вая их вклад в аэрозольное ослабление и рассеивание, но главным образом восстанавливать пространственное распределение микрофизических характеристик аэрозоля. Говоря о микрофизических характеристиках аэрозоля, надо отметить также и другой важный фактор, определяющий развитие лидарных исследований по оптике атмосферного аэрозоля, который связан с широким использованием оптического диапазона длин волн. Именно в этом диапазоне длин волн аэрозольные частицы, имеющие широкий диапазон размеров, относятся к числу оптически активных по своим рассеивающим свойствам.

В настоящее время аэрозольные лидарные исследования находятся в стадии интенсивного развития. Так, например, в соответствии с проектом МНТЦ #В-1063 создана Международная лидарная сеть СНГ – CIS-LiNET, в которую входит и высокогорная многоволновая Лидарная Станция Теплоключенка Кыргызско-Российского Славянского университета. Основная цель проекта состоит в проведении регулярных координированных измерений атмосферного аэрозоля и получение объективных данных об исследуемых компонентах атмосферы для совершенствования прогнозов изменения климата и решения экологических задач.

Литература

1. Кондратьев К.Я. Радиационное возмущающее воздействие, обусловленное аэрозолем // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 16. – № 1. – С. 5–18.
2. Ramanathan V. and Ramana M.V. Atmospheric Brown Cloud. Long-Range Transport and Climate Impacts // EM Feature. December. – 2003. – P. 28–33.
3. Ramanathan V., Crutzen P.J., Lelieveld J., Mitra A.P., Althausen D. and all. Indian Ocean Experiment: An integrated analysis of the climate forcing and effects of the great Indo-Asian haze // Journal of Geophysical Research. – Vol. 106, NO. D22, Pages 28,371-28,398, November 27, 2001.
4. Кондратьев К.Я. От нано- до глобальных масштабов: свойства, процессы образования и последствия воздействия атмосферного аэрозоля. 4. Взаимодействие аэрозоля и облаков // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 17. – № 10. – С. 808–820.
5. Розенберг Г.В. О природе аэрозольного поглощения в коротковолновой области спектра // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1979. – Т. 15. – № 12. – С. 1280–1290.
6. Щадов М.И., Ткаченко Н.Ф. Киотский протокол и отечественный ТЭК // Уголь. – 2004. – Май.
7. Houghton J.T. The IPCC Report // Proc. of the SOLSPA Conf. Tenerife, 25–29 Sept. 2000. ESA SP ISSN 0379–6566. – Noordwijk. – 2000. – P. 255–259.
8. Manoj K Srivastava, Max Frioud Annual cycle of aerosol backscatter coefficient and aerosol mixed layer height above Neuchatel (Switzerland, 47.00 N, 6.95 E). / Proc. VI Inter. Symp. for Lidar Measur. . . Leipzig, Sept. 2003.
9. Межерис П. Лазерное дистанционное зондирование. – М.: Мир, 1987. – 551 с.