

А.П. Чайковский<sup>1</sup>, А.П. Иванов<sup>1</sup>, Ю.С. Балин<sup>2</sup>, А.В. Ельников<sup>2</sup>,  
Г.Ф. Тулинов<sup>3</sup>, И.И. Плюснин<sup>4</sup>, О.А. Букин<sup>5</sup>, Б.Б. Чен<sup>6</sup>

## Лидарная сеть CIS-LiNet для мониторинга аэрозоля и озона: методология и аппаратура

<sup>1</sup> Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия

<sup>3</sup> Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова, г. Москва, Россия

<sup>4</sup> Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия

<sup>5</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДО РАН, г. Владивосток, Россия

<sup>6</sup> Кыргызско-Российский славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Поступила в редакцию 5.10.2005 г.

Лидарная сеть CIS-LiNet (лидарная сеть СНГ) создана научными организациями Беларуси, России и Кыргызстана. Сеть предназначена для проведения координированных лидарных наблюдений атмосферы на пространстве от Минска до Владивостока в кооперации с EARLINET, AD-Net и AERONET.

Все станции сети осуществляют измерения параметров аэрозоля в тропосфере и стратосфере. Две станции – в Минске и Томске – проводят зондирование озона в стратосфере. Предусматривается программа интеркалибровки лидарных станций CIS-LiNet.

Регулярные измерения параметров аэрозоля осуществляются в комплексе с радиометрическими измерениями. Совместный анализ траекторий переноса воздушных масс и результатов наблюдений применяется для оценки воздействия процессов крупномасштабного переноса на характеристики аэрозольных полей.

### Введение

Мониторинг атмосферного аэрозоля и озона является важной предпосылкой развития климатологических исследований и решения экологических задач. Для получения достоверных данных о пространственно-временной трансформации атмосферных компонентов создаются международные глобальные и региональные измерительные сети, основными задачами которых является проведение координированных регулярных измерений и формирование баз данных. Глобальная сеть дистанционного контроля параметров атмосферного аэрозоля AERONET создана на основе сканирующих солнечных фотометров [1]. Результатами обработки данных измерений на станциях AERONET являются спектры оптической толщи атмосферного аэрозоля, общее содержание аэрозольных частиц в атмосферном слое, распределение частиц по размерам и оценка комплексного показателя ослабления [2].

В качестве основного средства для мониторинга высотного распределения компонентов атмосферы используются лидары. Развитие лидарных технологий и растущее внимание мирового сообщества к проблемам глобальной экологии стали предпосылками для формирования лидарных сетей. Лидарные системы для исследования озона и аэрозоля в стратосфере составляют основу сети NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change) [3]. Для мониторинга тропосферного аэрозоля создана сеть микроимпульсных лидаров MPL-Net (Micro-pulse

lidar Network) [4], координирующая свою работу с AERONET. В 2000 г. основана Европейская аэрозольная лидарная сеть EARLINET (European Aerosol Research Lidar Network) [5]. EARLINET обеспечивает координированную работу более 20 лидарных станций от Уэльса до Беларуси с целью исследования процессов крупномасштабного переноса аэрозоля в Европейском регионе. Лидарные исследования выноса азиатской пыли в регионы Тихого океана выполняются в AD-Net (Asian Dust Network) [6]. В стадии формирования находятся региональная Восточно-Американская лидарная мезосеть REALM (Regional East Atmospheric Lidar Mesonet) [7] и лидарная сеть в Латинской Америке (AliNe) [8].

В 2004 г. создана международная рабочая группа специалистов, представляющих региональные лидарные сети EARLINET, AD-Net, REALM, AliNe, MPL-Net и CIS-LiNet, задача которой состоит в координации работы региональных лидарных сетей и подготовке условий к формированию глобальной лидарной сети (FARLINET).

В СССР разработка лидарных методов и аппаратуры началась в 60-х гг. XX в. в Центральной аэрологической обсерватории (Москва), Институте физики НАНБ (Минск), Институте оптики атмосферы (Томск). В 1988 г. была создана первая в СССР лидарная сеть для мониторинга стратосферного аэрозоля [9].

Однако за исключением работающей в сети EARLINET лидарной станции Института физики НАН Беларуси на территории стран СНГ до последнего

времени не проводились координированные с международными сетями регулярные лидарные наблюдения. Отсутствие систематических данных о высотных распределениях компонентов атмосферы на огромном пространстве стран СНГ является важным фактором неопределенности при прогнозировании климатических и экологических процессов. Невозможно изучать глобальные процессы трансформации компонентов атмосферы и эффективно решать экологические проблемы на Евразийском континенте, не имея информации о параметрах атмосферных примесей в регионах СНГ.

В 2004 г. в результате совместной деятельности научных организаций Беларуси, России и Кыргызстана, в сотрудничестве с измерительными сетями EARLINET, AD-Net и AERONET, при поддержке Международного научно-технического центра (МНТЦ) была создана лидарная сеть для контроля параметров атмосферного аэрозоля и озона в регионах СНГ. Основной целью формирования CIS-LiNet является проведение совместно с другими международными

измерительными сетями координированных наблюдений параметров атмосферы на пространстве Евразийского континента.

## 1. Структура лидарной сети и основные задачи

Лидарная сеть CIS-LiNet была основана научными группами из шести организаций Беларуси, России и Кыргызстана (табл. 1). Схема лидарной сети CIS-LiNet, охватывающей пространство от Минска до Владивостока, представлена на рис. 1. Здесь же приведены схемы лидарных сетей в Европе (EARLINET) и Юго-Восточной Азии (AD-Net).

Лидарная станция ИФ одновременно входит в EARLINET и CIS-LiNet. Географическое расположение созданных станций позволяет CIS-LiNet стать звеном, объединяющим региональные лидарные сети в структуру, которая дает возможность осуществлять координированные лидарные наблюдения на Евразийском континенте, проводить исследования

Таблица 1

Организации и станции, сформировавшие лидарную сеть CIS-LiNet		
Организация	Станция	Страна
Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси (ИФ)	Стационарная лидарная станция, Минск, 53,917° с.ш., 27,383° в.д.	Беларусь
Институт оптики атмосферы СО РАН (ИОА)	Стационарная лидарная станция, Томск, 56,48° с.ш., 85,05° в.д.	Россия
	Сезонная лидарная станция на основе мобильного лидара в районе оз. Байкал, 51,44° с.ш., 105,06° в.д.	
Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова (ИПГ)	Стационарная лидарная станция, Москва, 55° с.ш., 37° в.д.	Россия
Сургутский государственный университет (СурГУ)	Стационарная станция, Сургут, 61,25° с.ш., 73,50° в.д.	Россия
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДО РАН (ТОИ)	Стационарная лидарная станция, Владивосток, 43,01° с.ш., 131,9° в.д.	Россия
Киргизско-Российский славянский университет (КРСУ)	Высокогорная стационарная лидарная станция Теплоключенка, Центральная Азия, 42,5° с.ш., 78,4° в.д.	Кыргызстан



Рис. 1. Лидарные сети на Евразийском континенте: \* – EARLINET, O – CIS-LiNet и ■ – AD-Net

процессов крупномасштабного переноса аэрозоля и осуществлять подспутниковые валидационные эксперименты.

Основными исследовательскими задачами, выполняемыми в рамках CIS-LiNet, являются:

- регулярные и координированные наблюдения высотных профилей параметров тропосферного аэрозоля для исследования крупномасштабной пространственно-временной изменчивости аэрозольной компоненты атмосферы и изучения процессов крупномасштабного переноса, формирования базы данных;

- исследования динамики характеристик аэрозольных полей в пограничном слое атмосферы с временными масштабами от внутрисуточных до сезонных;

- регулярные наблюдения стратосферного аэрозоля и озона для изучения факторов, определяющих их изменения и тренды;

- исследования региональных изменений параметров аэрозольных полей, вызванных специфическими для данного региона явлениями: антропогенное загрязнение атмосферы, лесные пожары, выносы пыли из районов Северного Китая и Монголии, вулканическая активность в регионах Камчатки и Курильских островов, трансформация характеристик аэрозоля при вертикальном переносе в горных районах, особенности формирования аэрозольных полей в Байкальской котловине, стратосферные облака.

Важную часть работ в рамках CIS-LiNet составляют разработка и унификация лидарной аппаратуры, интеркалибровка аппаратуры и алгоритмов обработки данных, формирование базы данных и поддержка информационного сайта.

## 2. Лидарная аппаратура в CIS-LiNet

Технические требования к лидарным системам CIS-LiNet предусматривают зондирование тропосферного аэрозоля на трех длинах волн (355, 532 и 1064 нм) и наличие канала регистрации комбинационного рассеяния азотом на длине волны 387 или 607 нм. На некоторых станциях осуществляются измерения деполяризации рассеянного излучения. Все станции обеспечивают зондирование стратосферного аэрозоля. На станциях в Минске и Томске проводится зондирование стратосферного озона. Программа модернизации аппаратуры в CIS-LiNet предусматривает достижение технических показателей станций, указанных в табл. 2.

Перечень исследуемых параметров на станциях CIS-LiNet был определен на основе опыта работы EARLINET и обусловлен стремлением обеспечить измерения оптических характеристик аэрозольного слоя (показателей ослабления и обратного рассеяния аэрозоля), а также параметров микроструктуры аэрозольных частиц [5, 10, 11]. Мобильные лидары в CIS-LiNet предназначены не только для проведения исследовательских работ, но и для реализации программы интеркалибровки лидарной аппаратуры.

В целях унификации и снижения стоимости лидарной аппаратуры разрабатываются и изготавливаются малыми сериями ряд блоков и систем лидарных станций. Успешно испытан и устанавливается на станциях CIS-LiNet компактный фотоприемный модуль для регистрации аналогового сигнала в ультрафиолетовой и видимой областях спектра, включающего: ФЭУ, блок высоковольтного питания, усилитель, 14-бит АЦП, канал регистрации энергии импульса, интерфейс для USB-порта. Аналоговый модуль на основе лавинного фотодиода разрабатывается для регистрации излучения в ИК-области спектра.

В целях унификации и снижения стоимости лидарной аппаратуры разрабатываются и изготавливаются малыми сериями ряд блоков и систем лидарных станций. Успешно испытан и устанавливается на станциях CIS-LiNet компактный фотоприемный модуль для регистрации аналогового сигнала в ультрафиолетовой и видимой областях спектра, включающего: ФЭУ, блок высоковольтного питания, усилитель, 14-бит АЦП, канал регистрации энергии импульса, интерфейс для USB-порта. Аналоговый модуль на основе лавинного фотодиода разрабатывается для регистрации излучения в ИК-области спектра.

## 3. Методы и подходы

Методология лидарного мониторинга тропосферного аэрозоля, применяемая в CIS-LiNet, во многом основана на разработках и опыте работ в EARLINET. Одновременно в рамках CIS-LiNet разрабатываются новые методики зондирования аэрозоля и озона, а также подходы к координированным исследованиям процессов крупномасштабного переноса аэрозоля на станциях сети.

Таблица 2

Технические показатели лидарных станций в CIS-LiNet

Параметр	Институт-исполнитель									
	ИФ		ИОА		ИПГ	СурГУ		ТОИ		КРСУ
	Ст.	М.	Ст.	М.	Ст.	Ст.	Ст.	М.	Ст.	
$\beta$ -355	день		день		день				день	
$\beta$ -532	день	день	день	день	день	день	день	день	день	
$\beta$ -1064	день	день			день		день		день	
$E(R)$ -355	ночь		ночь		ночь				ночь	
$E(R)$ -532	ночь		ночь		ночь					
D-532	день		день		день				день	
$\beta$ -355	ночь		ночь		ночь				ночь	
$\beta$ -532	ночь		ночь		ночь		ночь	ночь	ночь	
D-532	ночь				ночь				ночь	
O <sub>3</sub>	ночь		ночь							
Температура в стратосфере			ночь							

Примечание. Ст. – стационарная лидарная станция; М. – мобильная лидарная станция.  $\beta$ - $\lambda$  – измерение обратного рассеяния на длине волны  $\lambda$ ;  $E(R)$ - $\lambda$  – измерение ослабления посредством канала спонтанного комбинационного рассеяния (СКР) на азоте при зондировании на длине волны  $\lambda$ ; O<sub>3</sub> – измерение концентрации озона; D- $\lambda$  – измерение деполяризации на длине волны  $\lambda$ .

### 3.1. Комплексный лидарный и радиометрический мониторинг аэрозоля

Важной особенностью мониторинга аэрозоля на станциях CIS-LiNet является организация совместных лидарных и радиометрических измерений. Лидарная сеть CIS-LiNet одновременно формируется как часть радиометрической сети AERONET. Лидарные данные о высотном распределении параметров аэрозольной компоненты и результаты измерений интегральных параметров аэрозольного слоя, осуществляемых в AERONET посредством солнечных сканирующих радиометров, являются взаимодополняющими. В результате координированных измерений и совместной обработки данных лидарных и радиометрических измерений получают новую информацию о высотном распределении микроструктурных параметров аэрозольных частиц [11–14]. При обработке данных комплексного лидарного и радиометрического эксперимента результаты радиометрических измерений используются в качестве априорной информации для построения исходной аэрозольной модели атмосферы, а также для формирования ограничений на возможные решения обратной задачи восстановления профилей концентраций аэрозольных фракций.

Результаты анализа данных наблюдений в AERONET показали [15], что интегральное по высоте распределение объемов частиц по размерам обычно содержит две выраженные фракции с граничным радиусом около 0,5 мкм. В исходной модели аэрозольного слоя, используемой при обработке данных комплексного лидарного и радиометрического эксперимента, предполагается, что ансамбль аэрозольных частиц состоит из двух фракций, концентрации которых изменяются с высотой. При этом форма распределения по размерам каждой отдельной фракции и показатель преломления аэрозольных частиц постоянны и соответствуют характеристикам интегрального распределения, получаемым из радиометрических измерений.

Базовая система уравнений включает соотношения [12]:

– совокупность лидарных уравнений для рабочих длин волн лидара, в которых содержится информация о высотных профилях параметров аэрозоля;

– уравнения для интегральных по высоте параметров аэрозоля, получаемых из радиометрических измерений;

– ограничения на гладкость высотных распределений аэрозольных параметров:

$$\begin{aligned} L^*(\lambda_j, z_n) &= L[\lambda_j, C_v(z_n), m_j, z_n] + \Delta_L^j; \\ \mathbf{F}^*(\lambda_i) &= \mathbf{F}^*[C_v(z_n)] + \Delta_F; \\ \mathbf{0}_v^* &= \mathbf{S}_2 C_v + \Delta_{0_v}, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$L^*(\lambda_j, z_n) = \frac{P^*(\lambda_j, z_n) z_n}{P^*(\lambda_j, z_N) z_N^2}$$

– измеряемый нормализованный лидарный сигнал;

$$L[\lambda_j, C_v(z_n), m_j, z_n] = \frac{P(\lambda_j, z_n) z_n}{P(\lambda_j, z_N) z_N^2}$$

– нелинейная функция параметров  $C_v$  и  $m_j$  – соответственно распределения частиц аэрозоля по размерам и комплексного показателя преломления аэрозольных частиц;

$$P(\lambda_j, \theta, z) = \frac{A_i P^0(\lambda_j)}{z^2} \beta(\lambda_j, z) \exp \left[ -2 \int_0^z \sigma(\lambda_j, z') dz' \right].$$

В зависимости от условий эксперимента аэрозольная оптическая толщина  $\tau^a(\lambda_i, C_v, m_j)$  или интегральная концентрация аэрозольных фракций  $W_v^*$  используются в качестве интегральной характеристики аэрозольного слоя. В последнем случае вторая группа уравнений в (1) выглядит следующим образом:

$$W_v^* = \int C_v dz + \Delta_C^v. \quad (2)$$

Функция правдоподобия для настоящего эксперимента имеет вид

$$\begin{aligned} P(C_v | L^*, W_v^*) \sim \\ \sim \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{j=1}^J (L_n^{*j} - L_n(C_v))^T \boldsymbol{\Omega}_L^{-1} (L_n^{*j} - L_n(C_v)) + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{i=1}^I \left( W_v^* - \sum_{n=1}^N C_{v,n} \Delta z_n \right)^T \boldsymbol{\Omega}_W^{-1} \left( W_v^* - \sum_{n=1}^N C_{v,n} \Delta z_n \right) + \frac{E_m}{\sigma_v^2} \right] \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\boldsymbol{\Omega}_L$  и  $\boldsymbol{\Omega}_W$  – ковариационные матрицы ошибок измерений  $L^{*j}$  и оценок параметров  $W_v^*$ ;  $\sigma_v^2$  – априорные оценки вариаций конечных разностей высотных профилей параметров  $C_v$ .

Решениями системы уравнений (1) будут являться параметры  $\tilde{C}_v$ , обеспечивающие максимум функции правдоподобия (3):

$$P(\tilde{C}_v | L^*, \tau^*, \mathbf{0}_v^*) = \max. \quad (4)$$

Методика совместных радиометрических и лидарных измерений отработывалась в натурных экспериментах при различных состояниях аэрозольного слоя в период 2002–2004 гг. на лидарных станциях в Минске и Бельске (Польша). Обе станции оснащены трехволновыми лидарными системами с рабочими длинами волн 532, 694 и 1064 нм.

На рис. 2, а представлены интегральные по высоте распределения объемов аэрозольных частиц

$$Q(r) = \int_0^\infty \frac{dV(r, z)}{d \ln r} dz,$$

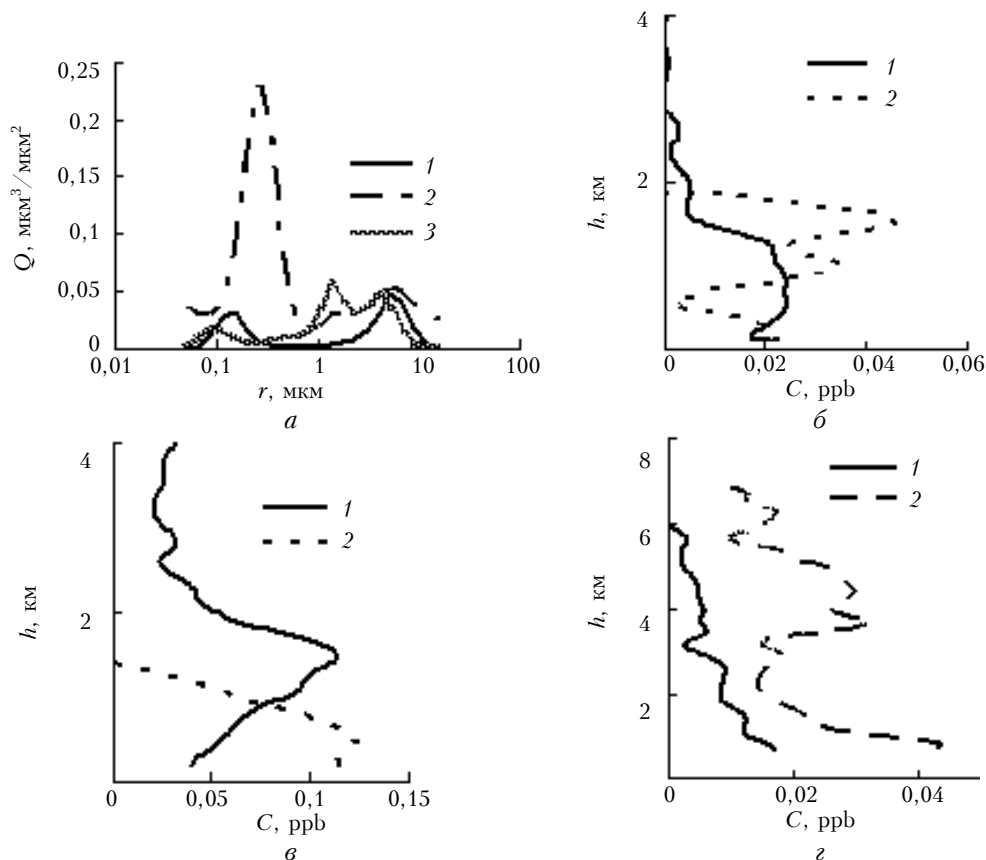


Рис. 2. Распределения объемов частиц  $Q(r)$  (а) для фонового аэрозоля (1), загрязнения дымами (2) и сахарской пылью (3), а также профили концентраций (б–г) малых (1) и больших (2) аэрозольных частиц; б – фоновый аэрозоль; в – загрязнение дымами лесных пожаров; г – выносы пыли из Сахары

восстановленные по данным измерений солнечного радиометра в условиях чистой атмосферы, загрязнения дымами пожаров и сахарской пылью. Восстановленные значения профилей концентрации мелкой и крупной аэрозольной фракций приведены на рис. 2, б–г. При обработке данных, относящихся к периоду загрязнения атмосферы выносами пыли из пустыни Сахары, для описания аэрозольных частиц использовалась модель сфероидов.

Данные высотных профилей концентрации аэрозольных фракций были использованы для расчета лидарных сигналов, которые впоследствии сравнивались с измеренными. В большинстве случаев отличие было в пределах вероятных погрешностей измерений. Таким образом, используемая в данной методике модель аэрозольного слоя и восстановленные профили концентраций аэрозольных фракций согласуются с полученным в эксперименте набором данных. Более детальное восстановление микроструктуры аэрозольных частиц требует увеличения информативности лидарных измерений. Это может быть достигнуто за счет применения дополнительного канала регистрации комбинационного рассеяния.

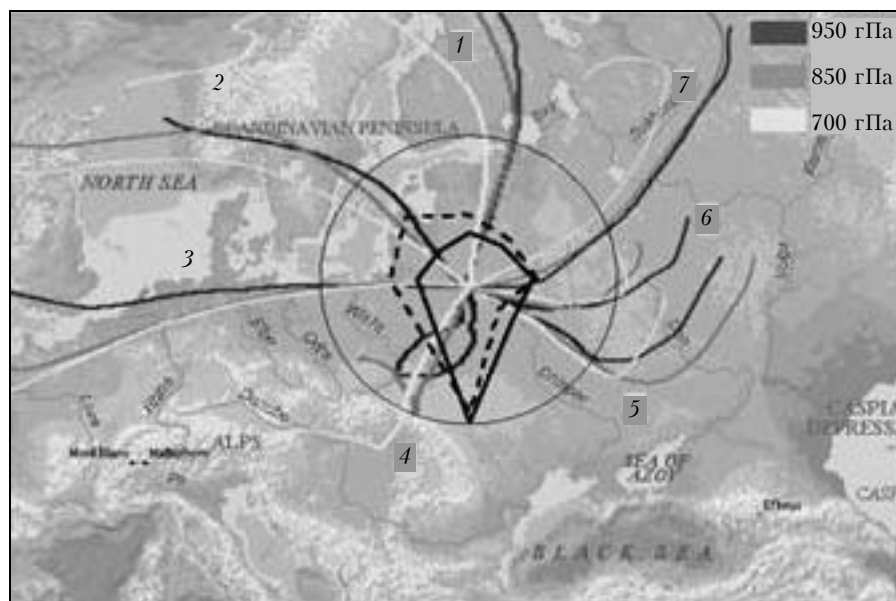
### 3.2. Оценка воздействия процессов крупномасштабного переноса на характеристики аэрозольного слоя

Исследование крупномасштабных временных и пространственных изменений аэрозольной компо-

ненты атмосферы, роли процессов межрегионального переноса в формировании характеристик аэрозольного слоя в регионах СНГ является приоритетной научной задачей в проекте CIS-LiNet. Была разработана методика оценки воздействия крупномасштабного переноса на характеристики аэрозольных частиц на основе совместного анализа данных регулярных лидарных и радиометрических наблюдений и обратных траекторий переноса воздушных масс [11, 16, 17]. Методика была опробована при анализе результатов наблюдений за период 2002–2003 гг. на станции в г. Минске.

Перенос воздушных масс в регион г. Минска описывался посредством 5-дневных обратных траекторий, рассчитанных для Минской станции T. Kucsera and A. Thompson (NASA/GSFC). Посредством кластерного анализа множество обратных траекторий было разбито на ряд подмножеств, объединяющих «близкие» по определенным критериям траектории. Результаты измерений параметров аэрозоля также разбивались на соответствующие подмножества по признаку совпадения времени наблюдения со временем реализации обратных траекторий. Далее проводился статистический анализ результатов измерений в выделенных подмножествах.

На рис. 3 представлены результаты совместного анализа обратных траекторий и данных радиометрических наблюдений. Для этого случая были определены подмножества обратных траекторий для трех



*a*



*б*

Рис. 3. Распределения средних значений общего содержания (*a*) и потоков (*б*) малых (сплошная линия) и больших (штриховая линия) частиц в зависимости от траектории переноса (1–7) для региона г. Минска

уровней 950, 850 и 700 гПа. Каждое подмножество объединяло траектории, проекции которых на горизонтальную плоскость для всех трех уровней были близки. Таким образом, были определены семь подмножеств, средние траектории которых приведены на рис. 3. Здесь же в виде полярной диаграммы даны средние для данного подмножества значения измеренных характеристик, пропорциональные величине радиуса-вектора, направленного на соответствующую траекторию.

На рис. 3, *a* приведены средние значения общего содержания малых и крупных аэрозольных частиц, на рис. 3, *б* – оценки потоков аэрозольных частиц двух фракций. Результаты анализа показывают, что наибольшая концентрация аэрозольных

частиц реализуется в регионе Беларуси при южном переносе из Юго-Восточной Европы. В то же время, вследствие преимущественного западного переноса, суммарные потоки аэрозольного вещества в основном определяются поступлением из западных и северо-западных европейских регионов. Эти данные согласуются с результатами работы [16], обобщающей данные EARLINET.

### Заключение

Во второй половине 2005 г. все станции CIS-LiNet приступили к проведению регулярных измерений. Одновременно будут продолжены разработка программного обеспечения и совершенствование

лидарной аппаратуры. Оперативно ознакомиться с результатами работы сети можно по адресу: <http://www.cis-linet.basnet.by>

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ В-1063.

1. Holben B.N., Eck T.I., Slutsker I., Tare D., Buis J.P., Setxer A., Vemote 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.
2. 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.
3. NDSC. Network for the Detection of Stratospheric Change. 2001. 27 p. (В Интернете по адресу: <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/NDSCbrochure.pdf>).
4. Welton E.J., Campbell J.R., Berkoff T.A., Spinheim J.D., Tsay S.Ch., Holben B., Shiobara M. The Micro-pulse Lidar Network (MPL-Net) // *Lidar Remote Sensing in Atmospheric and Earth Sciences: Reviewed and revised papers at the twenty-first Int. Laser Radar Conference (ILRC21)*. Part I. Quebec. Canada. 8–12 July 2002. 2002. P. 285–288.
5. Bösenberg J., Ansmann A., Baldasano J., Balis D., Böckmann C., Calpini B., Chaikovsky A., Flamant P., Hagard A., Mitev V., Papayannis A., Pelon J., Resendes D., Schneider J., Spinelli, Trickle T., Vaughan G., Visconti G., Wiegner M. EARLINET-A European aerosol research lidar network // *Advances in Laser Remote sensing: Selected papers 20-th Int. Laser Radar Conference (ILRC)*. Vichi. France. 10–14 July 2000. 2000. P. 155–158.
6. Murayama T., Sugimoto N., Matsui I., Lio Zh., Sakai T., Shibata T., Iwasaka Y., Won J.G., Yoon S.C., Li T., Zhou J., Hu H. Lidar Network observation of Asian dust // *Advances in Laser Remote sensing: Selected papers 20-th Int. Laser Radar Conference (ILRC)*. Vichi. France. 10–14 July 2000. 2000. P. 169–177.
7. Hoff R.M., McCann K.J., Demoz B., Reichardt J., Whiteman D.N., McGee T., McCormick M.P., Philbrick C.R., Strawbridge K., Moshary F., Gross B., Ahmed S., Venable D., Joseph E. Regional East atmospheric lidar mesonet: REALM // *Lidar Remote Sensing in Atmospheric and Earth Sciences: Reviewed and revised papers at the twenty-first Int. Laser Radar Conference (ILRC21)*. Part I. Quebec. Canada. 8–12 July 2002. 2002. P. 281–284.
8. Antuna J.C., Canziani P.O., Robock A., Clemesha B., Zaratti F., Armandillo E. Toward a Lidar Network in Latin America // *Lidar Remote Sensing in Atmospheric and Earth Science, Reviewed and revised papers at the twenty-first Int. Laser Radar Conf. (ILRC21)*. Part I. Quebec. Canada. 8–12 July 2002. 2002. P. 345–348.
9. Захаров В.М., Хмелевцов С.С., Кауфман Ю.Г., Чайковский А.П., Чен Б.Б. Климатический лидарный мониторинг стратосферного аэрозольного слоя // *Метеорол. и гидрол.* 1990. № 11. С. 30–35.
10. Böckmann C., Mironova I., Müller D., Schneidenbach L., Nessler R. Microphysical aerosol parameters from multiwavelength lidar // *J. Opt. Soc. Amer. A.* 2005. V. 22. N 3. P. 518–528.
11. Chaikovsky A., Bril A., Dubovik O., Holben B., Thompson A., Goloub Ph., O'Neill N., Sobolewski P., Bösenberg 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 // *Óptica Pura y Aplicada* 2004. V. 37. N 3. P. 3241–3246.
12. Chaikovsky A.P., Dubovik O., Holben B.N., Bril A.I. Methodology to Retrieve Atmospheric Aerosol Parameters by Combining Ground-Based Measurements of Multi-Wavelength Lidar and Sun Sky-Scanning Radiometer // *Eight Int. Symp. on Atmosph. and Ocean Optics / Atmosph. Phys.*, G.A. Zherebtsov, G.G. Matvienko, V.A. Banakh, V.V. Koshelev, Ed.: *Proc. SPIE*. 2002. V. 4678. P. 257–268.
13. Chaikovsky A., Bril A., Barun V., Dubovik O., Holben B., 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 Atmosph. and Ocean Optics / Atmosph. Phys.* Part II: *Laser Sensing and Atmosph. Phys.* / Ed. by G. Matvienko, G. Krekov: *Proc. SPIE*. 2002. V. 5397. P. 257–268.
14. Chaikovsky A., Bril A., Barun V., Dubovik J., Holben B., 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.
15. Dubovik O., Holben B., Eck T.F., Smirnov A., Kaufman Y., King M., Tanre D., Slutsker I. Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations // *J. Atmos. Sci.* 2002. V. 59. P. 590–608.
16. Mattis I., Jaenisch V., Müller D., Franke K., Ansmann A. Classification of particle extinction profiles derived within the framework of the German Lidar Network by the use of cluster analysis of backtrajectories // *Advances in Laser Remote sensing: Selected papers 20-th Int. Laser Radar Conf. (ILRC)*. Vichi. France. 10–14 July 2000. 2000. P. 211–214.
17. Wandinger U., Mattis I., Matthias Tesche M., Ansmann A., Bösenberg J., Chaikowski A., Freudenthaler V., Komguem L., Linner H., Matthias V., Pelon J., Sauvage L., Sobolewski P., Vaughan G., Miegner M. Air-mass modification over Europe: EARLINET aerosol observations from Wales to Belarus // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109. D24205. doi: 10.1029/2004JD005142.

*A.P. Chaikovsky, A.P. Ivanov, Yu.S. Balin, A.V. Elnikov, G.F. Tulinov, I.I. Plusnin, O.A. Bukin, B.B. Chen.*  
**CIS-LiNet lidar network for monitoring aerosol and ozone: methodology and equipment.**

The CIS-LiNet lidar network has been created by lidar teams from Belarus, Russia and Kyrgyz Republic. Its objective is carrying out lidar observation coordinated on the territory from Minsk to Vladivostok in cooperation with EARLINET, AD-Net and AERONET.

All stations carry out aerosol observations in the troposphere and stratosphere. Two stations in Minsk and Tomsk implement ozone sensing in the stratospheric layer.

Regular measurements of aerosol parameters are carried out in complex with radiometric observations. Joint analysis of air masses transfer trajectories and observation data is used for estimating impact of long-range transfer processes on aerosol parameters.