

В.В. Пененко*, М.В. Панченко

Междисциплинарные исследования переноса и трансформации примесей в атмосфере: предварительные итоги и перспективы

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

** Институт вычислительной математики и математической геофизики, г. Новосибирск*

Поступила в редакцию 9.02.2000 г.

В сообщении описаны основные принципы организации работ междисциплинарного коллектива сотрудников институтов СО РАН по одному из двух подпроектов интеграционного гранта (ИГ) СО РАН № 30, посвященному исследованию процессов переноса и трансформации примесей в атмосфере Сибири. В работах принимало участие более 50 ученых.

Из представленного материала видно, уже на данном этапе реализации проекта позволила решить, пожалуй, самую сложную организационную задачу, а именно: объединить исследователей (химиков, физиков, математиков, метеорологов и географов) для комплексного решения актуальной мультидисциплинарной проблемы, обеспечить необходимый для атмосферных задач мониторинговый режим наблюдений и получить уже за ограниченный период данные, которые в дальнейшем обеспечат существенный прогресс в понимании сути физических и химических процессов в атмосфере, а также в совершенствовании численных моделей для описания и прогнозирования.

Введение

К настоящему времени сформулированы основные подходы к изучению природных процессов, протекающих при воздействии на них естественных и антропогенных факторов, для решения проблем экологии, охраны природной среды и климата. Они базируются на сочетании фундаментальных лабораторных исследований, сетевых и полевых наблюдений в рамках систем регулярного мониторинга и специальных наблюдательных экспериментов, на анализе данных и математическом моделировании.

На этих принципах организовывалась работа междисциплинарного коллектива сотрудников институтов СО РАН по одному из двух подпроектов интеграционного гранта (ИГ) СО РАН-97 № 30, посвященному исследованию и моделированию процессов переноса и трансформации примесей в атмосфере Сибири. В работах принимало участие более 50 ученых. Основные организации-участники проекта и руководители – ответственные исполнители соответствующих разделов работ: Институт вычислительной математики и математической геофизики (Новосибирск), д.ф.-м.н. В.В. Пененко; Институт химической кинетики и горения (Новосибирск.), к.х.н. Г.И. Скубневская и А.Н. Анкилов; Институт теплофизики (Новосибирск), д.т.н. А.П. Бурдуков; Институт оптики атмосферы (Томск), д.ф.-м.н. М.В. Панченко; Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (Иркутск), д.т.н. Б.М. Каганович; Лимнологический институт (Иркутск), к.г.н. Т.В. Ходжер; Институт солнечно-земной физики (Иркутск), д.ф.-м.н. В.В. Кошелев; Омский филиал Института математики, д.т.н. В.А. Шапцев.

В результате интеграции был выполнен большой цикл исследований по основным аспектам проблемы. Ниже обсуждаются предварительные итоги работы коллектива, анализируются результаты и формулируются задачи на будущее.

1. Модели переноса и трансформации примесей в атмосфере

Разработаны концептуальные основы и принципы создания комплекса базовых моделей многофункционального назначения для диагностических и прогностических целей. По физическому содержанию и классу решаемых задач, по функциональному составу моделей, методам реализации и информационному наполнению комплекс представляет собой открытую развиваемую систему. Реализована «исследовательская» версия комплекса моделей, и на ее основе выполнен цикл исследований процессов переноса примесей различных пространственно-временных масштабов.

Цели и задачи:

- оценки экологической перспективы при различных вариантах антропогенных воздействий;
- экологическое прогнозирование и проектирование;
- задачи мониторинга и оценки эффективности природоохранных мероприятий;
- оценки характерных масштабов взаимодействий в климатической системе.

Основные характеристики моделей, их состав и функциональное содержание:

- системы основных уравнений переноса и трансформации многокомпонентных примесей в атмосфере от естественных и антропогенных источников;
- совокупность сопряженных задач для определенного набора функционалов;
- алгоритмы расчета соотношений чувствительности моделей к вариациям параметров и внешних воздействий;
- алгоритмы прямого и обратного моделирования.

Базовые версии моделей реализованы в локальном, мезорегиональном, полусферном и глобальном масштабах. Имеются версии мезомасштабных моделей, адаптированные к условиям гг. Новосибирска, Томска, Омска, Иркутска.

Организация сценариев моделирования основана на методологии прямого и обратного моделирования и совместного использования моделей и данных наблюдений.

Модели переноса примесей в локальном и мезомасштабах работают в комплексе с моделями гидротермодинамики атмосферы, обеспечивающими с требуемым разрешением расчет характеристик циркуляции атмосферы по доступной фактической информации в режиме усвоения и в режиме прогноза.

Для организации сценариев моделирования в региональном и глобальном масштабах разработан новый класс моделей для воспроизведения атмосферной циркуляции с использованием баз данных фактической информации. Это так называемые модели инфракрасного типа. В них для обеспечения достоверности оценок используется ретроспективная фактическая информация об атмосферной циркуляции по данным Reanalysis NCEP/NCAR США. Для работы с этой информацией был создан специальный комплекс программ, включающий алгоритмы усвоения данных и гидродинамической интерполяции с помощью базовых моделей гидротермодинамики атмосферы. Программно-информационный комплекс обеспечивает восстановление полей метеозлементов с требуемым для моделей переноса примесей пространственно-временным разрешением в режимах прямого и обратного моделирования. При таком подходе не возникает вопросов о предсказуемости атмосферной циркуляции. В настоящее время нам доступна ежедневная (по два срока наблюдений в сутки) информация за 38 лет (1961–1998 гг.), что позволяет решать многие исследовательские задачи.

2. Система моделирования процессов химической трансформации примесей в атмосфере

Разработана высокоэффективная система моделирования кинетических процессов химической трансформации загрязняющих примесей в атмосфере промышленных регионов от источников естественного и антропогенного происхождения. Система позволяет оперативно формировать численные модели химической кинетики по заданным схемам механизмов трансформации и проводить расчеты временного хода соответствующих процессов. По структуре система является составной частью комплекса моделей, создаваемого для решения природоохранных задач прогнозирования химической обстановки в чрезвычайных ситуациях. Она предназначена для использования в двух аспектах: 1) в автономном, «точечном» по пространству, режиме для изучения поведения процессов во времени и 2) в составе комплекса моделей переноса, описанного в разделе 1, как совокупность «точечных» моделей кинетики в режиме расщепления в рамках четырехмерных пространственно-временных моделей.

Для обеспечения эффективности и оперативности в применениях системы моделирования разработаны два новых базовых элемента. Первый – блок подготовки «химических» моделей трансформации веществ. Он основан на предпроцессоре кинетических схем, который позволяет автоматизировать построение в интерактивном режиме системы дифференциальных уравнений химической кинетики по описаниям механизмов трансформации в виде совокупности уравнений реакций, представленных в традиционном для химии виде. Это наиболее сложный в техническом

отношении и трудоемкий для исследователей этап в разработке моделей, и с помощью предпроцессора он полностью автоматизирован. Система автоматизации удобна для исследовательских целей, так как в процессе работы приходится перестраивать схемы реакций и менять описание самих механизмов трансформации. Все эти операции производятся в интерактивном режиме.

Второй ключевой элемент – алгоритм решения кинетических уравнений в точечном, по пространству, режиме. Для базового варианта алгоритма строятся устойчивые неявные схемы второго порядка точности. Поскольку задачи химической трансформации нелинейны, то алгоритм их решения организуется так, чтобы при необходимости включалась процедура рекурсивного повышения точности аппроксимации по нелинейности. Выбор параметров для дискретизации кинетических уравнений по времени осуществляется с учетом характерных «времен жизни» участвующих в реакции веществ.

Следует отметить, что описываемый класс задач с позиций вычислительной технологии требует больших компьютерных ресурсов как по количеству операций, так и по объемам требуемой памяти компьютера. Чтобы найти компромисс в этом плане, задачи атмосферной химии распараллеливаются с помощью метода расщепления: с одной стороны, на совокупность адвективно-диффузионных задач для моделирования процессов переноса отдельных веществ по пространству и, с другой стороны, на совокупность точечных задач, в которой на каждом шаге по времени участвуют процессы трансформации всех веществ в каждой пространственной сеточной точке формально независимо от систем уравнений в других точках. Для повышения эффективности моделирования в ИВМиМГ проводятся работы по подготовке параллельных версий ранее разработанных алгоритмов с перспективой их реализации на суперкомпьютерном центре СО РАН, создаваемом на базе ИВМиМГ СО РАН.

В «химическом» блоке трансформации загрязняющих примесей, разрабатываемом в ИХКиГ и ИСЭ СО РАН, используется международная база данных по химическим газофазным реакциям, созданная в Национальном институте стандартов и технологий (США). Она включает в себя более 10 тыс. химических реакций, позволяя варьировать задаваемые химические параметры в широких пределах в автоматическом режиме. Благодаря этому при моделировании превращений загрязняющих примесей в атмосфере удалось получить более адаптированные к реальным условиям фундаментальные результаты.

Процедура стыковки кинетических моделей с базой данных обрабатывалась на примере фотохимического окисления ацетальдегида – наиболее репрезентативного представителя класса карбониллов в атмосфере. Выбраны элементарные стадии, ведущие к образованию экологических канцерогенов – формальдегида, метанола, а также оксида и диоксида углерода. Показано, что при разном сочетании исходных выбросов альдегида с оксидами азота образуются вышеперечисленные токсиканты в разных соотношениях. Кроме того, существенно меняется концентрация озона в приземном слое атмосферы в локальных масштабах.

В ИСЭ СО РАН в рамках этого раздела, осуществляемых совместно с ИВМиМГ и ИХКиГ СО РАН, выполнены работы по численной реализации блока подготовки исходной химической информации и кинетических моделей. Для автоматизации построения кинетиче-

ских схем было разработано программное обеспечение, позволяющее координировать работу предпроцессора этих схем и базы данных кинетической информации. С использованием «точной» фотохимической модели атмосферы умеренных широт, разработанной в ИСЭ СО РАН, исследована чувствительность концентраций ряда вторичных загрязнителей к выбросам типичных газообразных отходов энергетики – непредельных углеводородов и оксидов азота. Выявлен резко нелинейный характер этой зависимости, показано существование условий, при которых возникает эффект гиперсенсбилизации.

3. Система оценок качества атмосферы и прогнозирования последствий аварийных и экологически неблагоприятных ситуаций в индустриальных регионах

Разрабатываемая система прогнозирования основана на комплексе моделей гидротермодинамики и переноса примесей в атмосфере городов и индустриальных регионов. Система ориентирована на решение конкретных задач окружающей среды, связанных с вопросами оценок качества атмосферы и экологической безопасности для населения и природных комплексов. Для стартовой подготовки комплекса разработан эффективный метод расчета начальных полей по минимальному набору фактической информации. В последнее время этот вопрос приобретает особую остроту в связи с повышенным риском техногенных аварий (практически во всех отраслях хозяйственной деятельности) и военных конфликтов.

Модели такого класса характеризуются высоким пространственно-временным разрешением и для обеспечения расчетов требуют большого объема фактической информации о текущем состоянии климатической системы. Поэтому они обычно хорошо работают для оценок ситуаций в сценарном режиме, когда не довлеет дефицит времени на подготовку решения и имеется значительная степень свободы в выборе входных данных.

В проекте представлено несколько версий моделей для решения природоохранных задач больших городов.

В ИВМиМГ СО РАН разрабатывается система для решения задач оценок экологической перспективы в рамках сценарного подхода для аварийных и нормальных ситуаций.

Главная проблема для работы в аварийных и экстремальных ситуациях для конкретного района – это оперативная и адекватная инициализация моделей и выдача прогноза. Причем фактор времени является определяющим для принятия решения по оценке масштабов воздействия и мер по ослаблению его отрицательных последствий. Нами разработана версия численной модели мезомасштаба для решения таких задач, в которой инициализация моделей и прогноз даются по ограниченному набору фактической информации.

Отработка системы прогнозирования и предложенного способа инициализации базовых моделей осуществлялась на примерах задач для Новосибирского и Томского регионов. Особенно интересным в этом плане является пример моделирования распространения примесей после аварии на Томском радиохимическом заводе в апреле 1993 г., поскольку имеются данные наблюдений за этот период. Сравнительный анализ рассчитанных и измеренных полей радиоактивного загрязнения местно-

сти показывает, что эти поля по конфигурации и интенсивности зоны повышенного загрязнения согласуются между собой. Такое совпадение свидетельствует о хороших потенциальных возможностях комплекса моделей по воспроизведению и прогнозированию реальных ситуаций и разработанного способа оперативной инициализации моделей по ограниченному набору фактических данных.

Разработана также модификация модели динамики атмосферы и переноса примесей для изучения и прогнозирования загрязнения атмосферы в г. Омске. На ее основе выполнена серия численных экспериментов по оценке качества атмосферы в Омске для конкретных ситуаций. Разработаны и реализованы диалоговые алгоритмы определения параметров источников по данным измерений концентраций примесей.

4. Модели для решения взаимосвязанных задач экологии и климата

Сформулированы концепция, основные принципы построения и структура комплекса моделей системы «атмосфера индустриального региона», ориентированного на проведение исследований по решению взаимосвязанных задач экологии и климата. В этом комплексе моделей кроме загрязняющих примесей участвуют другие источники антропогенных воздействий, такие, например, как изменения характеристик поверхности Земли на больших площадях, выбросы тепла и влаги в больших объемах и т.д. В результате таких воздействий в климатической системе формируются специфические атмосферные процессы, создающие предпосылки к формированию экологически неблагоприятных и катастрофических ситуаций. Разработаны теория и методы исследования чувствительности климатической системы индустриальных регионов к вариациям естественных и антропогенных факторов, позволяющих выявлять тенденции влияния относительно малых воздействий на изменение обобщенных характеристик поведения климатической системы.

Специфика данного класса задач состоит в том, что абсолютные величины антропогенных воздействий относительно малы по сравнению с основными действующими факторами, определяющими поведение климатической системы и качество атмосферы. Суть проблемы – распознать и количественно оценить влияние этих малых воздействий и ранжировать их по относительному вкладу в изменчивость наблюдаемых характеристик. Для ее решения построены алгоритмы реализации соотношений теории чувствительности и расчета функций чувствительности функционалов, определяющих обобщенные характеристики поведения исследуемых моделей.

В частности, среди выполненных исследований нужно выделить работы по оценке чувствительности радиационного режима атмосферы к изменениям концентраций оптически активных загрязняющих веществ. Эти исследования показывают, что влияние газообразных загрязнений и аэрозольей на термодинамику атмосферы индустриальных регионов может быть существенным. Оно по-разному проявляется в конкретных ситуациях.

Соотношения чувствительности позволяют получать оценки вариаций соответствующих функционалов непосредственно через вариации параметров источников загрязняющих примесей без детальных расчетов радиационных режимов загрязненной атмосферы. Этот подход дает новое решение многих проблем, поскольку расчет радиа-

ционных режимов атмосферы самих по себе представляет собой весьма трудоемкий процесс, тем более что климатические исследования предполагают охват долгопериодных изменений.

5. Развитие методик измерений и экспериментальной оценки параметров источников загрязняющих примесей

Разработаны методики непосредственных измерений параметров источников примесей и оценок эмиссионных факторов.

В системе оперативного прогнозирования в нормальных и особенно в чрезвычайных ситуациях большую ценность представляет информация о параметрах фактических выбросов загрязнений. В этом плане методы измерения параметров источников выбросов, концентраций примесей и полей метеоэлементов органично вписываются в систему обеспечения численных моделей.

В ИТ СО РАН разработаны методики непосредственных измерений параметров источников. В качестве объектов исследований были выбраны ТЭС-1,2,4, расположенные в окрестностях Новосибирского академгородка (выбор был обусловлен близостью их расположения к Академгородку и количеством выделяемых средств). Измерения концентраций выбросов производились разработанным газоанализатором ПЭМ-2М, который представляет собой компьютерную систему, позволяющую проводить длительные измерения в автоматическом режиме, запоминать результаты измерений и передавать их через интерфейс на персональный компьютер. Газоанализатор укомплектован обогреваемым пробоотборным зондом с датчиком температуры анализируемой пробы и блоком пробоподготовки. Во время измерений контролировались концентрации следующих вредных выбросов: CO_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , O_2 . Кроме контроля по величине этих измеряемых параметров производилась настройка котлов на оптимальный режим работы.

Так как прибор имеет возможность запоминать результаты измерений и передавать их на ПК, то, установив такие приборы на каждой станции и связав их в единую сеть, можно получать данные о реальных источниках загрязнения в реальном масштабе времени. Поскольку такая информация необходима для организации оперативного мониторинга и прогнозирования качества атмосферы, внедрение разработанной технологии измерений чрезвычайно актуально и может быть рекомендовано в официальных системах мониторинга.

В ИСЭ СО РАН выполнен цикл работ по определению и уточнению ряда экологических показателей котельных средней и малой мощности, а также дымовых печей, представляющих важную исходную информацию для прогнозирования процессов загрязнений городов Сибири. Успешно завершено выполнение серии экспериментов по сопоставительному сжиганию углей Сибири и дров. Для исследованных топлив рассчитаны удельные выбросы оксидов серы, азота и углерода, твердых частиц, сажи и полициклических ароматических соединений. Выявлены факторы, определяющие вариации показателей выбросов этих веществ. Продолжался непрерывный мониторинг СО в атмосфере Иркутска. Выявлены пределы сезонных вариаций загазованности атмосферы продуктами неполного сгорания топлив. Подтвержден вклад дымовых печей в загрязнение монооксидом углерода атмосферы старых сибирских городов.

6. Экспериментальные исследования переноса и пространственно-временных масштабов изменчивости содержания загрязняющих веществ в атмосфере над территорией Сибири

В институтах «экспериментального» раздела проекта ИОА, ИХКиГ, ЛИН, ИСЗФ СО РАН осуществлялось развитие концепции направленного мониторинга, методик измерений и обработки их результатов с целью получения выводов об особенностях процессов распространения аэрозольных и газовых загрязнений в атмосфере Сибири, о перспективах их использования для диагностических и прогностических исследований. Суть концепции направленного мониторинга состоит в сочетании небольшого числа стационарных мониторинговых станций с широким применением мобильных лабораторий, оснащенных многофункциональными комплексами измерительной аппаратуры и базирующихся на наземных и воздушных транспортных средствах. В соответствии с этой концепцией система мониторинга должна активно взаимодействовать с математическими моделями в режиме прямых и обратных связей: планирование наблюдений, оценка информативности систем мониторинга, диагностика качества моделей, усвоение данных и т.д.

Приоритетной целью данного проекта в экспериментальном плане являлась постановка наблюдений в регионе для изучения процессов, определяющих формирование газового и аэрозольного состава атмосферы, выявления роли природных и антропогенных составляющих, исследования характерных источников и направлений переноса примесей, что является необходимым этапом для решения с помощью математического моделирования задач по оценке взаимодействий типа «источник – детектор» и «детектор – источник».

Ключевым моментом наблюдательного эксперимента в регионе являются получение информации о возможно полном комплексе параметров атмосферы, их внутригодовой и внутрисезонной изменчивости применительно к геофизическим условиям Сибирского региона, определение характеристик пространственно-временной изменчивости аэрозольных и газовых составляющих атмосферы и описание их взаимосвязи с внешними геофизическими факторами.

Сибирь, представляющая собой уникальное сочетание обширных неурбанизированных территорий и мощных индустриальных центров, до сих пор слабо изучена в этом отношении. Создание широкой сети стационарных мониторинговых станций – задача на сегодня невыполнимая по причинам экономического и технического характера. Выходом является сочетание небольшого числа пунктов, работающих в режиме, близком к мониторинговому, с постановкой крупных комплексных экспериментов, в которых сосредоточено максимально доступное количество систем, обеспечивающих измерение большинства климатически и экологически значимых параметров атмосферы.

В дополнение к этому необходимо применение ограниченного числа мобильных лабораторий, базирующихся на наземных и воздушных транспортных средствах, работающих в экспедиционных режимах.

Существенно расширяет возможности общего анализа данных в регионе использование результатов, полученных на космических станциях (в рамках проекта – Центров

космического мониторинга (ЦКМ) ИСЗФ СО РАН и ИОА СО РАН, в которых проводились работы по приему и оперативной обработке спутниковой информации по территории Сибири).

Такая постановка исследований на обширной территории обеспечивает получение данных для обоснованного тестирования и совершенствования прогностических моделей.

В процессе реализации проекта на территории Сибири удалось организовать синхронные длительные наблюдения в трех географических зонах (Томск, Новосибирск, Иркутск), в пунктах, подверженных антропогенным влияниям, и в «фоновых» условиях.

В Томске, Новосибирске и Иркутске приземные измерения ведутся практически в мониторинговом режиме на автоматизированных станциях, которые располагаются на территории академгородков. В каждом из этих районов наблюдения дополнены регулярными экспедиционными циклами, которые осуществляются в районах, удаленных от крупных промышленных центров (в Томске – полигон ИОА СО РАН на р. Обь, в Иркутске – станция ЛИ СО РАН в пос. Листвянка на берегу Байкала, в Новосибирске – п. Чик ИХКиГ СО РАН). Благодаря сотрудничеству с Национальным институтом по исследованию окружающей среды (Япония) в последние два года удалось осуществить ежемесячное зондирование атмосферы с помощью самолета-лаборатории ИОА СО РАН, что переводит на качественно иной уровень возможности интерпретации всей совокупности данных.

Особо следует отметить важность организации наблюдений в фоновых условиях. В нашем регионе этой цели наиболее соответствует «Саянская солнечная обсерватория» (п. Монды) – базовая фоновая станция для изучения переноса примесей в нижних слоях атмосферы Юго-Восточной Азии. Станция «Монды» (координаты 51°10' с.ш., 109°20' в.д.) – астрономическая обсерватория на вершине горы (2000 м) хребта Хамар-Дабан – удалена от промышленных центров Байкальского региона более чем на 300 км. В настоящее время есть все основания полагать, что станция «Монды» будет включена в международную сеть станций мониторинга кислотных выпадений в Восточно-Азиатском регионе (EANET), работа которых начнется в 2000 г.

Космическая информация размещается на сервере Центра космического мониторинга <http://ckm.iszf.irk.ru> и доступна участникам проекта для дальнейшего анализа. На сервере выставляются результаты обработки данных обнаружения лесных пожаров (4 раза в сутки) в виде электронных карт. Кроме того, на сервере была организована возможность просмотра снимков облачного покрова над территорией Сибири в статическом и динамическом режимах.

Выводы и перспективы

Как видно из представленного материала, уже на данном этапе реализация проекта позволила решить, пожалуй, самую сложную организационную задачу, а именно: объединить исследователей (химиков, физиков, математиков, метеорологов и географов) для комплексного решения актуальной мультидисциплинарной проблемы, обеспечить необходимый для атмосферных задач мониторинговый режим наблюдений и получить уже за этот ограниченный период данные, которые в дальнейшем обеспечат существенный прогресс в понимании сути физических и химиче-

ских процессов в атмосфере, а также в совершенствовании численных моделей для их описания и прогнозирования.

В качестве одного из прикладных аспектов полученных в проекте результатов нужно отметить, что создан инструментарий в виде комплекса моделей и методологии мониторинга для оперативной оценки масштабов взаимодействий в климатической системе и, в частности, областей опасности, возникающих в результате экологических катастроф. Разработанные методики позволяют также оценивать эффективность систем мониторинга и изменчивость областей информативности этих систем в реальных атмосферных ситуациях.

По результатам исследований опубликовано и подготовлено к публикации более 90 работ. Поскольку перечисление их здесь невозможно из-за ограниченного объема статьи, всех интересующихся мы отсылаем к итоговому отчету по проекту ИГ СО РАН № 30 «Исследование и моделирование глобальных и региональных изменений климата, трансформации и переноса загрязняющих примесей в атмосфере Сибири», Новосибирск, 1999.

Относительно перспектив развития работ по этому направлению нужно отметить, что несмотря на значительный прогресс, достигнутый в мире на современном этапе развития науки и технологий, в повестке дня атмосферно-биосферного сообщества много вопросов остаются пока открытыми.

В значительной степени эти вопросы касаются физико-химических, экологических и климатических аспектов аэрозолей и малых газовых составляющих атмосферы, выступающих в роли загрязняющих примесей. Они оказывают непосредственное и косвенное воздействие на состояние биосферы и экосистем, здоровье людей, качество атмосферы и воды, а также на поведение климатической системы. Если проанализировать эволюцию концепции климато-экологического мировоззрения, то на ранних стадиях работ основное внимание исследователей было сфокусировано на CO₂ как на главном факторе в антропогенном стимулировании климатических изменений. Но в дальнейшем была выяснена важность таких химически и радиационно активных газов, как метан, окись углерода, галокарбон, озон. Некоторые из этих веществ продуцируются в биосфере. Вариации их концентраций в региональном и глобальном масштабах обусловлены деятельностью человека. Это так называемые парниковые газы, вносящие свой вклад в потепление климата.

Впоследствии было также выявлено множество аэрозолей, оказывающих влияние на климат. Например, частицы сульфатных аэрозолей, получающиеся в результате сжигания углей, рассеивают в пространстве значительную часть приходящей солнечной радиации, что потенциально способствует региональному выхолаживанию в индустриально-нагруженных областях. Потому большой интерес представляют исследования химических и микрофизических процессов, влияющих на формирование и реализацию жизненного цикла таких аэрозолей. Поскольку аэрозольные частицы могут участвовать как ядра конденсации при формировании облаков, аэрозоли антропогенного происхождения способны оказывать косвенное воздействие на климат через изменения оптических свойств облаков – оптической толщины и альбедо.

Существуют аэрозоли, взаимодействие которых с радиацией имеет комплексный характер. Так, минеральные частицы способны рассеивать и поглощать ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную радиацию. Это приводит

в определенных гидрометеорологических условиях либо к охлаждению, либо к нагреванию климатической системы. Например, сажа черных углей имеет тенденцию к поглощению части солнечной и отраженной радиации, что индуцирует нагревание атмосферы.

Взаимодействие частиц пыли с другими атмосферными аэрозолями и облаками может влиять на их свойства. Процессы взаимодействия управляют гетерогенными химическими реакциями и могут формировать многокомпонентные аэрозоли. Однако относительная роль этих процессов остается неясной. Следует иметь в виду, что время жизни минеральных аэрозолей в атмосфере относительно короткое, порядка недели. Поэтому их влияние имеет региональный масштаб и, следовательно, в первую очередь могут проявляться их экологические последствия. Аэрозоли влияют не только на климат. Они играют важную роль в химии стратосферы и тропосферы через множество гетерогенных реакций и оказывают существенное влияние на интенсивность фотолитических процессов (изменение ви-

димости, повреждение растительности, ущерб здоровью населения). В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы формирования жизненного цикла, переноса и возможных воздействий биологически активных аэрозолей и связанные с ними проблемы экологической безопасности.

Таким образом, мировому сообществу предстоит решить еще много вопросов, касающихся окружающей среды и климата. В нашем междисциплинарном коллективе имеются серьезные заделы по многим из упомянутых проблем. Поэтому мы намерены продолжить исследования, полагая, что только интегрирование усилий в междисциплинарных коллективах специалистов создает предпосылки для успешного продвижения вперед.

Работа выполнялась при поддержке ИГ СО РАН-97 № 30, программы «Сибирь», Программы перспективных информационных технологий Миннауки России (0201.06.269), грантов РФФИ (№ 95-05-16562; 95-05-14195; 98-05-65206; 98-05-65318).

V.V. Penenko, M.V. Panchenko. **Interdisciplinary investigations of impurities transfer and transformation in the atmosphere: previous results and prospecty.**

Main principles of organization of interdisciplinary association of researchers from several institutes of SB RAS for realization of one of two Subprojects of the integrated Grant of IG SB RAS-97 N 30 intended for investigation and modeling the processes of impurities transfer and transformation in the atmosphere of Siberia are described. More than 50 scientists took part in this work.

The presented review shows that just at this stage, the Subproject realization allowed us to resolve, may be, the most important problem: to organize the researchers (chemists, physicists, mathematics, meteorologists, and geographers) for team-work on the urgent interdisciplinary problem, provide the monitoring regime of observations necessary in atmospheric investigations, and obtain even in this very short period the data, which will give new insight into the nature of physical and chemical processes in the atmosphere and favour further improvement of numerical models describing and predicting these processes.