

АЭРОЗОЛЬ И ЭМИССИЯ СУДОВЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК: ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕДИЦИИ «СЕВЕР-2015»

В настоящее время опасность антропогенных загрязнений Арктики становится все более очевидной. Климат Арктики особенно подвержен воздействию основной климатически-активной компоненты аэрозоля — черного углерода, являющегося продуктом горения ископаемого топлива и биомасс. Осаждение черного углерода на снег вызывает уменьшение альбедо подстилающей поверхности, ускорение таяния снега и льда. Несмотря на большую площадь территории Российской Арктики, в настоящее время исследования происхождения, эволюции и переноса природных и антропогенных аэрозолей крайне ограничены. Особенно это касается аэрозолей в эмиссиях хозяйственной и индустриальной деятельности при сжигании различных видов топлива, включая эмиссию транспортных средств.

Недостаток знаний о массовых, оптических и физико-химических характеристиках аэрозолей, их изменениях в процессе ближнего и дальнего переноса от локальных и региональных источников, особенно в зимний сезон, когда степень загрязнения Арктики повышается, создает большие неопределенности в понимании последствий влияния аэрозолей на температуру атмосферы, аэрозольный сток и скорость таяния снега в области вечной мерзлоты и снежно-ледяного покрова акваторий Северного Ледовитого океана. Проведение мобильных измерительных кампаний для оценки источников эмиссий, как, например, промышленных объектов, позволяет определить характерные свойства и трассеры техногенного влияния на состав аэрозоля в пограничном слое атмосферы.



Ледокольные транспорты «Таймыр» и «Вайгач» в Карском море. Открытие архипелага Северная Земля. Е.В. Войшвилло. 1940 год (слева).
Эмиссия силовой установки из выхлопной трубы НЭС «Академик Трёшников» (справа).



мазутного топлива силовыми установками судов (*Xie Z., Blum J.D., Utsunomiya S. et al. Summertime carbonaceous aerosols collected in the marine boundary layer of the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112. D02306*). Подобные частицы могут служить микромаркерами эмиссии двигателей морских судов (*Popovicheva O., Kireeva E., Persiantseva N. et al. Microscopic characterization of individual particles from multicomponent ship exhaust // J. Environ. Monit. 2012. Vol. 14 (12). P. 3101–3110*).

В ходе экспедиции «Север-2015» одной из задач научно-исследовательской группы МГУ–АНИИ Росгидромета было изучение аэрозольного состава атмосферы и эмиссии судовых силовых установок на НЭС «Академик Трёшников» на переходе г. Архангельск — о. Большевик — г. Архангельск и организация мониторинга характеристик аэрозолей на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»». Экспедиция на НЭС «Академик Трёшников» стартовала 10 октября 2015 года из Архангельска. Судно прошло через дельту р. Двины — зону интенсивного судоходства и повышенного уровня антропогенных загрязнений. На следующие сутки судно пересекло Белое море и далее, через Баренцево море и Карские Ворота, достигло берегов острова Большевик архипелага Северная Земля 15 октября. Через два дня, по завершении намеченных научно-исследовательских и погрузо-разгрузочных работ на НИС, экспедиция отправилась в обратный путь. На этом маршруте также проводились замеры эмиссии и изучение аэрозольного состава атмосферы.

Загрязнение окружающей среды Арктики эмиссиями силовых установок морских судов началось с момента появления паровых судов и продолжается до настоящего времени. Оценки Американского агентства окружающей среды (US Environmental Protection Agency, EPA) указывают на источник сжигания дизельного тяжелого мазутного топлива стационарными теплоэлектростанциями и двигателями транспортных средств как доминирующую эмиссию в регионах Российской Арктики (EPA, 2012. Report to congress on black carbon. Report Number EPA-450/D-12-001 prepared by U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC). Сложный многокомпонентный состав аэрозолей был обнаружен в прибрежных районах Северного Ледовитого океана, где наряду с частицами сажи были выявлены обугленные частицы с высоким содержанием серы, типичные для эмиссии продуктов сжигания тяжелого

Ранее возможность мобильного мониторинга аэрозолей на морских судах использовалась многими экспедициями, но обычно это делалось без учета возможных загрязнений, обусловленных собственной эмиссией данного судна (*Stohl A.Z., Klimont, Eckhardt S. et al. Black carbon in the Arctic: the underestimated role of gas flaring and residential combustion emissions // Atmos. Chem. Phys. 2013. Vol.13. P. 8833–8855*). Ряд измерительных кампаний был нацелен на определение коэффициента эмиссии и характеристик аэрозоля в продуктах сгорания непосредственно в выхлопной трубе дизельного двигателя судна.

В экспедиции «Север-2015» была поставлена задача оценки массовых, оптических и физико-химических характеристик аэрозолей в невозмущенном пограничном слое атмосферы и в слое атмосферы, загрязненном эмиссией газовой выхлопной трубы судна. Оценка прово-



Аэрозольные измерения PM, BC и отбор проб на борту НЭС «Академик Трёшников» в экспедиции «Север-2015».



Портативный аэталометр «Портааэталометр-1А» в кейсе с термостатом.

дилась на основе измерений комплекса характеристик аэрозоля. Для выполнения этой задачи до начала рейса в порту Архангельск и во время рейса проводился мониторинг распределения полной массовой концентрации (PM) аэрозоля в различных частях судна: на носовых, кормовых и палубных надстройках. Экспериментальным путем была определена наиболее загрязненная продуктами сгорания область — она располагалась над надстройкой пункта управления полетами на палубе IV яруса на расстоянии порядка 10 м от оконечности выхлопной трубы, на высоте 15 м над судовой вертолетной площадкой. Здесь был установлен пост постоянных измерений вблизи основного источника эмиссии дизельного двигателя — газовойхлопной трубы силовой установки судна. Приборы для мониторинга и отбора проб аэрозоля в невозмущенном приземном слое атмосферы были установлены в носовой части судна.

Для измерений полной массовой концентрации аэрозоля был использован лазерный нефелометр Dust Task 8530. Для измерения концентрации черного углерода, маркера локальных источников эмиссии судовых силовых установок и шлейфов дальнего переноса воздушных масс, была использована методика аэталометрических измерений массовой концентрации черного углерода (BC). Для этого специалистами Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) Росгидромета и Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ (НИИЯФ МГУ) был разработан трехволновой портативный аэталометр «Портааэталометр-1А», предназначенный для измерений в реальном времени поглотительной способности частиц и спектральной зависимости при их осаждении на фильтрах в процессе прокачки воздуха. Для работ в Арктике аэталометр был оснащен специальным термостатом.

Калибровка аэталометра «Портааэталометр-1А» для определения массовой концентрации BC была произведена на базе новейших исследований аэрозольных технологий на станции ГСА «Демокритос» в г. Афины (Греция). Во время экспедиции «Север-2015», после выполнения соответствующей интеркалибровки, два аналогичных аэталометра использовались одновременно для определения массовой концентрации BC в чистом воздухе (в носовой части судна) и в воздухе, наиболее загрязненном вследствие работы судового двигателя (вблизи трубы). Предварительные результаты одновременных

измерений массовой концентрации BC во время прохождения судном Карского моря представлены на рисунке. Как видно из рисунка, фоновый аэрозоль характеризуется низкими значениями BC, составляющими в среднем порядка 89 нг/м³. В то же время отчетливо проявляются высокие уровни локального загрязнения атмосферы эмиссией дизельного двигателя НЭС, достигающие максимальных значений при направлении ветра непосредственно на место расположения аэталометра в кормовой части, превышающих 5 мкг/м³.

Регистрация данных общей концентрацией аэрозолей и массовой концентрацией BC в двух точках проводилась постоянно, за исключением времени на техобслуживание приборов (замена фильтров, смена флеш-карты с данными). Также специалистами-метеорологами научно-исследовательской группы НЭС проводилась непрерывная регистрация основных метеорологических характеристик.

С целью определения физико-химических характеристик аэрозолей в приземном слое атмосферы арктических морей была использована система отбора частиц с размером менее 10 мкм (PM10), созданная на базе аспиратора АПВ4 и сборников аэрозолей Airmetrix PM10. В ходе экспедиции был выполнен отбор проб аэрозолей в чистой атмосфере, во время прохождения районов повышенного судоходства и вблизи источника эмиссии дизельного двигателя судна. Периодически отбор аэрозолей проводился на металлические подложки с помощью двухкаскадного импактора с диаметром пропускания частиц PM10 на первой ступени и 630 нм на второй ступени.

16 октября 2015 года аэталометр «Портааэталометр-1А» был доставлен на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» для проведения серий измерений в рамках программы мониторинга оптических свойств арктических аэрозолей и исследования их сезонной изменчивости. Прибор установлен в заранее выбранном и подготовленном месте, наименее подверженном локальному воздействию загрязнений, ассоциированных с функционированием объектов обеспечения жизнедеятельности станции (дизельная электростанция, камбуз и кают-компания, пути транспортного сообщения).

Учитывая калибровку, проведенную на уровне мировых стандартов, данные о массовой концентрации черного углерода на станции «Ледовая база

Массовая концентрация BC в фоновой атмосфере Карского моря и локальное загрязнение эмиссией выхлопной трубы судовой силовой установки НЭС.



□ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

«Мыс Баранова» могут быть в будущем переданы непосредственно в мировую сеть мониторинга аэрозолей в рамках Arctic Monitoring and Assessment Programme (АМАР), в глобальные модели транспорта аэрозолей и дальнего переноса воздушных масс, а также для проведения сравнительных измерений уровней загрязнений на полярных станциях. Предполагается, что в дальнейшем такие приборы-аэталометры послужат основой для создания мобильной системы комплексного анализа аэрозольного состава атмосферы при проведении экспедиционных работ в удаленных районах, будут устанавливаться на передвижных платформах и беспилотных летательных аппаратах.

В заключение следует отметить, что значительная изменчивость массовой концентрации аэрозолей в фоновой и загрязненной атмосфере, их микроструктуры, состава, содержания органических, неорганических и ионных соединений существенно усложняет задачу анализа аэрозольной нагрузки атмосферы и оценки климатических последствий эмиссии. Аэрозоли горения могут служить трассером загрязнений, позволяющим идентифицировать источник эмиссии, если их характеристики определены в зависимости от вида топлива, условий и способа его сжигания. Учитывая вышесказанное, пробы аэрозоля, отобранные на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»», будут подвер-

гнуты комплексной характеризации образцов частиц с использованием аналитического и химического оборудования лаборатории анализа аэрозолей НИИЯФ МГУ. Методами микроскопического анализа индивидуальных частиц в образцах проб будут идентифицированы микромаркеры дизельной эмиссии по наличию групп частиц сажи. При этом распространенность характерных групп определит степень загрязнения аэрозолей источниками дизельной эмиссии по сравнению с фоновым морским аэрозолями. Анализ содержания органических/неорганических и ионных компонентов в климатически активных и опасных аэрозольных составляющих загрязненной атмосферы определит влияние эмиссии судовых силовых установок. Кластерный анализ морфологии и состава индивидуальных частиц даст возможность оценить вклад дизельной эмиссии и шлейфов дальнего переноса воздушных масс в распространяемость и микроструктуру аэрозолей арктического региона.

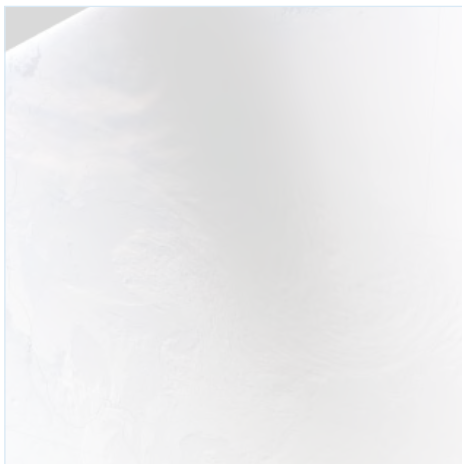
*О.Б. Поповичева (НИИЯФ МГУ),
В.В. Мовчан (ААНИИ), Н.М. Ситников (ЦАО),
А.П. Макштас и В.Ю. Кустов (ААНИИ).
Фото О.Б. Поповичевой*

НАБЛЮДЕНИЯ ЗАТМЕНИЙ

ПО ПРОГРАММЕ МОНИТОРИНГА ГЛОБАЛЬНОГО АЛЬБЕДО ЗЕМЛИ В АНТАРКТИКЕ

Солнечные затмения, как и лунные, представляют явления природы, знакомые человеку с древности. Хотя они довольно часты, в среднем происходит 2–3 солнечных и столько же лунных затмений в год, причем полных из них около трети, но одновременно затмения наблюдаются не повсеместно и поэтому считаются редкими. Очень часто они ассоциировались у людей с «концом света» и в прошлом использовались для астрологического устрашения народов. Мифологическое описание природы «внезапных концов света» сменилось научным подходом, выявившим регулярный и предсказуемый характер этих красочных природных явлений.

Космический снимок лунной тени при затмении Солнца
23 ноября 2003 года.



Согласно научному пониманию солнечные затмения происходят, когда Луна, обращаясь вокруг Земли, располагается между Землей и Солнцем и полностью или частично закрывает от наблюдателя наше светило. Стремительно скользя по земной поверхности, тень «закрывающей» Солнце Луны оставляет след длиной 10–12 тыс. км, показанный на левом снимке со спутника «Аква» аппаратурой MODIS (*R. Nemirow, J. Bonnell*, <http://www.astronet.ru/db/msg/1195319>). Там, где проходит лунная тень, происходит полное солнечное затмение. В области, захваченной полутенью, имеет место частное затмение, когда Луною «перекрыта» лишь

Снимок солнечного затмения с орбиты спутника Земли 13 сентября 2015 года
в области вакуумного ультрафиолета.

