

## Мониторинг процессов переноса взвешенных в атмосфере частиц по данным дистанционных и локальных измерений в Беларуси и сопредельных регионах

А.П. Чайковский, А.П. Иванов, Э.П. Зега, И.Л. Кацев, В.П. Кабашников, С.В. Денисов, Я.А. Король, М.М. Король, А.Ю. Лопатин, Ф.П. Осипенко, А.С. Прихач, А.С. Слесарь\*

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси  
220072, г. Минск, пр-т Независимости, 68, Беларусь*

Поступила в редакцию 16.08.2011 г.

Для решения многих экологических задач требуется получение данных о составе атмосферы по огромным территориям. Это достигается путем применения дистанционных оптических методов контроля. Указаны используемый технический комплекс и международные измерительные сети, с которыми осуществлялся контакт при выполнении экологического мониторинга. Выработаны признаки, по которым производится идентификация частиц аэрозоля. Разработаны и осуществлены процедуры комплексного анализа наземных и космических данных для оценки пространственного распределения характеристик взвешенных частиц. Проанализирован межрегиональный перенос, обусловленный аномальными природными явлениями и антропогенной деятельностью. Выяснена пространственная плотность мощности источников аэрозолей, влияющих на состояние атмосферы в Березинском заповеднике Беларуси. Создана статистическая микрофизическая модель атмосферного аэрозоля для территории Беларуси.

*Ключевые слова:* дистанционный мониторинг, аэрозоль, межрегиональный перенос; remote monitoring, aerosol, trans-regional transport.

### Введение

Изменение климата и глобальное загрязнение окружающей среды вошли в число наиболее приоритетных проблем современного общества и будут оставаться таковыми в обозримом будущем. В атмосфере распространение загрязнений происходит особенно быстро, и локальные катастрофы приобретают глобальный характер. Для решения многих экологических задач требуется получение данных по огромным акваториям. Это достигается путем применения дистанционных оптических методов контроля, к которым можно отнести лазерное, радиометрическое (фотометрическое), аэрокосмическое зондирование, и создания соответствующих международных измерительных сетей.

Важной задачей является разработка методической основы комплексного дистанционного и локального, наземного и космического мониторинга состава атмосферы с целью ее применения в практических работах по контролю загрязнений и крупномасштабного переноса загрязнений. В настоящей статье остановимся только на тех вопросах, которые связаны с исследованиями аэрозоля.

При дистанционном зондировании, когда непосредственно нельзя определить тип рассеивающих частиц, имеется ряд признаков, характерных для разного типа аэрозоля, которые представлены в табл. 1 и использованы нами при интерпретации.

### Международные измерительные сети аэрозоля

Наземные данные об аэрозоле имеются по Березинскому заповеднику Беларуси, в Европейской сети ЕМЕП. Данные измерений примесей в приземном слое атмосферы в регионах Польши доступны в сети Интернет в оперативном режиме. В настоящее время создана Европейская лидарная сеть EARLINET [1], задачей которой является контроль параметров аэрозоля на пространстве Европы.

---

\* Анатолий Павлович Чайковский (chaikov@dragon.bas-net.by); Аркадий Петрович Иванов; Элеонора Петровна Зега; Иосиф Лейбович Кацев; Виталий Павлович Кабашников (us212@rad.by.mesom.ru); Сергей Вадимович Денисов; Яна Александровна Король; Михаил Михайлович Король; Антон Юрьевич Лопатин; Федор Петрович Осипенко; Александр Сергеевич Прихач; Александр Сергеевич Слесарь.

Признаки, по которым производится идентификация частиц аэрозоля

Тип аэрозоля	Размер, мкм	Форма	Спектр обратного рассеяния пропорционален $\lambda^{-\dot{A}}$	Деполяризация, %
Дым и индустриальный аэрозоль	Меньше 1	Разная	$\dot{A} \sim 1$	1–5
Пылевые частицы	1–20	Несферические	$\dot{A} \sim -0,4-0$	8–20
Частицы капельных облаков	Много больше 1	Сферические	$\dot{A} \sim 0$	0
Кристаллические облачные частицы	Много больше 1	Разные типы кристаллов	$\dot{A} \sim 0$	20–40

П р и м е ч а н и е .  $\lambda$  – длина волны облучения;  $\dot{A}$  – параметр Ангстрема.

Лидарная станция Института физики Беларуси (ИФ) входит в состав EARLINET. В регионах Юго-Восточной Азии научными группами Японии, Китая, Южной Кореи сформирована аналогичная лидарная сеть AD-Net [2]. В 2004 г. создана сеть лидарных станций CIS-LiNet [3] для контроля аэрозоля на пространстве СНГ. Начиная с 2005 г. региональные сети координируют наблюдения и осуществляют обмен данными. Таким образом, в настоящее время создана информационная основа для изучения процессов крупномасштабного переноса на пространстве Евразийского континента. Дополнительные материалы получают из радиометриче-

ской сети AERONET [4] (предназначенной для контроля спектральной прозрачности атмосферы и состава аэрозоля), в работе которой принимает участие и наш коллектив. Широко используются данные космических наблюдений.

### Технический комплекс для регистрации загрязнений

Среди широкого круга лидаров разного назначения Института физики в рамках сети EARLINET используется лидар с рамановскими каналами, технические данные которого представлены ниже.

#### Излучатель

Излучатель импульсный	Nd:YAG
Длина волны	1064, 532 и 355 нм
Энергия импульса	100/55/30 мДж на 1064/532/355 нм
Длительность импульса	10 нс
Частота посылки импульсов	10 Гц
Диаметр лазерного пучка (расширенный)	50 мм
Расходимость лазерного излучения	0,3 мрад

#### Приемник

Телескоп (диаметр)	Кассегрен, 300-мм первичное зеркало
Угол приема излучения	0,6–5 мрад
Длины волн упругого рассеяния	1064, 532, 532 с деполяризацией и 355 нм
Рамановские длины волн	387, 407, 607 нм

#### Система регистрации

Каналы регистрации	сигнал упругого рассеяния, деполяризация, рамановский сигнал
Детекторы	фотоприемные модули на основе фотоумножителей и лавинных фотодиодов
Режим регистрации	аналоговый сигнал и счетчик фотонов
Измеритель	АЦП (14 бит, 10 МГц),
Data Output	240-МГц быстрый счетчик фотонов База данных Access

#### Общие характеристики

Блок питания	220 В, 50 Гц, однофазное
Потребляемая энергия	1,5 кВт (без кондиционера)
Температура	0–40 °С (без кондиционера)
Масса	200 кг
Площадь для размещения	6 м <sup>2</sup>

#### Механическая система

Альт-азимутальная подвеска	ручное управление
Диапазон сканирования по азимуту	0–360°
Диапазон сканирования по углу места	0–90°

### Программное обеспечение

Программный пакет для обработки данных

1. Программа предварительной обработки и синтеза данных
2. Программа расчета параметров аэрозоля
3. Программа конвертирования форматов входных и выходных файлов данных

Лидар прошел интеркалибровку в Германии и среди четырех других признан как эталонный, по которому можно осуществлять контроль аналогичной аппаратуры.

Радиометр CIMEL, работающий в сети AERONET, проходит регулярную аттестацию. Он производит одновременные измерения оптической толщи атмосферы (АОТ) на длинах волн 340; 380; 440; 500; 675; 870; 1020 и 1640 нм. По этим данным с помощью специального алгоритма [5–7] восстанавливаются функция распределения частиц по размерам (ФРЧ), комплексный показатель преломления частиц, доля сферических (или несферических) частиц. По ФРЧ определяются средний размер и среднеквадратическое отклонение для мелкой и крупной аэрозольных фракций. Граница между мелкой и крупной фракциями проводится по минимуму в функции распределения в области 0,439–0,992 мкм.

Для получения данных об аэрозоле также используются материалы разных космических аппаратов.

1. Космические фотографии земной поверхности, облаков и аэрозольных слоев, измерения оптической аэрозольной толщи с различных космических приборов, в частности спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) – основного прибора спутников Terra и Aqua.

2. Материалы спутниковых лидарных измерений, получаемые в рамках программы CALIPSO.

3. Карты распределения пожаров – источников выбросов аэрозоля – на основе спутниковых наблюдений MODIS на сервере The Fire Information for Resource Management System (FIRMS).

4. Материалы международных сетей мониторинга атмосферы и космических агентств США (NASA) и ЕС (ESA).

Кроме того, в Беларуси имеются технические средства для приема информации дистанционного зондирования Земли со спутника.

### Возможности комплексного исследования аэрозоля

Комплексное использование разных средств по изучению аэрозоля расширяет возможности методов, повышает точность измерений. Рассмотрим ряд примеров [8–10].

#### 1. Установление структуры алгоритма обработки данных лидара и CIMEL

Задается следующая модель аэрозоля: частицы сферические или сфероидальные. Их показатель преломления постоянный. Аэрозоль состоит из двух фракций (крупной и мелкой с границей около 0,5 мкм) с параметрами интегрального по высоте

распределения частиц по данным CIMEL, но с изменяющимися концентрациями на разных высотах. Формируются три типа базовой системы уравнений: 1) лидарные (для всех используемых длин волн); 2) фотометрические (интегральная по высоте характеристика аэрозольного слоя: спектральная оптическая толщина или интеграл по высоте концентрации мелкой и крупной фракций и т.д.); 3) уравнения ограничения на гладкость профилей концентраций аэрозольных фракций. Строится функция правдоподобия для модели. Делается расчет высотных профилей концентраций мелкой и крупной фракций, которые обеспечивают максимум функции правдоподобия. В результате осуществляется восстановление высотного профиля не только общей концентрации аэрозоля, но и его мелкой и крупной фракций.

#### II. Исследования атмосферного аэрозоля, координированные с космическим лидаром в программе CALIPSO: валидация данных космического лидара

Космические лидары, в силу очевидных ограничений, не могут достигнуть такого качества данных, которые доступны на стационарных лидарных станциях. Поэтому наземные лидарные станции высокого уровня призваны обеспечить валидацию данных космических лидаров. Для реализации этих функций должны быть обеспечены высокий технический уровень базовых наземных станций и разработаны и реализованы процедуры, обеспечивающие их координированную (сетевую) работу, прежде всего унификацию методики измерений и ключевых аппаратных блоков. Очевидно, все перечисленные мероприятия эффективны только в рамках международного научного сотрудничества. Нами вместе с рядом научных центров в ЕС, с целью разработки методологии применения данных космического лидарного зондирования, начиная с 2006 г., были проведены работы по валидации космического лидара на спутнике CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations) посредством координированных лидарных измерений на Европейском пространстве. Космический лидар CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) размещается на платформе CALIPSO и является частью Международного космического проекта «A-Train». На рис. 1 приведен только один пример сопоставления высотных профилей показателей обратного рассеяния, полученных со спутника [11] и с земли в ИФ.

Полные результаты распределения относительных разностей между измерениями обратного рассеяния  $\delta$  данных CALIPSO и станций EARLINET представлены на рис. 2 (<http://www-calipso.larc.nasa.gov/products/>).

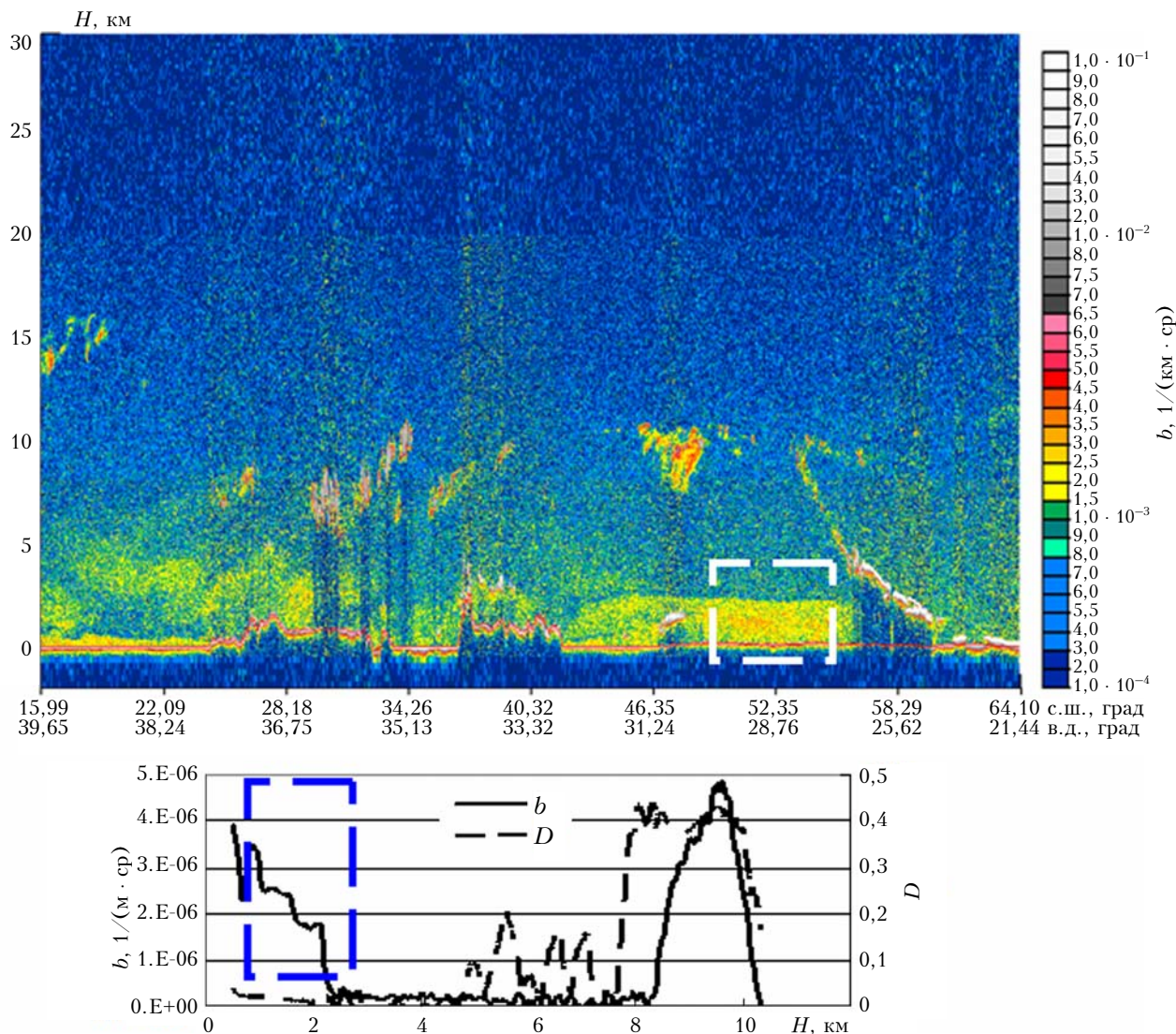


Рис. 1. Разрез профиля показателя обратного аэрозольного рассеяния (шкала справа) на основе измерений космического лидара CALIPSO до высоты 30 км. Выделенный прямоугольником участок – регион Беларуси (сверху). Лидарные измерения профиля показателя обратного аэрозольного рассеяния ( $b$  – сплошная линия) и степени деполяризации ( $D$  – прерывистая линия) в Минске.  $H$  – высота. Прямоугольником выделен слой, загрязненный частицами дыма (снизу)

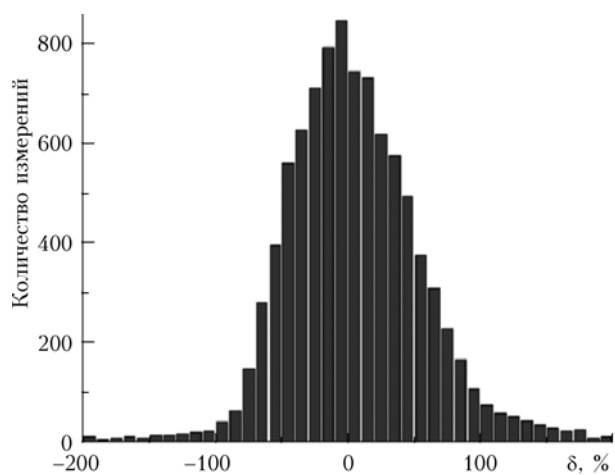


Рис. 2. Распределение относительных разностей между измерениями обратного рассеяния данных CALIPSO и станций EARLINET

Следующие параметры характеризуют полученное распределение: среднее отклонение (относительное) – 4,6%, относительное стандартное отклонение – 50% и медиана – 0,6%.

### Модели переноса загрязнений

Экспериментальные данные и их интерпретация сопоставлялись с результатами моделей переноса загрязнений. К ним можно отнести:

1. NAAPS (Navy Aerosol Analysis and Prediction System). Эта модель описывает распространение аэрозольных компонентов (сульфатный аэрозоль, пыль, дымы), дает прогноз эпизодов крупномасштабного переноса аэрозоля и определяет региона распространения загрязнения.

2. Модели переноса сахарской пыли представлены на сайте университета Афин (Atmospheric Modeling and Weather Forecasting Group of National and Kapodistrian University of Athens) и вы-

числительного центра в Барселоне (BSC-CNS – National Supercomputing Center in Barcelona), Испания.

3. EURAD – Мезомасштабная химическая модель предназначена для прогнозирования переноса атмосферных примесей в тропосфере и нижней стратосфере и оценки качества воздуха в Европейском регионе. Информация об источниках выбросов берется из базы данных ЕМЕП.

4. Усовершенствованный метод, основанный на статистике обратных траекторий. Входными данными этого метода являются данные мониторинга содержания примеси за длительное время (например, за год или несколько лет) и набор обратных траекторий воздушных масс, приходящих в точку мониторинга в моменты измерения концентрации.

### Теоретические разработки по методам восстановления различных характеристик атмосферы и подстилающей поверхности

Для интерпретации космических данных разработана аналитическая инженерная теория переноса света в системе «атмосфера – взволнованная поверхность океана (или просто земная поверхность) – океан». Эта теория согласуется с результатами численных методов Монте-Карло в рамках тех задач, которые рассмотрены далее. В результате созданы:

- 1) быстрые точные коды, симулирующие перенос в системе «атмосфера–океан» и позволяющие осуществлять контроль загрязнения атмосферы, атмосферную коррекцию атмосферы, внешнюю калибровку;
- 2) пакеты для восстановления параметров облаков по спутниковым данным (SAKURA);
- 3) методы спутникового мониторинга снега (GLI, MODIS).

Проиллюстрируем сказанное на примере восстановления атмосферной оптической толщины на  $\lambda = 440$  нм. Наиболее развитыми аэрозольными алгоритмами обработки спутниковых данных, разработанными в США, Японии, Германии, Великобритании, являются MERIS ESA, MISIR JPL, MERIS BAER, MODIS NASA, AATSR. Их большой недостаток – многочасовая обработка даже одного кадра изображения. С целью создания оперативных алгоритмов FAR, ART и резкого сокращения времени обработки было предложено использовать аналитические решения теории переноса излучения в комбинации с численными расчетами. Идея этого подхода описана в монографии [12]. Время обработки кадра порядка минуты. Сравнение с существующими методами показало при одних условиях совпадение результатов, при других – некоторое расхождение. Причины последнего известны, но они окупаются быстротой обработки информации. На рис. 3 приведены значения АОТ, восстановленные по спутниковым данным алгоритмами FAR (f3) и ART, и данные сети AERONET. Расхождения приемлемые. Реальная картина восстановления оптической толщины по большой территории видна на рис. 4.

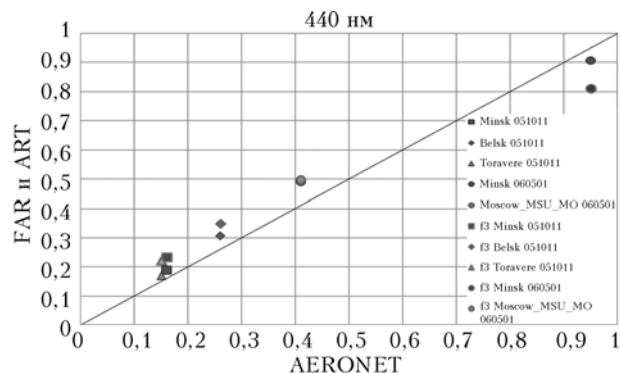


Рис. 3. Сравнение значений АОТ, восстановленных по спутниковым данным алгоритмами FAR (f3) и ART, с данными сети AERONET. Справа указаны место и время наблюдения

### Перенос загрязнения, обусловленный природными явлениями и деятельностью человека

Перейдем к конкретным результатам наблюдений. Изучался межрегиональный перенос, обусловленный аномальными природными явлениями (пожарами, пылевыми бурями, извержениями вулканов) и антропогенной деятельностью.

Пожары, охватывающие огромные территории земного шара и наносящие значительный ущерб экономике и экологии, привлекают внимание служб контроля с точки зрения своевременного обнаружения источников, их размеров, мощности, скорости распространения и т.д. Отметим лишь пожары в Европе в апреле – мае 2006 г. Одним из значимых негативных последствий выноса дымов пожаров явилось загрязнение Арктического региона. Для наблюдения за этим процессом была организована координированная работа лидарных и радиометрических станций на пространстве от Беларуси до Шпицбергена.

Перенос продуктов пожаров приводит к возрастанию концентрации мелкодисперсной фракции взвешенных частиц диаметром менее 1 мкм. Соотношение между концентрациями PM-2.5 к PM-10, приблизительно равными в обычных условиях при загрязнении продуктами дымов в регионе Беларуси, смещалось в сторону 5–10-кратного увеличения относительной концентрации мелких частиц, что вредно для здоровья населения в загрязненных регионах.

Европа, и Беларусь в частности, подвержена пылевым бурям, приходящим из северных районов Африки. В результате замутненность атмосферы на высотах 4–8 км может возрасти в 20–50 раз. Безоблачная атмосфера становится не голубой, а серой. Доля дней в году, когда наблюдается перенос пыли в Европу, составляет 5–7%. Наибольшая частота обнаружения пыли – 10% на юге Италии. Лидарная станция в Минске обнаруживала слои пыли для около 2% дней наблюдений. В период выноса пыли концентрация крупнодисперсной моды значительно возрастает, в то время как мелкодисперсная фракция остается сравнительно стабильной.

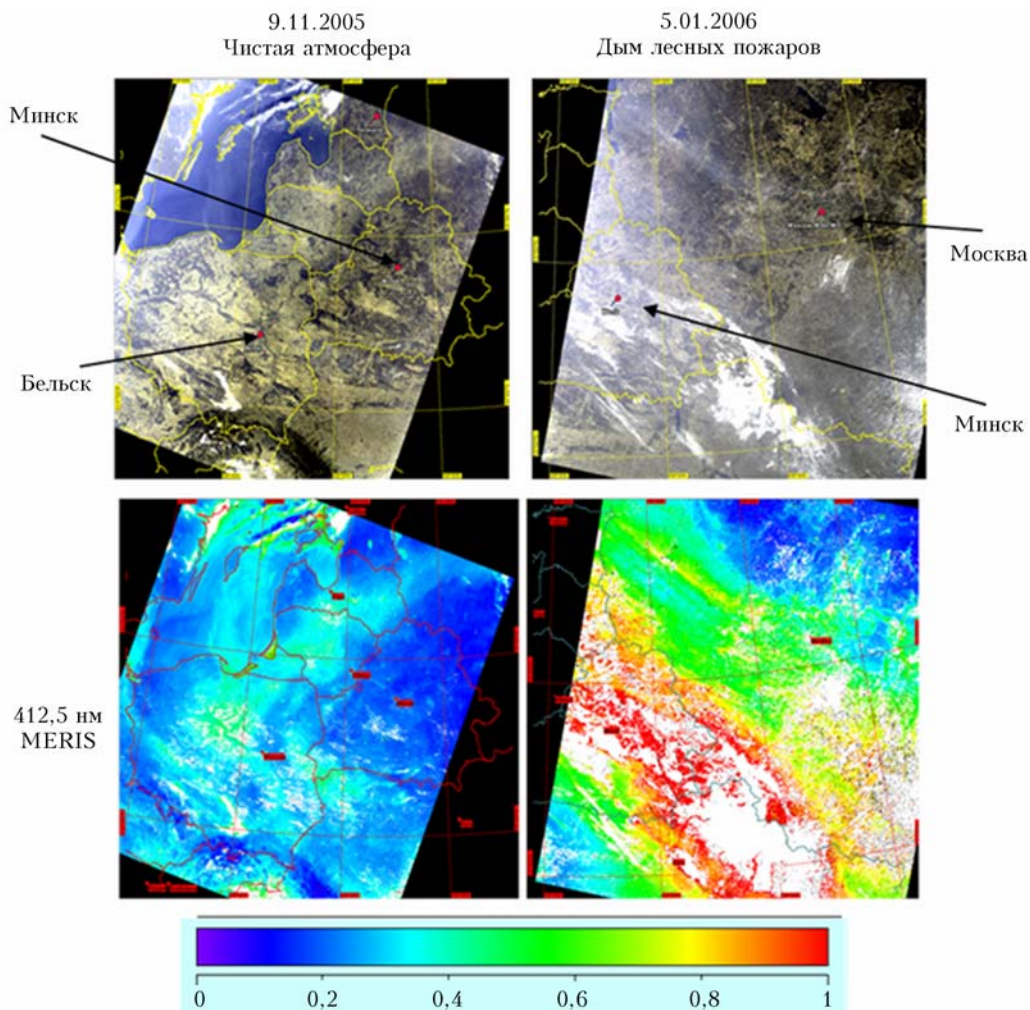


Рис. 4. Земная поверхность при чистой и замутненной атмосфере и восстановленная оптическая толщина на  $\lambda = 412,5$  нм со спутника MERIS

Последнее мощное извержение вулкана произошло в 1991 г. Это был влк. Пинатубо на Филиппинах, последствия которого (с точки зрения загрязнения стратосферы) сказывались несколько лет. Однако в последние 2 года не очень крупные извержения вулканов в Исландии вызвали серьезную озабоченность общественности в связи с опасностью полетов самолетов в Европе. Дистанционные наблюдения за распространением облака пепла влк. Эйяфьятлайокудль в регионы Европы (20 марта — 20 мая 2010 г.) проводились в Европейской лидарной сети EARLINET, в том числе на станции в г. Минске и в районе г. Лилля (Франция) в сотрудничестве с учеными Лилльского университета. Результаты измерений в Лилле и Минске позволили оценить трансформацию характеристик взвешенных частиц в процессе их переноса.

При этом если пепел на территории Франции присутствовал длительное время, то в Беларуси он наблюдался лишь иногда и в небольших количествах. Из 25 наблюдений в г. Минске в период наибольшего загрязнения Центральной Европы пепел на высотах 3–7 км присутствовал 3 раза, следы

пепла проявились 12 раз. В 2011 г. в Беларуси вулканическая деятельность Исландии не проявилась.

Значительную часть загрязняющих примесей выбрасывают в атмосферу антропогенные источники, в частности, до 10–20% общей массы аэрозольного вещества. Источники антропогенного аэрозоля сосредоточены в промышленных и населенных районах. Данные о мощности этих выбросов содержатся в отчетах ЕМЕП. Однако антропогенные выбросы и перенос этих продуктов могут быть причиной резких подъемов концентрации частиц PM-10, которые наблюдаются в холодные периоды в достаточно чистых районах: на станции в Березинском заповеднике (Беларусь) и пос. Бельск (Польша). В это время в связи с отопительным сезоном возрастает мощность выбросов и уменьшается высота слоя перемешивания. Эти факторы способствуют накоплению частиц в приземном слое.

В те дни, когда в пункте наблюдений просматривается повышенная загрязненность, представляет интерес выявить траекторию, по которой она распространялась. Такую приблизительную картину могут дать обратные траектории, изображенные на рис. 5.

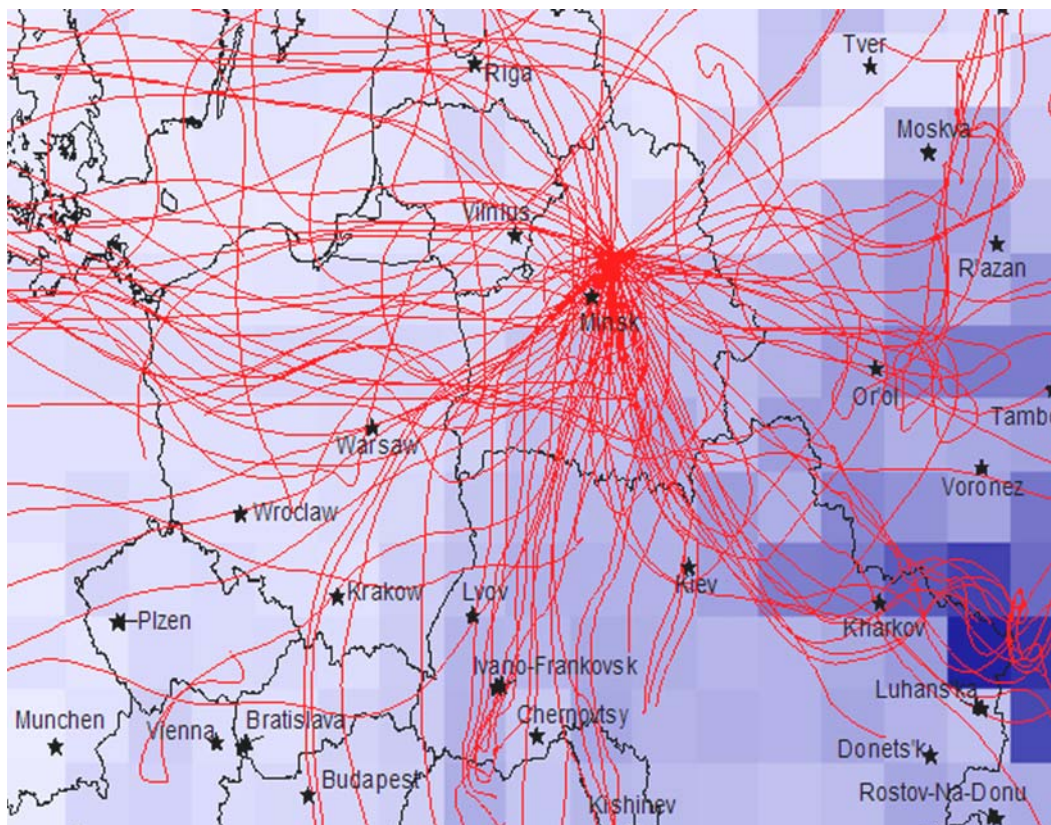


Рис. 5. Пространственная плотность мощности источников аэрозолей, влияющих на состояние атмосферы в Березинском заповеднике в теплые сезоны (разная степень фона карты), и траектории воздушных масс на высоте 950 гПа (450 м) в дни с концентрациями аэрозолей, в два раза и более превышающими средние

Густота траекторий свидетельствует о том, насколько часто проявлялось влияние источников загрязнения. Видно, что в теплые сезоны наиболее мощные источники находятся на восточной границе Украины с Россией, более слабые – на западе Украины и черноземном поясе России.

В холодные сезоны (данные не приведены) наиболее мощные источники аэрозолей расположены на большей части Украины, юго-востоке Беларуси, в районе Москвы. Наибольший вклад в загрязненность атмосферы Минска взвешенным веществом дают южные и восточные территории. Менее всего загрязняют атмосферу северные территории.

Систематический комплексный мониторинг трансграничного переноса загрязнения позволил получить многолетнюю картину состояния атмосферы, причины и источники возникающего в определенные периоды сильного замутнения среды. Общая картина содержания аэрозоля в атмосфере по данным радиометрических измерений в течение нескольких лет, обусловленная разными причинами, представлена на рис. 6.

Под содержанием аэрозоля понимается отношение объема мелких (PM-2.5) или крупных (PM-10) частиц в атмосферном столбе с единичной площадью основания, выраженное в микрометрах. Аналогичные данные имеются по высотному распределению частиц.

## Микрофизическая модель атмосферного аэрозоля на территории Беларуси

На основе многолетних измерений станции AERONET и лидарных измерений создана статистическая микрофизическая модель атмосферного аэрозоля на весенне-осенний период для территории Беларуси с целью использования ее при обработке многоспектральных спутниковых данных. Она позволяет аппроксимировать функцию распределения частиц по размерам логнормальным распределением, определять долю несферических частиц в атмосферном столбе. Параметры модели приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры статистической модели аэрозоля в Беларуси

Мелкая фракция, мкм		Крупная фракция, мкм			n	χ
Средний размер	Дисперсия	Средний размер	Дисперсия	Доля сферичности		
0,165	0,44	2,97	0,67	1,04 – 0,255V <sub>c</sub> /V <sub>f</sub>	1,47	0,015

Примечание. n и χ – действительная и мнимая части показателя преломления аэрозоля; V<sub>c</sub>/V<sub>f</sub> – отношение объемов крупной и мелкой фракций, которое нужно определять в эксперименте.

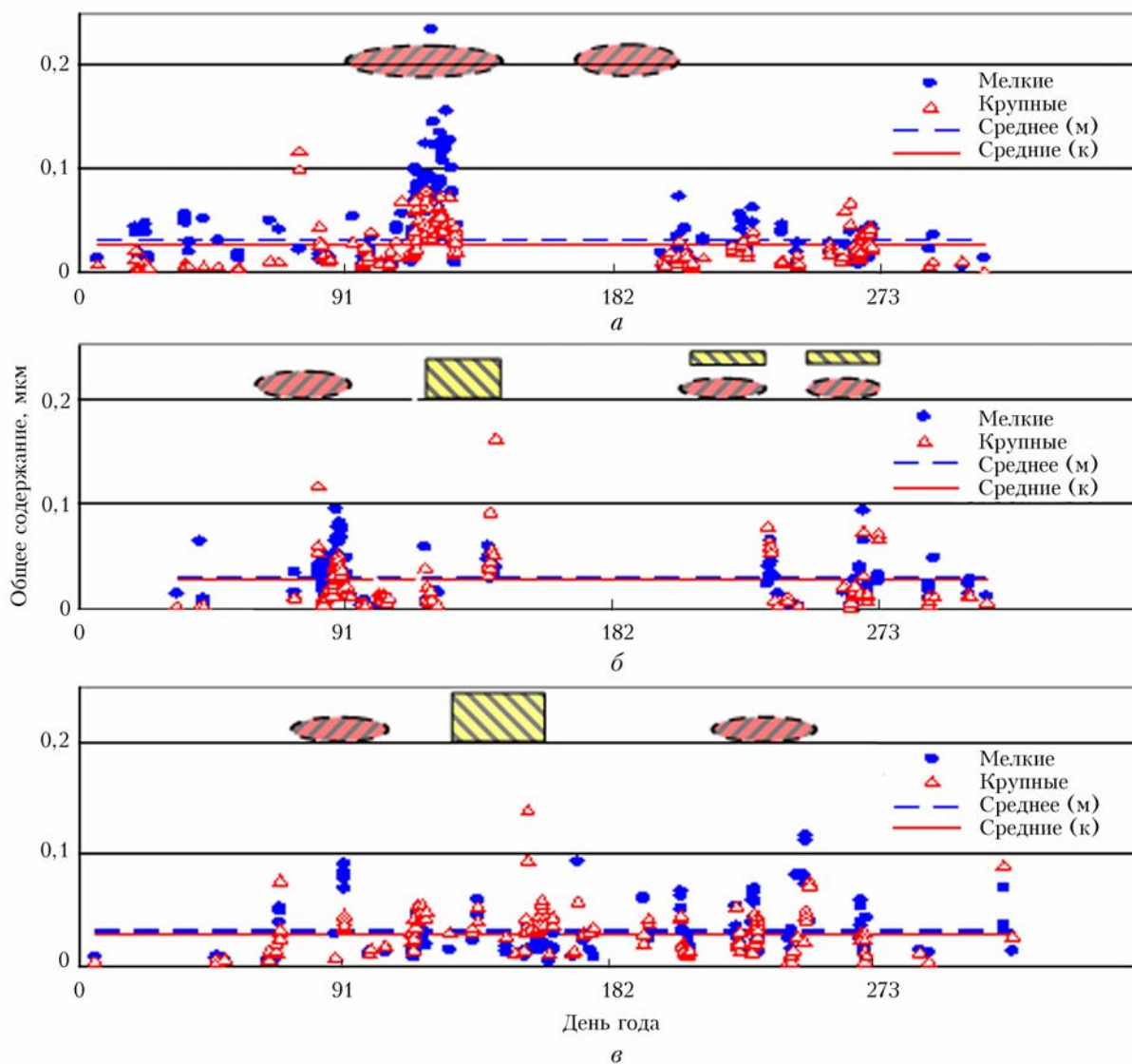


Рис. 6. Общее содержание мелкой и крупной аэрозольных фракций по данным радиометрических измерений в 2006 (а), 2007 (б) и 2008 гг. (в) в Минске. Овалами отмечены события переноса продуктов пожаров, прямоугольниками – пыли. Горизонтальные линии – среднегодичное содержание мелких и крупных частиц

1. Bosenberg J., Ansmann, Baldasano J., Balis D., Bockmann C., Calpini B., Chaikovskiy A., Flamant P., Hagard A., Mitev V., Papayanis A., Pelon J., Resendes D., Schneider J., Spinelli, Trickle T., Vaughan G., Viconti G., Wiegner V. EARLINET A European Aerosol Research Lidar Network // Advances in Laser Remote sensing: Selected papers 20-th Int. Radar Conference (ILRC). Vichi, France, 10–14 July 2000. 2000. P. 155–158.
2. Murayama T., Sugimoto N., Matsui I., Lio Zh., Sakai T., Shibata T., Iwasaka Y., Won J.G., Yoon S.C., Li T., Zhou Y., Hu H. Lidar Network observation of Asian dust // Advances in Laser Remote sensing, Selected papers 20<sup>th</sup> Int. Laser Radar Conference (ILRC). Vichi, France, 10–14 July 2000. 2000. P. 169–177.
3. Чайковский А.П., Иванов А.П., Балин Ю.С., Ельников А.В., Тулинов Г.Ф., Плюснин И.И., Букин О.А., Чен Б.Б. Лидарная сеть CIS-LiNet для мониторинга аэрозоля и озона: методология и аппаратура // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 12. С. 1066–1072.
4. Holben B.N., Eck T.I., Slutsker I., Tare D., Buis J.P., Setxer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. 1998. V. 66. P. 1–16.
5. Dubovik O., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105, N 16. P. 20673–20696.
6. Dubovik O. Optimization of Numerical Inversion in Photopolarimetric Remote Sensing // Photopolarimetry in Remote Sensing (G. Videen, Y. Yatskiv and M. Mishchenko, Eds.). Netherlands, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. P. 65–106.
7. Dubuisson P., Buriez J.C., Fouquart Y. High Spectral Resolution Solar Radiative Transfer in Absorbing and Scattering media, application to the satellite simulation // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 1996. V. 55, N 1. P. 103–126.



8. *Chaikovsky A., Dubovik O., Holben B.N., Thompson A., Goloub Ph., O'Neill N., Sobolewski P., Bosenberg J., Ansmann A., Wandinger U., Mattis I.* CIMEL and multiwavelength lidar measurements for troposphere aerosol altitude distributions investigation, long-range transfer monitoring and regional ecological problems solution: field validation of retrieval techniques // *Optica Pura y Aplicada* 2004. V. 37, N 3. P. 3241–3246.
9. *Chaikovsky A., Bril A., Barun V., Dubovik O., Holben B.N., Goloub Ph., Sobolewski P.* Methodology and sample results of retrieving aerosol parameters by combined multi-wavelength lidar and Sun – sky scanning measurements // Tenth Joint Int. Symp. On Atmos. End Ocean Optics. Atmos. Phys. Part II: Laser Sensing and Atmos. Phys. / Ed. by G. Matvienko, G. Krekov: Proc. SPIE. 2002. V. 5397. P. 257–268.
10. *Chaikovsky A., Bril A., Barun V., Dubovik O., Holben B.N., Thompson A., Goloub Ph., Sobolewski P.* Studying altitude profiles of atmospheric aerosol parameters by combined multi-wavelength lidar and Sun – sky radiance measurements // Rev. and revised papers presented at the 22-nd Int. Laser Radar Conf. (ILRC-2004). 12–16 July 2004. Matera, Italy. 2004. P. 345–348.
11. *Pappalardo G., Wandinger U., Mona L., Hiebsch A., Mattis I., Amodeo A., Ansmann A., Seifert P., Linné H., Apituley A., Arboledas L., Balis D., Chaikovsky A., D'Amico G., Tomasi F., Freudenthaler V., Giannakaki E., Giunta A., Grigorov I., Iarlori M., Madonna F., Mamouri R.-E., Nasti L., Papayannis A., Pietruczuk A., Pujadas M., Rizi V., Rocadenbosch F., Russo F., Schnell F., Spinelli N., Wang X., Wiegner M.* EARLINET correlative measurements for CALIPSO: First intercomparison results // *J. Geophys. Res.* V. 115, D00H19, doi:10.1029/2009JD012147, 2010.
12. *Katsev I.L., Prikhach A.S., Zege E.P., Ivanov A.P., Kokhanovsky A.A.* Iterative procedure for retrieval of spectral aerosol optical thickness and surface reflectance from satellite data using fast radiative transfer code and application to MERIS measurements // *Satellite Aerosol Remote Sensing over Land* / Ed. A. Kokhanovsky, G. Leeuw. Springer-Verlag. P. 101–133.

*A.P. Chaikovsky, A.P. Ivanov, E.P. Zege, I.L. Katsev, V.P. Kabashnikov, S.V. Denisov, J.A. Korol, M.M. Korol, A.Yu. Lopatin, F.P. Osipenko, A.S. Prikhach, A.S. Slesar'. Monitoring the transport of atmospheric suspended particles from data of remote and regional measurements in Belarus and contiguous regions.*

To solve various ecological problems, data on atmospheric compositions over huge territories are required. This is achieved by applying remote optical monitoring means. The equipment complex and international measuring networks, contacted during the ecological monitoring, are pointed out. The features for identifying aerosol particles are elaborated. The procedures for comprehensive analysis of ground-based and satellite data are designed and implemented to evaluate spatial distributions of characteristics of suspended matter. The trans-regional transport due to anomalous natural phenomena and anthropogenic activities is analyzed. The spatial density of aerosol sources power affecting the atmospheric conditions in the Berezina reserve of Belarus is simplified. The statistical microphysical model of atmospheric aerosols is constructed for the Belarus territory.