

Разработка структуры метаданных по атмосферным аэрозолям на основе информационной модели*

К.П. КУЦЕНОГИЙ

Институт химической кинетики и горения СО РАН

П.К. КУЦЕНОГИЙ

Институт химической кинетики и горения СО РАН

Ю.И. МОЛОРОДОВ

Институт вычислительных технологий СО РАН

А.М. ФЕДОТОВ

Институт вычислительных технологий СО РАН

27 декабря 2003 г.

В статье приводится описание информационной модели, структура метаданных и обобщенный подход для формирования и заполнения файлов входных данных, включая их унификацию и связи для электронного атласа «Атмосферные Аэрозоли Сибири».

1. Введение

К настоящему времени международным сообществом накоплен огромный и разнообразный экспериментальный материал о пространственно-временной изменчивости атмосферных аэрозолей (АА) как локального, так и регионального и глобального масштабов [5] – [6]. Из-за различного приборного инструментария используемого для получения экспериментальных данных об АА и методик их последующей обработки, эти данные трудно сопоставимы друг с другом. В ряде случаев данные, вводимые разными авторами, оказываются несовместимыми между собой из-за различий в используемой ими терминологии, что затрудняет получение цельной картины поведения АА.

Современные информационные технологии и совместные усилия как профессионалов, занимающихся изучением аэрозолей, так и специалистов в области информационных технологий, позволят повысить эффективность использования всего объема экспериментальных данных. В этой связи особенно актуальным становится вопрос правильного хранения информации, ее обработки и приведение к некоторому стандарту. Эти вопросы могут быть

*Работа выполнена при финансовой поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №169

решены, если доступ к информационным ресурсам организовать через Интернет с помощью специализированных информационных систем (ИС) с гибкими связями между данными разных пользователей [1]. Использование технологии распределённых вычислений, основанной на использовании метаданных, позволяет решить эту проблему.

Наиболее устойчивыми к росту объемов хранимой информации оказались системы, оперирующие строго структурированными данными, например, каталоги библиотек. Но даже в таких системах в границах одной предметной области может сложиться ситуация, когда данные, вводимые разными авторами, оказываются несовместимыми между собой из-за различий в используемой ими терминологии. Вследствие чего между этими данными трудно устанавливать связи. На текущий момент эта проблема наиболее полно решена в системах, оперирующих библиографической информацией [2]. Для них существует несколько стандартов представления библиографических записей, например, российский коммуникативный формат RUSMARC или любой формат из группы формат MARC. Наличие таких стандартов снимает большое количество проблем связанных с систематизацией, поиском, обработкой информации. Фактически такой подход представляет собой создание словаря объектов, которые будут использоваться для задания структуры хранимой информации.

2. Постановка задачи описания атмосферных аэрозолей

Атмосферные аэрозоли (АА) играют решающую роль во многих атмосферных процессах (облако - и осадкообразование, радиационный теплообмен, видимость). Они оказывают существенное влияние на качество окружающей среды, климат, химию и физику атмосферы.

Свойство атмосферных аэрозолей определяются спектром размеров, концентрацией, химическим составом и структурой частиц. Диапазон размеров АА охватывает 5 порядков величины, концентраций – более 10 порядков. Чрезвычайно сложен химический состав АА. Огромна пространственно-временная изменчивость характеристик АА.

К началу 90-х годов по результатам проекта «Арктическая дымка» получены оценки о значительном загрязнении Арктического бассейна техногенными выбросами из крупных промышленных центров бывшего СССР. Значительная часть АА техногенной природы образуется в Сибири. Это связано с тем, что Сибирь имеет огромную границу с Арктикой. В то же время в Сибири разнообразны природно-климатические зоны. Здесь интенсивно развивается промышленность и сельское хозяйство. Поэтому Сибирь является источником различных типов АА. Начиная с 1991 года, на территории Сибири начался комплексный проект «Аэрозоли Сибири», в котором объединились усилия нескольких институтов Новосибирского научного центра.

В настоящее время не существует единого метода измерения всей совокупности характеристик АА. Это создает большие трудности при сопоставлении результатов огромного экспериментального материала, доступного из публикаций в различных изданиях и системе Интернет.

Эта проблема может быть решена, если объединить усилия специалистов занимающихся аэрозолями, имеющих многолетний опыт по созданию методик и аппаратуры для измерения характеристик АА и специалистов в области современных информационных технологий.

Для этого необходимо собрать и проанализировать опубликованную в различных из-

даниях и в Интернете разнообразную информацию о характеристиках АА по единой методике, в основе которой лежат принципы решения некорректных задач.

Описывая атмосферный аэрозоль, необходимо знать распределение аэрозольных частиц по размерам, химический состав, форму частиц, коэффициент преломления вещества частиц. Особенно много дискуссий вызывает описание распределения аэрозольных частиц по размерам. Его еще иногда в русскоязычной литературе называют «спектром размеров». Спектр размеров является предпочтительным описанием для включения атмосферного аэрозоля в какие-либо модельные расчеты. Основанием для этого служит то, что дифференциальные характеристики атмосферного аэрозоля, как правило, представляются в форме, имеющей аналитическую зависимость от приведенного размера частиц, называемого радиусом или диаметром. Соответственно, для получения интегральных характеристик атмосферного аэрозоля, имеющих дальнейшее прикладное значение, необходимо проводить интегрирование дифференциальных характеристик с учетом спектра размеров.

При измерении характеристик атмосферных аэрозолей разными авторами в течение различных измерительных кампаний, как правило, используется различный набор измерительного оборудования, охватывающий разные диапазоны размеров. Импакторы различных конструкций и фильтры используются для определения массовой концентрации и для отбора проб для последующего анализа на элементный и химический состав.

Нефелометрические измерения по определению аэрозольного светорассеяния позволяют охватить диапазон частиц от одной десятой до одного микрона. Существуют также счетчики ядер конденсации для определения концентрации особо малых частиц. В дополнение к счетчикам ядер конденсации, существуют устройства, позволяющие организовать селективный отбор частиц в зависимости от размера, с тем, чтобы восстановить спектр размера в области особо малых частиц. Среди таких устройств наиболее распространенными являются сетчатая диффузионная батарея и электростатические сепараторы различных конструкций.

Для измерения концентрации субмикронных и около микронных или, так называемых, оптических частиц, используются оптические счетчики аэрозоля. Диапазон размеров частиц, регистрируемых с помощью оптических счетчиков, также ограничен.

Необходимо принять к сведению, что при определении спектра размеров аэрозоля с помощью неких измерительных инструментов, в процессе измерений подвергается изменениям сам объект измерения. Например, есть способ, когда аэрозольные частицы осаждаются вначале на стеклянные пластины с помощью импакторов, затем подсчитываются с одновременной оценкой их размеров с помощью микроскопической техники (электронной или оптической). После этого делаются выводы о спектре размеров взвешенного аэрозоля в атмосфере. Естественно, что в данном случае сразу возникает понятие об аппаратной функции измерения. Таким образом, следствием любого измерения является результат взвешивания аппаратной функции используемого измерительного устройства с исходной искомой физической характеристикой объекта, подлежащей измерению в результате данного эксперимента.

Из вышеназванного утверждения однозначно следует следующий вывод: восстановление исходной величины из результатов эксперимента всегда сводится к решению той или иной обратной задачи. Если при обработке экспериментальных данных не приходится сталкиваться с решением классических обратных задач, то это означает, что аппаратные функции принимаются к описанию в виде ступенек, прямоугольников и т.д., т.е. далеко не физических функций с первой производной в виде δ -функций. Иной раз для простоты интерпретации, это допустимо, хотя и не всегда корректно.

Опираясь на вышесказанное, можно продолжить и вспомнить еще один факт из практического опыта решения обратных задач эксперимента, а именно то, что такие задачи, при ближайшем рассмотрении оказываются некорректными, т.е. имеют неоднозначные (множественные) решения. На практике это означает, что целый набор значений исходных искомым параметров может давать результаты близкие к наблюдаемым в эксперименте, по крайней мере, в интервалах точности определения экспериментальных данных. Отсюда следует, что задача тем более определена, чем выше определенность измеряемых значений и чем круче аппаратная функция измерительных устройств (чем ближе производная этой функции к δ -функции).

А если задача является не доопределенной, то должен существовать целый класс решений исходной искомой величины, правильно описывающий наблюдаемые экспериментальные данные. В большинстве случаев, определение спектра размеров атмосферного аэрозоля сводится к некорректной обратной задаче.

Таким образом, предлагается для целей описания использовать вместо выражения *спектр размеров* выражение *функция спектра размеров* (или понимать это по умолчанию). Функция спектра размеров, получаемая из экспериментальных данных, вообще говоря, имеет право иметь мало общего с действительностью, зато она должна иметь достаточную прогностическую силу, чтобы быть используемой в модельных вычислениях там, где это необходимо для определения неких реальных физических параметров, которые впоследствии так же могут контролироваться экспериментом.

Единственная возможность определить «истинность» решения обратной задачи, это посмотреть, насколько данное решение удовлетворяет исходным экспериментальным данным. Все решения, которые удовлетворяют экспериментальным данным в пределах коридора ошибок и неопределенностей, имеют равное право рассматриваться в качестве «истинных» решений. И число таких решений может быть неограниченно. Выбор нужного решения в каждом случае определяется конкретной необходимостью.

Наиболее разработанной математической проблемой является восстановление спектра размеров аэрозольных частиц из данных, получаемых с помощью диффузионных батарей, каскадных импакторов [18] и электростатических анализаторов. Проблема эта получила широкое освещение, прежде всего в зарубежной литературе. Здесь приводим названия в английской транскрипции некоторых из известных алгоритмов: graphical stripping [17]; regularization [8, 14, 9-10]; nonlinear iterations [12]; nonlinear programming using physical constraints [13]; fitting [15, 16]. Существуют и другие методы решения обратных задач, применяемые для восстановления спектров размеров из результатов натуральных измерений, но нет смысла в одной статье пытаться упомянуть их все.

Метод регуляризации [8,9,10] является одним из самых простых и «идеологически» понятных методов для решения обратных задач восстановления спектра размеров из разнообразных данных, полученных при измерениях характеристик атмосферного аэрозоля. Так как в процессе создания базы данных стоит задача унификации характеристик атмосферных аэрозолей с целью их дальнейшего использования для климатического и иного моделирования, предлагается приводить все получаемые характеристики к виду стандартного распределения по размерам. Так как для процедуры регуляризации одним из изменяемых параметров является область определения решения на оси размеров, то это позволит приводить к однообразному виду, в том числе данные, полученные для ограниченной области размеров атмосферного аэрозоля. В данной постановке, основной задачей программ автоматической унификации данных и представления их в виде спектра размеров атмосферного аэрозоля, является поиск оптимальной аппаратной функции для присвоения

каждой из измерительных процедур.

3. Общее описание атласа «Атмосферные Аэрозоли Сибири»

Хотя первые идеи о создании информационной системы мировой базы данных по атмосферным аэрозолям появились 20 лет назад [7], до сих пор отсутствует единообразие в представлении материалов по физическим и химическим характеристикам атмосферного аэрозоля и в научных публикациях, и в результатах текущих исследований. Поэтому в процессе создания глобальной базы данных по атмосферным аэрозолям необходимо решить несколько задач. Во-первых, необходимо разработать и внедрить стандарты представления информации в числовом виде, для того чтобы добиться их определенной универсальности, с точки зрения дальнейшего использования этой информации, в том числе для климатических моделей. В этой связи, роль разрабатываемого интерфейса для ввода данных в базу аннотаторами печатного текста не сводится лишь к роли «переводчика» с профессионального языка специалистов по аэрозолям на язык математиков и программистов. К этой функции необходимо добавить функцию самонастраивающейся системы, которая бы сама дополняла бы структуру данных по мере работы над заполнением базы данных информацией.

По мере использования и наполнения базы данных в ее математический инструментарий будет необходимо включить, кроме процедур обработки данных в целях их дальнейшего представления потребителю, еще и программы, приводящие данные к единому представлению. В настоящее время наиболее перспективным является подход, который используется при решении обратных задач для аппаратной функции при вычислениях дифференциальных характеристик атмосферного аэрозоля по натурным измерениям ряда их интегральных характеристик. Целесообразность применения этого подхода объясняется тем фактом, что подход является достаточно общим и всегда базируется на поиске аналитических выражений, которые при применении в математических моделях приводили бы к наибольшему соответствию с наблюдаемыми параметрами. Распространение данного подхода на работу с различными данными возможно с помощью простой замены термина *наблюдаемые параметры* термином *параметры, имеющиеся в распоряжении*, то есть в наполнении базы данных.

Для этого необходимо разработать информационные модели, структуру метаданных и обобщенный подход для формирования и заполнения файлов входных данных, включая их унификацию и связи. Это позволит привести к единому стандарту разнородные входные данные и, на основе современных информационных технологий, создать глобальную базу данных по АА.

Основная функция создаваемой Информационной системы «Атмосферные Аэрозоли Сибири» (в дальнейшем, просто Система) — это обеспечение решения поставленной задачи не только регионального масштаба, но и создание хороших перспектив решения проблем, стоящих перед всем международным сообществом.

Система возьмет на себя львиную долю работы, повысит интерактивность Атласа и ее информативность. Последние два качества обеспечивает применение Интернет-технологий.

3.1. Электронные коллекции

В основу создания разрабатываемых электронных коллекций положена концепция динамической системы формирования документов. Используемая концепция основана на расширенной объектной модели документа, в которой каждый тип документов, содержащих информацию о конкретных фактах, представляется в виде набора объектов со своими характеристиками и атрибутами (подобно принятому в объектных языках программирования), т.е. любая сущность реального мира моделируется в виде объекта.

Любой объект при своем создании получает генерируемый системой уникальный идентификатор, который связан с объектом во все время его существования и не меняется при изменении состояния объекта. Каждый объект имеет состояние и поведение. Состояние объекта — набор значений его атрибутов. Поведение объекта — набор методов (программный код), оперирующих над состояниями объекта. Значение атрибута объекта — это тоже некоторый объект или множество объектов. Состояние и поведение объекта инкапсулированы в объекте. Взаимодействие между объектами производится на основе передачи сообщений и выполнении соответствующих методов.

Специфика применения объектно-ориентированного подхода для организации и управления информационными ресурсами потребовала уточненного толкования классических концепций и некоторого их расширения. Это определяется потребностями долговременного хранения объектов во внешней памяти, ассоциативного доступа к объектам, обеспечения согласованного состояния в условиях множественного доступа и тому подобных возможностей, свойственных базам данных. Исходя из объектной модели представления информации в основе нашей системы лежат «метаданные» — это структурированные сведения о ресурсе, представляющие его свойства (атрибуты). На основе метаданных осуществляется поиск ресурсов, вывод результатов поиска, управление ресурсами, взаимодействие с ними. В целом, конструируя технологию описания ресурсов, мы основывались на методике RDF, которая предлагается консорциумом W3C в качестве стандарта для определения и обработки метаданных Web-ресурсов. Специфика RDF состоит в том, что механизмы описания ресурсов, не делают никаких предположений относительно специфики предметной области и могут быть удобны для описания и обработки сведений о любой области. Примечательной стороной RDF является то, что он позволяет сделать утверждения не только о ресурсах, но и о самих утверждениях.

Разработанная технология предоставляет возможность объединить различные информационные ресурсы в концептуально одну информационную среду, а также оперативно управлять и актуализировать информацию, хранящуюся в разнородных и распределенных по сети базах данных, организовать гибкий поиск, что самое главное создать достаточно удобный интерфейс для ее наполнения.

Информационная система состоит из объектов — элементарных единиц документов, из документов — информационных единиц. Множество документов, содержащих фактографическую информацию, имеющих одинаковую физическую структуру и логическое, информативное назначение образуют *коллекции*. Коллекции характеризуются своими описаниями и описаниями структуры документов, из которых она состоит. Основной единицей хранения данных в коллекции является *документ*, являющийся основной единицей хранения данных в коллекции. Он определяется своим описанием и описанием структуры *объектов*, из которых он состоит. *Объект* определяется *типом* и описанием свойств и является элементарной единицей документа.

Все коллекции объединены единым словарем объектов. Это необходимо для приведе-

ния всех имеющихся терминов-объектов к существующим международным стандартам. Словарь характеризуется метаописанием своих объектов; категориями, по которым распределены объекты; типами данных, используемыми в объектах. В Атласе создана **Страница управления объектами словаря** с объектами словаря и металипаниями. Словарь содержит 38 объектов, отражающих параметры атмосферных аэрозолей. Среди них: Относительная доля неорганического и органического углерода, счетные концентрации, светорассеяние, географические широта и долгота, высота над уровнем моря, массы концентраций анионов и катионов, кислотность, суммарные счетная и массовая концентрации и др. При необходимости можно создать новый объект в словаре.

Значения этих параметров находятся в соответствующих коллекциях **Data, Papers**.

Для удобства пользования системой был использован модульно – функциональный принцип. Были выделены подсистемы управления главным словарем, метаописаниями коллекций, разграничения доступа и др. В свою очередь подсистема управления главным словарем системы включает в себя средства изменения метаописания объектов и поддержки их иерархии. Подсистема управления метаинформацией включает в себя средства изменения структуры коллекций, документов и полей документов, создаваемых на основе объектов главного словаря.

3.1.1. Система метаданных

В основу создания информационной системы положено понятие метаданных. Это формализованное описание коллекции, документа или объекта, структурированные сведения об электронном ресурсе, представляющие его свойства или атрибуты. Метаданные используются для каталогизации документов, поиска, вывода результатов поиска, для установки связей между отдельными документами, для формирования тематических словарей. В набор элементов, использующихся для создания метаданных входят стандартные наборы MARC21, Dublin Core и др.

3.1.2. Связи между элементами данных

Система становится пригодной к практическому использованию, только если в ней предусмотрена возможность установления связей между различными элементами данных: коллекциями, документами и объектами. Связывание данных бывает *статическое*, когда связываемые объекты определяются заранее и на достаточно длительный срок и *динамическое*, когда не требуется заранее описывать все возможные виды связей. Наиболее важным примером динамического связывания данных следует считать реляционные базы данных. С другой стороны, в реляционной модели нет встроенных методов проверки корректности логической структуры связей, однако на базе реляционной СУБД можно построить систему, в которой будет встроен такой механизм.

Содержательная часть коллекции состоит из последовательности информационных объектов, которые и определяют суть документа.

Вся информация о связи документов (только для связи данного типа) была вынесена из документов. Она хранится в отдельной таблице базы данных. В качестве родительского документа выступает документ с идентификатором *word_id* коллекции *dict_id*, а в качестве подчиненного документа - документ с идентификатором *doc_id* в коллекции *table_id*. Данный подход позволяет выстраивать достаточно сложные схемы документов и организовывать навигацию по связанным документам

4. Административная часть

Особое место при работе с информационной системой занимает разграничение доступа пользователей. Среди них можно выделить следующие группы:

- *обычный пользователь* – посетитель сайта системы, имеет самый ограниченный набор прав доступа.
- *администратор* – автор, создатель коллекций; имеет право на управление собственными коллекциями и теми коллекциями, к которым он имеет доступ.
- *суперпользователь* – может регистрировать в системе других пользователей, выполнять любые действия с любыми коллекциями, в том числе назначать права доступа.

Работа с сайтом начинается с авторизации доступа на странице <http://web.ict.nsc.ru/aen>. На главной странице администратора представлено следующее меню:

- **Страница управления объектами словаря** — создание новой коллекции
- **Управление коллекциями** --- Показать список всех коллекций.
- **Вход в систему под другим именем.**

5. Заключение

В работе описаны принципы создания информационных моделей для разработки информационных систем в области естествознания. Разработаны и реализованы подходы к интеграции разнородных информационных массивов из выбранной предметной области. Работа направлена на обеспечение максимально полной формализации и связывания информации о различных параметрах атмосферных аэрозолях, что актуально для исследований в экологии. Разработаны структуры данных, механизмы поддержки объектов главного словаря системы; поддержка нестандартных типов данных, механизмов создания иерархических коллекций, создан удобный для пользователей интерфейс. Разработанная система предоставляет пользователю способ формировать электронные коллекции аэрозолей, создавать и оперировать объектами главного словаря системы, осуществлять контроль доступа к информации через разнообразные режимы доступа к данным, обеспечивая доступ через Интернет. Выделение во всей системе единой таблицы связей с определением главного и подчиненного документов позволяет использовать коллекции системы как словари и строить на их базе классификацию по любым признакам. Связывание любых двух документов обеспечивается специальным типом объекта на основе поддержки нестандартных типов данных (например, PHOTO, LINK). Разработан механизм создания иерархических коллекций.

К настоящему моменту система успешно функционирует в режиме удаленного доступа. На ее основе развивается «Электронный атлас «Атмосферные аэрозоли Сибири».

Список литературы

- [1] Шокин Ю.И., Федотов А.М. Информационная система Сибирского Отделения РАН // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Вторая Всероссийская научная конференция, Протвино, 26–28 сентября 2000 г.: Сб. докл., Протвино, ГНЦ ИФВЗ, 2000, С. 6–15, ISBN 5-88738-029-2.
- [2] Федотов А.М., Шокин Ю.И. Электронная библиотека Сибирского отделения РАН // Информационное общество, N 2, 2000.
- [3] Молородов Ю.И., Шокин Ю.И., Федотов А.М. Использование Internet/Intranet технологий при построении информационных систем. // Северо-Западный Интернет-Форум. V Всероссийская объединенная конференция «Технологии информационного общества — Интернет и современное общество» (IST/IMS-2002) (25–28 ноября 2002 г., Санкт-Петербург). С. 112–115
- [4] Столяров С.В. Обработка статистической информации в информационной системе «Биоразнообразие животного и растительного мира Сибири» // Труды Международной конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, 29–31 окт. 2002 г., Новосибирск, Академгородок <http://www.ict.nsc.ru/ws/ym2002/4753/>
- [5] Химия в интересах устойчивого развития. Специальный выпуск. Под ред. Куценого К.П., 2002, т. 10, № 5, с. 519–705.
- [6] Оптика атмосферы и океана. Тематические выпуски «Аэрозоли Сибири». Под ред. Панченко М.В. 1994, т. 7, № 8, с. 1011–1182; 1996, т. 9, № 6, с. 701–892; 1997, т. 10, № 6, с. 571–699; 1998, т. 11, № 6, с. 553–668; 1999, т. 12, № 6, с. 479–570; 2000, т. 13, №6–7, с. 97–706; 2001, т. 14, №6–7, с. 473–640; 2002, т. 15, №5–7, с. 405–558.
- [7] Deepak A., Koziana T.V. The world data library (WADL) concept. In: Aerosol and Their Climatic Effects. Ed. by Gerber H.E. and Deepak A. 1984, A. Deepak Publishing. A Division of Science and Technology Corporation, Hampton, Virginia, USA, R105–116.
- [8] Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. (1979): Методы решения некорректных задач. Наука. Москва.
- [9] Bashurova V.S., Koutsenogii K.P., Pusep A.Y., Shokhirev N.V. (1991): Determination of atmospheric aerosol size distribution function from screen diffusion battery data: mathematical aspects. J. Aerosol Sci. 22, 3, 373–388.
- [10] Bashurova V.S., Dreiling V., Hodger T.V., Jaenicke R., Koutsenogii K.P., Koutsenogii P.K., Kraemer M., Makarov V.I., Obolkin V.A., Potjomkin V.L, Pusep A.Y. (1992): Measurements of condensation nuclei size distribution in remote continental area – Lake Baikal, Siberia. J. Aerosol Sci. 23, 2, 191–199.
- [11] Sinclair D. (1972): A portable diffusion battery. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 33, 729–735.
- [12] Cheng Y.S., Yeh H.C. (1984): Analysis of screen diffusion battery data. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 45, 556–561.

- [13] Cooper D.W., Spielman L.A. (1976): Data inversion using nonlinear programming with physical constraints: aerosol size distribution measurements by impactors. *Atm. Envir.* 10, 723–729.
- [14] Crump J.G., Seinfeld J.H. (1982): A new algorithm for inversion of aerosol size distribution data. *Aerosol Sci. Technol.* 1, 15–34.
- [15] Dzubay T.G., Hasan H. (1990): Fitting multimodal lognormal size distributions to cascade impactor data. *Aerosol Sci. Technol.* 13, 144–150.
- [16] Helsper C., Fissan H., Kapadia A., and Lui B.Y.H. (1982): Data inversion by simplex minimization for the electrical aerosol analyzer. *Aerosol Sci. Technol.* 1, 135–146.
- [17] Sinclair D., Christy D.A., Snyder K. (1979b): Calculation of aerosol size distribution from diffusion battery measurements - a computer program for the graphical «stripping» method. In: *Aerosol Measurements*, D.A. Lundgren et. al.(ed.), University of Florida Press, Gainesville, Florida, 615–631.
- [18] Winklmayr W., Wang H.-C., John W. (1990): Adaptation of the Twomey algorithm to the inversion of cascade impactor data. *Aerosol Sci. Technol.* 13, 322–331.