

М.В. Кабанов, А.А. Тихомиров

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АТМОСФЕРНОЙ ОПТИКЕ: ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КТИ «ОПТИКА» СО РАН ЗА 25 ЛЕТ

Дана историческая справка 25-летнего периода деятельности Конструкторско-технологического института «Оптика» СО РАН. Представлены краткие описания и технические характеристики основных разработок Института в области атмосферной оптики, которые нашли практическое применение и даже выпускались малыми сериями – лазерные навигационные системы; наземные, самолетные и космические лидары; приборы и системы для экологического и метеорологического мониторинга атмосферы; оптические приборы и детали. Приведено сравнение технических параметров некоторых разработанных приборов и лучших зарубежных аналогов.

Введение

В последние десятилетия атмосферная оптика из традиционного раздела наук о Земле с нарастающим темпом превращается в один из мощных разделов физико-технического направления. Эти новые позиции атмосферно-оптических исследований являются результатом не только успешных фундаментальных исследований, прошедших путь от феноменологических описаний к строгому физико-математическому описанию оптических свойств, процессов и явлений в земной атмосфере [1]. В равной мере эти новые позиции связаны с тем широким практическим использованием оптико-электронных и лазерных систем, при котором взаимодействие оптического излучения с атмосферой приводит к появлению высокоинформативных сигналов при оптическом зондировании атмосферы [2] или к появлению атмосферных оптических помех при переносе оптических сигналов через атмосферу [3].

Проблемы атмосферно-оптических исследований рассмотрены в [4], а также излагаются в обзорных статьях данного выпуска журнала. Они в основном касаются научно-исследовательских основ (что наблюдать?) и методико-технологических вопросов (как наблюдать?). Немаловажным моментом является и приборно-инструментальный аспект (чем наблюдать?). Создаваемые в процессе фундаментальных научных исследований экспериментальные макеты и установки для наблюдения атмосферно-оптических явлений играют двоякую роль: с одной стороны, являются инструментом познания, с другой – прообразом новых приборов производственного назначения.

Инструментальные наблюдения атмосферных явлений ведутся четвертое столетие, и основными измерительными приборами до начала нынешнего века оставались термометр, изобретенный Галилеем, и ртутный барометр Торричелли [5]. В настоящее время приборный парк по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды претерпевает существенное обновление и наиболее перспективным является новый инструментарий, основанный на эффектах взаимодействия с атмосферой электромагнитных полей оптического диапазона, а также акустических волн [4].

Основной задачей Конструкторско-технологического института «Оптика» СО РАН является разработка и создание новых дистанционных и контактных методов, приборов и комплексов как для фундаментальных исследований по атмосферной оптике, так и для метеорологического и экологического мониторинга окружающей среды. Результаты деятельности института в этом направлении за прошедшие 25 лет со дня его организации представлены ниже.

1. Краткая историческая справка

В январе 1997 г. исполнилось 25 лет со дня организации Конструкторско-технологического института «Оптика» СО РАН (КТИ «Оптика»), 20 лет работавшего под названием Специальное конструкторское бюро научного приборостроения «Оптика» (СКБ НП «Оптика»). По инициативе и благодаря большой настойчивости академика Владимира Евсеевича Зуева было подготовлено и выпущено Разрешение Совета Министров РСФСР

№ 8898–070 от 14 июля 1971 г., а затем Постановление Президиума Сибирского отделения АН СССР № 341 от 15 октября 1971 года. В этих документах отмечено, что «в целях дальнейшего развития работ в области создания комплексов аппаратуры для дистанционного оперативного определения параметров атмосферы, с использованием лазерных источников для повышения эффективности и ускорения внедрения в народное хозяйство результатов, получаемых в институтах СО АН СССР и других научных учреждениях АН СССР» организовать в СО АН СССР с 1 января 1972 г. Специальное конструкторское бюро научного приборостроения «Оптика» на хозяйственном расчете под научным руководством Института оптики атмосферы. С 1 марта 1992 г. в соответствии с Постановлением Президиума СО РАН № 60 от 25.02.92 г. СКБ НП «Оптика» было преобразовано в Конструкторско-технологический институт «Оптика» в составе Объединенного института оптики атмосферы СО РАН.

В начальный период становления (1972–1973 гг.) СКБ возглавил Владимир Викторович Дьяков, а в последующие два года – к.ф.-м.н. Борис Алексеевич Савельев. Наряду с формированием кадрового состава и освоением арендованных производственных площадей в этот период разрабатывались и изготовлялись первые научные макеты, а также первый экспериментальный образец комплекса аппаратуры для оперативного измерения параметров атмосферы в полигонных условиях. В числе первых макетов были созданы нефелометры для исследований в камере искусственных туманов и элементы стенов для исследований по лазерной спектроскопии.

С 1975 г. началось проектирование, а затем строительство собственной производственно-технологической базы по оптико-электронному приборостроению на территории Томского академгородка. На формирующийся коллектив Института были возложены задачи не только конструкторско-технологического обеспечения экспериментальной базы преимущественно Института оптики атмосферы СО РАН, но и оказания посильной помощи в строительстве собственных специализированных производственных помещений и в монтаже технологических участков. К руководству Институту в этот период приступил Александр Федорович Кутелев (1976–1992 гг.).

Только к 1989 г. были завершены основные строительно-монтажные работы и одновременно освоена производственно-технологическая база. В Институте с общей численностью 900 человек к этому времени была сформирована разветвленная инфраструктура для проведения опытно-конструкторских работ. Организационная структура Института в 1989 г. включала в свой состав 18 разрабатывающих подразделений (300 чел.), конструкторское отделение (145), цех опытного производства (110), отделы экспериментального макетирования и оптического производства (85), отдел надежности и качества (15), отдел стандартизации (10) и другие отделы и обеспечивающие подразделения Института. Основными направлениями тематических разработок в этот период были: автоматизированные комплексы аппаратуры для исследования влияния атмосферы на распространение лазерного излучения; лидарные системы; лазерные навигационные устройства; приборы и системы экологического мониторинга; системы автоматизации научных исследований, обработки информации и эксперимента, САПРЫ; технология и изделия микроэлектроники; лазеры на парах металлов и эксимерные лазеры; технология роста нелинейных кристаллов; производство оптических приборов и деталей, включая крупногабаритную оптику; технология оптического производственного контроля.

В 1990 г. произошло обвальное сокращение государственных заказов по всем направлениям опытно-конструкторских работ Института. В последующие два года финансирование по госзаказам прекратилось практически полностью и началось массовое увольнение сотрудников. Только несколько разрабатывающих подразделений, получив самостоятельность в более широких рамках, осуществили переход на смежные направления работ, в том числе на разработку и производство товаров широкого спроса.

В сложившихся условиях Сибирским отделением РАН в 1992 г. было принято поддерживающее решение о преобразовании СКБ НП «Оптика» в КТИ «Оптика» с небольшим бюджетным финансированием НИОКР. Практически одновременно руководителем КТИ «Оптика» А.Ф. Кутелевым был поставлен вопрос об укреплении дирекции Института путем приглашения нового директора. В ноябре 1992 г. к исполнению обязанностей директора КТИ «Оптика» приступил доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН Михаил Всеволодович Кабанов. Начался новый поисковый период в научно-организационной и научно-производственной деятельности КТИ «Оптика».

Поиск новых форм и содержания в деятельности Института стал неизбежным в новых экономических условиях, повлекших за собой падение объемов промышленного производства и спроса на новые научно-технические разработки. Очевидной реакцией на падение спроса, а соответственно и на сокращение численности Института стала ежегодная адаптация его организационной структуры к складывающемуся кадровому потенциалу. Более сложные проблемы Института возникли в связи с необходимостью самостоятельного выживания, так как перед головным институтом и другими НИИ встали те же проблемы и заказы с их стороны оказались неплатежеспособными. Для решения этих проблем в КТИ «Оптика» потребовалось:

- расширить самостоятельность разрабатывающих подразделений вплоть до открытия для них самостоятельных расчетных счетов в банках;
- организовать малосерийное производство отдельных приборов и технических узлов, имеющих платежеспособный спрос на рынке наукоемких товаров;
- приступить к консервации или демонтажу малоперспективных технологических участков и привлечению малых предприятий к работе на производственно-технологической базе Института.

В настоящее время поисковые работы в этом направлении продолжаются. Для более эффективного использования научно-технического потенциала Института выделены приоритетные направления НИОКР, генеральным из которых является эколого-метеорологическое приборостроение на базе оптико-электронных технологий и на основе более широкого взаимодействия с предприятиями различных форм собственности. С целью эффективного взаимодействия с малыми предприятиями, работающими в научно-технической сфере и использующими производственно-технологическую базу Института, в 1995 г. зарегистрировано Объединение «Техноцентр-Академия». Цель Объединения, в состав которого входят около 20 малых предприятий, а также КТИ «Оптика» и некоторые другие академические институты, состоит в развитии технопарковой зоны Томского академгородка.

2. Основные научно-технические разработки Института

2.1. Оптико-метеорологические комплексы и системы

Автоматизированные оптико-метеорологические комплексы. В 70–80-е годы в КТИ «Оптика» по техническим заданиям ИОА и генеральных заказчиков отраслевых министерств было сконструировано и изготовлено более полутора десятков экспериментальных и опытных образцов автоматизированных комплексов различного состава и разного исполнения (сухопутного и морского) для оперативного определения оптико-метеорологических параметров атмосферы. Комплексы исполнялись как в мобильном, так и в стационарном вариантах и предназначались для оперативной оценки состояния оптической погоды в месте проведения полигонных испытаний новых оптико-электронных систем специального назначения. Один из первоначальных опытных образцов комплекса описан в [6].

Состав устройств, входящих в комплекс, и степень их автоматизации определялись целями и задачами, которые он должен был решать. Проведение измерений, связанных с определением пространственных профилей различных атмосферных параметров, в большинстве случаев требовало включения в состав комплекса лидара. При этом в качестве вспомогательных устройств, проводивших сопутствующие измерения, использовались базисный измеритель коэффициента ослабления излучения на приземной трассе и система измерения метеорологических параметров атмосферы. С целью определения турбулентных характеристик атмосферы в состав комплекса включались устройства для измерения структурных характеристик показателя преломления атмосферного воздуха, углов прихода оптического излучения, устройства для измерения флуктуаций интенсивности и геометрии пятна лазерного луча.

Важной частью автоматизированного комплекса являлось устройство обработки данных и управления работой его составных частей. 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 измерение с использованием различных физических принципов. Краткие характеристики некоторых комплексов представлены также в [7]. Оптико-метеорологические комплексы разрабатывались в отделе, которым руководил П.П. Ваулин.

Лазерные навигационные системы. Наряду с оптико-метеорологическими комплексами, предназначенными для обеспечения испытаний и эксплуатации специальных оптико-

электронных и лазерных систем, в КТИ «Оптика» и ИОА проводилась самостоятельная разработка лазерных систем промышленного назначения. К их числу относятся лазерные навигационные системы для посадки самолетов и проводки судов по каналам и узким местам в сложных метеорологических условиях [8, 9].

За 25-летний период было создано несколько поколений навигационных устройств как визуальных, когда регистратором лазерных створных лучей служит глаз человека (пилота или лоцмана-рулевого), так и инструментальных, где регистратором является фотоприемное устройство. Наибольшее развитие получили разработки по морским и речным навигационным системам. Создано большое количество различных модификаций лазерных навигационных маяков и створов. В КТИ «Оптика» эти работы выполняются в КБ-31, возглавляемом В.В. Татуром.

Последняя разработка КТИ «Оптика» по навигационным системам – опытный образец малогабаритного лазерного створного проблескового двухцветного маяка «Радуга М» [10]. В нем используются лазеры с длиной волны 532 нм (вторая гармоника ИАГ-лазера) и 633 нм (He-Ne-лазер). Маяк формирует в пространстве над каналом (фарватером) три зоны ориентирования: левая зона – проблески красного цвета; центральная (створная) зона – чередование проблесков красного и зеленого цветов; правая зона – проблески зеленого цвета. В соответствии с этим лоцман-рулевой ведет судно по створу, где видны проблески двух цветов. Появление проблесков только одного цвета означает уход с курса в соответствующую сторону.

В этом маяке, в отличие от предыдущих, развертка лазерных лучей в вертикальной плоскости осуществляется с помощью цилиндрических зеркал, что обеспечивает возможность создания угла развертки в пределах от 0,5 до 3°. Зеркала закреплены на осях сканирующих устройств. С помощью последних осуществляется развертка лучей по горизонтали в секторе от 0,1 до 3,5° с погрешностью поддержания горизонтального сканирования лучей на оси створа не более 1 угл. мин. Преимущества развертки лазерного луча в вертикальной плоскости с помощью цилиндрических зеркал состоят в следующем: 1) исключение второго зеркала, обеспечивавшего вертикальную развертку, и, следовательно, уменьшение потерь мощности оптического излучения; 2) исключение второго сканирующего устройства по каждому лучу, что повышает надежность маяка; 3) лучшее распределение плотности мощности лазерного луча в вертикальной плоскости. Габаритные размеры маяка 400×468×1064 мм при массе 52 кг.

Лазерные маяки типа «Радуга» прошли натурные испытания и показали свою высокую эффективность в условиях низкой видимости, при которой обычно используемые маяки становятся невидимыми. Одна из модификаций лазерных маяков под названием «Марс» [9] с автономным источником питания в конце 80-х годов в течение нескольких лет успешно эксплуатировалась на Северном морском пути (в портах Игарка, Дудинка, Провидение). В начале 90-х годов опытная эксплуатация лазерного двухцветного маяка осуществлялась также в морских портах Вентспилс и Керчь.

2.2. Лидарные системы

Наземные лидары. Большое внимание в разработках КТИ «Оптика» уделялось созданию лидаров различного назначения и применения, основанных на разных эффектах взаимодействия лазерного излучения с атмосферными компонентами (аэрозоли и газы). В период 70-х годов наибольшее развитие получили аэрозольные лидары, основанные на эффектах рассеяния лазерного излучения на аэрозольном компоненте атмосферы, который имеет самое большое значение поперечного сечения рассеяния и, соответственно, дает наибольшую величину обратнорассеянного сигнала. Эти лидары применяются для определения пространственно-временных вариаций аэрозоля в приземной атмосфере, характеристик облаков и туманов. Их модификации позволяют также измерять поляризационные характеристики атмосферных рассеивателей [11].

Разработанные и изготовленные для научных исследований аэрозольные лидары типа «ЛОЗА» достаточно подробно описаны в литературе [11–15]. По своим параметрам и эксплуатационным характеристикам лидары серии «ЛОЗА» не уступали научно-исследовательским лидарам серии MARK Стенфордского научно-исследовательского института (США), лидарам, созданным в исследовательских центрах DFVLR (ФРГ), CNR-IROE (Италия) и в некоторых институтах Японии, а также лидарам, выпущенным малой серией в конце 70-х годов фирмой Impuls Physics GmbH (ФРГ).

По разработанной конструкторской документации на приемопередатчик лидара «ЛОЗА-2» была изготовлена малая серия из 5 комплектов, которые в 1975–1976 гг. были поставлены в Институт электроники Болгарской Академии наук, ВНИИ пожарной охраны, Кемеровский госуниверситет, НПО «Зенит» МЭП СССР. Приемопередатчик лидара «ЛОЗА-3», аналогичный своему предшественнику, был смонтирован в кабине радиолокационной станции СОН-9 на электромеханическом приводе вместо параболической антенны. Детальное описание этого лидара приведено в [11].

Модернизированный и усовершенствованный в ИОА лидарный комплекс «ЛОЗА» [15] до настоящего времени обеспечивает проведение дистанционных измерений в атмосфере по различным научно-исследовательским программам.

Кроме научно-исследовательских лидаров серии «ЛОЗА» в этот же период было создано несколько модификаций специализированных аэрозольных лидаров, входящих в состав автоматизированных оптико-метеорологических комплексов [16–18]. Требования к условиям эксплуатации этих лидаров определялись соответствующими ГОСТами и другими нормативными документами. Все перечисленные выше лидары разрабатывались в лаборатории, возглавляемой к.т.н. А.А. Тихомировым.

Конструкторская документация на лидары «ЛОЗА-2» и «ЛОЗА-3» в конце 70-х годов была передана в НПО «Зенит» МЭП СССР, где на ее базе с использованием научно-методологических основ по зондированию атмосферы, разработанных в ИОА, были созданы и выпущены малой серией аэрозольные лидары «Электроника-01», «Электроника-03» [19], а затем универсальный малогабаритный лидар «Электроника-06» для измерения профиля коэффициента ослабления, прозрачности атмосферы и наклонной дальности видимости в аэропортах [20].

В 80-х годах специалисты Института принимали участие в проектировании и изготовлении приемопередающего устройства высотного лидара (диаметр зеркала 1,0 м) [21], включая расчет параметров, изготовление и напыление самого зеркала, и приемной системы Сибирской лидарной станции (диаметр приемного зеркала 2,2 м) [22].

Наиболее значительной и завершенной разработкой Института по лидарным системам в начале 90-х годов было проектирование и изготовление приемной системы метеорологического лидара [23]. Для реализации корреляционной методики измерения скорости ветра по трем направлениям зондирования, отклоненным друг от друга на $6,5^\circ$, приемная система лидара при общем широком угле поля зрения $6,5^\circ$ осуществляла прием обратнорассеянного излучения в мгновенном узком угле поля зрения, составляющем несколько угловых минут, в направлении лазерного луча, что обеспечивало увеличение отношения сигнал-шум при работе в дневных условиях.

Самолетные лидары. Лидарные системы, размещенные на мобильных носителях, позволяют проводить дистанционное зондирование окружающей среды на обширных территориях, а также исследовать локальные образования в атмосфере и гидросфере с близких расстояний. Наиболее привлекательным является размещение лидара на самолете, имеющем точное навигационное оборудование и метеоприборы, которые обеспечивают проведение сопутствующих измерений. Достаточно полный обзор самолетных лидаров, созданных в различных странах до середины 80-х годов и предназначенных для зондирования атмосферы и земных покровов, приведен в [24].

В КТИ «Оптика» совместно с ИОА в 80-х годах было создано несколько модификаций самолетных лидаров для проведения дистанционного мониторинга атмосферы и гидросферы: многофункциональный лидар «Светозар-3» разработки начала 80-х годов, лидар «Макрель-2» для исследования облачных полей и гидросферы и лидар М2М [25–26]. Краткие сведения об этих лидарах представлены в табл. 1. Как видно из нее, в процессе создания лидаров шло постепенное упрощение их конструкции с одновременным повышением энергетического потенциала лидара.

Универсальный лидар «Светозар-3» (рис. 1) имеет один передатчик и три симметрично расположенные вокруг него идентичные приемные системы [25]. Передатчик может обеспечивать излучение с различной поляризацией. Широкий набор полевых диафрагм позволяет исследовать многократно рассеянное излучение, имеется также возможность устанавливать взаимозаменяемые блоки ФЭУ на 532 и 1064 нм. Кроме того, в конструкции приемников предусмотрены возможность одновременного вращения плоскости анализатора и обоих фотодетекторов в пределах $\pm 90^\circ$ в зависимости от положения плоскости поляризации зондирующего излучения и дополнительная установка четвертьволновой пластинки перед

анализатором в одном из приемников. Многофункциональность лидара обеспечивает следующие режимы измерений: 1) определение параметров Стокса лидарного сигнала на длине волны 532 нм при линейной и круговой поляризации зондирующего излучения; 2) определение степени линейной деполяризации обратнорассеянного излучения на длинах волн 532 и 1064 нм одновременно при линейной поляризации зондирующего излучения; 3) определение степени линейной деполяризации на одной длине волны зондирования при трех различных углах поля зрения одновременно.

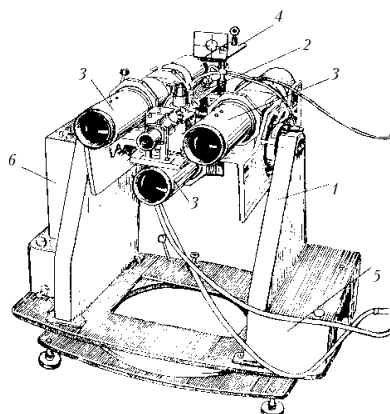


Рис. 1. Приемопередатчик лидара «Светозар-3»: 1 – поворотное устройство; 2 – передатчик; 3 – приемные системы; 4 – диоптрийный визир; 5 – система охлаждения; 6 – блок питания лазера

Т а б л и ц а 1

Технические характеристики самолетных поляризационных лидаров

Параметр	Единица измерения	Наименование (год выпуска)			
		«Светозар-3» (1981)	«Макрель-2» (1987)	М2М(1989)	
Передатчик					
Длина волны излучения	нм	1064	532	532	532
Энергия излучения	мДж	30	10	70	30
Длительность импульса	нс	13	13	13	15
Расходимость излучения	мрад	0,8	0,8	1,5	1,0 ÷ 65,0
Поляризация зондирующего излучения	–	Линейная (горизонтальная или вертикальная)	Линейная (под любым углом) правокруговая левокруговая	Линейная	Линейная
Приемник					
Поляризационный канал		Линзовый объектив (три приемных системы)		Линзовый объектив	Линзовый объектив
Диаметр	мм	100		150	200
Фокусное расстояние	м	0,5		0,5	0,75
Угол поля зрения	мрад	2; 3,16; 5,02; 16,0; 20,0; 31,16		2; 3,16; 5,02; 16,0; 20,0; 31,2	70
Анализатор		Призма Волластона		Призма Волластона	Поляроидный фильтр
Фотодетектор		ФЭУ-83	ФЭУ-84	ФЭУ-144	ФЭУ-84-3
Люминесцентный канал		Нет		Есть	Нет
Угол поля зрения	мрад	–		5,0	–
Центр полосы фильтра	нм	–		680	–
Фотодетектор		–		ФЭУ-83	–
Система регистрации					
АЦП: разрядность		6		7	7
частота	МГц	40		130	130
МикроЭВМ		15BM16		IBM PC	IBM PC
Устройство электромеханического сканирования					
Максим. угол отклонения	град.	Нет		Есть	Нет
Скорость сканирования	об/с	–		1	–

Специализированный лидар «Макрель-2» создан для зондирования облачных полей, подстилающей поверхности и гидросферы с борта самолета. Конструкция приемопередатчика лидара по сравнению с предыдущим упрощена. В передатчике оставлена только линейная поляризация излучения. Для повышения потенциала лидара диаметр приемной системы увеличен в 1,5 раза. Дополнительно к поляризационному каналу введен люминесцентный канал. Используются ФЭУ с лучшей разрешающей способностью. Для увеличения площади зондирования, охватываемой при полете самолета, используется электромеханическое сканирующее устройство, представляющее собой два вращающихся оптических клина, апертура которых охватывает весь приемопередатчик лидара [25]. Лидар «Макрель-2» хорошо зарекомендовал себя как обнаружитель биопродуктивных зон в морской среде, а также для поиска рыбных косяков в условиях полярной ночи. Ввиду достаточной универсальности и малогабаритности лидар «Макрель-2» нашел широкое применение как в научных исследованиях ИОА, так и на поисковых самолетах-рыборазведчиках (два лидара переданы Минрыбхозу СССР). По разработанной конструкторской документации была изготовлена малая серия лидаров (8 штук).

Лидар М2М [26] разрабатывался специально для обеспечения подспутниковых исследований облаков и подстилающей поверхности при работе космического лидара «Балкан» [27], а также для имитации условий его работы. Для этого предусмотрены возможность создания увеличенной расходимости излучения передатчика и большой угол поля зрения приемника, которые обеспечивают такую же геометрию эксперимента при полете самолета на высоте 4,5 км над верхней границей облаков (диаметр лазерного луча на облаке и его охват полем зрения приемника), как и у лидара «Балкан» с высоты 400 км.

Самолетные поляризационные лидары разрабатывались в лаборатории, руководимой к.т.н. А.А. Тихомировым, ведущий разработчик – с.н.с. А.И. Абрамочкин. Следует также отметить, что лидары «Макрель-2» и М2М в настоящее время входят в состав самолета-лаборатории «Оптик-Э» [28] и обеспечивают проведение национальных и международных экспедиций Института оптики атмосферы.

Космический лидар «Балкан». Наиболее выдающимся достижением являются разработка и изготовление лидара космического базирования «Балкан» [27], который был создан в КТИ «Оптика» совместно с ИОА СО РАН и отраслевым НПО Минобщемаша СССР (сейчас РНИИ космического приборостроения Российского космического агентства). Лидар разрабатывался с 1986 г. по техническому заданию НПО «Энергия» с отработкой всех требований нормативных документов для создания космической техники. С этой целью были изготовлены специальный комплект контрольно-поверочной аппаратуры [29], габаритно-массовый и технологический макеты лидара для проведения различных видов испытаний, а также тренажерный макет для обучения космонавтов. Штатный образец лидара был поставлен заказчику в конце 1990 г. для монтажа в третьем орбитальном модуле станции «Мир». В 1991 г. в его составе лидар прошел все комплексные и совместные испытания, после чего модуль был законсервирован на 2,5 года. Запущен в космос лидар на модуле «Спектр» в мае 1995 г., уже после американского лидара, работавшего по программе LITE [30, 31] в 1994 г. Работами по созданию лидара «Балкан» руководили к.ф.-м.н. Ю.С. Балин (1986-1988 гг.), затем к.т.н. А.А. Тихомиров.

С августа 1995 г. лидар «Балкан» действует на орбитальной станции «Мир» как первый стационарный долговременный лидар космического базирования. Летом 1996 г. на станции «Мир» начал работу российско-французский лидар «ALISSA» [32, 33], установленный на модуле «Природа».

В табл. 2 для сравнения представлены основные характеристики трех первых космических лидаров. Как видно из таблицы, лидар «Балкан», уступая по энергетическому потенциалу лидару «LITE» в 150 раз (за счет меньшей энергии излучения, площади приемной антенны и большей высоты орбиты), превосходит лидар «ALISSA», который может работать только на теневой стороне Земли, поскольку регистрирует обратнорассеянное излучение в счетно-фотонном режиме работы фотоумножителя. Кроме того, большое энергопотребление лидара «ALISSA», работающего на теневой стороне, когда не функционируют солнечные батареи станции, существенно ограничивает длительность его сеансов измерений. Следует отметить, что многие результаты, полученные при разработке, изготовлении, наземных и летных испытаниях лидара «Балкан», учитывались при создании лидара «ALISSA», штатный образец которого был установлен в орбитальном модуле «Природа» осенью 1995 г.

К недостаткам лидара «Балкан» следует отнести малую частоту посылок зондирующих импульсов, которая обусловлена естественным воздушным охлаждением активного элемента лазера. Это не позволяет проводить непрерывный контроль облачных полей и подстилающей поверхности Земли, так как расстояние между соседними точками измерений составляет 42,6 км. Тем не менее наш лидар обладает лучшей вертикальной пространственной разрешающей способностью и наименьшими массо-габаритными характеристиками и энергопотреблением, что является немаловажной характеристикой бортовой научной аппаратуры.

Таблица 2

Сравнительные параметры лидаров космического базирования

Параметр	Единица измерения	«ЛИТЕ» [30, 31]			«Балкан» [27]	«ALISSA» [32, 33]
		355	532	1064	532	542
Длина волны зондирования	нм	355	532	1064	532	542
Выходная энергия	мДж	150	460	500	150	40 (4 лазера)
Длительность импульса излучения	нс	31	27	27	12	15
Расходимость излучения	мрад	0,6	0,6	1,0	0,15	0,5
Частота посылок импульсов	Гц	10	10	10	0,18	50
Диаметр приемного телескопа	мм	985			275	400
Угол поля зрения	мрад	1,1			0,44	0,5
Режим работы фотоприемника		Аналоговый			Аналоговый	Счетно-фотонный
Пространственное разрешение по высоте	м	15			3	150
Потребляемая мощность	Вт	2000			200	3000
Космическая платформа		Челнок «Discovery»			Орбитальная станция «Мир»	Модуль «Спектр» Модуль «Природа»
Средняя высота орбиты	км	240			400	400
Угол наклона орбиты	град.	57			51,7	51,7
Расстояние между точками измерений	км	0,7			42,6	0,9
Время функционирования		9 суток в сентябре 1994 г.			1995–1997 гг.	1996–1997 гг.

За прошедший период с лидаром «Балкан» работали космонавты трех орбитальных экспедиций, проведя более 30 сеансов лазерного зондирования облачных полей и подстилающей поверхности Земли (различные участки суши и океана) [34]. Экспериментально определены рабочие характеристики лидара, которые, в основном, соответствуют расчетным. Вертикальное пространственное разрешение получаемой информации составляет 3 м, длина контролируемого участка на поверхности Земли может достигать в одном сеансе зондирования 3400 км. В режиме дальнометрирования погрешность измерения расстояния составляет $\pm 1,5$ м, что более чем на порядок превосходит погрешность существующих радиолокационных систем, которые используются для определения высоты орбиты станции «Мир».

2.3. Приборы и системы для экологического мониторинга Атмосферы

Анализатор ртути «РГА-11». С 1990 г. в КТИ малой серией выпускается ртутный анализатор «РГА-11», разработанный в лаборатории, руководимой к.ф.-м.н. А.Б. Антиповым. В приборе, который подробно описан в [35], используется дифференциальная методика атомно-абсорбционной спектроскопии с зеемановской коррекцией фона в ультрафиолетовом диапазоне. Использование тонких оптико-спектральных эффектов в сочетании со специально разработанными методиками обеспечивает более высокие чувствительность и селективность по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами (табл. 3). По чувствительности «РГА-11» превосходит зарубежные аналоги и позволяет измерять концентрацию ртути на уровне 0,1 ПДК для жилой зоны. Прибор и методики прошли метрологическую аттестацию в НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в С.-Петербурге, сертифицированы Росстандартом и внесены в Государственный реестр средств измерений.

Сравнительные характеристики анализаторов ртути

Параметр	Единица измерения	МОДЕЛЬ / ФИРМА / Страна				
		«ЗЕЕМАН-6000» «ХИТАЧИ» Япония	«JEROME-411» США	«АГП-01» «ОЭЗСГО» Россия	«РТУТЬ-102» «АНАЛИТ-ПРИБОР» Украина	«РГА-11» КТИ «ОПТИКА» Россия
Назначение	–	Анализ широкого круга объектов	Анализ содержания ртути в воздухе и жидкостях	Измерение содержания ртути в атмосфере, в жидких и твердых образцах	Анализ жидких проб. Анализ атмосферного воздуха с использованием жидкого сорбента	Анализ атмосферного воздуха, жидких и твердых проб, биообъектов в лабораторных и полевых условиях
Предел обнаружения	нг/м ³	20	1000	100	100	30 (в воздухе) 0,02 нг/мл (в жидкости) 10 ⁻⁷ % (в твердой пробе)
Диапазон измерений	нг/м ³	1000÷1,99·10 ⁵	1000÷1,99·10 ⁵	100÷99999	100÷16700	30÷10000
Габаритные размеры	мм		32,5×150×100	336×221×144	100 дм ³	700×365×90
Масса	кг		2,7	10	24,5	10
Примечание	–	Стационарный лабораторный комплекс, многоэлементный анализ, зеемановская коррекция фона	Портативный анализатор ртути, измерение электропроводности золотого сорбента	Полевой анализатор атмосферного воздуха с комплектом приставок для анализа твердых и жидких проб. Золотой сорбент с отжигом и последующим атомно-абсорбционным анализом	Атомно-абсорбционный анализатор жидких проб методом холодного пара, анализ воздуха на жидком сорбенте	Универсальный атомно-абсорбционный анализатор с зеемановской коррекцией фона. Непрерывная регистрация в атмосферном воздухе. Аэрозольное и молекулярное поглощение не влияют на результаты измерений

«РГА-11» позволяет проводить анализ атмосферного воздуха в диапазоне измеряемых концентраций от 30 до 10000 нг/м³ без концентрирования. При использовании дополнительных приставок возможно проведение анализов жидких проб методом холодного пара, твердых проб путем отжига при температуре 700°C, биологических объектов – методом холодного пара.

Изготовлено несколько десятков приборов, которые поставлены в региональные службы охраны природы и Госсанэпиднадзора многих областных центров. Портативность и автономность анализатора позволяют вести непрерывную съемку с использованием разного рода носителей (человек, автомобиль, мотодельтаплан, вертолет и т.п.), поэтому данный прибор приобретали также геолого-разведочные экспедиции.

Лазерный денситометр. В начале 90-х годов в лаборатории, руководимой к.т.н. И.Я. Шапиро, был создан опытный образец лазерного денситометра для измерения массовой концентрации пыли [36]. В приборе используется явление ослабления лазерного излучения на аэрозолях в локальном объеме с применением двухлучевой схемы измерений и многоходовой кюветы. Кювета обеспечивает до 200 проходов, что соответствует набору длины трассы до 100 м при длине кюветы, равной 0,5 м. Опытный образец прибора прошел государственную метрологическую аттестацию в НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и допущен к эксплуатации со следующими характеристиками. Параметры анализируемой пыли: средний

радиус частиц $(1,2 \pm 0,1)$ мкм, плотность $2,16 \text{ г/см}^3$. При числе проходов в кювете, равном 64, диапазон измерения концентрации пыли соответствует $3 \div 18 \text{ мг/м}^3$ при 25 % основной относительной погрешности измерений. Прибор вошел в состав передвижной автоматизированной станции экологического мониторинга «Эколид».

Автоматизированная мобильная станция «Эколид». Одной из составных частей системы мониторинга загрязнений воздушной среды промышленного центра является мобильная станция-лаборатория, с помощью которой проводятся маршрутные и подфакельные наблюдения. В конце 80-х годов для этих целей в НПО «Химвавтоматика» начали выпускать опытные образцы мобильных станций. Однако степень автоматизации сбора, обработки и хранения получаемой с измерительных датчиков информации в них была низкой. В 1993 г. в КТИ были завершены работы по созданию автоматизированной мобильной станции атмосферного мониторинга «Эколид», разработанной по заказу Восточно-Казахстанского управления экологии и биоресурсов (г. Усть-Каменогорск) [37].

Станция «Эколид» предназначена для оперативного обнаружения и измерения концентрации техногенных газовых 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. Перечень измерительных приборов, входящих в состав станции, и диапазон измеряемых параметров представлены в табл. 4. Все измерительные приборы станции были изготовлены в КТИ «Оптика» (часть из них совместно с Киевским ВНИИ аналитического приборостроения). Газоанализаторы, входящие в состав станции, прошли государственную аттестацию в НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и имели соответствующие сертификаты. В состав станции также входили вычислительный комплекс на базе ЭВМ IBM PC, система пробозабора и пробоподготовки анализируемого атмосферного воздуха, система термостабилизации воздуха в кабине (подогрев или охлаждение воздуха).

Таблица 4

Состав и параметры измерительных приборов станции «Эколид»

Наименование и тип прибора	Измеряемый параметр	Единица измерения	Диапазон измерений	Погрешность измерений	ПДК в воздухе жилой зоны
Флюоресцентный Газоанализатор 667ФФ-03	SO ₂	мг/м ³	0÷0,2	±0,012	0,05
			0,2÷1,0	±(0,05+0,15X)	
			1,0÷5,0	±(0,05+0,15X)	
Хемилюминесцентный Газоанализатор 645ХЛ-04	NO	мг/м ³	0,0026÷10	±0,0013	0,06
	NO ₂	мг/м ³	0,0026÷10	±0,0013	0,04
Анализатор ртути «РГА-11»	Hg	нг/м ³	30÷4000	20	300
Пламенно-ионизационный анализатор 623КПИ-03	CH ₄	мг/м ³	0÷50	5%	–
	ΣC _x H _y	мг/м ³	0÷50	5%	1,0
	ΣC _x H _y –CH ₄	мг/м ³	0÷50	5%	–
Лазерный денситометр ЛД-10	Пыль	мг/м ³	3÷18	25%	0,05
Ультразвуковой термоанемометр ТАРМ	Скорость ветра	м/с	0,4÷30	0,1	–
	Направление ветра	град.	0÷360	0,5	–
	Температура	°С	–40÷+40	0,5	–
Акустический локатор АЛ-10	Высота инверсного слоя	м	30÷500	–	–

Управление работой станции в режиме измерений и сбор информации с газоанализаторов и других измерительных приборов осуществляет вычислительный комплекс на базе IBM PC совместно с интерфейсным блоком по заданному алгоритму. Результаты измерений заносятся в базу данных и используются для формирования карты загазованности и для прогноза переноса опасных газовых выбросов. Перед сдачей станции заказчику проведены ее испытания в натуральных условиях [38].

2.4. Приборы и системы для метеорологического мониторинга атмосферы

Как отмечалось выше, требуется существенное обновление приборного парка измерительных приборов на постах Росгидромета. Одним из направлений деятельности Института, работы по которому ведутся с 1972 г., является создание новых технических средств для измерения метеорологических элементов атмосферы. Ниже приводятся сведения о некоторых разработанных приборах, основанных на новых физических принципах, которые входят в состав передвижной метеорологической станции, создаваемой в КТИ «Оптика».

Термоанемометр акустический ТАУ-1. В течение последних нескольких лет в Институте проводится разработка ультразвукового термоанемометра, позволяющего одновременно измерять в локальном объеме скорость, направление и температуру воздушного потока, от которых зависит скорость распространения звука между акустическими излучателем и приемником [39]. Экспериментальный образец термоанеморумбометра ТАРМ был создан с.н.с. В.И. Галкиным [40]. Опытный образец термоанемометра разработан и изготовлен коллективом КБ-32 под руководством А.А. Азбукина в рамках создания передвижного метеоконспекса [41]. Экспериментальный образец подобного прибора был также создан ранее в ИОА СО РАН [42]. В табл. 5 для сравнения представлены взятые из рекламных проспектов характеристики приборов зарубежных фирм, выпускаемых серийно, и опытного образца ТАУ-1. Как видно из таблицы, наш прибор не уступает лучшим зарубежным образцам, а английская модель не обеспечивает одновременное измерение температуры. Для измерения трехкоординатного вектора скорости ветра ультразвуковые излучатели и приемники, как и в большинстве зарубежных аналогов, расположены под углом к измеряемому объему относительно вертикали (рис. 2). Однако измерительная головка ТАУ-1 имеет более жесткую конструкцию. Блок электроники размещен в цилиндре, на котором крепится измерительная головка. Разработанное программное обеспечение позволяет воспроизводить на экране компьютера результаты измерений температуры и трех компонент вектора скорости ветра в объеме, расположенном между излучателями и приемниками, с периодом усреднения от долей секунды до нескольких минут. Для завершения работ по подготовке ТАУ-1 к мелкосерийному производству требуется провести метрологическую аттестацию прибора в соответствующих службах Росгидромета.

Таблица 5

Сравнительные характеристики ультразвуковых анемометров

Измеряемый параметр	Единица измерения	МОДЕЛЬ / ФИРМА / Страна			
		USAT-3 «МЕТЕК» Германия [43]	DA-600-3T «КАИЈО» Япония [44]	1012S «BIRAL» Великобритания [45]	ТАУ-1 КТИ «ОПТИКА» Россия [41]
Скорость ветра	м/с	0 ÷ 30	0 ÷ 60	0 ÷ 60	0 ÷ 30
Погрешность	м/с	± 0,05	± 0,005	± 0,01	± (0,1+0,02V)
Направление ветра	град.	0 ÷ 360	0 ÷ 360	0 ÷ 360	0 ÷ 360
Погрешность	град.	± 0,4		± 2	± 1
Температура	°С	-30 ÷ +50	-10 ÷ +40	-	-50 ÷ +50
Погрешность	°С	± 0,01	± 0,025	-	± 0,1
Частота опроса	Гц	до 48	20	80	100
Интервал усреднения	с	миним. 1	30÷600	4	3 ÷ 600
Цифровой выход		RS232	RS232S	RS442	RS232
Электропитание	В	40÷60	220	220	27
Потребляемая мощность	ВА	Постоянное 25	Переменное	Переменное 24	Постоянное 6
Вес измерительной головки	кг	4	3	2,5	3
Габаритные размеры головки	мм	Ø420×930	Ø508×580	Ø240×545	Ø390×680
Год выпуска		1989	1990	1991	1996

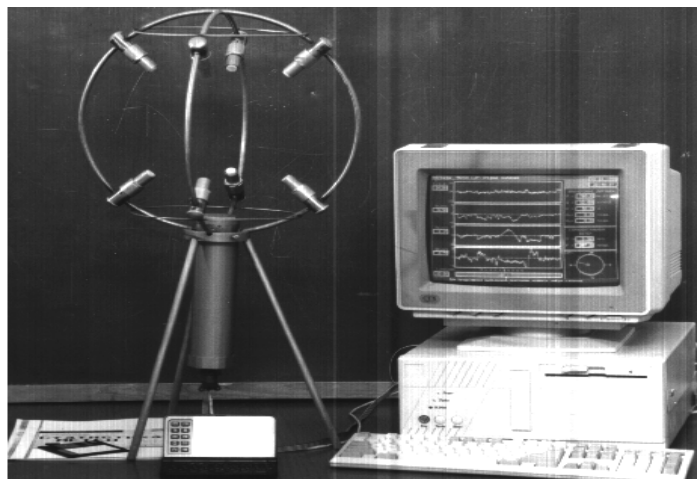


Рис. 2. Внешний вид измерительной головки термоанемометра

Оптический гигрометр. Применяемые в настоящее время на постах Гидрометеосети гигрометры не обеспечивают достаточной точности измерения влажности воздуха уже при температурах ниже минус 10°C . В рамках создания передвижного метеокомплекса, о котором упоминалось выше, в КТИ «Оптика» в том же подразделении создан экспериментальный образец оптического гигрометра (ведущий разработчик – с.н.с. В.В. Бурков). Краткая информация о принципах действия и характеристиках оптического гигрометра представлена в [46]. Гигрометр не имеет зарубежных аналогов. 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 $0,94\text{ нм}$ (в полосе поглощения H_2O) и $0,86\text{ нм}$ (вне полосы поглощения). Разностный сигнал с фотодетекторов, регистрирующих излучения на опорных и прошедших через кювету длинах волн, после оцифровки используется для вычисления искомого параметра.

Экспериментальный образец оптического гигрометра испытывался в климатической камере в диапазоне температур от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$ и абсолютной влажности от $0,5$ до 100 г/м^3 , а также подвергался сравнительным испытаниям с серийными гигрометром «Волна-5» и психрометром. В результате испытаний подтверждена работоспособность прибора при низких значениях температур и влажности, а сравнение показаний с серийными приборами дало удовлетворительное согласие результатов при стабильной метеоситуации в окружающей среде. Проверка гигрометра в среде насыщающего водяного пара в диапазоне абсолютной влажности от 1 до 100 г/м^3 показала, что отклонения от линейности показаний не превышают 1% .

2.5. Оптические приборы, узлы и детали

Оптическое производство начало развиваться в Институте с самого основания. Организовывал и возглавлял его в течение первых десяти лет М.М. Нолле (до этого момента в Томске не было промышленного производства оптических изделий). Первые оптические детали для макетных установок ИОА были изготовлены уже к концу 1972 г. И начиная с 1973 г. все оптико-электронные приборы, создаваемые в КТИ «Оптика», практически полностью обеспечивались оптическими деталями собственного производства.

Номенклатура создаваемых оптических изделий была достаточно широка (табл. 6). Гибкая производственно-технологическая база Института обеспечила разработку и изготовление единичных или мелкосерийных образцов оптических систем и элементов высокого качества, метрологически аттестованных, из различных марок стекла, кварца, ситалла и кристаллов для работы в диапазоне от УФ- до ближней ИК-области (13 мкм) спектра. Освоена технология изготовления сложных асферических поверхностей любого порядка. Высокое качество изготавливаемой оптики достигается комплексным контролем на всех стадиях от проектирования (с использованием пакетов прикладных программ) до производственно-технологических процессов (с помощью широкого набора уникальных методов и технических средств).

Перечень оптических систем и элементов

Наименование	Размер, мм	Относительное отверстие	Примечание
Телескопические системы (Кассегрена, Ричи-Кретьена, Шмидта и др.)	∅ 25÷800	1/6 ÷ 1/3	СКО волнового фронта от сферического не более 0,05 мкм
Монохроматические однолинзовые объективы	∅ 25÷500	1/6 ÷ 1/3	Разрешение по Рэлею (на оси) не менее 50 лин/мм
Линзы сферические	∅ 25÷500	–	Плосковыпуклые, плосковогнутые, двояковыпуклые, двояковогнутые
Зеркала сферические	∅ 25÷1000	1/4 ÷ 1/1,15	СКО поверхности не более 0,05 мкм
Пластины и плоские зеркала	∅ 5÷1000	–	СКО поверхности не более 0,05 мкм
Призмы поляризационные (Рошона, Сенармона, Волластона)	14×14×14 20×20×20	–	–
Светофильтры интерференционные	∅ 14÷70	–	Спектральный диапазон 300÷1300 нм Ширина полосы пропускания ≥1 нм
Светофильтры металлодиэлектрические	∅ 14÷100	–	Спектральный диапазон 200÷400 нм
Светофильтры нейтральные ослабляющие	∅ 10÷70	–	Пропускание 0,01÷50%

Для проведения аттестационного и технологического контроля сферических волновых фронтов и качества изготовления сферических поверхностей, измерения радиуса кривизны в КБ-54, которым руководили сначала Л.А. Пушной, а затем И.Г. Половцев, был разработан и изготовлен интерферометр «ФАВН-35» [47, 48]. Прибор позволяет измерять радиус кривизны выпуклых поверхностей в диапазоне от 3 до 30 мм, вогнутых от 3 до 640 мм при относительном отверстии контролируемых деталей не более 1/1,15 с погрешностью контроля формы поверхности не хуже чем 1/20 длины волны. Погрешность измерения радиуса кривизны не более 5 мкм. По своим параметрам интерферометр не уступал зарубежному аналогу MARK-2 фирмы «ZYGO». Дополнительно было создано устройство обработки интерферограмм с программным обеспечением для ЭВМ типа IBM PC. В начале 90-х годов изготовлено 10 образцов таких приборов, которые были поставлены ряду оптико-механических заводов страны для проведения технологического и аттестационного контроля изготавливаемых деталей.

Развитие направления методов оптического технологического контроля позволило создать оптические бесконтактные датчики для контроля геометрических размеров твердых тел. На основе четырех таких датчиков разработана автоматизированная система контроля прямолинейности поверхности железнодорожных рельсов в процессе их транспортировки на рольганге прокатного цеха [49]. Система, обеспечивающая погрешность измерений не хуже 35 мкм, сертифицирована СНИИ метрологии и внедрена в 1995 г. на Кузнецком металлургическом комбинате (г. Новокузнецк). Работа выполнена совместно с ТОО «Оптикон».

Другим самостоятельным направлением развития оптического приборостроения стало создание установки для проведения лабораторного практикума по физической оптике [50]. На базе единого малогабаритного комплекта оборудования получена возможность для демонстрации 26 оптических явлений, в том числе дифракционных, поляризационных, интерференционных экспериментов, регистрации отражательных голограмм и интерферограмм, экспериментов по Фурье-оптике и т.п. В Институте изготовлена малая серия таких приборов, получивших название УМОГ.

Заключение

Оптико-электронные технологии и физические эффекты, связанные с взаимодействием оптического излучения с различными компонентами земной атмосферы, составляют научно-инженерную основу современных технических средств для эффективных экспериментальных

исследований атмосферы и других составляющих окружающей среды. Широкое применение этих технических средств при фундаментальных и прикладных исследованиях выводит проблемы их конструкторско-технологического обеспечения на уровень самостоятельного научно-технического направления. Дальнейшее развитие эколого-метеорологического приборостроения совместно с научными исследованиями по атмосферной оптике в ИОА СО РАН и других НИИ, с одной стороны, и практическое применение новых оптико-электронных приборов для мониторинга окружающей среды, с другой стороны, являются в настоящее время приоритетным научно-техническим направлением в КТИ «Оптика».

Основные разработки КТИ «Оптика», в большинстве своем совместные с ИОА СО РАН, кратко описаны выше. Их более подробное описание, а также научно-методические основы по мониторингу атмосферы в настоящее время издаются в серии монографий под общим названием «Региональный мониторинг атмосферы» [51, 52]. В целом продолжающаяся серия монографических обобщений под указанным названием осуществляется по проекту «Климато-экологический мониторинг Сибири» (в рамках НТП «Сибирь») с участием ведущих по проблеме институтов Сибирского отделения РАН и сибирских вузов, а также в рамках ряда проектов Российского фонда фундаментальных исследований.

1. Современные проблемы атмосферной оптики / Под общей ред. В.Е. Зуева. Т. 1–8. Л.: Гидрометеиздат, 1986–1992; Т. 9. Томск: изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1996.
2. Лазерное зондирование тропосферы и подстилающей поверхности / Под ред. В.Е. Зуева. Новосибирск: Наука, 1987. 262 с.
3. Кабанов М. В. Атмосферные оптические помехи. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. 206 с.
4. Оптика атмосферы и океана (Юбилейный выпуск журнала). 1995. Т. 8. N 1–2. 296 с.
5. Маклаков А. Ф., Ефремычев В. И., Хоменко Я. Н. Очерки развития отечественного гидрометеорологического приборостроения. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 240 с.
6. Ваулин П. П., Кутелев А. Ф., Тихомиров А. А., Шапиро И. Я. // Тезисы докладов V Всесоюз. симп. по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Ч. IV. Томск: Изд. ИОА СО АН СССР, 1978. С. 8–15.
7. Аршинов Ю. Ф., Балин Ю. С., Даничкин С. А. и др. // Доклады Болгарско-советского семинара «Лазерные методы и средства измерения и контроля параметров окружающей среды». София: Изд. Института электроники БАН, 1985. С. 83–88.
8. Лазерные устройства для обеспечения судовождения / В.Е. Зуев, В.И. Пересыпкин, В.Я. Фадеев и др. Новосибирск: Наука, 1985. 125 с.
9. Зуев В. Е., Фадеев В. Я. Лазерные навигационные устройства. М.: Радио и связь, 1987. 160 с.
10. Кашаев В. Ю., Климов В. Н., Татур В. В. // Тезисы I Межреспубл. симп. «Оптика атмосферы и океана». Ч.2. Томск: ИОА СО РАН, 1994. С. 182–183.
11. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей / Под ред. М.В. Кабанова. Новосибирск: Наука, 1986. 186 с.
12. Задде Г. О., Кауль Б. В., Ушаков Г. В. // Тезисы докладов IV Всесоюз. симпоз. по лазерному зондированию атмосферы. Томск: ИОА СО АН СССР, 1976. С. 236–238.
13. Zuev V. E., Kaul B. V., Kutelev A. F. et al. // Abstracts of 9-th Internat. Laser Radar Conf. Munich, 1979. P. 46–47.
14. Балин Ю. С., Байрашин Г. С., Бурков В. В. и др. // Проблемно-ориентированные измерительно-вычислительные комплексы. Новосибирск: Наука, 1986. С. 65–71.
15. Балин Ю. С., Разенков И. А. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 2. С. 169–188.
16. Абрамочкин А. И., Ваулин П. П., Самохвалов И. В., Тихомиров А. А. // Тезисы докладов III Всесоюз. симп. по распространению лазерного излучения в атмосфере. Томск: Изд. ИОА СО АН СССР, 1975. С. 281–282.
17. Средство ХМ-А1. Устройство измерения НП. Техническое описание. АМЯ1.570.005 ТО3 / Изготовитель СКБ НП «Оптика». Томск, 1978. 98 с.
18. Лазерный локатор для измерения прозрачности атмосферы. Техническое описание. АМЯ1.570.013 ТО / Изготовитель СКБ НП «Оптика». Томск, 1981. 119 с.
19. Жильцов В. И., Козинцев В. И., Константинов Б. А., Никифоров В. Г. // Электронная промышленность. 1983. N 3. С. 3–7.
20. Baldenkov G. N., Mozharov E. E., Milen'kii, Pavlov O. Yu. // Abstracts of papers 15-th Internat. Laser Radar Conf. Part II. Tomsk, 1990. P. 380–381.
21. Маричев В. Н., Ельников А. В., Шелевой К. Д., Шелефонтьук Д. И. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1 N 4. С. 117–123.
22. Бурлаков В. Д., Ельников А. В., Зуев В. В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5 N 10. С. 1022–1027.
23. Матвиенко Г. Г., Аршинов Ю. Ф., Гришин А. И. и др. // Труды XI Симпоз. по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Томск: ИОА СО РАН, 1993. С. 130–136.
24. Самохвалов И. В., Шаманаев В. С. Самолетные лидары и их применение. Рукоп. деп. ВИНТИ 29.03.88. N 2403-B88. 38 с.
25. Абрамочкин А. И., Занин В. В., Пеннер И. Э. и др. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. N 2. С. 92–96.
26. Абрамочкин А. И., Пеннер И. Э., Шаманаев В. С. // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. N 3. С. 332–334.

27. Балин Ю.С., Знаменский И.В., Зуев В.Е. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 9. С. 1332–1343.
28. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 10. С. 1012–1021.
29. Балин Ю.С., Знаменский И.В., Мельников В.Е., Тихомиров А.А. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 3. С. 359–366.
30. McCormick M.P., Winter D.M., Browell E.V. et al. // Bulletin Americ. Meteorol. Society. 1993. V. 74. N 2. P. 205-214.
31. Winter D.M., McCormick M.P. // Proc. SPIE. 1995. V. 2581. P. 70–78.
32. Лазерное зондирование атмосферы из космоса / Под ред. В.М. Захарова. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 217 с.
33. Международный целевой комплексный проект «Природа». Научная программа экспериментов. М.: ИРЭ РАН, 1993. 62 с.
34. Балин Ю.С., Тихомиров А.А., Самойлова С.В. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. N 3. С. 333–352.
35. Антипов А.Б., Генина Е.Ю., Кашкан Г.В., Мельников Н.Г. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 11–12. С. 1630–1635.
36. Колобов В.И., Левченко А.Н., Телеганов А.А. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 11–12. С. 1619–1623.
37. Барышников В.Ф., Земляновский Л.Д., Ивакин Ю.А. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 177–181.
38. Барышников В.Ф., Земляновский Л.Д., Ивакин Ю.А. и др. // Тезисы I Межреспубл. симп. «Оптика атмосферы и океана». Ч.2. Томск: ИОА СО РАН, 1994. С. 150–151.
39. Афиногенов Л.П., Грушин С.И., Романов Е.И. Аппаратура для исследований приземного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 320 с.
40. Галкин В.И., Ушаков В.Г. // Тезисы I Межреспубл. симп. «Оптика атмосферы и океана». Ч.2. Томск: ИОА СО РАН, 1994. С. 186–187.
41. Азбукин А.А., Богушевич А.Я., Бурков В.В. // Тезисы докладов III Межреспублик. симп. «Оптика атмосферы и океана». Томск: ИОА СО РАН, 1996. С. 160–161.
42. Патрушев Г.Я., Ростов А.П., Иванов А.П. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 11–12. С. 1636–1638.
43. Ultrasonic Turbulence Sensor USAT3 // METEK Meteorologische Messtechnik GmbH. 4 p.
44. DA-600 Series ultrasonic anemometer/thermometer // KAIJO CORPORATION Catalog No.M-440-22E. 6 p.
45. Solent Meteorological ultrasonic anemometers // GILL Instruments Limited. 8 p.
46. Азбукин А.А., Бурков В.В., Ваулин П.П. и др. // Тезисы докладов III Межреспублик. симп. «Оптика атмосферы и океана». Томск: ИОА СО РАН, 1996. С. 162.
47. Половцев И.Г., Симонова Г.В. // Тезисы докладов II Всесоюз. научно-техн. семинара «Применение лазеров в науке и технике». Тольятти, 1989. С. 56.
48. Половцев И.Г., Пушной Л.А. // Тезисы докладов III Всесоюз. научно-техн. семинара «Применение лазеров в науке и технике». Иркутск, 1990. С. 14–15.
49. Абрамочкин А.И., Половцев И.Г., Черепнев С.М. и др. // Сб. докладов II Международной конф. «Датчик-95». Датчики электрических и неэлектрических величин. Барнаул, 1995. С. 214.
50. Демин В.В., Половцев И.Г. // Физическое образование в высшей школе: Сборник научных трудов. N 3. М.: МПГУ, 1995. С. 63–82.
51. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. I. Научно-методические основы / Под ред. М.В. Панченко. Томск: изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1997 (в печати).
52. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. II. Новые приборы и методики измерений. / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1997. 295 с.

Конструкторско-технологический институт «Оптика» СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
28 декабря 1996 г.

M. V. Kabanov, A. A. Tikhomirov. Engineering Supply of Fundamental Investigations in Atmospheric Optics: Review of the IDT «Optika» SB RAS Activity for 25 years.

An activity of the IDT «Optika» SB RAS for 25-year period is briefly summarized. Concise description and the specifications are presented of major designs for the atmospheric optics, which were implemented in practical use or were produced as small lots: laser navigation systems; ground-based, aircraft-and space born lidars; instrumentation and systems for ecological and meteorological monitoring of the atmosphere; optical devices and units. The specifications of many designed apparatus are compared with the best world analogues.