

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2022.2-52.15-19>

УДК 614.8.013

Мухамедов Ш.Н., Эргашев Ш.Э.

К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА АВАРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНТРОПОГЕННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ И ДЫМОВ: МИКРОСТРУКТУРА И ОПТИКА

*Академия Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан,
г. Ташкент*

В данной статье рассматриваются чувствительные элементы, применяемые при определении отравляющих веществ, радиоактивных пылей и биологических агентов с безопасного расстояния для личного состава, а также возможности создания технологии на его основе.

Ключевые слова: графен, пиролитические графены, графитный слой, кремний, галогены, гидрофилы, эпитаксиальный рост

Sh.N. Mukhamedov, Sh.E. Ergashev

ACCIDENT MONITORING WITH THE HELP OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF ANTHROPOGENIC AEROSOLS AND FUMES: MICROSTRUCTURE AND OPTICS

*Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent*

The article describes important and actual themes: information about sensitive elements, that can be used to identifying toxics, radioactive dusts and bio agents (in safety for the staff distances) and the possibility of creating technology based on this information.

Keywords: graphen, pirolitic graphens, graphit lay, silicon, halogens, hydrofoils, epitaction increase

Проведены экспериментальные и теоретические исследования оптических свойств сажевых аэрозолей в условиях, моделирующих процессы старения частиц в атмосфере. Особое внимание уделено изучению зависимости оптических свойств от эффектов структурной трансформации сажевых агрегатов, которые они претерпевают в среде конденсирующегося водяного пара. Обнаружено, что даже в ненасыщенном водяном паре на поверхностно-активных центрах частиц происходит конденсация молекул воды. Испарение

конденсата с поверхности в ряде случаев вызывает изменение дисперсных характеристик и микроструктуры вплоть до образования агрегатов в виде плотных глобул. Показано, что характер структурных изменений частиц определяется химическим составом поверхности и природой межчастичных связей, а также зависит от соотношения размеров агрегата и микрокапли, сконденсированной на его поверхности. В видимой области спектра (436 нм) измерены оптические сечения рассеяния и ослабления

агрегатов сажи, претерпевших структурные изменения как в результате конденсационных процессов, так и в результате термического воздействия. Обнаружено, что появление в системе плотных в общем случае нефрактальных образований вызовет существенные вариации оптических свойств дисперсной фазы.

Сравнительный анализ различных подходов к описанию оптических свойств сажевых агрегатов показал, что в первом приближении их структурное многообразие можно представить в виде суперпозиции плотных глобул (пористых сфер Ми) и разреженных фрактальных кластеров, описываемых модифицированным приближением Рэлея-Дебая-Ганса [1].

Цель проекта

Цель проекта заключается в изучении механизмов трансформации частиц сажи в атмосфере и их влиянии на радиационные процессы. Предусматривается анализ и выявление физико-химических процессов, приводящих к изменению структуры и состава сажевых частиц. Планируется детально проанализировать влияние источника и условий образования, эффектов старения на оптические и аэродинамические характеристики частиц сажи.

В рамках проекта предполагается провести полный химический анализ сажевого аэрозоля антропогенного происхождения и выявить на этой основе факторы, определяющие их реологические свойства, ответственные за структурную изменчивость в результате взаимодействия с водорастворимым фоновым аэрозолем и атмосферным водяным

паром. Параметризация структурных эффектов будет проводиться на основе теории фрактальных систем. Одновременно будут исследованы оптические характеристики сажевого аэрозоля, которые будут соотнесены со структурными параметрами частиц.

Полученные результаты

Создан уникальный экспериментальный комплекс, обеспечивающий возможность изучения оптических свойств сажевых частиц в зависимости от их микроструктурных и дисперсных характеристик. Полученные в ходе эксперимента результаты позволили осуществить валидацию известных теоретических моделей, а также разработать собственные алгоритмы расчета оптических свойств сажевых частиц.

Исследованы механизмы старения (изменения структуры) частиц сажи, находящихся в среде сконденсированного пара. Показано, что характер структурных изменений частиц определяется химическим составом поверхности и природой межчастичных связей, а также зависит от соотношения размеров агрегата

и микрокапли, сконденсированной на его поверхности. Обнаружено, что при многократном цикле испарение-конденсация за счет капиллярных сил происходит симметричная деформация первоначально разреженных структур, приводящая в итоге к образованию относительно плотных глобулярных объектов. В ряде случаев процесс деформации сопровождается фрагментацией частиц. Естественным следствием взаимодействия конденсата с агрегата-

ми сажи является изменение их первоначальной структуры и спектра размеров. Исследовано поведение частиц сажи при нагревании.

Методом просвечивающей электронной микроскопии определены особенности морфологических и структурных изменений в диапазоне температур от 20 до 900 °С [2].

Получены температурные зависимости фрактальной размерности, параметра лакуарности, первых моментов функции распределения по размерам, как собственно агрегатов, так и первичных частиц их образующих. Данные измерений показали, что механическая прочность агрегатов сажи, а, следовательно, их устойчивость к внешним воздействиям находится в сильной зависимости от природы межчастичных связей, которая, в свою очередь, определяется химическим составом поверхности частиц. В частности, обнаружено, что высокомолекулярные продукты пиролиза (полиароматические углеводороды), адсорбируясь на поверхности сажевых частиц, существенно понижают их агрегативную устойчивость: эффект реструктурирования у таких образований начинается уже при 100 °С, тогда как чисто углеродные кластеры не обнаруживают заметных структурных изменений вплоть до 900 °С.

В видимой области спектра (436 нм) измерены оптические сечения рассеяния и ослабления агрегатов сажи, претерпевших структурные изменения, как в результате конденсационных процессов, так и в результате термического воздействия. Исследования оптических свойств сажевых частиц, модифици-

рованных методом высокотемпературного воздействия, позволили определить зависимость оптических параметров от их структурных и дисперсных характеристик. Установлено, что уменьшение среднего радиуса гирации агрегатов от 0,6 до 0,2 мкм, сопровождаемое ростом коэффициента анизотропии формы и уменьшением фрактальной размерности от 1,7 до 1,2, приводит к увеличению удельного коэффициента экстинкции от 4 до 18 кв. м/г и интегрального рассеяния в 2,5 раза.

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что малые значения интегральных оптических характеристик больших кластеров (>0,6 мкм) с числом первичных частиц >500 обусловлены проявлением эффекта экранирования: благодаря сильному поглощению первичными частицами после достижения определенного размера внутренние области агрегата перестают участвовать в процессах рассеяния и поглощения энергии.

Изучены оптические свойства частиц ацетиленовой сажи, подвергнутых воздействию насыщенного водяного пара. С этой целью была использована проточная термодиффузионная камера, позволившая создать контролируемое перенасыщение в потоке вплоть до 2-кратного. Обнаружено, что в результате конденсации, а затем испарения водяных капель на первоначально разреженных фрактальных кластерах сажи образуются плотные сферические объекты размером 0,1-1,0 мкм, которые приводят к росту удельного ослабления с 4,0 до 5,5 кв. м/г,

а также к искривлению линейного участка индикатрисы рассеяния, характерного для процессов рассеяния на фрактальных объектах [3].

Проведено сравнение данных оптического эксперимента с известными теоретическими моделями: теорией Ми для эквивалентных (по объему) сфер, теорией Бэрри-Персиваля, учитывающей многократное рассеяние (метод среднего поля), и теорией Рэлея-Дебая-Ганса (броуновское приближение), модифицированной для фрактальных кластеров.

Сравнение различных подходов показало, что для чисто фрактальных кластеров сажи, т.е. свежесформированных частиц, наилучшее согласие с экспериментальными результатами удается достичь при использовании приближения Бэрри-Персиваля при условии, что одиночная (рэлеевская) амплитуда рассеяния заменяется соответствующим матричным элементом, определяемым суммированием рядов Ми. Такая процедура позволяет снять ограничение на размер первичных ядер.

В то же время результаты исследований показали, что возможность корректной интерпретации оптических свойств заметно осложняется в том случае, когда в результате процессов старения формируется структурно неоднородная дисперсная фаза, характеризующаяся в общем случае появлением в системе нефрактальных объектов. В том случае, когда преобладающим механизмом трансформации частиц является эффект реструктурирования, вызванный капиллярными силами сконденсированной жидкости, то,

как показывают результаты расчетов, наблюдаемое в эксперименте структурное многообразие в первом приближении можно аппроксимировать в виде суперпозиции плотных глобул (пористых сфер Ми) и разреженных фрактальных кластеров, описываемых модифицированным приближением Рэлея-Дебая-Ганса.

Сравнение с мировым уровнем

Исходя из анализа зарубежной и отечественной литературы, основываясь на результатах участия в международных и российских конференциях по рассматриваемой проблеме, можно констатировать, что уровень выполненных работ сопоставим с мировым, а по некоторым позициям опережает аналогичные отечественные и зарубежные работы.

Оригинальность подходов при решении задач, сформулированных в проекте, прослеживается по ряду позиций. Ниже перечислены лишь наиболее важные из них.

1. Методика экспериментальных исследований основана на одновременном измерении оптических и микроструктурных характеристик сажевых частиц.

2. Измерения оптических характеристик сажевого аэрозоля осуществляется в проточном режиме, что позволяет изучать влияние процессов трансформации (старения) частиц на оптические свойства, используя различные физические принципы воздействия на структуру и дисперсный состав.

3. Помимо дисперсных параметров на каждом этапе оптических измерений восстанавливались структурные характеристики агрегатов.

Процедура восстановления структурных характеристик основана на фрактальном подходе с использованием специально разработанных программ обработки оцифрованных изображений объектов.

4. При сравнении результатов оптического эксперимента с теоретическими моделями особое внимание уделялось репрезентативности данных. С этой целью для каждой аэрозольной пробы обрабатывалось несколько сотен кластеров, их оптические параметры суммировались по всему ансамблю и нормировались на общую массу дисперсных частиц. Таким образом, при расчете оптических коэффициентов и угловых зависимостей рассеяния учитывались реальная полидисперсность и «полифрактальность» аэродисперсной системы [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов Е.Ф., Власенко С.С., Киселев А.А., Сафронова Ю.Ф. Влияние конденсационных процессов на оптические свойства сажевых частиц. Международный симпозиум стран СНГ «Атмосферная радиация». Сборник тезисов. М., 1999. – 68 с.

2. Михайлов Е.Ф., Власенко С.С. Niessner Reinhard Kramer Luts. Soot particle restructuring due to interaction with water droplets. Journal of Aerosol Science. California. 2002 y., 12-46 sheets.

3. Михайлов Е.Ф., Власенко С.С. Optics and structure of carbonaceous soot aggregates. Optics of

nanostructured materials. Journal of Science. California. 2003 y., 121-138 sheets.

4. Михайлов Е.Ф., Власенко С.С., Niessner Reinhard Kramer Luts. Interaction of soot aerosol particles water droplets: influence of surface hydrophilicity. Journal of Aerosol Science. 2008 y. 1-16 sheets.

REFERENCES

1. Mihajlov E.F., Vlasenko S.S., Kiselev A.A., Safronova YU.F., Vliyanie kondensacionnyh processov na opticheskie svojstva sazhevyh chastic. Mezhdunarodnyj simpozium stran SNG «Atmosfer-naya radiaciya». Sbornik tezisov. M., 1999 g., 68 s.

2. Mihajlov E.F., Vlasenko S.S., Niessner Reinhard Kramer Luts. Soot particle restructuring due to interaction with water droplets. Journal of Aerosol Science. California. 2002 y., 12-46 sheets.

3. Mihajlov E.F., Vlasenko S.S., Optics and structure of carbonaceous soot aggregates. Optics of nanostructured materials. Journal of Science. California. 2003 y., 121-138 sheets.

4. Mihajlov E.F., Vlasenko S.S., Niessner Reinhard Kramer Luts. Interaction of soot aerosol particles water droplets: influence of surface hydrophilicity. Journal of Aerosol Science. 2008 y. 1-16 sheets.

