

М.В. Кабанов

**КЛИМАТО - ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СИБИРИ (КЭМС):
ПРОГРАММА ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ЛОКАЛЬНЫМ,
РЕГИОНАЛЬНЫМ И ГЛОБАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ В АТМОСФЕРЕ**

Обсуждаются методологические основы, цели и проблемная ориентация программы физических исследований воздушного бассейна Сибири. Обосновывается особое значение Сибирского региона с точки зрения глобальных изменений окружающей среды и необходимость комплексного мониторинга долговременных климато-экологических изменений для устойчивого развития Сибири.

В обсуждаемой программе выделяются основные атмосферно-физические объекты мониторинга, включающие метеорологическое состояние и динамику атмосферы, атмосферные газы и аэрозоль, оптические и радиоволновые потоки излучения, атмосферное электричество и радиоактивность, физическое состояние верхней атмосферы и подстилающей поверхности, астрофизические и геофизические факторы, медико-биологические последствия климато-экологических изменений.

Реализация программы основывается на создании региональной сети климато-экологического мониторинга, региональной геоинформационной системы, регионального центра метрологии и сертификации эколого-метеорологических технических средств.

Введение

Физико-химическое состояние земной атмосферы и протекающие в ней процессы в каждой точке пространства и в каждый момент времени определяются совокупностью взаимодействующих естественных и антропогенных факторов [1]. Соотношение и роль этих факторов в различных регионах планеты различаются, но их воздействие в целом на глобальные изменения окружающей среды принимают все более угрожающие масштабы и все более стремительно ускоряются, что обосновано и ответственно зафиксировано в документах международной конференции ООН в Рио-де-Жанейро [2]. Поэтому проблемной целью программы КЭМС является не только решение локальных и региональных проблем Сибири, но и внесение необходимого вклада в решение проблем глобальных изменений окружающей среды.

Три комплекса проблем, связанных с климато-экологическими изменениями в глобальном, региональном или локальном масштабах, могут быть выделены в сложившихся условиях как самостоятельные с точки зрения их научного, технологического или организационного решения.

Первый комплекс проблем связан с выявлением и устранением чрезвычайных ситуаций и бедствий, возникающих за счет частичного или определяющего воздействия техногенного фактора на окружающую природную среду. Решение этих срочных проблем осуществляется специальными службами и основывается преимущественно на использовании уже имеющихся научно-технологических достижений и с помощью имеющихся технических средств.

Второй комплекс проблем связан с выявлением и устранением особо опасных воздействий хозяйственной деятельности на окружающую природную среду. Решение этих текущих проблем осуществляется преимущественно производственными организациями. Привлечение научно-технического потенциала осуществляется в этом случае заблаговременно для разработки новых технических средств и технологий, а также для разработки медико-санитарных, социально-правовых норм и для экспертных оценок.

Третий комплекс проблем связан с долговременными изменениями состояния окружающей природной среды в глобальных, региональных или локальных масштабах под воздействием естественных и антропогенных процессов. Решение этих фундаментальных проблем создает базу для стратегического планирования социально-экономического развития, осуществляется преимущественно научными организациями и концептуально обосновывается рядом таких международных и национальных программ, как <Международная геосферно-биосферная

программа», «Глобальные изменения природной среды и климата», «Атмосферно-радиационный мониторинг», «Экологическая безопасность России» и другие.

Основная практически значимая цель программы КЭМС состоит в решении третьего комплекса проблем. Решение именно этого комплекса проблем обеспечивает выявление и адаптацию основных закономерностей глобальных и региональных климато-экологических изменений и, следовательно, выработку научно-обоснованных рекомендаций и экспертных оценок по устойчивому развитию Сибири.

Основной технологический путь достижения поставленной цели состоит в организации и осуществлении комплексного регионального мониторинга основных состояний и процессов в атмосфере, определяющих климато-экологическую ситуацию и тенденции. Этот технологический путь включает в себя три основных элемента:

1) Сеть климато-экологического мониторинга, обеспечивающую получение длинных однородных рядов наблюдений [3] по основным объектам мониторинга;

2) Информационно-аналитическую систему (геоинформационную систему) сбора, хранения и переработки всей необходимой информации для последующих экспертных оценок и прогноза климато-экологических изменений, в том числе под воздействием антропогенных факторов региона;

3) Региональный центр метрологии и сертификации эколого-метеорологических технических средств, а также испытание и аттестация этих средств для серийного промышленного производства.

Материально-техническое обеспечение всех трех вышеназванных элементов является ресурсоемким, но обязательным для успешной реализации всей программы КЭМС. Обнадеживающее обстоятельство состоит в том, что существующая материально-техническая база основных организаций-исполнителей программы является достаточно разнообразной и мощной для успешного старта. В число таких организаций-исполнителей, составляющих организационную основу программы, входят как академические институты (Объединенный институт оптики атмосферы, г. Томск; Институт солнечно-земной физики, г. Иркутск; Вычислительный центр, г. Новосибирск), так и вузовские (Сибирский физико-технический институт и НИИ биологии и биофизики Томского государственного университета; НИИ ядерной физики при Томском политехническом университете).

Проблемная ориентация и сеть КЭМС

Взаимосвязь климатообразующих и экологических факторов в атмосфере определяет эффективность контроля и прогноза климато-экологических изменений только при осуществлении достаточно полного и совместного мониторинга. Вопрос о сокращении перечня контролируемых параметров по технико-экономическим соображениям не может при этом решаться в ущерб научно обоснованному перечню ключевых параметров.

Программа КЭМС предусматривает мониторинг основных параметров атмосферы по принципу замкнутого эксперимента, когда недостающее число измеряемых параметров дополняется вычисленными по надежно установленным атмосферно-физическим моделям. Современные методы атмосферных исследований [4], а также результаты замкнутых атмосферно-радиационных экспериментов [5] и комплексных аэрозольных исследований [6] дают методологическую основу для более широкого использования этого принципа при развертывании сети климато-экологического мониторинга Сибири.

Взаимосвязь физических, химических и биологических процессов в биосфере определяет сложность глобального, регионального и даже локального климато-экологического мониторинга. Практическая реализация такого комплексного мониторинга представляется трудно осуществимой без проблемной ориентации. В программе КЭМС предпочтение отдается мониторингу тех атмосферных процессов и явлений, в которых причинно-следственная связь определяется физическими процессами. Сделанный выбор по специализации мониторинга является необходимой мерой для успешного старта в организационном отношении и позволяет целенаправленно сконцентрировать профессиональные усилия специалистов как на исследованиях атмосферно-физических процессов, так и на эффективном использовании современных технических средств. При этом не исключаются, а планируются геохимические и геобиофизические наблюдения, временной режим и объемы которых на начальном этапе зависят от привлекаемого научно-технического потенциала по этим областям знаний.

Глобальный, региональный и локальный варианты климато-экологического мониторинга представляют собой такую систему наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей природной среды, которая позволяет выделить изменения состояния биосферы на естественном фоне под влиянием хозяйственной деятельности в масштабе планеты, региона или отдельных районов [1]. При этом глобальный мониторинг, осуществляемый в рамках международных программ, предусматривает функционирование многих центров регионального мониторинга, расположение которых на планете определяется преимущественно климато-географическим положением, но с учетом особенностей хозяйственной деятельности и административной структуры региона [7].

Программа климато-экологического мониторинга Сибири ориентирована на масштабы такого региона, который представляет самостоятельный и особый интерес с точки зрения глобального мониторинга по ряду соображений. Во-первых, палеоландшафт и палеоклимат Сибири имеют общую историю как в шкале геологического времени [8], так и на современном этапе хозяйственной деятельности. Во-вторых, бореальные леса Западной Сибири вместе с лесами Канады являются <легкими> биосферы Земли в северном полушарии [9], а сибирские болота как мощный генератор метана играют важную роль для парникового эффекта на планете. В-третьих, интенсивное индустриальное развитие Сибири в двадцатом веке является существенным фактором возможных климато-экологических изменений не только в регионе, но и в масштабах планеты.

Отмеченный выше принцип замкнутого эксперимента, проблемная ориентация на физические процессы в атмосфере и региональные особенности Сибири составляют научную основу для формирования наземной сети климато-экологического мониторинга по программе КЭМС. Организационно-техническая структура КЭМС-сети при этом учитывает, что на территории Сибири уже существует достаточно подробная сеть наземных гидрометеорологических пунктов наблюдения, работающих в производственном режиме. На 36 пунктах этой сети осуществляется также аэрологическое зондирование с помощью шарзондов до высот 30 км. Кроме того, в Сибири размещаются современные, преимущественно стационарные и уникальные технические средства, с помощью которых ведутся наблюдения недостающих для климато-экологического мониторинга параметров атмосферы. К числу таких уникальных и дорогостоящих средств относятся:

- станции высотного зондирования атмосферы с несколькими лазерными каналами зондирования на каждой (г. Томск);
- солнечный радиотелескоп с уникальной антенной системой (г. Иркутск);
- четыре станции радиозондирования ионосферы (Томск, Новосибирск, Иркутск, Якутск);
- базовый экспериментальный комплекс, включающий лидары, акустические локаторы и стационарные трассовые измерители газового и аэрозольного состава атмосферы (г. Томск);
- самолет-лаборатория <Оптик> на базе самолета Ан-30 с уникальным комплексом измерительных средств для обследования атмосферного воздуха в экспедиционном режиме (г. Томск);
- базовые комплексы многолетних биофизических наблюдений природно-территориальных комплексов озера Байкал и Обской поймы (Иркутск, Томск).

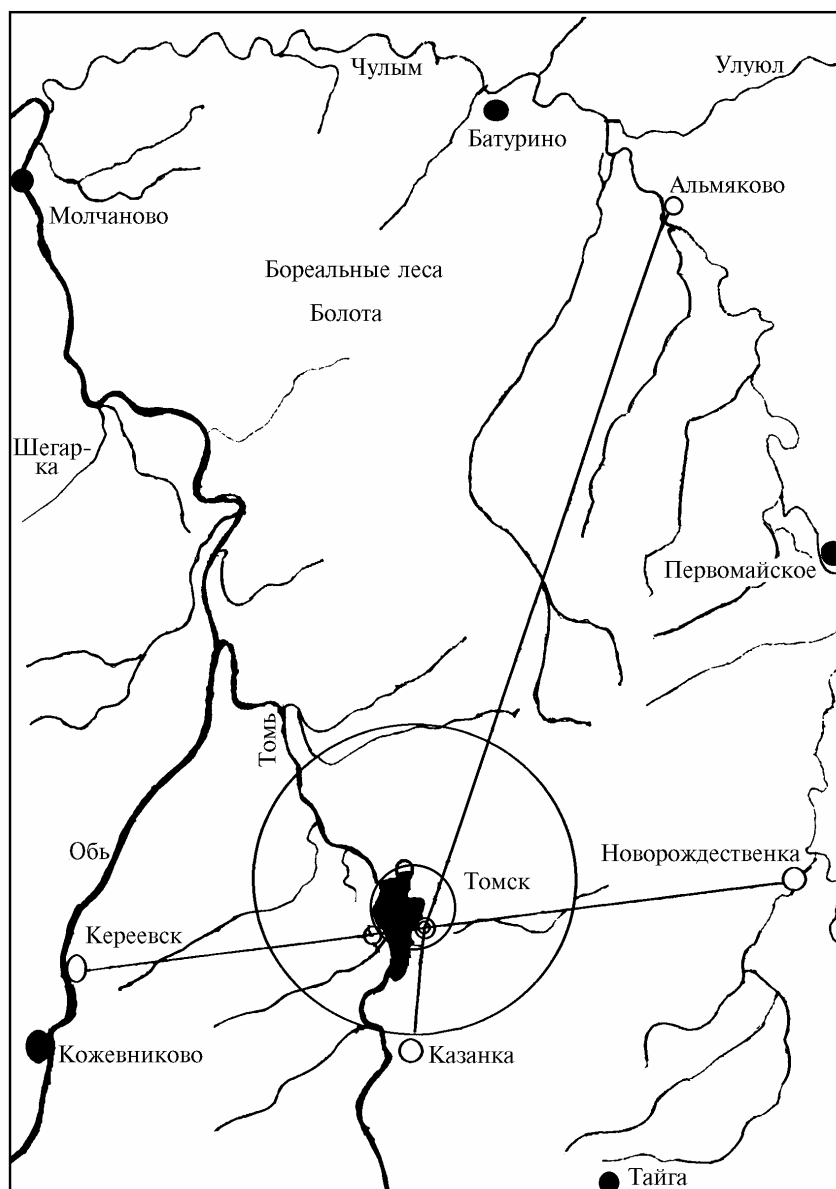
Вся эта сеть уже существующих пунктов, станций и стационаров наблюдения вместе с ближайшими пунктами приема широкой космической информации (Новосибирск, Хабаровск, Ташкент) составляют стартовую основу для комплексного климато-экологического мониторинга Сибири. Дальнейшее развитие этой сети предусматривает наряду с дооснащением имеющихся создание дополнительных постов наблюдений. При этом на центральный базовый полигон в г. Томске возлагаются задачи не только отработки методик комплексных наблюдений, но и организация центральной геоинформационной системы мониторинга, а также создание центра метрологии и сертификации технических средств климато-экологических наблюдений. Полная организационно-техническая структура КЭМС-сети с указанием головных исполнителей по отдельным позициям приведена в таблице, а фрагмент КЭМС-сети в Томской и Кемеровской областях приведен на рисунке.

Основные объекты мониторинга

Организация, разработка методологии и проведение долговременного климато-экологического мониторинга составляют основное содержание настоящей программы. В соответствии с основной проблемной ориентацией программы объектами климато-

экологического мониторинга являются все основные физические поля различной природы, физические процессы и явления в атмосфере. В связи с многокомпонентным составом атмосферы и многопараметрическим характером атмосферно-физических полей, процессов и явлений климато-экологический мониторинг является, по существу, комплексным мониторингом, в котором можно выделить несколько самостоятельных объектов целевого мониторинга. Ниже приводится краткая характеристика приоритетных объектов мониторинга.

1. Мониторинг метеорологического (термодинамического) состояния атмосферы представляет собой дальнейшее развитие традиционных метеорологических наблюдений в приземном слое. Первые систематические метеонаблюдения в Сибири были начаты на Томской гидрометеорологической станции в 1830 году [10]. Традиционные сетевые метеонаблюдения при осуществлении этого мониторинга дополняются измерениями профилей метеорологических параметров. Основные наблюдаемые параметры: температура, давление, влажность, направление и скорость ветра.



Сеть станций климато-экологического мониторинга Томской и Кемеровской областей:

- – действующие станции государственной метеорологической сети;
- – строящиеся станции сети климато-экологического мониторинга

Климато - экологический мониторинг Сибири

Традиционные технические средства наблюдений в настоящее время устарели, и идет процесс их замены менее инерционными, с более гибкой автоматизацией процессов измерений и регистрации их результатов. При осуществлении настоящего мониторинга для некоторых современных технических средств предстоит этап проведения их испытания и сертификации, включая разработку методических рекомендаций для использования на широкой сети.

Организационно-техническая структура КЭМС-сети

Наименование структуры	Головная организация
I. Сеть климато-экологического мониторинга Сибири:	
Сеть Западной Сибири	Объединенный институт оптики атмосферы СО РАН (г. Томск)
Сеть Восточной Сибири	Институт солнечно-земной физики СО РАН (г. Иркутск)
II. Геоинформационная система климато-экологического мониторинга Сибири:	
	Сибирский информационно-вычислительный центр ТНЦ СО РАН, (г. Томск)
	Институт оптики атмосферы СО РАН (г. Томск)
III. Региональный центр организации мониторинга, метрологии и сертификации технических средств КЭМС	
	Конструкторско-технологический институт <Оптика> СО РАН (г. Томск)
IV. Индустриальное кольцо КЭМС-сети в г. Томске	
Базовый полигон (Академгородок)	Конструкторско-технологический институт <Оптика> СО РАН
Южный пост (пл. Южная)	Сибирский физико-технический институт при ТГУ
Западный пост (<Заречный>)	ИОА СО РАН
Северный пост (микрорайон <Спутник>)	НИИ ядерной физики при ТПУ
V. Фоновое кольцо КЭМС-сети в Томской и Кемеровской областях:	
Восточный пост (с. Ломачевка Кемеровской области)	НИИ биологии и биофизики при ТГУ
Южный пост (с. Казанка Томской области)	Сибирский физико-технический институт при ТГУ
Западный пост (с. Киреевск Томской области)	ИОА СО РАН
Северный пост (с. Альямово Томской области)	Конструкторско-технологический институт < Оптика> СО РАН

2. Мониторинг динамики атмосферы выделяется в самостоятельный из целого мониторинга общего метеорологического состояния атмосферы в связи с особой (в погодообразовании) значимостью проблем общей и региональной циркуляции атмосферы, проблем атмосферной турбулентности и струйных течений, проблем диффузии основных компонентов и примесей в атмосфере. Влияние динамических процессов в атмосфере на локальный, региональный и трансграничный перенос атмосферных загрязнителей определяет их экологическую значимость.

Космические снимки динамики облаков, сеть пунктов аэрологического зондирования (до высот в 30 км) и наземная гидрометеорологическая сеть являются основным источником информации. В настоящем мониторинге в качестве дополнительных средств привлекаются акустические и лазерные локаторы, шарзондовые датчики турбулентности.

3. Мониторинг атмосферного аэрозоля, облачности и осадков представляет собой достаточно комплексный мониторинг важнейшей климатообразующей и экологической компонент атмосферы. Приоритетными по атмосферному аэрозолю являются тропосферно-фоновый, индустриальный и стратосферный аэрозоли. Традиционно ведущиеся на сети наблюдения облачности и осадков дополняются систематическими наблюдениями более подробной структуры облачных образований, включая пространственные и временные масштабы сплошной и разорванной облачности, химического состава и микроструктуры облаков и осадков.

Традиционные технические средства при настоящем мониторинге заменяются более точными и оперативными. К числу таких новых разработанных и испытанных технических средств относятся лазерные дистанционные локаторы, радиолокационные станции, обзорные фотометры, нефелометры и спектрофотометры.

4. Мониторинг атмосферных газов, представляющих собой другой важный климатообразующий и экологический компонент земной атмосферы, является наиболее

сложным и многозначным. Все основные и малые газовые примеси в атмосфере по своему влиянию на климато-экологическую ситуацию можно разделить на несколько групп, из которых приоритетными являются:

- основные биосферные газы (O_2 , CO_2 и другие);
- парниковые газы (CO_2 , H_2O , CH_4 , O_3 и другие);
- канцерогенные газы (серосодержащие, тяжелые углеводороды, фтор и хлоросодержащие, пары тяжелых металлов и другие).

Методы и технические средства измерений концентрации большинства атмосферных газов в настоящее время разработаны и испытаны как в варианте дистанционных измерений (лазерные и другие оптические локаторы, а также радиометры и спектрофотометры), так и в варианте контактных измерений (сенсорные датчики, заборники проб). Выбор и сертификация наиболее эффективных средств измерения концентрации атмосферных газов в природных условиях являются одной из технологически важных задач этого мониторинга.

5. Мониторинг озона и компонентов озонного цикла выделяется в самостоятельный из целевого мониторинга атмосферных газов в связи с особой экологической значимостью проблем тропосферного и стратосферного озона (озонных дыр). К компонентам озонного цикла при этом относятся: состав ультрафиолетового солнечного излучения, ряд атмосферных газов (в основном окислы азота) и атмосферный аэрозоль. Настоящим мониторингом обеспечиваются синхронные наблюдения всех этих компонентов, если такие наблюдения не содержатся в других целевых мониторингах. Основным техническим средством для систематических наблюдений в Сибири является функционирующая с 1989 г. уникальная станция высотного зондирования СВЗ-2 ИОА СО РАН [11] с несколькими каналами лазерного зондирования при диаметре приемного зеркала 2 м. Дополнительными средствами при этой станции являются лидарная станция СВЗ-1 (диаметр приемного зеркала 1 м), наземные и шарзондовые озонметры и ряд других разработанных обеспечивающих средств.

6. Мониторинг атмосферной радиации, включающей оптическое излучение в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра, представляет собой дальнейшее развитие наблюдений, проводимых на существующей сети актинометрических станций и пунктов наблюдения ультрафиолетовой радиации. Необходимость развития последних наиболее полно обоснована в национальном проекте США <Атмосферные радиационные измерения> [9], а кроме того, диктуется современными медико-биологическими требованиями к данным по спектральному составу ультрафиолетовой радиации (к <качеству> ультрафиолета).

Современные методы и технические средства (спектрофотометры, радиометры, актинометры, фитоактинометры) способны при наземных наблюдениях обеспечить решение самостоятельных задач и калибровку аэрокосмических средств наблюдения. Практическое использование существующих технических средств при регулярных наблюдениях нуждается в дополнительной организации систематического метрологического контроля. При осуществлении настоящего мониторинга требуются дополнительные методические и конструкторско-технологические разработки по системам оптической томографии атмосферы, включающей более высокое разрешение пространственной и временной структуры потоков атмосферной радиации.

7. Мониторинг потоков радиоволнового излучения в микроволновом, коротковолновом, средневолновом, длинноволновом и сверхдлинноволновом диапазонах приобрел особое значение в связи с интенсивным развитием радиоэлектроники и нарастающими проблемами электромагнитной совместимости различных по бытовому и промышленному назначению радиоэлектронных средств между собой и с окружающей живой природой [12]. Вместе с тем существенное увеличение суммарной напряженности антропогенных электромагнитных полей по сравнению с естественным фоном представляют собой во временном масштабе биоэволюционного процесса одномоментный скачок с неясными пока медико-биологическими последствиями [13]. Выявлено в последние годы и влияние отдельных диапазонов радиоволнового излучения на погодообразующие факторы [14].

Технические средства для систематических наблюдений потоков радиоволнового излучения в настоящее время находятся на уровне широкого и экономичного практического использования. Их прямое использование при осуществлении мониторинга сопряжено пока с необходимостью доработки, аттестации и организации систематического метрологического контроля.

8. Мониторинг атмосферного электричества, влияющего на скорость и последствия большинства геофизических и биофизических процессов в земной атмосфере [15], является одним из ключевых при комплексном климато-экологическом мониторинге. В число основных контролируемых параметров при этом входят электростатический потенциал и проводимость атмосферы на различных высотах, а также ряд других параметров <спокойного> и грозового электричества. Наличие глобальной атмосферно-электрической токовой цепи и унитарных вариаций напряженности, связываемых с изменением электрического заряда Земли в целом [14], определяет фундаментальное значение региональных центров мониторинга атмосферного электричества.

Существующие технические средства для наземных и шарзондовых наблюдений способны обеспечить надежную основу при проведении настоящего мониторинга. Дальнейшие разработки новых методов и средств требуются для дистанционного зондирования атмосферного электричества. Перспективными для этих целей являются лазерные методы, основанные на использовании электроориентационных эффектов при аэрозольном рассеянии оптического излучения.

9. Мониторинг физического состояния подстилающей поверхности, определяющей нижнюю границу земной атмосферы, является важной и необходимой составной частью комплексного контроля климато-экологических изменений. Хорошо известна тесная корреляционная связь ряда метеорологических параметров в приземном слое с потенциалом так называемых теллурических токов в земной коре [12]. Геологическая структура земной коры отчетливо проявляется при таком ярком атмосферном явлении, как полярное сияние. Непосредственным климатообразующим фактором является перенос оптического и микроволнового излучения в растительном покрове [17] и отражательная способность (альбедо) подстилающей поверхности. В целом, с точки зрения климато-экологических изменений, подстилающая поверхность является активно взаимодействующей и воздействующей границей атмосферы. Приоритетными параметрами для настоящего мониторинга являются электрофизические параметры почвогрунтов, альбедо различных типов подстилающей поверхности для видимого, инфракрасного и микроволнового излучения.

Основным техническим средством для дистанционных измерений электрофизических параметров в настоящее время являются геолокаторы непрерывного или импульсного микроволнового зондирования на глубину до нескольких десятков метров. Стандартные агробиофизические методы анализа почвогрунтов при этом рассматриваются необходимыми для метрологического обеспечения. Наземные измерения отражательных характеристик земной поверхности в оптическом диапазоне обычно проводятся с помощью стандартных спектрофотометров, но по индивидуальным технологическим методикам. К методическим задачам мониторинга следует отнести также сопряжение измеряемых характеристик подстилающей поверхности в различных диапазонах электро-магнитного излучения, а также развитие методов измерения поляризационных характеристик растительного покрова.

10. Мониторинг физического состояния верхней атмосферы, играющей важную роль во взаимодействии нижней атмосферы с ближним космосом [18], является другим необходимым пограничным звеном при комплексном климато-экологическом мониторинге. Приоритетным объектом при этом является ионосфера, мониторинг которой в Сибири проводится с 1936 г. (на Томской ионосферной станции). Осуществляемое несколькими ионосферными станциями Сибири регулярное зондирование ионосферы обеспечивает возможность контроля как состояния процессов в нижних и средних слоях атмосферы, так и колебаний земной поверхности, вызванных землетрясениями, взрывами, береговыми эффектами и другими причинами [19]. Мониторинг ионосферы в настоящее время является исключительно важным и надежным технологическим средством для прогноза состояния каналов коротковолновой радиосвязи [20].

Основные методы и средства радиозондирования верхней атмосферы на высотах от 50 до 400 км в настоящее время достаточно разработаны и сертифицированы для регулярных наблюдений. К этим методам относятся метод вертикального радиозондирования, используемый на широкой мировой сети, включая и отечественную в составе 25 стационарных пунктов. Применение используемых при этом технических средств для наклонного радиозондирования в сочетании с адаптивными математическими моделями расширяет получаемую информацию о таких параметрах верхней атмосферы, как температура электронов,

ионов и нейтральных частиц, скорость и направление ветра, распределение и состав нейтральных и заряженных частиц [18]. В последние годы развиваются и другие методы радиозондирования верхней атмосферы, основанные на использовании мощных радиотехнических средств или уникального солнечного радиотелескопа ИСЗФ СО РАН (г. Иркутск).

11. Мониторинг атмосферной радиоактивности в рамках комплексного климато-экологического мониторинга направлен прежде всего на регулярные наблюдения присутствующих в атмосфере радиоактивных газов и аэрозолей естественного и антропогенного происхождения. Приоритетными для этого мониторинга являются регулярные фоновые наблюдения на стационарных пунктах альфа, бета- и гамма-излучений, а также отдельных продуктов радиоактивного распада. Основная задача такого мониторинга состоит в исследовании процессов взаимодействия атмосферной радиоактивности и других компонентов атмосферы с учетом региональных особенностей этих процессов в климато-экологических изменениях.

В качестве технических средств для мониторинга атмосферной радиоактивности могут быть использованы стандартные приборы и спектрометры, а также новые типы приборов с последующими испытаниями, калибровкой и аттестацией.

12. Мониторинг космических, астрофизических и геофизических факторов имеет своей целью систематическую регистрацию эпизодических и регулярных космических, астрофизических и геофизических событий, оказывающих заметное влияние на климато-экологическую ситуацию. К числу основных космических и астрофизических факторов относятся такие регулярные события, как потоки жесткого солнечного излучения и космические лучи, взаимное расположение планет в Солнечной системе, определяющих колебания гравитационного поля на Земле, а также нерегулярные сближения и столкновения с метеоритами. Основные геофизические факторы складываются из вулканических извержений и вариаций геомагнитного поля Земли, из сейсмических колебаний земной поверхности за счет землетрясений и обвалов подземных пустот, из подземных и наземных взрывов и других явлений. Влияние всех этих и ряда других астрофизических и геофизических событий в настоящее время широко используется для популярных, но при отсутствии мониторинга научно слабо обоснованных прогнозов погоды и условий жизнедеятельности человека.

Технические средства и расчетные методы для указанного мониторинга в настоящее время в достаточной мере разработаны, но используются в информационно разрозненных пунктах наблюдений. Задача настоящего мониторинга состоит в их если не физическом, то в информационном сосредоточении в рамках единого мониторинга.

13. Мониторинг медико-биологических последствий климато-экологических изменений имеет особое значение в программе КЭМС как по проблемной ориентации, так и по объектам мониторинга. Проведение такого мониторинга в тесной пространственной и временной связи с физическими исследованиями атмосферы повышает эффективность поиска и надежность испытаний биоиндикаторов климато-экологических изменений, с одной стороны, и стимулирует выбор социально значимых приоритетов при планировании самих физических исследований – с другой.

Кроме того, включение мониторинга медико-биологических последствий в состав программы КЭМС обеспечивает расширение методического арсенала при исследованиях климато-экологических изменений не только в настоящее время, но и для восстановления таких изменений на протяжении нескольких веков в прошлом. Наконец, важный аргумент по включению данного целевого мониторинга в состав программы КЭМС связан с необходимостью всяческого поощрения междисциплинарных исследований и перспектив взаимодействия настоящей программы с другими национальными и международными программами.

Конкретная реализация настоящего мониторинга осуществляется на базе использования и дальнейшего развития биоиндикаторных и психо-физиологических методов исследований в клинических и полевых условиях.

Приоритетные задачи фундаментальных исследований

Многокомпонентный состав земной атмосферы определяет сложность и многопараметрический характер атмосферных состояний, процессов и явлений. Комплексный, синхронный и долговременный контроль всех основных параметров

атмосферы, предусматриваемый региональным климато-экологическим мониторингом, обеспечивает основу для решения фундаментальных проблем научного, методологического и практического значения. По существу, каждый из вышеперечисленных объектов мониторинга является одновременно и объектом фундаментальных исследований многих научных коллективов.

Вместе с тем для решения ряда фундаментальных проблем атмосферной физики необходима такая совокупность непрерывных однородных рядов наблюдений, которая может быть получена только в процессе комплексного мониторинга. Ниже приводится ряд именно тех приоритетных задач фундаментальных исследований, решение которых возможно на основании результатов мониторинга по всем или нескольким объектам одновременно.

1. Парниковый эффект в земной атмосфере относится к определяющим климато-образующим процессам [21]. Региональные особенности этого эффекта связаны со спецификой естественных и антропогенных источников и стоков парниковых газов (углекислого газа, метана, окиси углерода, водяного пара и других), с одной стороны, и спецификой аэрозолеобразования и облачного покрова в регионе – с другой. Если увеличение общего содержания парниковых газов в атмосфере изменяет радиационный баланс преимущественно в сторону потепления, то увеличивающийся при этом облачный покров изменяет его в сторону похолодания. Сложность обоих процессов и их неоднозначная зависимость от радиационного баланса при одновременном влиянии других факторов обуславливает сложность исследования парникового эффекта как в целом для планеты, так и для отдельных регионов.

2. Стратификация земной атмосферы по многим физическим параметрам является и результатом, и одновременно определяющим фактором многих атмосферных процессов и явлений [22]. Имеются относительно устойчивые типы стратификации, к числу которых можно отнести высотный профиль температуры, ионизованные слои атмосферы (ионосфера), озонный слой, аэрозольный слой Юнга, электро-статический слой и другие. Региональные особенности других типов стратификации существуют и являются практически важным объектом фундаментальных исследований. Но в земной атмосфере постоянно появляются, исчезают и вновь образуются неустойчивые атмосферные слои типа температурных инверсий, струйных течений и т.п. Такие типы стратификаций в атмосфере имеют особую практическую значимость. Так, инверсионные слои сдерживают вынос аэрозольных загрязнителей в верхние слои атмосферы, что часто приводит к их накоплению в нижних слоях до опасных концентраций. Неустойчивые атмосферные слои обычно имеют масштабы регионов или меньше. Только комплексный региональный мониторинг может служить экспериментальной основой для установления закономерностей по частоте появления и мощности таких слоев.

3. Циркуляция атмосферы и трансграничные переносы воздушных масс являются в настоящее время основным и слабоизученным звеном в моделях общей циркуляции атмосферы, играющих определяющую роль при описании глобальных и региональных изменений окружающей природной среды и климата [23]. Кроме того, трансрегиональные и трансграничные переносы воздушных масс оказываются стратегически важными при планировании социально-экономического развития на региональном и государственном уровнях с точки зрения охраны окружающей среды. Во всех случаях для решения научных, социально-экономических и даже социально-политических задач необходимы обоснованные расчетные модели, наполненные и подтвержденные фактическим материалом по основным параметрам атмосферы. Региональный климато-экологический мониторинг обеспечивает исходный фактический материал и, следовательно, создает основу для успешных фундаментальных исследований атмосферных процессов, связанных с циркуляцией атмосферы и трансрегиональными переносами воздушных масс.

4. Взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью относится к числу важных атмосферных процессов, определяющих и радиационный режим (за счет альbedo и уходящего теплового излучения), и стратификацию атмосферы (за счет турбулентных движений), и физико-химический состав тропосферного аэрозоля (за счет эрозии почвогрунтов), и газовый состав атмосферы по климатически и экологически значимым компонентам. Все перечисленные факторы имеют региональные особенности, но их исследования представляют интерес для изучения закономерностей климато-экологических изменений не только в региональном, но и в глобальном масштабе. При исследованиях в

рамках программы КЭМС не могут быть упущены, например, вопросы генерации метана сибирскими болотами, сезонные колебания альbedo подстилающей поверхности в Сибири при таянии снега и крупномасштабных вырубках леса и другие.

5. **Баланс и трансграничный перенос атмосферных загрязнений**, включающих аэрозольные, газовые, радиоактивные и электромагнитные загрязнения атмосферного воздуха, являются самостоятельным и актуальным предметом фундаментальных экологических исследований. Если основные направления исследований в рамках программы КЭМС ставят цель получить временной срез, то оценка баланса и исследования трансграничного переноса атмосферных загрязнений требует подобных усилий в пространственном срезе. Решение этой задачи по методам и средствам выходит за рамки программы КЭМС, но не может быть получено без привлечения КЭМС-сети. Учитывая значимость этой задачи для разрешения межрегиональных и международных экологических претензий, программой КЭМС эта задача также выделяется как приоритетная.

6. **Методологические основы климато-экологического мониторинга** как комплексного мониторинга воздушного бассейна региона можно считать самостоятельным направлением фундаментальных исследований. К этому направлению относятся оптимизация технологии и состава технических средств мониторинга, научно обоснованное территориальное размещение базовых и фоновых полигонов, обоснованный выбор и оптимизация приоритетных объектов мониторинга для решения поставленных научно-практических задач, разработка критериев и допустимых погрешностей по экспертным выводам и оценкам эффективности мониторинга. Особое значение этого направления фундаментальных исследований связано с тем, что мировая сеть центров комплексного климато-экологического мониторинга в настоящее время только разворачивается и своевременная разработка их методологических основ позволит исключить непроизводительные затраты как материальные и интеллектуальные, так и социально-психологические.

Заключение

Программа климато-экологического мониторинга Сибири в мае 1993 года приобрела статус официально действующей программы на уровне составной части как региональных научно-технических программ ряда сибирских областей, так и государственной научно-технической программы <Сибирь>. В соответствии с изложенной выше концепцией при реализации программы КЭМС предусматривается не только получение непрерывных рядов наблюдений по всем основным параметрам воздушного бассейна Сибири, но и анализ результатов мониторинга для оценки и прогноза климато-экологических изменений, имеющих фундаментальное значение для стратегии социально-экономического развития Сибири. Состоявшееся объединение усилий ведущих академических и вузовских институтов Сибири в рамках программы КЭМС представляется не только важным, но и перспективным научно-практическим событием. Ближайшей задачей организационных усилий при реализации программы КЭМС является объединение усилий научных и инженерных коллективов Сибири для разработки, сертификации и промышленного производства технических средств климато-экологического мониторинга. При всей сложности периода переходной экономики и конверсии решение этой задачи в рамках Сибирского региона облегчается наличием достаточно высокого, а по ряду направлений и уникального научно-технического потенциала.

Обширная и интенсивно осваиваемая территория Сибири представляет собой один из важнейших регионов планеты, который влияет, а по некоторым параметрам воздушного бассейна и определяет глобальные климато-экологические изменения. Поэтому реализация и дальнейшее развитие программы КЭМС не может замыкаться на решении только региональных проблем. Тесная связь, координация и финансирование работ по программе КЭМС в рамках международных программ представляются естественными и необходимыми. На этом пути сделаны только первые шаги.

Так, осуществляются совместные исследования по разделу <Мониторинг атмосферной радиации> программы КЭМС и национальной программы США <ARM>. Ряд разделов программы КЭМС поддерживаются Российской программой <Глобальные изменения природной среды и климата>, представляющей собой составную часть международной программы <Глобальные изменения>. Участие в выполнении международных программ

<Глобальный ветер> и <Глобальный озон> также способствует полезной научной ориентации исполнителей при исследованиях по программе КЭМС. Дальнейшее расширение совместных исследований, а также дальнейшая международная интеграция знаний, опыта и материальных затрат в этом направлении рассматриваются нами как важное и необходимое условие для повышения научно-практической значимости результатов мониторинга по региональным и глобальным климато-экологическим изменениям.

1. Владимиров А. М., Ляхов Ю. И., Матвеев Л. Т., Орлов В. Г. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 423 с.
2. Коптюг В. А. Информационный обзор: Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 года). СО РАН, Новосибирск, 1992. С. 62.
3. Вернов С. Н. // Вестник АН СССР. 1990. №12. С. 41–48.
4. Зуев В. Е., Зуев В. В. Современные проблемы атмосферной оптики. Т. 8. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1991. С. 232.
5. Кондратьев К. Я. Радиационные факторы современных изменений глобального климата. Л.: Гидрометеоздат, 1980. С. 279.
6. Розенберг Г. В., Горчаков Г. И., Георгиевский Ю. С., Любовцева Ю. С. Оптические параметры атмосферного аэрозоля (Физика атмосферы и проблемы климата). М.: Наука, 1980. С. 216–257.
7. Global Change and Terrestrial Ecosystems. The Operational Plan. Global Change, Report №21. Stockholm. 1992. 95 p.
8. Ушаков С. А., Ясаманов И. А. Дрейф материков и климаты Земли. М.: Мысль, 1984. С. 206.
9. Atmospheric Radiation Measurement. Program Plan. Washington. February 1990. 116 p.
10. Климат Томска / Под ред. С. Д. Кошинского, Л. И. Трифоновой, С. А. Швер. Л.: Гидрометеоздат, 1982. С. 176.
11. Кауль Б. В. Антенный комплекс для лазерного зондирования верхних слоев атмосферы. Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. №4. С. 431–437.
12. Донченко В. А., Кабанов М. В., Колесник А. Г. // Известия вузов. Физика. 1991. №12. С. 69–79.
13. Плеханов Г. Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. Томск: Изд-во ТГУ, 1990. С. 188.
14. Крауклис В. Л., Никольский Г. А., Сафронова М. М., Шульц Э. Ю. // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3. №3. С. 227–241.
15. Чалмерс Дж. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеоздат, 1974. С. 316.
16. Баласенян С. Ю. Динамическая геоэлектрика. Новосибирск: Наука. 1990. С. 231.
17. Росс Ю., Князих Ю., Кууск А. и др. Математическое моделирование переноса радиации в растительных средах. Л.: Гидрометеоздат, 1992. С. 198.
18. Брюнеми Б. Е., Намгаладзе А. И. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. С. 528.
19. Альперович Л. С., Вучмейстер Б. А., Гохберг М. Б. и др. // ДАН СССР. 1983. Т. 269. №3. С. 573–578.
20. Гуревич А. В., Цедилина Е. Е. Сверхдальнее распространение коротких радиоволн. М.: Наука, 1979. С. 248.
21. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы / Под ред. Б. Болина, Б. П. Десса, Дж. Ягера, Р. Уоррика/. Л.: Гидрометеоздат, 1989. С. 558.
22. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1976. С. 640.
23. Галин В. Я. Международный проект сравнения и анализа климатических обратных связей в моделях общей циркуляции атмосферы. М., 1991. С. 44. (Отдел вычислительной математики РАН /Препринт №280).

Конструкторско-технологический
институт <Оптика> СО РАН, Томск

Поступила в редакцию
15 ноября 1993 г.

M. V. Kabanov. Climatological and Ecological Monitoring of Siberia (CEMS) Program of Physical Studies on Local, Regional, and Global Scales.

This paper presents a discussion of a methodological basis and problems to be included into the program of physical studies of the atmosphere over Siberia. It is shown that siberian region is of particular importance, as concerning global change of the environment, and therefore it is necessary to arrange a complex monitoring of longterm climatic and ecological changes in order to provide stable development of Siberia.

The basic atmospheric objects and processes to be monitored under the discussed program are the meteorological state and dynamics of the atmosphere, atmospheric gases and aerosol, radiation fluxes in the optical and radio waves regions, atmospheric electricity and radioactivity, physical state of the upper atmosphere and underlying surface, as well as astrophysical and geophysical factors, and medical and biological consequences of the climatic and ecological changes.

Fulfilment of such a program should be based on creation of a network for climate and ecological monitoring on the regional scale, as well as on the regional geoinformation system and metrological center for certifying technical means of ecological and meteorological monitoring.