

Н.П. Солдаткин, А.А. Тихомиров

Приборное обеспечение климато-экологического мониторинга

Институт оптического мониторинга, г. Томск

Поступила в редакцию 12.11.2001 г.

Приведены краткие сведения и технические характеристики приборов, устройств, систем и комплексов, которые создавались в ИОМ СО РАН в течение 30 лет для исследования оптико-метеорологических параметров атмосферы и могут быть использованы в задачах экологического и метеорологического мониторинга окружающей среды. Рассмотрены проблемы, связанные с метрологическим обеспечением создаваемых приборов и методик выполнения измерений.

Введение

Интенсивное развитие исследований в области физики атмосферы, начавшееся повсеместно в 50-х гг. XX в. и ускорившееся после появления первых лазеров, инициировало разработку новых технических средств для этих целей. Широкомасштабные фундаментальные исследования по атмосферной оптике, выполняемые в ИОА СО АН СССР [1], потребовали создания современной базы оптического приборостроения в Томском академгородке, которая начала развиваться после организации в 1972 г. СКБ НП «Оптика». При этом решаемые в ИОА научно-исследовательские задачи («что наблюдать?» и «как наблюдать?») дополнялись инструментально-техническим аспектом – «чем наблюдать?» [2].

Своевременная организация СКБ НП «Оптика», работавшего под научным руководством ИОА, способствовала решению нескольких проблем. Создаваемые в ИОА макеты и экспериментальные установки, основанные на новых физических принципах, оперативно проверенные на практике как в лабораториях, так и в полевых натурных условиях, составляли основу для разработки опытных образцов новых приборов. Изготовленные опытные образцы приборов, устройств и комплексов затем передавались заказчикам для обеспечения испытаний современных образцов оптико-электронных систем, работающих в атмосфере. Одновременно при создании новых приборов для исследования атмосферы совершенствовались кадры разработчиков и конструкторов в области оптико-электронного приборостроения, развивалась производственная база оптического приборостроения, а также решались задачи метрологической аттестации и сертификации новых приборов и методик выполнения измерений и другие вопросы метрологического обеспечения новых методов исследования атмосферы. Обеспечение фундаментальных исследований новым инструментарием, основанным на эффектах взаимодействия электромагнитных полей оптического диапазона и акустических волн с атмосферой [2, 3], позво-

лило вести исследования по многим направлениям физики атмосферы.

В дальнейшем, в 90-е гг., при трансформации СКБ НП «Оптика» в КТИ «Оптика», а затем в Институт оптического мониторинга конструкторско-технологическая направленность работ по созданию новых приборов и устройств для исследования окружающей среды дополнилась научно-исследовательской составляющей в области регионального мониторинга климато-экологических изменений. При этом разрабатываемые приборы совместно с другим инструментарием стали использоваться для решения задач по научно-методическим и технологическим основам мониторинга и прогнозирования развития атмосферных и экосистемных изменений.

В статье приводятся история развития, краткие описания и технические характеристики оптико-электронных приборов, устройств, систем и комплексов, которые создавались в ИОМ СО РАН в течение 30 лет и могут быть использованы для экологического и метеорологического мониторинга окружающей среды.

1. Разработки 1972–1990 гг.

1.1. Автоматизированные оптико-метеорологические комплексы

Первоначально СКБ НП «Оптика» было организовано «в целях дальнейшего развития работ в области создания комплексов аппаратуры для дистанционного оперативного определения параметров атмосферы, с использованием лазерных источников» [2]. Первый такой комплекс был разработан и изготовлен в течение двух лет и в конце 1973 г. сдан заказчику. В течение 1974–1975 гг. проводились полигонные испытания этого комплекса в районе оз. Балхаш. В состав комплекса входили: лидар для определения профилей прозрачности атмосферы по наклонным трассам, лазерный трассовый измеритель прозрачности на приземной трассе, лазерный измеритель турбулентности,

метеосистема и ЭВМ для автоматизированного управления комплексом и обработки информации [4].

Состав устройств и степень их автоматизации определялись целями и задачами, которые решал комплекс. Проведение измерений, связанных с определением пространственных профилей различных атмосферных параметров, в большинстве случаев требовало включения в его состав лидара. В качестве вспомогательных устройств, обеспечивающих сопутствующие измерения, использовались базисный измеритель коэффициента ослабления излучения на приземной трассе и система измерения метеорологических величин и их градиентов. Для определения турбулентных характеристик атмосферы в состав комплекса включались устройства измерения структурных характеристик показателя преломления атмосферного воздуха, углов прихода оптического излучения, устройства для измерения флуктуаций интенсивности и геометрии пятна лазерного луча. Идеология построения таких комплексов создавалась в ИОА, а непосредственные технические решения, конструкторская разработка, изготовление и приемосдаточные испытания проводились в СКБ.

Оперативное измерение оптических и метеорологических параметров атмосферы требовало применения ЭВМ для обработки данных и управления работой составных частей комплекса. Степень автоматизации процесса измерений и управления автономной работой отдельных устройств определялась задачами комплекса и возможностями вычислительной техники того времени. Для повышения надежности и достоверности определения искомого параметра атмосферы применялось несколько устройств, осуществляющих измерения с использованием различных физических принципов.

В целом, за двадцатилетний период было сконструировано и изготовлено более 15 экспериментальных и опытных образцов автоматизированных комплексов различного состава и разного исполнения (сухопутного и морского) для определения оптико-метеорологических параметров атмосферы (см., например, [4, 5]). Комплексы исполнялись как в мобильном, так и в стационарном вариантах и предназначались для оперативной оценки состояния оптической погоды в местах проведения полигонных испытаний новых оптико-электронных систем, работающих в атмосфере.

1.2. Лидары

Основное преимущество лидара как измерительного средства в обеспечении эколого-климатического мониторинга атмосферы заключается в возможностях дистанционного измерения профилей аэрозольных и газовых компонентов атмосферы вдоль трассы распространения лазерного луча и в оперативном наблюдении динамики их изменения (рис. 1). В период 1972–1991 гг. было создано более 10 различных модификаций наземных мобильных и стационарных лидаров или их приемопередающих устройств, которые использовали различные эффекты взаимодействия лазерного излучения с компонентами атмосферы. Среди них аэро-

зольные лидары серии «ЛОЗА», предназначенные для решения научно-исследовательских задач [6], а также приемная система Сибирской лидарной станции ИОА. Были разработаны и изготовлены три модификации самолетных поляризационных лидаров

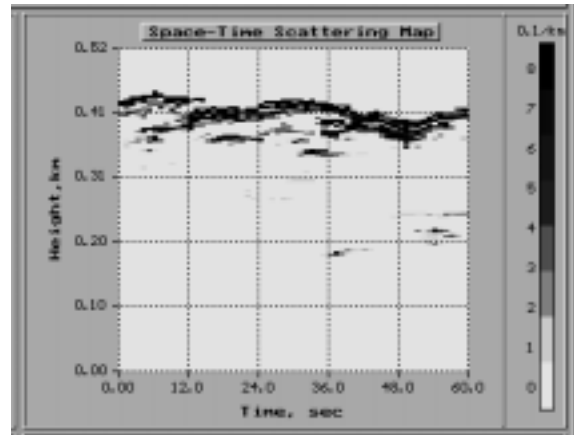


Рис. 1. Лидарные наблюдения за динамикой изменения слоистой облачности в течение 1 мин. По оси абсцисс отложено текущее время, по оси ординат – наклонная дальность; шкала почернений пропорциональна коэффициенту ослабления, км^{-1}

(«Светозар-3», «Макрель-2», «Макрель-2М») и космический лидар «БАЛКАН». Некоторые наиболее удачные конструкции приемопередающих устройств наземных и самолетных лидаров были тиражированы [2, 7].

1.3. Другие оптико-метеорологические приборы

Трассовые (базисные) измерители прозрачности атмосферы

Для оптико-метеорологических комплексов было разработано несколько модификаций лазерных измерителей прозрачности атмосферы. Среди них следует отметить *двухволновое устройство для измерения горизонтальной прозрачности* на длинах волн 0,63 и 10,6 мкм [8]. Его приемопередающая часть представляла собой единый блок, а на конце трассы устанавливался плоский зеркальный отражатель. Поперечные размеры апертуры приемной системы позволяли осуществлять полный перехват лазерного излучения на трассе длиной $2L = 2,0$ км. Устройство обеспечивало измерение коэффициента ослабления в диапазоне $\alpha = 0,025 \dots 1,3 \text{ км}^{-1}$ с погрешностью, уменьшающейся в этом диапазоне от 10 до 0,5%. Применение клиновых компенсаторов в передающем канале устройства позволяло автоматически компенсировать изменения углов прихода за счет рефракции в пределах 1,5 угл. мин. Конструкция допускала эксплуатацию устройства в полевых условиях при отрицательных температурах. Выпущенный малой серией измеритель использовался в составе нескольких комплексов.

Многоволновый измеритель прозрачности атмосферы МИП-1 [9]. Для исследования спектральной

функции пропускания атмосферы в области от 0,44 до 1,62 мкм был создан опытный образец базисного измерителя с использованием газоразрядной лампы ДКСШ-150 в качестве источника излучения и германиевого фотодиода ФД-7Г в качестве приемника. Сменные интерференционные фильтры обеспечивали измерение прозрачности в 8 узких спектральных диапазонах: 0,440 (8); 0,487 (8); 0,551 (8); 0,693 (8); 0,870 (15); 1,060 (15); 1,221 (16); 1,620 (20) мкм (в скобках указана полуширина фильтра, нм). Прибор имел отдельные источник и приемник излучения. Его энергетический потенциал обеспечивал проведение измерений на трассах длиной до 4 км.

Малогобаритный импульсный измеритель прозрачности ИИП-10 на основе светоизлучающего диода ($\lambda = 0,67$ мкм) и фотодиода был разработан и выпущен малой серией [10]. Его измерительная база не превышала 10 м, в качестве выносного отражателя применен набор угольных призм. Диапазон измерения прозрачности $T = 0,6...0,99$. Прибор использовался как в научных исследованиях, так и для контроля запыленности в производственных помещениях.

Измеритель капель дождя ИКДАН. Прибор предназначен для измерения размеров и скорости падения капель дождя [11]. В основу его работы заложен принцип теневого спектрометра Нолленберга, при котором считывание изображения по горизонтальной осциллограмме осуществляется сканированием линейки фотоприемников, а вертикальное сканирование – за счет собственного движения частицы. Основные характеристики опытного образца при измерении параметров капель: диапазон диаметров $D_k = 0,25-9$ мм; верхний предел скорости падения от 4 (при $D_k = 0,25$ мм) до 144 см/с (при $D_k = 9$ мм); абсолютная погрешность определения диаметра – не более 0,1 мм; средняя относительная погрешность измерения скорости не более 10%.

Был также разработан экспериментальный образец измерителя снежных осадков со следующими характеристиками: диапазон размеров 0,1–3,2 мм с шагом 0,1 мм или 0,2–6,4 мм с шагом 0,2 мм; диапазон измерения скорости 20–128 мм/с с шагом 4 см/с или 20–256 см/с с шагом 8 см/с.

Измеритель метеорологической дальности видимости ИКОС-2. В отличие от других приборов для измерения метеорологической дальности видимости (МДВ), применяемых в метеорологической сети наблюдений и основанных на базовом или нефелометрическом методе измерений, созданный опытный образец прибора основан на наблюдении за явлением кажущегося размывания линии видимого горизонта вплоть до ее полного исчезновения при увеличении замутнения атмосферы. Таким образом, в приборе был реализован метод пассивного зондирования, что позволило использовать его в морских условиях, когда техническая реализация других методов затруднена [12]. Рабочий диапазон измерения МДВ – от 4 до 50 км с относительной погрешностью измерений не более 20% в середине рабочего диапазона.

2. Разработки последнего десятилетия

Опыт, накопленный в процессе создания вышеупомянутых комплексов и их составных частей, позволил достаточно оперативно перестроиться на разработку приборов и устройств для экологического и метеорологического мониторинга атмосферы. Среди них мобильные лаборатории экологического мониторинга атмосферы, отдельные метеорологические приборы и газоанализаторы для контроля загрязнения атмосферного воздуха и контроля промышленных выбросов [13].

2.1. Мобильные лаборатории для экологического мониторинга окружающей среды

Станция «Экотехнология». В начале 90-х гг. в кооперации трех организаций: ИОМ, ИОА и НПП «Экотехнология», была создана передвижная лаборатория для контроля газовых и аэрозольных загрязнений атмосферы. Комплекс аппаратуры размещался в салоне автомобиля ГАЗ-66, снабженного системами микроклимата и энергообеспечения. В состав лаборатории входили хроматограф для анализа газовых загрязнений воздуха (SO_2 , NO , NH_3 и некоторые органические соединения); аэрозолемер АЗ-5 для определения счетной концентрации аэрозоля и его дисперсного состава; система для измерения основных метеорологических параметров и измеритель радиационного фона. Кроме того, станция была укомплектована устройством для отбора проб воздуха в различных зонах промпредприятий для их последующего анализа в стационарной лаборатории. В отобранных пробах определялась массовая концентрация аэрозоля, его химический состав по 43 ионам и элементам, газовый состав более 100 ингредиентов. Для архивации результатов измерений в состав станции была включена ЭВМ. С помощью данной мобильной станции было проведено обследование аэрозольных и газовых загрязнений в городах Павлодар, Нижний Тагил, Хабаровск, Усть-Каменогорск.

Автоматизированная станция «Эколид». В 1993 г. было завершено создание мобильной лаборатории «Эколид», которая размещалась в термостабилизированном КУНГе автомобиля ЗИЛ-131. Лаборатория была изготовлена по заказу Восточно-Казахстанского управления экологии и биоресурсов (г. Усть-Каменогорск). Она предназначалась для оперативного обнаружения и измерения концентрации техногенных газовых (SO_2 , NO , NO_2 , паров ртути, CH_4 и углеводородов C_xH_y) и аэрозольных примесей в атмосферном воздухе населенных пунктов и промышленных зон, картирования состояния воздушного бассейна в масштабах крупного города и формирования краткосрочного прогноза развития и переноса опасных газовых и аэрозольных выбросов [14]. Все измерительные приборы станции были изготовлены в ИОМ СО РАН, часть из них – совместно с ВНИИ аналитического

приборостроения (г. Киев). Газоанализаторы, входящие в состав станции, прошли метрологическую аттестацию в НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и имели соответствующие сертификаты. В состав станции также входили ЭВМ, система пробозабора и пробоподготовки анализируемого атмосферного воздуха. Управление работой станции в режиме измерений и сбор информации с газоанализаторов и других измерительных приборов осуществлял компьютер совместно с интерфейсным блоком по заданному алгоритму. Результаты измерений заносились в базу данных для формирования карты загрязнений и прогноза переноса опасных газовых и аэрозольных выбросов (рис. 2).

и/или телефонной линии связи; 2) бортовая метеостанция, размещаемая на наземных и водных транспортных средствах; 3) автономная переносная метеостанция в ранцевом исполнении.

Лазерный денситометр для измерения массовой концентрации пыли. В нем используется явление ослабления лазерного излучения на аэрозолях в локальном объеме с применением двухлучевой схемы измерений и многоходовой кюветы [16]. При длине кюветы 0,5 м обеспечивается набор трассы до 100 м, что в значительной степени повышает чувствительность прибора. Опытный образец прошел метрологическую аттестацию в НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». Параметры анализируемой пыли: средний радиус

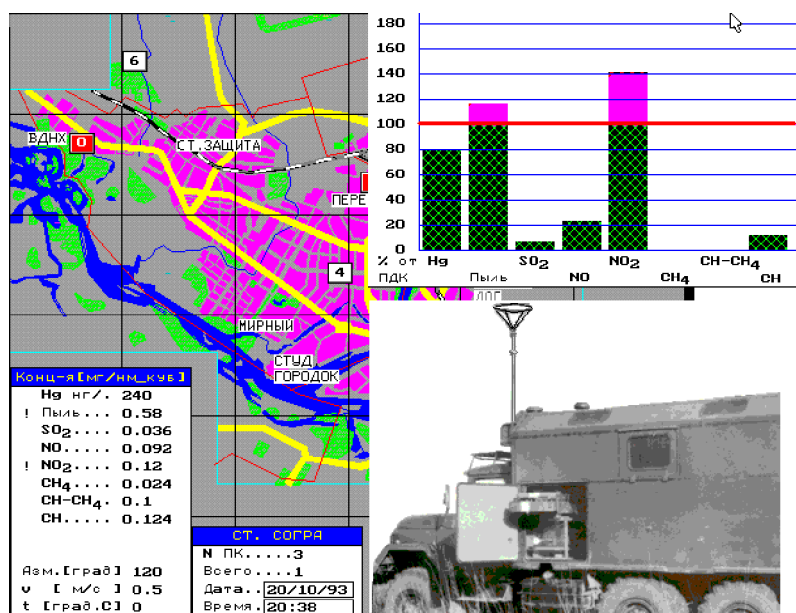


Рис. 2. Станция «Эколид» в развернутом для измерений состоянии. На карте г. Усть-Каменогорска отмечены точки, где проводились замеры. Таблицы слева представляют документированные результаты одного из измерений. Диаграммы вверху показывают превышение отдельных загрязняющих компонентов над уровнем ПДК

2.2. Эколого-метеорологические приборы

Автоматизированный метеокомплекс АМК-01 создан на основе предыдущих разработок Института по акустическим измерителям температуры и трехкомпонентного вектора скорости ветра [2, 15]. Он обеспечивает измерение основных метеопараметров (температура, давление, влажность, скорость и направление ветра) в интервале температур от -50 до $+50$ °С с частотой опроса до 100 Гц, что позволяет определять турбулентные характеристики атмосферы в месте расположения комплекса. По своим характеристикам комплекс не уступает аналогичным зарубежным образцам и при отсутствии в настоящее время новых измерительных средств на постах сети Росгидромета может быть использован как импортнозамещающий прибор. Комплекс изготавливается в следующих вариантах: 1) стационарная станция автоматизированного контроля метеопараметров с передачей первичных данных измерений на удаленный компьютер по кабелю

частиц ($1,2 \pm 0,1$) мкм, плотность $2,16$ г/см³. При числе проходов в кювете, равном 64, диапазон измерения концентрации пыли соответствует $3+18$ мг/м³ при 25%-й основной относительной погрешности измерений. Прибор вошел в состав передвижной автоматизированной станции «Эколид».

Оптический измеритель влажности. Отсутствие на постах сети Росгидромета современных приборов для измерения абсолютной и относительной влажности стимулировало разработку нетрадиционных датчиков. В Институте создан экспериментальный образец оптического гигрометра, который не имеет зарубежных аналогов [2, 15]. В приборе используется дифференциальная методика поглощения излучения двух светодиодов в ближнем ИК-диапазоне. Анализируемый воздух прокачивается через оптическую кювету, в которой проходит излучение светодиодов на длинах волн 0,94 нм (в полосе поглощения H₂O) и 0,86 нм (вне полосы поглощения). Разностные сигналы с фотодетекторов, регистрирующих излучения

на двух опорных и двух прошедших через кювету длинах волн, после оцифровки используются для вычисления искомого параметра.

Стандартные метеорологические приборы. По заказам Западно-Сибирского УГМС Росгидромета Институт выполняет также работы по изготовлению различного сервисного оборудования. В течение 1998–2000 гг. были изготовлены и переданы в эксплуатацию 20 штук гидрологических лебедек, 50 флюгеров Вильде (на оба изделия получены свидетельства на полезную модель) и другие комплектующие для гидрометеорологических служб.

2.3. Приборы для контроля загрязнений атмосферного воздуха

Наличие в атмосфере различных газовых загрязнений существенно влияет на экологическую обстановку в промышленных центрах. В Институте продолжаются работы по модернизации ранее разработанных приборов для контроля концентрации тяжелых металлов в окружающей среде, а также разрабатываются новые приборы для контроля концентрации техногенных газов в дымовых выбросах.

Портативный ртутный газоанализатор РГА-11М. В течение 90-х гг. разработаны и сертифицированы методики измерения содержания ртути в атмосферном воздухе, воде, почве и биопродуктах с помощью созданного ртутного газоанализатора РГА-11, который был внесен в государственный реестр средств измерений [17]. В дальнейшем была проведена доработка его конструкции. При сохранении оптической схемы были уменьшены габариты и в значительной степени снижен вес прибора (до 5 кг). В системе регистрации сигналов аналоговая обработка заменена на цифровую. При этом диапазон измерений концентрации паров ртути в воздухе ($30 \div 10^4$ нг/м³) и чувствительность прибора остались на прежнем уровне. Получен патент на промышленный образец РГА-11М (рис. 3).

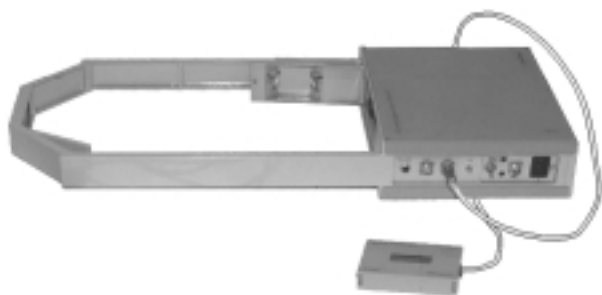


Рис. 3. Внешний вид модифицированного газоанализатора РГА-11М с выносным индикатором

Газоанализаторы серии «ДОГ». В последние годы в Институте разрабатываются газоанализаторы для измерения концентрации основных техногенных газов (SO₂, NO, CO), присутствующих в дымовых выбросах топливосжигающих установок. Измерение производится путем непрерывной прокачки части

отводимого из дымохода газового потока через измерительную кювету прибора, работающего по методу дифференциального поглощения в ультрафиолетовой области спектра [18]. Газоанализатор «ДОГ-1» для определения концентрации NO прошел аттестацию в НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и занесен в реестр средств измерений Госстандарта России. Серия приборов «ДОГ-1» в количестве 60 экземпляров установлена на всех крупных газовых ТЭС «Тюмень-энерго». Подготовлен к серийному выпуску газоанализатор «ДОГ-3» для одновременного контроля концентрации NO и SO₂ в дымовых выбросах котлов, работающих на любых видах органического топлива. Приборы являются импортнозамещающими аналогами газоанализаторов зарубежных фирм.

3. Метрологическое обеспечение технических средств и мониторинга

Создаваемые в Институте средства измерений разрабатывались с учетом требований основополагающих государственных стандартов в области метрологии и метрологического обеспечения, которые вводились в действие в основном в 80-х гг. В течение последнего десятилетия организационно-технические вопросы в области метрологии претерпели изменения в связи с принятием в 1993 г. Закона РФ «Об обеспечении единства измерений». Вместе с тем государственный метрологический контроль и надзор сохранились в таких областях, как здравоохранение, охрана окружающей среды и ряде других. Поэтому при создании систем экологического мониторинга необходимо следовать требованиям соответствующих нормативных документов.

Разработка новых приборов и систем требует учета трех основных блоков мониторинга: измерений, оценки и прогноза [19]. В свою очередь, блок измерений характеризуется также тремя аспектами: методами измерений, методиками и средствами измерений. Они в совокупности должны обеспечивать оперативный контроль состояния и динамики природных и антропогенных систем или их составляющих, а также контроль интенсивности экологических факторов. Таким образом, метрологическое обеспечение измерений, выполняемых при проведении климато-экологического мониторинга, представляет собой совокупность научных основ, организационных мероприятий, технических средств и правил, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Метрологические требования к методикам установлены ГОСТ Р 8.563-96 «ГСИ. Методики выполнения измерений». Эти методики аттестуются теми же органами, которые проводят испытания средств измерений. Перечень действующих в России методик контроля параметров окружающей среды, которые регламентированы ГОСТ, нормативными документами Госкомэкологии РФ, руководящими документами Роскомгидромета и Роскомвод, методическими указаниями Госкомсанэпиднадзора, а также документами других

ведомств, приведен в [19]. Так, например, только по контролю физико-химических параметров атмосферного воздуха в 1998 г. имелось более 180 методик, для контроля параметров атмосферных аэрозолей и атмосферных осадков – более 30, а промышленных выбросов – 40.

В силу вышеизложенного процесс создания современных средств измерений, основанных на использовании новых физических явлений, и методик выполнения измерений, занимает достаточно длительный временной интервал. Значительную долю в нем составляют работы, связанные с проведением сравнительных и определительных испытаний с использованием вторичных и рабочих эталонов измеряемых величин, стандартных образцов состава или свойств веществ, для подтверждения заданных показателей назначения. Проведение всего цикла работ связано с созданием необходимой материальной технической базы.

Технические средства, входящие в любую систему экологического мониторинга, должны обеспечивать свою работоспособность в широком диапазоне внешних воздействий. Для подтверждения показателей назначения созданные приборы должны подвергаться испытаниям не только в нормальных климатических условиях, но и во всех условиях их эксплуатации. В связи с этим в Институте была создана Контрольно-испытательная станция (КИС), которая обеспечивает проведение испытаний создаваемых приборов при различных климатических и механических воздействиях, определяемых нормативными документами. В ее составе: ряд термокамер (диапазон температур от -70 до $+100$ °С), камера влаги (влажность от 10 до 100% в диапазоне температур от 10 до 60 °С), термобарокамера (давление от 1 до 770 мм рт. ст.), ударный стенд (многократные удары с ускорением до 150 g), вибростенд (воздействие синусоидальной вибрации с ускорением до 40 g в диапазоне частот от 20 до 2500 Гц) и стенд для проверки электрической прочности и сопротивления изоляции по цепям питания.

Существующий в ИОМ с середины 90-х гг. Геофизический стационар с рядом стандартных измерительных средств [20] облегчает в настоящее время проведение некоторых видов сравнительных испытаний новых приборов, предназначенных для климато-экологического мониторинга. На этом стационаре целесообразно также проводить отработку методик выполнения измерений с помощью вновь создаваемых приборов. Последующее использование новых сертифицированных приборов и методик измерений на постах Геофизического стационара приведет к увеличению его приборно-методического потенциала и расширит функции испытательного полигона.

Заключение

Созданные в ИОМ СО РАН технические средства, устройства и комплексы [2] расширили в значительной степени приборную базу ИОА СО РАН и способствовали в течение 25 лет развитию в нем научных исследований в области атмосферной оптики.

Отдельные экземпляры изготовленных приборов использовались в ИОМ для проведения сравнительных испытаний со стандартными измерительными средствами. Такие испытания проводились в натуральных условиях на полигонах заказчика либо на Базовом экспериментальном комплексе Института, что позволяло дорабатывать и совершенствовать создаваемые приборы в процессе их опытной эксплуатации. Впоследствии часть из этих приборов вошла в состав Геофизического стационара ИОМ СО РАН [20].

Вновь создаваемые приборы и устройства для проведения экологического и метеорологического мониторинга атмосферы выполняются либо по программам НИР Сибирского отделения РАН (для обеспечения регионального экологического мониторинга), либо по заказам предприятий (для контроля промышленных выбросов или контроля загрязнений атмосферного воздуха).

1. Зуев В.Е., Кабанов М.В. 30 лет Институту оптического мониторинга. Основные этапы формирования и развития научного направления // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15. № 1. С. 5–11.
2. Кабанов М.В., Тихомиров А.А. Конструкторско-технологическое обеспечение фундаментальных исследований по атмосферной оптике: итоги деятельности КТИ «Оптика» за 25 лет // Оптика атмосфер. и океана. 1997. Т. 10. № 4–5. С. 382–402.
3. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 2. Новые приборы и методики измерений / Под общей ред. М.В. Кабанова. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. 295 с.
4. Ваулин П.П., Кутелев А.Ф., Тихомиров А.А., Шапиро И.Я. Комплексы аппаратуры для исследования параметров атмосферы: Тезисы докл. // V Всесоюзный симпозиум по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Ч. IV. Томск: ИОА СО АН СССР, 1978. С. 8–15.
5. Аршинов Ю.Ф., Балин Ю.С., Даничкин С.А., Зуев В.Е., Кутелев А.Ф., Самохвалов И.В., Тихомиров А.А. Наземные стационарные и мобильные комплексы аппаратуры дистанционного зондирования атмосферы: Доклады // Болгарско-советский семинар «Лазерные методы и средства измерения и контроля параметров окружающей среды». София: Изд. Института электроники БАН, 1985. С. 83–88.
6. Балин Ю.С., Тихомиров А.А. Аэрозольные мобильные лидары серии «ЛЮЗА» // Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 2. Новые приборы и методики измерений. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. С. 16–34.
7. Красненко Н.П., Тихомиров А.А. Технические средства и технологии дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15. № 1. С. 51–61.
8. Ивакин Ю.А., Шапиро И.Я., Яцкеев Ю.Ф. Исследование предельных возможностей двухволнового измерителя горизонтальной прозрачности атмосферы // Прогноз и контроль оптико-метеорологического состояния атмосферы. Томск: ТФ СО АН СССР, 1982. С. 54–60.
9. Вакуров Г.Ф., Волков А.Н., Сакерин С.М. Автоматизированный цифровой измеритель прозрачности атмосферы на нескольких длинах волн оптического спектра // Ж. прикл. спектроскопии. Т. 39. № 3. С. 503–507.
10. Вагин Н.И., Ваулин П.П., Денчик Б.Н., Цык Р.Ш. Малогабаритный импульсный измеритель прозрачности // Оптика атмосфер. 1988. Т. 1. № 6. С. 90–97.

11. *Солдаткин Н.П.* Оптические приборы и методы контроля микрофизических параметров атмосферных осадков // Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 2. Новые приборы и методики измерений. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. С. 217–232.
12. *Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Солдаткин Н.П.* Корабельный измеритель метеорологической дальности видимости // Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 2. Новые приборы и методики измерений. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. С. 243–253.
13. *Безопасность России.* Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Экологическая диагностика: Энциклопедия / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2000. 496 с.
14. *Барышиков В.Ф., Земляновский Л.Д., Ивакин Ю.А., Перовский В.Л., Телеганов А.А., Тихомиров А.А., Черепанов Л.П., Шапиро И.Я.* Автоматизированная мобильная станция диагностики промышленного загрязнения атмосферы «Эколид» // Оптика атмосфер. и океана. 1994. Т. 7. № 2. С. 177–181.
15. *Азбукин А.А., Бурков В.В., Корольков В.А.* Автоматизированный метеокомплекс нового поколения // Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 2. Новые приборы и методики измерений. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. С. 208–217.
16. *Колобов В.И., Левченко А.Н., Телеганов А.А., Тихомиров А.А., Шапиро И.Я., Черепанов Л.П., Яцкев Ю.Ф.* Лазерный денситометр для измерения массовой концентрации пыли // Оптика атмосфер. и океана. 1994. Т. 7. № 11–12. С. 1619–1623.
17. *Антипов А.Б., Генина Е.Ю., Кашкан Г.В., Мельников Н.Г.* Ртутный мониторинг // Оптика атмосфер. и океана. 1994. Т. 7. № 11–12. С. 1630–1635.
18. *Азбукин А.А., Булдаков М.А., Королев В.А., Корольков В.А., Матросов И.И.* Оптические газоанализаторы серии «ДОГ» // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15. № 1. С. 87–90.
19. *Контроль химических и биологических параметров окружающей среды* / Под ред. Л.К. Исаева. СПб.: Эколого-аналитический информационный центр «Союз», 1998. 896 с.
20. *Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Маричев В.Н.* Геофизический стационар ИОМ СО РАН для мониторинга климато-экологических изменений // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15. № 1. С. 36–43.

N.P. Soldatkin and A.A. Tikhomirov. Instrumental provision for climatic and ecological monitoring.

Specifications of devices, instruments, systems, and complexes that have been developed at IOM SB RAS for 30 years are briefly described. All these facilities are intended for investigation of optical and meteorological characteristics of the atmosphere and can be used in environmental, ecological, and meteorological monitoring as well. The problems concerning metrological provision for the instruments developed and measuring techniques are considered.