

УДК 551.521.3 (575.2) (04)

ЛИДАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИКИ И МИКРОФИЗИКИ АЭРОЗОЛЯ

Б.Б. Чен – докт. физ.-мат. наук

The review of the carried out and spent now researches on Llidar Station Teplokluchenka of KRSU within the framework of the international projects since 2000 is given.

Введение. Аральская катастрофа в Центральной Азии ярко продемонстрировала, к чему может привести неправильное, нерациональное использование природных ресурсов. В результате с обезвоженного морского дна бури ежегодно поднимают в воздух миллионы тонн вредной солончаковой пыли, которая распространяется на большие расстояния и оседает на подстилающей поверхности. Такие отрицательные природно-климатические изменения привели к серьезнейшей экологической трагедии, оказывающей негативное воздействие на окружающую среду не только этого, но и многих других регионов, на жизнедеятельность миллионов людей.

Еще одной из крупнейших в этом столетии, возможно главной, является проблема Атмосферных Коричневых Облаков (АВС) в виде коричневого газа (смога). Развивающиеся страны Азии в настоящее время являются главными источниками аэрозольных проблем, в частности, выделений черного углерода, из-за чего может стать уязвимым от отрицательных воздействий коричневого газа здоровье населения Азии, где проживает более 50% населения мира, а также гидрологический цикл и сельское хозяйство. Если учесть роль водных и гидроэнергетических ресурсов в формировании экономики Центральноазиатского региона, то одной из актуальных региональных задач в настоящее время является количественная оценка влияния аэрозольных осадений на таяние лед-

ников в результате трансграничных переносов пылевых и солевых частиц, а также АВС.

Аральская трагедия, Атмосферные Коричневые Облака (коричневый газ) и другие подобного масштаба примеры убеждают в том, что аэрозольная экологическая безопасность становится в ряд основных стратегических составляющих национальной безопасности и важнейшим аспектом государственных приоритетов стран региона.

Лидарная станция Теплоклученка (ЛСТ) КРСУ является единственной научной станцией комплексного мониторинга тропосферного и стратосферного аэрозоля лидарным методом в центре Азиатской геоэкологической горной системы Земли. С 2004 г. ЛСТ входит в состав международной лидарной сети CIS-LiNet, включающей лидарные станции на территории бывшей СССР. Лидарная станция основана в 1987 г.

Направление исследований: Дистанционные оптические методы исследования аэрозольного загрязнения окружающей среды.

Основной задачей является выполнение международных научных программ и проектов как самостоятельно, так и в рамках других международных измерительных сетей (Европейской лидарной EARLINET, Азиатской лидарной AD-NET, AERONET (NASA, USA), Канадской AEROCAN, лидарной СНГ CIS-LINET, UNEP ABC-NET и др.), в том числе:

➤ исследование оптических и микрофизических свойств аэрозоля;

- разработка региональных аэрозольных моделей;
- исследование оптических и микрофизических свойств Атмосферного Коричневого Облака, пыльных и солевых бурь в Центральноазиатском регионе;
- исследование влияния аэрозольного фактора на таяние ледников.

С июня 2006 г. начаты подспутниковые измерения распределения и концентрации аэрозоля в связи с запуском спутника "CALIPSO", на котором установлен двухволновой лидар.

Фундаментальной целью проводимых на ЛСТ аэрозольных исследований является обеспечение научной основой для принятия решений по предотвращению потенциальной катастрофы в окружающей среде в результате воздействий АВС, пылевых и солевых аэрозолей на устойчивое развитие и жизнедеятельность региона.

Краткий обзор исследований. В результате выполнения проекта Международного научно-технологического центра (МНТЦ) #KR-310 (начало – 01.01.2001 г., окончание – 31.03.2004 г. Головной институт – КPCY) проведена глубокая техническая модернизация существующего лидара (Light Detection and Ranging) на основе нового более мощного лазера на Nd: YAG с преобразованием частоты, работающего одновременно на длинах волн 1064, 532, 355 нм и на дополнительной длине волны 387 нм, позволяющем измерять не только оптические, но и микрофизические и поляризационные характеристики аэрозоля [1].

Многоволновый лидарный комплекс после модернизации включает одновременно лидар обратного рассеяния, лидар наклонного зондирования и рамановский лидар, по техническим характеристикам не уступающий лучшим зарубежным аналогам, и является пока что единственным в Центральной Азии.

Проведенные исследования оптических и микрофизических свойств аэрозоля горного региона Центрального Тянь-Шаня позволили впервые выявить особенности их распределения в таких аэрозольных структурах, как мощные пылевые потоки с бассейна Аральского моря, облачные образования различного состава, в частности, впервые обнаруженные в

регионе коричневые облака. Результаты, характеризующие аэрозольную оптическую обстановку региона, опубликованы в монографиях [2, 3] и многочисленных статьях, в том числе в зарубежных журналах, и доложены на международных конференциях и симпозиумах. В монографиях рассмотрена методология многоволнового и рамановского зондирования параметров аэрозоля и полученные с ее помощью результаты по высотному и спектральному ходу коэффициентов обратного аэрозольного рассеяния, по высотному ходу ослабления, поляризации обратно рассеянного сигнала, высотному ходу микрофизических характеристик аэрозоля и т.д. Приведены результаты зондирования и Атмосферных Коричневых Облаков в регионе, исследования которых представляют одну из главных проблем современности. Наряду с этим показано, что в оптике и микрофизике атмосферного аэрозоля пока еще много неясностей, нерешенных проблем и что имеющиеся материалы лидарных исследований еще не позволяют построить достаточно адекватную региональную оптическую модель атмосферного аэрозоля. На рис. 1–6 представлены, в качестве примера, некоторые результаты, полученные в ходе выполнения проекта на лидарной станции Теплоключенка.



Рис. 1. Общий вид многоволнового лидарного комплекса ЛСТ.

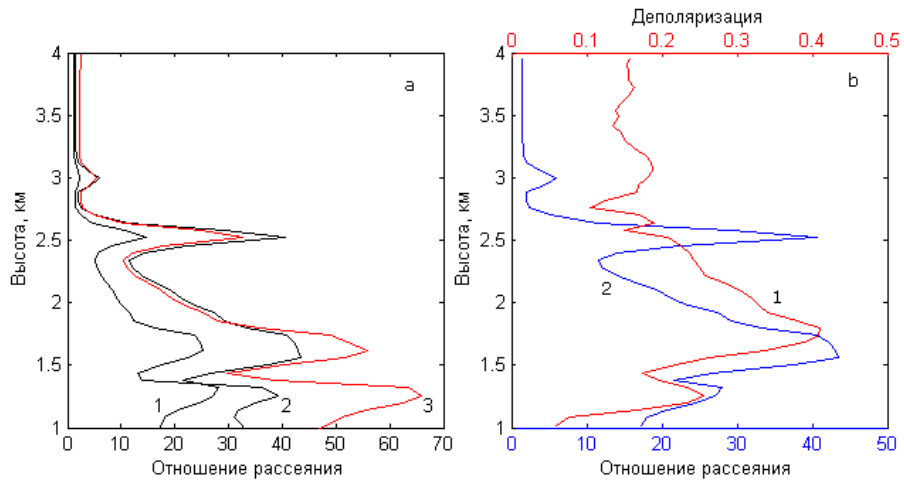


Рис. 2. Вертикальные профили отношения рассеяния $R(h)$ (a) на трех длинах волн: 1 – $\lambda=355$ нм, 2 – $\lambda=532$ нм, 3 – $\lambda=1064$ нм и совмещенные кривые деполаризации D (1) и отношения рассеяния (2) на длине волны 532 нм. Пыль. 03:56 ч. 08.08.03.

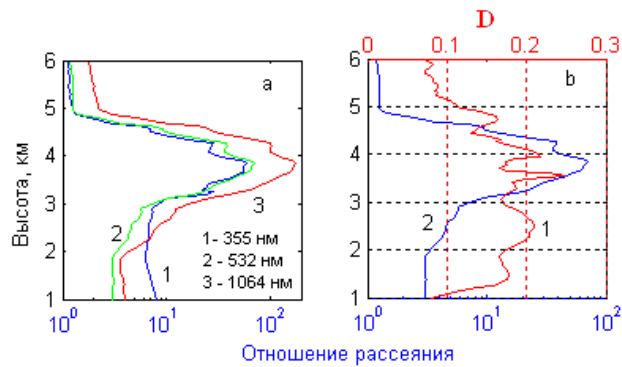


Рис. 3. Вертикальные профили отношения обратного рассеяния на трех длинах волн зондирования (a) и деполаризационного отношения (b) в АВС. 23.07.03.

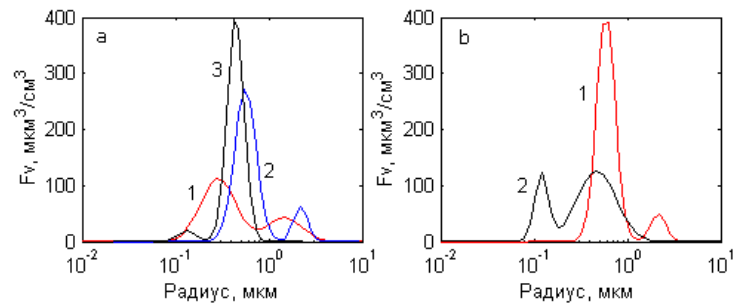


Рис. 4. Распределения объемов частиц в единице объема воздуха по размерам в АВС в нижней тропосфере 28.07.03 (a): 1 – в 00:20 ч, 2 – в 01:28 ч, 3 – в 04:25 ч и (b) в нижнем (1) и верхнем (2) слоях облака. 07.07.03.

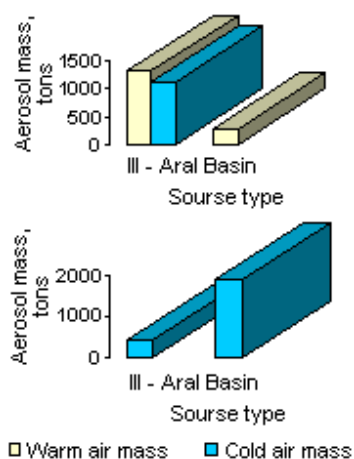


Рис. 5. Оценки аэрозольной массовой нагрузки (в тоннах) на ледники (Июль, 2003): Пыль и соль (слева), ABC (справа).

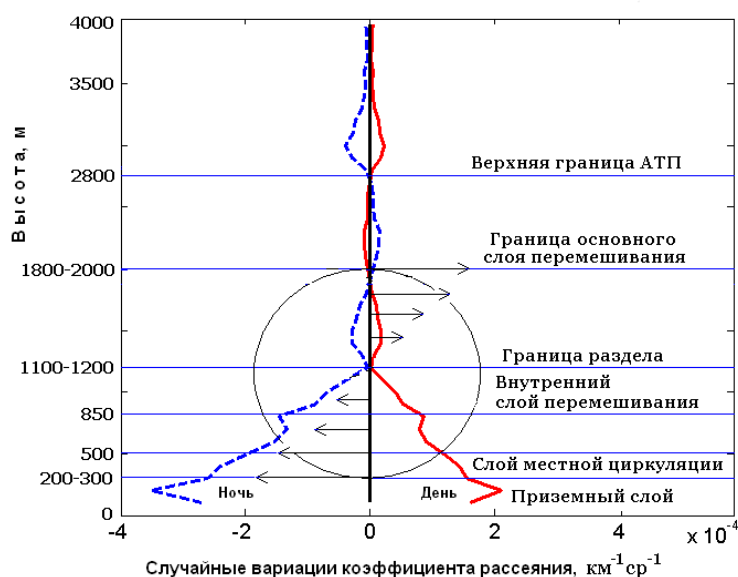


Рис. 6. Схема вертикальной структуры коэффициента рассеяния и его случайных вариаций в горах.

Цель проекта **МНТЦ # В-1063** (начало – 01.12.2004 г., окончание – 30.11.2007 г.) – создание научной, технической и методической основы для формирования лидарной сети CIS-LiNet в регионах СНГ, разработка технологии лидарного мониторинга атмосферы и ее демонстрации для мониторинга атмосферного аэрозоля и озона в СНГ и проведении совме-

стных с AERONET/PHOTONS/AEROCAN, EARLINET и AD-Net исследований атмосферы на Евразийском континенте.

Головной институт – Институт физики АН Беларуси.

В результате выполнения проекта на основе многоволновых лидарных систем в комплексе с солнечными радиометрами сформи-

рована сеть дистанционного мониторинга атмосферы на территории стран СНГ. Лидарный мониторинг атмосферы осуществлялся на 7 лидарных станциях, расположенных в западном, центральных, северном, южном и восточном регионах СНГ (рис. 7). Формирование CIS-LiNet, работающей совместно с AERONET/PHOTONS/AEROCAN, EARLINET и AD-Net, существенно повысило информационные возможности каждой сети при исследовании региональных процессов и позволило перейти на качественно новый уровень – комплексный дистанционный мониторинг атмосферы на пространстве Евразийского континента.

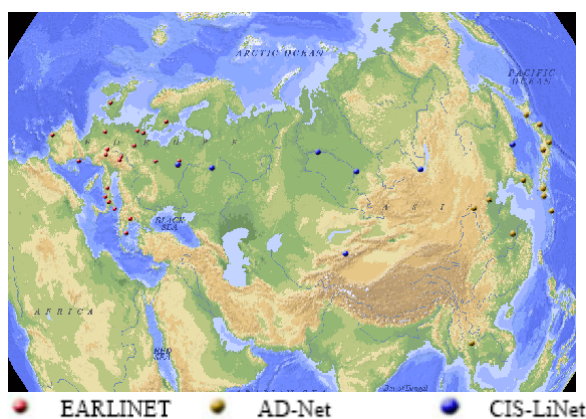


Рис. 7. Региональные лидарные сети на Евразийском континенте [4].

Проект выполняли научные группы из шести организаций Беларуси, России и Киргизии, являющиеся лидерами в области развития лидарных технологий в странах СНГ, располагающие необходимым техническим оборудованием и осуществляющие в настоящее время регулярные натурные лидарные исследования. Географическое расположение станций способствовало выполнению задач мониторинга. Коллектив исполнителей включал 9 докторов наук и 20 канд. наук. В числе исполнителей проекта 35 военных специалистов, играющих ключевые роли при исполнении проекта, ранее работавшие над развитием методов и систем наведения, обнаружения и слежения в области ракетных технологий и разработки мощных лазерных устройств.

Основным результатом проекта является формирование на огромной территории стран СНГ сети лидарных станций, осуществляющей мониторинг атмосферы на Евразийском континенте в сотрудничестве с международными измерительными сетями и предоставляющей пользователям объективные данные о процессах формирования и переноса аэрозоля и озона в атмосфере.

Научными и практическими результатами выполнения 9 задач проекта являются:

1. Формирование комплекса лидарных станций для формирования лидарной сети СНГ.

2. Новые методы, алгоритмы и программное обеспечение для восстановления профилей оптических и микрофизических параметров аэрозоля по результатам регулярных и специальных многоволновых лидарных измерений, осуществляемых в комплексе с радиометрическими наблюдениями.

3. Методика мониторинга высотных профилей параметров тропосферного аэрозоля и демонстрация результатов ее применения при изучении факторов, определяющих крупномасштабные изменения параметров тропосферного аэрозоля в регионах СНГ.

4. Методика мониторинга пограничного слоя атмосферы и количественные данные о временной трансформации аэрозоля в пограничном слое атмосферы для различных геофизических регионов с временными циклами от суточных до сезонных.

5. Закономерности пространственно-временной трансформации высотного распределения аэрозоля в процессе крупномасштабного переноса над территорией СНГ и оценка вклада основных антропогенных и природных источников аэрозоля.

6. Методика мониторинга стратосферного слоя и демонстрация ее применения для оценки временного тренда содержания аэрозоля и озона в стратосфере под воздействием антропогенных и природных факторов.

7. Особенности формирования аэрозольных полей в регионах СНГ, описание и оценки региональных источников аэрозоля.

8. База данных высотных профилей параметров аэрозоля и озона, адекватно отражающая их пространственно-временные изменения на пространстве СНГ.

9. Разработка сайта CIS-LiNet и распространение информации, полученной в результате работы CIS-LiNet.

Применение результатов проекта

Созданная сеть CIS-LiNet осуществляет свою деятельность в рамках международных и национальных программ контроля окружающей среды в сотрудничестве с AERONET/PHOTONS/AEROCAN, EARLINET и AD-Net. Результаты исполнения проекта будут использованы в области прикладных исследований.

Новые методики мониторинга микроструктуры аэрозоля на основе коррелированных многоволновых лидарных и радиометрических измерений будут использованы на комплексных станциях в AERONET/PHOTONS/AEROCAN, EARLINET, AD-Net и других лидарных центрах для формирования интегрированной сети дистанционного мониторинга атмосферы.

Объединенные в базу данных результаты натурных лидарных исследований параметров аэрозоля и озона в регионах СНГ будут использованы для развития оптических моделей атмосферы, достоверного описания энергетического баланса и совершенствования климатических моделей, оценки вклада источников аэрозоля на пространстве СНГ в формирование аэрозольного слоя атмосферы.

Данные о региональных источниках выбросов и особенностях формирования и пере-

носа аэрозоля в регионах СНГ будут значимым вкладом в выполнение национальных экологических программ в странах СНГ.

Результаты регулярных и специальных наблюдений пространственно-временной трансформации параметров аэрозоля и озона в регионах СНГ, координированные со станциями AERONET/PHOTONS/AEROCAN, EARLINET и AD-Net, будут основой для валидации крупномасштабных моделей переноса в атмосфере, обеспечат международные космические эксперименты достоверными данными о параметрах атмосферных компонентов.

В сфере международного сотрудничества создание CIS-LiNet является кардинальным шагом к интеграции научного и технического потенциала научных центров стран СНГ в формирующуюся глобальную систему дистанционного мониторинга атмосферы.

После завершения проекта созданная сеть CIS-LiNet продолжает работы по контролю атмосферы за счет финансирования в рамках международных экологических программ, а также осуществляет специальные программы наблюдений в интересах национальных природоохранных организаций и космических агентств.

На рис. 8–11 представлены некоторые результаты выполнения проекта на лидарной станции Теплоключенка.

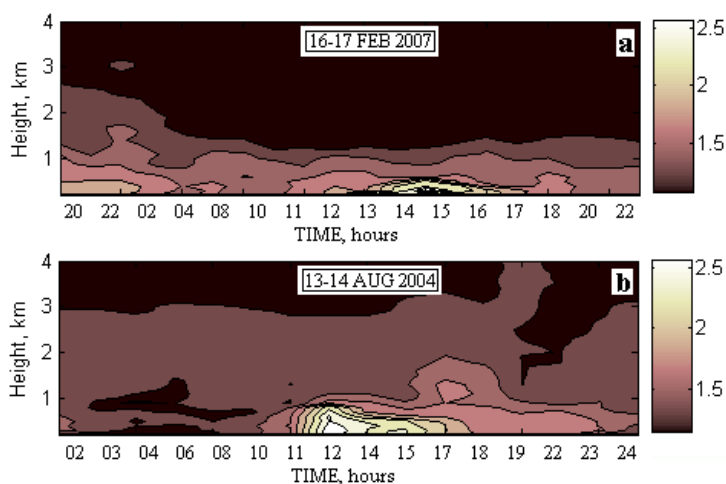


Рис. 8. Суточные вариации отношения рассеяния на длине волны 532 нм. Теплоключенка, 16–17 февраля 2007 (а) и 13–14 августа 2005 (b).

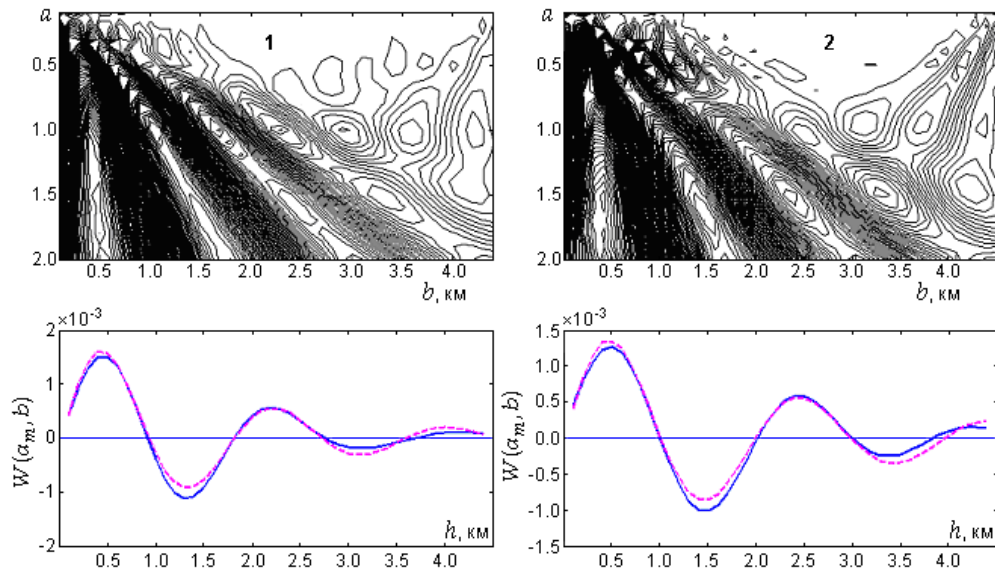


Рис. 9. Спектры коэффициентов вейвлет-преобразований флуктуаций коэффициента β_a (верхние рисунки), профили спектра (сплошная линия на нижних рисунках) и их аппроксимации (пунктир) в фиксированном сечении масштабного коэффициента a_m для августа (1) и февраля (2) 2004 г. Теплоключенка.

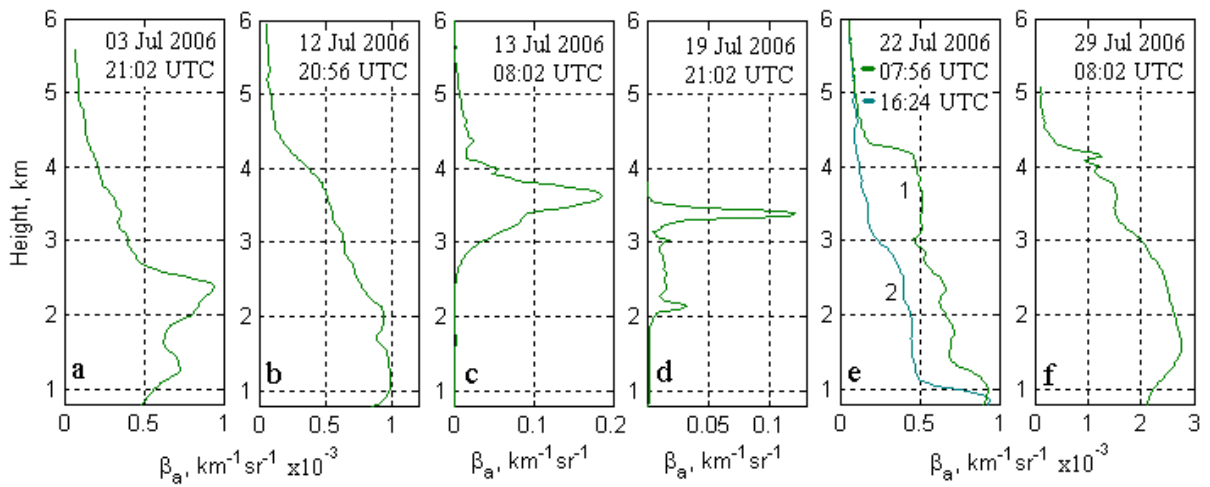


Рис. 10. Вертикальные профили коэффициента обратного аэрозольного рассеяния (532 нм) по данным подспутниковых измерений в июле 2006 года. Теплоключенка.

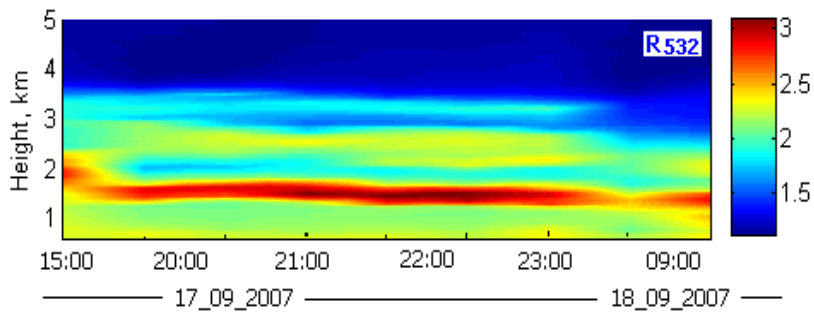


Рис. 11. Динамика профилей отношения обратного рассеяния на длине волны 532 нм в интервале высот от 0,6 до 5,0 км 17–18 сентября 2007 г. Теплоключенка.



Рис. 12. Пожары и дымы в Казахстане. (2002-09-21).



Рис. 13. Пыльная буря над Аральским морем. (2003-04-18).

Партнерский проект **МНЦ #3715** (начало – 01.09.2007 г., окончание – 31.12.2009 г.) направлен на исследование трансконтинентального переноса воздушного загрязнения из Центральной Азии.

Головной институт – Институт физики атмосферы РАН.

Регион Аральского моря, расположенный в западной части Центральной Азии, представляет собой один из самых больших источников минеральной пыли в Азии (рис. 12–13),

возможно, и самый большой источник пыли в мире, загрязненный остатками биологического и химического оружия. Центральноазиатская пыль и эмиссия загрязнителя влияют на воздушное пространство вдоль всего Азиатского континента.

Траектории воздушных масс и частота их повторяемости показали (рис. 14), что регионально загрязненные континентальные воздушные массы с западным потоком из Центральной Азии вносят значительный вклад в

уровень загрязнения стран, расположенных западнее этого региона. Наблюдения за аэрозолями в Центральной Азии очень разрежены, и в настоящее время недостаточны, что ограничивает проверку модели дальнего переноса.

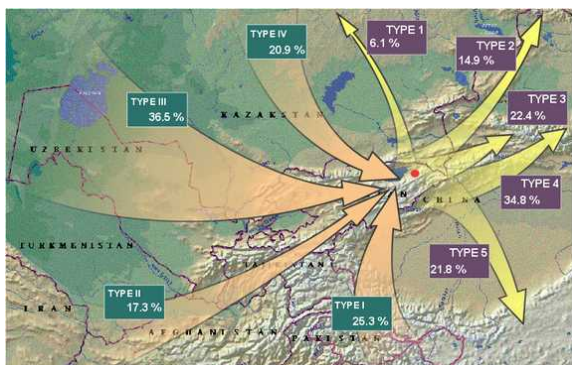


Рис. 14. Обратные и прямые траектории переноса аэрозольного загрязнения на Центральную Азию (высота 3500 м над ур. м.).

Вопрос сложных воздействий загрязнения на окружающую среду в Центральной Азии является главным в этом проекте. В частности, будут решаться следующие задачи:

- измерения и регистрация регионального и трансконтинентального пыле-солепереноса;
- объединение региональных наблюдений с другими наблюдениями аэрозольных сетей в Азии, поддерживаемые США, в частности, с программой NOAA/UNEP Атмосферное Коричневое Облако (ABC);
- количественные определения потенциальных воздействий загрязнения с бассейна Аральского моря Центральной Азии на воздушную среду в США.

Эти исследования будут способствовать улучшению нашего понимания источников переноса загрязнителей дальнего действия в Северном полушарии, в частности, от Азии до Северной Америки, а также дадут необходимую информацию для ограничения (конкретизации) моделей воздушного дальнего переноса загрязнения и климата.

Наблюдения за аэрозолями будут выполнены на станции Теплоключенка лидарным (регистрация и зондирование с помощью лазерного локатора) методом одновременно с наблюдениями наземными средствами. Лидар

обеспечивает одновременную регистрацию обратно рассеянного лазерного излучения на трех длинах волн (355, 532 и 1064 нм) и Рамановское обратное рассеяние атмосферным азотом (387 нм), обеспечивая разнообразие данных относительно поднятой пыли, переносимой из региона Аральского моря в течение пылевых штормов. В точке южнее г. Бишкека, расположенной на прямом потоке воздушных масс с бассейна Аральского моря (рис. 15), параллельно будут проводиться аэрозольные измерения с помощью наземных средств.



Рис. 15. Расположение мест проведения измерений в Киргизии на карте Центральной Азии.

Региональный перенос и химическое моделирование будут выполнены с использованием модели STEM-2K1, чтобы получить реальные оценки пространственных и временных распределений аэрозоля, оптическую и химическую информации и оценить относительные вклады выброса пыли, дизельных эмиссий, сгорания угля и ископаемого топлива к наблюдаемому поглощающим аэрозолям. Выходные данные из STEM-2K1 модели будут использоваться как входные в модели Монте-Карло Аэрозоль – Облако – Радиация (MACR) для оценки аэрозольного излучающего воздействия (ARF). Модель STEM-2K1 (разработанная в Университете штата Айова) широко применялась в Азии и недавно использовалась для выполнения проектов NASA TRACE-P, NSF ACE-АЗИИ ТУЗА, и интенсивных полевых экспериментов NOAA ITCT-Y2K2. В дополнение к выходным данным от STEM-2K1, MACR будет сравнивать аэрозольные и облач-

ные наблюдения спутника и наблюдения аэрозоля, выполненные на указанных выше точках в Центральной Азии. Модель STEM-2K1 будет использоваться для оценки 4-мерного распределения аэрозоля по Азии (включая Центральную Азию), в оценках излучающего воздействия аэрозоля. Численное решение процессов переноса загрязнения и ARF будет осуществляться на кластере КРСУ (64 процессора) по моделям STEM-2K1 и MACR, которые будут переданы Партнером.

Программа Атмосферное Коричневое Облако (ABC) (<http://www-abc-asia.ucsd.edu>) – главное международное усилие, поддержанное Программой по охране окружающей среды ООН (UNEP), NOAA и соответствующих агентств Китая, Японии, Мальдивских островов, Непала и Кореи, чтобы направить науку и политику, связанные с воздушным загрязнением, в регион Южной Азии. Программа ABC сейчас устанавливает 11 аэрозольных климатических обсерваторий в регионе (рис. 16).

Одна из главных целей программы ABC – контроль переноса загрязнения от Азии до США, которая будет достигнута непрерывными наблюдениями на нескольких станциях поперек Тихого океана и по побережью Калифорнии.

Программа исследования, сформулированная в проекте, непосредственно поддерживает цели программы ABC, обеспечивая наблюдения аэрозоля в соответствии со стандартами ABC и расширяя область изучения на Центральную Азию.

Институты – участники СНГ:

- Институт физической химии им. Карпова, Москва, Россия;
 - Кыргызско-Российский Славянский университет, Лидарная станция Теплоключенка, Бишкек, КР;
 - Институт физики атмосферы Российской Академии наук, лаборатория моделирования переноса воздушного загрязнения, Москва, Россия;
 - Институт химии и химической технологии Национальной Академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, КР.
- Американские участники (колaborаторы):*
- Проф. Gregory R. Carmichael, Отдел химической инженерии Колледжа инженерии Университета штата Айова;
 - Проф. V.I. Ramanathan, Центр атмосферных наук Института океанографии Калифорнийского университета, Сан-Диего, США;
 - Ph.D. Paul A. Solomon, Агентство по охране окружающей среды США (EPA), Лас Вегас;
 - Проф. Jamie Schauer, Лаборатория водных наук и техники Университета Мэдисон, США.

Впервые в Центральноазиатском регионе будут развернуты комплексные исследования загрязнения воздушной среды с применением методов и оборудования, которые используются на ABC-обсерваториях.

В дополнение к существующим измерениям в проекте предусмотрены следующие долгосрочные измерения: 1) уровней озона; 2) массы аэрозоля; 3) состава аэрозолей; и 4) аэрозольных оптических толщ.



Рис. 16. Обсерватории ABC “аэрозоль – химия – климат”.

Эти измерения в настоящее время проводятся на сети АВС, поэтому обучение, техническая поддержка и деятельность по калибровке приборов доступны как часть деятельности сети АВС.

Для измерения аэрозольной оптической толщины будет использован Microtops II Sunphotometer – 5 каналный ручной солнечный фотометр для простого, точного и надежного измерения аэрозольной оптической толщины. Измеряется и хранится прямая солнечная радиация на 5 дискретных длинах волн. Точность характеристик Microtops II сопоставима с более сложными и дорогими инструментами. Ежедневные аэрозольные оптические толщины будут получены в одно и тоже время (номинально 10:30 – местное время каждого дня для сравнения со спутниковыми проходами).

Масса аэрозоля будет измеряться с помощью прибора ТЕОМ, который обеспечит измерения массовой концентрации аэрозоля ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) и его фракций (рис. 17). Обычное время одного измерения 1 час. Этот метод является простым и дешевым способом получения ежедневных значений в противоположность трудоемкому, медленному и склонному ко многим дополнительным ошибкам, методу сменных фильтров.



Рис. 17. Измерение массовой концентрации аэрозоля с помощью ТЕОМ на ЛСТ.

Планируется также сбор фильтров для последующего анализа состава аэрозоля. Отбор проб воздуха будет проведен с помощью пробоотборника URG-3000 ABC, используя тефлоновые и кварцевые фильтры (рис. 18). Фильтры будут сохранены для последующего

химического анализа, что обеспечит информацией относительно микропримесей элементов, присутствующих в пыли. Этот химический анализ может также оказать помощь в обнаружении следов тяжелых металлов и остатков от испытаний химического и биологического средств массового уничтожения. Если необычные элементы будут обнаружены, то это даст возможность дальнейшего изучения воздействия источников аэрозоля на отдаленные участки.



Рис. 18. Автоматический пробоотборник нано- и микромасштабных частиц URG-3000 ABC на ЛСТ.

Измерения озона будут выполнены, используя пассивные образцы, разработанные в Швеции. Они сейчас используются в сети АВС.

Проект будет выполняться при широком участии ученых CIS, прежде вовлеченных в развитие и испытание биологических и химических средств массового уничтожения.

Результаты, полученные в проекте, позволят оценить степень воздействия загрязнения не только на воздушную среду региона, но и на соседние, включая и США, в результате трансконтинентального переноса. Так, например, жизнеспособные биологические агенты, захороненные в мелком слое песка при открытых испытаниях биологических средств массового уничтожения в 1991 г. на острове Возрождения в Аральском море, могут еще представлять угрозу населению в отдаленных местах типа Северной Америки, особенно во время их переноса в составе Азиатских пылевых бурь. Кроме этого, плато Устюрт к юго-

западу от Аральского моря использовалось в качестве полигона для военных химических испытаний. Риск переноса этих ядов и агентов болезни к подветренным поселениям, включая США, будет изучен в проекте впервые.

Научная и практическая ценность проекта заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для конкретизации моделей воздушного дальнего переноса загрязнения и климата. Предложенное исследование будет играть прямую роль в улучшении нашего понимания причин, способствующих переносу загрязнителей дальнего действия в Северном полушарии и, в частности, от Азии до Северной Америки.

Таким образом, те усилия, какие предложены в проекте, являются и будут необходимы для формирования основы долгосрочного международного мониторинга воздушной среды и программы управления, которая должна, в конечном счете, развиваться таким образом, чтобы местные и региональные области могли развивать рентабельные и эффективные стратегии контроля выбросов для защиты человеческого здоровья и благосостояния.

Цель проекта МНТЦ #KR-1522 (начало – 01.01.2008 г., окончание – 31.12.2010 г. Головной институт – КРСУ) состоит в фундаментальном исследовании и получении объективных данных об оптических и микрофизических характеристиках Атмосферного Коричневого Облака (АВС) в регионе Центральной Азии для устранения ограниченности знаний об объекте и выработки решений, смягчающих действие Облака на общество в целом.

Научная программа проекта состоит из следующих задач:

- разработка алгоритмов и программного обеспечения для обработки данных измерений и решения обратных задач светорассеяния;
- натурные измерения оптических и микрофизических характеристик АВС, сбор, анализ и классификация нано- и микромасштабных частиц, составляющих АВС;
- разработка моделей расчета аэрозольных излучающих воздействий;
- разработка модели радиационного переноса и фотохимических процессов, описывающей влияние АВС на атмосферу;

- оценка прямых и косвенных аэрозольных воздействий АВС.

Реализация проекта позволит достичь следующего основного результата: сформировать на территории Центральной Азии лидарную и радиометрическую станцию, осуществляющей систематические измерения характеристик Атмосферного Коричневого Облака, тем самым непосредственно поддерживая цели программы АВС – Южная Азия UNEP/NOAA, обеспечивая мониторинг аэрозоля и расширяя область изучения АВС на Центральную Азию.

Научная и практическая ценность проекта заключается в том, что полученные результаты будут использованы:

- при разработке модели расчета аэрозольных излучающих воздействий и проведении расчетов прямых и обратных аэрозольных эффектов на базе данных лидарных и фотометрических измерений;
- при разработке модели радиационного переноса и фотохимических процессов, описывающей влияние АВС на атмосферу для проведения оценок прямых и косвенных аэрозольных воздействий АВС на состояние окружающей среды и, в особенности, на истощение водных и гидроэнергетических ресурсов в Центральной Азии.

Полученные результаты в ходе выполнения проекта будут способствовать осуществлению региональных и глобальных экологических программ.

Большинство предполагаемых сотрудников из участвующих институтов прежде были учеными-оружейниками в различных областях. Участие в проекте позволит этой группе ученых использовать научные идеи, технические разработки и опыт, полученные при выполнении работ по военной тематике, для развития мирной технологии, направленной на формирование системы контроля окружающей среды и эффективное использование природных ресурсов. Работа научного коллектива совместно с лидарными сетями CIS-LiNet, AD-Net и сетью мониторинга АВС UNEP/NOAA будет являться способом интеграции в деятельность международного научного сообщества.

Ожидаемые результаты будут полезны международному сообществу и соответствовать интересам стран в области охраны окружающей

среды. Обобщенные результаты исследования АВС в популярной форме через сеть Интернет будут доступны общественным экологическим организациям и отдельным лицам.

После завершения проекта научная группа будет осуществлять свою деятельность по оказанию информационных услуг на основе участия в международных экологических и климатических программах и прямых контрактов с национальными и региональными организациями.

Коллабораторами данного проекта являются ведущие ученые из AERONET/PHOTONS (Франция) и Исследовательского центра Карлсруе (Институт технической химии, Германия), которые приняли активное участие в подготовке Предложения и Рабочего плана.

Разработка методики комплексного лидарного и радиометрического мониторинга атмосферного аэрозоля, осуществление регулярных наблюдений посредством лидара и Microtops II Sunphotometer является целью предусматриваемого проектом сотрудничества с AERONET/PHOTON в рамках задач, сформулированных в проекте. Процедуры комплексного лидарного и радиометрического мониторинга аэрозоля будут разработаны совместно с коллаборатором Dr. Philippe Goloub и затем отработаны в натурных измерениях.

Разностороннее сотрудничество будет осуществляться с научными группами CIS-LiNet. Головной исполнитель проекта – Лидарная станция Теплоключенка КPCY входит в состав лидарной сети CIS-LiNet, что будет способствовать организации совместных исследований. Совместно с координатором CIS-LiNet Dr. А.П.Чайковским и другими ведущими специалистами и группами CIS-LiNet будет продолжена унификация методов обработки данных и отработка процедур регулярных лидарных измерений. Регулярные наблюдения и формирование базы данных будут выполняться на основе общих методик и стандартов, что позволит объединять базы данных для анализа процессов переноса аэрозоля на Евразийском континенте.

Проект предусматривает проведение регулярных измерений оптических и микрофизических характеристик аэрозольных частиц в

высокогорном районе Центрального Тянь-Шаня посредством аппаратного комплекса, включающего многоволновый лазерный локалор и солнечный фотометр, а также сбор нано- и микромасштабных частиц с последующим их анализом. В рамках проекта будет разработана и внедрена в практику новая методология мониторинга атмосферного аэрозоля, основанная на осуществлении коррелированных многоволновых лидарных и спектральных фотометрических измерениях. Метод будет объединять информационные возможности лидарных и фотометрических измерений и обеспечивать получение новой информации о высотном профиле спектров оптических характеристик и микроструктуры аэрозоля, а также спектральной радиации.

Технические показатели лидарной системы, которые будут подготовлены к регулярным измерениям по программе проекта, обеспечат проведение измерений в соответствии с поставленными задачами. Имеющийся набор информационных каналов позволит получить информацию о спектральных зависимостях показателя обратного аэрозольного рассеяния и измерение профиля аэрозольного ослабления. Посредством обращения данных многоволнового зондирования будет получена информация о профилях параметров микроструктуры аэрозоля. Измерение деполяризации аэрозольного рассеяния позволит идентифицировать присутствие несферических аэрозольных частиц.

Для обработки данных лидарных измерений и восстановления профилей показателя обратного рассеяния и ослабления будет разработан базовый комплект программного обеспечения. В основу будут положены алгоритмы и программы, разработанные в КPCY в рамках выполнения проекта МНТЦ #KR-310 и #B-1063.

Натурные измерения являются основной составляющей программы измерений. Задача предусматривает получение систематических данных об оптических и микрофизических характеристиках аэрозоля в АВС и направлена, прежде всего, на обоснование оптических и микрофизических моделей АВС, используемых для оценки воздействия АВС на окружающую среду. Помимо лидарных измерений,

будет использован солнечный фотометр Microtops II Sunphotometer для измерения аэрозольной оптической толщины и спектральной радиации.

Следующие оптические свойства будут извлечены для характеристики аэрозоля:

- Аэрозольная оптическая толщина (АОТ);
- Распределение частиц по размерам;
- Показатель преломления;
- Альбеда однократного рассеяния;
- Показатель Ангстрема.

Сбор, анализ и классификация нано- и микромасштабных частиц, составляющих АВС, подразумевают использование стандартных методов исследования частиц с помощью электронных и оптического микроскопов, дифракции рентгеновских лучей, а также рентгеновской флюоресценции. При этом для отбора проб нано- и микромасштабных частиц планируется использовать фильтры Петрянова АФА-РСП-10.

Поскольку Азиатский континент, включающий и Центральную Азию, считается одним из регионов, где наблюдается большое разнообразие аэрозоля, в том числе аэрозоля ископаемого топлива, пыли и соли, то возникает необходимость изучения излучающего воздействия аэрозоля (ARF) в зависимости от его пространственно-временных изменений.

В настоящее время неопределенности в оценках ARF остаются сравнительно большими. Эти неопределенности ведут к значительным расхождениям (в диапазоне от двух до трех раз) в определении нагрузки и к значительным расхождениям в определении вертикального распределения (в 10 раз).

Для проведения численных расчетов аэрозольных излучающих воздействий АВС как прямых, так и обратных, планируется использовать моделирование. Будут подвергнуты обработке радиационные данные, полученные с помощью Microtops II Sunphotometer, и аэрозольные оптические толщины, измеренные с помощью лидара и фотометра. По разработанным моделям будут проведены численные расчеты ARF, которые затем будут сравниваться с экспериментально полученными величинами.

При разработке модели радиационного переноса и фотохимических процессов, опи-

сывающей влияние АВС на атмосферу, предполагается разделение атмосферы на несколько десятков слоев, начиная с земной поверхности до уровня, соответствующего достаточно низкому давлению, на несколько порядков ниже атмосферного. Предполагаемый расчет длинноволнового излучения будет включать в себя поглощение и эмиссию водяного пара, двуокиси углерода, озона, SO_2 , H_2S , аэрозолей облака, примесных газов N_2O , CH_4 , и др., высотнo-временные вариации концентраций которых будут рассчитываться на основе уравнений радиационной газовой динамики. Длинноволновый спектр, занимающий спектральную область от нуля до 3000 см^{-1} , следует разбить на достаточное число интервалов согласно особенностям поглощения и пропускания атмосферных газов, включенных в рассмотрение. Для расчета потоков солнечной радиации в используемом комплексе вычислительных программ будут применены приближенные схемы учета эффектов рассеяния и поглощения в атмосфере. Один из методов основан на часто используемом в расчетах переноса излучения δ -приближении Эддингтона. Другой использует так называемое транспортное приближение, в котором при соответствующей аппроксимации индикатрисы рассеяния уравнение переноса излучения содержит только две спектральные характеристики среды – коэффициент поглощения и транспортный коэффициент рассеяния, учитывающий асимметрию рассеяния. Для получения окончательного решения будет использоваться итерационная схема. При этом в расчетах можно применять ранее разработанную технику решения многогрупповых задач переноса излучения. В модель предполагается включить рэлеевское и аэрозольное рассеяние в облаках и отражение от подстилающей поверхности. Для учета селективного поглощения газовых компонент атмосферы предполагается ввести дополнительное разбиение спектральных интервалов на более мелкие в зависимости от поглощающих свойств атмосферных газов. В качестве таблиц спектроскопических данных по атмосферным газовым составляющим будет использована база данных HITRAN 96. Радиационные характеристики аэрозольных частиц будут рассчитываться по формулам теории Ми.

Оценка прямых и косвенных аэрозольных воздействий АВС будет решаться интегрально с помощью теоретических исследований и численного моделирования. Будет осуществляться проведение детального сравнения полученных результатов с данными лидарных зондирований АВС, полученных на ЛСТ. Результаты численного моделирования (после их получения) будут использованы для корректировки задач проводимых наблюдений. Рассмотрение различных временных и пространственных масштабов позволит исследовать процесс формирования и эволюции АВС как процесс самоорганизации на микроскопическом (элементарные процессы) и макроскопическом (собственно формирование и эволюция АВС) уровнях. Создание самосогласованной модели, описывающей процессы формирования и эволюции АВС в зависимости от сезонных изменений параметров предполагает применение методов и подходов радиационной газовой динамики и химии атмосферы с учетом процессов формирования и эволюции нано- и микромасштабных аэрозольных частиц. Получение данных о пространственно-временном распределении озона, метана, окиси углерода и других малых составляющих атмосферы, играющих важную роль в моделировании динамики процессов формирования АВС, важно также с точки зрения влияния АВС на температурный режим региона. Учет влия-

ния солнечного излучения на АВС подразумевает получение оптических и термодинамических характеристик атмосферных аэрозолей, составляющих АВС, а также исследование и численное моделирование прохождения солнечного излучения через эти облака с учетом его рассеяния на аэрозольных частицах. Тестирование указанной самосогласованной модели будет проводиться на основе данных наблюдений ЛСТ и данных других исследователей.

Одновременно с решением региональных задач аппаратура и разработанные методики могут быть использованы для решения глобальных проблем контроля загрязнения атмосферы.

Литература

1. *Chen B.B., Khmelevtsov S.S., Korshunov V.A., Vdovenkov A.M.* Multiwavelength Aerosol and Raman lidar /Proc. 21JLRC. Quebec, Canada (8–12 July 2002). – P. 65–68.
2. *Chen B.B., Sverdlik L.G., Kozlov P.V.* Optics and Microphysics of Atmospheric Aerosol. – Bishkek: ed. KRSU (2004). – 222 p.
3. *Чен Б.Б., Сverdлик Л.Г.* Оптические свойства аэрозолей Центрального Тянь-Шаня по данным лазерного зондирования. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2006. – 274 с.
4. *ISTC Project #B-1063. Final Project Technical Report.* January, 2008.