

В.П. Аксенов¹, Б.Д. Белан^{1,2}, Г.Г. Матвиенко¹, Ю.Н. Пономарев¹

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в канун 50-летия Сибирского отделения

¹ *Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

² *Томский государственный университет*

Поступила в редакцию 28.02.2007 г.

История создания Сибирского отделения

Датой образования Сибирского отделения Академии наук СССР принято считать 18 мая 1957 г. Именно в этот день вышло Постановление Совета Министров СССР о создании Сибирского отделения АН СССР, в котором было записано: «Считать основной задачей Сибирского отделения АН СССР всемерное развитие теоретических и экспериментальных исследований в области физико-технических, естественных и экономических наук, направленных на решение важнейших научных проблем и проблем, способствующих наиболее успешному развитию производительных сил Сибири и Дальнего Востока». (Дальневосточный филиал АН СССР был выделен из состава Сибирского отделения в 1970 г.).

Исторически первыми научно-образовательными центрами науки в Сибири стали университеты — Томский (основан в 1878 г.), затем Иркутский (1918 г.). Академические научные учреждения в виде стационарных баз и небольших филиалов АН СССР в Иркутске, Новосибирске и Якутске появились в Сибири уже в 30–40-х гг. XX в. Накануне открытия Сибирского отделения в них насчитывалось всего 300 кандидатов наук, 40 докторов и 1 член-корреспондент АН СССР. Когда Советский Союз приступил к ускоренному освоению природных ресурсов и развитию производительных сил Сибири, возникла необходимость кардинального усиления научного потенциала региона. В конце 50-х гг., когда советские ученые с мировой известностью академики М.А. Лаврентьев, С.Л. Соболев, С.А. Христианович выступили с инициативой — создать на Востоке страны ряд крупных научных центров Академии наук СССР, правительство СССР поддержало это предложение. И не просто поддержало: программа развития науки в Сибири реализовывалась в ускоренные сроки, как и ряд других важнейших государственных программ (таких, например, как покорение космоса, освоение нефтегазовых ресурсов Западной Сибири). Так, первая очередь Новосибирского научного центра СО АН СССР была сдана в 1964 г. и первое в истории

Академии наук региональное отделение стало реальностью. Десятки ведущих ученых из престижных институтов Москвы, Ленинграда, Киева оставили свои институты в европейской части СССР и переехали в Сибирь вместе с учениками. Первым председателем Сибирского отделения АН СССР был академик М.А. Лаврентьев (1957–1975), затем Г.И. Марчук (1975–1980), В.А. Коптюг (1980–1997) и с 1997 г. — Н.Л. Добрецов. С начала своего существования главными принципами деятельности Отделения стали:

— опережающее развитие комплексных исследований по фундаментальным проблемам наук для получения и пополнения знаний, на основе которых можно решать разнообразные практические задачи;

— тесная связь с народным хозяйством, активное содействие инновациям;

— интеграция науки и образования: участие ученых и использование материальной базы академических институтов в подготовке кадров.

Эти принципы и сейчас являются базовыми в работе Отделения. Энтузиазм и преданность науке ученых позволили государству за достаточно короткие сроки создать в Сибири мощный научный центр. В настоящее время Сибирское отделение Российской академии наук является развитой территориально распределенной системой комплексных научных центров, институтов, стационаров и научных станций, охватывающей практически всю территорию Сибири. Научные центры СО РАН базируются в Новосибирске, Томске, Красноярске, Иркутске, Улан-Удэ, Якутске, Кемерово, Тюмени, Омске. Отдельные институты работают в Барнауле, Кызыле, Чите, Бийске. В составе СО РАН 76 научно-исследовательских и конструкторско-технологических учреждений, работающих в области физико-математических, технических, химических и биологических наук, наук о Земле, гуманитарных и экономических наук. На 1 января 2007 г. общая численность работающих в Сибирском отделении составила 31100 чел., в том числе в научных учреждениях — 25471 чел., в организациях научного обслуживания и социальной сферы — 5629 чел.

Среди работающих в научных учреждениях Отделения 8952 научных сотрудника, из них 67 действительных членов и 77 членов-корреспондентов РАН, 1894 доктора наук и 4901 кандидат наук. Возраст научных сотрудников: до 39 лет — 30,9%, от 40 до 49 лет — 18,8%, от 50 до 59 — 25,8%.

Создание Института оптики атмосферы

Основой для создания Института оптики атмосферы стала лаборатория инфракрасных излучений Сибирского физико-технического института при Томском государственном университете, численность которой в 1966 г. превышала 100 человек. Главной заслугой этого коллектива, как в СССР, так и за рубежом, была грамотная интерпретация результатов исследований распространения оптического излучения в атмосфере с учетом роли поглощения лазерного излучения атмосферными газами, ослабления аэрозолями, рефракции, метеоусловий и прочих факторов.

По решению Президиума АН СССР в Томск в начале января 1967 г. прибыла комиссия, в состав которой вошли знаменитый академик лауреат Нобелевской премии А.М. Прохоров и известнейший спектроскопист И.И. Соболевман. Комиссия дала положительное заключение о целесообразности создания Института оптики атмосферы СО АН СССР — первого академического института в г. Томске.

5 августа 1968 г. Президиум Совета Министров СССР принял Постановление № 594 о создании в Томске Института оптики атмосферы, а 5 сентября 1969 г. академик М.А. Лаврентьев подписал постановление Президиума СО АН СССР об открытии Института оптики атмосферы с выделением первых 5 штатных единиц.

Директором-организатором нового Института был назначен Владимир Евсеевич Зуев.

При открытии Института в его штате работали один профессор-доктор и 10 кандидатов наук.

19 декабря 2006 г. Президиум Российской академии наук постановил: «Присвоить ... имя академика В.Е. Зуева Институту оптики атмосферы СО РАН...».

Научная деятельность ИОА

В настоящее время Институт выполняет исследования по трем основным направлениям.

1. Атмосферная оптика и спектроскопия, распространение оптического излучения в атмосфере.

2. Исследование процессов, определяющих оптическое состояние атмосферы.

3. Оптико-электронные системы и технологии исследования окружающей среды.

Эти научные направления утверждены в 2001 г. Отделением океанологии, физики атмосферы и географии РАН (Постановление от 15.11.2001, Протокол № 12).

Тематика исследований Института соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации,

перечню критических технологий Российской Федерации и основным направлениям фундаментальных исследований РАН.

В соответствии с переходом на программно-целевое планирование Институт участвует в следующих программах СО РАН:

— оптика, лазерная физика;

— фундаментальные проблемы взаимодействия излучения с веществом;

— актуальные вопросы оптики атмосферы;

— фундаментальные основы приборостроения для наук о Земле и решения специальных задач;

— радиофизические методы диагностики окружающей среды.

По перечисленным выше программам Институт выполняет 9 проектов.

Институт участвует в выполнении ряда программ Президиума РАН и отделений РАН, а также междисциплинарных и комплексных интеграционных проектов СО РАН.

Программы Президиума РАН

1. Фемтосекундная оптика и новые оптические материалы (проект «Фемтосекундная атмосферная оптика», научный руководитель — д.ф.-м.н. Г.Г. Матвиенко).

2. Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы (проект «Комплексное исследование аэрозольных и газовых компонентов атмосферы Сибири с целью совершенствования радиационных моделей, развития методов и технических средств оптического мониторинга в задачах климата», научный руководитель — д.ф.-м.н. Б.Д. Белан).

3. Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология (проект «Исследование свойств и закономерностей изменчивости атмосферного аэрозоля над океаном», научный руководитель — д.ф.-м.н. С.М. Сакерин).

Программы отделений РАН

1. Лазерные системы, основанные на новых активных материалах, и оптика структурированных материалов (проект «Экспериментальные и теоретические исследования процессов вынужденного рассеяния света и многофотонной люминесценции в диэлектрических сферических микрорезонаторах при их нестационарном возбуждении сверхкоротким лазерным излучением», научный руководитель — д.ф.-м.н. А.А. Землянов; проект «Новый тип активной среды: вибронные кристаллы с электронной накачкой», научные руководители — к.ф.-м.н. А.Н. Мальцев, д.ф.-м.н. В.П. Лукин).

2. Оптическая спектроскопия и стандарты частоты (проект «Спектроскопия сверхвысокого разрешения», научный руководитель — д.ф.-м.н. Л.Н. Силица).

3. Когерентные акустические поля и сигналы (проект «Исследование когерентности звуковых волн, распространяющихся в случайно-неоднородной стратифицированной атмосфере», научный руководитель — к.ф.-м.н. С.Л. Одинцов).

4. Проблемы радиофизики (проект «Развитие радиофизических методов в исследовании атмосферной турбулентности», научный руководитель — д.ф.-м.н. В.А. Банах).

5. Физика атмосферы: электрические процессы и радиофизические методы исследования тропосферы (проект «Акустические и оптические технологии изучения атмосферных процессов», научный руководитель — д.ф.-м.н. М.В. Панченко).

6. Нелинейная оптика уникальных лазерных систем (проект «Адаптивная амплитудно-фазовая коррекция лазерных пучков», научный руководитель — д.ф.-м.н. В.П. Лукин).

7. Лазерные системы, основанные на новых активных материалах, и оптика структурированных материалов с электронной накачкой, научные руководители — к.ф.-м.н. А.Н. Мальцев, д.ф.-м.н. В.П. Лукин.

8. Наночастицы в природных и техногенных системах (проект «Поведение (генерация, перенос, трансформация, сток, пространственно-временная изменчивость) наночастиц в атмосфере», научный руководитель — д.ф.-м.н. Б.Д. Белан).

9. Гидросферно-атмосферные процессы и взаимодействия и климат Земли. Закономерности и факторы формирования, изменения и регулирования климата, прогноз (проект «Исследование вклада природных и антропогенных факторов, определяющих состав атмосферы, оценка современных изменений», научный руководитель — д.ф.-м.н. Ю.А. Пхалагов).

10. Формирование водных ресурсов суши, прогноз их режима и качества с учетом изменения климата и развития экономики (проект «Процессы газообмена в системе «поверхностные воды озера Байкал — атмосфера»; их прогнозирование в условиях глобального изменения климата и антропогенной нагрузки», научный руководитель — д.ф.-м.н. М.В. Панченко).

Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН «Исследование распространения лазерного излучения в сверхзвуковых потоках газа и разработка методов диагностики турбулентных пульсаций», научный руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.А. Банах. Проект выполняется совместно с ИТПМ СО РАН.

Комплексный интеграционный проект СО РАН «Распространение фемтосекундных тераваттных лазерных импульсов в атмосфере на протяженных трассах», научный руководитель — д.ф.-м.н. Г.Г. Матвиенко.

Комплексный интеграционный проект СО РАН «Особенности формирования тропосферного аэрозоля в континентальной Сибири и полей озона и аэрозоля над акваторией дальневосточных морей», научный руководитель — чл.-кор. РАН В.В. Зуев.

Комплексный интеграционный проект СО РАН «Развитие фотометрической сети AEROSIBNET для исследований климато-экологи-

ческого воздействия атмосферного аэрозоля в азиатской части России», научный руководитель — д.ф.-м.н. С.М. Сакерин.

Комплексный интеграционный проект СО РАН «Развитие адаптивных систем коррекции изображения для наземных телескопов», научный руководитель — д.ф.-м.н. В.П. Лукин.

Проект выполняется совместно ИОА СО РАН и ИСЗФ СО РАН.

Кроме того, Институт является участником следующих междисциплинарных и комплексных интеграционных проектов СО РАН:

— Ледовый покров оз. Байкал как модельная среда для изучения тектонических процессов.

— Создание распределенной информационно-аналитической среды для исследований экологических систем.

— Исследование влияния космических лучей на аэрозоли и облакообразование.

— Получение и исследование сверхузких оптических резонансов с целью создания лазерного стандарта частоты со стабильностью $\sim 10^{-16}$ для прецизионных измерений и оптоволоконных линий связи.

Институт активно участвует в крупных международных проектах, среди которых:

— Международная программа «Геосферно-биосферные исследования» совместно с Национальным институтом исследования окружающей среды, Япония. В выполнении программы участвуют самолет-лаборатория и наземная группа ИОА СО РАН.

— Институт приступил к реализации проекта ЯК-1, выполняемого по Соглашению о создании Российско-Французского Европейского научного объединения по изучению углеродного и озонного цикла в Евразии. Соглашение заключено между CNRS (Франция) и РАН, РФФИ.

— Институт вошел в число исполнителей проекта Siberia-2, который выполняется по 6-рамочной программе ЕС.

— Международная программа «Глобальная аэрозольная автоматизированная сеть» (AERONET), выполняемая совместно с Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA).

— Atmospheric Measurement Program (ARM) — контракт № 5012.

— European Space Agency (ESA) «Development of Novel Techniques for CO₂ Retrievals over Boreal Forests from Satellites Measurements Suitable for Assessing Carbon Fluxes and Stocks».

— Проект МНТЦ № В-1063 «Мониторинг атмосферного аэрозоля и озона в регионах СНГ посредством сети лидарных станций (CIS-LiNet)».

Следует особо выделить новые направления исследований, динамично развивающиеся в ИОА СО РАН в последние несколько лет:

1. Фемтосекундная атмосферная оптика.

2. Комплексные (сетевые) исследования аэрозольных и газовых компонентов атмосферы над территорией Сибири.

3. Исследования состояния озонового слоя и УФ-солнечной радиации в Сибири на основе синтеза оптических, биоиндикационных и аналитических методов.

4. Технологии глобального моделирования в молекулярной спектроскопии.

По этим направлениям получен ряд приоритетных научных результатов, которые представлены как достижения Института, вошедшие в отчеты СО РАН и РАН. Перечислим некоторые из них.

1. Экспериментально и теоретически обнаружено, что в отличие от пропускания непрерывного лазерного излучения, сильно зависящего от его мощности, пропускание мощного фемтосекундного импульса аэрозольной атмосферой слабо зависит от мощности (до $1 \text{ ТВт}/\text{см}^2$) излучения и описывается законами линейной оптики (рис. 1), а эффективные параметры фемтосекундного излучения при его филаментации в воздухе определяются величиной световой энергии, поглощенной в плазменном канале, и его пространственной протяженностью. Обнаружен и исследован эффект нелинейного поглощения импульсов фемтосекундного излучения в молекулярных газах. Предложена и экспериментально проверена физическая модель, объясняющая этот эффект взаимодействием индуцированного электрического момента молекул с линейно-поляризованным полем лазерного излучения [1, 2].

2. Завершена разработка метода «активной спектронейлометрии». Основой метода являются применение в процессе измерения оптических характеристик аэрозоля контролируемого искусственного воздействия и решение обратной задачи. Это позволило существенно расширить возможности экспериментального изучения физико-химических свойств атмосферных субмикронных частиц, в том числе фактора конденсационного роста и фактора летучести.

На основе многолетних круглогодичных измерений впервые установлен годовой ход конденсационной активности приземного субмикронного аэрозоля, который характеризуется наличием устойчиво воспроизводящихся из года в год весеннего максимума и летнего минимума.

Результаты комплексного исследования суточного хода газообмена CO_2 в системе «атмосфера–водная поверхность» оз. Байкал объективно доказали [3], что скорости метаболических реакций водной биоты превышают скорости физических процессов. Следовательно, процесс газообмена, в свою очередь, лимитирует активность фотосинтезирующих процессов планктонных организмов. На рис. 2 приведен ход концентрации CO_2 , коэффициента фотосинтезирующей активности (КФА) и биомассы фитопланктона в зависимости от времени суток.

3. Данные высотного лазерного зондирования Сибирской лидарной станцией озоносферы впервые показали, что сезонный ход стратосферного озона (рис. 3) в протяженном слое от тропопаузы до 16 км замыкается из-за миграции субарктических струйных течений. Впервые на базе анализа дендрохронологических данных восстановлено поведе-

ние общего содержания озона (СОС) в прошлом (глубиной до 500 лет), выявлена квазициклическая долгопериодных колебаний озоносферы и установлено, что инструментально наблюдаемая изменчивость СОС в настоящий период не превышает амплитуды естественных колебаний в прошлом.

Впервые показано, что глобальное потепление климата в 30-х гг. и последней четверти XX в. происходило в периоды долговременного истощения озонового слоя над обширным пространством boreальных лесов Евразии, когда под воздействием усиливающейся в эти периоды УФ-В-солнечной радиации нарушался баланс глобального CO_2 из-за повсеместной депрессии фотосинтеза в растительной биоте [4].

4. Развита методика глобального моделирования спектров высокого разрешения молекул озона, углекислого газа и ряда других молекул в широком диапазоне длин волн, обеспечивающие точность расчетов, сопоставимую с точностью эксперимента, и созданы Интернет-доступные системы «Спектроскопия и молекулярные свойства озона» (S & MPO) и CDSD-1000 (высокотемпературные спектры CO_2) (рис. 4).

На основе комплексных измерений в лабораторных условиях и реальной атмосфере доказано, что поглощение коротковолнового излучения обусловлено мелкодисперсным аэрозолем и более чем на порядок величины превышает вклад молекулярных составляющих [5].

5. Разработана теория адаптивной коррекции искажений для атмосферных систем видения и формирования оптических пучков. На основе численного моделирования, лабораторных и натуральных испытаний установлено, что активные системы видения в рассеивающих средах с пространственной селекцией обеспечивают 8–10-кратное увеличение предельной дальности и 5–7-кратное улучшение контраста. Сравнение контраста изображений, полученных в активных и обычных системах видения, приведено на рис. 5. Впервые также установлено, что потеря информации о вихревом компоненте фазы снижает качество адаптивной фазовой коррекции в условиях «сильных» флуктуаций интенсивности.

Научно-экспериментальная база

В Институте создан и функционирует ряд уникальных экспериментальных установок мирового уровня. Одна из них, Сибирская лидарная станция, зарегистрирована Министерством науки и технологий как уникальная установка, а ряд крупномасштабных модельных установок составляет основу ЦКП «Атмосфера», входящего в реестр центров коллективного пользования РФ.

В Институте выполняются регулярные исследования газово-аэрозольного состава и метеопараметров атмосферы самолетом-лабораторией (рис. 6), который оснащен уникальным комплексом контактных и дистанционных измерителей для всестороннего исследования атмосферы и экологического мониторинга.

Развивается сеть солнечных радиометров в рамках международной аэрозольной сети AERONET, размещаемых в фоновых районах, и региональной сети фотометров вблизи крупных промышленных центров.

Сибирская лидарная станция, расположенная в г. Томске, является единственной станцией на азиатской территории России, обеспечивающей регулярное зондирование аэрозоля, озона, газовых составляющих озонного цикла, облачности и температуры.

Пополняется парк мобильных лидаров наземного, корабельного и самолетного базирования. Схема одного из действующих лидаров ЛОЗА-МС и примеры некоторых реализаций сеансов зондирования атмосферы приведены на рис. 7.

Введен в эксплуатацию стенд диодных лазерных спектрометров сверхвысокого разрешения.

Продолжает работу центр приема и тематической обработки спутниковой информации для автоматизированной обработки и интерпретации данных аэрокосмического зондирования атмосферы и земной поверхности.

В 2006 г. Институтом получен грант Федерального агентства по науке и инновациям на создание уникального «Лазер-биостенда» для исследования оптических характеристик и процессов газо-аэрозольного обмена растительной биоты с атмосферой и развития физических основ методов дистанционного зондирования природных биосистем. При поддержке СО РАН пополнен парк лазерных и Фурье-спектрометров, современных излучателей для лидаров. В рамках программы «Импортозамещение» СО РАН создана лидарная станция высотного зондирования атмосферы в Институте космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафара (Якутск).

Лаборатории Института оснащены необходимым оборудованием и средствами для проведения работ в рамках основных направлений научных исследований. Вычислительная техника представ-

ляет собой парк персональных компьютеров (более 400), объединенных в локальную сеть. Кроме того, Центр интегрированных информационных систем (ЦИИС) располагает вычислительным кластером (10 узлов 2* Pentium III 1 Ghz/1 Gb, сервер 2* Pentium III 1 Ghz/1 Gb, 3* SCSI HDD 18 Gb, сеть Gigabit Ethernet), введенным в эксплуатацию в 2001 г.

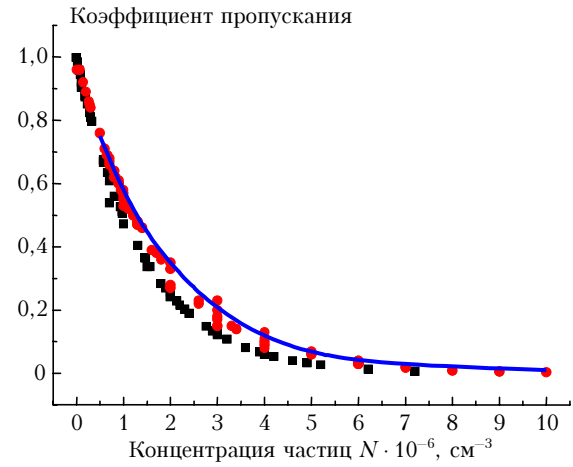
Кадровый состав Института

Общая численность Института на 01.01.2007 г. составила 507 человек, из них 224 научных работника, в том числе 2 члена-корреспондента РАН, 36 докторов наук, 91 кандидат наук, 55 научных работников в возрасте до 33 лет включительно, 45 аспирантов.

1. Бочкарев Н.Н., Землянов А.А., Землянов Ал.А., Кабанов А.М., Карташов Д.В., Кирсанов А.В., Матвиенко Г.Г., Степанов А.Н. Экспериментальное исследование взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с аэрозолями // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17. № 12. С. 971–975.
2. Kartashov D.V., Kirsanov A.V., Kiselev A.M., Stepanov A.N., Bochkarev N.N., Ponomarev Yu.N., and Tikhomirov B.A. Nonlinear absorption of intense femtosecond laser radiation in air // Opt. Express. 2006. V. 14. N 17. P. 7552–7558.
3. Домышева В.М., Пестунов Д.А., Панченко М.В., Хохрова О.М., Мизандронцев И.Б., Шмаргунов В.П., Ходжер Т.В., Белан Б.Д. О связи ритмов изменения содержания углекислого газа в приземном слое воздуха и химического состава воды озера Байкал // Докл. РАН. 2004. Т. 399. № 6. С. 825–828.
4. Zuev V.V. Reconstruction and prediction of long-period variations of ozonosphere using ozonometric and dendrochronological data // Int. J. Remote Sens. 2005. V. 26. N 16. P. 3631–3639.
5. Tikhomirov A.B., Firsov K.M., Kozlov V.S., Panchenko M.V., Ponomarev Yu.N., Tikhomirov B.A. Investigation of spectral dependence of shortwave radiation absorption by ambient aerosol using time-resolved photoacoustic technique // Opt. Eng. 2005. V. 44. N 7. P. 071203-1–071203-11.



a



б

Рис. 1. Свечение плазмы пробоя водных капель под действием лазерного импульса (*a*). Зависимость пропускания слоя водного аэрозоля от концентрации частиц (*б*): при воздействии на среду мощного фемтосекундного импульса (точки); экспериментальная зависимость пропускания аэрозоля для слабого He–Ne-лазера с $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ (квадраты); расчетная кривая линейного пропускания (сплошная линия)

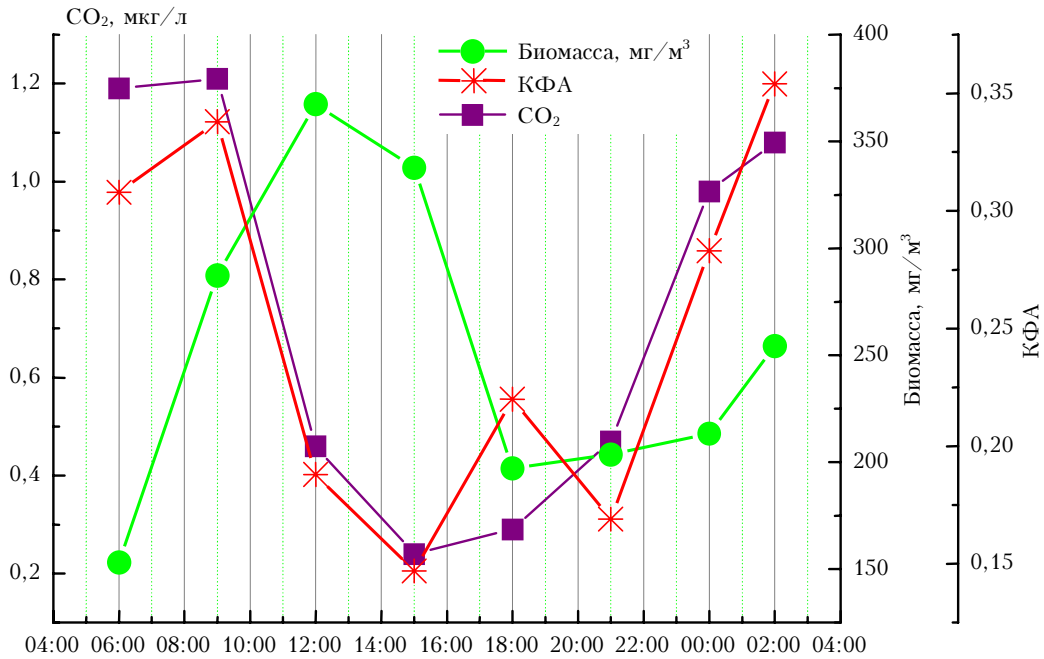


Рис. 2. Суточный ход концентрации CO₂, КФА и биомассы фитопланктона

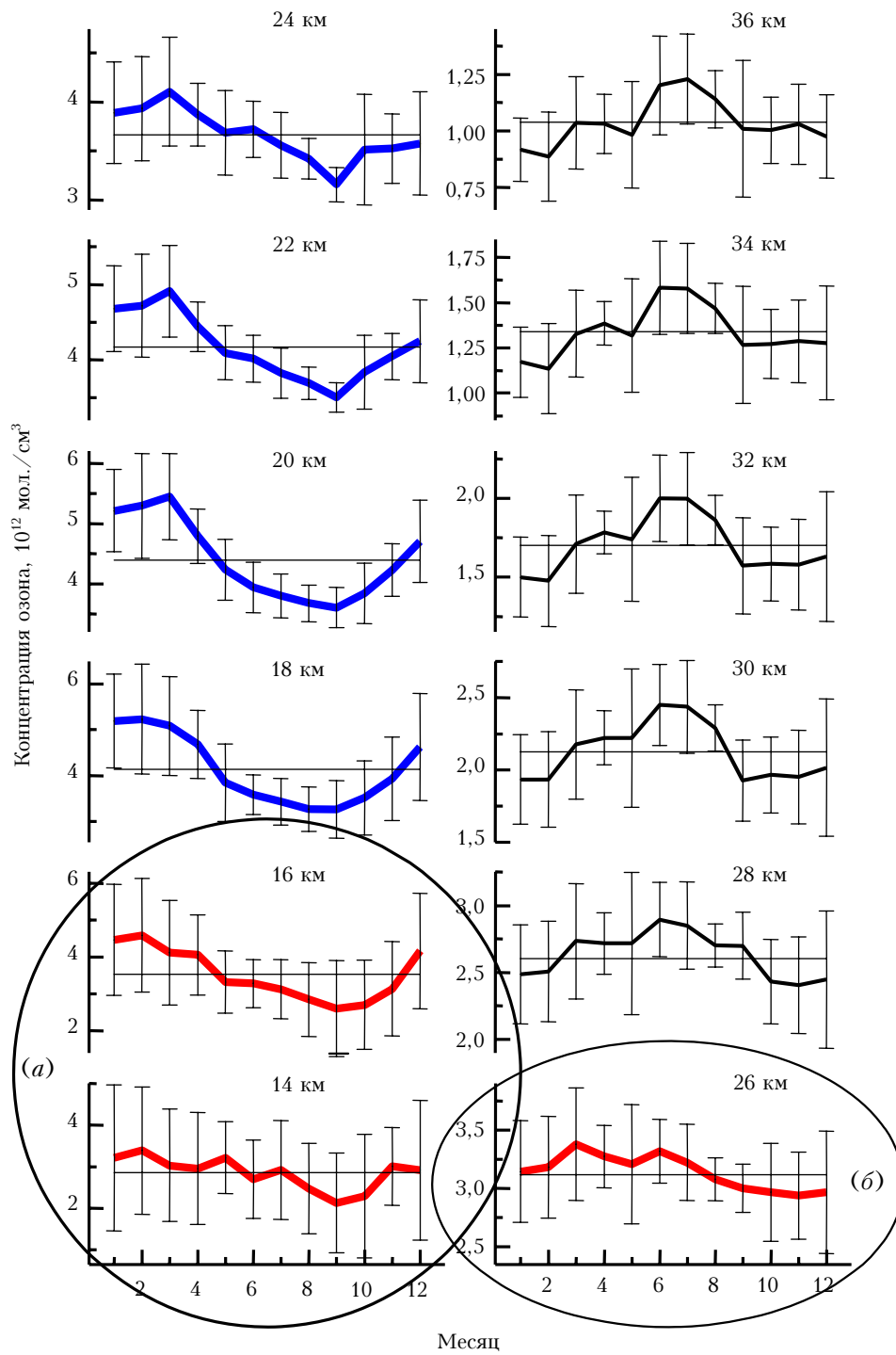


Рис. 3. Результаты климатологических исследований стратосферного озона на основе данных лазерного зондирования озоносферы на Сибирской лидарной станции ИОА СО РАН в Томске за период 1996–2003 гг. Выделены области стратосферных высот без статистически выраженного сезонного хода: область воздействия мигрирующих субарктических струйных течений (а), область велопаузы (б)

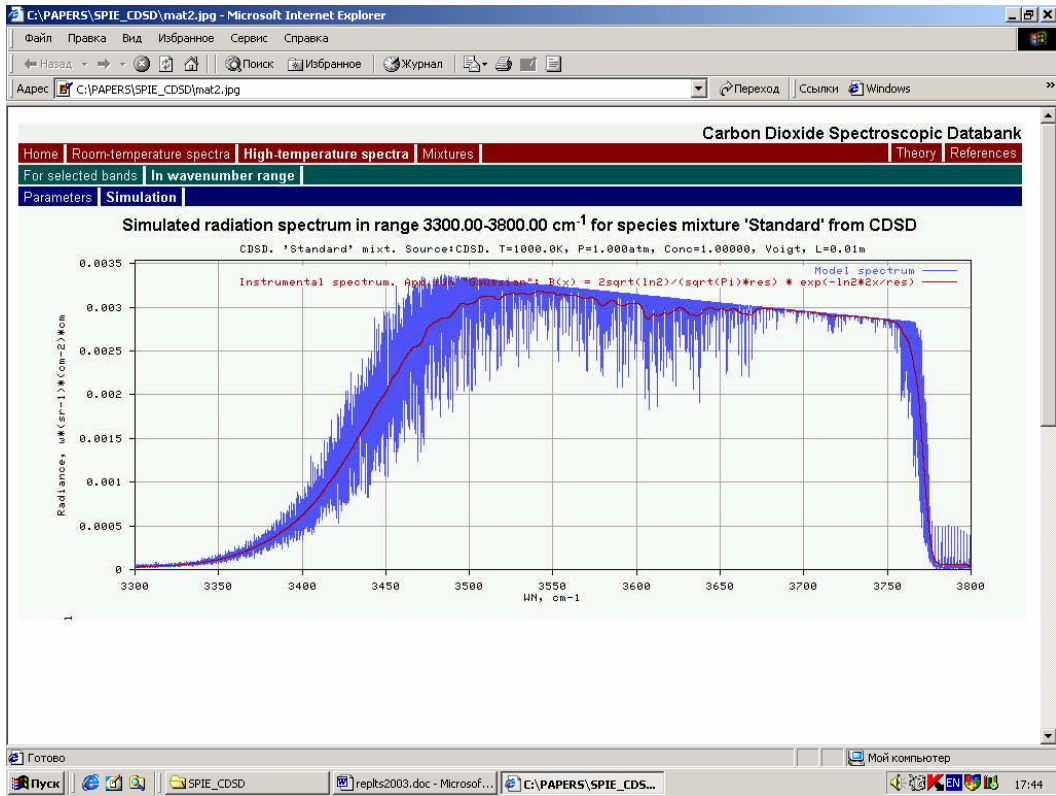


Рис. 4. Интернет-доступная информационная система CDSD (<http://cdsd.iao.ru>). Пример расчета эмиссионного спектра молекулы CO₂ низкого (—) и высокого (—) разрешения

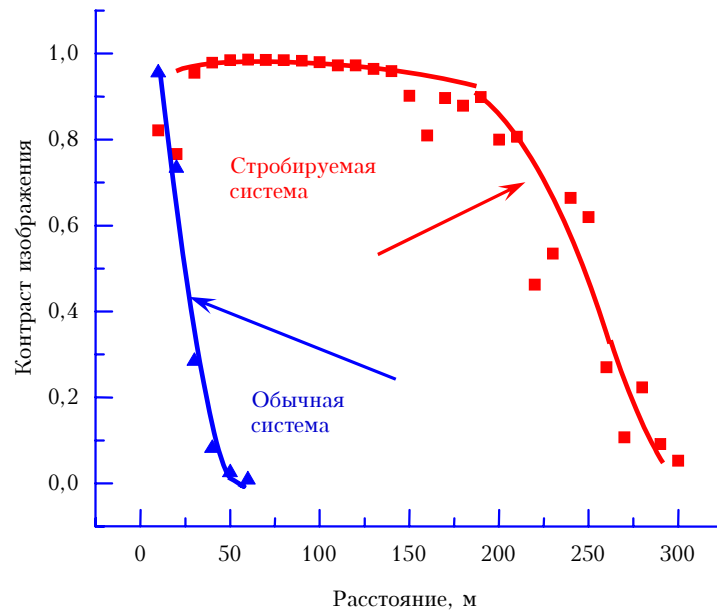


Рис. 5. Сравнение потенциальных возможностей двух поколений активных систем видения



Рис. 6. Самолет-лаборатория АН-30

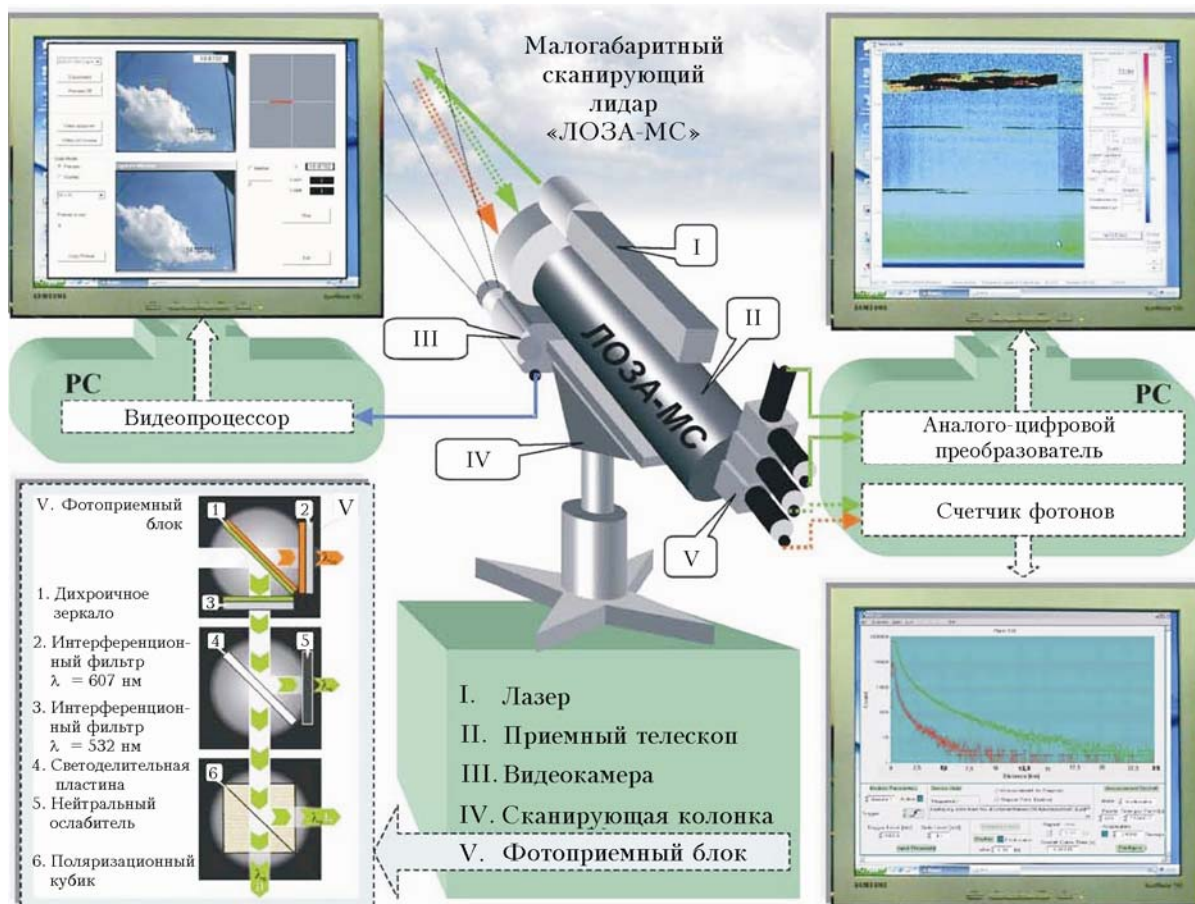


Рис. 7. Схема лидара ЛОЗА-МС и примеры некоторых реализаций сеансов зондирования атмосферы