

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ 70 ЛЕТ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ 70 ЛЕТ

THE 70TH ANNIVERSARY OF THE CENTRAL
AEROLOGICAL OBSERVATORY

ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ 70 ЛЕТ

В написании юбилейного издания принимали участие:

Азаров А.С., Безрукова Н.А., Берюлев Г.П., Борисов Ю.А., Гвоздев Ю.Н., Данелян Б.Г., Дубовецкий А.З., Звягинцев А.М., Кадыгров Е.Н., Кац А.П., Кочин А.В., Кривоуцкий А.А., Крученицкий Г.М., Литинецкий А.В., Миллер Е.А., Постнов А.А., Струнин М.А., Федоров В.В., Хаттатов В.У., Шифрин Д.М., Юшков В.А.

В настоящем издании использованы исторические материалы предыдущих юбилейных изданий ЦАО, в написании которых принимали участие заслуженные старейшие научные сотрудники ЦАО:

Бекорюков В.И., Винниченко Н.К., Голышев Г.И., Зайцева Н.А., Захаров В.М., Иванов А.А., Кокин Г.А., Мазин И.П., Минервин В.Е., Плауде Н.О., Тяботов А.Е., Хргиан А.Х., Чаянова Э.А., Черников А.А., Шметер С.М., Шур Г.Н.

Использованы фото сотрудников ЦАО: Антейкера Е.В., Безруковой Н.А., Зайцевой Н.А., Каца А.П., Петрова В.В., Рябцева Н.С., Струнина М.А.

На обложке фото Н.С. Рябцева.

Перевод: Ханчина М.А.

Составитель: Безрукова Н.А.

Редактор: Борисов Ю.А.

Участнику заседания Ученого совета Центральной Аэрологической Обсерватории

70 лет – серьезный возраст, возраст подведения итогов и устремления вперед, учитывая накопленный опыт и основываясь на требованиях современности.

Настоящая юбилейная брошюра – это отчет перед коллегами и отечественной гидрометеорологической службой о воплощении в жизнь тех идей и целей, которые были поставлены государством перед нашей Обсерваторией при ее создании и ставились затем перед Центральной аэрологической обсерваторией в течение 70-летнего периода ее существования.

Летопись научных исследований Центральной аэрологической обсерватории пишется ее сотрудниками в течение семидесяти лет, почти с того самого времени, когда возникла Обсерватория. Мы бережно храним материалы, документы, указывающие на те, или иные научные разработки, проводившиеся в ЦАО, открытия, изобретения, идеи, новаторские подходы к решению научных проблем. В настоящем издании все представленные работы освещены в равной степени, позволяющей оценить, сколь большой вклад сделал коллектив Обсерватории в развитие метеорологической науки в нашей стране.

**г.Долгопрудный
сентябрь 2011 г.**

П Р И К А З

по Главному Управлению Гидрометеорологической Службы
Военно-Воздушной Службы Красной Армии

№ 65

г. Москва

8. Сентября

1941 г.

Содержание: Об организации Центральной Аэрологической
Обсерватории.

В целях быстрого проектирования, изготовления и испытаний
новых конструкций аэрометеорологических приборов и улучшения зон-
дирования атмосферы в Москве, ПРИКАЗЫВАЮ:

§ 1.

Организовать на базе Аэрологической Обсерватории ЦАП^а Цент-
ральную Аэрологическую Обсерваторию (ЦАО) в составе Конструктор-
ско-Испытательного Отдела с Мастерской и Отдела наблюдений, с под-
чинением Обсерватории IX Оуд. ГУИМ^а КА.

§ 2.

Утвердить структуру и штат ЦАО в количестве 36 единиц, со-
гласно приложения №1, в том числе 30 единиц за счет штата Аэроло-
гической Обсерватории ЦАП^а и 6 единиц за счет штата Московской
Геофизической Обсерватории.

§ 3.

Утвердить смету ЦАО на период до конца 1941г., согласно при-
ложения №2.

§ 4.

Назначить Вр.и.о. Начальника Обсерватории т. КОНОШЕВУ Н.П.

§ 5.

Вр.и.о. Начальника Обсерватории т. КОНОШЕВУ Н.П. принять, а
Начальнику ЦАП^а т. ТКАЧЕНКО В.П. сдать оборудование, имущество и
помещение Обсерватории, представив мне на утверждение приемо-сда-
точный акт к 20 сентября с.г.

§ 6.

Вр.и.о. Начальника Обсерватории т. КОНОШЕВУ Н.П.:

- а/ представить мне на утверждение к 15/IX-41г. временное Поло-
жение об Обсерватории/план ее работ до конца года;
- б/ представить в Гидрометснаб к 20/IX-41г. заявку на необходи-
мое до конца года оборудование и материалы.

§ 7.

Начальнику ЦАП т. ТКАЧЕНКО В.П. до 15/IX-41г. передать в ЦАО
фотолабораторию со всем ее оборудованием и материалами, обязав
ЦАО выполнять фотоработы ЦАП^а из материалов заказчика.

§ 8.

И.о. Директора Московской Геофизической Обсерватории тов.
КАЙГОРДОВУ А.И. до 15/IX-41г. передать Аэрологической Обсерва-
тории токарный и сверлильный станки с комплектом принадлежностей
и материалами к ним.

§ 9.

И.о. Начальника Высшего Военного Гидрометеорологического
Института Полковнику СТАРИШИНУ передать Аэрологической Обсер-
ватории универсальный токарный станок с полным комплектом
инструмента и материалами к нему.

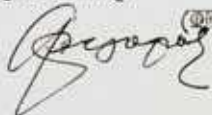
§ 10.

Отменить приказ № 9 от 26.VI-41г. О передаче Аэрологи-
ческой Обсерватории ЦАП^а в УГМУ МВО за исключением § 4.

Начальник Главного Управления
Гидрометслужбы Красной Армии

Бригидженер

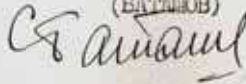
(ФЕДОРОВ)



Военный Комиссар Главного
Управления Гидрометслужбы
Красной Армии

Ст. батальон. комиссар

(БАТАШОВ)





70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ 70 ЛЕТ
THE 70TH ANNIVERSARY OF THE CENTRAL
AEROLOGICAL OBSERVATORY

В 2011 году Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) исполняется 70 лет. Обсерватория была создана в 1941 году «... в целях быстрого проектирования, изготовления и испытания новых конструкций аэрометеорологических приборов и улучшения зондирования атмосферы в городе Москве». Согласно приказу от 8 сентября по Главному Управлению Гидрометеорологической Службы Красной Армии № 65 Обсерватория организовывалась на базе Аэрологической обсерватории Центрального института прогнозов (ЦИП) «в составе Конструкторско-Испытательного отдела с Мастерской и Отдела наблюдений с подчинением Обсерватории IX Отделу ГУГМС Красной Армии». Первым исполняющим обязанности начальника Обсерватории был назначен Н.П. Коноплев. Уже через неделю на подпись начальнику Главного Управления Гидрометслужбы Красной Армии, знаменитому полярнику, бригадному инженеру Евгению Константиновичу Федорову были представлены Положение об Обсерватории и план работ до конца 1941 года. Общий штат молодого института насчитывал всего 36 единиц. Большинство из них составляли сотрудники Аэрологической обсерватории ЦИПа и шесть человек - из штата Московской Геофизической Обсерватории.

Деятельность предшественницы нашей Центральной аэрологической обсерватории, Аэрологической обсерватории ЦИПа, «созданной в 1940 году по инициативе О.Г. Кричака, С.С. Гайгерова, Н.З. Пинуса и др. основывалась на широком использовании воздухоплавательных средств для различных экспериментальных работ. При этом основной лабораторией была сама атмосфера. Одной из тем было изучение трансформации движущихся воздушных масс, другой – физика и микрофизика облаков, третьей – изучение атмосферных фронтов. Кроме того, с самого начала своей деятельности Аэрологическая обсерватория приступила к изучению высоких слоев атмосферы. Среди этих работ особое место занимали высотные полеты субстратостатов. В исследованиях участвовали О.Г. Кричак, С.С. Гайгеров, Н.З. Пинус, В.А. Белинский, П.Ф. Зайчиков, А.М. Боровиков, В.Д. Решетов и др. Воздухоплавательную часть возглавлял М.Н. Канищев. Полеты, в основном, проводились воздухоплавателями А.А. Фоминым, Г.И. Голышевым, С.А. Зиновьевым, А.Ф. Крикуном, Б.А. Неверновым, П.П. Полосухиным»^{*}.

Начиная с момента создания Обсерватории и далее на протяжении почти двух десятилетий пилотируемое воздухоплавание в научных исследованиях в ЦАО играло значительную роль. Пилоты-аэронавты Г.И. Голышев, А.Ф. Крикун, Б.А. Невернов, А.А.Фомин и П.П. Полосухин осуществили рекордные полеты в открытой гондоле до нижней границы стратосферы. Пилоты Обсерватории установили несколько международных рекордов по продолжительности и высоте полета на аэростатах.

В 1941 г. многие сотрудники ушли на фронт, полеты были прекращены. Работа развивалась «в двух направлениях: разработка новых методов аэрологических наблюдений и конструирование приборов для проведения наблюдений для служб погоды войск ПВО. К чести коллектива надо сказать, что наблюдения не прекращались ни один день. А ведь, сколько было трудностей, связанных с необходимостью возвращать радиозонды и ремонтировать их для повторных запусков! Сколько риска и опасности было связано с самолетным зондированием! Тем не менее, оно проводилось регулярно»^{**}.

^{*} В тексте использованы выдержки из статьи Голышева Г.И., Хргиана А.Х. Центральная аэрологическая обсерватория и некоторые итоги ее работы. Труды ЦАО. 1971.с.3-13

^{**} Там же.

В 1943 г. Главное управление гидрометеорологической службы приняло решение возложить на ЦАО функции общесоюзного научно-методического аэрологического центра, поскольку ранее исполнявший эту функцию Институт аэрологии ГГО в Павловске был разрушен фашистами.

В том же 1943 году В.В. Костарев предложил применить радиолокаторы для определения ветра в атмосфере и, тем самым, сделать наблюдения ветра всепогодными. За короткое время был разработан и внедрен метод ветрового радиозондирования атмосферы. Радиозонды, на которые устанавливались дипольные или уголкового радиолокационные отражатели, сопровождалась с помощью радиолокаторов. По синхронным записям координат зонда и телеметрического сигнала строили профили температуры, влажности и ветра. С внедрением изобретения В.В. Костарева завершилось создание современного облика системы температурно-ветрового зондирования атмосферы, начало которому было положено изобретением в 1930 г. П.А. Молчановым первого радиозонда.

В создании и становлении Обсерватории огромную роль сыграл ее директор Г.И. Голышев. Он был инициатором многих направлений деятельности ЦАО.

В 1946 г. ЦАО принимала участие в ряде крупных исследований заключавшихся в проведении полетов, целью которых являлось выполнение исследований под руководством С.Н. Вернова. С участием ЦАО «С.Н. Вернов провел наиболее важные эксперименты в стратосфере, создал Долгопрудненскую научную станцию ФИАН для изучения космических лучей в стратосфере. Чтобы понять природу космических лучей, естественно было проводить эксперименты в верхней стратосфере. Однако, на этом пути была существенная трудность, которая заключалась в том, что в то время экспериментатор не имел возможности подняться с приборами на высоту более 10 км, и нужно было разрабатывать автоматический прибор, проводящий измерения без участия человека».* В то время большую поддержку ЦАО оказал президент Академии Наук СССР С.И. Вавилов.

Было предложено техническое решение для создания автоматических стратостатов, которые впоследствии нашли широкое применение для исследования стратосферы и летных испытаний новых видов аппаратуры. К 1947 г. относится создание и начало использования автоматических аэростатов. В 1948 г. с летной площадки ЦАО впервые удалось поднять автоматический стратостат с грузом 125 кг до высоты, примерно, 22 км и обеспечить затем его нормальную посадку. В дальнейшем подобные научно-исследовательские полеты на аэростатах и субстратостатах стали для ЦАО регулярными. Полеты автоматических стратостатов позволили получить уникальные данные о радиационных и оптических характеристиках атмосферы и ее составе. Стратосферные исследования с использованием автоматических стратостатов ЦАО продолжались вплоть до 1991 г. Полученный опыт организации стратосферных экспериментов применяется и используется и в настоящее время. За период 1991-2011 гг. сотрудники ЦАО приняли участие в организации и проведении практически всех осуществленных в Арктике международных кампаний аэростатных исследований атмосферы, в основном направленных на изучение состояния озонового слоя Земли.

Еще до окончания войны началось восстановление и развитие аэрологических наблюдений в масштабе всей страны. Для организации этой работы в послевоенные годы был увеличен штат Обсерватории, ей была предоставлена новая техника, радиолокационные станции, самолеты, аэростаты. После окончания войны в Обсерваторию возвратились ее старые сотрудники (Н.З. Пинус, С.С. Гайгеров, А.С. Масенкис), коллектив Обсерватории укрепился (пришли работать А.Х. Хргиан, И.И. Гайворонский, В.Г. Кастров), началось широкое развитие экспериментальных исследований атмосферы. Восстанавливалась аэрологическая сеть, создавалась сеть самолетного зондирования, продолжались воздухоплавательные исследования, начинались новые работы на основе озонметрических измерений. Перед Обсерваторией ставились также задачи, которые были связаны с послевоенной безопасностью страны.

В 1946 г. сеть радиоветрового зондирования насчитывала 22 станции, около ста станций радиозондирования и трехсот шаропилотных пунктов. В это же время началось развитие ЦАО как всесоюзного методического центра в области аэрологии.

В 1950 г. при участии ЦАО создана система радиозондирования А-22-«Малахит», впоследствии модернизированная в радиолокационную систему путем оснащения дальномерной приставкой.

В 1985 г. завершено создание и началось внедрение на аэрологической сети новой системы радиозондирования АВК-1-МРЗ, разработанной при активном участии ЦАО. С помощью АВК-1

* Ю.И.Логачев, М.И.Панасюк, Ю.И.Стойков. Сергей Николаевич Вернов и космические лучи, ч. 1.

производится автономная автоматическая обработка данных непосредственно на станциях вплоть до выдачи аэрологических телеграмм.

Жизнь в самой Обсерватории также налаживалась. В 60-70-е годы государством были выделены значительные средства для расширения ЦАО – началось строительство научного городка с полной инфраструктурой: в 1948 г. был построен корпус воздухоплавательного отдела, а позже, в послевоенном сталинском стиле был построен административно-лабораторный корпус. На существующей территории были построены лабораторный корпус отдела фазовой кинетики и динамики атмосферы (1963 г.), корпус экспериментально-производственных мастерских, корпус отдела аэрологии (1967 г.), лабораторный корпус (1969 г.), озонометрический павильон. В том же 1969 г. в ЦАО появился свой просторный конференц-зал с большим светлым помещением библиотеки и читальным залом, своя столовая. К 1971 г. ЦАО занимало территорию в 18,7 га с девятью основными корпусами, не считая вспомогательных объектов и строений, предназначенных для выпуска радиозондов, водородохранилища, гаража, котельной, складов и прочих построек. В 1955 г. был создан уникальный спецобъект «Чаша» - радиолокатор вертикального зондирования, имеющий железобетонный металлизированный рефлектор с диаметром 20 м. С 1957 по 1963 г.г. под научно-методическим руководством ЦАО функционировала первая и единственная в мировой практике сеть самолётного зондирования атмосферы, состоящая из 31 пункта на территории бывшего СССР.

Кроме этого, на базе ЦАО была создана сеть полевых экспериментальных баз (ПЭБ) и станций ракетного зондирования (СРЗА). ПЭБ в Рыльске (Курской области), в Пензе, в Молдавии (Корнешт), СРЗА в Астраханской области (г. Капустин Яр), СРЗА на арктической обсерватории о. Хейса, в Казахстане (г. Приозерск), СРЗА на станции Молодежная в Антарктике, на полигоне Тумба (Индия), в г. Ахтопол (Болгария), на о. Кергелен (Франция), в г. Цингст (Германия) и др., СРЗА морского базирования на НИС «А.И. Воейков», НИС «Б.М. Шокальский», «Академик Ширшов», «Академик Королев» и НИСП «Прилив», «Волна», «Муссон», «Пассат», «Виктор Бугаев», «Георгий Ушаков», «Эрнст Кренкель».

Без преувеличения можно сказать, что период с середины 1960-х до середины 1980-х годов был «золотым веком» для ЦАО. Обсерватория представляла собой научный городок, с многочисленной сетью по стране, жизнь которого полностью была посвящена изучению атмосферы. География экспедиционных исследований ЦАО охватывала пространство от Северного полюса до Южного, и от Восточного полушария до Западного.

На сегодняшний день ЦАО продолжает исследования атмосферы на полевой базе в Рыльске, на СРЗА о. Хейса, СРЗА г. Знаменска. Планируется строительство СРЗА Тикси.

В 90-е годы из-за отсутствия финансирования существенно уменьшился объем научных исследований. В тяжелых экономических условиях коллектив ЦАО приложил много усилий для обеспечения методического руководства работой аэрологической сети, модернизации комплексов АВК и разработки новых технических средств. Было разработано новое Наставление по производству радиозондирования, модернизированы 80 комплексов АВК, завершена разработка и испытания аэрологического радиолокационного вычислительного комплекса (АРВК) нового поколения МАРЛ-А с активной фазированной антенной решеткой, созданного на современной элементной базе.

С середины 2000-х годов начался период модернизации и одновременного восстановления сети радиозондирования. К настоящему времени, на сети установлено уже более 50-ти АРВК МАРЛ-А. Существенный вклад внесла ЦАО в методическое сопровождение реализации проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета», в рамках которого на аэрологическую сеть было поставлено 60 новых АРВК: 34 МАРЛ-А и 26 Вектор-М. Существенный вклад внесли ученые ЦАО в развитие метеорологической радиолокации. Уже в 1946 г. в ЦАО В.В. Костаревым впервые в России начато применение радиолокационных станций сантиметрового диапазона для обнаружения ливней и гроз. Под его руководством в начале 50-х годов была создана первая радиолокационная сеть штормового оповещения. В 60-е и 70-е годы в ЦАО под научным руководством В.В. Костарева был выполнен цикл теоретических и экспериментальных работ по разработке радиолокационных методов измерения осадков, атмосферной турбулентности, ветра. Эти исследования позволили превратить метеорологический радиолокатор в средство измерения параметров облаков и осадков. Работы этого направления были удостоены Государственной премии СССР. В 1980 г. по инициативе ЦАО и при поддержке Моссовета была создана первая в России сеть автоматизированных метеорологических радиолокаторов «Московское кольцо», объединившая радиолокационные метеорологические комплексы в Москве, Калуге и Рязани.

В 1948 г. ЦАО включается в разработку метеорологической ракеты, успешные летные испытания которой были проведены в октябре 1951 г. Первая в мировой практике метеорологическая ракета МР-1 с высотой подъема 90 км успешно эксплуатировалась до 1959 г. Данные, полученные с помощью этой ракеты, легли в основу первой версии стандартной атмосферы СССР (ГОСТ 4401-64).

В дальнейшем был создан ряд твердотопливных метеорологических ракет: МР-12 (высота подъема 180 км), М-100 Б (высота подъема 90 км) и ММР-06 (высота подъема 60 км). Этими ракетами была оснащена сеть станций ракетного зондирования, охватывавшая Восточное полушарие от Земли Франца-Иосифа до обсерватории Молодежная в Антарктике (8 наземных и 8 корабельных станций). Большой вклад в развитие сети станций ракетного зондирования внес Г.А. Кокин. Результаты ракетного зондирования позволили создать еще несколько версий стандартных атмосфер СССР (ГОСТ 4401-73, ГОСТ 22721-77 и ГОСТ 24631-81). Данные ракетного зондирования легли в основу Международных справочных атмосфер Международного комитета по космическим исследованиям и Международной организации стандартизации. Ракетное зондирование являлось важным элементом обеспечения испытаний высотных летательных аппаратов, а накопленный массив данных был использован для проведения исследований структуры, движений и состава средней атмосферы. В последние годы особое внимание было обращено на изучение озоносферы, особенно в районах, характерных аномальными изменениями озона, в Арктике и Антарктике.

Данные ракетного зондирования позволили обнаружить значительное охлаждение верхней и средней атмосферы, более 30°K за 30 лет, что указывает на необходимость дальнейшего уточнения стандартной атмосферы.

В 90-е годы в связи со сложными экономическими условиями сеть станций ракетного зондирования практически прекратила свое существование. Из всех станций была сохранена единственная станция - СРЗА г. Знаменска Астраханской области, где в настоящее время осуществляется регулярное метеорологическое зондирование высоких слоев атмосферы. В соответствии со «Стратегией деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учетом аспектов изменения климата)», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 сентября 2010 г. № 1458-р, предусмотрена модернизация и расширение сети пунктов ракетного зондирования атмосферы, которая к 2015 г. должна состоять из 3 станций – СРЗА г. Знаменска, о. Хейса и Тикси. При этом будут использоваться принципиально новые метеорологические ракеты класса «Дарт» с высотой подъема до 100 км.

С 60-х годов XX века в ЦАО важным направлением работ стало развитие численных моделей динамики и температурного режима средней атмосферы и термосферы до высот 500 км (А.И. Ивановский). Были созданы также численные модели атмосферных приливов, в том числе учитывающие вклад электрических полей. Эти модели впервые позволили сопоставить данные об атмосфере на этих высотах, полученные с помощью ракет и спутников. В настоящее время в Обсерватории созданы глобальные трехмерные модели химического состава, температурного режима и циркуляции средней атмосферы, которые позволяют корректно исследовать механизмы изменчивости атмосферы, в том числе вклад различных факторов солнечной активности.

В 1967 г. в составе отдела спутниковой метеорологии была создана Лаборатория телевизионных устройств (Горелик А.Г.), основной задачей которой было создание новых методов и технических средств СВЧ радиометрического зондирования атмосферы. С 1968 г. впервые в мире были проведены работы по совместному радиолокационно-радиометрическому зондированию параметров облаков и осадков. Результатом этих работ явилось создание основ спутникового микроволнового тепловидения. На успешность выполнения работы указывает тот факт, что с 1969 г. ЦАО стало головной организацией в системе Гидрометслужбы СССР в области радиометрического зондирования атмосферы. В 1974 г. на спутнике «Метеор – 18» был запущен разработанный в ЦАО СВЧ поляриметр для комплексного исследования облачности, осадков, волнения моря, и ледяного покрова. Таким образом, впервые микроволновая радиометрическая аппаратура была установлена на оперативном метеорологическом спутнике, где она успешно проработала около двух лет.

В 60-е годы ЦАО подключилась к работам по созданию аппаратуры для зондирования атмосферы с помощью ИСЗ. За короткое время был создан отдел спутниковой метеорологии, который оказал значительное влияние на развитие спутниковой наблюдательной системы. Этот отдел впоследствии вошел в состав вновь организованного Государственного научно-исследовательского Центра по изучению природных ресурсов.

В 1982 г. начались работы по созданию бортового озонметрического прибора СФМ-1 для КА «Метеор». Он был установлен на борт КА «Метеор-Природа 3-2» в 1983 г. Второй экземпляр прибора СФМ-1 был установлен на КА «Метеор-3» и функционировал с конца 1988 г. по 1990 г. Была произведена глубокая модернизация этого прибора и новые варианты его - СФМ-2 - были установлены последовательно на борт КА «Метеор-3» №№ 3, 4, 5 и функционировали с 1988 г. по 1993 г. С помощью этих приборов были получены данные о вертикальном распределении плотности озона в полярных районах Северного и Южного полушарий в диапазоне высот 35-80 км. В настоящее время прибор СФМ-2 усовершенствован, два его образца были установлены на КА «Метеор-3М» №1.

С 1986 года в Лаборатории радиосистем отдела физики высоких слоев атмосферы были начаты циклы работ по созданию бортовых спутниковых спектрорадиометров миллиметрового диапазона волн для измерений профилей температуры стратосферы и профилей концентрации озона. Были созданы совместно с ИКИ РАН уникальные микроволновые спектрорадиометры с центральными частотами 60 ГГц и 144 ГГц, которые были использованы в 1989-1990 г.г. в семи пусках высотных аэростатов (с высотой подъема до 42 км) на полевой экспериментальной базе ЦАО (г. Рильск, Курской области). Эти результаты вошли в перечень важнейших достижений Академии наук СССР за 1990 г.

В рамках межправительственного соглашения между СССР и США об исследовании и использовании космического пространства в мирных целях от 15 апреля 1987г. Госкомгидромет СССР подписал соглашение с NASA США об установке американского прибора ТОМС на советском космическом аппарате «Метеор-3». По этому соглашению на ЦАО были возложены функции по созданию алгоритмов обработки, архивации и распространению информации о ежесуточном глобальном распределении общего содержания озона (ОСО) по данным прибора ТОМС. Разработанные алгоритмы и программы обеспечили оперативный мониторинг глобального ОСО с 1991 по 1995 г.г. по данным Метеор-3/ТОМС, а с 1996 г. по настоящее время – ежесуточное глобальное картографирование, анализ, архивацию и распространение информации об ОСО по данным зарубежной спутниковой аппаратуры OMI. В рамках этих работ сотрудниками Обсерватории создан уникальный для России архив ежесуточных данных ОСО с 1978 г. по 1994 г. и с 1996 г. по настоящее время.

Дальнейшее развитие теоретических и практических работ по космическому мониторингу газового и аэрозольного состава атмосферы это направление получило в рамках российско-американского проекта Метеор-3М/SAGE-3. Созданный в Обсерватории аппаратно-программный комплекс для обработки «сырой» информации от американской аппаратуры SAGE-3 позволили осуществить оперативный мониторинг вертикальных профилей озона, двуокиси азота, водяного пара, экстинкции аэрозоля в период с 2002 по 2006 г.г. Созданные алгоритмы обеспечили получение функции пропускания атмосферы на наклонных трассах в диапазоне высот от 10 до 90 км с вертикальным разрешением 0,5 км. Полученная в рамках проектов ТОМС и SAGE-3 экспериментальная информация является одним из важнейших источников для исследования процессов протекающих в озоносфере.

В 1963 г. в ЦАО впервые в России были начаты работы по созданию и использованию лазерного локатора для зондирования атмосферы. Результаты этих работ явились основой для создания в России нового направления в дистанционных исследованиях атмосферы.

В 1968 г. в ЦАО зарегистрировано открытие существования области повышенной ионизации на высотах от 10 до 40 км и области пониженной ионной концентрации на высотах 50-70 км. В 1975 г. в ЦАО открыто явление аномального рассеяния радиоволн атмосферными облаками.

В 70-80 г.г. ЦАО выполнен цикл пионерских исследований по применению диодной лазерной спектроскопии для высокочувствительного газоанализа и исследования состава атмосферы. Работы по этому направлению проводились ЦАО в содружестве с коллективами ученых Академии наук СССР (Физический институт им. П.Н. Лебедева, Институт общей физики, Институт спектроскопии) и Института атомной энергии им. И.В. Курчатова. В 1985 году за создание методов диодной лазерной спектроскопии и их применения заведующий лабораторией ЦАО, Хаттатов В.У., участвовавший в этом цикле работ, был удостоен Государственной премии СССР в области науки и техники.

В 70-е годы были начаты работы по исследованию возможностей использования геофизических лидаров на космических аппаратах с целью получения глобальной информации о характеристиках атмосферы. В ЦАО это направление работ было развито под руководством В.М. Захарова. Совместно с разработчиками лазерного высотомера космического базирования в ЦАО был проведен цикл теоретических исследований и методических работ по обоснованию возможностей лазерного зондирования параметров атмосферы из космоса. В 1987 г. зав. отделом ЦАО В.М. Захаров, участвовавший в этом цикле работ, был удостоен Государственной премии СССР в области науки и техники.

В 1992 г. с целью объединения усилий специалистов, занимающихся радиометрическими измерениями параметров атмосферы, в ЦАО, по инициативе А.А. Черникова, была образована новая Лаборатория дистанционного зондирования. В 1992 – 2010 г.г. усилиями новой лаборатории в ЦАО был разработан целый ряд новых приборов, не имевших аналогов в мире, в частности: микроволновый температурный профилемер МТП-5, прибор для прогноза обледенения самолетов ДОС; система для прогноза возникновения и диссипации туманов на автомагистралях, автоматизированная система для контроля состояния дорожных покрытий ДИСКО, радиолокационный измеритель осадков АБО «Капля» и многие другие. Данные приборов МТП-5, установленных в г. Москва и в 17 городах используются в оперативной практике для составления краткосрочных прогнозов погоды и прогнозов распространения загрязнений. Разработанные в ЦАО микроволновые температурные профилемеры были закуплены и успешно используются в таких странах, как США, Япония, Италия, Нидерланды, Испания, Швейцария, Австралия, Франция, Китай, Тайвань, демонстрировались на многих международных и всероссийских выставках. Полярная версия температурного профилемера более года в непрерывном режиме успешно отработала в 2004-2005 г.г. на франко-итальянской антарктической станции «Конкордия», при температуре ниже минус 78°C.

Исследования по физике облаков были начаты в ЦАО с момента ее создания и продолжались на протяжении всей истории Обсерватории. Научный фундамент многолетних исследований был заложен создателями наиболее авторитетной в нашей стране школы физики облаков - А.Х. Хргианом и А.М. Боровиковым. Накопленные в ЦАО результаты измерений позволили получить уникальные данные о микроструктуре, а также фазовом строении облаков в различных регионах СССР в разные сезоны. Были получены уникальные по объему сведения о макро- и мезоструктуре облаков, о вертикальном распределении размеров и концентрации облачных элементов, их фазовом состоянии, водности, зависимости микрофизических параметров облаков различных типов от высоты, сезона, мезо- и макросиноптических условий. Эти данные широко используются у нас в стране и за рубежом. Впервые были выполнены детальные исследования атмосферных параметров в перистых и в кучево-дождевых облаках различных регионов.

В 1945-2000 г.г. был выполнен большой цикл научно-прикладных исследований по авиационной метеорологии. Впервые в нашей стране для изучения облаков и строения полей влажности, температуры и ветра в свободной атмосфере были использованы специально оборудованные многочисленной оригинальной измерительной аппаратурой самолеты метеолaborатории. Большая часть исследований касалась изучения влияния на полеты неоднородностей в полях ветра в облаках и в ясном небе, исследованию таких явлений как обледенение воздушных судов, факторов, определяющих видимость на различных высотах. Большое внимание уделялось также возмущениям, возникающим в атмосфере под влиянием орографических, термических и других неоднородностей подстилающей поверхности. Наиболее полным, как в нашей стране, так и в других странах, был цикл самолетных исследований турбулентности и ее энергетики в тропосфере и нижней стратосфере.

Успехи в области физики облаков заложили основу для изысканий методов искусственного воздействия на облака и туманы, которые развивались в Обсерватории начиная с 1948 г. В 1951 г. в ЦАО под руководством И.И. Гайворонского впервые разработана методика самолетного рассеяния переохлажденных туманов в аэропортах с помощью твердой углекислоты и начаты оперативные работы в двух аэропортах. В дальнейшем в ЦАО были разработаны разнообразные наземные и самолетные углекислотные распылительные установки и создана отечественная методика рассеяния переохлажденных туманов для нужд авиации наземными средствами. В 80-е годы в ЦАО создается новая, экологически чистая и высокоэффективная, технология рассеяния туманов с помощью жидкого азота, с успехом примененная в 1997-2001 г.г. в контрактных работах по рассеянию туманов в аэропортах и на автодорогах Северной Италии.

В 1958 г. ЦАО и Институт геофизики Академии наук Грузии первыми в стране разработали ракетный метод борьбы с градобитиями. Для диспергирования в ракетах льдообразующих веществ ЦАО совместно с Научно-исследовательским институтом прикладной химии был предложен и применен пиротехнический способ, ставший затем основой всех отечественных аэрозольных средств активных воздействий. На базе созданного противоголового метода в 1961 г. была организована первая в стране противоголового служба в Грузии и в 1964 г. – в Молдавии, что положило начало созданию общегосударственной системы оперативных служб по борьбе с градобитиями. В 1969 г. за разработку и внедрение методов и средств борьбы с градом И.И. Гайворонский и Ю.А. Серегин были удостоены Государственной премии СССР.

Принципиально новой разработкой ЦАО в области активных воздействий явилось создание в 70-х годах динамического метода разрушения конвективных облаков. Обширным комплексом натурных и лабораторных экспериментов была показана возможность инициирования нисходящих потоков и разрушения мощных конвективных облаков введением в их вершины грубодисперсных порошков нерастворимых веществ. Метод подавления развития облаков был использован для уменьшения выпадения осадков при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

В 90-е годы в ЦАО отработана технология оперативного увеличения осадков для нужд различных отраслей народного хозяйства. В результате участия в Международном проекте по увеличению осадков (ПУО), в Испании в 1979-1981 г.г., проведения обширной серии рандомизированных экспериментов на Пензенском метеорологическом полигоне, выполнения по Межправительственному соглашению пятилетнего рандомизированного эксперимента на острове Куба в 1984-1988 г.г., выполнения шестилетнего коммерческого проекта на территории Сирийской Арабской Республики, в ЦАО создан метод, позволяющий осуществлять операции по увеличению осадков на площади более 150 тысяч квадратных километров с сезонным увеличением осадков на 12-15%. В настоящее время метод успешно используется в коммерческом проекте по увеличению водных ресурсов в провинции Йязд Исламской республики Иран (1999 -2007 г.г.).

Разработанные в ЦАО методы регулирования атмосферных осадков начиная с 1995 г. и по настоящее время активно применяются в работах по улучшению погодных условий над мегаполисами в дни празднования национальных праздников. Это работы по случаю празднования Дня Победы в Великой Отечественной Войне (Москва, 1995, 2000, 2003 – 2011 г.г.), это празднование Дня России (Москва, 2003 – 2011 г.г.), празднование Дня города (Москва, 2003 – 2011 г.г.), празднование 300-летия Санкт-Петербурга (2003 г.), проведение международных спортивных мероприятий (Москва, 2003 г.), проведение Саммита «Большая восьмерка» (Санкт-Петербург, 2006 г.), проведение Саммита «ШОС» (Екатеринбург, 2006 г.) и многие другие мероприятия. В течении пяти полевых сезонов (1995, 1997, 2003, 2004, 2005 г.г.) были проведены оперативные работы по увеличению осадков в Республике Саха Якутия в бассейне рек Лены и Амги.

В 2004 г. ведущими НИИ Росгидромета под руководством ЦАО были завершены трехлетние исследования по разработке методов комплексной оценки возможного вредного влияния на окружающую среду при работах по активным воздействиям на метеорологические и геофизические процессы. В ходе этой работы были детально изучены и обобщены все возможные неблагоприятные воздействия на природную среду и условия жизнедеятельности людей при проведении различных видов активного воздействия на погоду и получены оценки предельных уровней неблагоприятного воздействия. При этом, на большом статистическом материале было установлено, что создаваемые активными воздействиями уровни загрязнения воздуха, воды и почвы вредными примесями во всех случаях на несколько порядков ниже фоновых уровней присутствия этих веществ в природной среде.

Под научно-методическим руководством ЦАО была создана и функционировала с 1957 по 1963 г. первая и единственная в мировой практике сеть самолетного зондирования атмосферы, состоящая из 31 пункта на территории СССР. С помощью самолетов было выполнено много уникальных крупномасштабных экспериментов и производственных работ по исследованиям атмосферы и активным воздействиям, как в России, так и за рубежом.

В 1993-95 г.г. специалисты ЦАО приняли активное участие в создании летающей лаборатории на базе высотного самолета-разведчика М-55 «Геофизика». С помощью летающей лаборатории в 1997-2010 г.г. были проведены исследования озонового слоя, полярных стратосферных облаков, газового и аэрозольного состава нижней стратосферы в экваториальной зоне, тропиках, Арктике и в Антарктиде.

Значительное внимание в Обсерватории уделялось теоретическим исследованиям и моделированию атмосферных процессов. В 60-70-е годы во всем мире важным инструментом атмосферных исследований стали численные эксперименты с использованием современных высокопроизводительных электронно-вычислительных машин (ЭВМ). С 1960 г. Обсерватория подключилась к этому направлению - интенсивно проводились разработки численных моделей конвективных, слоистообразных и фронтальных облаков, а также мезомасштабных образований во внеоблачной части атмосферы. На этих моделях изучены многие, ранее не известные, особенности процесса осадкообразования при естественной эволюции фронтальной облачности и при искусственных воздействиях на нее.

Первые наблюдения за состоянием озонового слоя в атмосфере в ЦАО проведены в 1957 г. в период Международного геофизического года. В ЦАО были проведены измерения общего содержания озона и его концентраций наземной аппаратурой и устанавливаемой на самолетах и метеорологических ракетах. Исследования озонового слоя вновь активизировались в 80-е годы, когда в мире было зарегистрировано постепенное уменьшение общего содержания озона в глобальном масштабе. С 1988 г. в ЦАО впервые был начат оперативный мониторинг состояния озонового слоя. Для России и прилегающих территорий в период 1991-1997 г.г. издавался специальный бюллетень о состоянии озонового слоя, позднее стали печататься ежеквартальные обзоры о состоянии озонового слоя в журнале «Метеорология и гидрология». В связи с наблюдаемым уменьшением общего содержания озона с 1988 г. особое внимание было уделено мониторингу ультрафиолетовой облученности территорий. В 1998 г. в ЦАО разработана система и начат мониторинг УФ-Б облученности территории России и прилегающих государств.

Под влиянием идей А.Х. Хргиана, сотрудники ЦАО выполнили комплексные исследования связи атмосферного озона с основными элементами динамики атмосферы. Исследования сотрудников ЦАО показали, что существенный вклад в отрицательные тренды озона, наблюдаемые в период 1978-1996 г.г., внесли естественные факторы, связанные с трендами (колебаниями) циркуляции атмосферы и солнечной активности, а также вулканическими извержениями. Показано, что количественный вклад естественных факторов в наблюдаемый тренд озона, различный в разные сезоны и в различных регионах, составил около 50 % от величины наблюдаемого общего тренда.

С 1991 г. в ЦАО начаты, и до настоящего времени продолжаются, регулярные наблюдения приземной концентрации озона. Установлено, что с конца 1990-х г.г. концентрации приземного озона в Московском регионе в теплое время года стали превышать разовые предельно допустимые концентрации для населенных мест. Определены характеристики изменчивости приземного озона, их связи с изменчивостью метеопараметров, идентифицированы метеорологические ситуации, когда концентрации приземного озона превышают предельно допустимые. На основе найденных закономерностей разработана оригинальная методика прогнозирования суточных максимумов приземного озона.

За прошедшие годы в ЦАО выполнено большое количество научно-исследовательских работ в области метеорологии и физики атмосферы, многие из которых были пионерскими. Сейчас Центральная аэрологическая обсерватория является одним из ведущих научно-исследовательских и научно-методических учреждений Федеральной службы России по гидрометеорологии и охране окружающей среды. В настоящее время научно-исследовательская работа в ЦАО проводится в следующих направлениях:

- высотное зондирование атмосферы, разработка прямых и косвенных методов наблюдения и контроля параметров атмосферы с помощью радиозондов, высотных аэростатов, ракет, самолетов-лабораторий, радио- и оптических локационных средств, космических аппаратов и т.п.;
- экспериментальные и теоретические исследования физики и химии свободной атмосферы, изучение механизма образования облаков и осадков с целью усовершенствования методов прогнозов метеорологических явлений и разработки методов активных воздействий на опасные метеорологические явления;
- исследования и мониторинг состояния озонового слоя Земли;

В разные годы ЦАО возглавляли такие видные ученые и практики, как Г.И.Голышев, В.Д. Решетов, Е.Г. Швидковский, А.А. Черников, А.А. Иванов. Огромную роль в создании и становлении Обсерватории сыграл ее первый директор, лауреат Ленинской премии, лауреат Государственной премии СССР пилот-воздухоплаватель Г.И.Голышев. Он был инициатором многих направлений деятельности ЦАО. На этом посту его сменил лауреат Государственной премии СССР, профессор А.А. Черников, который до конца 2005 г., четверть века, в том числе и в наиболее трудные годы перестройки, возглавлял Обсерваторию. А.А. Черников уделял большое внимание развитию дистанционных методов исследования атмосферы. С 2005 г. по 2009 г. директором ЦАО был А.А.Иванов. В 2009 г. директором Обсерватории назначен Ю.А. Борисов.

ЦАО всегда, одной из первых, откликалась на призывы Родины и в период Великой Отечественной войны, и в период прорывных усилий отечественной науки в изучении природы: исследованиях атмосферы в труднодоступных районах, в том числе в Арктике и в Антарктиде, на научно-исследовательских судах в водах Мирового океана, в создании сети ракетного зондирования, в разработке методов и средств активного воздействия на облачность. Только в ликвидации аварии на ЧАЭС по призыву страны участвовало 76 сотрудников Обсерватории.

Центральная аэрологическая обсерватория приобрела известность и авторитет среди других научно-исследовательских институтов в нашей стране и за рубежом исключительно благодаря усилиям нескольких поколений наших сотрудников, многие из которых отмечены Государственными премиями, высокими правительственными или ведомственными наградами. Ученые ЦАО продолжают нести вахту исследователей атмосферы. В 2000 г. Ю.В. Мельничуку присвоено почетное звание «Заслуженный метеоролог Российской Федерации», А.А. Иванов награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством II степени», в 2004 г. Н.А. Зайцевой, и в 2010 г. Г.П. Берюлеву присвоены звания «Заслуженный метеоролог Российской Федерации». В 2009 г. Г.П. Берюлев стал лауреатом Государственной премии.

ЦАО создавалась как научно-методический и как научно-исследовательский центр в области аэрологии. Мы всегда стремились, что бы наше учреждение обладало широкими техническими возможностями для проведения разнообразных исследований в свободной атмосфере, одновременно развивая работы теоретического плана. В последние два года Обсерватория включилась в решение новой задачи, поставленной перед коллективом – создание современного поколения многоцелевых летающих метеорологических лабораторий для изучения тонкой структуры атмосферы. Восстановление научных исследований атмосферы с помощью самолетов-лабораторий является делом чести коллектива Обсерватории, ведь именно это направление в 70-80 годы привело к созданию уникальных, не имеющих аналогов в мире, измерительных бортовых комплексов для изучения атмосферы, мезоструктуры термодинамических полей, микрофизических характеристик облачности, турбулентности атмосферы. С помощью самолетов-лабораторий были выполнены циклы работ по изучению строения струйных течений, структуры турбулентных зон в тропосфере, мезомасштабной структуры полей температуры и ветра, полей облачности и осадков атмосферных фронтов, энергетики циклонических образований, выполнены многие другие научные и прикладные задачи. Полученные экспериментальные результаты позволили ЦАО создать первые мезомасштабные модели атмосферных фронтов. Перед ЦАО также стоит задача восстановления сети ракетного зондирования. Именно на базе ракетных исследований была создана первая версия стандартной атмосферы СССР.

Школа геофизических исследований, школа физики облаков, созданные в ЦАО, воспитали не одно поколение исследователей, их научные труды известны как в нашей стране, так и за рубежом. Формируя научный коллектив, администрация Обсерватории стремится к привлечению молодых специалистов и подготовке кадров высшей квалификации через обучение в аспирантуре ЦАО выпускников лучших ВУЗОВ страны - МГУ, МФТИ, МИФИ. Сейчас в ЦАО подрастает новая смена молодых ученых – сотрудники научных коллективов надеются передать опыт и знания в надежные руки.

В настоящем издании приводятся краткие обзоры по основным направлениям деятельности Обсерватории за годы, прошедшие с момента ее образования. Знакомя с этими материалами участников юбилейного заседания Ученого совета ЦАО, авторы будут искренне удовлетворены, если они помогут в общих чертах представить путь, пройденный коллективом нашей Обсерватории за этот период.

The 70th anniversary of the Central Aerological Observatory

The Central Aerological Observatory was established in the stern 1941 to expedite the development, fabrication and testing of new models of airborne meteorological instruments and to improve the quality of atmospheric sounding in Moscow. The Observatory was set up on the basis of the Upper-Air Observatory of the Central Institute of Weather Forecast with the staff of 36 people. The order to establish the

Observatory was signed on 8 September 1941 by E. K. Fedorov, Chief of the Main Administration of the Red Army Hydrometservice and a famous polar explorer.

In 1943, CAO was additionally assigned the functions of an All-Union Science and Methodology Center as the Aerological Institute of the Main Geophysical Observatory in Pavlovsk near Leningrad, which had previously fulfilled this function, was barbarously destroyed by fascists.

It was before the end of the war that efforts were undertaken to revive and extend upper-air observations all over the country. The Observatory was provided with new equipment, radar stations, airplanes and balloons, and its staff considerably increased.

In different periods, CAO was directed by prominent scientists and practitioners such as V.D. Reshetov, E.G. Shvidkovsky, G.I. Golyshev, A.A. Chernikov, and A.A. Ivanov. The establishment and development of the Central Aerological Observatory owes significantly to its first Director G.I. Golyshev, D.Sc., an aeronaut, Lenin Prize winner and the USSR Prize winner, who initiated the many avenues of its activity. His successor at this post, Prof. A.A. Chernikov, D.Sc., the USSR State Prize winner, was at the head of CAO for a quarter of a century, until the end of 2005, including the hardest years of the fundamental domestic reforms. In the period 2005-2009, A.A. Ivanov was CAO Director. At present, the Observatory is headed by Yu.A. Borisov..

The long history of CAO activity is rich in pioneering and breakthrough research in meteorology and atmospheric physics. Some of the advances will be briefly described below.

CAO researchers have largely contributed to the development of weather radar sounding. As early as 1943, V.V. Kostarev proposed using radar to measure wind in the atmosphere. In 1946, for the first time in the USSR, he initiated the use of centimeter-wave radar to detect shower rains and thunderstorms. Shortly after that an atmospheric rawinsonde technique was developed and introduced.

In the early 1950s, the first storm warning network was organized under Kostarev's guidance. In the 1960s and 1979s, Kostarev headed a work series devoted to the development of radar techniques to measure precipitation, atmospheric turbulence, and wind. Eventually, weather radar became a reliable tool to measure cloud and precipitation parameters. The research fulfilled was honored with the USSR State Prize.

In 1980, on CAO's initiative supported by the Moscow Council, the Russia's first automated weather radar network "Moscow Ring" was organized to integrate weather radar systems in Moscow, Kaluga, and Ryazan.

In the dramatic 1990s, facing economic hardships, the Observatory staff did a lot to provide methodological guidance of the upper-air observational network, to enhance upper-air computer systems ("AVK") and develop new equipment such a new-generation upper-air radar computer system "MARL-A". In the mid 2000s, the work to restore and simultaneously upgrade the radiosonde sounding network was started. By now, over 50 "MARL-A" systems have been installed on the network.

CAO's early efforts to construct a meteorological rocket were initiated in 1948 to results in successful test launching in October 1951. The world-first meteorological rocket MR-1 capable of reaching a 90-km level was continuously employed till 1959. The rocket data obtained underlie the first version of the USSR Standard Atmosphere. Rocket soundings have revealed a significant cooling of the upper and middle atmosphere by 30⁰K in 30 years. Therefore, the Standard Atmosphere requires further development.

New measurement instruments to be used in balloon, rocket and satellite-borne investigations have been constructed and introduced by CAO. Thus, unique microwave spectroradiometers with central frequencies of 60 and 144 **GHz** were developed jointly with the Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences. In the period 1989-1990, they were flown on 7 high-altitude (up to 42 km) balloons from CAO field experimental base in Rylsk, Kursk Region, The results obtained have been recognized among the major advances of the Academy in 1990. In 1986, the work was initiated by CAO to create a satellite-borne mm-wave spectroradiometer to measure stratospheric temperature and ozone concentration profiles.

Under the USA-USSR intergovernmental agreement on peaceful uses of cosmic space, signed in April 1987, a TOMS instrument (USA) was installed aboard the Soviet spacecraft "Meteor-3". CAO was committed to developed algorithms, software, and hardware for the acquisition and processing of TOMS data, as well

as to archive and disseminate information about the global diurnal total ozone distribution. Since 1996, the developed algorithms have been employed in the ozone layer monitoring. Russia's unique archive of daily total ozone values for the period 1978-1994 and 1996-the present time, has been compiled by CAO specialists. In 1996, CAO, in cooperation with NASA, took part in the USA-Russia project "Meteor-3M / SAGE". A large research and methodological work series was fulfilled by CAO under this project, which furnished large databases on the vertical profiles of the concentration of ozone, water vapor, NO_2 , NO_3 , and chlorine oxide, as well as on atmospheric temperature and pressure.

At the present time, organization of a network of 10 stations to carry out precision measurements of total ozone and NO_2 in different regions of the Russian Federation is under way.

Since 1991, regular observations of surface ozone concentration have been carried out. It has been established that beginning from the late 1990s, surface ozone values in Moscow area during warm seasons occasionally exceeded the level maximum permissible for populated areas. Surface ozone variability features and their relation with weather parameter variation have been established, and meteorological situations leading to surface ozone concentrations higher than maximum permissible have been identified. Based on the revealed regularities, an original technique to forecast diurnal surface ozone maximums has been devised

The period 1992 – 2010 saw the development by the specialists of a newly organized CAO laboratory of a variety of new unique instruments such as an MTP-5 microwave temperature profiler, aircraft icing forecaster, a system to forecast fog formation and dissipation at motor roads, a radar precipitation gage, and many others. In particular, MTP-5 instruments are now installed in Moscow and 17 other cities to perform operational weather and pollution forecasts, and sold to customers from the USA, Japan, France, Italy, Australia and some other countries. In 2004-2005, a polar version of this instrument successfully operated at the France-Italy Antarctic station "Concordia" at -78°C .

Noteworthy is also CAO's contribution to intended precipitation redistribution studies and operations. The technology developed at the Observatory was successfully employed in various experimental precipitation enhancement projects: in Spain (1979-1981), Cuba (1984-1988), and in a 6-year commercial project in Syria. Based on the experimental and operational data acquired, a technique that can yield additional 12-15% seasonal precipitation over an area of 150,000 km² has been developed. In recent years, the technique has been effectively used in a commercial precipitation enhancement project in Iran.

Nowadays, the Central Aerological Observatory is one of the leading research and methodological institutions of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. CAO research areas comprise:

- high-altitude atmospheric sounding, development of in-situ and remote methods and techniques of atmospheric parameter measurement and monitoring using radiosondes, meteorological rockets, aircraft labs, radar and lidar, as well as space-borne science platforms;
- experimental and theoretical studies of the free atmosphere physics and chemistry, precipitation and cloud formation mechanisms, aimed at improving weather forecast techniques and development of intended weather modification technologies;
- studying and monitoring of the Earth ozone layer.

The geophysical research and cloud physics schools of the Observatory have brought up more than one generation of researchers whose scientific work is known and recognized both in this country and abroad. CAO Administration does a lot for renewing and training the staff. Graduates from the leading Russian universities such as Moscow University, the Moscow Institute of Physics and Technology, and the Moscow Institute of Physics Engineering enroll for CAO postgraduate courses to become dedicated members of the CAO research team, who will adopt and enrich the knowledge and experience accumulated by CAO scientists.

This year, the Central Aerological Observatory is celebrating its 70th anniversary. CAO has gained its reputation and authority with the scientific community both in this country and abroad due to the dedicated work of several generations of scientists, with many of them being winners of the State Prize, as well as other departmental and governmental prizes. Currently, CAO researchers continue their honorable job of exploring the atmosphere.

This review gives a brief outline of the basic research, development, and operational activities of the Central Aerological Observatory during a 70-year period. It aims to familiarize the participants of the meeting of the Academic Council dedicated to the Observatory's jubilee with the main landmarks of CAO's development. The authors hope the material presented answers the purpose.



70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



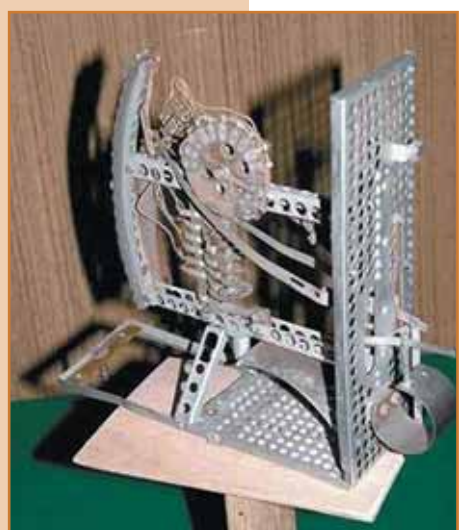
РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ
RADIOSONDE SOUNDING OF THE ATMOSPHERE

РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ

RADIOSONDE SOUNDING OF THE ATMOSPHERE



Павел Александрович Молчанов – изобретатель радиозонда.



Механическая часть конструкции первого радиозонда.

Широко известна историческая дата 30 января 1930 г., когда в Павловской аэрологической обсерватории профессор П.А. Молчанов осуществил запуск созданного им первого в мире радиозонда. С этого крупнейшего события в истории аэрологии и начинается развитие радиозондирования атмосферы в СССР, а затем и в других странах.

После первого успешного подъёма прибора в том же 1930 г. в Павловске было выпущено еще несколько радиозондов, а в следующем 1931 г. радиозондирование стало здесь основным методом исследования атмосферы. Вскоре радиозонды системы Молчанова были использованы для изучения арктической атмосферы: первые выпуски произведены во время международного арктического рейса дирижабля ЛЦ-127 «Граф Цеппелин»*, затем при проведении 2-го Международного полярного года (1931-33г.г.) радиозонды выпускались на четырех советских станциях. Ко времени проведения этих международных исследований ни одна из стран еще не располагала собственными радиозондами, хотя их разработки интенсивно велись в Германии и Франции. Поэтому во время 2-го МПГ советские радиозонды нашли применение также и на некоторых зарубежных станциях.

В 1935 году в Советском Союзе начала действовать первая в мире сеть станций регулярного радиозондирования атмосферы. Было организовано 17 аэрологических станций (АЭ); число их с каждым годом увеличивалось и к 1940 г. достигло 40. Особенно быстрое развитие сети, отвечавшее возросшим запросам и техническим возможностям, шло в послевоенные годы: в 1950 г. действовало уже 106 станций, в 1960 г. – 157, в 1990 г. – 228 (из них 18 на научно-исследовательских судах и в Антарктиде). Российская аэрологическая сеть в 1990 г. состояла из 147 АЭ.

За семьдесят лет своего развития радиозондирование атмосферы прошло целый ряд качественных этапов, которые характеризовались увеличением высоты, автоматизации измерений и обработки данных. Совершенствование техники и метода радиозондирования атмосферы всегда было тесно связано с развитием радиоэлектроники и отражало достижения в этой области.

В первые же годы гребенчатый радиозонд был существенно усовершенствован самим П.А. Молчановым и его ближайшими сотрудниками (А.А. Ершовым, Б.М. Лебедевым и др.). Прежде всего, была снижена масса прибора, что обеспечивало большую высоту зондирования. Для высотных стратосферных наблюдений был сконструирован облегченный радиозонд массой 560 г. Большим достижением было введение измерений влажности воздуха (1933 г.) и некоторые другие усовершенствования радиозонда. Проводились также исследования точности радиозондирования и радиационных ошибок (И.Б. Срезневский, А.А. Шепелевский и др.).

* В районе Северной Земли произошел запуск радиозонда. Процедура была не из простых, несмотря на то, что в оболочке дирижабля для этого существовал специальный люк. Прежде всего, из одного газгольдера брался водород для наполнения пятикубометровой оболочки. Затем к аэростату подвешивался коротковолновый радиопередатчик. Чтобы радиозонд не повредил дирижабль, зацепившись за какую-нибудь выступающую часть конструкции (гондолу, винт и т. п.), к зонду подвешивался точно рассчитанный груз, который увлекал его вниз. После нескольких секунд падения автоматическая гильотина с часовым механизмом отсекала этот грузик, и зонд уходил на высоту, передавая в эфир показания своих приборов».

(Из книги Эрнста Кренкеля «РАЕМ – мои позывные»)



Гребенчатый радиозонд П.А.Молчанова (внутреннее устройство). Изготовлен в Институте аэрологии ГГО в 1929-1930 г.г. (Фото из музея ГГО).



Гребенчатый радиозонд РЗ-049М (усовершенствованный вариант первого радиозонда Молчанова). Изготавливался в различных модификациях с 30-х по 50-е годы XX века.



Радиозонд А-22-IV. Изготавливался с конца 60-х по 80-е годы XX века.



Радиотеодолит «Малахит», рабочее место наблюдателя. АЭ Вологда.

Тогда же (1936-1937 г.г.) были начаты первые опыты совместного температурно-ветрового зондирования атмосферы путем радиопеленгации радиозондов наземными коротковолновыми приемными устройствами направленного действия. Этот метод был доработан и испытан в годы Великой Отечественной войны. В 1942-1943 г.г. на Урале (под Свердловском) ГГО была организована трехбазисная пеленгация радиозондов и разработана методика определения ветра по этим наблюдениям (П.Ф. Зайчиков, С.И. Соколов, Н.В. Кучеров). Наряду с результатами температурного зондирования в службу погоды (в Свердловск и в Москву) сообщались и данные о распределении ветра.

Однако, существенные практические результаты в этом направлении были достигнуты позже, когда метод радиопеленгации уступил свое место радиолокационному способу определения координат. В.В. Костаревым было предложено использовать радиолокатор для сопровождения шаров с пассивными отражателями. Это предложение нашло поддержку Е.К. Федорова и в 1943 г. такие работы были проведены в Центральной аэрологической обсерватории В.В. Костаревым и Г.И. Голышевым. В результате была показана возможность определения скорости и направления ветра до максимально возможных высот подъема шара. Эта методика легла в основу современного радиолокационного способа измерения скорости и направления ветра (ранее измерения координат радиозонда проводились с помощью оптических теодолитов и были ограничены высотой облачности).

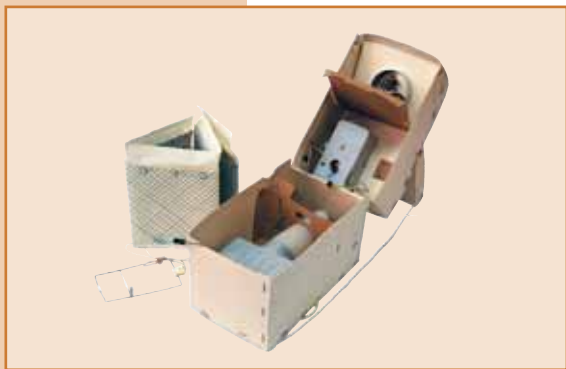
Радиозонд конструкции Молчанова, а позднее его модифицированный вариант РЗ-049 использовались на сети в течение почти 30 лет! Радиозонд РЗ-049 с пеленгуемым передатчиком ПРБ-051 на частоте 204 МГц был первым советским радиозондом, выпущенным в Антарктиде 12.02.1956 г. в обсерватории Мирный.

Гребенчатый радиозонд сменил радиозонд А-22 с баропереклюкателем, разработанный для системы радиозондирования А - 22 - «Малахит» (1957 г.), которая была первой системой, в которой объединены измерения температуры, давления, влажности, скорости и направления ветра и одновременно повышена их точность.

Радиотеодолит «Малахит», обеспечивающий проведение комплексного температурно-ветрового радиозондирования, применялся для аэрологического зондирования на широтах от Южного до Северного полюса – от Антарктиды до дрейфующих станций «Северный Полюс».

Создание комплексной системы зондирования атмосферы РКЗ - «Метеор» (Б.Г. Рождественский, М.В. Кречмер, 1959 г.), основанной на принципе использования сигнала радиолокационного ответчика для измерения дальности, позволило повысить надежность аэрологического зондирования, а применение электрического датчика температуры (терморезистора) в радиозондах РКЗ уменьшило ошибки измерений температуры на больших высотах. В ней впервые был автоматизирован процесс измерения и регистрации координат радиозонда и телеметрической информации.

Развитие электронно-вычислительной техники позволило автоматизировать трудоемкую обработку данных. Кустовая централизованная система «Атмосфера» для обработки данных, поступающих от системы зондирования А - 22 - «Малахит», позволила накопить первый опыт в этом направлении, а разработка комплекса ОКА-3 для централизованной обработки данных системы зондирования РКЗ - «Метеорит» позволила впервые внедрить автоматическую обработку в оперативную практику зондирования на целом ряде аэрологических станций.



Радиозонд РК3-5 (слева направо: датчик температуры, градуировочные графики, кожух с электромеханическим коммутатором и датчиком влажности в крышке и радиоблоком в транспортном положении в нижней части). Изготавливался с 70-х по 80-е годы XX века.



Аэрологическая РЛС Метеорит.



Радиолокатор Метеорит, рабочее место наблюдателя. АЭ Аян.



Антенна комплекса АВК-1. АЭ Братск.

Развитие сети аэрологических измерений было бы невозможно без научных исследований в области процессов измерений, обработки и взаимодействия датчиков с окружающей средой. Исследования влияния солнечной радиации на датчик температуры (С.М. Шметер, П.Ф. Зайчиков, В.Д. Решетов) позволили разработать теоретические основы радиационных поправок, которые впервые стали вводиться в значения температуры с 1957 года, а исследования адсорбционно-деформационного датчика влажности дали возможность определить его погрешности и границы применимости.

Разработка научно-методических основ измерения и обработки данных в системах зондирования атмосферы (О.В. Марфенко, П.Ф. Зайчиков) обеспечила единство измерений и однородность данных аэрологической сети.

К началу 70-х годов была создана и внедрена на большинстве станций аэрологической сети система РК3-5-«Метеорит-2» как основная система зондирования атмосферы (Б.Г. Рождественский, Я.Х. Черноброд, Г.И. Голышев, В.И. Шляхов, Г.П. Трифонов, А.Ф. Кузнецов), отличающаяся большой дальностью надежного приема сигналов радиозонда (до 250 км), большей точностью измерения ветра, как в приземном слое, так и на больших высотах. Ветровое зондирование в этой системе было обеспечено передатчиком-ответчиком А-28 и угольными отражателями. Важным достижением 70-х годов является система автоматической обработки данных радиозондирования с помощью комплекса ОКА-3 на целом ряде станций аэрологической сети. Этот период отмечен также автоматизацией сбора и накопления климатических данных, широким распространением зондирования атмосферы на научно-исследовательских судах, разработкой малогабаритного радиозонда на интегральных микросхемах, новых специальных радиозондов и датчиков измерения температуры и влажности.

Задачи обеспечения безопасности полётов самолётов, дальнейшего увеличения экономичности и надёжности системы зондирования потребовали разработки малогабаритного радиозонда. На основе проведенных разработок полупроводникового генератора СВЧ и низкочастотных узлов радиозонда на полупроводниках были созданы образцы малогабаритных радиозондов массой до 300 г и проведены их испытания.

Благодаря проведенным в ЦАО метрологическим исследованиям и разработанным поверочным средствам и методикам поверки радиозонды типа МАРЗ были внесены в Государственный реестр средств измерений (М.Б. Фридзон, Б.П. Зайчиков, А.М. Балагуров).

Следующим крупным шагом в совершенствовании системы радиозондирования явилась разработка в период 1980-90 г.г. новой системы радиозондирования АВК-1-МРЗ (Ю.В. Нейман, Х.Н. Гайманов, Г.И. Голышев, А.А. Черников, Г.П. Трифонов, И.Г. Потемкин, В.А. Юрманов). С помощью АВК-1 производится автономная автоматизированная обработка данных радиозондирования непосредственно на аэрологических станциях вплоть до выдачи стандартных аэрологических телеграмм с дальнейшей передачей подготовленных данных в центры сбора информации. Комплексы устанавливались на аэрологической сети с 1986 года и работают достаточно надёжно, быстро осваиваются операторами аэрологами, облегчают их труд, сокращают время получения аэрологических телеграмм.

В системе АВК-1-МРЗ используются малогабаритные радиозонды типа МРЗ, имеющие вес менее 500 г.

Российские системы радиозондирования АВК-МРЗ и «Метеорит»-МАРЗ участвовали в III фазе Международных сравнений радиозондов в 1989 г. в Джамбуле (Казахстан) и показали хорошие результаты.



Радиозонд МРЗ-3А. Изготавливается с 80-х годов XX века.



Международные сравнения радиозондов, 1989, Джамбул (Казахстан). Выпуск радиозондов. (Фото Н. Зайцевой).



Модернизированный комплекс АВК, аппаратура и рабочее место наблюдателя. Стрелка указывает на СЦВМ А-15 (отключена). АЭ Бор.



Выпуск радиозонда на АЭ Бор. (Фото А.Каца).

В 1995 г. в ЦАО совместно с Гидрометцентром была разработана и введена в эксплуатацию отечественная система мониторинга качества данных сети радиозондирования (А.П.Кац), позволяющая оперативно принимать меры по устранению недостатков на каждой станции.

В конце 90-х из-за прекращения выпуска ряда комплектующих (специализированная мини-ЭВМ А-15, электровакуумный генератор СВЧ - изделие П-3М «Потенциалотрон» и др.) функционирование аэрологической сети, оснащенной комплексами АВК-1 оказалось под угрозой. Сотрудниками ЦАО (А.В. Кочин, А.С. Азаров, М.А. Азаров, А.А. Ефимов) и ФГУП «КОМЕТ» (В.Д. Гринченко, А.П. Кац) был проведен ряд работ по модернизации комплекса АВК-1 с целью замены СЦВМ А-15 на универсальную ПЭВМ, изделия П-3М «Потенциалотрон» на твердотельные СВЧ устройства и трехфазный сетевой преобразователь ВПЛ-30 на систему питания от стандартной электрической сети ~220 В. Модернизация была выполнена на 80-ти АЭ, что позволило аэрологической сети успешно зондировать на комплексах АВК, уже многократно выработавших свой ресурс.

Следующим этапом совершенствования технического оснащения аэрологической сети было создание аэрологического радиолокационного вычислительного комплекса (АРВК) нового поколения МАРЛ-А (А.В. Кочин, В.В. Чистюхин, А.А. Иванов, А.З. Дубовецкий, А.С. Азаров) с активной фазированной антенной решеткой, отличавшегося универсальностью (что позволяет работать с любым типом радиозонда, настроенного на международную частоту 1680 МГц), предельно упрощенной механической и развитой электронной частями.

В основу МАРЛ-А положено использование персональной ЭВМ с программной реализацией большинства узлов радиолокатора, что делает его конструкцию гибкой, легко адаптирующейся к изменениям условий эксплуатации. Результаты зондирования могут быть направлены потребителям по любым каналам связи.

Первый такой радиолокатор установлен на АЭ Ростов-на-Дону в 2001 г. К настоящему времени на сети установлено уже более 50-ти АРВК МАРЛ-А. В ближайшие 5 - 10 лет планируется перевести на новые АРВК всю аэрологическую сеть России. Радиолокаторы МАРЛ-А используются в Казахстане, а также ими оснащён космодром Байконур.

Масштабное переоснащение сети стало возможным благодаря проекту «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета», в рамках которого на аэрологическую сеть было поставлено 60 новых АРВК: 34 МАРЛ-А и 26 «Вектор-М». Внедрение и освоение новых АРВК в рамках Проекта модернизации сопровождалось значительными трудностями и потребовало больших усилий. В течение нескольких лет аэрологам приходилось эксплуатировать то новые, то старые аэрологические комплексы – частично из-за необходимости освоения новой техники, частично – из-за ее неисправностей и отказов, в особенности у «Вектор-М». Этот опыт необходимо учесть при реализации второго этапа Проекта модернизации, в рамках которого будет завершено переоснащение аэрологической сети новыми АРВК.

Важным направлением улучшения качества радиозондирования является сравнительные испытания датчиков. Для этого была разработана аппаратура для исследования характеристик и сопоставимости датчиков радиозондов. Аппаратура позволяет проводить одновременные измерения 16-ю датчиками резистивного типа или имеющими потенциальный выход в диапазоне от 0 до 2,5 В, а также двумя датчиками типа RS80 и двумя датчиками типа RS92 фирмы Вайсала. В шести аэростатных экспериментах (М.Н. Хайкин, Д.М. Шифрин) были выполнены пуски различных вариантов размещения радиозондовых датчиков температуры (РДТ). Получены данные измерений температуры до высот 32 км на различных участках полёта (подъём, дрейф, спуск) для 88 РДТ Российского производства.



Антенна АРВК МАРЛ-А и рабочее место наблюдателя.



Установка радиопрозрачного укрытия МАРЛ-А. Фото Северного УГМС.



АЭ Воейково (слева – антенна МАРЛ-А, справа – антенна АВК). (Фото Санкт-Петербургского ЦГМС-Р).

Проведены сравнительные измерения температуры атмосферы РДТ типа ММТ-1 с датчиками температуры фирмы Вайсала RS92, выявившие значительные (несколько градусов) отклонения РДТ как между собой, так и от показаний RS92. Анализ полученных результатов показал, что расхождения в показаниях РДТ и отклонениях от RS92 вызваны в первую очередь конструктивными особенностями РДТ. Выполненные работы показали целесообразность и необходимость проведения сравнительных измерений радиозондовых датчиков, использующихся на сети Росгидромета, а разработанная аппаратура предоставляет широкие возможности для проведения сравнительных испытаний различных, в том числе и вновь разрабатываемых датчиков.

Совершенствование аэрологических наблюдений ведется и в области использования новых методов наблюдений. На базе беспилотного летательного аппарата типа «мультикоптер» изготовлен комплекс «Метеонаблюдатель УМО-1» (А.В.Кочин, А.З. Дубовецкий), с помощью которого проведены экспериментальные полёты до высоты 600 м с измерением профиля температуры и их сравнение с аэрологическими данными.

Аэрологическая сеть России является неотъемлемой частью Глобальной мировой сети радиозондирования Всемирной службы погоды (ВСП) и проводит аэрологические наблюдения в соответствии с требованиями, сформулированными в нормативных документах Всемирной Метеорологической Организации (ВМО). Одной из целей ВМО, как сформулировано в Конвенции, является содействие стандартизации наблюдений. С этой целью ВМО периодически принимает Технический регламент, который предписывает странам - членам ВМО процедуры и порядок метеорологических измерений. Технический регламент дополняется рядом Наставлений и Руководств, описывающих более детально практику, процедуры и инструкции, которым рекомендуется следовать странам-участницам.

Различные технические комиссии ВМО выработали требования к точности измерения аэрологических параметров, необходимой для получения достоверной информации о погодных (метеорологических) процессах. Поскольку абсолютную точность радиозондовых измерений установить крайне затруднительно, необходимо, как минимум, обеспечить условия для того, чтобы данные, получаемые с использованием различных типов радиозондов и систем зондирования, были сопоставимы. Поэтому, по решению Комиссии по приборам и методам наблюдений (КПМН) ВМО, периодически проводятся Международные сравнения систем радиозондирования, использующихся в разных странах.

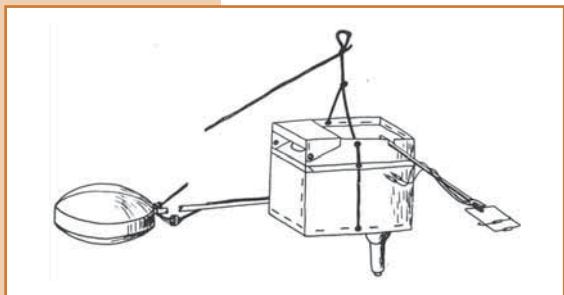
Контроль качества данных мировой сети радиозондирования осуществляет Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) путем проведения автоматизированного мониторинга результатов радиозондовых измерений в различных регионах.

Об удовлетворительном качестве данных, поступающих с сети радиозондирования России, свидетельствуют также официально представляемые Генеральным секретарем ВМО регулярные полугодовые отчеты ЕЦСПП, содержащие сводный перечень станций, передающих «сомнительные» данные наблюдений.

В настоящее время российская сеть радиозондирования насчитывает 129 аэрологических станций: 127 на территории РФ и 2 в Антарктиде. Кроме того, аэрологическое зондирование проводится в рамках исследовательской программы дрейфующей станции «Северный полюс-38». До периода перестройки, помимо наземных станций, в состав аэрологической сети страны также входили 19 судовых станций и от 1 до 2-х дрейфующих пунктов радиозондирования в составе ледовых станций «Северный полюс». Из-за высокой стоимости радиозондирования ряд



АЭ Новосибирск (на переднем плане – антенна Вектор-М, на заднем – антенна АВК).



Актинометрический радиозонд АРЗ-ЦАО.



Испытательный полёт «мультикоптера» «Метеонаблюдатель УМО-1». (Фото Кочинной Е.).



Аппаратура для тестирования датчиков радиозондов на земле (снимок слева) и в полёте (снимок справа).



станций в 90-е годы был законсервирован, однако благодаря реализации Проекта модернизации Росгидромета значительная часть из них вновь включилась в работу. В план зондирования на 2011 год включены 118 АЭ.

Сеть Росгидромета представлена в списке глобальной опорной климатической сети ГСНК ГРУАН 14 аэрологическими станциями: 12 на территории РФ и 2 в Антарктиде.

Методическое руководство сетью всегда было основным и ответственным направлением деятельности ЦАО. В рамках этого направления Научно-технический центр радиозондирования ЦАО разрабатывает методические пособия по эксплуатации технических средств и обработке результатов зондирования, регулярно осуществляет методические инспекции для проверки и оказания помощи сотрудникам сети. Ежегодно проводятся курсы повышения квалификации аэрологов и инженеров по радиолокации, ведется контроль качества аэрологической информации.

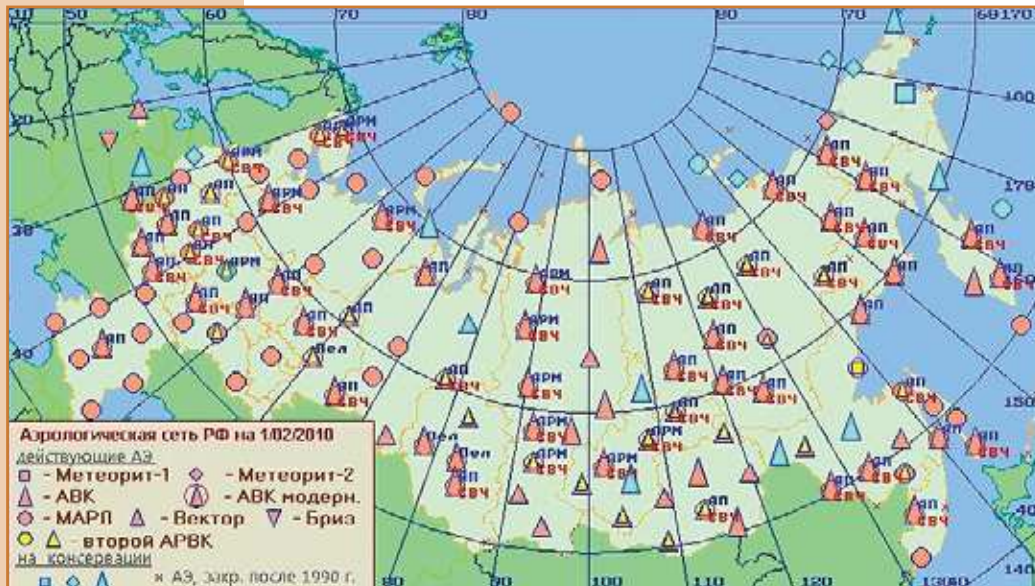
Для повышения эффективности и оперативности обратной связи с 2003 г. осуществляется (А.П. Кац, А.Я. Наумов) регулярная интернет-публикация результатов оперативного мониторинга качества функционирования аэрологической сети на странице <http://cao.ntcr.mipt.ru/monitor>, в рамках которой также организована публикация результатов мониторинга хода внедрения новых АРВК.

Успешная работа ЦАО по разработке новых технических средств радиозондирования и по научно-методическому руководству сетью в значительной степени обеспечивается сотрудниками входящей в состав ЦАО аэрологической станции Долгопрудный, на чью долю приходится первыми опробовать новые типы радиозондов, оболочек, газогенераторов, программного обеспечения, кодов. Именно на этой станции отрабатывают новые методики и методические документы аэрологи-методисты НТЦР.

При исследовании физики свободной атмосферы, кроме данных о состоянии полей температуры, влажности, давления и ветра, требуются также сведения о таких характеристиках атмосферы, как радиация, содержание озона, аэрозоля и углекислого газа. В 60-х годах был создан и позднее широко использовался на сети актинометрический радиозонд АРЗ-ЦАО (Г.Н. Костяной). Наряду с измерениями стандартных параметров, он обеспечивал измерения потоков длинноволновой радиации до высоты 30-35 км. С 1963 по 1980 г. на территории СССР существовала сеть актинометрического радиозондирования, насчитывавшая до 15 пунктов. Актинометрическое радиозондирование выполнялось также на научно-исследовательских судах и в Антарктиде. Данные, полученные с помощью АРЗ, позволили изучить (Н.А. Зайцева) многие закономерности меридиональных и широтных изменений поля длинноволновой радиации в свободной атмосфере, его временную изменчивость, а также влияние различных климатических факторов на эффективное длинноволновое излучение системы Земля-атмосфера.

Radiosonde sounding of the atmosphere

Radiosonde sounding of the atmosphere started developing in the former USSR, and later in other countries, after the first successful launching on 30 January 1930 of a radiosonde created by Prof. P.A. Molchanov (Pavlovsk Upper-Air Observatory near Leningrad). Important practical results in this area were achieved with the use of radar (CAO, 1943) that later eventually replaced theodolites previously employed for tracking balloons. Further progress in atmospheric radiosonde sounding in the USSR was marked by successive introduction of such systems as A-22-“Malakhit” (1957), RKZ-“Meteor” (1959), RKZ-5-“Meteorite-2”(by the early 1970s) and more advanced AVK-1-MRZ



Аэрологическая сеть Росгидромета.

(1980-1990), which continues to operate on the network, being a reliable, labor- and time-saving tool.

The next step in the evolution of radiosonde sounding instrumentation was the introduction of new-generation upper-air computing radar system (UACRS) MARL-A compatible with the types of radiosonde using an internationally assigned 1680 MHz frequency. Software implementation of most radar system units enables its easy adjustment to specific working conditions. Sounding results can be transmitted to the user via any communication channel.

Now, over 50 UACRS MARL-A operate on the domestic network, and within the next 5-10 years, it is planned to install such systems at all the radio sounding stations in Russia. MARL-A is also employed by some CIS countries (e.g., Kazakhstan). The system is effectively run at Baikonur Space Range.

During the economic recession of the 1990s, quite a number of radiosonde sounding stations were temporarily closed down, including 19 ones based on sea survey vessels and "North Pole" stations. At present, the national radio sounding network includes 129 upper-air stations, with 127 in Russia and 2 in Antarctica. Besides, upper-air sounding is being performed as part of the activity of the arctic ice station "North Pole-38". For the realization of Roshydromet modernization project, 60 new UACRS - 34 MARL-A and 26 "Vektor-M" systems – have been installed on the network, part of them already in operation. According to the plan for 2011, radiosonde sounding is expected to be performed at 118 upper-air stations.

The GCOS global reference upper-air network GRUAN involves 14 Russian upper-air stations – 12 on the Russian territory and 2 in Antarctica.

Methodological guidance of the national upper-air network has always been one of the main aspects of CAO's activity. CAO Science and Technology Radio Sounding Center, within the framework of this activity, make up guidebooks on technical aid operation and sounding data processing, conducts regular methodological inspections to monitor the operability of the stations and render assistance to their personnel, as well as controls upper-air data quality. Annually, special radar sounding courses are also organized for aerologists and engineers to upgrade their qualification. Since 2003, to enhance the efficiency of feedback with upper-air stations, the results of on-line monitoring of the network operation quality have been regularly published on the Internet page at <http://cao-ntcr.mipt.ru/> monitor where progress in introducing new UACRS is also highlighted.

Upgrading upper-air sounding is also achieved through the development and introducing of new observational technologies. Thus, based on an unmanned aircraft of a "multicopter" type, a measurement system "Meteorological Observer UMO-1" has been created. Experimental flights up to 600 m were fulfilled, and temperature profiles obtained were compared with radiosonde sounding upper-air data.



Аэрологи ЦАО отмечают 80-летие выпуска первого радиозонда.



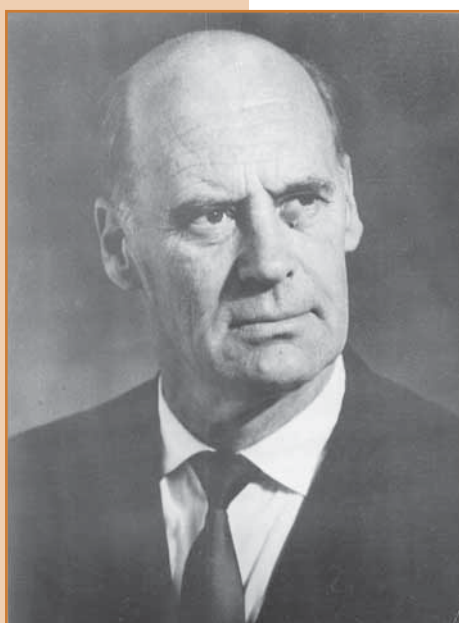
Спаренный выпуск оперативного радиозонда МРЗ-3А и экспериментального радиозонда РФ-07 в ЦАО.



70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ
RADAR METEOROLOGY



Вадим Владимирович Костарев.

У истоков отечественной радиолокационной метеорологии стоял выдающийся ученый, сотрудник ЦАО Вадим Владимирович Костарев (1913-1988 г.г.). В 1943 г. он впервые в СССР осуществил измерение ветра на высотах в атмосфере с помощью радиолокатора. Предложенный им в 1946 году метод радиолокационного обнаружения и прослеживания траекторий ливней и гроз был использован для сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений, связанных с кучево-дождевой облачностью. К концу 40-х г.г. под его руководством был выполнен ряд работ по использованию сантиметровых РЛС для обнаружения и исследования ливней и гроз, что позволило в начале 50-х годов создать первую в СССР оперативную радиолокационную сеть штормоповещения (Л.И. Безнис, В.В. Костарев, С.П. Моргунов).

Результаты исследований В.В. Костарева были положены в основу требований на разработку первого в СССР метеорологического радиолокатора МРЛ-1, а в дальнейшем - МРЛ-2 и МРЛ-5, которыми была оснащена сеть страны.

В дальнейшем были предложены и исследованы новые возможности применения радиолокационной техники для изучения структуры поля ветра и турбулентности в облаках и осадках, определения фазового состояния облаков, измерения интенсивности осадков.

В 60-е и 70-е годы в ЦАО был выполнен цикл теоретических работ по разработке радиолокационных методов измерения осадков, атмосферной турбулентности, ветра (В.В.Костарев, А.Г.Горелик, Ю.В.Мельничук, А.А.Черников, А.Б.Шупяцкий), которые позволили использовать метеорологический радиолокатор как средство измерения параметров облаков и осадков.

Многие эксперименты, проведенные в Обсерватории, являются уникальными: исследования возможности создания радиолокационного профайлера на основе ракурсного рассеяния (А.А. Иванов, А.С. Азаров), исследования поляризационных характеристик облаков и осадков (А.Б. Шупяцкий), доплеровские эффекты при различных поляризациях (Ю.В. Мельничук, А.А. Черников), дистанционные измерения скоростей воздушных потоков в грозовых и искусственных облаках (А.А. Иванов, Ю.В. Мельничук, А.К. Моргоев). В 60-е годы в ЦАО был проведен цикл экспериментальных исследований радиолокационных отражений от «ясного неба» - визуально ненаблюдаемых объектов в атмосфере («ангел»-эхо). Была установлена природа «ангел»-эха и разработаны методы его идентификации (А.А. Черников). В 90 годах выполнен ряд исследований по оценке возможностей получения отраженных сигналов в метровом диапазоне длин волн, полученных за счет рассеяния на флуктуациях показателя преломления радиоволн в атмосфере. Были созданы алгоритмы выделения сверхслабых сигналов (А.А.Иванов, В.М.Востренков, М.Б.Пинский).

В 1964-1965 г.г. Центральной аэрологической обсерваторией впервые в СССР организован широкомасштабный эксперимент по изучению возможностей радиолокационного метода измерения осадков на площади и оценке его точности. Была убедительно продемонстрирована перспективность

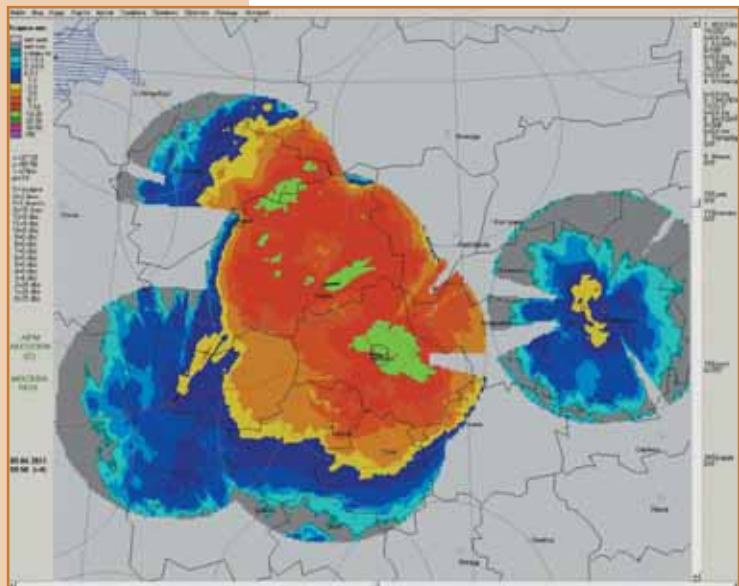
применения радиолокации для количественного измерения осадков (Г.П. Берюлев, Л.И. Безнис, А.М. Боровиков, В.В. Костарев, И.П. Мазин, И.Г. Потёмкин, В.И. Смирнов, А.А. Черников). В этот же период предложены и испытаны двухволновые методы измерения водности облаков и интенсивности осадков (Г.П. Берюлев, В.В. Костарев, А.А. Черников).

В 1970-1973 г.г. процесс получения радиолокационных данных об осадках был автоматизирован: первым был создан комплекс на базе метеорологического радиолокатора МРЛ-2 и аппаратуры регистрации и обработки данных на ЭВМ «Минск-32» (Г.П. Берюлев, В.А. Евпрыхов, В.В. Костарев, Ю.В. Мельничук, А.А. Черников).

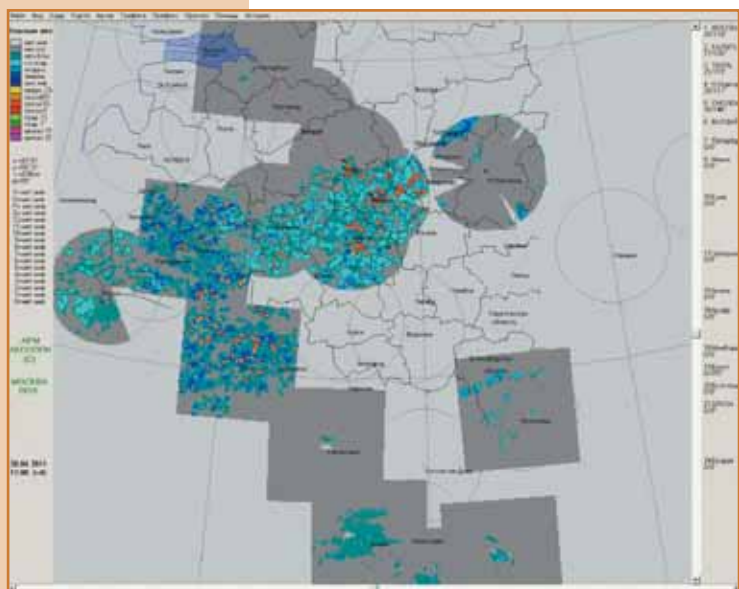
На основе этих разработок в отделе радиометеорологии ЦАО совместно с предприятиями Минрадиопрома были созданы первые опытные образцы аппаратуры «Осадки», осуществляющей подготовку информации для ввода в ЭВМ. В те же годы, совместно с промышленностью, была создана аппаратура УИТ (устройство индикации турбулентности) (А.А. Иванов) и аппаратура «Поляример» (А.В. Кочин). Аппаратура «Поляриметр» изготавливалась серийно и была установлена на 6-ти радиолокаторах противорадиолокационной службы (Молдавия, Крым) и в трех НИИ Росгидромета (ВГИ, ГГО, ЗакНИИ), что было первым в мире применением поляризационных методов на сетевых метеорадиолокаторах (А.Б. Шупяцкий, А.В. Кочин, В.Р. Мегалинский, Л.А. Диневич). Также были созданы автоматизированные осадкомерные комплексы с прямым вводом данных радиолокационного зондирования в ЭВМ (Г.П. Берюлев, В.А. Евпрыхов, Ю.В. Мельничук, Г.Ф. Пономарёва, А.А. Черников). В период подготовки к Олимпиаде-80 вокруг Москвы была развернута первая сеть таких комплексов: центральный пункт в ЦАО (г. Долгопрудный, Московской обл.) и два периферийных в Калуге и Рязани (Г.П. Берюлев, В.Н. Губарчук, Б.П. Колосков, В.В. Кравец, Ю.В. Мельничук, И.Г. Потёмкин, А.А. Черников). Данные этой сети использовались Гидрометцентром для метеообеспечения Олимпиады-80 и получили высокую оценку.



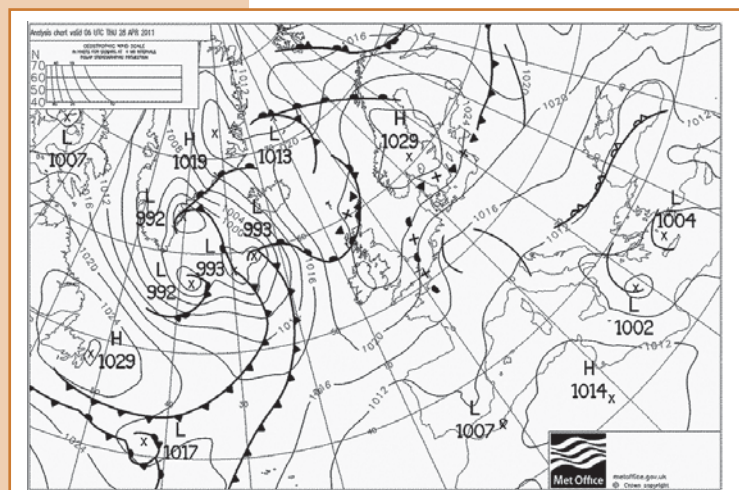
Комплексы АКСОПРИ системы «Московское кольцо».



Карта суммарного слоя осадков за ночной срок с 22:00 08.04.2011 г. до 10:00 09.04.2011 г., полученная по данным сети «Московское кольцо».



Объединённая карта опасных явлений от отдельных пунктов установки радиолокационных комплексов на ЕТР, Украине (Киев, Запорожье) и Белоруссии (Минск, Брест). Прохождение холодного фронта, 28.04.11 г., 17.00 мск.



Синоптическая ситуация 28.04.11 г. – прохождение холодного фронта.

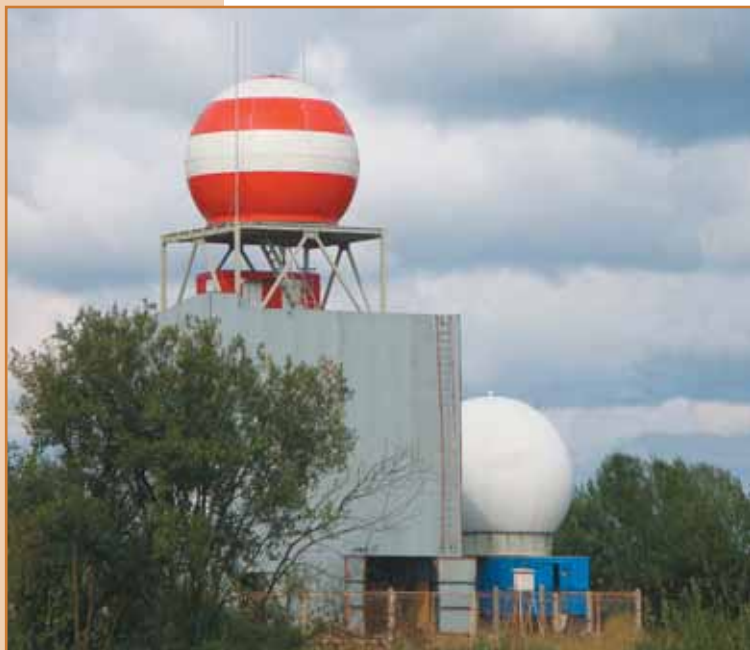
Результаты работ в области радиометеорологии также используются при проведении исследований в области физики облаков и при создании и совершенствовании методов активных воздействий на гидрометеорологические процессы. Использование радиолокационной информации при проведении работ по активным воздействиям позволяет дистанционно оценивать пригодность облаков к воздействиям, находить в облаках зоны для засева, рассчитывать время воздействия и оценивать его результаты.

Метеорологические радиолокаторы использовались и на самолетах-метеолaborаториях. В 1964 г. метеорологический радиолокатор вертикального зондирования был установлен сотрудниками ЦАО на самолёте ИЛ-18, принимавшем участие в международном эксперименте GATE-64 (Ю.В.Мельничук). В дальнейшем все самолёты-лаборатории ЦАО были оснащены бортовыми метеорологическими радиолокаторами вертикального зондирования, а на самолёте Ил-18 б/н 75498 (а затем и на Ил-18 б/н 75442) был установлен доплеровский метеорологический радиолокатор вертикального зондирования. Такая работа была проведена впервые и имеет мировой приоритет (В.М. Востренков, В.В. Ермаков, В.А. Капитанов, Ю.В. Мельничук, А.А. Черников). Оснащение самолётов-лабораторий ЦАО радиолокационными средствами дистанционного зондирования облаков и осадков значительно обогатило научные исследования по физике облаков и искусственным воздействиям.

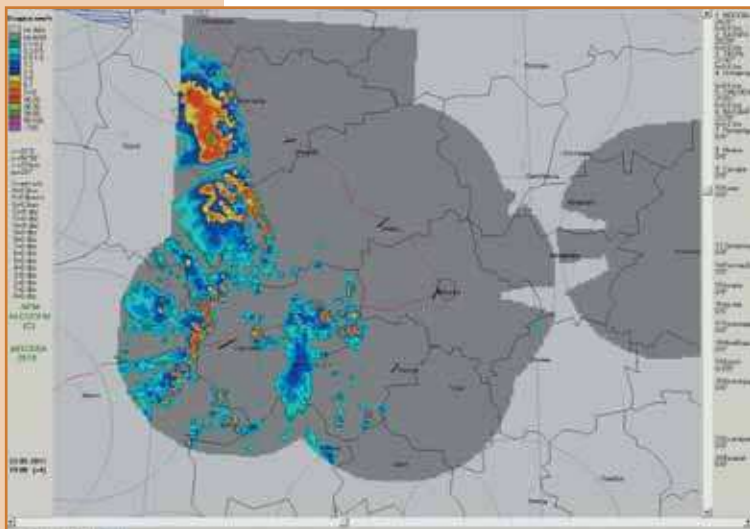
В 1979-1981 г.г. специалисты ЦАО приняли участие в подготовке и проведении международного Проекта увеличения осадков в Испании (ПУО), для чего был подготовлен радиолокационный комплекс на базе МРЛ-5, дополненный устройством индикации турбулентности. При этом впервые осуществлено сопряжение радиолокатора МРЛ-5 с ЭВМ (С.Г. Беликов, Г.П. Берюлев, В.В. Ермаков, Б.П. Колосков, Ю.В. Мельничук).

Высокая эффективность применения радиолокационных наблюдений достигается при комплексном использовании радиолокационной информации, позволяющем, наряду с получением карт облачности и связанных с нею опасных явлений погоды, осуществлять оперативные измерения интенсивности и количества осадков по зоне обзора МРЛ.

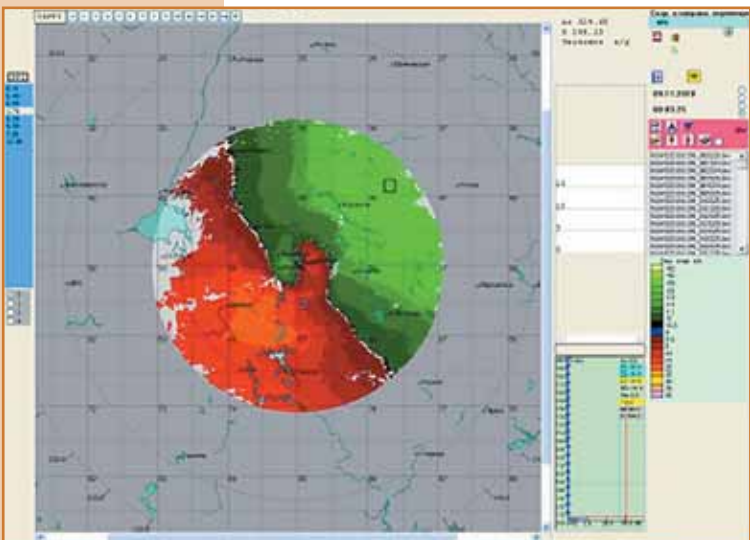
В 1981-1986 г.г., совместно с предприятием Минрадиопрома, разработан и успешно испытан новый автоматизированный комплекс для радиолокационных наблюдений и разработана унифицированная аппаратура сопряжения метеорологических радиолокаторов МРЛ-5 с ЭВМ. На её



ДМРЛ-С (на вышке) и комплекс АКСОПРИ на радиолокационной позиции «Валдай».



«Шитая» карта интенсивности осадков по данным системы «Московское кольцо» и ДМРЛ-С «Валдай» 23.05.2011 в 19.00 мск.



Карта радиальных скоростей ДМРЛ-С «Валдай» 09.11.2010 г. в 00ч.00 мин.

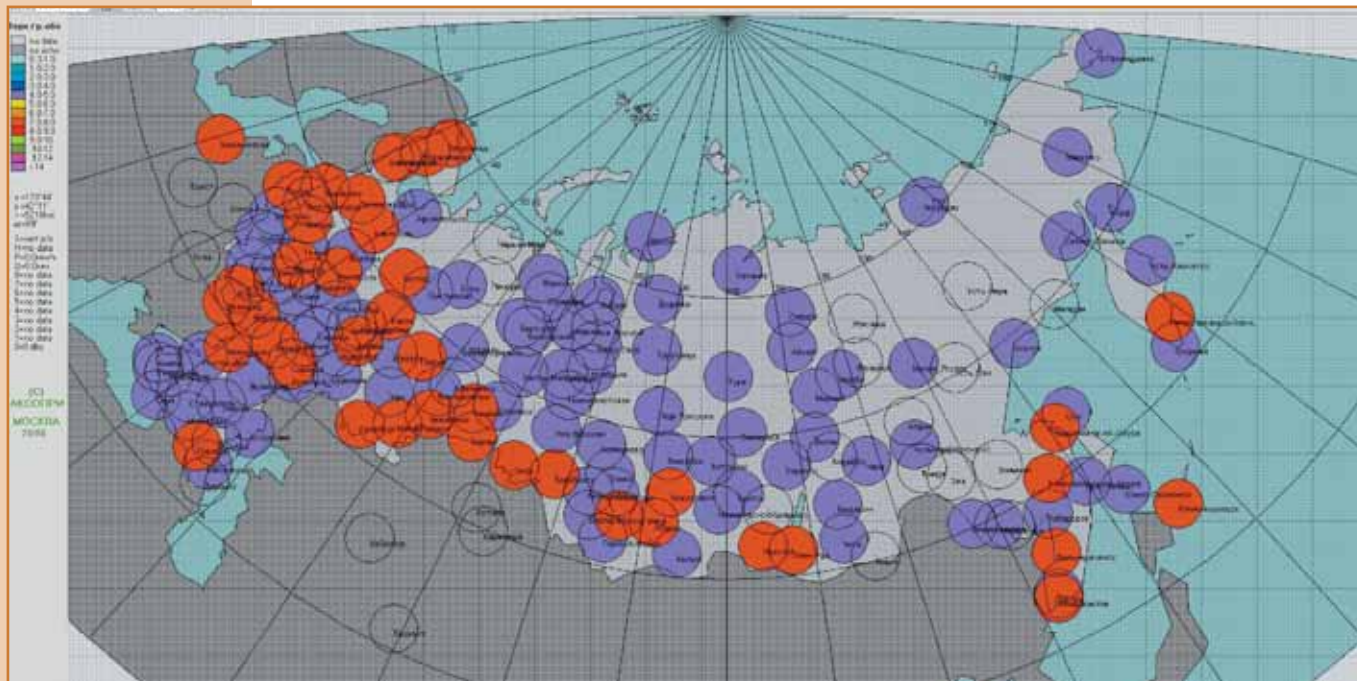
базе создан автоматизированный комплекс сбора, обработки и представления радиолокационной информации (АКСОПРИ), освоено его серийное производство. АКСОПРИ решает широкий круг задач радиолокационной метеорологии: измерение осадков, штормоповещение, метеобеспечение авиации, контроль активных воздействий и др. (В.Н. Губарчук, Ю.В. Мельничук, Ю.И. Руденко и др.). Совместно с заводом «Электромаш» был разработан и изготовлен опытный образец первого отечественного поляризационного доплеровского радиолокатора МРЛ-107 (Ю.В.Мельничук, А.А. Черников, А. А. Иванов, И.Г. Потемкин, А.В. Кочин)

В 1984-1989 годах в Обсерватории проведены работы по созданию первых отечественных экспериментальных и серийных цифровых систем обработки сигналов когерентных метеорологических радиолокаторов (А.С.Азаров, Е.Г. Губахин, В.П.Пылаев). Системы были установлены на борту самолётов ИЛ-18, оборудованных доплеровскими радиолокаторами вертикального зондирования, и на наземном модернизированном радиолокаторе МРЛ-2 (А.А.Иванов).

В 1986 г. за цикл работ по разработке и внедрению в гидрометеорологическое обеспечение народного хозяйства методов и технических средств радиометеорологических наблюдений за облаками, осадками и опасными явлениями погоды сотрудникам Госкомгидромета и Минрадиопрома присуждена Государственная премия СССР (А.А. Черников и др.).

В 1991-1997 годах сотрудники Обсерватории участвовали в реализации проекта по увеличению осадков в Сирийской Арабской Республике. В рамках проекта была развернута сеть из четырех комплексов АКСОПРИ, объединенных сначала системой цифровой пакетной радиосвязи, а затем системой на основе аналоговых модемов по телефонным линиям. Сеть использовалась как для организации активных воздействий, так и для их объективного контроля, и позволила подтвердить устойчивые положительные результаты работ по увеличению осадков. В 1999-2007 годах аналогичный по содержанию проект реализовывался сотрудниками обсерватории в Исламской Республике Иран. В проекте было задействовано три комплекса АКСОПРИ.

В настоящее время действует созданная по инициативе сотрудников ЦАО и при содействии правительства Москвы первая в России автоматизированная метеорологическая радиолокационная сеть «Московское кольцо»,



Пункты на территории РФ (140), планируемые для размещения сети ДМРЛ в рамках двух ФЦП - «Геофизика» и «Модернизации единой системы ОРВД».

состоящая из 6 комплексов АКСОПРИ в Москве, Калуге, Твери, Смоленске, Нижнем Новгороде и на Валдае. Сеть обеспечивает информацией об облаках, осадках и связанных с ними опасных явлениях Гидрометцентр РФ, Гидрометеобюро Москвы и Московской области и прогностические организации центра ЕТР, метеорологические и диспетчерские службы Московского центра автоматизированного управления воздушного движения, органы МЧС, дорожные управления, администрацию Москвы и городов центра ЕТР, а также других потребителей.



40-этажное высотное здание в Москве на ул. Профсоюзная, на крыше которого планируется размещение позиции ДМРЛ-С (июль 2011 г.).

В дальнем и ближнем зарубежье работают 9 комплексов АКСОПРИ (Сирия - 4, Иран - 3, Беларусь - 1, Казахстан - 1).

В 2008 году создана программно-технологическая система АКСОПРИ-Сеть, позволяющая объединить данные, поступающие от различных автоматизированных метеорологических радиолокаторов, работающих в наблюдательной сети Росгидромета в общее радиолокационное поле по территории Европейской части России.

Учитывая состояние сети МРЛ России, рост числа и значимости последствий чрезвычайных ситуаций гидрометеорологического характера, в 2008 г. Правительство РФ приняло решение о создании общенациональной сети автоматизированных радиолокационных метеорологических наблюдений на базе нового отечественного доплеровского радиолокатора С-диапазона ДМРЛ-С.

Специалистами ЦАО, совместно с ГГО и ВГИ (Г.Г.Щукин, М.Т.Абшаев), по заданию Росгидромета, были сформулированы основные технические требования к метеорологическому локатору нового поколения, подготовлено техническое задание, на основе которого «Концерн ПВО «Алмаз-Антей» создал ДМРЛ-С.

Государственные приемочные испытания опытного образца были успешно проведены на позиции комплекса АКСОПРИ «Валдай» в 2010 г., что позволило в 2011 г. начать серийное производство этого локатора.

В 2011 г. начата установка локатора ДМРЛ-С на высотном здании юго-запада Москвы в целях обеспечения мегаполиса важной информацией об опасных метеорологических явлениях.



Работы по монтажу оборудования ДМРЛ-С на крыше 40-этажного высотного здания в Москве на ул.Профсоюзная 16-17 августа 2011 г.

В рамках подготовки к метеорологическому обеспечению Олимпийских игр в Сочи-2014, в 2009 г. специалистами ЦАО проведено обследование возможных позиций установки ДМРЛ на Черноморском Побережье Кавказа и предложены позиции для установки МРЛ. В 2011 г. планируется завершить работы по установке ДМРЛ на этих позициях. Установка ДМРЛ на Черноморском Побережье Кавказа позволит обеспечить проведение олимпийских и паралимпийских игр 2014 г. информацией об облачности, осадках и связанных с облачностью опасных явлениях.

Radar meteorology

The Radar Meteorology Department is one of Roshydromet leading teams in weather radar observations. Since the organization in 1952 of a Radar Laboratory, transformed in 1973 to the Radar Meteorology Department, extensive research has been carried out to study atmospheric dynamics, using Doppler radar, to develop radar precipitation measurement techniques and methods of using weather radar observations for storm warning, acquisition of weather data for the needs of aviation and intended weather modification.

All the methods and techniques developed have been realized in pilot or commercial radar models developed by the Department or domestic industry based on technical specifications furnished by the Department.

The development of the Automated System for Radar Data Acquisition, Processing and Presentation (ACSOPRI) has been accomplished jointly with industrial enterprises.

With the support of Moscow Administration, the first Russia's automated weather radar network "Moscow Ring" has been created, which includes ACSOPRI systems in Moscow, Kaluga, Tver, Smolensk, Nizhni Novgorod, and Valday.

On the whole, 10 ACSOPRI systems currently operate in Russia and 9 ones in the neighboring and some other foreign countries. At present, ACSOPRI systems provide detailed information for meteorological centers, air traffic and flying control officers, departments of the Ministry of Emergency Situations, road management offices, and major city administrations. This information is also used in intended weather modification activities.

Considering the current status of the domestic weather radar network and an increased number of hydrometeorological emergency situations, the Russia Federation Government has adopted a decision to establish a national network of automated weather radar observations using DMRL-C radar systems. In 2008, two federal special-purpose programs were adopted:

1. "Establishing and development of a network of geophysical monitoring over the territory of the Russian Federation in 2008-2015".

2. "Enhancement of the unified system of the Russian Federation air space control (2009-2015)".

To realize the goals provided for by the two programs, it is planned to install on the network 140 DMRL systems.

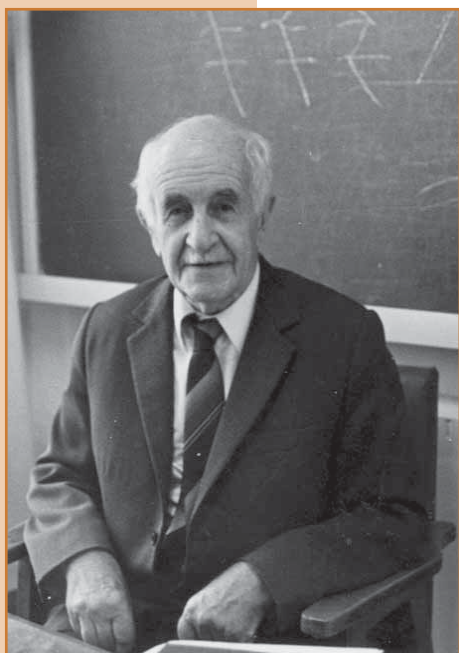
In 2009, within the framework of organizational activity dedicated to the future Olympic Games "Sochi-2014", in order to provide for their meteorological support, specialists of the Central Aerological Observatory explored and suggested suitable sites to install DMRL systems on the Caucasian Black Sea coast, on the mountain of Akhun (Sochi), and near the town of Gelendjik.



70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛАКОВ И
ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ
STUDIES OF CLOUDS AND DYNAMICS OF THE ATMOSPHERE



Александр Христофорович Хргиан.

Исследования микрофизики и динамики облачных систем умеренных широт.

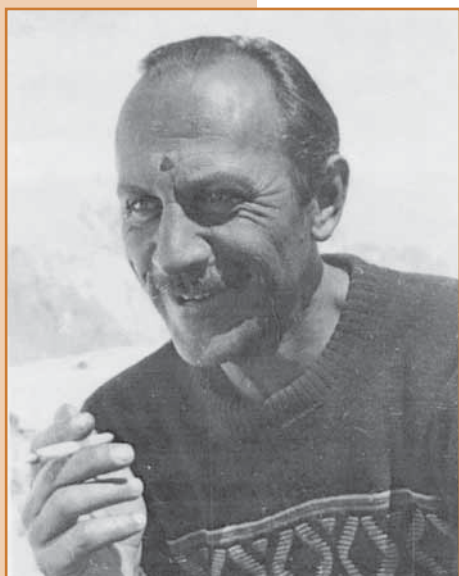
Исследования облаков проводились в ЦАО с момента ее создания и продолжались на протяжении всей истории Обсерватории. Научный фундамент многолетних исследований был заложен создателями наиболее авторитетной в нашей стране школы физики облаков - А.Х. Хргианом, А.М. Боровиковым и Е.Г. Зак.

Облака являются продуктом взаимодействия атмосферных физических процессов микро-, мезо- и макромасштабов. Исследования ученых ЦАО касались всех перечисленных аспектов физики облаков. Большое внимание уделялось вопросам разработки аппаратуры и методов исследования микро- и мезофизики облаков, а также сбору, анализу и обобщению накопленных эмпирических данных. Начиная с пятидесятих годов, большое внимание стало уделяться также теоретическим исследованиям, особенно - численному моделированию процессов облако- и осадкообразования. Предметом изучения были как отдельные облака, так и их поля.

Для экспериментальных исследований облаков использовались как самолёты - зондировщики, так и свободные аэростаты. Самолёты позволяли изучать физические и морфологические характеристики облаков - их форму, высоту, толщину облачных слоев. С помощью аэростатов исследовалась временная изменчивость физических характеристик внутри фиксированного объема облака. В первое послевоенное десятилетие было выполнено несколько десятков «облачных» полётов на аэростатах в нижней и средней частях тропосферы (А.М. Боровиков, Ю.А. Гильгнер, А.А. Решикова, В.Д. Решетов и др.). В некоторых случаях субстратостатам ЦАО удавалось подниматься даже до 10 - 10,5 км, т.е. до высот околостратосферных перистых облаков.

ЦАО была единственной научной организацией в мире, применявшей свободные аэростаты для исследований облаков. Научное оборудование аэростатов включало, наряду со стандартными метеоприборами (психрометр, барометр, метеорограф), также импакторный заборник проб облачных элементов, микрофотоустановку для фотографирования облачных проб, а с начала 50-х годов - также прибор для измерения вертикальных и горизонтальных пульсаций скорости ветра. В некоторых полётах приближенно оценивались водность облаков по дальности видимости внутри облака, опускаемого под корзину аэростата, черного диска (А.М. Боровиков, Ю.А. Гильгнер и др.), а также интенсивность солнечных радиационных потоков (С.С. Гайгеров).

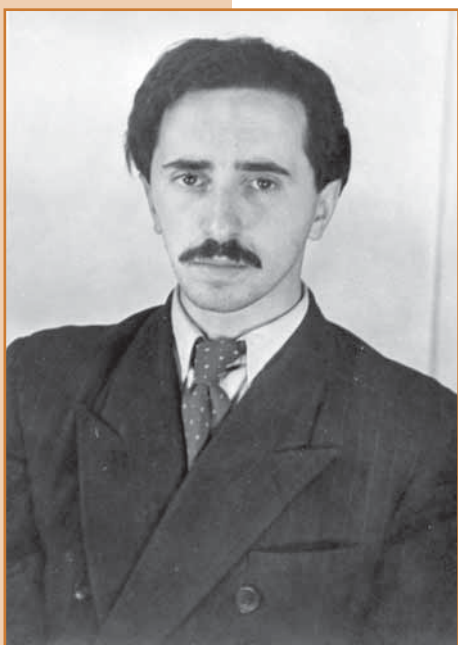
После Великой Отечественной войны, по инициативе ЦАО, была создана сеть регулярного самолётного зондирования атмосферы, насчитывавшая около 30 пунктов, размещенных в разных районах СССР. Использовались самолёты ЛИ-2, а



Александр Моисеевич Боровиков.



Семен Семенович Гайгеров.



Генрих Наумович Шур.



Анатолий Николаевич Невзоров.

позднее и высотный реактивный самолёт Ил-28. Кроме того, ЦАО имело самолёты ПО-2 и ПО-2с, базировавшиеся на аэродроме в г. Долгопрудном и использовавшиеся для эпизодических исследований на малых высотах.

В ЦАО был разработан комплекс научной аппаратуры, в том числе первый электрометеорограф (Г.Н. Шур, С.М. Шмтер), импакторные заборники облачных капель (А.М. Боровиков, В.В. Манцевич, Ю.А. Гильгнер, 1950 г.) и кристаллов (А.М. Боровиков, В.Е. Минервин, С.М. Шмтер, 1952 г.), измеритель водности (В.Е. Минервин), устройство для сбора облачной воды с целью ее последующего химического анализа (С.М. Шмтер, В.С. Хахалин, 1949 г.). Большой цикл самолётных исследований мезоструктуры фронтальных (особенно конвективных и перистых) облаков был выполнен в 1959-1965 г. на самолёте-метеолaborатории (СМЛ) ТУ-104Б, предоставленном ГосНИИГА. На этом самолёте впервые в СССР были установлены и использованы доплеровская система («Трасса») для измерения ветра, комплекс аналоговой пульсационной аппаратуры. Также впервые была использована магнитная регистрация результатов измерений (Г.Н. Шур), с помощью которой удалось осуществить спектральную обработку данных о пульсациях метеозаэлементов в широком диапазоне масштабов. Кроме того, на СМЛ ТУ-104Б имела усовершенствованная аппаратура для измерения основных термодинамических параметров атмосферы (Л.А. Пахомов, Г.Н. Шур) и ряд других приборов. В 1964 г. ЦАО создала многопрофильную летающую метеолaborаторию на базе самолёта ИЛ-18. С ее помощью, в частности, были выполнены исследования в 1972 и в 1974 г.г. в Атлантике по Международным программам ТРОПЭКС-72 и ТРОПЭКС-74 (А.М. Боровиков, Ю.В. Мельничук, Г.Н. Шур, И.П. Мазин, А.Н. Невзоров и др.).

В 1974 г. в ЦАО было образовано новое подразделение - Летный научно-исследовательский центр (ЛНИЦ), включавший группу многоцелевых СМЛ ИЛ-18Д, АН-12 и ТУ-16, получивших обобщенное условное наименование «Циклон». Эти самолёты широко использовались для работ по физике облаков и для активных воздействий с целью модификации осадков. Высокая эффективность использования СМЛ «Циклон» стала следствием их оборудования уникальным набором измерительной аппаратуры, предназначенным для изучения мезоструктуры полей метеовеличин, а также разномасштабной структуры облаков и осадков. К наиболее ценной для изучения облаков аппаратуре, установленной на большинстве СМЛ «Циклон», следует отнести разработанные А.Н. Невзоровым в конце 60-х - начале 70-х г.г. приборы: самолётный измеритель сверхкрупных, с радиусом $r > 80-100$ мкм, частиц (ИРЧ), регистратор прозрачности облаков (РП), несколько модификаций измерителей полной и жидкокапельной водности (ИВО). Разработанный позднее А.Н. Невзоровым определитель фазового строения облаков (АФСО) использовался для исследований над территорией СССР и на о. Куба. Микрофизическая аппаратура, разработанная А.Н. Невзоровым в ЦАО, в дальнейшем использовалась в практике работы НИУ Гидрометслужбы (УкрНИИ, САНИИ и др.), а позднее и в исследованиях зарубежных стран (Канада, Сирия, Иран и др.). Приборы серии ИВО и РП конструкции А.Н. Невзорова признаны в настоящее время одними из наиболее совершенных.

Разработанные приборы для измерения крупных частиц (ИРЧ), прозрачности облаков (РП), фазовых компонент водности (ИВО) и анализатор фазового состава облачных частиц (АФСО), по крайней мере, в начале использования не имели мировых аналогов по функциональным возможностям и техническим характеристикам. В настоящее время разрабатываются модернизированные варианты приборов с улучшенными характеристиками.

Данные о крупных частицах в облаках положены в основу зарегистрированного научного открытия №175 с приоритетом от 1961 г. «Явление аномального рассеяния радиоволн атмосферными облаками» (авторы А.М. Боровиков, В.В. Костарев, И.П. Мазин, А.Н. Невзоров, А.А. Черников).

На СМЛ ИЛ-18 имелись также приборы для измерения параметров турбулентности (В.К. Дмитриев, М.А. Струнин).



Самолёт-метеолaborатория ЦАО Ил-18Д № 75442 «Циклон».



Самолёт-метеолaborатория ЦАО Ан-12 № 11532 «Циклон».

С конца 70-х годов, в ЛНИЦ ЦАО, впервые в СССР, были разработаны (А.В. Литинецкий, Г.Я. Нечипоренко, В.В. Волков, Г.Н. Шур) и внедрены в практику самолётных исследований атмосферы на самолётах-метеолaborаториях Ил-18, Ан-12, серии «Циклон» бортовые измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) «Барс-1», позволившие измерять с высокой точностью и представлять в реальном времени основные метеорологические параметры, а также пилотажно-навигационные характеристики полёта, необходимые как для исследований атмосферных процессов, так и для принятия оперативных решений в ходе выполнения летных экспериментов. Внедрение ИВК «Барс-1» в практику летных исследований существенно повысило их эффективность и широко использовалось с 1979 по 1994 г.г. в исследованиях динамики атмосферы и в прикладных задачах (Г.Н. Шур, А.В. Литинецкий).

Накопленные ЦАО результаты измерений впервые позволили получить уникальные, широко используемые и у нас в стране, и за рубежом данные о микро- и мезоструктуре, а также фазовом строении облаков в различных регионах СССР в разные сезоны (Е.Г. Зак, А.М. Боровиков, И.П. Мазин, А.Н. Невзоров, В.Е. Минервин). Были получены уникальные по объёму и надёжности сведения о вертикальном распределении размеров и концентрации облачных

элементов, их фазовом состоянии, водности, зависимости микрофизических параметров облаков различных типов от высоты, сезона, макросиноптических условий (А.Х. Хргиан, А.М. Боровиков, Е.Г. Зак, И.П. Мазин, В.Е. Минервин, А.Н. Невзоров, В.Ф. Шугаев и др.). Впервые в мире были статистически обобщены экспериментальные данные о характеристиках облаков: концентрации и спектре размеров крупных частиц (А.М. Боровиков, И.П. Мазин, А.Н. Невзоров), локальной прозрачности (И.П. Мазин, А.Н. Невзоров, В.Ф. Шугаев, А.Л. Косарев), двухфазной водности и фазовом составе облачных частиц при отрицательных температурах (А.Н. Невзоров, В.Ф. Шугаев).

В конце сороковых и в начале пятидесятых годов на основе анализа массового материала измерений А.М. Боровиковым была разработана первая детальная классификация типов облачных кристаллов, И.П. Мазиным и А.Х. Хргианом была предложена ныне общепринятая эмпирическая формула, описывающая форму большинства спектров распределения капель по размерам (закон Хргиана-Мазина, 1952 г.). Позднее было показано, что в 10-15% слоистообразных капельных облаков спектры размеров капель являются бимодальными (А.В. Королев, И.П. Мазин и др., 1986 г.), и были определены механизмы формирования таких спектров.

С конца 50-х годов В.Е. Минервиным, А.Н. Невзоровым, С.Н. Бурковской, В.Ф. Шугаевым и др. было начато изучение водности облаков и микрофизических особенностей смешанных (капли + кристаллы) облачных структур. Впервые были получены детальные сведения об особенностях микро-, мезо- и макрофизики перистых облаков (Е.Г. Зак, И.П. Мазин, А.Л. Косарев, А.Н. Невзоров, 1948-1987 г.г.).

Установлено, что в слоистообразных облаках обычно чередуются мезомасштабные участки, внутри которых концентрация капель и водность в 2 и более раз превышает их средние значения в облачном слое, как целом (А.В. Королев, И.П. Мазин, 1987 г.).

В результате исследований, выполненных С.М. Шметером (1949-1951 г.г.), был изучен химизм элементов облаков с помощью анализа проб, собранных непосредственно внутри слоистообразных полей облачности. Было определено содержание хлорида натрия ($NaCl$) в облачных каплях различных размеров и, что особенно важно, получено единственное в тот период экспериментальное доказательство того, что преимущественный вклад конденсационного роста капель сменяется на коагуляционный, начиная с радиуса капель $r = 15-20$ мкм.

На основании результатов массовых самолётных измерений в сочетании с материалами синоптического анализа в ЦАО были получены статистически надёжные данные о термодинамических макромасштабных характеристиках и фазовой структуре основных типов внутримассовых и



Владислав Евгеньевич Минервин.

фронтальных слоистообразных облаков всех ярусов (Е.Г. Зак, 1950-1956 г.г.), структуре и пульсациях высоты их границ (Е.Г. Зак, О.В. Марфенко, В.Е. Минервин, 1952-1966 г.г.), а также физических факторов, от которых они зависят.

Уникальные данные о мезоструктуре поля влажности, её пульсациях в зонах различных типов фронтальных облаков были получены М.Ю. Мезриным и В.Е. Минервиным с помощью разработанных М.Ю. Мезриным самолётного УФ-гигрометра (1978-1980 г.г.), а позднее - конденсационного гигрометра оригинальной конструкции (1985-1986 г.г.), позволяющего проводить ранее недоступные высокоточные измерения влажности вплоть до температур $-70 \div -80^{\circ}\text{C}$.

Наиболее полные в международной практике исследования условий образования, эволюции кучево-дождевых (в том числе грозо-градовых) облаков и их взаимодействия с окружающей атмосферой были в 1959-1966 г.г. выполнены С.М. Шметером с помощью специально оборудованного ЦАО совместно с ГГО и ГосНИИГА СМЛ ТУ-104Б. Ранее, чем за рубежом, было обнаружено явление обтекания вершины *Cb* внешним потоком, а также количественный вклад подобных облаков в обогащение водяным паром стратосферы умеренных широт. Позднее такие оценки были подтверждены рядом зарубежных, в основном американских, ученых.

С использованием данных полётов СМЛ вблизи тропопаузы, был выполнен большой цикл исследований искусственных облачных следов, образующихся за самолётами преимущественно при полётах в верхней половине тропосферы (И.П. Мазин). Совершенно новые и во многом пионерские сведения о строении перистых облаков в верхней тропосфере и слое тропопаузы экваториально-тропической зоны были накоплены во время полётов на высотном СМЛ М-55 в районе Сейшельских островов (М.Ю. Мезрин, С.М. Шметер и др., 1999 г.). В частности, были получены ранее отсутствовавшие данные о надтропосферных слоях перистой облачности и «сухих» аэрозольных скоплений.



Александр Моисеевич Боровиков, Соломон Моисеевич Шметер, Илья Павлович Мазин.

Большой цикл исследований тропических конвективных облаков был выполнен на СМЛ ЦАО в Атлантике в ходе экспедиций по Программам ТРОПЭК-72 и ТРОПЭК-74 (А.М. Боровиков, И.П. Мазин, А.Н. Невзоров), а также, параллельно с работами по АВ, в 80-90-е годы над о. Куба (Г.П. Берюлев, В.В. Петров, В.П. Беляев, Ю.А. Серегин, Б.П. Колосков, Б.И. Зимин и др.). Наиболее ценные данные получены о групповой (кластерной) структуре полей *Cu med-Cu cong* в тропиках. Обширные сведения о мезоструктуре полей *Cu* (в том числе кластеров) были ранее накоплены и для районов Украины (С.М. Шметер, И.П. Мазин, 1973-1977 г.г.).

С начала 80-х годов особое внимание было направлено на изучение мезоструктуры облачности и полей осадков из фронтальных облаков умеренных широт (А.А. Постнов, Н.А. Безрукова, Е.А. Стулов, С.М. Шметер). Для их изучения использовались результаты измерений с помощью СМЛ, а

также созданных в середине 80-х г.г. в ЦАО (В.В. Костарев, Ю.В. Мельничук, А.А. Черников) РЛС (АКСОПРИ) и сетевых измерений осадков (Н.А. Безрукова, Е.А. Стулов и др.). Особое внимание было уделено связи полосовых и очаговых облачных образований с особенностями квазиупорядоченных (в том числе волновых) и турбулентных вертикальных движений. Учитывая важную роль турбулентности в формировании микро- и мезоструктуры облаков, был выполнен ряд экспериментальных работ по исследованию параметров турбулентной диффузии и факторов, ее определяющих, на разных высотах и в облаках различных типов (С.М. Шметер, В.И. Силаева, М.А. Струнин, Г.Н. Шур, И.П. Мазин и др., 1959-1984 г.г.). По полноте и детальности исследований полученные ЦАО данные о турбулентности в облаках в мировой научной практике аналогов не имеют. Ряд работ был посвящен изучению фундаментального процесса вовлечения окружающего воздуха в конвективные облака (С.М. Шметер, 1977 г.).

Лабораторные исследования облачных процессов начались в 1952 г. с работ Е.Г. Зак и А.Д. Малкиной по изучению зависимости форм кристалликов льда от температуры и влажности воздуха в камере туманов. В 70-х годах тонкие лабораторные опыты А.И. Незвестного позволили уточнить ранее использовавшиеся значения коэффициента конденсации воды, что позволило объяснить некоторые

особенности формирования спектров размеров облачных капель. Были также уточнены значения коэффициентов захвата капель в широком диапазоне чисел Рейнольдса, что позволило повысить надежность теоретических расчетов коагуляционного роста капель в облаках (А.И. Неизвестный, А.Г. Кобзуненко, 1989 г.).

Начиная с конца 50-х годов, в ЦАО был выполнен обширный цикл теоретических исследований процессов формирования облачных частиц и спектров их размеров. Проведены исследования относительного вклада процессов конденсации и коагуляции в рост облачных капель, в том числе оценка эффективности различных механизмов коагуляции (И.П. Мазин, А.И. Ивановский, В.И. Смирнов, 1952-1969 г.г.). Показано, что существует характерное время фазовой релаксации, которое сильно сказывается на вкладе пульсационных процессов в рост облачных частиц (И.П. Мазин, 1964 г.). С помощью анализа кинетических уравнений В.И. Смирновым и Б.Н. Сергеевым (1969 г.) изучен ряд особенностей поведения коллектива капель и формирования спектра их размеров при наличии коагуляции, в частности - стационарной. Получены данные о распределении капель по возрастам в слоистообразных облаках (А.С. Кабанов, И.П. Мазин, В.И. Смирнов, 1969 г.). Проведены пионерские по своему характеру исследования влияния вертикальных мезомасштабных движений на фазовое строение конвективных облаков на различных высотах (И.П. Мазин, 1986 г.). Выполнены исследования вкладов различных механизмов перехода от ядер конденсации к облачным каплям (В.И. Смирнов, Б.Н. Сергеев).

Численное моделирование облаков началось в ЦАО в 1961 г., когда Р.С. Пастушковым была построена ранее отсутствовавшая в мировой практике двумерная численная модель конвективного облака в среде со сдвигом ветра (1972 г.). С ее помощью впервые удалось изучить важнейший вопрос об относительном вкладе градиентов температуры и ветра в развитие и параметры *Cu-Cb*. Позднее Р.С. Пастушковым было численно исследовано влияние температурных неоднородностей подстилающей поверхности на мезоструктуру полей *Cu* (1976 г.). Е.Л. Коган (1978-1979 г.г.) разработал модель капельного *Cu*, в которой, впервые в отечественной практике, детально учитывалась микроструктура облака. Некоторые детали микрофизических особенностей облаков учитывались в более простых моделях Б.Н. Сергеева (1977-1980 г.г.). Работы И.П. Мазина, Б.Н. Сергеева, В.И. Смирнова и др. в период 1980-1987 г.г. позволили перейти к ранее недоступным способам оптимальной параметризации начальной стадии формирования микроструктуры облачности.

Был разработан большой цикл численных моделей полей конвективных (Р.С. Пастушков) и слоистообразных (в том числе фронтальных) облаков (Б.Н. Сергеев, В.И. Хворостьянов, Б.Я. Куценко и их ученики, 1983-1990 г.г.). Важной особенностью большинства этих моделей был учет при их построении микрофизики, а также процессов осадкообразования (Б.Н. Сергеев, В.И. Хворостьянов и др.). Эти модели, в частности, позволили приближенно оценить возможную эффективность АВ на облака. Наряду с моделированием облачных систем, начиная с 1976 г., проводилось и моделирование процессов образования и эволюции туманов (В.И. Хворостьянов, Б.Н. Сергеев).

Следует подчеркнуть, что на исследования по физике облаков, ведущиеся в нашей стране и за рубежом, большое влияние оказал ряд монографий и справочных пособий, опубликованных в 1961-1991 г.г. сотрудниками ЦАО А.Х. Хргианом, И.П. Мазиным, С.М. Шметером и др.

Работы ЦАО в области динамики атмосферы в значительной мере были связаны с решением прикладных задач для нужд авиации. Под руководством проф. Н.З. Пинуса, С.М. Шметера и их учеников в 1945-2000 г.г. был выполнен большой цикл научно-прикладных исследований по авиационной метеорологии. Большая их часть касалась изучения влияния на полёты неоднородностей в полях ветра (в облаках и в ясном небе), исследования таких явлений, как обледенение воздушных судов, факторов, определяющих видимость на различных высотах. Большое внимание уделялось также возмущениям, возникающим в атмосфере под влиянием орографических, термических и других неоднородностей подстилающей поверхности.

В кооперации с учеными ГМЦ, ГосНИИГА, ГГО и других НИИ в ЦАО удалось накопить уникальные по объему и качеству массивы экспериментальных данных, относящихся не только к тропосфере, но и к нижней стратосфере. В частности, были выполнены пионерские исследования структуры тропосферных струйных



Наум Залманович Пинус.



Наталья Павловна Шакина и Соломон Моисеевич Шмистер.

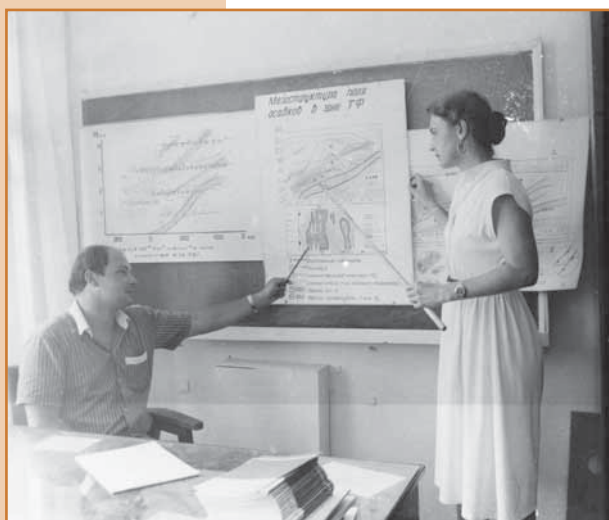
течений. Такие возможности появились благодаря созданию в ЦАО оригинальной самолётной и радиолокационной измерительной аппаратуры (Г.Н. Шур, В.С. Хахалин, Ю.В. Мельничук, М.А. Струнин, Н.К. Винниченко, М.Ю. Мезрин и др.).

Временная и, особенно, пространственная изменчивость ветра и пульсаций его скорости и направления, с одной стороны, изучались с помощью постановки в различных географических районах учащенных радиозондовых и радиолокационных наблюдений, а с другой- специально организуемыми летными исследованиями мезо- и микроструктуры поля ветра и вертикальных движений воздуха на специально оборудованных самолётах-метеолaborаториях (СМЛ), а также полётов на аэростатах (Н.З. Пинус, Г.Н. Шур). Самолётные исследования позволили детально изучить особенности микро- и мезоструктуры ветра и, в первую очередь, пульсационных

характеристик последнего в различных барических образованиях, в разных частях струйных течений, зонах дивергенции воздушных потоков, над районами со сложной орографией, над зонами городской застройки (Н.З. Пинус, Н.П. Шакина, Г.Н. Шур, С.М. Шмистер, Т.П. Капитанова, З.Н. Коган).

С конца 50-х г.г., при статистической обработке результатов самолётных измерений скоростей пульсаций ветра в зонах болтанки впервые широко использовался спектральный подход (Г.Н. Шур). Это позволило получить ранее отсутствовавшие данные об энергетике турбулентных образований и, в частности, изучить ранее не исследованные когерентные пульсации ветра (Н.З. Пинус, Г.Н. Шур).

Благодаря результатам самолётных исследований структуры зон болтанки, выполненных в ЦАО, впоследствии стала возможной разработка основ гидродинамического метода диагноза и прогноза турбулентности ясного неба (ТЯН) (С.М. Шмистер, Н.П. Шакина, Т.В. Лешкевич и др.), а также предложена оригинальная эмпирическая модель турбулентности ясного неба (Н.З. Пинус).



Александр Александрович Постнов и Наталья Александровна Безрукова.

Пионерские исследования структуры поля ветра и турбулентных пульсаций потока в зоне мощной конвективной облачности были в 1959-1965 г.г. выполнены на СМЛ ТУ-104Б под руководством С.М. Шмстера. Определены размеры и ориентация зон болтанки как вблизи *Cb-Cu cong*, так и внутри них, а также особенности энергетики пульсаций в различных секторах *Cb* и рядом с этими облаками. Эти материалы позволили серьезно уточнить данные о расположении опасных для полётов турбулентных зон около различных частей *Cu cong-Cb* и, тем самым, уточнить рекомендации по проведению полётов в околооблачном пространстве в условиях развития мощной атмосферной конвекции.

В последующие годы Н.З. Пинусом, С.М. Шмистером и, особенно, Г.Н. Шуром выполнен большой цикл работ, посвященных относительно крупномасштабным квазиупорядоченным (т.н. когерентным) пульсациям ветра, попадание внутрь которых особо опасно для самолётов и дирижаблей.

В 1990 г. ЦАО с помощью высотного СМЛ М-55 были выполнены пионерские исследования условий полёта и, в частности, турбулентности в экваториальной зоне, а также в Арктике и Антарктике на высотах до 22-23 км (Г.Н. Шур, С.М. Шмистер, Н.К. Винниченко и др.).

Применение с конца 50-х годов средств радиолокации (В.В. Костарев, Ю.В. Мельничук, А.А. Черников и др.), в том числе доплеровской, существенно увеличило объем данных о пространственной структуре турбулентности в облаках и осадках и, в частности, позволило уточнить связь между пульсациями различных компонентов вектора ветра и ее зависимость от крупномасштабных сдвигов ветра.

Одним из традиционных направлений работ ЦАО по исследованию взаимодействия подстилающей поверхности со свободной атмосферой являлось экспериментальное изучение различных аспектов горной метеорологии (А.Х. Хргиан, А.М. Боровиков, С.М. Шмистер, Н.З. Пинус). Самолётные исследования, выполненные Н.З. Пинусом и С.М. Шмистером над Кавказом (50-60 г.г.), впервые

позволили оценить переход квазиупорядоченных структур типа горных волн и подветренных роторов на турбулентность в нижней тропосфере. Исследования В.А. Пацаевой, В.Д. Решетова и Н.З. Пинуса с использованием свободных уравновешенных шаров-зондов и автоматических аэростатов ЦАО позволили в конце 50-х и в 60-х годах получить ранее отсутствовавшие данные о параметрах горных волн в Средней Азии.

Большой вклад внесли ученые Обсерватории А.Х. Хргиан, И.П. Мазин, В.Е. Минервин (1957 г.) в разработку физико-метеорологических основ процесса обледенения самолётов, включающую как методы расчета интенсивности обледенения различных частей самолёта, а в 1997-1998 г.г. и дирижаблей, так и исследование условий, определяющих обледенение в облаках различных форм (А.М. Боровиков, И.П. Мазин, В.Е. Минервин, 1957 г.). Цикл экспериментальных и теоретических исследований конденсационных следов за самолётами (А.Х. Хргиан, И.П. Мазин) позволил не только уточнить физику процессов, приводящих к их образованию, но и дал надежный способ предсказания возможности их появления при различных метеоусловиях.

В ходе исследований метеорологических особенностей условий взлета и посадки самолётов потребовалось серьезное уточнение данных о высотах низких облаков и факторах, их определяющих, а также о видимости в облаках и осадках над ВПП (В.Е. Минервин 1958-1982 г.г.).

В связи с важностью оценки влияния мезохарактеристик подстилающей поверхности на полёты начиная с 80-х г.г. под руководством С.М. Шметера был выполнен ряд исследований изменений условий полётов в зонах городской застройки, у берегов водоемов, вблизи линий шквалов, в окрестностях областей развития мощной облачной конвекции. Предложены практические рекомендации, направленные на повышение безопасности полётов над участками с повышенной мезомасштабной неоднородностью подстилающей поверхности (С.М. Шметер, А.А. Постнов, Н.А. Безрукова).

В практику работ Гидрометслужбы и Гражданской авиации внедрено несколько наставлений и методических указаний по проведению самолётного метеорологического зондирования, прогнозу обледенения, методикам полётов внутри низких слоистообразных облаков, вблизи мощной конвективной облачности и т.д. (1958-1988 г.г.).

Исследования интенсивных ураганов в акватории Южно-Китайского моря и в Северной Атлантике

Самолётные методы являются важнейшим средством изучения тропических циклонов. Они позволяют получать необходимые данные о структуре циклонов, включая данные о распределении термодинамических параметров и характеристиках облачности, без знания которых невозможно создание и совершенствование физических и прогностических моделей эволюции и перемещения этих опасных метеорологических явлений.

Наибольший опыт самолётной разведки и исследований тропических циклонов (ТЦ) накоплен в США, которые до начала 80-х являлись практически монополистами в этой области. Однако в 1983 г. к подобным работам приступил также Советский Союз в рамках научно-технического сотрудничества с некоторыми дружественными странами, расположенными в тропической зоне. В первых советско-вьетнамских летных экспедициях в 1983 г. (научный руководитель Н.К. Винниченко), 1984 г. (и.о. научного руководителя А.В. Литинецкий) на самолёте-метеолaborатории ИЛ-18Д «Циклон» был получен положительный опыт полётов в тропических штормах. Многодневное (с 23.10 по 01.11.1984 г.) зондирование в акватории Южно-Китайского моря тропического шторма *Уоррен* с многократным пересечением его активной зоны позволило расширить представление о возможностях исследовательских полётов в интенсивных конвективных зонах, а также собрать интересные экспериментальные данные (А.В. Литинецкий, Н.И. Алябьев).

В ходе совместных советско-кубинских летных экспедиций, выполнявшихся на советских самолётах-метеолaborаториях ИЛ-18Д «Циклон» (1987) и АН-12Б «Циклон» (1988-1990), осуществлялись исследования тропических циклонов Северной Атлантики, направленные на получение данных о распределении и эволюции метеорологических параметров в циклонах, изучение макрофизических и микроструктурных характеристик их облачных скоплений и полей осадков в зонах внутреннего ядра циклонов и их периферии. На протяжении указанного периода были выполнены многократные



Участники первой советско-вьетнамской летной экспедиции по исследованию тропических циклонов. Ноябрь 1983 г. (Фото Н.С. Рябцева).



Носовой обтекатель СМЛ ИЛ-18 «Циклон» после встречи с тропическим штормом Эмили. Куба, сентябрь 1987 г. (Фото Н.С. Рябцева).



Траектория последовательного перемещения центра урагана Гильберт с 11 по 15 сентября, на которой отмечены районы выполнявшихся самолётом АН-12 исследований, схемы полётов и спутниковые (NOAA 9) снимки его облачной системы.

полёты во внутреннюю зону четырех тропических депрессий, пяти тропических штормов – *Эмили* (1987), *Айрис* (1988), *Джерри* (1988), *Клаус* (1990), *Марко* (1990) и трех интенсивных ураганов – *Гильберт* (1988), *Габриэль* (1989), *Хьюго* (1989). В большинстве случаев полёты характеризовались значительной продолжительностью (до 8 часов и более) и сопровождалась неоднократными (до пяти-шести) пересечениями центральной зоны циклонов на высотах от 600 м до 4500 м.

В летных экспедициях отработаны методические аспекты организации и проведения полётов в сложных, экстремальных метеоусловиях, включая вопросы их безопасности, получены интересные экспериментальные данные о целом ряде объектов исследования.

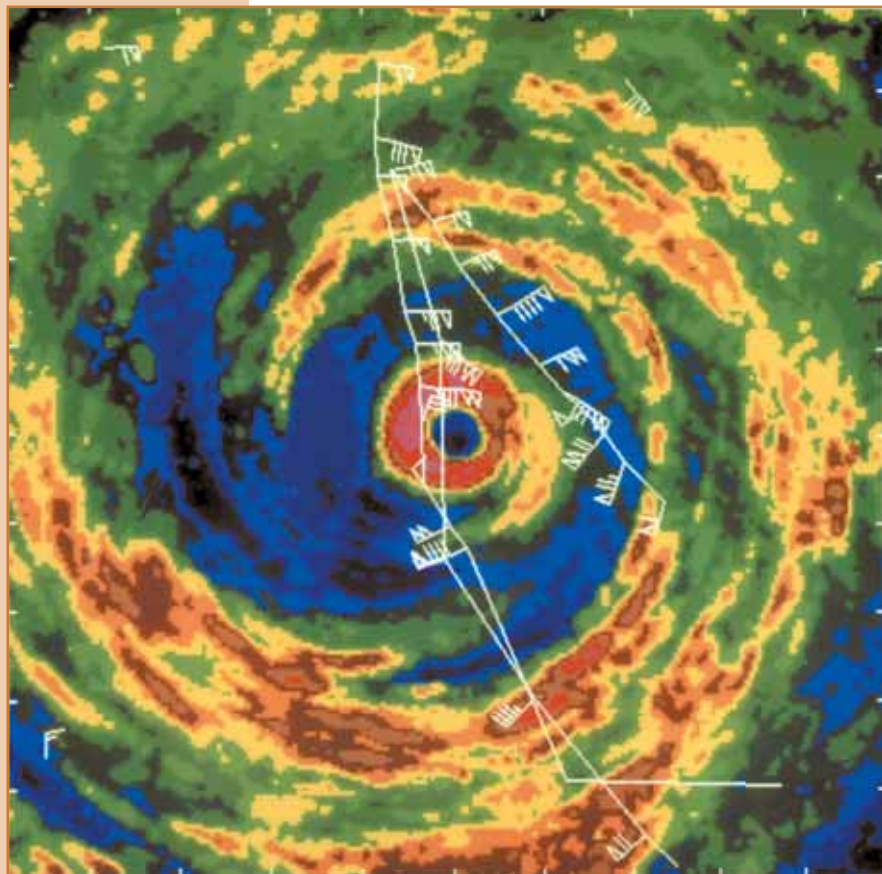
Важный опыт был приобретен при полётах в активной зоне тропического шторма *Эмили* и на периферии ТЦ *Флойд* во время экспедиции Ил-18Д «Циклон» на Кубу в 1987 г.

Встретившаяся при пересечении самолётом спиральной дождевой полосы вблизи центра циркуляции *Эмили* очень высокая плотность облаков и осадков, а также наличие большого числа ледяных частиц на уровне полёта 5400 м, послужили причиной существенного повреждения радиопрозрачных обтекателей бортовой радиолокационной аппаратуры. Этот опыт был учтен при проведении последующих исследований ТЦ.

Большой объем экспериментальных данных был собран в 1988 г. во время экспедиции на Кубу самолёта-метеолaborатории АН-12БП «Циклон». За время экспедиции были выполнены полёты в две тропические депрессии, а 11-15 сентября было проведено 5 полётов в активную зону сверхинтенсивного тропического урагана *Гильберт*. При этом самолёт более 10 раз проникал в центральную часть («глаз») урагана с целью сбора данных о строении активной зоны урагана и уточнения положения центра динамической циркуляции, данные о котором оперативно передавались в Гавану (Г.П. Берюлев, А.В. Литинецкий).

На рисунке представлена траектория последовательного перемещения центра урагана *Гильберт* с 11 по 15 сентября, на которой отмечены районы выполнявшихся самолётом АН-12 исследований, схемы полётов и спутниковые (NOAA 9) снимки его облачной системы.

Характер полученных в ходе полётов экспериментальных данных иллюстрируется для одного из полётов рисунком на стр. 42, где приведена часть траектории полёта самолёта 13.09.1988 в активной зоне урагана в горизонтальной плоскости, на высоте 3,0 км. На траекторию нанесены измеренные значения ветра. Также приведено горизонтальное распределение радиолокационной отражаемости облаков и осадков в центральной зоне урагана по данным радиолокатора секторного обзора. Следует отметить, что приведенное на рисунке изображение является композиционным, т.е. составлено из целого ряда мгновенных последовательных изображений вдоль трассы полёта. Это объясняется тем, что используемые на АН-12 бортовые радиолокаторы с длиной радиоволны 3,2 см подвержены значительному ослаблению гидрометеорами, в результате чего радиус достоверного воспроизведения отражаемости на единичном изображении в центральной зоне урагана, как правило, не превышал 15-20 км.



Фрагмент полёта СМЛ АН-12БП «Циклон» в активной зоне супер- урагана Гильберт 13.09.1988. Высота пересечения стены глаза – 3,0 км. На фоне композиционного радиолокационного отражения облаков и осадков, полученного бортовыми метеолокаторами, 240х240 км., максимум р/л отражаемости - в стене глаза – 43 dBZ. (P.G. Black, A.B. Литинецкий).

Полёты в супер-урагане *Гильберт* позволили сформулировать основные положения методики самолётных исследований ТЦ и проверить на собственном опыте имеющиеся в зарубежной научной литературе разрозненные сведения о встречаемых в ТЦ метеорологических явлениях с точки зрения их опасности для проведения многочасовых летных исследований ураганов (А.В. Литинецкий, Г.П. Берюлев, В.В. Волков).

В летной экспедиции 1989 г. опыт полётов на самолёте-метеолaborатории АН-12 в экстремальных условиях был существенно расширен. Наколены данные о выполненных исследованиях в сверхинтенсивных ураганах *Габриэль* и *Хьюго*, тропической депрессии *Айрис* и тропическом шторме *Джерри*.

Во время полётов в циклонах *Габриэль*, *Хьюго*, *Джерри* высоты (барометрические) пересечения циклонов находились в пределах от 0,6 до 4,5 км. Было выполнено 7 радиальных пересечений облачной стены урагана *Габриэль* (5-6 сентября), около 12 радиальных пересечений урагана *Хьюго* (16, 17, 19 сентября), 6 радиальных пересечений центральной

части тропического шторма *Джерри*. Отмечено, что, как и в урагане *Гильберт*, в *Габриэле* и *Хьюго* наблюдалась большая асимметрия в температурно-ветровом поле, однако ураган *Гильберт* имел в период исследований «классическую» структуру спиральных волос и облачной стены глаза. Интенсивность осадков, по данным радиолокатора вертикального зондирования, и концентрация крупных частиц в активной зоне ураганов *Габриэль* и *Хьюго* были меньшими, чем в *Гильберте*.

В ходе проведенных летных исследований собран большой объем данных о структуре полей метеорологических элементов, их стратификации в тропических циклонах различной интенсивности, а также получен положительный опыт работы в зонах метеорологических явлений, классифицируемых руководящими документами гражданской авиации как опасные для полётов воздушного судна. К таким явлениям относятся: вихревое поле (в прямом смысле - ураганного) ветра, восходящие и нисходящие потоки в зонах спиральных полос и, в особенности, в облачной стене глаза урагана, сильная болтанка самолёта, гроза, град и интенсивное обледенение.

В ходе полётов в активной зоне ураганов мы столкнулись с рядом особенностей в работе некоторых исследовательских приборов. О существенном уменьшении дальности видимости обзорного радиолокатора уже упоминалось выше. Для проведения подобных полётов в будущем необходимо заменить обзорный радиолокатор на 5-сантиметровый. Доплеровский измеритель путевой скорости в зонах интенсивного дождя при значениях радиолокационной отражаемости выше 40 dBZ, встречавшихся в некоторых спиральных полосах и облачных стенах, дает искажение значений вектора скорости самолёта относительно земли, что приводит к существенным погрешностям измерения горизонтального ветра. Данные о ветре в этих зонах были получены путем восстановления значений путевой скорости интегрированием проекций компонентов перегрузки самолёта. Для получения высокоточных значений путевой скорости самолёта рекомендуется установить на борту самолёта-метеолaborатории и использовать в расчетах вектора ветра инерциальную навигационную систему.

Тропические циклоны до сего времени остаются одним из наиболее опасных метеорологических явлений, ежегодно уносящим многие человеческие жизни и причиняющим огромный материальный ущерб. В связи с этим чрезвычайное значение имеет объединение усилий ученых разных стран в

создании надежных методов прогнозирования перемещений и эволюции тропических циклонов, в получении необходимых для этого экспериментальных данных о циклонах, включая данные самолётных исследований.



Семинар по итогам первой летной экспедиции.
Вьетнам. Декабрь 1983 г. (Фото Н.С. Рябцева).

Важно отметить, что описанные полёты отечественного самолёта-метеолaborатории Ан-12БП «Циклон» в тропических ураганах *Гильберт*, *Габриэль*, *Хьюго* выполнялись в большинстве случаев одновременно с полётами американских самолётов-разведчиков ураганов WP-3D «Орион», что потребовало их определенной координации.

Собранные отечественными и американскими исследователями экспериментальные данные о строении активной зоны урагана Гильберт были совместно проанализированы (П.Г. Блек, А.В. Литинецкий, Г.П. Берюлев) и представлены научному сообществу в мае-июне 1991 г. на международных симпозиумах по тропическим циклонам в Майами и Обнинске.

Studies of clouds and dynamics of the atmosphere

Cloud studies have been continuously carried out at the Central Aerological Observatory since the very beginning of its activity. The foundation of this research was laid by the creators of the national school of cloud physics A.C. Khrgian, A.M. Borovikov, and E.G. Zack.

Clouds are a product of the interaction of physical micro-, meso-, and macroscale atmospheric processes, and CAO researchers have made their contribution to all these aspects of cloud physics. They largely contributed to the development of instruments and methods to study micro- and mesoscale processes, as well as to collecting, analyzing, and summarizing the accumulated empirical data. Since the 1950s, much attention has been given to theoretical studies, particularly, to the numerical simulation of processes associated with the formation of clouds and precipitation, both separate clouds and cloud fields being the subject of investigations.

A number of monographs and handbooks by CAO scientists A.C. Khrgian, I.P. Mazin, S.M. Shmeter, et al., published in the period 1961-1991, have greatly influenced cloud physics research in this country and abroad.

The studies carried out by CAO in the field of the atmosphere dynamics were largely aimed at solving applied problems for the needs of aviation.

In cooperation with the Hydrometeorological Center, the State Research Institute of Civil Aviation, the Main Geophysical Observatory, and some other national research institutes, CAO has collected a unique amount of high-quality experimental data not only on the troposphere, but also on the lower stratosphere. In particular, a pioneering research of the structure of tropospheric jet streams was fulfilled, which was made possible by the development at CAO of original aircraft and radar measurement instrumentation.

Several guidebooks on aircraft meteorological sounding, icing forecast, the techniques of flights in low stratiform clouds and nearby thick convective clouds, etc., authored by CAO specialists, are being successfully applied in the practical activities of the national Hydrometeorological Service and Civil Aviation.

Before the 1980s, the USA was actually the only country with vast experience and expertise in aircraft exploration of tropical cyclones. However, in 1983, the Soviet Union undertook to carry out investigations in this field in cooperation with several tropical countries. The very first Soviet-Vietnamese aircraft expeditions in 1983 and 1984 on board IL-18D "Cyclone" weather lab, devoted to the exploration of tropical storms, were successfully carried out. Soundings of the tropical cyclone Warren over the waters of the South China Sea in the period between 23 October and 01 November 1984 enabled better understanding of the potentials of research flights in intensive convection zones and furnished interesting experimental data.

The Soviet-Cuban flight expeditions on board the Soviet aircraft weather labs IL-18D "Cyclone" (197) and AN-12B "Cyclone" (1988-1990) to explore tropical cyclones in Northern Atlantic aimed at acquiring data on the distribution and evolution of meteorological parameters in cyclones, macro-physical and microstructure characteristics of cyclonal cloud clusters and precipitation fields in the zones of inner cyclone zones (up to 10 km) and peripheries.

During this period, multiple flights were fulfilled into the inner zones of four tropical depressions, five storms: Emily (1987), Iris (1988), Jerry (1988), Klaus (1990), and Marco (1990), and three severe hurricanes: Gilbert (1988), Gabriel (1989), and Hugo (1989). In most cases, the flights lasted for over 8 or more hours with the aircraft repeatedly crossing central cyclone zones at heights from 600 up to 4500 m.



70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



САМОЛЁТЫ-МЕТЕОЛАБОРАТОРИИ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ
AIRCRAFT STUDIES OF ATMOSPHERIC BOUNDARY
LAYER AND CLOUDS

САМОЛЁТЫ-МЕТЕОЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

AIRCRAFT STUDIES OF ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER AND CLOUDS



Самолёт-метеолaborатория ИЛ-14 и его научный экипаж,
Днепропетровск, 1976 г.

Самолёты начали использоваться в ЦАО для исследования атмосферы в 1946 году. За прошедшие годы специалисты ЦАО выполняли научные полёты на десятках типов самолётов и вертолётов, как гражданских, так и военных. Здесь и небольшие самолёты (ПО-2, ЯК-18, ЛИ-2) и машины среднего класса (ИЛ-12, ИЛ-14, АН-24), а также такие «гиганты» как ТУ-114, ТУ-16 и сверхзвуковой ТУ-144.

Под научно-методическим руководством ЦАО (А.М. Боровиков, В.А. Девятова) была создана и функционировала с 1957 по 1963 г.г. первая и единственная в мировой практике сеть самолётного зондирования атмосферы, состоящая из 31 пункта на территории бывшего СССР. Данные, накопленные за тот период, продолжают использоваться в научных и прикладных метеорологических исследованиях, относящихся к различным аспектам физики атмосферы и, особенно, для целей авиации.

Первые исследовательские полёты на первом опытном образце реактивного гражданского самолёта ТУ-104Б в 1958-1959 г.г. проходили также с участием ЦАО (С.М. Шмистер, Н.К. Винниченко, А.Н. Пахомов, Г.Н. Шур). На самолёте исследовались струйные течения, существование которых было впервые обнаружено в 1945 г., а подтверждение о повсеместном их существовании появилось в послевоенные годы. При испытаниях самолёт поднимался за пределы тропосферы до 10-11 км. Самолёт ТУ-104 использовался также для изучения перистых облаков, атмосферного электричества, явления турбулентности. Экспериментальные исследования турбулентности на самолёте-лаборатории ТУ-104, выполнявшиеся под руководством Г.Н. Шура, привлекли внимание ученых к результатам, полученным в ЦАО. Тогда впервые для расчетов функции самолёта ТУ-104 была использована электронно-вычислительная машина БЭСМ-1, разрабатывавшаяся в ИТМ АН СССР под руководством академика А.С. Лебедева. В конце 60-х годов работы ЦАО с использованием самолётов приобрели первую международную известность. На международном Коллоквиуме по турбулентности, проходившем в Москве в 1965 году, в докладах американских и советских ученых широко обсуждалась теория Шура-Ламли о спектре турбулентности в устойчиво стратифицированной атмосфере.

Сейчас в состав ЦАО входит Летный научно-исследовательский центр (ЛНИЦ), основными задачами которого являются:

- организация и выполнение летных исследований по тематике Росгидромета;
- разработка и летные испытания самолётной бортовой научной аппаратуры и испытания средств для активных воздействий;
- проведение опытно-производственных работ по активным воздействиям на облака и осадки.

А.М. Боровиков, Н.З. Пинус, И.И. Гайворонский, Ю.А. Серегин и др. положили начало разработке методик использования летающих лабораторий для исследования различных атмосферных процессов и для активных воздействий.

Летный отдел существовал в ЦАО и до организации ЛНИЦ, но в связи с расширением круга задач, как научных, так и производственных, решаемых с помощью самолётов, встал вопрос



Самолёт-метеолaborатория ИЛ-18Д № 75442 «Циклон».

о создании отряда летающих метеорологических лабораторий, оснащенных самым современным самолётным метеорологическим оборудованием, микрофизическими и актинометрическими приборами, локаторами для дистанционного зондирования, хорошей навигационной системой. К этому времени в Обсерватории произошло быстрое развитие инструментальных методов для измерения термических и динамических параметров атмосферы, микроструктуры облаков. Создавались новые уникальные самолётные приборы для изучения атмосферы (А.М. Боровиков, Г.Н. Шур, В.С. Хахалин, Н.К. Винниченко, А.Н. Пахомов, А.Н. Невзоров). Для задач активных воздействий требовалось также оборудовать специальные самолёты, оснащенные, кроме приборов, еще и приспособлениями для отстрела пиропатронов и дозаторами для выполнения работ по засеву реагентами облачности. Таким образом, ЛНИЦ

создавался для организации целого парка летающих научно-исследовательских метеорологических лабораторий на базе самолётов гражданской авиации для целенаправленного изучения атмосферных процессов и проведения экспериментов по активным воздействиям. В конце 70-х годов были созданы специальные самолёты - метеорологические лаборатории проекта «Циклон» на базе самолётов ИЛ-18, АН-12 и ТУ-16. Их использование, в комплексе с наземными, сетевыми аэрологическими и радиолокационными наблюдениями, позволило сделать значительный шаг вперед в исследовании взаимодействия циркуляционных процессов и облачных полей разного масштаба в циклонических образованиях умеренных широт. С помощью самолётов-лабораторий стало возможным изучение мезомасштабных и микромасштабных особенностей строения фронтальных разделов и микрофизического строения облаков. Накопленный за более чем 20-летний период исследовательских полётов банк данных по сей день является уникальным. На основе этих данных было выполнено огромное количество научных работ в области исследования термодинамического строения и структуры облачных полей и полей осадков в субсиноптических и фронтальных образованиях, в области микрофизического строения облаков и турбулентности атмосферы.



Самолёт-метеолaborатория для активных воздействий на облачные системы АН-26Б № 26408 «Циклон» (слева) и ИВК «Циклон-01» СМЛ АН-26Б «Циклон». 1986 г. (справа).



Одновременно с изучением облачных полей и фронтальных процессов развивались методы воздействия на отдельные облака, их скопления и на облачные поля.

В 1985-1987 г.г. ЛНИЦ ЦАО, при участии авиационной промышленности, проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские

работы по созданию специализированных самолётов для выполнения работ по активным воздействиям на облака и облачные системы (Ю.В. Мельничук, Ю.А. Серегин, Н.К. Винниченко). Созданный флагман - самолёт воздействия АН-26Б № 26408 «Циклон» был оборудован новым

типом измерительно – вычислительных комплексов ИВК «Циклон-01» для измерения и оперативного представления основных метеорологических параметров, необходимых при выполнении задач активных воздействий на облака (А.В. Литинецкий, В.В. Волков, Г.Я. Нечипоренко), а также – уникальной герметичной дозирующей углекислотной установкой для сброса гранулированной углекислоты и мощными средствами отстрела пиропатронов (Л.И. Красновская).



Самолёт-метеолaborатория АН-30. 1999 г.

Самолёты-лаборатории серии «Циклон» участвовали в изучении атмосферы при солнечном затмении и при вулканическом извержении, исследовали самые нижние слои тропосферы над заболоченной территорией и неоднородной подстилающей поверхностью полуостровов, измеряли загрязнение атмосферы в промышленных центрах, изучали атмосферу в арктической дымке и атмосферу в тропическом циклоне, летали над горами Средней Азии и в приземном слое Японского и Охотского морей. Традиционно высокая квалификация летного состава позволяла выполнять сложнейшие технические летные эксперименты.

В создании ЛНИЦ, организации научно-исследовательских работ и оборудовании первых самолётов-лабораторий участвовали сотрудники ЦАО - В.К. Бабарыкин, В.П. Беляев, И.М. Гальперин, В.Ф. Гракович, В.К. Дмитриев, Г.Н. Костяной, И.Ф. Локтионов, А.Н. Пименов, В.Б. Смирницкий, Г.Н. Шур, В.П. Юриков, Н.К. Винниченко.

С помощью самолётов ЦАО за 20 лет было выполнено много уникальных крупномасштабных экспериментов и производственных работ по исследованиям атмосферы и активным воздействиям как в СССР и затем в России, так и за рубежом. Особого упоминания заслуживают:

- многолетние проекты по увеличению количества осадков над засушливыми районами (7 лет в Республике Куба, 9 лет в Сирии, 3 года в Иране);
- эксперимент по исследованию тропических ураганов (тайфунов) на Кубе и во Вьетнаме;
- производственные работы по «раскрытию» аэродромов от туманов.
- чрезвычайные работы в 1986 г. после аварии на Чернобыльской АЭС по предотвращению интенсивных осадков над 30-ти км зоной вокруг атомного реактора;
- улучшение погоды над локальными участками Москвы и над городами в других регионах в дни праздников и массовых мероприятий;

В настоящее время все упомянутые выше самолёты выработали установленные сроки лётной службы и работы с их помощью прекращены.



Самолёт-лаборатория М-55 «Геофизика» вылетает с авиабазы в г. Ушуй в Антарктиду. Октябрь 2007 г.



География самолетных исследований с использованием самолёта М-55 за период с 1997 по 2010 г.г.

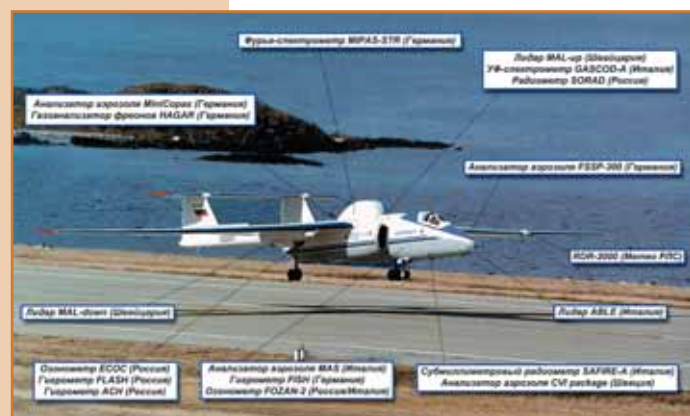
Для выполнения работ по активным воздействиям на атмосферные процессы были вновь оборудованы самолёты АН-26 и АН-30, которые использовались в последние годы в проектах по увеличению осадков в Сирии и Иране.

В 1993-95 г.г. специалисты ЦАО приняли активное участие в создании международной летающей лаборатории на базе высотного самолёта-разведчика М-55 «Геофизика» (В. У. Хаттатов, С.М. Шметер, Н.К. Винниченко, В.А. Юшков, М.Ю. Мезрин). В ЦАО была создана уникальная научная аппаратура для этого самолёта, измеряющая содержание озона и водяного пара, интенсивность солнечной радиации и температуру наружного воздуха на высотах до 20-21 км.

ЦАО Росгидромета, совместно с Экспериментальным машиностроительным заводом им. В. М. Мясищева оборудовало высотный самолёт-лабораторию М-55 «Геофизика» комплексом научной аппаратуры для исследования химического состава и строения атмосферы. В период с 1997 г. по 2010 г. ЦАО Росгидромета совместно с научными организациями стран ЕС выполнены комплексные самолётные исследования химического состава и динамических процессов в свободной тропосфере и стратосфере. Особое внимание уделялось изучению строения



Самолётная экспедиция в Антарктиду по исследованию озоновой дыры (APE-GAIA), Ушуй, Аргентина, сентябрь-октябрь 1999 г.



Высотная (до 21 км) самолетная научная лаборатория М-55

и состава области тропопавзы и нижней стратосферы с целью оценки состояния озонового слоя, оценки потоков парниковых и химически и радиационно-активных газов из тропосферы в стратосферу и изучения условий тропосферно-стратосферного обмена. Результаты самолётных измерений строения и состава атмосферы анализировались с данными модельных расчетов с использованием двух и трехмерных моделей различного уровня. Проведены также самолётные работы по валидации данных спутниковых измерений пространственно-временных распределений малых газовых составляющих атмосферы, в том числе данных с европейского спутника ENVISAT, российского спутника «Метеор-3М».

География самолётных экспедиций с использованием самолёта М-55 «Геофизика» в 1997-2010 г.г. включала полярные районы Арктики, Антарктики, средние и тропические широты Северного и Южного полушарий.

Названные работы ЦАО выполнялись совместно с учеными, Италии, Германии, Швеции, Швейцарии, Великобритании, США и обеспечивались финансированием в рамках международного научно-технического сотрудничества для оплаты самолётных работ.

Наиболее существенная часть расходов по использованию самолёта М-55, а также финансирование самолётных экспедиций осуществлялось за счет национальных средств стран ЕС и Комиссии ЕС по программам исследований окружающей среды, Европейского космического агентства (ESA). Эти работы получали также финансовую поддержку по

линии Министерства промышленности, науки и технологий РФ для обеспечения участия российских ученых в проведения научных исследований.

В результате выполнения исследований по данному направлению в России создана уникальная научная платформа, которая эффективно используется для:

- мониторинга состояния озонового слоя, распределений парниковых газов, ответственных за антропогенные изменений климата атмосферы;
- проведения научных исследований в области химии и динамики атмосферы;
- методического обеспечения задач космического дистанционного зондирования атмосферы, в части валидации данных спутниковых измерений состава и характеристик верхней атмосферы.

В настоящее время ЦАО приступила к оборудованию летающей лаборатории нового поколения на базе серийного самолёта Як-42Д. На борт самолёта Як-42Д будет установлена современная аппаратура для измерения температуры, давления, плотности и влажности воздуха, ветра, турбулентности, исследования микрофизической структуры облаков и осадков, изучения газового и аэрозольного состава атмосферы, излучения в атмосфере, атмосферного электричества, радиолокационных характеристик облаков и рельефа местности, радиационных и теплофизических характеристик подстилающей поверхности, радиоактивного загрязнения атмосферы и подстилающей поверхности.



Базовый самолёт Як-42Д для создания самолёта-лаборатории нового поколения.

Исследования микрофизических характеристик облаков с помощью самолётов-метеолaborаторий

В течение 1970–80-х годов в Центральной аэрологической обсерватории под руководством А.Н. Невзорова создан комплекс самолётной облачной микрофизической аппаратуры (СОМК), впервые в мире позволивший определять непрерывно и в реальном времени количественные характеристики фазового и дисперсного состава холодных облаков в широком диапазоне их изменений. Аппаратурный комплекс СОМК ЦАО включает в себя следующие приборы: измеритель полной и жидкой водности облаков ИВО-ЦАО, измеритель прозрачности облаков РП, спектрометр (измеритель спектров размеров) крупных частиц ИРЧ, анализатор/спектрометр фазово-дисперсного состава облаков АФСО.

Фазовая избирательность аппаратуры СОМК обеспечивается измерителем фазовых компонент водности ИВО с чувствительностью $\sim 0,003 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, а также анализатором фазового состава облаков АФСО, способным регистрировать по отдельности несферические частицы (кристаллы) с эффективными размерами свыше $\sim 20 \text{ мкм}$ и капли воды $> 12 \text{ мкм}$ в диаметре в смешанном облаке. Эти приборы и сегодня сохраняют уникальность своих технических характеристик.

Все приборы, за исключением АФСО, были включены в состав штатной аппаратуры самолётов-лабораторий летного центра (ЛНИЦ) ЦАО типа Ил-18 и Ан-12. С их помощью получены экспериментальные данные, значительно расширяющие существующие знания в области микрофизического строения и эволюции облаков при отрицательных температурах. Однако, в течение последних двух десятилетий самолётные исследования были приостановлены, и за это время приборы СОМК пришли в физическую негодность. Учитывая также их техническое и моральное старение, было запланировано восстановить их квалифицированными исполнителями на основе имеющегося опыта, при консультации и под авторским надзором разработчика СОМК и компетентных сотрудников ЦАО.

В задачи новых разработок входит усовершенствование конструкций и схем приборов на современной технической основе, улучшение эксплуатационных показателей и, по возможности, технических характеристик. Изменять состав СОМК на первых порах не предполагается, если этого не потребуют вновь возникающие задачи исследований.

Значительной принципиальной модификации предполагается подвергнуть самолётный прибор АФСО. Новый вариант прибора должен обеспечить не только идентификацию, но и спектрометрию по отдельности капель каждой из двух полиморфных форм облачной жидкой воды, а также ледяных кристаллов. Эти операции производятся на основе видеоизмененного поляризационного метода, испытанного в полётах 1991 года. Подобное устройство для исследований микрофизического строения облаков разрабатывается впервые.

Исследования пограничного слоя атмосферы и облаков с помощью самолётов-метеолaborаторий

Атмосферу принято рассматривать как многослойное образование и особое место в ней занимает пограничный слой. Несмотря на то, что пограничный слой атмосферы имеет небольшую толщину по сравнению с общей высотой атмосферы (даже для неустойчивого состояния высота пограничного слоя атмосферы составляет всего 1 – 2 км), его роль в атмосферных процессах чрезвычайно велика. Помимо того, что в пограничном слое тормозится воздушный поток, здесь наиболее сильны вертикальные градиенты температуры, влаги, велика вертикальная изменчивость концентрации различных газов и примесей. Наиболее интенсивные процессы обмена энергией и влагой между земной (водной) поверхностью и атмосферой происходят именно в ее пограничном слое. Через пограничный слой происходит и перенос загрязнений различного вида, что чрезвычайно важно для оценок экологического состояния атмосферы и поверхности.

Взаимодействие атмосферного воздушного потока с поверхностью земли или воды (подстилающей поверхностью) приводит, как правило, к возникновению турбулентности, т.е. хаотическому вихревому движению воздуха. Турбулентность является мощным механизмом передачи энергии и переноса различных примесей – более чем на порядок превышающей интенсивность молекулярного переноса. В результате в пограничном слое атмосферы возникают турбулентные потоки различных субстанций – импульса, тепла, водяного пара, газов и аэрозольных составляющих. Как известно, подавляющую часть энергии Земля получает от Солнца. Но атмосфера поглощает лишь незначительную часть этой энергии, поскольку практически прозрачна для солнечного света, и большую часть лучистой энергии поглощает подстилающая поверхность. Поглощенная поверхностью энергия передается в свободную атмосферу

через тонкий слой, прилегающий к ней – пограничный слой, а основным способом этой передачи служит турбулентность.

Наиболее полную информацию о строении пограничного слоя атмосферы выше приземного слоя (выше 150 – 300 м) могли дать самолёты-метеолaborатории (СМЛ). Более того, при исследованиях структуры пограничного слоя выше приземного слоя (на высотах более 150 - 300 м) самолёт-метеолaborатория практически не имеет альтернативы.

В середине 1980-х годов в ЦАО начались работы с использованием самолёта-метеолaborатории для исследования пограничного слоя. Перед руководством отдела в лице профессора С.М. Шметера была поставлена задача изучения мезомасштабной структуры турбулентного пограничного слоя над термически неоднородной подстилающей поверхностью. А.А. Постнов был назначен научным руководителем проекта, в задачи которого входило экспериментальное изучение термически неоднородных поверхностей как природного происхождения - острова, полуострова, глубоко вдающиеся в сушу заливы, так и антропогенного происхождения, - территория мегаполиса.

Требовалось на основе экспериментального исследования оценить, насколько высоко распространяется влияние термических неоднородностей разных размеров и интенсивности в полях температуры, ветра и турбулентности в пограничном слое атмосферы. В качестве природной «модели» термически неоднородной подстилающей поверхности использовался контраст вода-суша в районе озера Белое и Онежский полуостров Белого моря. При этом, первое, т.е. вода играла роль отрицательного, а второе (полуостров) – положительного термического возмущения на подстилающей поверхности.

Как оказалось, вертикальная протяженность термических возмущений в атмосфере (так называемых «островов» тепла и холода) зависит не только от контраста температуры на подстилающей поверхности, но и от степени устойчивости вертикальной стратификации фонового воздушного потока. При слабо-устойчивой фоновой стратификации атмосферы острова тепла достигали верхней границы пограничного слоя атмосферы, а интенсивность возмущения ветра на границах островов в таких случаях была наибольшая и достигала 3 м с^{-1} . Удалось получить эмпирическую зависимость между возмущением ветра с одной стороны и соотношением между контрастом температуры на подстилающей поверхности и вертикальным градиентом температуры в пограничном слое вне острова тепла.

Исследования арктической дымки. Исследования влияния ледовых условий на интенсивность тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой



Самолёт Ил-18Д «Циклон» над арктическими льдами. Апрель 1994 г. (Фото Н.С. Рябцева).



Участники российско-германской летной экспедиции по изучению арктической дымки в аэропорту Хатанга. Июнь 1993 г. (Фото Н.С. Рябцева).

В 1993-1995 г.г. в ЦАО, совместно с Университетом г. Майнц, Германия были проведены самолётные исследования арктической дымки – аэрозольных слоев в атмосфере Арктики, состоящих из частиц сажи и продуктов горения, поступающих в Арктику из промышленных районов умеренных широт.

Были проведены четыре летные экспедиции в районах Шпицбергена, Сибири, Северо-Западных Территорий Канады и Аляски, собрано огромное количество экспериментального материала. Были получены оптические характеристики арктической дымки, а также проведен забор аэрозольных



Самолёт-лаборатория Ил-18Д № 75906 и его салон с измерительным оборудованием во время эксперимента (Фото Н.С. Рябцева).

частиц на фильтры. Кроме того, были выполнены исследования структуры пограничного слоя атмосферы в Арктике над свободными ото льда водами Норвежского моря, паковым льдом Центральной Арктики, а также над районом с крупными трещинами и полыньями в море Баффина. Таким образом, были получены сведения о влиянии ледовых условий на интенсивность тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой в условиях Арктики.

В 1999 г. ЦАО был создан еще один СМЛ Ил-18Д с бортовым номером 75906 для выполнения работ в рамках российско-японского сотрудничества по исследованию пограничного слоя атмосферы (научный руководитель проекта – М.А. Струнин). В состав научного оборудования СМЛ Ил-18Д № 75906 входила аппаратура для измерения точного положения самолёта (GPS), высоты и скорости полёта, температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, турбулентных пульсаций скорости ветра, температуры и влажности, радиометры для измерения восходящей и нисходящей длинноволновой и коротковолновой радиации и радиационного баланса в атмосфере, комплекс PMS для измерения спектров размеров частиц атмосферного аэрозоля, регистрирующая аппаратура, средства воздействия на облака. Кроме того, на борт самолёта в разное время устанавливались высокочастотный газоанализатор углекислого газа и водяного пара, инфракрасный термометр-радиометр, полевой спектрометр для исследований радиационных характеристик поверхности, видеокамера. СМЛ Ил-18Д № 75906 использовался в трех международных проектах по исследованию пограничного слоя над Японским и Охотским морями и в районе г. Якутска и в многочисленных научно-производственных работах по метеозащите г.г. Москвы, Санкт-Петербурга, Астаны и Ташкента.

В качестве наиболее ярких примеров использования самолётов-метеолaborаторий для исследований турбулентности и турбулентных потоков в атмосфере можно привести следующие результаты, полученные в рамках различных международных проектов.

Исследования неоднородного пограничного слоя атмосферы с помощью самолётов-метеолaborаторий

Особенности развития конвективного пограничного слоя над термически неоднородной поверхностью

Влияние подстилающей поверхности с явно выраженными термическими пятнами крупных размеров на развитие конвективного пограничного слоя было предсказано теоретически, с помощью методов численного моделирования сотрудниками ЦАО В.М. Ермаковым, С.М. Шметером, Г.И. Антоновой. Однако, вплоть до последнего времени не удавалось получить экспериментальное подтверждение существования мезомасштабных особенностей в пограничном слое и определить условия их возникновения.

Эксперимент по изучению пограничного слоя атмосферы в районе г. Якутска

В апреле-июне 2000 г. в районе, расположенном в 25 км к северо-востоку от г. Якутска над рекой Леной и ее берегами был проведен комплексный эксперимент по исследованию пограничного слоя атмосферы в рамках международного проекта GAME-Siberia (GEWEX Atmospheric Monsoon Experiment in Siberia). Помимо исследований с помощью описанного выше СМЛ Ил-18Д № 75906, эксперимент предусматривал также и наземные измерения на специально оборудованных метеорологических



СМЛ Ил-18Д № 75906 во время комплексного эксперимента в районе г. Якутска. (Фото Kimpei Ichiyanagi (Япония) и Н.С. Рябцева).

мачтах), учащенные радиозондирования атмосферы и спутниковые наблюдения за районом исследований. В самолётной части эксперимента, которой руководил М.А. Струнин, участвовали сотрудники ЦАО: М.Ю. Мезрин, В.К. Дмитриев, Л.С. Сидорьяк, Н.С. Рябцев, Н.А. Алябьев, А.В. Троицкий, П.С. Гайшун.

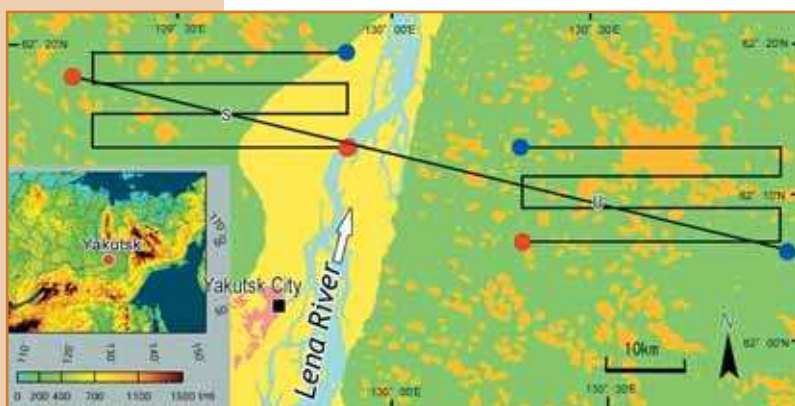


Схема комплексного эксперимента в районе г. Якутска.

Нужно отметить, что река Лена в период наблюдений представляла собой ярко выраженное холодное пятно на поверхности с горизонтальными размерами от 5 до 15 км с перепадами температур между водой и берегами более 15°C (в зависимости от периода наблюдения) и являлась хорошей моделью для изучения развития неоднородного пограничного слоя.

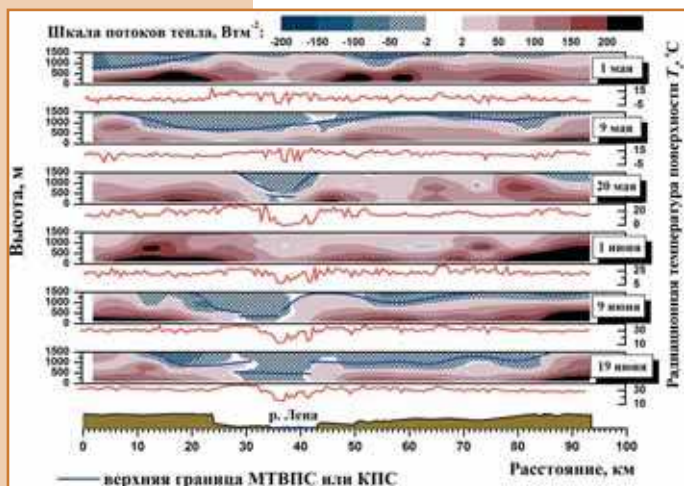
Измерения были выполнены в период весеннего снеготаяния и появления зеленого покрова, и при строго определенных условиях – при отсутствии дождя, слабых ветрах и малооблачной погоде. Схема и время выполнения каждого полёта при измерениях были жестко зафиксированы, а сам маршрут контролировался по системе глобального позиционирования GPS.

В результате исследований М.А. Струниным были обнаружены две особенности развития конвективного пограничного слоя, которые были определены как мезомасштабный термический внутренний пограничный слой МТВПС и локальная бризовая циркуляция ЛЦ.

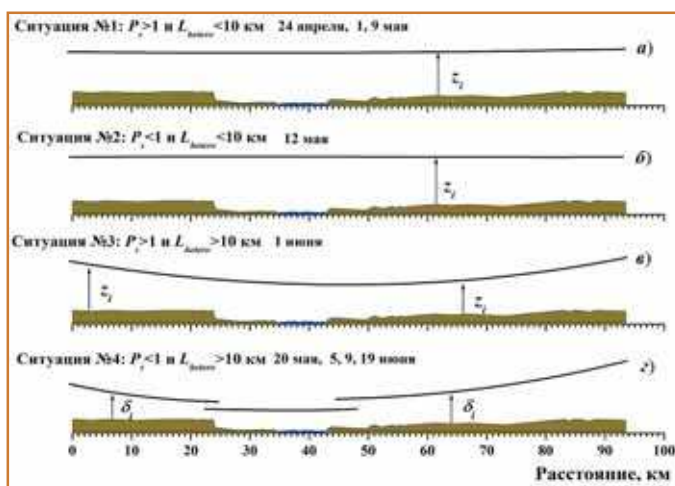
Возникновение и развитие мезомасштабного термического внутреннего пограничного слоя

Данные самолётных зондировок и радиозондирования показали, что пограничный слой во все дни наблюдений развивался в конвективных, неустойчивых условиях. В отдельные дни экспериментов над поверхностью реки Лены по наблюдениям с борта самолёта прослеживались просветы в полях облаков над долиной реки, что было подтверждено и спутниковыми снимками. Инструментально выявить условия развития мезомасштабных слоев позволили пространственные (вертикальные) распределения потоков явного тепла, на которых обнаружены зоны нисходящих потоков над рекой. Существование этих зон было подтверждено также и вертикальными профилями температуры и удельной влажности.

Для выявления развития мезомасштабного слоя был разработан метод, основанный на использовании вновь предложенного параметра устойчивости P_s и размера пятна неоднородности на поверхности L_{hetero} . Было показано, что структура термического пограничного слоя определялась этими параметрами, причем только при $P_s < 1$ и $L_{\text{hetero}} > 10$ км возникал и развивался мезомасштабный термический внутренний пограничный слой, который приводил к радикальному изменению структуры верхней границы пограничного слоя. Сочетание устойчивого слоя над рекой и неустойчивого над ее берегами приводил к разрывам верхней границы погранслоя. Спутниковые снимки для дней наблюдений показывали наличие безоблачных полос над пятном неоднородности в однородных полях Sc и Cu_{med} .



Вертикальные распределения потоков тепла над рекой Лена в различные дни наблюдений.



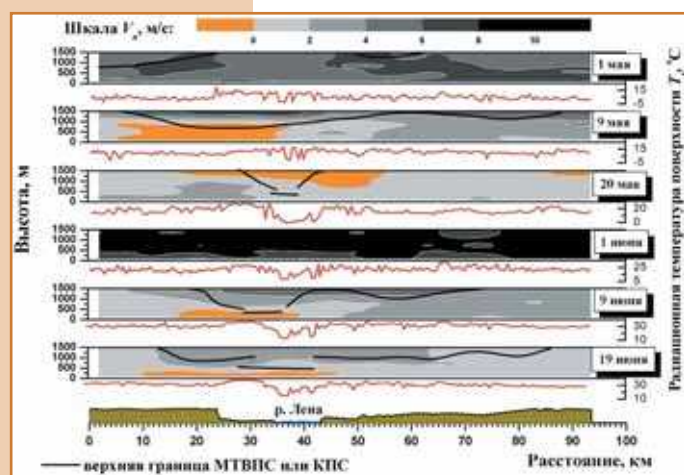
Схемы развития неоднородного термического внутреннего пограничного слоя.

Развитие локальной бризовой циркуляции

Известно, что обширные водные пространства (озера, моря) в силу разности температур над водной поверхностью и сушей порождают бризовую циркуляцию. В том случае, если размеры водной поверхности относительно невелики (небольшие озера, крупные реки), то может возникнуть локальная циркуляция (ЛЦ), влияние которой должно ограничиваться районом, размеры которого сопоставимы с размерами водной поверхности ее порождавшей. Выявить возникновение ЛЦ позволили вертикальные сечения компоненты скорости ветра V_N , перпендикулярной основному руслу реки.

В определенные дни наблюдений над берегами реки Лены были обнаружены явно выраженные зоны противотечения, т.е. области, где ветер имел направление противоположное основному, доминирующему потоку. Во всех случаях зона противотечения располагалась над наветренным берегом реки. Величины скоростей в зоне обратного тока оказались сравнимыми со скоростью доминирующего потока. По вертикальным и горизонтальным компонентам скорости ветра были построены линии тока, которые выявили структуру вихрей ЛЦ и их размеры. Горизонтальная протяженность зон обратного тока составляла 20 - 30 км, а их вертикальная мощность - 600 - 1500 м. Сведения о зонах ЛЦ, обнаруженных с борта самолёта были подтверждены результатами измерений на метеомачтах в пунктах наземных измерений.

Оценки чисел Фруда Fr , представлявших собой отношение сил инерции воздушного потока к силам плавучести дали основание считать, что ЛЦ проявлялась тогда и только тогда, когда силы плавучести существенно превышали инерционные силы. Таким образом, удалось обнаружить локальную бризовую циркуляцию, порожденную термически выделяющимися пятнами на подстилающей поверхности с относительно малыми горизонтальными размерами (5 - 15 км).



Зоны противотечения, возникавшие при локальной циркуляции.

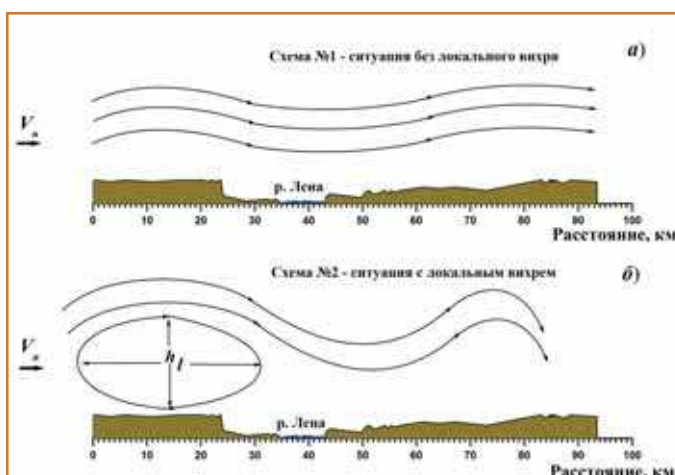


Схема возникновения локальной циркуляции.

Необходимо отметить, что обнаруженные явления имеют кроме фундаментального значения, важного для теории пограничного слоя, также и прикладное значение. Концепции мезомасштабного слоя и локальной циркуляции позволяют, в частности, существенно продвинуться в решении известной проблемы дисбаланса энергии в пограничном слое атмосферы. Учет этих явлений поможет также объяснить расхождения в показаниях приборов на наземных метеостанциях, часто наблюдавшихся, казалось бы, при одинаковых погодных условиях. Сведения об особенностях развития мезомасштабных слоев и возникновении локальной циркуляции важны и при экологических исследованиях распространения загрязнений.

Метод раздельной параметризации потоков субстанций

Новый подход к моделированию неоднородного слоя был разработан для исследований спектральной структуры турбулентных потоков с помощью вейвлет-преобразования (М.А. Струнин). Вейвлет-анализ оказался наиболее эффективным способом исследования потоков в мезомасштабно-неоднородном пограничном слое, позволяющим построить так называемые кросс-скалограммы – картины распределения интенсивности потоков различных субстанций (тепла, водяного пара, углекислого газа) по волновым числам и положению в пространстве.

На кросс-скалограммах были обнаружены достаточно ясные границы между областями с различными масштабами вихрей, и, как следствие, практически все коспектры имели по два явно выраженных пика. Это навело на мысль о существовании в мезомасштабно-неоднородном пограничном слое двух типов движений и возможности разделения этих движений для независимого анализа. Первый тип движения определялся турбулентными вихрями, масштабы которых были меньше некоторого граничного размера сопоставимого с высотой пограничного слоя (около 2 км). Другой тип движений был отнесен к мезомасштабным – с размерами вихрей от 2 до 20 км. Интенсивности потоков на масштабах превышавших 20 км и меньших 100 м оказались пренебрежимо малы. Был разработан метод определения граничного масштаба, разделяющего мезомасштабные и турбулентные движения. При интегрировании коспектра по волновым числам большим граничного, определялся турбулентный поток, а по волновым числам меньшим граничного – мезомасштабный поток, после чего эти потоки могли быть проанализированы независимо друг от друга. Средние модальные размеры турбулентных и мезомасштабных движений отличались в 5 – 10 раз, что было вполне достаточно для надежного разделения движений. Предложенный метод параметризации мезомасштабно-неоднородного пограничного слоя был назван «методом раздельной параметризации».

Разделение спектральных зависимостей различных параметров на турбулентную и мезомасштабную части позволило построить модели подобия для мезомасштабно-неоднородного пограничного слоя, т.е. именно в той области, где такая параметризация казалась невозможной. Было выявлено, что турбулентные и мезомасштабные потоки подчинялись различным моделям подобия. Интенсивность турбулентной части потоков монотонно убывала с высотой и становилась пренебрежимо малой у верхней границы пограничного слоя, причем разброс точек относительно сглаживающей кривой был невелик. Такой характер профилей резко отличался от общепринятых моделей подобия для конвективного пограничного слоя.

Модель подобия в мезомасштабном диапазоне вихрей имела особый характер. Здесь вертикальные профили потоков всех субстанций имели перегибы на одной и той же относительной высоте, – приблизительно в середине слоя. Важно, что суммарный профиль для потока тепла оказался схожим по форме с профилями потоков, рассчитанными с помощью методов крупновихревого моделирования.

Особенности сезонных изменений мезомасштабных и турбулентных потоков углекислого газа

Метод раздельной параметризации позволил оценить характер сезонных изменений турбулентных и мезомасштабных потоков в конвективном пограничном слое. Все изменения потоков импульса обуславливались исключительно ветровыми условиями в день измерений. Наиболее существенный вклад в потоки тепла независимо от времени года давали турбулентные движения, а изменение термодинамических условий приводило к одновременному изменению и турбулентных и мезомасштабных потоков. Вклад турбулентных и мезомасштабных движений в суммарный поток водяного пара оказался приблизительно одинаков. Но наиболее интересными оказались сезонные изменения потоков углекислого газа. Турбулентная часть потоков, которая в основном определяла общий поток газа через пограничный слой, изменялась в широких пределах и могла

быть как восходящей, так и нисходящей, в зависимости состояния растительного покрова на земной поверхности. В то же время мезомасштабная часть потоков углекислого газа мало менялась за весь период наблюдений и была всегда нисходящей. Эта особенность пока не нашла своего объяснения.

Развитие прерывистого конвективного пограничного слоя над поверхностью с перемежающимися термическими свойствами, приводящее к образованию облаков кучевых форм

Эксперимент по исследованию пограничного слоя атмосферы над Охотским морем

В период с 9 по 19 февраля 2000 г. в рамках российско-японского проекта CREST «Сход морского льда в Охотском море и его роль в метеорологической системе» были осуществлены самолётные исследования морского пограничного слоя. Целью исследований являлось изучение механизмов взаимодействия воздуха, моря и ледового покрова моря для обоснования схем параметризации развития пограничного слоя и образования морского льда.



Полёт по изучению схода морского льда над Охотским морем, февраль 2000 г. (Фото Н.С. Рябцева).



Участники самолётных исследований над Охотским морем. (Фото Н.С. Рябцева)

Самолётным экспериментом руководил М.А. Струнин, а в полётах принимали участие сотрудники ЦАО В.К. Дмитриев, М.Ю. Мезрин, В.В. Волков, Н.И. Алябьев, Ю.В. Агапов, П.С. Гайшун, В.П. Волосатов, Н.С. Рябцев. Измерения проводились в ситуации, соответствующей периферии циклона с центром на южной оконечности Камчатки. Континентальная часть суши, а также северная и восточная части острова Сахалин были порыты льдом. Ветра северо-западных направлений перемещали холодный (с температурами $-17 \dots -20^\circ\text{C}$) континентальный воздух в южную часть Охотского моря. Выходя на относительно теплую поверхность открытой воды в этой части моря, воздух прогревался, в результате чего образовывались облака слоисто-кучевых и кучевых форм. Спутниковые снимки показали, что море с открытой водой было покрыто слоем облаков *Sc-Cu*. На южных Курилах и о. Хоккайдо эти облака достигали стадии *Cu cong - Cb* и давали интенсивные ливневые осадки в виде снега.

Движение холодного воздуха на более теплую поверхность порождало развитие термического внутреннего пограничного слоя конвективного типа, но ситуация была осложнена тем, что наблюдалась перемежаемость типов подстилающей поверхности: сплошной лед, лед с трещинами, лед с водой и вода, свободная ото льда.

Эволюция вертикальных профилей скорости ветра, потенциальной температуры, удельной влажности, турбулентных потоков импульса, тепла и водяного пара вдоль потока, натекающего на термически неоднородную морскую поверхность, наглядно характеризовали трансформацию структуры пограничного слоя от устойчивого к конвективному состоянию. Вертикальное сечение потоков тепла выявило перемежаемость в структуре пограничного слоя, связанную с состоянием подстилающей поверхности.

По локальным профилям потенциальной температуры (с частотой следования через 20 км) была построена зависимость высоты пограничного слоя от расстояния вдоль линии измерения. Верхняя граница термического внутреннего пограничного слоя претерпевала разрывы, обусловленные чередованием зон устойчивости и неустойчивости. Над сплошным льдом высота верхней границы составляла около 300 м и мало менялась. Однако при перемещении воздушного потока на поверхность, состоящую из льда с трещинами и полыньями, стал развиваться конвективный слой. Повторное появление ледовых полей под воздушным потоком прерывало конвективное развитие и привело к образованию устойчивого слоя. Далее пятна открытой воды вновь инициировали развитие

конвективного слоя. Развитие погранслоя к равновесному состоянию началось только после того, как воздушная масса стала проходить над поверхностью, состоящей из льда с водой, причем отношение льда к воде составляло менее 20%. Таким образом, развитие погранслоя над поверхностью с изменяющимися теплофизическими свойствами существенно отличалось от аналогичных слоев, возникавших при резком изменении характеристик поверхности. Трансформация устойчивой воздушной массы происходила на большем расстоянии и сопровождалась возникновением дополнительных слоев меньших масштабов, которые можно было назвать мезомасштабными термическими внутренними пограничными слоями.

Трансформация устойчивого пограничного слоя в конвективный приводила к интенсивным потокам тепла и подъёму водяного пара над поверхностью открытой воды и образованию облаков конвективных форм. Вертикальные потоки тепла и водяного пара на высоте 100 и 200 м над открытой водой достигали величин 80 Вт м^{-2} и $25 \text{ мг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ соответственно, что было сопоставимо с потоками водяного пара над сушей в летний период при сильно неустойчивой ситуации. Для того чтобы пограничный слой стал полностью конвективным, потребовалось перемещения воздушной массы над открытой водой на протяжении всего 65 км. При этом над пограничным слоем образовался слой 10-ти бальной облачности S_c и началось интенсивное развитие кучевых облаков. Дальнейшее движение воздушных масс над относительно теплой поверхностью моря привело к росту кучевых облаков до стадии $Cu\text{ cong} - Cb$ и ливневым осадкам в виде снега на Курильских островах и острове Хоккайдо. В то же время, развитие прерывистого пограничного слоя наблюдалось на протяжении более чем 300 км. Очевидно, что возникновение промежуточных устойчивых слоев сильно тормозило развитие облаков.

Исследования динамической структуры тропических конвективных облаков



Конвективная ячейка и ее изображение на экране наземного радиолокатора.



Наиболее ярко выраженными зонами в атмосфере, где развивается турбулентность, являются не только пограничный слой, но и облака.

Изучение облаков вертикального развития служит для решения многих задач. Сведения о динамической структуре Cu необходимы для разработки прогноза передвижения облаков, интенсивности выпадающих из них осадков, возможности образования в них града и появления шквалов, т.е. предупреждения об опасных явлениях погоды. Модели развития кучевых облаков (в том числе и эмпирические, основанные на чисто экспериментальных данных) необходимы для разработки методов активных воздействий на них с целью увеличения количества осадков в заданных районах или предотвращения градобития сельскохозяйственных культур.

Эксперимент по исследованию тропических конвективных облаков над о. Куба

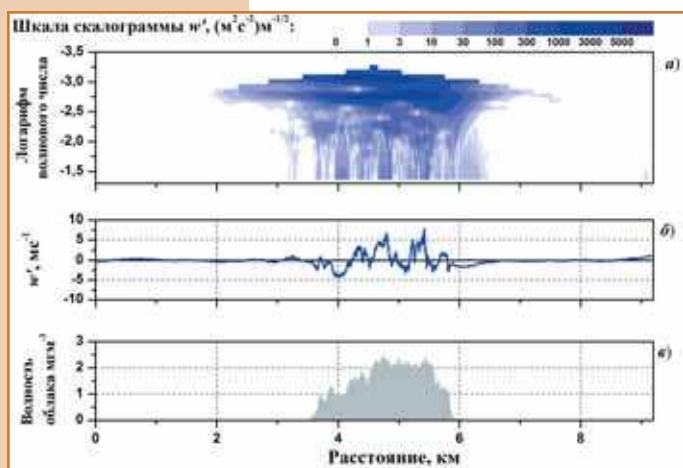


Расположение метеополгона на о. Куба.

Развитие кучевых облаков может наблюдаться в любом географическом регионе, однако, поскольку для их возникновения необходимы довольно большие вертикальные градиенты температуры и высокое увлажнение воздуха, наиболее мощные Cu образуются в тропической зоне. Отличительная особенность конвективных облаков тропической зоны в их ярко выраженной вертикальной протяженности. Часто они принимают форму сильно вытянутых башен, слегка наклонённых по направлению ветра. Скорость роста таких облаков чрезвычайно велика и заметно превышает скорости роста кучевых облаков умеренных широт.



Самолёт-лаборатория АН-26 «Aerogaviota» и команда экспериментаторов.



Скалограмма пульсаций вертикальной компоненты скорости ветра.

Ярко выраженные процессы развития кучевых облаков в тропической зоне делают их чрезвычайно удобными объектами для выявления общих закономерностей динамической структуры облаков вертикального развития.

Изучение турбулентности и воздушных потоков в конвективных облаках тропической зоны проводилось в августе–октябре 2007 г. в рамках российско-кубинского самолётного эксперимента по искусственному регулированию осадков над метеорологическим полигоном в районе г. Камагуэй на о. Куба. Следует отметить, что этот метеорологический полигон один из немногих, существующих в мире. К сожалению, практически все метеорологические полигоны бывшего СССР в настоящее время утрачены. Руководителем самолётного эксперимента с российской стороны был В.В. Петров, а в полётах участвовали сотрудники ЦАО М.А. Струнин, В.К. Дмитриев, Н.О. Крутиков и В.Н. Поздеев.

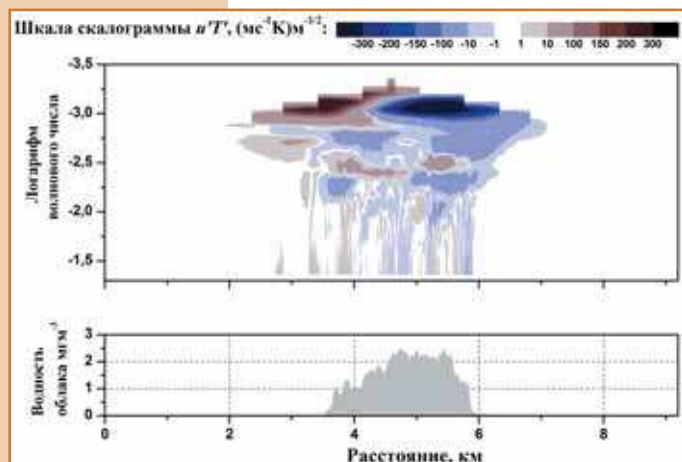
На борт самолёта-лаборатории АН-26, принадлежащего Кубинской авиакомпании Aerogaviota, была установлена российская аппаратура для измерения и регистрации пульсаций горизонтальной (продольной, по отношению к направлению полёта самолёта) компоненты скорости ветра, вертикальной компоненты скорости ветра и пульсаций температуры. По пульсациям скорости ветра и температуры рассчитывались турбулентные (вихревые) кинематические потоки тепла и импульса.

Контроль над перемещением конвективных ячеек проводился с помощью наземного метеорологического радиолокатора, установленного в аэропорту г. Камагуэй. Радиолокатор позволял фиксировать время возникновения конвективной ячейки, которое определялось как момент появления радиоэха от крупных частиц (Б.П. Колосков). По интенсивности радиоэха можно было также судить о развитии облака и росте частиц в нём. Радиолокатор позволял также определять вертикальную мощность (высоту) конвективной ячейки и стадию её развития.

Спектральные характеристики воздушных движений в зоне облаков вертикального развития

Вейвлет-преобразование, примененное для анализа спектральной структуры воздушных движений в конвективных облаках, позволило выявить ряд важных особенностей развития конвективных облаков в тропической зоне. Были рассчитаны и построены скалограммы, которые представляли собой псевдотрёхмерные графики, соответствовавшие энергии сигнала, приходящейся на единицу масштаба вихря и единицу расстояния вдоль линии измерения. Таким образом, скалограмма позволяла не только получать распределение энергии пульсаций по волновым числам, но и определять место этого распределения относительно самого облака.

Скалограммы, рассчитанные для исследуемых измерительных участков в зоне *Си*, показали, что зоны возмущения полей ветра и температуры, связанные с облаком, оказались существенно шире горизонтальных размеров самого облака. Движения наиболее крупных масштабов (с размерами вихрей более 500 м) явно выходили за пределы облака. Мелкомасштабные пульсации скорости ветра и температуры воздуха наблюдались практически только внутри облака. Кроме



Кросс-скалограмма для горизонтальных потоков тепла в кучевом облаке.

того, интенсивность мезомасштабных движений в зоне **Си** во всех случаях существенно (более чем на порядок) превышала интенсивность турбулентных движений. Вероятно, мезомасштабные движения представляли собой вертикальные струи, которые, как известно, составляют основу динамической структуры кучевого облака.

Исследование спектральной структуры воздушных движений в облаках показало, что спектры пульсаций и коспектры потоков не являются автомодельными, т.е. не могут быть описаны некоторыми универсальными эмпирическими безразмерными функциями. Была выявлена зависимость нормированных спектральных характеристик от времени развития конвективной ячейки, которое контролировалось по наземному радиолокатору.

Исследования особенностей вовлечения в облака вертикального развития

Одна из важнейших проблем изучения облаков вертикального развития – исследование процессов вовлечения окружающего воздуха в облако и обмена энергией через границы облака. Эти процессы существенно влияют на эволюцию облаков и должны учитываться при построении моделей развития облака. При этом важно оценить не только вертикальные потоки, но и интенсивность горизонтального обмена, в том числе и вихревого переноса на различных масштабах.

Кросс-скалограммы для потоков тепла показали, что в области мезомасштабов (для вихрей с размерами более 500 м) на ранних стадиях развития конвективных ячеек наблюдались горизонтальные потоки, направленные в основном внутрь облака, причём интенсивность этих потоков более чем на порядок превышала интенсивность турбулентных потоков внутри облака. Существенного турбулентного обмена (на масштабах вихрей менее 500 м) между облаком и окружающим его пространством не отмечалось.

Анализ кросс-спектров для потоков тепла позволил установить, что на начальной стадии развития кучевого облака горизонтальный приток тепла внутрь облака может в 2-5 раз превышать интенсивность вертикального обмена. Таким образом, на начальной стадии своего роста кучевое облако получает большую часть энергии из близлежащих горизонтальных слоёв и передаётся эта энергия в основном за счёт мезомасштабных вихрей.

Впервые по результатам самолётных наблюдений удалось получить экспериментальные сведения о спектральной структуре процессов горизонтального и вертикального обмена между кучевым облаком и окружающей атмосферой. Свойство вейвлет-метода, обеспечивающего расчёт локальных спектров и коспектров даёт широкие возможности для изучения особенностей тонкой структуры воздушных движений как внутри облака, так и на его границах, и открывает перспективу для получения принципиально новых данных о развитии и эволюции облаков.

По результатам самолётных исследований неоднородного пограничного слоя и конвективных облаков был опубликован ряд статей, сделаны доклады и написана глава монографии «Теплообмен в мерзлотных ландшафтах Восточной Сибири и его факторы» (Москва, «Триада» 2007).

Aircraft studies of atmospheric boundary layer and clouds

Aircraft studies of the atmosphere were initiated at the Central Aerological Observatory in 1946. Since that time, research flights were fulfilled on board numerous types of airplanes and helicopters, both civil and military, from small PO-2 and YAK-18, middle-class IL-12, IL-14, and AN-24, to gigantic TU-114, TU-16, and supersonic TU-144.

During the period 1957-1963, the world-first aircraft atmospheric sounding network comprising 31 base points over the territory of the former USSR was operated under scientific and methodological guidance by CAO. The data accumulated at that time continue to be employed in scientific and applied meteorological studies that refer to various aspects of atmospheric physics and particularly to serve the needs of aviation.

The data accumulated at the time continue to be employed in scientific and applied meteorological studies that refer to various aspects of atmospheric physics and particularly to serve the needs of aviation.

The CAO Research Flight Center was organized to solve the following problems:

- organization and fulfillment of aircraft studies in Roshydromet research area;
- development and flight tests of aircraft scientific instrumentation and weather modification technical aids ;
- carrying out experimental and operational activity in intended modification of clouds and redistribution of precipitation.

Aircraft laboratories of a "Cyclone" series have taken part in atmospheric studies during a solar eclipse volcanic eruption, sounded the lowest tropospheric layers over boggy and rugged terrain, measured atmospheric pollution over industrial centers, explored the atmosphere in arctic haze and tropical cyclone, flew over the mountains of Central Asia and in the surface layer over the Japan Sea and the Sea of Okhotsk. The highly experienced flight crews have invariably made it possible to fulfill most challenging experiments.

CAO's long-term aircraft studies of the dynamics of atmospheric processes have furnished some essentially new and important data on the structure of an atmospheric boundary layer and the development of convective clouds.



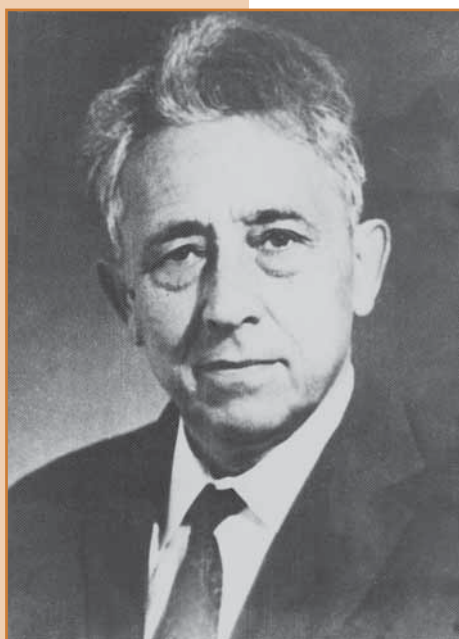
70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



АКТИВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОГОДУ
INTENDED WEATHER MODIFICATION

АКТИВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОГОДУ

INTENDED WEATHER MODIFICATION



Иван Иванович Гайворонский.

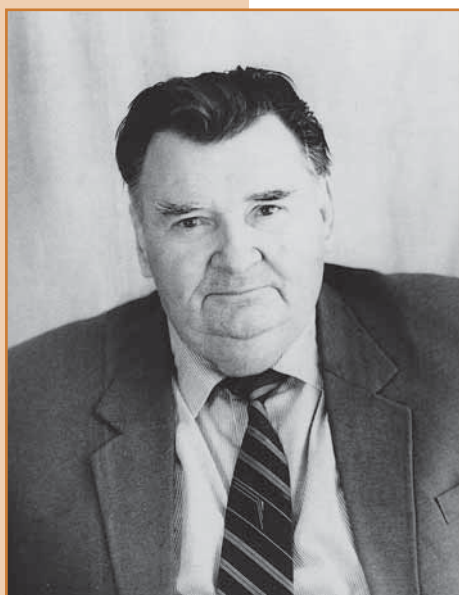
Работы по активным воздействиям были начаты в ЦАО в 1948 г. по инициативе И.И. Гайворонского. В 1954 г. была создана Лаборатория активных воздействий, которая выросла затем в отдел, в течение 22 лет возглавлявшийся И.И. Гайворонским. Первой задачей, решенной в рамках нового направления, явилась разработка метода рассеяния переохлажденных облаков и туманов. Уже к 1951 г., значительно опережая зарубежных исследователей, группа активных воздействий тропосферного отдела ЦАО (И.И. Гайворонский, Ю.А. Серегин, В.К. Бабарыкин) выполнила большой цикл натурных экспериментов и создала самолётную методику искусственного рассеяния переохлажденных облаков и туманов для нужд авиации.

В 1952-1954 г.г. были проведены широкие натурные испытания разработанной методики в различных физико-географических районах страны.

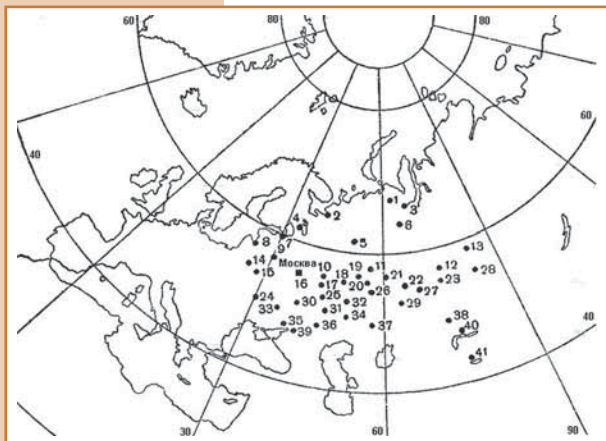
Из 184 опытов воздействий твердой углекислотой большая часть (82 опыта) была проведена с низкими слоистыми и слоисто-кучевыми облаками, 65 опытов - с туманами и 37 опытов - со слоисто- дождевыми и высоко - кучевыми облаками. Вертикальная мощность туманов находилась в пределах 100-1000 м, а облаков 100-1500 м. Из 184 опытов в 157 произошло полное, а в 22 – частичное рассеяние облаков или туманов. Положительные результаты воздействий не наблюдались только в 5 случаях. При этом отсутствие или недостаточный эффект воздействия были обусловлены высокими значениями температуры воздуха или скорости ветра (более $10-12 \text{ мс}^{-1}$).

В 80-е годы работы в области искусственного рассеяния низких переохлажденных облаков и туманов были сосредоточены на создании автоматизированных самолётных и наземных средств воздействия на основе хладореагентов различных типов (углекислота, пропан, жидкий азот) и на разработке методики их практического применения.

Для научного обоснования технических характеристик наземных средств воздействия были проведены лабораторные исследования, направленные на изыскание эффективных способов введения в туман хладореагентов и определение их максимальной эффективности (Л.И. Красновская, А.Н. Хижняк). Несмотря на высокую эффективность, достигнутую при лабораторных исследованиях жидкого пропана и при испытании экспериментальных образцов автоматизированной системы пропановых установок, в дальнейшем при эксплуатации системы таких установок был выявлен ряд технических трудностей, послуживших причиной отказа от широкого внедрения этой системы. За рубежом (США, Франция) эти трудности, по-видимому, отсутствовали и аналогичные системы применяются на аэродромах до настоящего времени. В эти же годы для обеспечения самолётных работ совместно с Производственным объединением «ЗИЛ» был разработан экспериментальный образец отечественного гранулятора для получения калиброванных по размеру твердых гранул из жидкой углекислоты. Совместно



Юрий Алексеевич Серегин.

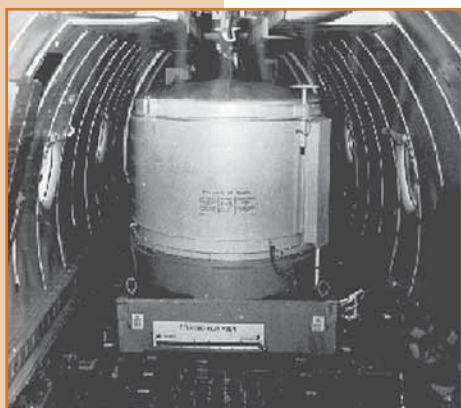


Географическая схема размещения мест проведения испытаний методики рассеяния облаков и туманов.

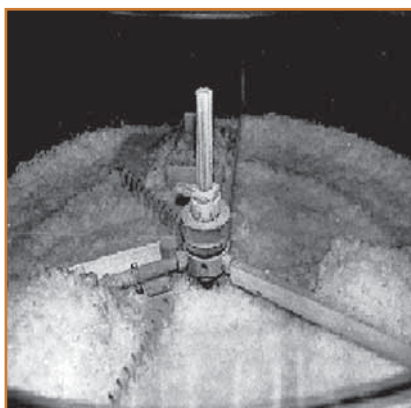
с предприятиями МАП разработан и установлен на самолёт АН-26 самолётный дозатор СДУ, позволяющий дозировать сброс гранулированной CO_2 .

В 1983 г. М.П. Власюк, Ю.А. Серегин, А.В. Серогодский и А.А. Черников предложили использовать для генерации ледяных кристаллов жидкий азот, экологически безопасный и легко доступный хладореагент.

Дальнейшее развитие методов рассеяния переохлажденных туманов проводилось в направлении исследований и создания генераторов на жидком азоте. А.В. Серогодским были предложены и под руководством М.П. Власюка реализованы разработки нескольких типов наземных и самолётных азотных генераторов мелкодисперсных ледяных частиц. Выполненные в Кишиневе и Минеральных Водах эксперименты по рассеянию туманов позволили в 1988-92 г.г.



Самолётное дозирующее устройство - СДУ.



осуществить успешную опытную эксплуатацию этой системы в Алма-Ате и аэропорту Шереметьево (М.П. Власюк). Благодаря операциям по рассеянию тумана в двух аэропортах было обеспечено свыше 2500 взлетов и посадок самолётов.

В 1997-2001 гг. азотная технология ЦАО успешно использовалась в работах ЦАО по рассеянию туманов в аэропортах (Л.И. Красновская, Б.Н. Сергеев, А.А. Черников) и на автотрассах Северной Италии (М.П. Власюк, Б.П. Колосков).

Одновременно с экспериментальными исследованиями в 80-х годах был выполнен большой цикл теоретических работ с использованием методов численного моделирования.

В.И. Хворостьяновым с сотрудниками был разработан комплекс двумерных и трехмерных численных моделей эволюции зон искусственной кристаллизации и просвета. Впоследствии они были обобщены для моделирования искусственного регулирования осадков из фронтальных, конвективных и орографических облаков (В.И. Хворостьянов, Г.Р. Тороян, А.П. Хаин). А.Ф. Кузенковым было исследовано влияние гравитационных волн на мезомасштабную структуру тумана и процесс образования просвета при его искусственной кристаллизации.



Самолётный генератор мелкодисперсных частиц льда - ГМЧЛ-А, (а- ГМЧЛ-первого поколения, б- второго).



Наземные генераторы мелкодисперсных частиц льда – стационарный и передвижной.

В 50-60 годы А.Д. Соловьевым с сотрудниками были выполнены первые

в стране фундаментальные исследования возможных методов рассеяния теплых туманов (имеющих температуру выше $0^{\circ}C$). В созданной лабораторной облачной камере было изучено действие на туман различных классов химических веществ (гигроскопических, поверхностно-активных, смачиваемых, пенообразующих и т.д.) и дана оценка степени перспективности выдвигавшихся в этот период многочисленных предложений (А.Д. Соловьев, Л.П. Зацепина). Впервые была создана физически

обоснованная классификация методов рассеяния и предложены универсальные критерии их эффективности, основанные на энергетических затратах на очищение от тумана единичного объема атмосферы (А.Д. Соловьев). Полученные результаты определили основные направления изысканий последующих лет. В последние годы в ЦАО исследованы возможности электрического осаждения капель (А.А. Черников, М.Н. Хайкин) и применения технических средств одновременного нагрева и осушения воздуха для рассеяния теплого тумана (А.А. Черников).

Одним из основных направлений с начала работ в ЦАО по активным воздействиям являлись исследования искусственных льдообразующих аэрозолей, как наиболее универсального средства воздействия на облака. Они были начаты в конце 40-х годов изучением действия на переохлажденные облака и туманы аэрозолей йодистого серебра (И.И. Гайворонский, Ю.А. Серегин). В опытах по рассеянию переохлажденных туманов в аэропортах Алма-Аты и Минеральных Вод был оценен температурный порог действия аэрозоля, получаемого сжиганием ацетонового раствора $AgI-NH_4I$ и определены дозировки реагента, необходимые для эффективного рассеяния тумана. Уже в этот период делались попытки исследовать химический состав и дисперсность аэрозолей при диспергировании льдообразующих веществ (А.Д. Малкина).

В 1958-1960 г.г. в ЦАО создается облачная камера для количественных исследований льдообразующих аэрозолей и разрабатывается методика определения выхода льдообразующих частиц на единицу массы реагента (М.Я. Аксенов, Н.О. Плауде). Методика стала общепринятой во всех институтах бывшего СССР, занимавшихся исследованиями льдообразующих реагентов. Одновременно развивается методика электронно-микроскопического исследования дисперсности льдообразующих аэрозолей (М.Я. Аксенов).

Важным практическим достижением в области исследований льдообразующих аэрозолей явилось создание эффективных реагентов для воздействия на градовые облака. Для диспергирования льдообразующих веществ, используемых в противораковых ракетах, ЦАО совместно с НИИПХ и Институтом геофизики АН Грузинской ССР был предложен метод возгонки веществ в пиротехнических смесях, нашедший впоследствии широкое применение также в наземных и самолётных средствах воздействия. В качестве недефицитного льдообразующего соединения вместо йодистого серебра на первом этапе был применен йодид свинца (И.И. Гайворонский, И.И. Вернидуб, Н.О. Плауде, В.В. Шишминцев). Использование разработанных пиротехнических составов позволило организовать, начиная с 1964 г., производственную защиту от града на территории Молдавской ССР, исключив из употребления дефицитное дорогостоящее йодистое серебро. Однако токсичность йодида свинца и опасность его накопления в природной среде при расширении масштабов работ по активным воздействиям потребовали поиска других реагентов.

В 1965-1975 г.г. в ЦАО был обследован на льдообразующую активность большой ряд химических соединений, не обладающих токсичностью йодистого свинца, в частности, органических льдообразующих веществ. Всестороннему исследованию в отношении льдообразующих свойств и эксплуатационных характеристик были подвергнуты флороглуцин, 1,5-диоксинафталин, ацетилацетонат меди. В ходе исследования ацетилацетоната меди, предложенного в качестве льдообразующего реагента А.Д. Малкиной и В.В. Патрикеевым, впервые была обнаружена специфическая чувствительность льдообразующей активности к пересыщению водяного пара у органических соединений (Н.О. Плауде). Для испытания органических веществ в природных облаках разработан самолётный генератор органических льдообразующих аэрозолей (М.Я. Аксенов, Т.В. Баззаев).

В этот период был развит способ измерения предельного выхода активных частиц как наиболее объективной характеристики льдообразующей способности веществ и установлена максимальная достижимая активность для основных льдообразующих реагентов (Н.О. Плауде, М.Я. Аксенов). Были выполнены детальные исследования йодистого серебра, которые показали уникальность этого вещества как реагента и обосновали возможность уменьшения относительного содержания йодида серебра в пиротехнических средствах активных воздействий. Разработанные НИИПХ и испытанные в ЦАО и НПО «Тайфун» пиротехнические составы с 2-процентным содержанием йодистого серебра на протяжении более 15 лет являлись основой отечественных аэрозольных средств воздействия. Выполненные в 1981 г. прямые сравнения разработанного состава с зарубежными льдообразующими пиросоставами того времени показали его существенное преимущество в уровне активности и эффективности использования йодистого серебра. Высокая эффективность состава была продемонстрирована испытаниями в натурных условиях на слоистых облаках (М.Я. Аксенов, Т.В. Баззаев, Б.Н. Лесков, Н.О. Плауде).

В дальнейшем усилия были сосредоточены на поисках способов повышения эффективности пиромесей с йодистым серебром. Был решен вопрос об оптимальных размерах частиц йодистого серебра (М.Я. Аксенов, Н.О. Плауде, Е.В. Сосникова), показана возможность активации пиромесей добавками гигроскопических соединений, обеспечивающих осуществление наиболее эффективного механизма льдообразования - конденсации - замерзания (Е.В. Сосникова).

Усилиями ЦАО и других организаций (Центр «АКВА», ВНИИП «ДАРГ», НПО «Тайфун», Чебоксарское производственное объединение им. В.И. Чапаева) продолжена работа по повышению льдообразующей активности пиромесей и их устойчивости к условиям использования и хранения. Полученные составы с 7-10% йодистого серебра обладают большей стабильностью и более высоким температурным порогом действия.

С середины 70-х годов наряду с исследованиями искусственных льдообразующих аэрозолей в ЦАО было начато изучение природных льдообразующих частиц (ледяных ядер). По инициативе и под руководством А.Д. Соловьева была создана камера смешения для регистрации атмосферных льдообразующих ядер и организованы систематические измерения в районе проведения работ по активным воздействиям в МССР. За 14 лет измерений получены данные о естественных вариациях содержания ледяных ядер в атмосфере и о влиянии активных воздействий на концентрацию и характеристики ледяных ядер (А.Д. Соловьев, Е.И. Потапов, Е.И. Зотов, М.В. Вычужанина). В 1976-1985 г.г. с помощью самолётных и вертолётных измерений в различных регионах страны были получены данные о вертикальном распределении ледяных ядер в слое до 3500 м (М.В. Вычужанина, В.И. Мирошниченко, И.П. Паршуткина). С 1987 г. систематические измерения характеристик ледяных ядер и общего атмосферного аэрозоля ведутся в г. Долгопрудном на территории ЦАО. Установлены закономерности межгодовых и сезонных вариаций компонент атмосферного аэрозоля, оценено влияние на них природных и антропогенных факторов (М.В. Вычужанина, Н.О. Плауде).

В 50-60-е годы значительный вклад был внесен ЦАО в создание отечественной системы оперативных служб по борьбе с градобитиями. ЦАО первая в стране приступила к разработке противоголового метода в 1958 г. совместно с Институтом геофизики АН Грузинской ССР. На основе обобщения накопленных экспериментальных данных по воздействиям на конвективные облака и использования принципиально новых технических средств (противоголовых ракет повышенной дальности и высоты полёта) был создан практический метод защиты сельскохозяйственных культур от градобитий (И.И. Гайворонский, А.И. Карцивадзе). Это дало возможность организовать в 1961 г. первую в стране противоголовую службу при Министерстве сельского хозяйства ГрССР. В 1964 г. такая служба по инициативе и при непосредственном участии ЦАО была создана в Молдавии, в 1968 г. - в Крымской области УССР. За разработку и внедрение методов и средств борьбы с градом И.И. Гайворонский и Ю.А. Серегин были удостоены в 1969 г. Государственной премии СССР.

На экспериментальной базе ЦАО в Молдавии с 1964 по 1991 г.г. был выполнен широкий круг исследований грозо-головых процессов (Л.А. Диневич, И.И. Гайворонский, Б.И. Зимин, Г.С. Воронов). Он включал в себя исследования метеорологических условий развития головых облаков, изучение особенностей их эволюции, детальное исследование радиолокационных параметров головых облаков, выработку критериев голоопасности. Особенностью проводившихся на Молдавском полигоне противоголовых работ являлось одновременное изучение влияния противоголовой защиты на изменение режима осадков в регионе (И.И. Гайворонский, М.В. Вычужанина). Были получены уникальные данные о модификации режима конвективных осадков средствами противоголовой защиты и показано благоприятное для сельского хозяйства побочное воздействие противоголовых работ - ослабление особо опасных ливней и интенсификация общих осадков из кучево-дождевых облаков на десятки процентов от многолетней нормы (М.П. Леонов, Л.А. Диневич, С.Е. Диневич, Г.П. Берюлев).

Второй отличительной особенностью противоголовых работ в Молдавии являлся систематический контроль над степенью загрязнения окружающей среды. На протяжении 14 лет на защищаемой от града территории проводились ежедневные измерения содержания в атмосферном воздухе реагентов активных воздействий и количества льдообразующих частиц (А.Д. Соловьев, Е.И. Потапов, Е.И. Зотов, М.В. Вычужанина). Ежегодно в начале и конце сезона противоголовых работ контролировалось содержание реагентов более чем в 100 водоемах на защищаемой и контрольной территориях. Полученные данные позволили оценить максимальное количество реагентов, допустимое для

введения в атмосферу в сезон противоголодовой защиты без ощутимого загрязнения окружающей среды и показать безопасность осуществляемых в Молдавии противоголодовых работ (Е.И. Потапов, Е.И. Зотов, Н.О. Плауде).



Сброс упаковки с грубодисперсным порошком с самолёта-лаборатории Ан-12.

Принципиально новой разработкой ЦАО в области активных воздействий явилось создание динамического метода разрушения конвективных облаков. В конце 50-х годов в опытах, направленных на подавление развития конвективных облаков, Ю.А. Серегиным была обнаружена возможность быстрого разрушения таких облаков введением в растущую вершину грубодисперсных порошков нерастворимых веществ.

Обширным комплексом последующих натурных и лабораторных экспериментов было установлено, что действие порошков состоит в инициировании нисходящего воздушного потока, который и вызывает быстрое разрушение облака. Была показана возможность эффективного воздействия, как на одноячейковые, так и многоячейковые мощные конвективные облака (Л.П. Зацепина, В.П. Беляев, Л.Б. Зонтов, В.В. Петров, Ю.А. Серегин). В опытах с порошками, имеющими различные поверхностные и дисперсные характеристики, была оценена роль удельного веса и распыляемости

порошков (Л.П. Зацепина, Б.И. Зимин). Л.П. Зацепиной и Б.И. Зиминим была выполнена большая серия экспериментов по воздействиям на облака, в которых решение о проведении воздействия принималось случайным образом (так называемые рандомизированные эксперименты). Положительный эффект воздействия, который оценивался путем сравнения двух рандомизированных выборок облаков с воздействием и без него, оказался значимым на уровне меньше 5 % согласно статистическому критерию Манна-Уитни (Б.И. Зимин). Проведенные исследования позволили создать не имеющую аналогов в мировой практике эффективную технологию разрушения мощных конвективных облаков вплоть до стадии грозовых.

Технология подавления развития облаков была с успехом использована для предотвращения осадков в районе промплощадки Чернобыльской АЭС (Ю.А. Серегин, Л.П. Зацепина, Г.П. Берюлев, Л.Б. Зонтов, В.П. Беляев). Практически полное предотвращение осадков в период с 10 мая по 9 июня 1986 г. за счет разрушения кучево-дождевых и грозовых облаков на ближних подступах и в районе промплощадки Чернобыльской АЭС позволило предотвратить смыл радиоактивных загрязнений дождевыми стоками в реку Припять до завершения обвалования ее берегов.

В начале мая 1986 г. группой специалистов ЦАО и УкрНИГМИ под руководством А.А. Черникова была разработана концепция активного воздействия на облака с целью уменьшения атмосферных осадков на заданной площади, важным компонентом которой являлся метод разрушения конвективных облаков. В настоящее время разработанная технология подавления развития облаков применяется регулярно в целях улучшения погодных условий в г. Москве в дни проведения массовых мероприятий в праздничные дни (Г.П. Берюлев, В.П. Корнеев, Б.Г. Данелян).

В середине 60-х годов Б.И. Зиминим были предприняты исследования возможности ослабления грозовой активности при засеивании мощных конвективных облаков льдообразующими аэрозолями. Они способствовали развитию современного понимания процесса электризации грозовых облаков и разработке эффективных методов воздействия на него. На основе большого экспериментального материала были сформулированы критерии грозовой опасности облаков, гипотеза воздействия льдообразующими аэрозолями на грозовые облака с целью уменьшения их электрической активности и требования к проведению рандомизированного эксперимента (Б.И. Зимин). При проведении этих исследований были получены результаты, имевшие значение для формирования нового подхода к проблеме регулирования осадков из конвективных облаков. В частности, была показана возможность стимулирования роста облаков, находящихся в стадии *Cu cong* и переходной стадии от *Cu cong* к *Cb*, с одной стороны, и преждевременного разрушения кучево-дождевых облаков (с температурой на уровне их верхней границы ниже -35°C), с другой стороны, при интенсивном засеивании облаков (с концентрацией 10^5 - 10^6 ядер на 1 м^3) льдообразующими аэрозолями (Б.И.Зимин).



Конец 70-х - начало 80-х годов ознаменовались в тематике активных воздействий на конвективные облака переходом от воздействий с целью разрушения мощных конвективных облаков и предотвращения гроз к активным воздействиям с целью регулирования осадков. Специалисты ЦАО (Г.П. Берюлев, Ю.В. Мельничук) принимали активное участие в международном проекте по увеличению осадков (ПУО), решение о проведении которого было принято на конгрессе ВМО в 1975 г. Основная задача ПУО заключалась в демонстрации на достаточном уровне статистической значимости в течение короткого экспериментального периода (около 5 лет) возможности успешного искусственного воздействия на метеорологические процессы с целью увеличения количества осадков над территорией с площадью порядка 10 000 км².



В 1979-81 г.г. специалисты ЦАО приняли участие в полевой фазе Проекта (ФВП-3), заключавшейся в проведении физических исследований облачности и осадков с целью определения пригодности полигона в бассейне р. Дуэро в Испании для проведения эксперимента по засеву облаков. В ходе выполнения полевой фазы специалистами Обсерватории был разработан и впервые применен на практике радиолокационный метод оперативного обнаружения переохлажденной воды в облаках, основанный на использовании информации о неоднородностях поля ветра в пограничном слое атмосферы (Б.П. Колосков, Ю.В. Мельничук, А.А. Черников). Использование нового дистанционного метода обнаружения в облаках и облачных системах зон, содержащих переохлажденную воду и, следовательно, потенциально пригодных для засева льдообразующими реагентами с целью увеличения осадков, позволило, базируясь на данных самолётных исследований облачности над территорией Проекта, получить оценки пригодности полигона ПУО в Испании для проведения экспериментов по засеву облаков.

В ЦАО (Ю.А. Серегин, А.А. Черников и др.) была разработана концепция повышения осадкообразующей способности конвективных облаков путем их интенсивного засева, которая была реализована в экспериментах в Поволжье (Пензенский метеорологический полигон ЦАО), в Молдавии и на Кубе.

На Пензенском экспериментальном метеорологическом полигоне в 80-х годах были проведены исследования, направленные на разработку эффективного метода воздействия на конвективные облака с целью увеличения осадков и оценку облачных ресурсов для получения

дополнительных осадков. В расширенном диапазоне высот облаков до изотермы -30⁰С было проведено более 200 рандомизированных опытов по засеву конвективных облаков с помощью пиропатронов, содержащих йодистое серебро. Сравнение выборок засеянных и контрольных облаков показало, что эффект воздействия проявляется в увеличении площади и продолжительности осадков, при этом осадков из засеянных облаков выпадает в 1,5 - 2 раза больше по сравнению с контрольными облаками (Ю.А. Серегин, Л.П. Зацепина, Б.И. Зимин, Л.Б. Зонтов, В.Н. Поздеев).

В Молдавии, на территории Военизированной службы по активным воздействиям, были проведены серии засевов конвективных облаков с целью увеличения осадков с помощью противораковых ракет. Анализ показал, что засев слабых и умеренных ливней приводит к увеличению осадков, тогда как засев сильных ливней - к их уменьшению (М.П. Леонов, Л.А. Диневич, С.Е. Диневич, Г.П. Берюлев).

Численные эксперименты с двумерной микрофизической моделью конвективного облака показали, что на различных стадиях развития конвективного облака интенсивность осадков может иметь колебательный характер, а воздействие может приводить как к увеличению, так и к уменьшению осадков, что можно использовать для целенаправленного регулирования осадков над заданной мишенью (В.И. Хворостьянов, А.П. Хаин).



Карты-схемы расположения метеорологических полигонов.

По Межправительственному соглашению с Республикой Куба в провинции Камагуэй в начале 80-х годов были проведены совместные советско-кубинские исследования возможности увеличения осадков из конвективных облаков в тропической зоне. На созданном здесь полигоне с 1984 по 1988 г.г. был проведен пятилетний рандомизированный эксперимент по воздействию на облака с засевом их верхней части вблизи изотермы -10°C с помощью пиропатронов с йодистым серебром. В 1987-88 г.г. были осуществлены эксперименты с облачными кластерами. Эксперименты показали, что положительный эффект, заключающийся в росте облака, увеличении его горизонтальных размеров и продолжительности выпадения осадков, наблюдался при засеве облаков с температурой на уровне верхней границы от -10 до -20°C . Осадки, выпадавшие из изолированных облаков и кластеров при воздействии, примерно в 2 раза превышали осадки из них без воздействия (Ю.А. Серегин, Л.П. Зацепина, Б.И. Зимин, В.П. Беляев, В.В. Петров, В.Н. Поздеев, Б.Г. Данелян).

В результате проведения в различных географических регионах многолетних экспериментов по воздействию на конвективные облака была разработана методика оперативного засева облаков с целью увеличения осадков, которая прошла успешные испытания в Молдавии и Ставропольском крае в 1986-1989 г.г., на Кубе в 1987-1988 г.г., в районах Нечерноземья ЕТС и восточных районах России в 1988-1989 г.г.

В середине 80-х годов ЦАО была осуществлена большая экспериментальная программа по изучению возможностей искусственного регулирования зимних осадков из фронтальных слоистообразных облачных систем (Г.П. Берюлев, Б.Г. Данелян). В качестве базовой концепции была принята идея комплексного физического эксперимента, позволяющего в отличие от схемы статистического (рандомизированного) эксперимента при определенных условиях получать оценку эффекта засева облаков в каждом конкретном опыте по засеву. Оценка эффектов обеспечивалась специальной методикой засева облаков (модуляционный засев) и особыми приемами обработки осадкомерной информации (метод движущихся мишеней) (Г.П. Берюлев, Ю.А. Серегин, А.А. Черников). В результате проведения большого объема опытов по засеву зимних слоистообразных облачных систем гранулированной твердой углекислотой были получены надежные данные о происходящих при этом изменениях спектрального состава облачных частиц в зонах воздействия (Г.П. Берюлев, А.Н. Невзоров, Б.Г. Данелян). Показано, что наиболее успешными оказываются воздействия на облачные системы холодных фронтов и фронтов окклюзии в условиях существования циклонов или барических ложбин. При этом в конкретном опыте интенсивность осадков при воздействии может возрастать на 60% и более, а обусловленное воздействиями увеличение сезонного слоя осадков с учетом частоты появления пригодных для этого условий составляет не менее 15-20 %.

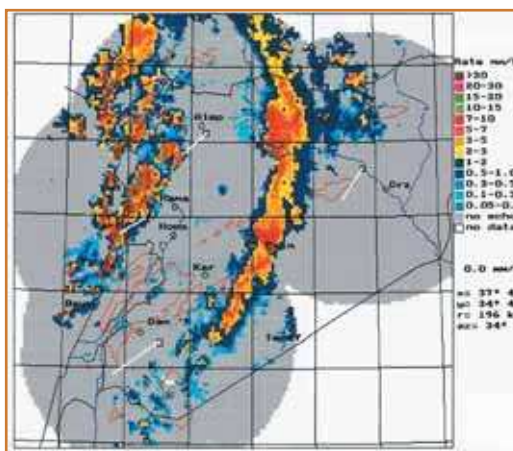
В эти годы были проведены также самолётные исследования и численное моделирование орографической облачности и воздействия на нее льдообразующими аэрозолями. На основе комплексного анализа физических процессов при образовании орографических облаков разработаны рекомендации по засеву таких облаков с земли, установлено оптимальное размещение аэрозольных генераторов, проведены оценки дополнительного количества осадков (Г.П. Берюлев, М.П. Власюк, Б.Г. Данелян, В.И. Хворостьянов, Г.Р. Тороян).

В конце 80-х годов в ЦАО получили развитие новые методы статистической оценки и планирования рандомизированных опытов по увеличению осадков (О.И. Шпилов). Разработанные аналитические методы оценки необходимой длительности эксперимента позволили провести сравнение различных планов эксперимента (экспериментальных единиц, контрольных площадей и т.п.) и предложить оптимизированные схемы рандомизированных экспериментов в облачных полях (О.И. Шпилов, Ю.В. Мельничук, Б.П. Колосков).

Несомненным достижением ЦАО является окончательная отработка и внедрение технологии оперативного увеличения осадков для нужд различных отраслей народного хозяйства (Ю.А. Серегин, Г.П. Берюлев, Ю.В. Мельничук). Важнейшими составляющими технологии являются:

- обоснованная селекция пригодных для засева облаков;
- обеспечение массированного засева облаков льдообразующими реагентами с целью быстрой кристаллизации их переохлажденной части и, как следствие, роста их вертикальной мощности и обусловленной этим интенсификации процесса осадкообразования;
- использование для засева специально разработанных пиротехнических генераторов (пиропатронов) с высоким удельным выходом льдообразующих частиц.

В технологии используется специально разработанный метод статистической оценки эффективности воздействий, основанный на модифицированном способе исторической регрессии и базирующийся на данных самолётных метеорологических и навигационных измерений, радиолокационных измерений осадков и динамики перемещения осадкообразующих облачных систем, измерений слоев осадков наземной осадкомерной сетью (Б.П. Колосков, Ю.В. Мельничук, Г.П. Берюлев). Технология позволяет осуществлять операции по увеличению осадков на площади более 150 тысяч квадратных километров.



Карта-схема территории проекта по увеличению осадков в Сирии и радиолокационное изображение интенсивности осадков по данным наземного лоатора.



Самолёт воздействия ЯК-40 и ИВК «Циклон-02» на его борту. 1993 г., САР, Дамаск. (Фото А.В. Литинецкого).



Самолёт воздействия АН-26 и ИВК «Циклон-02» на его борту. 1993 г. САР, Дамаск. (Фото А.В. Литинецкого).

В 1996-1998 г.г. совместно с Центром внедрения методов и средств активного воздействия на погоду «АКВА» (В.П. Корнеев) были осуществлены 4 самолётных экспедиции для увеличения осадков на территории Республики Саха (Якутия).



Карта-схема территории проекта по увеличению осадков в Иране и самолёты метеолaborатории Ан-26 Saffat.

В 1992-1997 г. ЦАО выполнила коммерческий проект по увеличению осадков на территории Сирийской Арабской Республики (САР). В полевых условиях, за 3 месяца были оборудованы разработанными в ОАВ ЦАО измерительно-вычислительными комплексами «Циклон-02» и средствами активных воздействий две пары самолётов - АН-26 и ЯК-40. (А.В. Литинецкий, В.В. Волков, Б.Л. Красновский, Л.А. Уваркин).

Эти самолёты, совместно с развернутой в Сирии автоматизированной сетью из 4-х метеорологических лоаторов МРЛ-5, были внедрены в эксплуатацию и позволили успешно выполнить проект. По результатам работ сезонное увеличение осадков составило в среднем 12%. (Ю.А. Серегин, Ю.В. Мельничук, А.С. Азаров, Г.П. Берюлев, Б.Г. Данелян, В.П. Корнеев, В.В. Петров, Б.П. Колосков).

С 1999 г. ЦАО успешно использует разработанную технологию в коммерческом проекте по увеличению водных ресурсов в провинции Йезд Исламской Республики Иран.

В эти же годы в ЦАО отработывалась технология регулирования



Работа в центре управления авиаработами во время метеозащиты г. Москвы.

осадков для улучшения погодных условий на заданной территории. Задача уменьшения облачности и осадков на заданной площади ставится администрациями крупных городов для создания благоприятных метеорологических условий при проведении массовых общественных, спортивных и культурных мероприятий. ЦАО систематически выполняет заказные работы по улучшению погодных условий в Москве, в Ташкенте и Астане (В.П. Корнеев, Г.П. Берюлев). В результате проведения этих работ выработана комплексная технология, которая использует различные методы воздействия на метеорологические процессы и их комбинации. В их число входит рассеяние слоистообразных облаков льдообразующими реагентами, разрушение мощных кучево-дождевых облаков динамическим способом для предотвращения ливней и гроз, инициирование преждевременного выпадения осадков из облачных систем на наветренной стороне от заданной территории, интенсивный засев натекающей на территорию облачности с целью уменьшения эффективности механизмов осадкообразования путем «перезасева» облачных слоев.

Совместно с Агентством атмосферных технологий ЦАО отработаны оптимальные схемы оперативного управления операциями по активному воздействию на облака с одновременным участием большого числа (до 11) самолётов в условиях значительной авиационной загруженности воздушного пространства. При этом приобретен уникальный не только для нашей страны опыт проведения одновременных воздействий на облака различных форм (В.П. Корнеев, В.П. Берюлев, Б.Г. Данелян).

В период с 2008 г. по настоящее время в связи работами по созданию самолёта метеолaborатории нового поколения ЦАО значительно обновила парк научно-измерительной аппаратуры. Приобретены самые современные приборы для измерения микрофизических параметров облаков и осадков с борта самолёта и технические средства для проведения воздействий. Одновременно создан новый наземный аэрозольный комплекс для измерения приземного атмосферного аэрозоля в широком диапазоне размеров и концентраций.

Значительное внимание уделяется кадровому вопросу. В настоящее время для решения современных задач по активным воздействиям и исследований по физике облаков приняты в аспирантуру молодые специалисты из лучших вузов страны (МГУ им. Ломоносова и МФТИ).

ЦАО большое внимание уделяет текущему состоянию и проблемам в области активных воздействий. Этим вопросам было посвящено Всероссийское совещание, проведенное в марте 2010 года.

Проведение исследовательских и оперативных работ по активным воздействиям сопровождалось созданием нормативно-методических документов. В практику работ Росгидромета внедрены Методические указания по основным видам активных воздействий на облака и туманы.



Intended weather modification

The early intended weather modification activities of the Central Aerological Observatory were started in 1948 on the initiative of I.I. Gaivoronsky. Later (1954), a special laboratory was organized, which was then transformed to the Department of Intended Weather Modification, headed by I.I. Gaivoronsky for 22 years.

The first problem solved in this new research direction was the development of a technique of the dissipation of supercooled clouds and fogs. As early as 1951, far ahead of the researchers abroad, a weather modification team of CAO Department of Tropospheric Studies carried out a large series of field experiments and created an aircraft technique to dissipate supercooled clouds and fogs for the needs of aviation.

From that time on, the efforts of CAO researchers to further develop new techniques have never ceased. By now, CAO, in cooperation with the Agency of Atmospheric Technologies, has worked through optimal schemes of an operational control of intended cloud modification activities using up to 11 aircraft at a time in conditions of very intensive airway traffic. A unique experience has been gained in simultaneous intended modification of different cloud types.

In the period from 2008 up to the present time, with the creation of a new-generation aircraft meteorological laboratory underway, CAO has considerably renovated its stock of scientific measurement tools. The most advanced instruments to measure microphysical parameters of clouds and precipitation from board an aircraft and technical aids to fulfill weather modification operations have been procured. A new ground-based system has been constructed to measure surface aerosol in a wide particle size and concentration range.

Apart from CAO research and practical work in the field of intended weather modification, a number of normative and methodological documents have been drawn up. Thus, a methodological instruction on the basic types of intended cloud and fog modification activities has been adopted and used in practice by Rohydromet.

Considerable attention is also given to training new specialists. Graduates from the leading Russian universities such as Lomonosov Moscow University and the Moscow Institute of Physics and Technology have become CAO postgraduates.

The state-of-the-art and problems of intended weather modification have always been among the central CAO concerns. In March 2010, an all-Russia conference was held to discuss the current progress in this vitally important field.



70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЫСОКИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ
ROCKET SOUNDING

В 1948 г. по инициативе Г.И. Голышева в Центральной аэрологической обсерватории было создано специализированное научное подразделение - Лаборатория №1, основной целью которой на начальном этапе явилось исследование стратосферы с помощью высотных метеорологических зондов и автоматических аэростатов. Начальником Лаборатории №1 был назначен В.А. Путохин, а главным инженером А.М. Касаткин.

В дальнейшем Лаборатория №1 была преобразована в отдел стратосферных исследований (ОСИ), а затем в отдел физики высоких слоев атмосферы (ОФВСА), который многие годы с 1968 по 2008 год возглавлял доктор физико-математических наук, профессор Григорий Абрамович Кокин. С таким названием отдел существует до настоящего времени.



Григорий Абрамович Кокин.

В 1948 г. по инициативе Г.И. Голышева и В.А. Путохина были начаты работы по созданию метеорологического ракетного комплекса. Весь комплекс был создан всего лишь за 3 года и уже в октябре 1951 г. были проведены летно-конструкторские испытания ракеты, получившей индекс МР-1. Ракета МР-1, являвшаяся первой метеорологической ракетой в мире, работала на жидком топливе, общая масса превышала 600 кг, высота подъема - 90 км, масса полезной нагрузки составляла 11 кг. Парашют головной части полностью затормаживался на высоте около 60 км и по его дрейфу определялась скорость и направление ветра. Прослеживание траектории движения ракеты, а после разделения - траекторий движения ракеты и головной части производилось с помощью базисной системы кинотеодолитов, что позволяло определять скорость и направление ветра до высоты 60 км. На ракете был установлен стандартный блок аппаратуры разработки ЦАО (М.Н. Изаков, Г.А. Кокин, А.М. Касаткин, Н.С. Лившиц, Е.А. Бесядовский), предназначенный для определения температуры и давления. Кроме того, на некоторых головных частях устанавливался ультрафиолетовый спектрометр для измерения плотности озона, магнитные манометры для измерения давления воздуха, плотномер типа «Альфатрон», баллоны для забора проб воздуха и т.д.

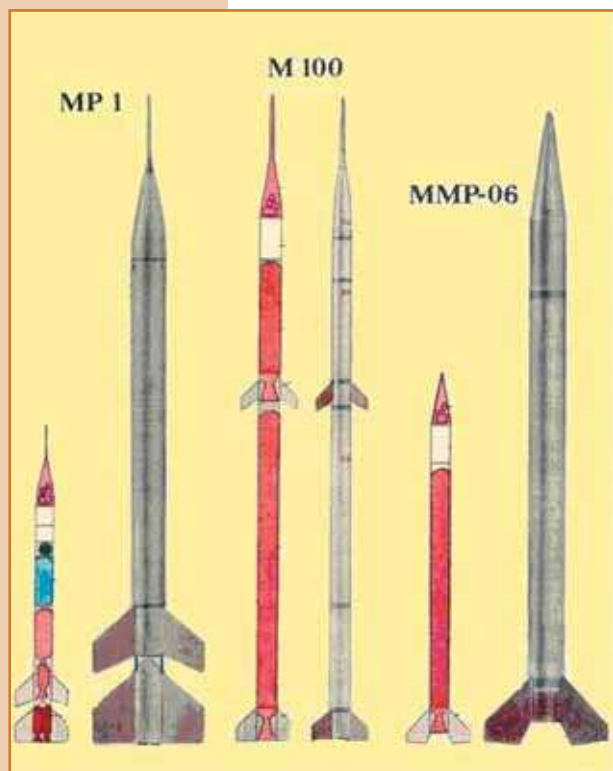
С 1952 г. по 1959 г. ракета МР-1 эксплуатировалась на СРЗА «Волгоград». С ее помощью был накоплен значительный научный материал о вертикальном распределении температуры, давления и плотности до 80 км и ветра до 60 км, что позволило создать в 1962 г. стандартную атмосферу Советского Союза СА-64.

В связи с необходимостью расширения географии ракетного зондирования в 1956 г. был создан метеорологический ракетный комплекс ММР-05 (главный конструктор Д.Д. Севрук) с высотой подъема 50 км. Этот комплекс был введен в эксплуатацию в 1957 г. на станциях ракетного зондирования о.Хейса (Земля Франца Иосифа), Новая Земля, а с конца 1957 г. на дизель-электроходе «Объ». Тем самым заметно расширился вклад Советского Союза в выполнение научных программ Международного Геофизического Года (МГГ) и Международного года спокойного Солнца (МГСС) (1957-1959гг.). В 1959г. этими комплексами были оснащены научно-исследовательские суда Гидрометеослужбы «Воейков» и «Шокальский». Состав бортовой аппаратуры этой ракеты был аналогичен составу бортовой аппаратуры ракеты МР-1 и отличался тем, что в нее был включен радиолокационный ответчик. Таким образом, на основе наземной аэрологической радиолокационной станции «Метеор» был

создан мобильный и достаточно надежный радиоканал слежения за траекторией движения головной части ракеты (ведущий инженер разработки радиолокатора Б.Г. Рождественский, ведущий инженер разработки радиолокационного ответчика М.В. Кречмер).

В 1964 г. коллективом разработчиков (главный конструктор А.Т. Чернов) была создана и внедрена в эксплуатацию твердотопливная метеорологическая ракета М-100, способная доставлять полезную нагрузку массой 12-14 кг на высоту 90 км. Базовый состав аппаратуры состоял из термометров сопротивления, предназначенных для измерения температуры, манометров Пирани - для определения давления, контейнеров с диполями - для определения скорости и направления ветра в диапазоне высот 60-90 км. (Е.А. Бесядовский, Г.А. Кокин, Н.С. Лившиц, С.В. Пахомов, В.И. Пацаев, Ю.М. Чернышенко). Головная часть спускалась на парашюте, что позволяло определить скорость и направление ветра от Земли до высоты 60 км.

Помимо базового комплекса на ракете устанавливались другие приборы: оптические озонметры (А.Ф. Чижов, Г.И. Кузнецов, О.В. Штырков, Н.Н. Брезгин), хемилюминесцентные датчики озона (С.П. Перов, В.И. Коньков), счетчики корпускулярных частиц (В.Ф. Тулинов), электронные зонды (А.А. Ястребов, С.В. Пахомов), датчики водяного пара (А.В. Федынский, В.А. Юшков, М.Г. Хапланов), счетчики аэрозолей (Ю.А. Брагин и др.), измерители атомарного кислорода (А.В. Федынский, С.П. Перов, А.Ф. Чижов) и окиси азота (С.А. Кожухов, А.Ф. Задорожный, Г.А. Тучков), измерители концентрации ионов (Ю.А. Брагин, Т.И. Оришич), измерители напряженности электрического поля (Ю.А. Брагин, А.А. Тютин, А.А. Кочеев), контейнеры с надувными сферами для определения скорости и направления ветра, плотности и температуры (А.Н. Мельников, С.В. Пахомов) и ряд других приборов.



Метеорологические ракетные комплексы СССР и РФ.

В дальнейшем ракета М-100 была усовершенствована и получила индекс М-100Б. Она эксплуатировалась вплоть до 1995 г. Этим же коллективом разрабатывалась ракета ММР-06. Ее эксплуатация началась в 1970 г. Ракета являлась твердотопливным неуправляемым снарядом, имела массу 135 кг и поднимала полезную нагрузку в 5 кг на высоту 60 км. В 1985 г. была введена в строй модернизированная версия ракеты ММР-06 (ММР-06 - Дарт) (С.А. Беляк, П. Гледи, Г.А. Кокин, И.С. Мошников, А.А. Шидловский).

Создание приборов и методов для ракетных исследований потребовало организации современной лабораторной базы, с помощью которой удалось выполнить ряд исследований, некоторые из которых выходили за рамки прикладных задач и имели фундаментальное значение (Г.А. Кокин, С.П. Перов, М.Н. Изаков, Е.В. Лысенко, В.М. Санкович, А.Ф. Чижов, Г.М. Мартынкевич).

Одновременно с развитием ракетной техники шло становление сети станций ракетного зондирования. В восьмидесятые годы сеть станций ракетного зондирования атмосферы СССР и сотрудничавших с ним стран включала в себя следующие пункты: о.Хейса (81° с.ш., 58° в.д.), «Ахтопол» (НРБ, 42° с.ш., 28° в.д.), «Волгоград» (49° с.ш., 45° в.д.), «Цингст» (ГДР, 53° с.ш., 12° в.д.), «Балхаш» (47° с.ш., 75° в.д.), «Сайн-Шанд» (МНР, 48° с.ш., 107° в.д.), «Тумба» (Индия, 9° с.ш., 77° в.д.), «Молодежная» (Антарктика, 68° ю.ш., 46° в.д.). Кроме того, ракетными метеорологическими комплексами М-100Б и ММР-

06 было оснащено восемь научно-исследовательских кораблей и судов погоды Госкомгидромета СССР. Всего на СРЗА осуществлялось от 500 до 600 запусков ракет в год. Запуски производились регулярно, летом с частотой 1 раз в неделю, зимой - не реже 2-х раз в неделю. Результаты ракетного зондирования атмосферы оперативно передавались в Гидрометцентр СССР, в службу стратосферных потеплений ВМО, в международный обмен, а в виде бюллетеней ракетного зондирования атмосферы и высотных карт барической топографии - всем заинтересованным организациям как внутри страны, так и за рубежом. В 90-е годы в связи со сложными экономическими условиями сеть станций ракетного зондирования практически прекратила свое существование. Из всех станций была сохранена единственная станция - СРЗА г. Знаменска Астраханской области, где в настоящее время осуществляется регулярное метеорологическое зондирование высоких слоев атмосферы. В соответствии со «Стратегией деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на



Запуск метеорологической ракеты М100Б с борта НИС Росгидромета «Академик Королев».



Запуск метеорологической ракеты М100Б на о. Хейса (Земля Франца-Иосифа).



Транспортировка метеорологической ракеты М100Б с технической на стартовую позицию в Антарктиде. (СРЗА «Молодежная», 80-е годы).

период до 2030 года (с учетом аспектов изменения климата)», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 сентября 2010 г. № 1458-р, предусмотрена модернизация и расширение сети пунктов ракетного зондирования атмосферы, которая к 2015 г. должна состоять из 3 станций – СРЗА г. Знаменска, о. Хейса и Тикси. При этом будут использоваться принципиально новые метеорологические ракеты класса «Дарт» с высотой подъема до 100 км.

Большой объем работ в отделе был выполнен по исследованию структуры и динамики средней атмосферы.

Типизация температурных профилей и вертикальной структуры давления и плотности завершилась созданием первой версии стандартной атмосферы СССР (ГОСТ 4401-64). В дальнейшем эти работы были продолжены и полученные результаты легли в основу последующих версий стандартных атмосфер СССР: ГОСТ 4401-73, ГОСТ 22721-77, ГОСТ 4401-81 и ГОСТ 24631-81 (С.С. Гайгеров, Д.А. Тарасенко, В.Г. Кидиярова). На основании этих материалов, а также на базе данных отечественного и зарубежного ракетного зондирования был разработан ряд Международных справочных атмосфер. В настоящее время отдел располагает глобальной эмпирической моделью средней атмосферы. В отделе был выполнен ряд работ по определению долгосрочного тренда температуры по данным отдельных станций ракетного зондирования за период с 1964 по 1992 г.г. (Е.В. Лысенко, Г.А. Кокин, С.Х. Розенфельд, Г.Г. Нелидова) и по определению временного тренда температуры, давления и плотности (А.И. Ивановский, В.Н. Глазков, В.В. Федоров).

Большое внимание было обращено на изучение таких явлений как зимние страто-мезосферные потепления и внутрисезонные перестройки циркуляции. Впервые было обнаружено, что зимние аномальные потепления имеют максимальную температуру атмосферы на высотах более 30 километров, и впервые было высказано предположение, что зимние стратосферные потепления связаны с планетарными стратосферными ложбинами и стратосферными антициклонами, обуславливающими интенсивный меридиональный обмен (С.С. Гайгеров). В дальнейшем было обнаружено, что одной из причин развития сильных страто-мезосферных потеплений является влияние солнечной активности (И.В. Бугаева, В.И. Бекорюков, Г.А. Кокин, Л.А. Рязанова, К.Е. Сперанский, А.И. Репнёв).

Была изучена структура ветрового поля в экваториальной зоне, установлена связь между квазидвухлетними и

полугодовыми колебаниями ветра, выяснено влияние солнечной активности на фазы квазидвухлетнего цикла (А.М. Боровиков, И.В. Бугаева, Г.И. Голышев, Г.А. Кокин, Л.С. Минюшина, Л.А. Рязанова). Ряд работ был посвящен изучению изменчивости метеорологических параметров в средней атмосфере, особенно их изменчивости в пределах сезона, что связано с наличием возмущающих динамических факторов (С.С. Гайгеров, И.В. Бугаева, Л.А. Рязанова). Долготная зависимость отклонений от средне-климатических значений в зимний период имеет волновую структуру, причем амплитуда колебаний



Подготовка головной части метеоракеты М-100Б к пуску.



Старт метеорологической ракеты MMP-06М.

увеличивается с увеличением широты места и затухает примерно к 40^0 с.ш. (В.Г. Кидиярова, Д.А. Тарасенко, И.А. Щерба), а в летний сезон поля остаются однородными вдоль круга широты.

В результате развития сети метеорологического ракетного зондирования и оснащением метеорологическими ракетными комплексами научно-исследовательских кораблей появилась возможность изучения средней атмосферы южного полушария. Был обнаружен значительный широтный градиент температуры в южной части Индийского океана (Ю.П. Кошельков). В дальнейшем этот факт был зафиксирован и в других зонах Южного полушария. Были выяснены межполушарные различия в плотности, давлении, температуре и ветре и показано, в частности, что в средней атмосфере над Антарктикой почти на протяжении всего года абсолютные значения давления и плотности ниже, чем соответствующие значения в Арктике (Ю.П. Кошельков), что объясняется межполушарными различиями в температуре и давлении в тропосфере и в различии температурного режима стратосферы Арктики и Антарктики. Имеются и существенные межполушарные различия в циркуляции (Ю.П. Кошельков). Был осуществлен ряд экспериментов по измерению температуры, давления, плотности и ветра в верхней мезосфере и нижней термосфере манометрическими методами. Впервые в мире был определен температурный режим верхней атмосферы Центральной Арктики (И.Н. Иванова, Г.А. Кокин, А.Ф. Чижов). Было установлено, что мезопауза в этом районе имеет сложную структуру с двумя минимумами температуры: один на высоте 80-82 км, второй - на высоте 100-110 км.

Ряд экспериментов был проведен с целью исследования атмосферного озона. На станции Молодежная, начиная с 1987 г. в течение 6 лет проводилось изучение весенней озонной аномалии с помощью наземного спектрометра-озонметра, озонозондов и метеорологических ракет. Одновременно измерялись метеорологические параметры: температура, давление, плотность, скорость и направление ветра.

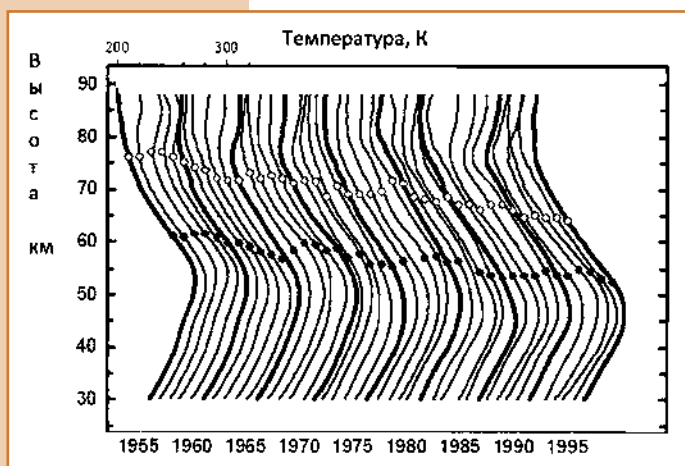
Регулярные баллонные измерения вертикального распределения озона в Сибири проводились в Якутске и Салехарде в зимне-весенний период с 1995 года. По данным этих прямых измерений и спутниковых наблюдений вертикального распределения озона в приближении метода «среднего по циклону» в отделе проводятся регулярные оценки химического разрушения полярного стратосферного озона и выпускаются ежегодные бюллетени «Состояние озонового слоя в Арктике», доступные на сайте обсерватории www.cao-rhms.ru. Была обнаружена линейная зависимость величины химических потерь общего содержания озона от объема воздушной массы, занимаемой полярными стратосферными облаками в течение зимне-весеннего периода. Так как истощение защитного озонового слоя Земли, вызванное антропогенными факторами, наиболее заметно проявляется в Арктике и Антарктике, то мониторинг химического разрушения полярного озона проводится на регулярной основе.

В рамках международного сотрудничества с социалистическими странами и Индией были проведены совместные измерения вертикального распределения озона на станции Волгоград, на исследовательских кораблях и на полигоне Тумба (Индия) (С.П. Перов, А.Ф. Чижов, Г.А. Кокин, Н.И. Брезгин, О.В. Штырков). Ракетные измерения озона использовались также для валидации спутниковых измерений, осуществленных в Южном полушарии с помощью бортовых спектрометров-озонметров СФМ-1 и СФМ-2 (И.Н. Иванова, С.П. Перов, А.Ф. Чижов, О.В. Штырков, Г.А. Кокин).

В июле-августе 1991г. в рамках международной кампании «Серебристые облака-91» на о.Хейса была запущена серия ракет М 100Б с оптической аппаратурой, предназначенной для регистрации света, рассеянного атмосферой. В двух пусках 31 июля 1991 г. было обнаружено аномально большое рассеяние света. Анализ показал, что это явление можно объяснить только наличием мезосферных



Подготовка ракетного озонметра к пуску.



Вертикальные среднегодовые профили температуры (30-90 км) за период 1955-1995, полученные на основе ракетных измерений на ст. Знаменск. Каждый профиль смещен относительно предыдущего на 10 Кю. Жирными линиями отмечены профили температуры через каждые 5 лет, кружками и точками – высоты атмосферы, для которых температура равна 210⁰К и 250⁰К соответственно. Масштаб, шкала температур указан в верхней левой части рисунка.

облаков. Таким образом, впервые были обнаружены мезосферные облака в столь высоких широтах (Г.А. Кокин, А.Н. Мельников, А.Ф. Чижов, О.В. Штырков, Г. Витт, Н. Вильгельм).

Значительный объем работ был посвящен изучению *D*-области ионосферы. При рассмотрении результатов измерений концентрации ионов и электронов стало очевидным, что имеющихся представлений о доминирующей роли солнечного ультрафиолетового излучения, галактических и солнечных космических лучей недостаточно для объяснения высоких концентраций заряженных частиц. В качестве дополнительного ионизирующего агента в литературе предлагалось использовать потоки электронов и протонов, выпадающих из магнитосферы. Однако данных об этом излучении было чрезвычайно мало. Поэтому были предприняты измерения в первую очередь потоков электронов с энергиями более 40 кэВ. В результате проведенных измерений с помощью ракет были получены данные о потоках электронов на верхней границе мезосферы в полярных областях и средних широтах северного полушария (В.Ф. Тулинов, В.М. Фейгин, Л.В. Шибаева, С.Г. Яковлев).

За годы существования отдела был выполнен значительный объем теоретических и расчетных работ, посвященных исследованию макро- и микропроцессов в средней и верхней атмосфере.

В результате физико-математического моделирования термического режима в средней атмосфере были построены функции нагрева и охлаждения и определены лучистые потоки, ответственные за термический режим атмосферы (А.И. Ивановский, А.Ф. Кивганов, Е.А. Жадин). Ряд модельных расчетов был выполнен с целью изучения модификации основных компонент состава атмосферы (А.И. Ивановский, В.А. Марчевский), исследовались периодические колебания средней и верхней атмосферы (А.И. Ивановский, Р.С. Жантуаров, Ю.В. Семеновский). Была предпринята также попытка объяснения квазидвухлетнего цикла в экваториальной атмосфере явлением параметрического резонанса (В.С. Пурганский, И.С. Скуратова).

Рассматривались некоторые механизмы солнечно-атмосферных связей, в частности был детально рассмотрен резонансный механизм возбуждения волновых колебаний в атмосфере 27 суточными колебаниями активности Солнца (А.И. Ивановский, А.А. Кривоуцкий). Особое внимание было обращено на физико-математическое моделирование

процессов развития, распространения, модификации планетарных волн, их взаимодействия с зональным потоком, что позволило в рамках двумерных моделей состава и циркуляции учесть незональные особенности структуры атмосферы (А.И. Ивановский, Б.М. Кирюшов).

В связи с развитием работ по исследованию механизмов антропогенного воздействия на озоносферу в отделе были созданы прогностические интерактивные модели состава и циркуляции средней атмосферы, с помощью которых были рассчитаны состояния озоносферы на длительный период с учетом различных сценариев выброса в атмосферу веществ, разрушающих озон.

С 2008 года отделом руководит к.ф.-м.н. Юшков Владимир Александрович. В состав отдела входят 4 лаборатории и СРЗА г.Знаменск. Отдел проводит НИОКР по целевым программа Росгидромета и федеральным целевым программам.

Деятельность лаборатории ракетного зондирования средней атмосферы посвящена организации, методическому обеспечению и проведению регулярного ракетного метеорологического зондирования на СРЗА г. Знаменск. В лаборатории проводится обработка и анализ данных ракетного

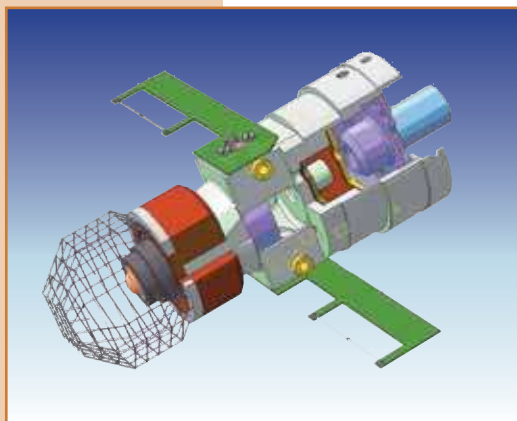


1 – контейнер, 2 – стартовая ступень

Стартовая ступень метеорологической ракеты «Мера» в транспортно-пусковом контейнере.



Маршевая ступень метеорологической ракеты «Мера» с теплозащитным покрытием корпуса.



Блок измерения температуры и давления метеорологического ракетного зонда ракеты «Мера».



1 – маршевая ступень, 2 – контейнер со стартовой ступенью, 3 – пусковое устройство
Метеорологическая ракета «Мера» в составе мобильной пусковой установки.

зондирования, которые помещаются в базу данных, размещенную на сайте обсерватории. На этом сайте представлена в открытом доступе вся база данных ракетного зондирования с 1960 года.

В лаборатории экспериментальных исследований средней атмосферы проводится разработка новых бортовых систем для измерения параметров средней атмосферы с использованием ракетной, самолётной и аэростатной техники.

В лаборатории исследования климата средней атмосферы создаются базы данных метеопараметров средней атмосферы, включая данные ракетного и спутникового зондирования, осуществляется мониторинг изменений климата средней атмосферы на основе данных наблюдений. На основе численных моделей проводятся исследования воздействия естественных и антропогенных факторов на климат средней атмосферы.

В лаборатории численного моделирования атмосферных процессов проводятся разработки и модификации моделей переноса атмосферных примесей, траекторный анализ результатов баллонных, самолётных, ракетных и спутниковых наблюдений, моделирование переноса вулканического пепла, радиоактивных примесей и т.п., а также обратное моделирование источников и стоков парниковых газов и изучение стратосферно-тропосферного обмена.

В настоящее время на основе новых технологических подходов и достижений в области радиофизики и экспериментальных методов физических измерений создается современная система геофизического мониторинга параметров средней атмосферы на базе новой метеорологической ракеты класса «Дарт». Современные технологии и элементная база позволяют существенно уменьшить вес научной аппаратуры, ее габариты и увеличить высоту подъёма научной аппаратуры до 100 км.

Новые ракетные метеорологические комплексы (как стационарного, так и мобильного базирования) предполагается использовать для решения следующих задач:

- Валидация спутниковых измерений путем проведения подспутниковых экспериментов.
- Валидация наземных дистанционных измерений.
- Валидация численных прогностических моделей.
- Получение количественных характеристик термодинамических и циркуляционных параметров атмосферы, особенно в периоды искусственных воздействий на нее.
- Получение данных о строении и процессах в нижней ионосфере, где другие методы дают только качественные показатели.
- Уточнение трендов термодинамических параметров в средней атмосфере с целью контроля ее климатических изменений.
- Разработка новых версий международных, отечественных и отраслевых стандартных и справочных атмосфер.
- Метеорологическое обеспечение эксплуатации и испытаний авиационно-космической техники нового поколения, в том числе возвращающихся космических аппаратов.

Rocket sounding

Nowadays, the necessity has emerged to create a totally new multi-purpose “Dart”-class meteorological rocket capable of reaching a 100-km level. It is the solving of this very problem that the Department of Higher Atmosphere Physics is being engaged in, jointly with the State Unitary Enterprise “Instrumentation Design Office” (Tula).

Figures give some illustration of the rocket system developed.

The new weather rocket systems (stationary and mobile) are planned to be used

- To validate satellite measurements through sub-satellite experiments.
- To validate numerical prognostic models.
- To acquire quantitative characteristics of thermodynamic and circulation parameters of the atmosphere, particularly in periods of intended modification.
- To collect data on the structure and processes in the lower ionosphere, with only qualitative characteristics obtainable by other techniques.
- To specify thermodynamic parameter trends in the middle atmosphere in order to monitor its climatic changes (only long enough rocket data sets are homogeneous).
- To develop new versions of international, national, and departmental standard and reference atmospheres.
- To provide meteorological support in exploiting and testing new-generation aviation and space vehicles and equipment, including space shuttles.
- To optimize intended modification of the middle atmosphere and lower ionosphere by seeding agents through experiment.

Computer-processed rocket sounding data will be transmitted on-line to CAO Information Analytical Center and, following their express-analysis, to Roshydromet Information Analytical Center.



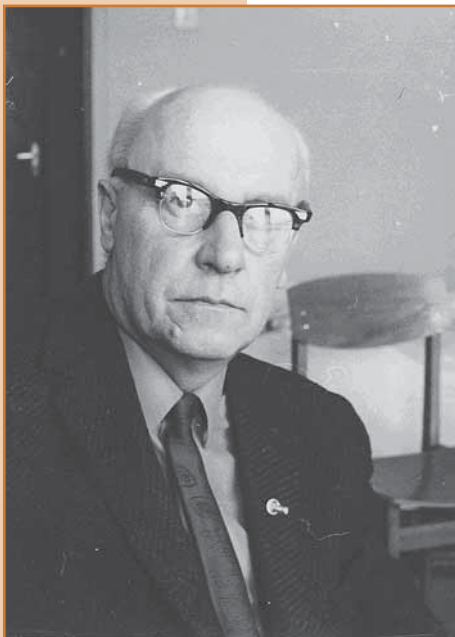
70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



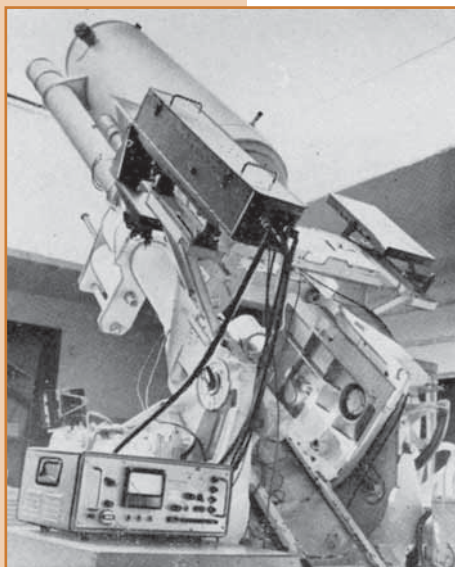
ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ
LASER AND OPTICAL TECHNIQUES
FOR ATMOSPHERIC STUDIES

ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

LASER AND OPTICAL TECHNIQUES FOR ATMOSPHERIC STUDIES



Профессор физического факультета МГУ Евгений Георгиевич Швидковский (1910-1970), один из инициаторов и научных руководителей лазерных исследований атмосферы в нашей стране.



Лидар для мониторинга стратосферного аэрозоля. 1990 г.

Теоретические и экспериментальные исследования атмосферы методами лазерного зондирования были начаты в ЦАО практически сразу же после появления твердотельных импульсных лазеров. Центральная аэрологическая обсерватория была инициатором этих исследований в СССР.

Большая заслуга в поддержке и развитии перспективных поисковых работ по этому направлению принадлежит профессору физического факультета МГУ Е.Г. Швидковскому, одному из инициаторов и научных руководителей разработки лазерных методов исследований атмосферы в СССР, бывшему в этот период директором Обсерватории.

В 1965 г. был создан лидар на базе серийного квантового генератора ОКГ-84 и с декабря 1965 г. начаты измерения коэффициентов обратного рассеяния и деполяризации лазерного излучения, рассеянного в обратном направлении туманом, дымкой, облаками и другими атмосферными образованиями при зондировании с земли (А.Б. Шупяцкий, В.И. Шляхов, В.В. Кравец, А.Е. Тяботов).

С 1966 г. начались экспериментальные работы по лазерному зондированию атмосферы и подстилающей поверхности с борта самолёта-лаборатории ИЛ-18 (А.Е. Тяботов, В.И. Шляхов, А.Б. Шупяцкий).

Следует отметить также такие пионерские работы как, определение предгрозового состояния облака (В.М. Захаров, А.И. Герман, А.П. Тихонов, А.Е. Тяботов), использование лазерных локаторов для идентификации состава нефтяной пленки (И.В. Мазуров, В.А. Торговичев, Е.М. Биргер, Э.А. Чаянова, Г.М. Крученицкий, Б.М. Лысенко), определение степени волнения моря (В.И. Павлов, Г.С. Гуревич, В.Е. Рокотян), голографическая регистрация движущегося водного аэрозоля (Е.М. Биргер, Л.Н. Разумов).

В условиях зондирования безоблачной атмосферы оказалось возможным обнаруживать зоны температурной инверсии в радиусе нескольких километров. По мере создания более мощных лидаров и усовершенствования систем регистрации стало возможным исследовать профили коэффициента рассеяния атмосферы до стратосферных высот, выявлять аэрозольные слои и определять характеристики аэрозоля при некоторых предположениях о коэффициенте преломления частиц и их функции распределения по размерам (В.М. Захаров, О.К. Костко, А.П. Тихонов, В.П. Фадина, Э.А. Чаянова).

Дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования показали, что часть надежд оправдалась и лазеры получили широкое применение при исследовании аэрозольного состава атмосферы, оптических характеристик дымок, туманов и облаков как с земли, так и с самолёта.

Однако, практическое использование лидаров в массовых наблюдениях для получения данных о температуре и давлении в тропосфере, о составе атмосферы в высоких слоях и данных о многообразных загрязняющих компонентах в

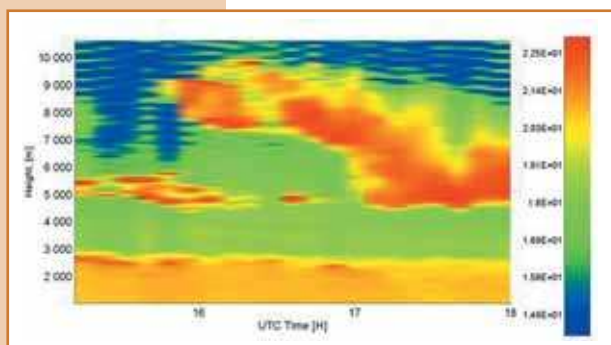
нижней тропосфере и приземном слое оказалось гораздо более трудной задачей. Для проведения систематических массовых наблюдений в различных географических регионах необходимо обеспечить сравнительно невысокую стоимость аппаратуры при сохранении её высокой надежности и простоты в эксплуатации. Полностью выполнить эти требования не удалось. Тем не менее, сотрудниками отдела был внесен существенный вклад в разработку теоретических и методических основ дистанционного лазерного зондирования атмосферы, по основным направлениям исследований создана и испытана уникальная аппаратура, получены результаты натурных измерений.

В условиях зондирования безоблачной атмосферы оказалось возможным обнаруживать зоны температурной инверсии в радиусе нескольких километров. По мере создания более мощных лидаров и усовершенствования систем регистрации стало возможным исследовать профили коэффициента рассеяния атмосферы до стратосферных высот, выявлять аэрозольные слои и определять характеристики аэрозоля при некоторых предположениях о коэффициенте преломления частиц и их функции распределения по размерам (В.М. Захаров, О.К. Костко, А.П. Тихонов, В.П. Фади́на, Э.А. Чаянова)

На основе метода дифференциального поглощения была создана аппаратура для определения профиля водяного пара в тропосфере и озона в стратосфере. В установках, созданных для этих исследований, применялись оптические квантовые генераторы на рубине, на неодимовом стекле, с использованием основных частот и их гармоник (О.К. Костко, Г.А. Крикунов, Н.Д. Смирнов, В.У. Хаттатов).

Разработанные методы и аппаратура были успешно использованы в последующие годы для решения научных и прикладных задач, в том числе в интересах обороны страны. К чести сотрудников отдела, работавших в те годы, можно смело сказать, что они были на передовом рубеже как отечественной, так и мировой науки. Это относилось как к вопросам теоретических разработок методов лазерного зондирования, так и к геофизическим применениям лазерной аппаратуры. Несколько позже в СССР аналогичные исследования были начаты в Томском государственном университете под руководством В.Е. Зуева. В системе Госкомгидромета ЦАО осуществляла функции головной организации по разработке и внедрению лазерных методов. Выполненные в отделе исследования получили дальнейшее развитие в ряде других НИУ Госкомгидромета (ИЭМ, ИПГ, ГГО).

В 1992-94 гг. в ЦАО были проведены исследования по лазерному зондированию арктической дымки с использованием самолётного лидара в рамках международного российско-немецкого проекта - «Арктическая дымка». Впервые, для различных сезонов года, были получены данные о высотных распределениях и оптических характеристиках аэрозолей в тропосфере и нижней стратосфере северных широт в 17 регионах, относящихся к России, США, Канаде, Норвегии, Гренландии. (А.А. Алексеев, В.Н. Досов, С.Н. Скуратов, А.Е. Тяботов, В.У. Хаттатов).



Пространственно-временная эволюция шлейфа вулканического пепла от извержения вулкана в Исландии по данным лидарного зондирования. Москва 19 апреля 2010 г.

В последние годы лидарная техника успешно используется в ЦАО для наблюдений стратосферного аэрозоля и мониторинга вулканического пепла.

По мере развития лазерной техники в ЦАО получили развитие новые направления научных исследований, связанные не только с лазерными методами локации атмосферы. В их числе методы лазерной и оптической спектроскопии в УФ, видимой и ИК областях спектра для высокочувствительного газоанализа атмосферных загрязнений, дистанционные методы спутникового зондирования озона и других малых примесей верхней атмосферы. В конце 70-х годов в ЦАО получили развитие методы диодной лазерной спектроскопии для высокочувствительного газоанализа и исследования состава атмосферы. Были разработаны и успешно

апробированы методы контроля содержания окиси углерода, хлорфторуглеродов (ХФУ-11, ХФУ-12), метилхлороформа и ряда других примесей в атмосфере (В.У. Хаттатов, В.И. Астахов, В.В. Галактионов, А.И. Карпухин, В.В. Тищенко). Принципиальным отличием от известных ранее спектральных методов атмосферного газоанализа является использование спектроскопии сверхвысокого разрешения, позволяющей сканировать контуры линий поглощения исследуемых газов, содержащихся в кюветах или на открытых трассах в атмосфере. Для анализа сверхмалых концентраций химически пассивных примесей в атмосфере были разработаны методы криогенного обогащения проб атмосферного воздуха. Созданные образцы газоаналитической аппаратуры характеризуются высокой чувствительностью на уровне от 100 до 1 млрд. долей примеси по отношению к исследуемому

атмосферному воздуху, избирательностью газоанализа и широким динамическим диапазоном измеряемых концентраций. С использованием методов диодной лазерной спектроскопии сотрудниками отдела впервые в СССР были выполнены измерения содержания окиси углерода, хладона-11, хладона-12 в атмосфере на фоновом уровне. Были разработаны, изготовлены и метрологически аттестованы два типа опытно-промышленных образцов трассовых газоанализаторов окиси углерода, предназначенных, соответственно, для оперативного контроля загрязнения воздушного бассейна городов и промышленных центров в составе передвижных и стационарных лабораторий, а также для научных исследований по программе фоновой мониторинга атмосферы. Основные технические решения по созданным образцам аппаратуры и их технико-экономические показатели существенно превосходили уровни аналогичных зарубежных образцов того времени.

Эффективность созданной газоаналитической аппаратуры была подтверждена на практике для оценки уровней загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта в ряде крупных городов и промышленных центров СССР (Москва, Ленинград) и за рубежом (НРБ, ГДР) в 1980-1983 гг. Сотрудниками отдела (В.И. Астахов, В.В. Галактионов, И.И. Засавицкий, Ю.В. Косичкин, А.И. Надеждинский, В.У. Хаттатов, А.П. Шотов) были впервые получены для различных сезонов систематические данные о фоновом содержании окиси углерода в атмосфере в ряде биосферных заповедников бывшего СССР (Приокско-Террасный, Березинский, Северо-Кавказский). Результаты этих исследований позволили оценить источники и стоки окиси углерода в приземном слое атмосферы естественного происхождения, исследовать суточный, сезонный и годовой ход концентрации окиси углерода, дать оценку глобальной концентрации CO в атмосфере средних широт территории СССР. Наряду с развитием лазерных методов велись работы по исследованию атмосферы другими оптическими методами, не связанными непосредственно с применением лазерного излучения. Разрабатывались спектральные приборы для исследования состава атмосферы и содержания загрязняющих газов, использующие прямую, рассеянную и отраженную солнечную радиацию и искусственные источники света. Такие спектрометры были сделаны для измерения газов NO_2 и SO_2 . Основной элемент такого спектрометра – электрически перестраиваемый интерференционно-поляризационный фильтр, настраиваемый на спектр поглощения исследуемого газа (Г.М. Хапланов и др.). Для одной из модификаций спектрометра, созданного в ЦАО и предназначенного для измерения окислов азота в выбросах промышленных предприятий, были разработаны, изготовлены в СКБ Средств аналитической техники Минаналитприбора и прошли метрологическую аттестацию Госстандарта СССР опытно-промышленные образцы (Ю.А. Борисов, Г.М. Хапланов).

В 1988 г. на высокоширотной арктической станции о. Хейса была внедрена высокоточная автоматизированная спектрофотометрическая аппаратура – прибор Брюера, предназначенная для наблюдений общего содержания озона и двуокиси азота во время полярного дня и полярной ночи (В.М. Дорохов). К сожалению, уникальный ряд шестилетних наблюдений был оборван в 1994 г., когда работы были прекращены в связи с расформированием Росгидрометом ракетной станции зондирования на о. Хейса.

На этой же станции, совместно с сотрудниками ОФВСА и АО, был выполнен цикл баллонного зондирования озона и полярных стратосферных облаков. Работа выполнялась в кооперации с группой профессора Дж. Розена, Университет шт. Вайоминг, США. Это были первые прямые измерения оптических характеристик полярных стратосферных облаков в Арктике (В.У. Хаттатов, В.В. Рудаков, В.А. Юшков).

С распадом Советского Союза в ЦАО, как и во всех других научных организациях, наступил трудный период. Основные усилия ЦАО были направлены на сохранение накопленного научного потенциала и, прежде всего, коллектива творческих специалистов. Многие новые работы стали возможны в отделе только благодаря широкой международной кооперации и сотрудничеству с другими странами.

В 1995 г. по инициативе ЦАО создана первая в России станция регулярных наблюдений вертикального распределения озона в Восточной Сибири, г. Якутск, а в 1998 г. вторая станция баллонного зондирования озона в Западной Сибири, г. Салехард. В те годы данные озонного зондирования с этих станций были единственным источником информации о состоянии стратосферного слоя в приполярном регионе территории России. Данные о вертикальном распределении озона с этих станций использовались для валидации спутниковой озонметрической информации. Эти исследования проводились в рамках сотрудничества с учеными Национального института по охране окружающей среды Японии.



Участники проекта ТОМС. США 1989 г.

В рамках межправительственного соглашения между СССР и США об исследовании и использовании космического пространства в мирных целях от 15 апреля 1987 г. Госкомгидромет СССР подписал соглашение с НАСА США об установке американского прибора ТОМС на советском космическом аппарате «Метеор-3». По этому соглашению на ЦАО были возложены функции головного института по координации работ по созданию алгоритмов обработки данных прибора ТОМС, по обработке, архивации и распространению информации о ежесуточном глобальном распределении общего содержания озона (Захаров В.М., Петров Н.Н., Хаттатов В.У.). Для выполнения указанных работ в отделе лазерных методов исследований атмосферы ЦАО были разработаны алгоритмы, программное обеспечение и аппаратный комплекс для получения и обработки данных прибора ТОМС (В.Н. Досов, Ю.А. Борисов, Т.В. Банкова, Е.И. Илюхин, А.Б. Кондратьев, О.Ю. Самвелян, О.В. Стасюк).

Ежесуточный мониторинг глобального распределения ОСО проводился в оперативном режиме в течение всего периода функционирования прибора ТОМС на борту «Метеор-3» – с августа 1991 г. по декабрь 1994 г. Разработанные алгоритмы и программы использовались ЦАО также с 1996 г. для мониторинга состояния озонового слоя по результатам наблюдений новым прибором серии ТОМС, установленным на космическом аппарате НАСА США. В рамках этих работ сотрудниками отдела создан уникальный для России архив ежесуточных данных ОСО с 1978 г. по 1994 г. и с 1996 г. по настоящее время (Т.В. Банкова).

Дальнейшее развитие в ЦАО теоретических и практических работ по космическому мониторингу атмосферы направлено на создание алгоритмов и программ для обработки данных наблюдений пропускания атмосферы в оптическом диапазоне длин волн в периоды восходов и заходов Солнца/Луны.

Проект «METEOR 3M-SAGE-III»



Начиная с 1996 г. ЦАО принимало участие в Российско–Американском проекте «METEOR 3M – SAGE», проводившемся совместно с учеными НАСА в рамках межправительственного соглашения между Россией и США. Проект предполагал запуск российского спутника METEOR-3M, на котором должен быть установлен американский спектрометр нового поколения SAGE-III, предназначенный для исследования газового и аэрозольного состава атмосферы. Спектрометр имел оптическую систему, позволяющую сканировать солнечный диск через всю толщу атмосферы в момент выхода спутника из тени Земли. По мере движения спутника по орбите солнечная радиация проходила через все более высокие слои атмосферы и регистрировалась прибором, включая измерения внеатмосферных потоков солнечного излучения.

Такой метод спутникового зондирования позволял измерять прозрачность атмосферы (или функцию пропускания) свободную от ошибок, связанных с оптическими характеристиками спектрометра и характеристиками регистрирующей системы. Спектрометр регистрировал потоки солнечной радиации в 86 участках спектра от 287 до 1550 нм. Этот спектральный интервал содержит области поглощения ряда атмосферных газов (озона, двуокиси азота, кислорода, водяной пара и др.), а также имеет ряд интервалов практически свободных от поглощения, в которых регистрируется аэрозольная составляющая атмосферы.

Регулярный прием информации от научной аппаратуры SAGE-III осуществлялся на двух российских и двух американских наземных станциях. Телеметрическая информация от российских наземных станций поступала в ЦАО для проведения оперативного анализа исходных данных и получения конечной научной информации.

Специалистами ЦАО, участвующими в этом проекте, был выполнен большой цикл научно-методических работ:

- Разработаны программы для предварительной обработки поступающей информации, в соответствии с «Описанием формата телеметрии SAGE- III», который был предоставлен специалистами NASA. Этот этап работы состоял из оперативного контроля полноты и качества телеметрических данных, формирования исходной информации с правильной кадровой структурой и контрольной суммой, и составления протокола качества для каждого сеанса связи.



Выход спутника из тени Земли и появление солнечного диска в приемной системе спектрометра.

- Разработаны алгоритмы и программы для вычисления функций пропускания для прицельных высот по данным о потоках солнечной радиации. Этот этап работы включал: а) разработку алгоритма и программы, так называемого «баллистического блока», для точного определения прицельных высот; б) алгоритм и программу расчета длин путей солнечного света в атмосфере с учетом эффектов рефракции; в) алгоритм и программу расчета определения точного

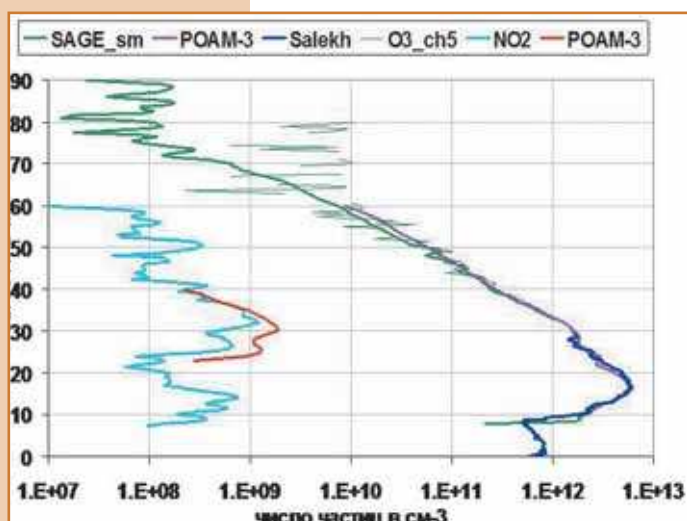
времени попадания щели спектрометра на край солнечного диска, для точного соответствия положения щели на солнечном диске в условиях прохождения луча в атмосфере и вне атмосферы.

- Разработаны алгоритмы и программы для решения «обратных задач». Этот этап работы включал: а) алгоритм и программу перехода от функций пропускания атмосферы для прицельных высот к суммарным коэффициентам ослабления для реальных высот и удаления «рэлеевской» составляющей; б) разделения суммарного коэффициента ослабления на составляющие и вычисление вертикального профиля концентраций малых газовых составляющих и экстинкции аэрозоля.
- Создан пакет программ для объединения всех этапов обработки информации от предварительной обработки поступающей информации до расчета профилей концентрации газовых составляющих и аэрозоля, с построением графиков вычисленных профилей для каждого события.

Эта огромная работа была выполнена коллективом специалистов ЦАО: Т.В. Банкова, В.Н. Глазков, А.И. Ивановский, О.В. Стасюк, Э.А. Чаянова. Общее руководство группой осуществлял Ю.А. Борисов. Он же был главным связующим звеном и с американскими коллегами из НАСА, и с коллегами из Российского Космического Агентства.

Спутник Метеор-3М был выведен на орбиту ракетоносителем «Зенит-2» с космодрома Байконур в Казахстане 10 декабря 2002 года. С 27 февраля 2002 года по 31 декабря 2005 года аппаратурой SAGE-III проводились регулярные измерения малых газовых составляющих атмосферы.

Первые обработанные данные были сравнены с результатами обработки данных американскими коллегами и получены подтверждения хорошего согласия данных, достоверности результатов и правильности выбранных алгоритмов и разработанных программ.

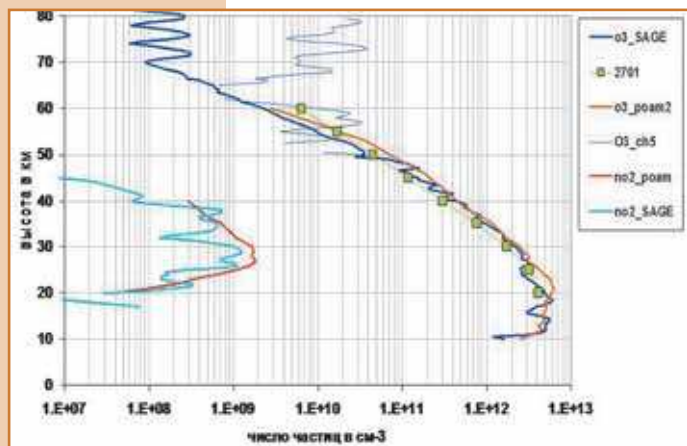


Сравнение результатов измерений вертикальных профилей озона и двуокиси азота: 1,4,5 кривые – данные SAGE-III; 2,6 кривые – данные POAM-III; кривая 3 – озонозонд в Салехарде. Все данные для 66N, 66E от 26.12.2002г.

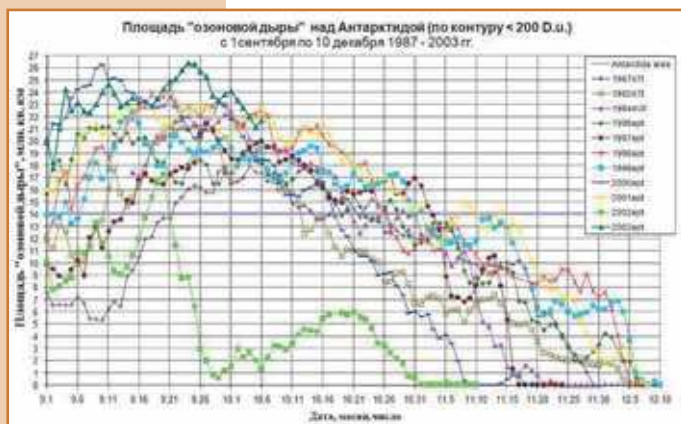
Была проведена также «валидация» спутниковых данных - сравнение профилей концентрации газовых составляющих и аэрозоля с профилями полученными другими приборами и методами измерений для выбранного географического места и заданного времени.

Общее число проведенных измерений составило 35 786, из них 18 194 типа SUNSET (заход) и 17 692 типа SUNRISE (восход). Архив данных SAGE-III в двоичном формате занимает 8.10 Гб.

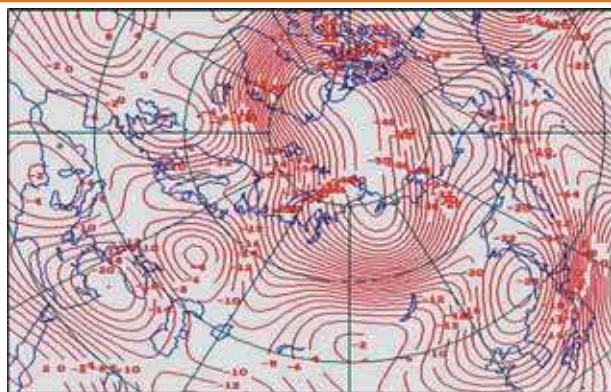
В результате выполнения проекта были созданы базы данных о вертикальных профилях концентрации озона, водяного пара, двуокиси и трехокиси азота, двуокиси хлора, а также температуры и давления атмосферы. Международный проект в рамках совместной российско-американской рабочей группы «Науки о Земле», внес существенный вклад в исследование пространственной и временной изменчивости этих параметров, для определения их роли в химии атмосферы, с целью проведения объективного анализа изменений природной среды и климата.



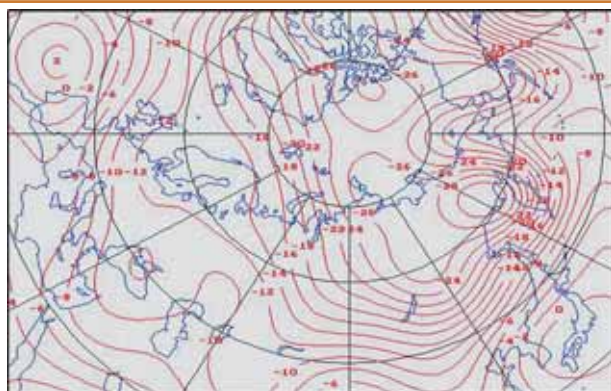
Сравнение результатов измерений вертикальных профилей озона и диоксида азота : 1,4,6 кривые- данные SAGE-III; 3,5 кривые –данные POAM-III; кривая 2 –микроволновой радиометр в Анатитах. Все данные для 65N, 35E от 27.01. 2003 г.



Аномально низкое содержание ОСО над Антарктидой в весенний период 1987-2003 г.



Отклонение ОСО от средних долгопериодных значений (в %) 18 марта 2011 г.



Отклонение ОСО от средних долгопериодных значений (в %) 1-31 марта 2011 г.

Аномально низкое содержание озона в Арктике в марте 2011 г.

С 1996 г. в ЦАО проводятся наблюдения за ежесуточной изменчивостью общего содержания озона (ОСО) по данным наземной и спутниковой аппаратуры с целью контроля состояния озонового слоя над территорией Российской Федерации и пополнения Государственного фонда данными о состоянии окружающей природной среды, в частности данными о глобальном распределении ОСО.

Для обслуживания оперативных работ разработан технологический цикл накопления, сохранения и обработки спутниковой информации по озонному зондированию аппаратуры TOMS, установленной на космических аппаратах «Nimbus-7», «Meteor-3M», «Earth Probe» и аппаратуры OMI, установленной на спутнике «Aura». В результате подготовлены и сданы в Госфонд (ВНИИГМИ МЦД) архив ежесуточного глобального распределения ОСО, альбомы ежесуточных и среднемесячных карт полей ОСО и карт полей отклонений ОСО от климатических норм над территорией РФ и прилегающих государств за 1978 - 2010 годы. (Т.В. Банкова).

Наблюдение за общим содержанием озона с помощью высокоточных приборов в ЦАО ведется с конца 60-х годов (спектрофотометр Добсона №107). В 1988 году был введен в эксплуатацию один из первых в России автоматизированный высокоточный спектрофотометр Брюера МК III. Измерения ОСО этим прибором проводились на станции Долгопрудный до 1991 года, с 1991 года по 2007 год прибор работал на метеорологической станции Якутск, расположенной в интереснейшей области озонного максимума.

В 1989 году на высокоширотной арктической станции о. Хейса начались регулярные измерения с помощью спектрофотометра Брюера МК IV, позволяющего измерять не только ОСО, но и общее содержание NO_2 во время полярного дня и полярной ночи. К сожалению, уникальный ряд наблюдений был завершен в 1994 году, когда работы были прекращены в связи с расформированием Росгидрометом ракетной станции зондирования на о. Хейса. В настоящее время с/ф Брюера МК IV базируется в г. Томск и здесь проводятся регулярные измерения ОСО.

В 90-е годы ученые ЦАО совместно со Службой аэронавигации Франции установили на метеорологических станциях Жиганск и Салехард высокоточные автоматизированные спектрометры SAOZ. Спектрометры позволяют проводить измерения ОСО и общего содержания NO_2 по зениту неба, что является существенным преимуществом при измерениях в высоких широтах. С помощью этих приборов за последние 20 лет был получен уникальный ряд данных высокоточных наблюдений ОСО и общего содержания NO_2 в высоких широтах Арктики на территории Российской Федерации (В.М. Дорохов).

Станции озонных наблюдений г.Якутск, г.Салехард, г.Жиганск в 2001-2002 г.г. аттестованы международной комиссией и получили официальный статус как пункты международной сети станций детектирования изменений состава атмосферы(NDACC). В 2010 году на станциях Долгопрудный и Анадырь введены в эксплуатацию высокоточные автоматизированные спектрометры Mini-SAOZ, которые, как и прибор SAOZ, были разработаны и изготовлены в Лаборатории атмосферных исследований (Франция).

В настоящее время проводятся работы по организации российской сети станций регулярных высокоточных наблюдений за ОСО и общим содержанием NO_2 . Сеть будет включать в себя более 10 станций, расположенных в различных регионах Российской Федерации. В 2012 году планируется организация нескольких новых станций высокоточных автоматизированных наблюдений ОСО и NO_2 , оснащенных приборами Mini-SAOZ, в частности, в г. Мурманск и г. Сочи (В.И. Ситникова).

На интернет-сайте ЦАО создана страница, содержащая архивы и текущую оперативную информацию об ОСО над территорией РФ по данным спутникового зондирования в открытом доступе (<http://www.cao-rhms.ru/oisa/>).



Подготовка самолетной измерительной аппаратуры к полету в Арктике. Швеция, г. Керуна. 2003г.

Одно из актуальных направлений работ, в которых ЦАО принимает активное участие с 1993 года по настоящее время, связано с проведением исследований стратосферного слоя озона и климата атмосферы с помощью высотного самолета М-55 «Геофизика». Эти работы ведутся в кооперации с Экспериментальным машиностроительным заводом им. В.М. Мясищева. (В.У. Хаттатов, В.А. Юшков, Н.К. Винниченко, А.Э. Улановский, М.Ю. Мезрин С. М. Хайкин, Ситников Н.М.). Совместно с учеными других организаций России, Италии, Германии, Швеции, Швейцарии создана уникальная научная платформа, которая используется в исследованиях строения и состава свободной атмосферы и в проведении прикладных исследований. Высотный самолет-лаборатория использовался также для обеспечения задач космического дистанционного зондирования атмосферы, в части валидации данных спутниковых измерений характеристик верхней атмосферы. Этот проект финансово поддерживался Министерством промышленности, науки и технологий Российской Федерации.

Только две страны в мире, США и Россия, имеют высотные дозвуковые самолеты, которые способны выполнять полеты с комплексом научной аппаратуры на высотах до 22 км (американский ER-2 фирмы «Локхид» и российский самолет лаборатория М-55 разработки ЭМЗ им. В.М. Мясищева).

В настоящее время российский высотный самолет оснащен комплексом современной дистанционной и контактной научной аппаратуры для исследования химического состава и строения тропосферы и стратосферы. В составе установленной аппаратуры есть и штатные научные приборы, разработанные в ЦАО. В 1996-2010 г.г. самолет М-55 «Геофизика» успешно использовался в международных экспедициях по исследованию механизмов истощения стратосферного слоя озона в Арктике, Антарктике и в тропических широтах, микрофизики и радиационных свойств облаков верхнего яруса, стратосферного аэрозоля, полярных стратосферных облаков, динамики верхней атмосферы

Одно из новых научных направлений по проблеме исследования и мониторинга состава атмосферы и ионосферы, начатых в ЦАО несколько лет назад, связано с разработкой физически обоснованных глобальных трехмерных моделей с ассимиляцией данных наблюдений. Работы в этой области впервые в мире были начаты в США в связи с быстрым развитием космических средств глобального мониторинга состава атмосферы и ионосферы, и уникальными возможностями методов радиозондирования атмосферы с помощью радиосигналов космических навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. В России эти работы впервые были начаты в ЦАО и к настоящему времени создана трехмерная ассимиляционная модель ионосферы, работающая круглосуточно в оперативном режиме и описывающая в квазиреальном времени распределение электронной концентрации и основных ионов, а также распределение их температур в области высот от 80 км до 20000 км. Целью разработок по данному направлению является создание сегмента системы высокоточного мониторинга ионосферы Земли, способного оперативно выявлять вариации ее состояния и давать исходную информацию в головное НИУ Росгидромета по этой проблеме – Институт прикладной геофизики для составления краткосрочных прогнозов изменения космической погоды. В качестве метода решения поставленных задач была выбрана методика ассимиляции данных в численные модели, совмещающая физическое моделирование состояния ионосферной плазмы и оперативно поступающую экспериментальную информацию о состоянии ионосферы. Для ассимиляции в модели используются данные о полном содержании электронов в ионосфере, получаемые с наземной сети станций радиозондирования системы GPS.

В основу разработанной системы была положена физическая модель ионосферы, состоящая из уравнений, описывающих законы сохранения вещества, его количества движения и энергии. Эти уравнения решаются электронов и семи основных типов ионов, формирующих состав ионосферы: H^+ , H_2^+ , N^+ , N_2^+ , NO^+ , He^+ , NO_2^+ . С помощью глобальной численной модели ЦАО, можно оперативно получать значения концентраций, температур и скоростей электронов и ионов на регулярной географической сетке практически любого разрешения, зависящего только от имеющихся вычислительных мощностей. Уравнения численной модели учитывают эффекты фотоионизации, рекомбинации ионного обмена, гравитационного и магнитного полей, термодиффузии, столкновений ионов с нейтральной атмосферой, а так же эффекты зонального электрического поля. Для учета

внешних по отношению к ионосфере физических факторов в разработанной системе применяются эмпирические модели WMM-2010 (магнитное поле Земли), MSISE (распределение концентраций и сферы температур нейтральных компонент атмосферы) и HWM-93 (модель термосферных ветров).

Для того, чтобы разработанная численная модель была применима в практических приложениях для мониторинга состояния ионосферы, а также для научных исследований физических процессов в верхней атмосфере Земли, модель должна учитывать в расчетах экспериментальные данные о состоянии ионосферы, а так же данные о солнечной активности. В качестве доступного и регулярно обновляемого источника экспериментальной информации была выбрана сеть наземных станций системы GPS, предназначенная для коррекции орбит навигационных спутников. Протоколы обмена информацией со спутниками системы GPS обновляются на серверах этой системы станций в фиксированном формате. Исходя из имеющейся в этих файлах информации, в разработанной системе происходит расчет

полного электронного содержания вдоль трассы распространения навигационного радиосигнала. Эта информация и используется для ассимиляции в модель ионосферы, корректируя исходные расчеты численных схем с учетом текущего состояния ионосферной плазмы. Информация о солнечной активности, используется для вычислений коэффициентов фотоионизации и поперечного дрейфа.

Оперативно работающая ассимиляционная модель ЦАО имеет большие перспективы практических приложений, в том числе оперативный мониторинг естественных и антропогенных источников воздействия на ионосферу, коррекция навигационной аппаратуры, использующей данные системы ГЛОНАСС.

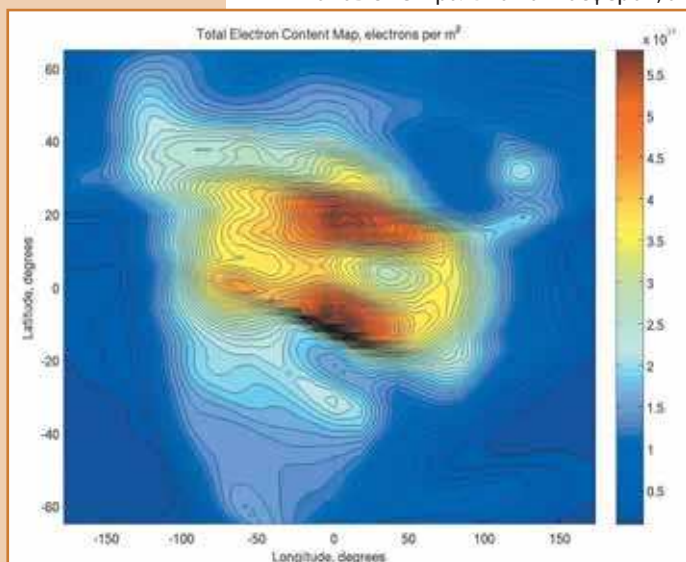
Laser and optical techniques for atmospheric studies

Theoretical and experimental investigations of the atmosphere using laser sounding techniques were undertaken by the Central Aerological Observatory immediately with the advent of pulsed solid-state laser. It was on CAO initiative that laser atmospheric studies began in the USSR. The credit for the support and development of this research is due to Prof. E.G. Shvidkovsky, the then CAO Director.

In 1965, a lidar based on a commercial quantum oscillator was created, and ground-based measurements of the backscattering and depolarization coefficients of laser radiation scattered back by fog, haze, clouds, etc., began. Experimental laser soundings of the atmosphere and underlying surface from board an IL-18 aircraft weather laboratory started in 1966. During the following years, pioneering studies were fulfilled to determine a pre-thunderstorm cloud state, oil film composition, using lidar, to measure sea roughness, and register moving atmospheric aerosol, using holography techniques.

Based on a differential absorption technique, instrumentation to determine profiles of tropospheric water vapor and stratospheric ozone was constructed.

The laser techniques and instruments developed by CAO were successfully used in solving various scientific and applied problems. In the period 1992-1994, laser soundings of arctic haze, using aircraft lidar, were conducted under the German-Russian project "Arctic Haze".



Пример представления данных о состоянии ионосферы в виде глобальной карты интегрированного вертикально Полного Электронного Содержания.

Further development of laser techniques at CAO enabled novel research in areas other than lidar studies of the atmosphere, e.g. laser and optical spectroscopy in the UV, optical, and IR spectrum ranges for high-sensitivity gas analysis of atmospheric pollutants, remote satellite-borne sounding of ozone and other minor species in the upper atmosphere, etc. In the late 1970s, diode laser spectroscopy for high-sensitivity gas analysis and investigation of atmospheric composition was introduced. Methods to measure carbon dioxide, CFCs, and some other minor atmospheric species were devised and approved.

Simultaneously, other optical methods and techniques were also developed and employed in atmospheric studies. Spectrometers were created to investigate atmospheric composition and measure the amount of gaseous pollutants, such as NO_2 and SO_2 , which used direct, scattered, and reflected solar radiation, as well as artificial light sources.

In 1988, a high-latitude arctic station on Heiss Island (81°N, 58°E) was equipped with an automated Brewer spectrophotometer to carry out observations of total ozone and nitrogen dioxide.

Under the USA-USSR intergovernmental agreement on the peaceful uses of cosmic space, signed in 1987, TOMS instrument (USA) was installed aboard the Soviet spacecraft "Meteor-3". CAO developed algorithms, software, and hardware for the acquisition and processing of TOMS data. In 1996, CAO, in cooperation with NASA, took part in the USA-Russia project "Meteor-3M / SAGE". A large research and methodological work series was fulfilled by CAO under this project, which furnished large databases on the vertical profiles of the concentration of ozone, water vapor, NO_2 , NO_3 , and chlorine oxide, as well as on atmospheric temperature and pressure.

At the present time, organization of a network of 10 stations to carry out precision measurements of total ozone and NO₂ in different regions of the Russian Federation is under way.

One of the topical projects CAO has been involved in since 1993, in cooperation with V.M. Myasishchev Design Bureau, is devoted to the investigation of the stratospheric ozone layer and atmospheric climate from board M-55 "Geophysica" high-altitude aircraft. Jointly with scientists from other institutes of Russia, Italy, Germany, Sweden, and Switzerland, a unique research platform has been created, which is successfully used to study the structure and composition of the free atmosphere and solve diverse applied problems.

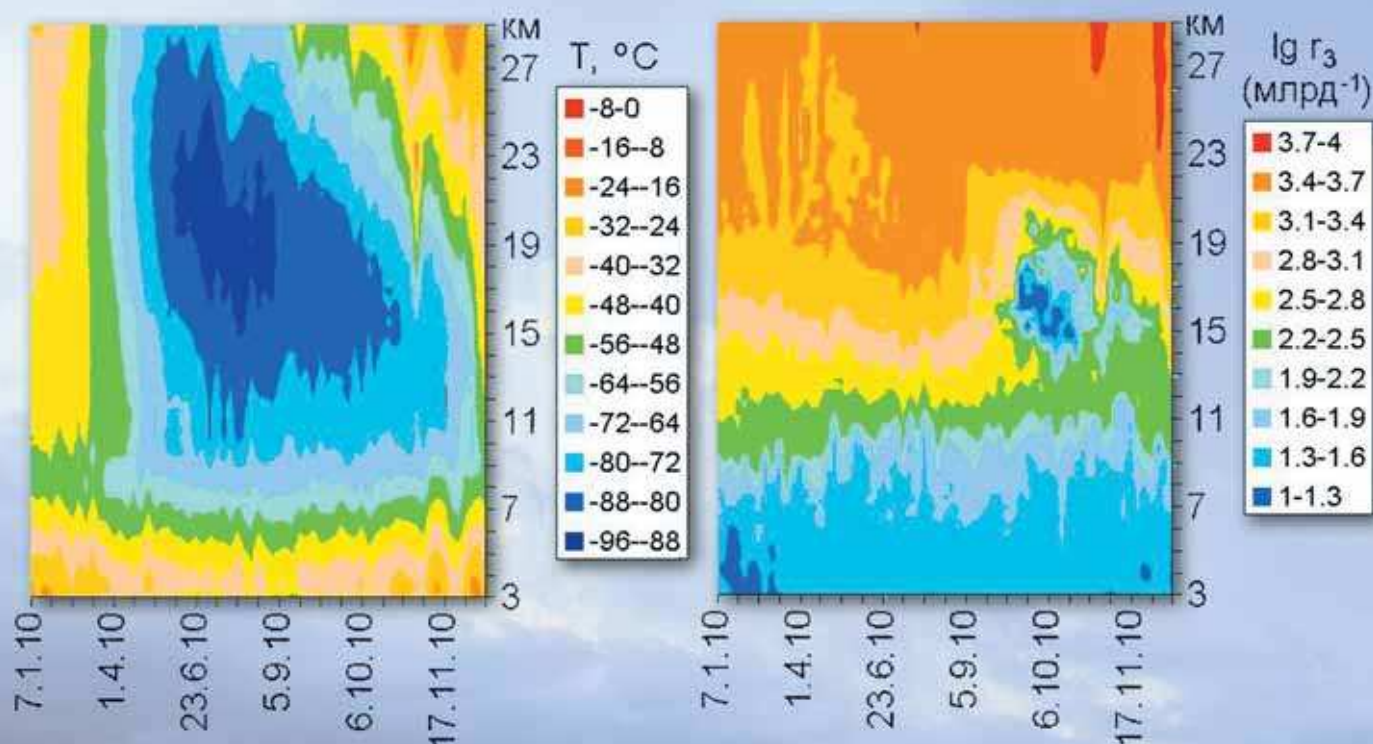
In recent years, studies of the atmospheric composition, using physically grounded global 3D models and observational data assimilation, have been initiated, CAO pioneering this research in Russia. By now, a 3D assimilation model of the ionosphere has been constructed, which is run in an operational regime and describes the concentration distribution of electrons and basic ions in quasi-real time.



70 лет Центральной Аэрологической Обсерватории

Временной ход температуры T (слева) и логарифма отношения смеси озона r_3 (справа) по данным озонного зондирования над станцией Южный Полюс (NOAA, США).

В период с сентября по декабрь в области высот 13-22 км отчетливо видна весенняя антарктическая озоновая аномалия, проявляющаяся по наличию области уменьшения r_3 с высотой.



ИССЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГ
АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА
STUDIES AND MONITORING OF ATMOSPHERIC OZONE

ИССЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА

STUDIES AND MONITORING OF ATMOSPHERIC OZONE

Начало исследований атмосферного озона в ЦАО было положено работами А.Х. Хргиана. Первая из них увидела свет уже в 1947 г. В дальнейшем различные вопросы изучения атмосферного озона появляются в статьях А.Х. Хргиана регулярно, а озонная тематика становится главной в его научных исследованиях.

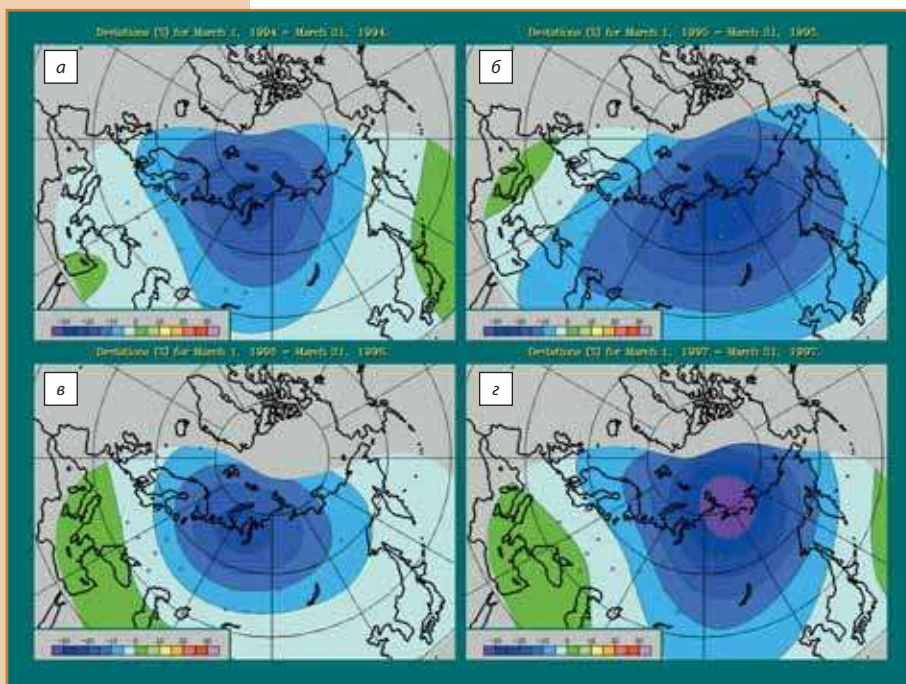
Уже в учебнике «Физика атмосферы» (1953 г.), в отличие от ранее изданных подобных учебников, проблеме озона посвящена отдельная глава. В ней подчеркнута роль озона в атмосферных процессах, обобщены сведения о распределении озона в атмосфере, рассмотрены процессы, управляющие распределением озона в атмосфере и его переносом. Основой научного понимания текущего состояния и вероятной эволюции озонового слоя Земли являются данные наблюдений.

Оперативно-производственная деятельность по мониторингу состояния озонового слоя над территорией России

Первые наблюдения за состоянием озонового слоя в атмосфере в ЦАО проведены в 1957 г. в период Международного геофизического года. В различные годы в ЦАО проводились измерения общего содержания озона (ОСО) и его концентраций с помощью как наземной аппаратуры, так и устанавливаемой на самолётах и метеорологических ракетах.

Система оперативного мониторинга поля ОСО в СССР была создана по инициативе В.М. Захарова и А.А. Черникова (исполнители - О.К. Костко, Г.М. Крученицкий, В.Э. Фиолетов) в ЦАО в середине

1980-х гг. Система получила широкое международное признание – разработанные в ее рамках климатические нормы ОСО, а также алгоритмы картирования и диагностики озоновых полей широко используются в различных зарубежных научных и оперативных центрах. В настоящее время общее число озонометрических станций на территории СНГ, данные которых ежесуточно поступают в систему оперативного контроля, составляет, как правило, от 19 до 30. Система позволяет строить карты полей ОСО, а также абсолютных и относительных отклонений от многолетних средних на территории бывшего СССР. Результаты озонного мониторинга, полученные с использованием этой системы, с 1998 г. ежеквартально публикуются в виде обзоров в журнале «Метеорология и гидрология» (А.М. Звягинцев, Н.С. Иванова, Г.М. Крученицкий и др.).

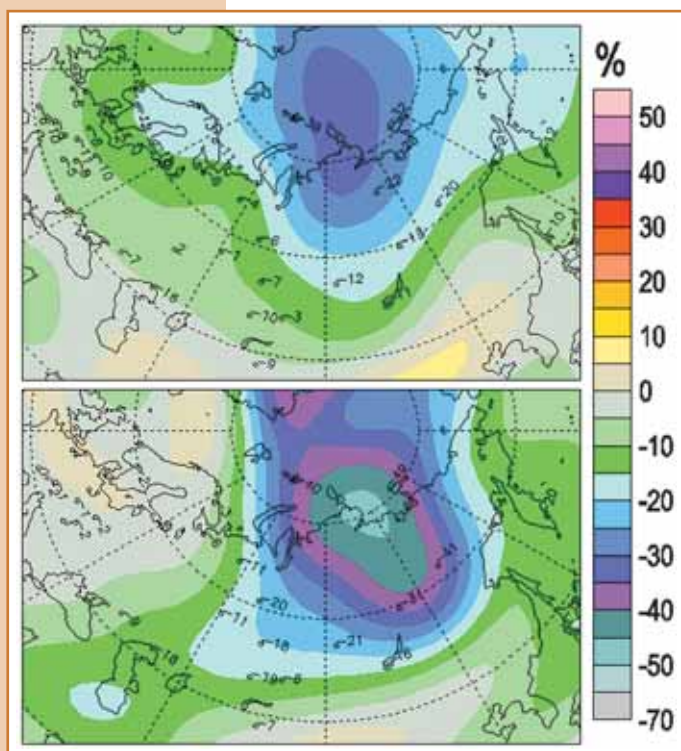


Отклонения среднемесячных полей общего содержания озона от норм в процентах в марте 1994 (а), 1995 (б), 1996 (в) и 1997 (г) г.г. Рисунок иллюстрирует тот факт, что наибольшие по площади и величине аномалии наблюдались в марте 1995 и 1997 г.г.

В 1998 г. разработана система мониторинга облученности территории России и прилегающих территорий естественной ультрафиолетовой (УФ) радиацией в диапазоне длин волн 290-315 нм (Н.С. Иванова, Г.М. Крученицкий, А.А. Черников). Система позволяет по оперативным спутниковым данным об облачности, альбедо подстилающей поверхности и спутниковым или наземным данным об ОСО восстанавливать поля облученности УФ радиацией территории России.

Система контроля состояния поля ОСО и обнаружения аномалий в нем включает в себя наземную сеть измерения ОСО, функционирующую под научно-методическим руководством ГГО, и центр оперативной обработки данных (ЦАО). Центр оперативной обработки получает по каналам ГРМЦ ежесуточные данные со станций сети и в реальном масштабе времени осуществляет контроль состояния поля ОСО над территорией страны для временных интервалов сутки и более. Диагностика текущего состояния поля ОСО осуществляется путем построения следующего набора карт для каждого из контролируемых временных интервалов:

- поле ОСО (е.Д.);
- поле отклонений ОСО от климатической нормы (е.Д.);
- поле относительных отклонений ОСО от климатической нормы (%);
- поле отклонений ОСО от климатической нормы в единицах стандартного отклонения (СКО).



Отклонения полей общего содержания озона от норм в марте 2011 г. (вверху) и 20.03.2011 г. (внизу).

Образцы продукции – карты отклонений ОСО над Россией и прилегающими территориями от норм в различные периоды времени - представлены на рисунках.

Климатические нормы и алгоритмы построения карт, разработанные в отделе (В.Э. Фиолетов, 1988), являются международно-признанными и постоянно используются при проведении мирового мониторинга ОСО и международных озоновых кампаний под эгидой ВМО и ЮНЕП. С 1991 года при проведении мониторинга также используются данные об ОСО, получаемые от американской аппаратуры, расположенной на борту спутников «Метеор-3», «Earth Probe», OMI. Эти данные применяются в системе контроля для взаимной коррекции наблюдательных средств наземного и космического базирования.

Кроме этого отдел озонного мониторинга осуществляет:

- оперативное пополнение существующих и разработку новых баз данных по тематике, связанной с озонной проблемой (Т.В. Кадыгрова, 1995);
- контроль глобальных и региональных трендов ОСО и ВРО, а также разработку и совершенствование необходимых для этого алгоритмов и их сравнительный анализ с существующими (Т.В. Кадыгрова и Г.М. Крученицкий, 1995; G.M. Kruchenitsky et al., 2000; А.М. Звягинцев и Г.М. Крученицкий, 1996);

- с 1998 г. мониторинг УФ-облученности территории России (N.S. Ivanova and G.M. Kruchenitsky, 2000).

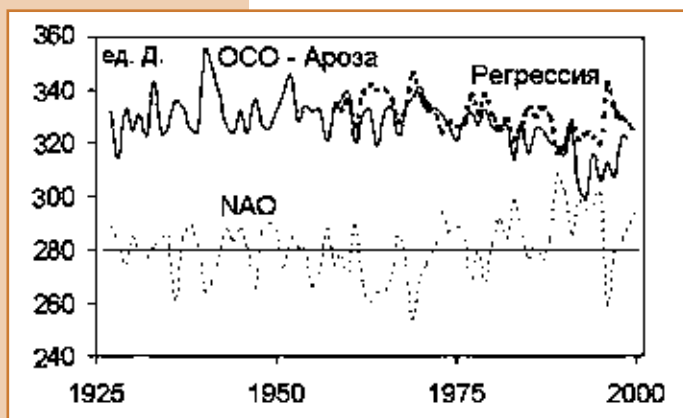
Эксплуатируемая отделом система мониторинга состояния озонового слоя и УФ-Б облученности непрерывно совершенствуется в ходе научно-исследовательской работы. В 2000 году была разработана методика краткосрочного прогнозирования состояния поля УФ-Б облученности, одобренная Центральной методической комиссией по прогнозам (ЦМКП) Росгидромета по результатам испытаний. В 2010 году разработан и одобрен ЦМКП Росгидромета метод суточного прогноза общего содержания озона и УФ индекса на территории РФ.

С 2008 г. в связи с изменением системы планирования и финансирования научно-исследовательских, конструкторских и оперативных работ Росгидромета основные ежедневные операции по оперативной деятельности отдела (наблюдения концентрации приземного озона, прием данных по ОСО, их обработка и архивация, оперативный мониторинг озонового слоя) переданы для исполнения Долгопрудненской полевой экспериментальной базе (ДПЭБ).

Кроме мониторинга озонового слоя, ДПЭБ осуществляет также регулярные измерения приземной концентрации озона, начатые с 1991 года (А.М. Звягинцев, 1995). Эти измерения, как и весь комплекс работ по проблеме приземного озона, проводятся совместно с лабораторией системных исследований отдела озонового мониторинга. Временной ряд измерений приземного озона с 1991 г. по настоящее время является самым длинным рядом непрерывных измерений приземного озона в Московском регионе. В конце 1990-х годов на станции Долгопрудный впервые на территории России обнаружены случаи превышения предельно допустимых концентрации приземного озона.

Исследования озонового слоя

Решениями проблем, связанных с озоном, плодотворно занимались ученики А.Х. Хргиана – А.С. Бритаев, В.И. Бекорюков, Н.Ф. Брезгин, Г.Н. Кузнецов, Ю.А. Шафрин и другие. Их многочисленные работы обеспечили дальнейшее углубление изучения атмосферного озона. Были разработаны методы расчета вертикальных профилей распределения озона на основании знаний его общего содержания. Выполнены эксперименты по измерению озона электрохимическими методами с борта самолёта, измерение вертикального профиля распределения озона не только в Долгопрудном, но и в Антарктиде. Были исследованы связи вертикального распределения озона с метеорологическими условиями в атмосфере, колебания концентрации озона в зависимости от циркуляции в стратосфере.



Среднегодовое общее содержание озона в Арозе (47°N, 10°E), Швейцария, в е.д. с 1927 г. (OSO-Ароза); индекс североатлантического колебания (NAO; умножен на 10 и сдвинут на 280 ед. вверх) и прогноз общего содержания озона в е.д. в Арозе на 1958-2000 гг., вычисленный по простой регрессионной модели (Регрессия - без тренда, с использованием только индекса североатлантического колебания) по данным наблюдений 1927...1957 гг. (3). Коэффициент корреляции кривых 1 и 3 за 1927...1957 гг. составляет 0.54, 1958...2000 гг. - 0.56, а за 1958...1991 гг. (до возмущения озоносферы, вызванного извержением вулкана Пинатубо) - 0.63 [Звягинцев и Крученицкий, 2003].

Особенно значителен вклад школы А.Х. Хргиана в изучение связи озона с атмосферной циркуляцией. Это важнейшее направление науки об атмосферном озоне получило широкое развитие в работах его учеников и последователей, что позволило отечественным исследователям, в том числе сотрудникам ЦАО, значительно опередить по времени аналогичные работы зарубежных авторов. Еще в 1960-е гг. использование ячейки меридиональной циркуляции позволило в общих чертах объяснить высотно-широтное распределение атмосферного озона (А.В. Артемьев, В.И. Бекорюков, М.А. Гусев). Также в 1960-х гг. впервые было получено распределение озона в длинных барических волнах (максимум озона - в ложбине, минимум - в гребне), а также сделан вывод о том, что волновая активность увеличивает интегральное количество озона. В 1970-е гг. В.И. Бекорюковым исследовано распределение озона в стратосферном циркумполярном вихре, в частности, обнаружено очень низкое содержание озона вблизи центра циклона, особенно в осенне-зимний период. За рубежом связь озона с волновой активностью и расположением стратосферного циклона начали исследовать много лет спустя.

В результате создания систем оперативного мониторинга ОСО исследователи получили возможность наблюдать практически в реальном времени развитие и эволюцию областей низкого ОСО, которые получили название «мини-дыры». Такое название иногда истолковывалось как указание на аналогичность их происхождения с «озонной дырой» в Антарктике. На самом деле такие области низкого ОСО в северном полушарии существовали всегда, в том числе и тогда, когда об антропогенном воздействии на озон не могло быть и речи. Было показано их динамическое происхождение и установлено, что их существование обусловлено вполне определенной барической ситуацией (В.И. Бекорюков, В.Э. Фиолетов). После образования в средних широтах над северной Атлантикой такие «мини-дыры» могут мигрировать до Уральских гор (В.И. Бекорюков, А.М. Звягинцев, Г.М. Крученицкий, С.П. Перов, 1994). Было обнаружено также, что в Западной Европе подобные барические ситуации, приводящие к низкому ОСО, существуют при так называемом «азорском воздействии», когда азорский антициклон мигрирует со своего обычного положения (субтропики) в средние широты. Тем самым показано, что, по крайней мере, в региональном масштабе наблюдаемые отрицательные тренды озона в значительной степени могут быть обусловлены трендами конкретного типа атмосферной циркуляции. В дальнейшем эта работа о влиянии центров действия атмосферы на озон получила продолжение как в ЦАО, так и за ее пределами.

Е.А. Жадин одним из первых обратил внимание на то, что изменения температуры поверхности океанов связаны со стратосферной циркуляцией и общим содержанием озона.

В.И. Бекорюков обнаружил тесную корреляционную связь глубины циркумполярного циклона в средней стратосфере в северном полушарии с интегральным количеством озона во внетропических широтах.

Связь параметров азорского антициклона с ОСО над Европой является проявлением влияния на озоновый слой одного из сильнейших глобальных колебаний – североатлантического или арктического (А.М. Звягинцев, Г.М. Крученицкий, 1996, 2003), в значительной мере определяющего погоду и климат в Северном полушарии. Установлено, что влияние североатлантического (арктического) колебания на озоновый слой распространяется далеко за пределы северной части Атлантического океана и Европы. Показано, что в величине трендов общего содержания озона, наблюдаемых в Северном полушарии, значительную часть составляет доля, обусловленная трендом параметров североатлантического (арктического) колебания. Связь североатлантического (арктического) колебания с ОСО в Арозе, Швейцария, прослеживается с 1926 г.

Связь аномалий озонового слоя с другим глобальным колебанием – южным - обнаружена группой под руководством А.А. Черникова (Ю.А. Борисов, А.М. Звягинцев, Г.М. Крученицкий, С.П. Перов и др., 1998). В частности, выявлено, что появление значительных, по данным спутниковой аппаратуры TOMS/Earth Probe - до 20 и более процентов, отрицательных аномалий ОСО в экваториальной области Тихого океана в конце 1997 – начале 1998 г. связано с явлением Эль-Ниньо 1997-1998 г. Установление связей состояния озонового слоя с североатлантическим (арктическим) колебанием и явлением Эль-Ниньо/южным колебанием указывают на наличие связи изменений озонового слоя с климатическими изменениями.

Особо следует отметить работы одного из первых отечественных исследователей озона - А.С. Бритаева. Еще в 50-е годы им были разработаны различные средства для измерения концентрации озона в наземных и самолётных наблюдениях. Было обнаружено наличие связи приземного озона с метеорологическими условиями, сделаны оценки суточного и годового хода приземной концентрации озона в Москве в районе Останкинской телебашни, выявлены различия суточного хода на различных ее высотах. Продемонстрирована связь концентрации озона в тропосфере с облачными образованиями. В результате проведенного в 1960 г. зондирования озона тропосферы А.С. Бритаев обнаружил сложную структуру вертикального профиля озона и заметные горизонтальные различия концентрации озона на расстояниях около 300 км. Ему раньше других удалось показать наличие существенного обмена озоном между тропосферой и стратосферой.

Начиная с 1960-х г.г., несколько групп теоретиков в ЦАО создавали математические модели озоносферы. Разработаны численные двумерные и трехмерные модели озоносферы, включающие расчет состава, связанного с газофазными реакциями, термического режима и циркуляции (А.И. Ивановский, Б.М. Кирюшов, А.А. Криволицкий и др.). Проведено численное моделирование отклика озона в средней атмосфере на солнечные протонные вспышки (А.А. Криволицкий и др.).

Получен ряд интересных результатов на основе статистического моделирования процессов в озоносфере с использованием данных об ОСО и ВРО (Т.В. Кадыгрова, Г.М. Крученицкий, В.Э. Фиолетов). Построены глобальные незональные модели ОСО и ВРО (В.И. Бекорюков, В.Э. Фиолетов).

В различные годы в рамках международного сотрудничества было организовано регулярное баллонное зондирование с помощью электрохимических озонзондов в весенне-зимний период на станциях Якутск и Салехард. На основе полученных экспериментальных данных были определены скорости убывания озона в стратосферном арктическом циклоне в зависимости от метеорологических условий.

На базе высотного самолёта М-55 «Геофизика» была создана летающая лаборатория для изучения химических и динамических процессов в стратосфере. В отдельные годы в рамках международных программ состоялись экспедиции в Арктику, Антарктику, экваториальные широты (В.У. Хаттатов).

В 1960-е г.г. для изучения фотохимических и динамических процессов в тропической озоносфере сотрудниками ЦАО были проведены целенаправленные комплексные эксперименты в периоды проведения морских экспедиций в тропических областях Тихого и Индийского океанов на судах Госкомгидромета, оборудованных ракетными комплексами. Такие исследования были продолжены с 1970 г. на ракетном полигоне Тумба (Индия) в рамках межгосударственного соглашения между

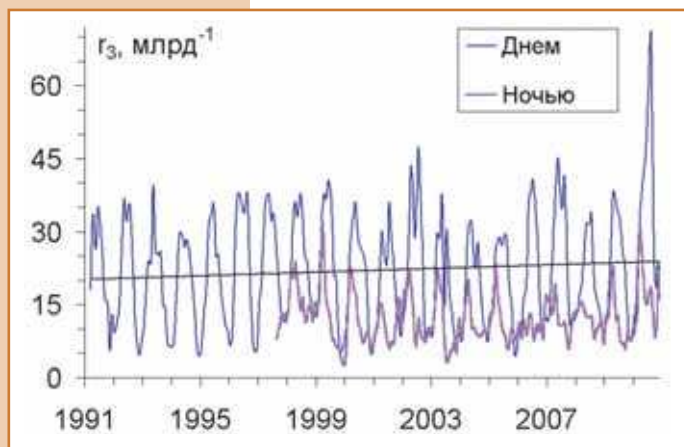
СССР и Индией. В результате проведенных работ построены эмпирические модели вертикального распределения озона (ВРО), атомарного кислорода, водяного пара и структурных параметров средней атмосферы (температуры, давления, плотности и ветра); определены характеристики приливных колебаний температуры и ветра в экваториальной стратомезосфере; исследованы характеристики короткопериодных колебаний ОСО (и частично ВРО) в экваториальной области и установлена их связь с изменением солнечной активности; выявлен один из механизмов влияния солнечной активности на озон в районе стратопauзы (Г.А. Кокин, С.П. Перов и др.).

Разработаны оптические методы измерения озона для ракет (А.Ф. Чижов), контактные методы измерения озона для ракет, аэростатов и радиозондов (С.П. Перов), что позволило получить данные о концентрации озона в стратосфере и мезосфере. По результатам совместных с Индией озонных кампаний 1983, 1987 и 1990 г.г, международной кампании DYANA (1990 г.) и космических наблюдений с германо-американского спутника CRISTA/MAHRSI (1994 и 1997 г.г.) определены характеристики озоновых волн в тропических широтах, а также получены экспериментальные данные, указывающие на существование солнечно-обусловленных резонансов в средней атмосфере, проявляющихся в широком спектре (от минут до лет) колебаний озонового слоя и их связь с климатическими изменениями (Г.М. Крученицкий, С.П. Перов).

С помощью приборов СФМ-1 и СФМ-2, установленных на борту спутников «Метеор-Природа 3-2» и «Метеор-3», были получены данные о вертикальном распределении плотности озона в полярных районах северного и южного полушарий в диапазоне высот 35-80 км. В настоящее время прибор СФМ-2 усовершенствован, два его образца были установлены на КА «Метеор-3М» № 1.

Проведены аппаратные разработки контактных измерителей озона электрохимического, хемилюминесцентного и полупроводникового типов (А.М. Звягинцев).

Озабоченность мирового сообщества состоянием озонового слоя в связи с его деградацией под влиянием антропогенных факторов выразилась в заключении двух исключительно важных для всего человечества международных договоров, направленных на сохранение озонового слоя Земли: Венской конвенции об охране озонового слоя (1985 г.) и Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой (1987 г.).

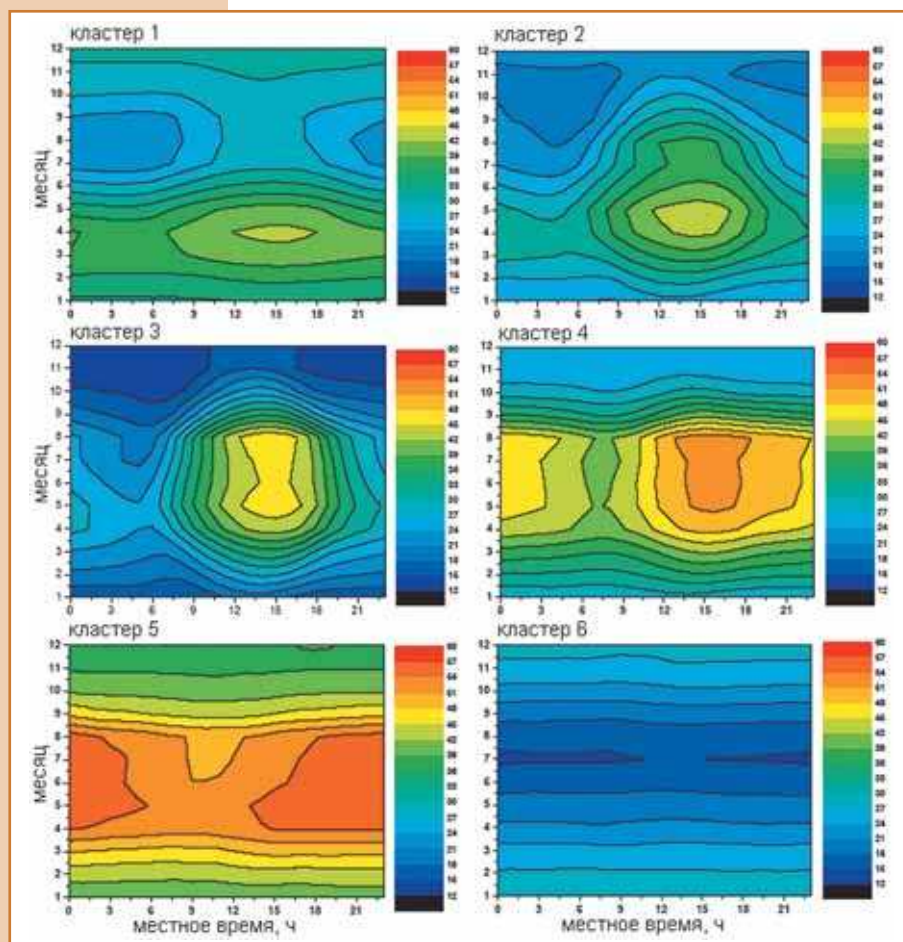


Временной ход среднемесячных приземных отношений смеси озона (млрд-1) в дневное (среднее в 11 и 14 ч местного времени) и ночное (в 3 ч местного времени) время, начиная с марта 1991 г. Прямая - линейный тренд отношения смеси в дневное время [Звягинцев и Кузнецова, 2002, обновлено].

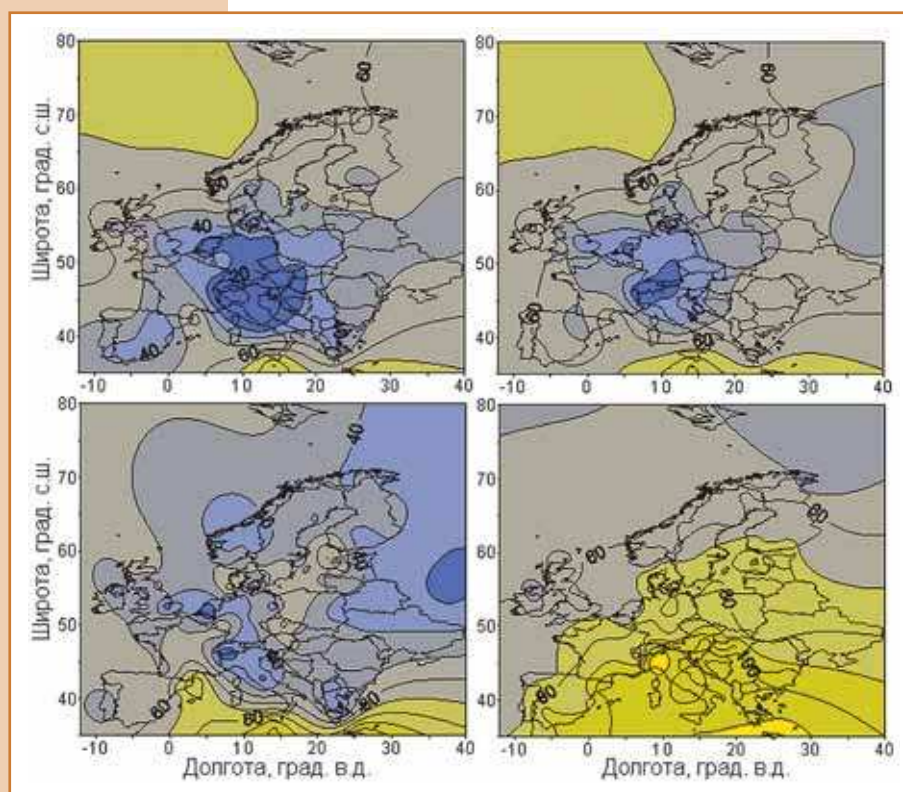
Наша страна принимала активное участие в разработке и осуществлении практических мер по охране озонового слоя. Начиная с 1986 г. принимался ряд постановлений правительства (Советского Союза, а затем и России), направленных на обеспечение выполнения обязательств нашей страны, вытекающих из этих важных международных соглашений.

В соответствии с решениями правительства были разработаны и осуществлены крупные научно-технические программы по исследованию озонового слоя атмосферы и оценке последствий его истощения. Для выполнения работ по данному направлению были привлечены многие организации Госкомгидромета, Академии наук, Минвуза и ряда других ведомств. Во времена СССР головной организацией по проблеме была определена Центральная аэрологическая обсерватория Госкомгидромета. Конечной целью исследований было получение научно-обоснованных оценок климатических, медико-биологических и социально-экономических последствий глобального изменения озонового слоя.

Выводы и рекомендации по результатам исследований использовались Сторонами Монреальского Протокола при разработке и принятии практических мер по сокращению производства и потребления озоноразрушающих веществ в промышленности. В результате реализации программы был получен ряд новых научных результатов по исследованию физических и химических процессов в озоносфере, изучению состояния озонового слоя над Антарктидой и Арктикой и выполнены расчеты долговременных изменений содержания озона в атмосфере при различных сценариях сокращения выбросов озоноразрушающих веществ в атмосферу.



Сезонно-суточные циклы для шести различных классов станций. На цветных шкалах показаны отношения смеси озона в млрд-1. Представлены следующие классы: (а) – отдаленные (незагрязненные), (b) – слабо загрязненные равнинные (сельские), (с) – загрязненные равнинные, (d) – слабо загрязненные возвышенные, (e) – горные и (f) – полярные/отдаленные прибрежные [Tarasova et al., 2007].

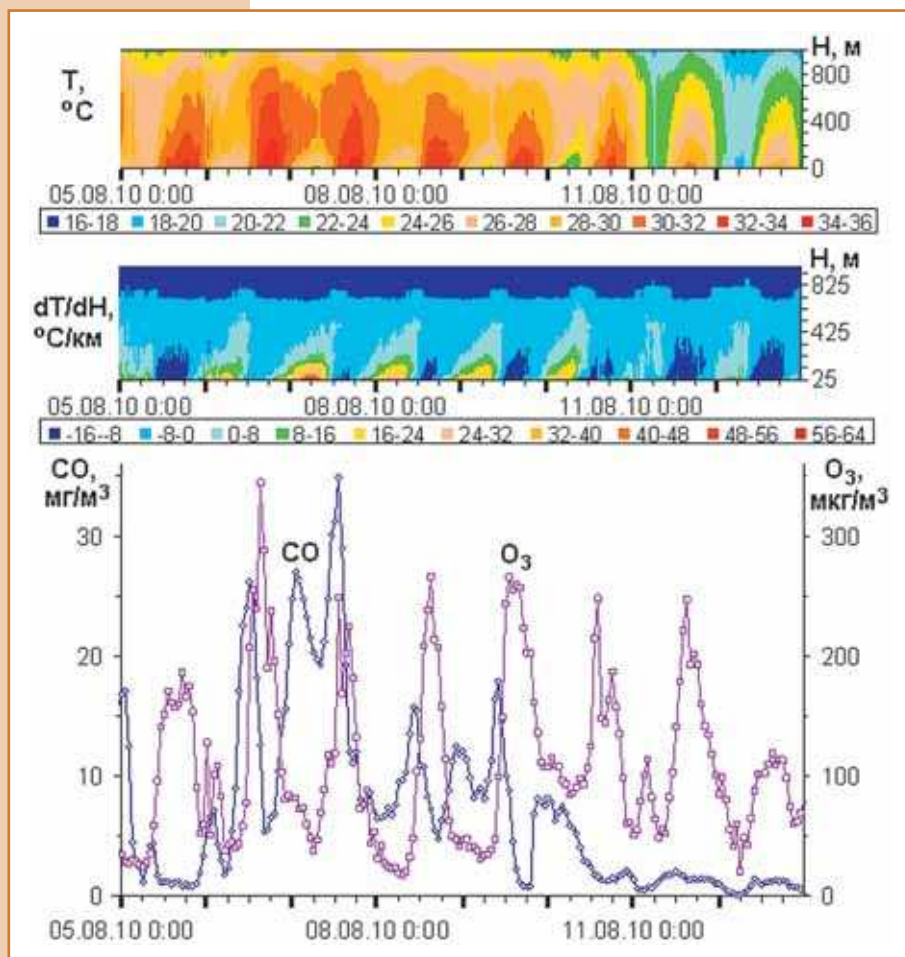


Вверху – среднее многолетнее распределение концентрации озона (мкг м-3) 16 января в 3 (слева) и 15 (справа) ч местного времени; внизу – то же для 16 июля [Звягинцев и др., 2008].

Регулярные измерения приземной концентрации озона в ЦАО и по сей день остаются единственным в Росгидромете регулярным источником информации об этом важном атмосферном параметре в Московском регионе. Надежность результатов наблюдений подтверждена результатами многочисленных метрологических исследований, в частности, сравнениями с результатами, полученными с помощью ультрафиолетовых измерителей концентрации озона. Сезонная изменчивость приземной концентрации озона в различное время суток проиллюстрирована на рисунке. Хорошо заметно влияние anomalно жаркого лета 2002 г. и, особенно, 2010 г.

С целью выявления сходства и особенностей поведения приземного озона в Московском регионе проведены обширные исследования его поведения в различных регионах мира. Впервые рассчитаны параметры периодической (сезонной и суточной) изменчивости концентрации приземного озона в Московском регионе, Новосибирске и на других станциях (более 120) в различных регионах страны и мира. Установлено, что в сезонном ходе озона имеются два максимума, вклады которых в различных регионах и в различные годы наблюдений проявляются в различной степени. Весенний максимум связан с динамическим фактором, а летний – с фотохимической генерацией озона. Для суточного хода озона установлено, что: 1) на равнинных станциях амплитуда первой гармоники сравнима со средним значением и значительно превышает амплитуды высших гармоник; 2) на высокогорных станциях (расположенных на высоте более 1 км над у.м.) внутрисуточная изменчивость невелика и в значительной степени определяется горно-долинной циркуляцией (А.М. Звягинцев, 2004).

Проведена классификация станций по характеристикам сезонно-суточного хода приземного озона (О.А. Tarasova et al., 2007; А.М. Звягинцев и др., 2008). В частности, выделены шесть классов станций: отдаленные (незагрязненные), слабо загрязненные равнинные, загрязненные равнинные, слабо



Временной ход температуры (вверху) и ее вертикального градиента (в середине) в пограничном слое атмосферы по данным профилера МТП-5 на станции Долгопрудный в период с 5 по 12 августа 2010 г. Внизу - временной ход концентраций озона на станции Долгопрудный и CO на станции Балчуг ГПУ «Мосэкомониторинг» за тот же период [Звягинцев и др., 2011].

загрязненные возвышенные, горные и полярные/отдаленные прибрежные; выявлены географические области, в которых они расположены. Определены климатические нормы концентрации приземного озона в Европе для произвольного сезона и времени суток (А.М. Звягинцев и др., 2008). Выявлены возмущения, вносимые в поля концентрации приземного озона неоднородностями поля высоты в Европе. Также показано, что характерный масштаб неоднородностей полей приземного озона близок к синоптическому и составляет около 500 км. Среднее время жизни аномалий приземного озона близко к синоптическому циклу (А.М. Звягинцев и Г.М. Крученицкий, 1997).

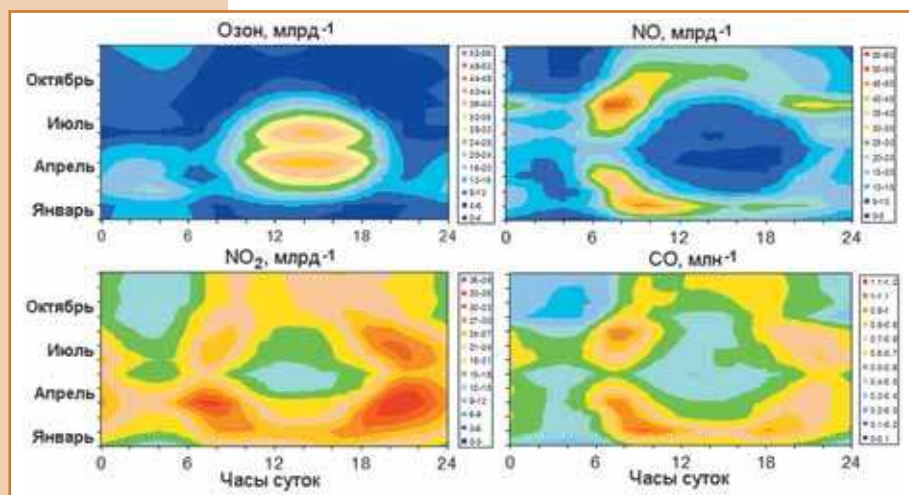
Выявленные основные закономерности изменчивости озона и результаты анализа данных наблюдений указывают на значительную роль метеопараметров в процессах, обуславливающих вариации тропосферного озона. Показано, что в условиях Московского региона суточный ход отношения смеси приземного озона обусловлен, в первую очередь, суточными ходами метеопараметров: температуры,

относительной влажности и скорости ветра; отношение смеси озона в этих случаях обычно не превышает $40\text{--}60 \text{ млрд}^{-1}$ (соответствует концентрациям озона $80\text{--}120 \text{ мкг м}^{-3}$). Впервые создана регрессионная модель, описывающая временной ход концентраций озона в виде линейной комбинации значений метеопараметров и концентраций первичных загрязнителей атмосферы с коэффициентами, зависящими от времени года. В отдельные периоды при неблагоприятных для рассеяния загрязняющих веществ метеорологических условиях возникают эпизоды с концентрациями озона, превышающими временами предельно допустимые концентрации (ПДК) озона для населенных мест (согласно Санитарным нормам Минздрава России ПДК составляет 160 мкг м^{-3}). Наиболее сильные повышения концентрации озона наблюдаются при восточном и южном направлениях переноса воздушных масс в пограничном слое атмосферы и, особенно, при пожарах окружающих Москву лесов и торфяников. В таких эпизодах определяющую роль в формировании максимальных суточных значений озона играет фотохимическая генерация. Эпизоды, как правило, наблюдаются в период с апреля по сентябрь при максимальных дневных температурах 28°C и выше, минимальной дневной относительной влажности 50 % и ниже, а также скорости приземного ветра не более 3 м с^{-1} . Эпизоды с превышениями разовых предельно допустимых концентраций озона в Московском регионе впервые зарегистрированы, начиная с конца 1990 г.г. Во время таких интенсивных эпизодов, как правило, наблюдаются пониженные вертикальные градиенты температуры в пограничном слое атмосферы, что приводит к ослаблению вертикального перемешивания и накоплению предшественников озона в пограничном слое.

Впервые на основе наблюдений разработана модель временного хода приземного озона, описывающая его зависимость от метеопараметров и концентраций других малых газовых составляющих атмосферы. Вычислены параметры модели для ряда станций наблюдений в России, Украине и Германии. На основе созданной модели впервые разработана методика прогнозирования

суточных максимумов концентрации приземного озона для России и отдельно для г. Москвы – обе методики утверждены Центральной методической комиссией по прогнозам (ЦМКП) Росгидромета в 2008 и 2007 г.г., соответственно, и рекомендованы для внедрения.

Впервые рассчитаны параметры долговременных изменений концентрации приземного озона в ряде районов мира и их связи с долговременными изменениями метеопараметров. В частности, установлено, что в Московском регионе в период 1991-2009 г.г. его линейный тренд статистически незначим (здесь и далее принят уровень доверительной вероятности $P=0.95$). По данным зарубежных станций наблюдений приземного озона, начиная с 1970-х г.г., тенденции долговременных изменений его приземного отношения смеси разнонаправлены как на различных станциях, так и на отдельных станциях в различные периоды времени.



Сезонно-суточные ходы отношений смеси приземного озона и озонактивных загрязнителей атмосферы (NO , NO_2 , CO) на станции МГУ – ИФА РАН в Москве на Воробьевых горах. [А.М.Звягинцев и др., 2010].

Впервые сравнены сезонно-суточные ходы отношений смеси приземного озона и первичных загрязнителей атмосферы в Московском регионе, центре Лондона и на ряде сельских станций Западной Европы (А.М. Звягинцев и др., 2010). Везде в светлое время суток наблюдаются высокие (по абсолютной величине) коэффициенты корреляции суточных ходов средних многолетних концентраций озона и первичных загрязнителей практически во все месяцы года (в Московском регионе до -0.97 в теплый период). Коэффициенты корреляции среднемесячных рядов концентраций озона и первичных загрязнителей

в период с 11 до 20 ч находятся в диапазоне -0.40...-0.70. Столь высокие значения коэффициентов корреляции указывают на существенное влияние вертикального перемешивания на формирование суточного и сезонного ходов концентраций озона и первичных загрязнителей.

На основе большого статистического материала озонного зондирования (15 станций, более 25000 профилей) определены основные особенности вертикальных профилей отношения смеси озона в тропосфере в различных районах мира (полярных, среднеширотных и тропических). В свободной тропосфере средние многолетние отношения смеси озона на всех станциях озонного зондирования всегда монотонно вырастают от земной поверхности от $35-60 \text{ млрд}^{-1}$ на верхней границе пограничного слоя до $80-130 \text{ млрд}^{-1}$ в районе тропопаузы. Везде, кроме антарктического региона (где сезонный ход содержания озона в значительной мере определяется весенней Антарктической озоновой аномалией), максимум отношения смеси озона в верхней тропосфере наблюдается в конце зимы-начале весны. В нижней тропосфере умеренных широт, кроме весеннего сезонного максимума отношения смеси озона, появляется летний, обусловленный фотохимическим образованием озона; эти максимумы часто сливаются в один - летний. В редких случаях наблюдения смоговых эпизодов, когда отношение смеси приземного озона превышает 80 млрд^{-1} , в вертикальных профилях озона обнаружен участок с аномальным (отрицательным) вертикальным градиентом отношения смеси озона в интервале высот 2-4 км; число таких профилей не превышает 0.1 % для каждой станции. Отклонения уровней озона от средних многолетних значений на различных тропосферных высотах коррелируют с отклонениями температуры на тех же высотах и с высотой тропопаузы.

Studies and monitoring of atmospheric ozone

The Ozone Monitoring Department fulfils the monitoring of total ozone (TO) and UV-radiation (UV) fields based on the data of CIS ground-based ozone observational network and satellite-borne gages. It also carries out work aimed at revealing factors that bring about changes in TO and climate, especially long-term ones. TO and UV maps are compiled for different periods, the shortest being 24 hours. Bulletins describing the ozone layer state are published quarterly in the journal "Russian Meteorology and Hydrology".

The global long-term ozone layer changes have been found to largely depend on natural factors. The connection of TO trends in the Northern Hemisphere with variations in the parameters of the Arctic (or North Atlantic) Oscillation has been first established.

Since 1991, regular observations of surface ozone concentrations (SOC) in Moscow Region have been made. The main features of SOC variability and its relations with main meteorological parameters have been revealed. The first SOC values exceeding its critical level which are harmful to human health were registered in Moscow Region in the late 1990s. The highest SOC values (up 170 ppb) were observed during 2002 and 2010 heat waves and were related with forest and peatbog wildfires. A statistical method to forecast maximal diurnal surface ozone levels has been developed.



70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ МЕТОДОМ
МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОМЕТРИИ
REMOTE SOUNDING

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ МЕТОДОМ МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОМЕТРИИ

REMOTE SOUNDING

Исследование параметров атмосферы методом микроволновой радиометрии основано на приеме собственного теплового излучения атмосферы в радиодиапазоне - в основном на сантиметровых, миллиметровых и субмиллиметровых волнах. Характеристики этого излучения в силу особенностей поглощения различных газов атмосферы и гидрометеоров несут в себе информацию о температурной стратификации атмосферы и распределении концентрации атмосферных газов по высоте, а также о водозапасе облаков. Возникновение этого направления исследований можно отнести к началу 60-х годов прошлого века, они практически одновременно были начаты как в нашей стране, так и за рубежом. На первом этапе исследования радиотеплового излучения атмосферы проводились в основном в связи с радиоастрономическими наблюдениями. В частности, этими вопросами занимались в Научно-исследовательском радиофизическом институте (НИРФИ, г. Н.Новгород) - С.А.Жевакин, В.С. Троицкий, А.П. Наумов, а также в Физическом институте АН СССР (ФИАН, г. Москва) - А.Е.Соломонович. Применительно к исследованию непосредственно атмосферы ряд важных работ был сделан в Главной геофизической обсерватории (ГГО, г. Санкт-Петербург) - К.С. Шифрин, Ю.И.Рабинович, Г.Г. Щукин, а также в США: М.А. Микс, А.Э. Лиллей, Д.Б.Баррет, позднее Э. Вествотер, Д. Ватерс, П. Розенкранс, Г. Либс и др. В начале 1960-х годов в Институте радиотехники и электроники АН СССР (ИРЭ) под руководством А.Е. Башаринова и в Институте физики атмосферы АН СССР (ИФА) под руководством А.С. Гурвича был проведен ряд работ по изучению особенностей теплового излучения атмосферы, морской поверхности, льдов и других природных объектов. В части создания аппаратуры большого прогресса в короткие сроки добились специалисты Специального конструкторского бюро ИРЭ АН СССР (СКБ ИРЭ) и лаборатория Московского научно-исследовательского института приборостроения (МНИИП) под руководством С.Т. Егорова. Совместная работа специалистов разных институтов (ИРЭ, ИФА, МНИИП) позволила достичь выдающегося результата - в сентябре 1968 года с борта ИСЗ «Космос-243» был впервые в мире проведен эксперимент по исследованию Земли и ее атмосферы из космоса радиофизическими методами (А.Е. Башаринов, А.С. Гурвич, С.Т. Егоров, Б.Г. Кутуза, М.А. Колосов и др.). Радиофизическими методами исследования атмосферы начали заниматься также в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (В.В. Богородский и др.) и в Военно-воздушной академии им. А.Ф. Можайского (Л.Т.Тучков и др.).

В Центральной аэрологической обсерватории работы по созданию новых методов и технических средств СВЧ радиометрического зондирования атмосферы начались с 1967 г. в Лаборатории телевизионных устройств отдела спутниковой метеорологии. Руководил этими работами заведующий лабораторией А.Г. Горелик, ведущими сотрудниками лаборатории были В.В. Калашников, Ю.А. Фролов. Работы проводились в тесном сотрудничестве со специалистами Института радиоэлектроники АН СССР А.Е. Башариновым, Б.Г. Кутуза. Одной из задач лаборатории была разработка физических основ применения СВЧ радиометров в метеорологии, и одним из результатов в дальнейшем стало создание бортового спутникового СВЧ поляриметра для исследования облачности и осадков в атмосфере и ледяных покровов. С 1968 г. впервые в мире были проведены работы по совместному радиолокационно-радиометрическому зондированию параметров облаков и осадков. Результатом

этих работ явилось создание основ спутникового микроволнового тепловидения. На успешности выполнения работы указывает тот факт, что с 1969 года ЦАО стало головной организацией в системе Гидрометслужбы СССР в области радиометрического зондирования атмосферы.

В 1973 году, в том числе и на базе Отдела спутниковой метеорологии ЦАО, была создана самостоятельная организация – Государственный научно-исследовательский центр исследования природной среды (ГОСНИЦИПР, впоследствии НПО «Планета»), куда перешел и А.Г. Горелик со своими сотрудниками. В 1974 г. на долгоживущей метеолaborатории - спутнике «Метеор-18» был запущен созданный в ЦАО СВЧ поляриметр для комплексного исследования облачности, осадков, волнения моря, и ледяных покровов. При создании прибора использовались разработки сотрудников лаборатории телевизионных устройств конца 1960-х годов. Впервые микроволновая радиометрическая аппаратура была установлена на оперативном метеорологическом спутнике, где она успешно проработала около двух лет.

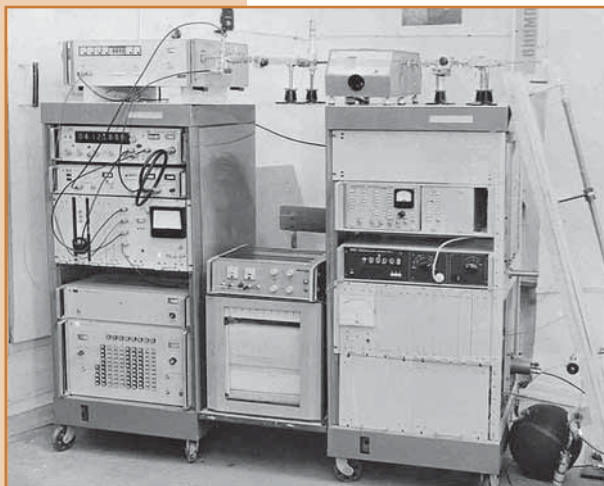
После 1974 года радиометрические методы исследования атмосферы продолжили свое развитие в ЦАО в Отделе радиометеорологии под руководством Ю.В. Мельничука. Продолжение исследований позволило в 1977 г. оснастить самолёт-лабораторию «Циклон» (ИЛ-18Д) комплексом радиометрической аппаратуры, который включал в себя пять измерительных каналов (два канала с длиной волны 0,8 см, 2 канала с длиной волны 1,35 см и один канал с длиной волны 3,2 см). В создании комплекса также принимали участие специалисты Всесоюзного заочного машиностроительного института (В.В. Калашников, А.Ф. Миронов). Комплекс был создан для решения задачи активных воздействий, в частности, для измерения водозапаса облаков и определения их пригодности для активных воздействий. В 1980 г. комплекс был впервые успешно использован для проведения работ по искусственным воздействиям в Молдавии.



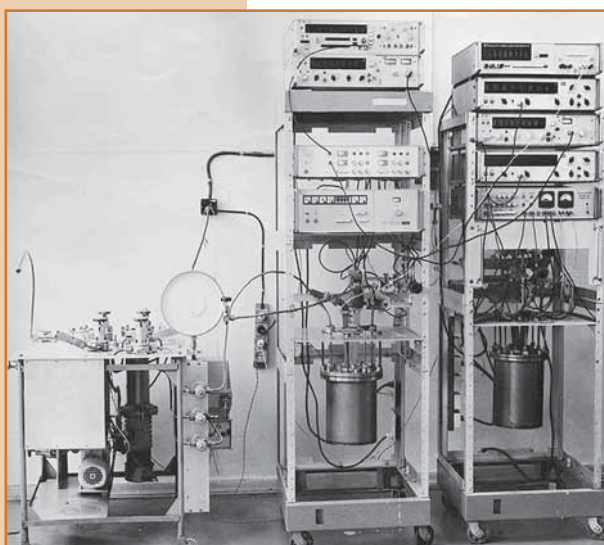
Радиометр диапазона 60 ГГц для измерения профилей температуры стратосферы с борта высотных аэростатов.

В 1981 году отдел радиометеорологии совместно с Всесоюзным заочным машиностроительным институтом (В.В. Калашников, А.В. Колдаев, А.Ф. Миронов) впервые провел самолётные СВЧ радиометрические исследования кучевых облаков в условиях их естественного развития и после активных воздействий на облака (Кишинев, Молдавия). Изменения водозапасов облаков после искусственного воздействия резко отличались от естественной эволюции водозапасов, что явилось инструментальным подтверждением эффективности воздействий. Впервые в СССР были проведены СВЧ радиометрические исследования изменений фонового излучения поверхности Земли во время полного затмения Солнца (г. Братск). В 1982 году проведены СВЧ радиометрические исследования водозапасов зимних циклонических образований в Центральной части Европейской территории СССР с борта самолёта-лаборатории «Циклон». Впервые обнаружено, что зоны переохлажденной капельной воды в облаках имеют большие горизонтальные размеры (~100 км) и географически не совпадают с зонами интенсивных снегопадов. В 1983 году сотрудниками ОРМ под руководством Ю.В. Мельничука проведены 3-х месячные радарно-радиометрические исследования летних фронтальных облаков с поверхности Земли (Пензенский полигон ЦАО). Впервые показано, что и в дождевых облаках зоны интенсивных осадков и зоны с переохлажденной водой в облаках географически не совпадают. В 1984 году в ОРМ была разработана и создана первая в ЦАО автоматическая наземная СВЧ радиометрическая станция, которая позволяла работать в любых погодных условиях (снег, дождь, резкие перепады температуры и т.д.). Реализация этой установки позволила подойти к долговременным непрерывным измерениям и положила основу СВЧ радиометрическим исследованиям климатических характеристик облаков. В 1985 – 1986 г.г., впервые в СССР, в ЦАО под руководством А.А. Черникова проведен непрерывный 3-х месячный сеанс СВЧ радиометрического зондирования водозапасов зимних облаков. Показано, что в Московском регионе в течение зимы (около 30% общего времени покрытия небосвода облаками) наблюдается переохлажденная жидкокапельная вода с уровнем водозапасов $> 0,05 \text{ кг/м}^2$. Эти данные послужили веским доводом для разработки программы по метеозащите Москвы от сильных снегопадов.

В 1986 году СВЧ радиометрическая аппаратура впервые используется в практике активных воздействий на кучевые облака на о. Куба под руководством Г.П. Берюлева. С помощью установленных на самолёте-метеолaborатории «Циклон» СВЧ радиометров выбираются облака, пригодные для активных воздействий и оцениваются результаты воздействий. В 1987 году СВЧ радиометрическая



Экспериментальная спектрометрическая установка для измерения коэффициента поглощения молекулярного кислорода.



Экспериментальная дисперсионная установка для измерения коэффициента поглощения молекулярного кислорода.



СВЧ радиометры диапазона 60 ГГц (слева - прямого усиления, справа - супергетеродинный)

аппаратура использовалась для изучения тропического циклона «Эмили» в Карибском бассейне. Данные о водозапасах центральной части тропического циклона получены впервые в СССР. В 1988-1990 г.г. самолётная СВЧ радиометрическая аппаратура использовалась при изучении целого ряда тайфунов в Южно-Китайском море (Вьетнам) и в Карибском бассейне (Куба). В 1989 году в ходе экспедиции ЦАО по активным воздействиям в Болгарии (Пловдив) под руководством И.П. Мазина впервые реализован принцип СВЧ радиометрической томографии облаков с борта самолёта и проведены сравнения с контактными датчиками. В 1991 – 1997 г.г. наземная и самолётная СВЧ радиометрическая аппаратура использовалась на регулярной основе в работах по увеличению осадков в Сирии.

С 1986 года в лаборатории радиосистем отдела физики высоких слоев атмосферы были начаты циклы работ по созданию бортовых спутниковых спектро радиометров миллиметрового диапазона волн для измерений профилей температуры стратосферы и профилей концентрации озона. Работы проводились под общим руководством Г.А. Кокина. Непосредственными разработчиками метода и экспериментальной аппаратуры являлись Е.Н. Кадыгров, А.Н. Шапошников, М.Г. Сорокин. Разработки проводились в тесной кооперации с сотрудниками Отдела микроволновых исследований Института космических исследований АН СССР во главе с И.А. Струковым и сотрудниками Научно-исследовательского радиофизического института (г. Нижний Новгород) А.В. Троицким и К.П. Гайковичем. К 1989 году были решены основные вопросы методики измерений, созданы действующие макеты спектро радиометров, по своим характеристикам не имевших в то время равных в мире.

В 1989-1991 г.г. на полевой экспериментальной базе ЦАО (г. Рыльск Курской области) были осуществлены запуски высотных аэростатов (с высотой подъёма до 45 км), на борту которых находились СВЧ спектро радиометры. Всего было произведено семь запусков аэростатов. Впервые с борта высотного аэростата дистанционным методом были получены профили температуры стратосферы и

профили концентрации озона, на основе собранных экспериментальных данных отработана методика измерений, созданы алгоритмы и программы для решения обратной задачи и обработки данных. Совместно со специалистами НПО «Эталон» (г. Иркутск) были созданы экспериментальные установки (спектрометрическая и дисперсионная) для измерения коэффициента поглощения молекулярного кислорода в широком диапазоне давлений и температур. Полученные на этих установках результаты позволили выбрать оптимальную модель расчета коэффициента поглощения молекулярного кислорода, которая впоследствии успешно использовалась при восстановлении профилей температуры атмосферы.



Результаты аэростатных экспериментов ЦАО вошли в перечень важнейших научных достижений Академии наук СССР за 1989 и 1990 г.г. На основе этих разработок были начаты работы по созданию полётных образцов приборов для спутников типа «Метеор», но в середине 1990-х годов они были остановлены из-за резкого снижения финансирования



МТП-5 мобильный вариант.



МТП-5 во время солнечного затмения (а - на высокогорной станции Шатжатмас в Приэльбрусье на высоте 2100 м, б- микроволновый профилемер во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года).

космических программ. Тем не менее, разработанные методы и технологии были впоследствии использованы для создания новых наземных приборов. Так, например, был создан дистанционный измеритель профилей температуры пограничного слоя атмосферы. В 1992 г. с целью объединения усилий специалистов, занимающихся радиометрическими измерениями параметров атмосферы, в ЦАО по инициативе А.А. Черникова была образована новая лаборатория – сначала внутри Отдела аэрологии, а впоследствии выделенная в самостоятельное подразделение ЦАО – Лаборатория дистанционного зондирования (ЛДЗ). В 1992 – 2010 г.г. в ЛДЗ ЦАО был разработан целый ряд новых приборов, не имевших аналогов в мире, в частности микроволновый температурный профилемер МТП-5, прибор для прогноза обледенения самолётов ДОС; система для прогноза возникновения и диссипации туманов на автомагистралях, автоматизированная система для контроля состояния дорожных покрытий ДИСКО, радиолокационный измеритель осадков АБО «Капля» и многие другие. Основой температурных профилемеров МТП-5 были разработанные специалистами ЛДЗ ЦАО совместно с рядом специалистов других организаций уникальные высокочувствительные радиометры диапазона 60 ГГц.

Впервые в мировой практике аэрологического зондирования на основе разработанной концепции построения и применения микроволновой радиометрии для термического зондирования атмосферного пограничного слоя (АПС) был теоретически обоснован и реализован дистанционный автоматизированный радиотеплолокационный комплекс, основанный на приеме сканирующим радиометром собственного теплового излучения атмосферы в центре полосы поглощения молекулярного кислорода 60 ГГц, обеспечивающий получение практически непрерывной круглосуточной информации о профилях температуры в АПС, по точности и достоверности не уступающий стандартному радиозондированию атмосферы и контактными датчиками, установленным на высотных метеорологических мачтах и привязных аэростатах (Е.Н. Кадыгров, А.Н. Шапошников, М.Г. Сорокин, С.А. Вязанкин, Е.А. Миллер).

Специалистами ЛДЗ ЦАО были впервые проведены комплексные сравнения данных дистанционных автономно работающих в автоматическом режиме микроволновых профилемеров для измерения профилей температуры в АПС с данными радиозондов, привязных аэростатов, датчиков на высотных метеорологических мачтах, аэрозольными лидарами и системами радиоакустического зондирования (RASS), показавшие, что микроволновые профилемеры по точности не уступают традиционным методам, но обладают непрерывностью, мобильностью и всепогодностью.

Прибор МТП-5 был сертифицирован Госстандартом РФ в качестве дистанционного измерителя профилей температуры атмосферы, сертифицирован Государственным агентством по техническому регулированию и метрологии, внесен в Государственный реестр средств измерений, получил свидетельство Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и рекомендован ЦКПМ



МТП-5 в аридном регионе. (Черные Земли Калмыкии, совместная научная экспедиция ИФА РАН и ЦАО).



МТП-5 на исследовательском катере. (Голубая бухта, г. Геленджик Краснодарского края, 2006 г., совместная экспедиция ИФА РАН и ЦАО).



МТП-5 внутри каньона Гуамского хребта (сентябрь 2009) во время экспедиции по исследованию особенностей термического режима пограничного слоя атмосферы (ЛДЗ ЦАО, Кадыгров Е.Н., Шапошников А.Н.)

Росгидромета для использования на наблюдательной сети. Данные приборов МТП-5, установленных на постоянной основе в рамках модернизации наблюдательной сети Росгидромета в г. Москва (4 профилемера), в городах Долгопрудном и Звенигороде Московской области, в таких городах, как Санкт-Петербург, Оренбург, Красноярск, Нижний Новгород, Арзамас, Казань, Самара, Челябинск, Ростов-на-Дону, Хабаровск, Астрахань, Норильск, Уфа, Новосибирск используются в оперативной практике для составления краткосрочных прогнозов погоды и прогнозов распространения загрязнений. Приборы МТП-5 используются также для оценки и прогнозирования возникновения опасных экологических ситуаций на нефтеперерабатывающих предприятиях Газпрома в городах Астрахань и Салават-Юлаев, а также были использованы для оценки экологической ситуации на одном из крупнейших алмазодобывающих карьеров России – Удачный (Якутия). Было разработано несколько модификаций микроволновых температурных профилемеров МТП-5: стационарный, мобильный, полярный, морской, для работы в жаркой сильнозапыленной местности.

Во время полных солнечных затмений в 2006 - 2008 г.г. сотрудниками ЛДЗ ЦАО под руководством Е.Н. Кадыгрова были впервые в мире получены и детально проанализированы непрерывные синхронные данные о термическом режиме в АПС на разных высотах атмосферного пограничного слоя до, во время и после полной фазы затмения путем двухточечных синхронных измерений микроволновыми температурными профилемерами, разработанными в ЦАО, показавшие различную динамику изменений температуры атмосферы для мест наблюдений с различной орографией. Созданные специальные версии микроволновых температурных профилемеров позволили получить новые экспериментальные данные об особенностях термического режима АПС в аридном регионе в жаркий период времени, в горной местности (ущелья, долины, возвышенности), над морской поверхностью вблизи береговой зоны во время экстремально сильных ветров, что используется при моделировании различных процессов в неоднородном АПС.

В рамках международного проекта GURME (Global Urban Research Meteorology and Environment Project) Всемирной метеорологической организации (ВМО) сотрудники ЛДЗ ЦАО с помощью разработанных ими приборов, при участии специалистов ГМЦ РФ и Правительства Москвы, провели в 2003 – 2010 г.г. исследование вертикальной структуры так называемого «острова тепла», возникающего из-за воздействия на пограничный слой атмосферы урбанизированной среды такого огромного города, как Москва.

В 2004 г. с помощью специально разработанного мобильного профилемера ММТП по заказу Правительства Нижнего Новгорода специалистами ЛДЗ ЦАО были проведены исследования термического режима пограничного слоя атмосферы над Нижним Новгородом и его окрестностями.

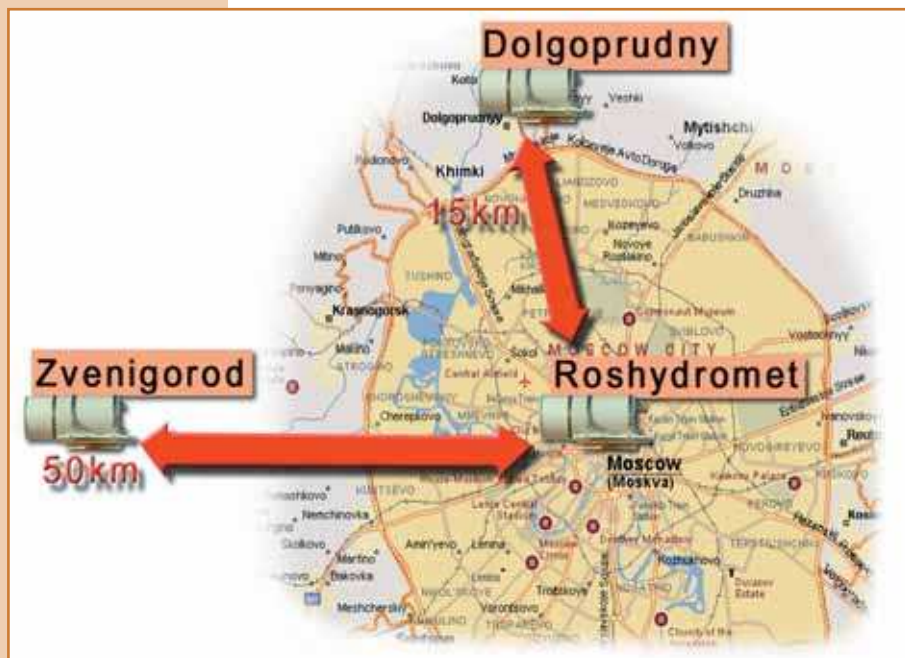
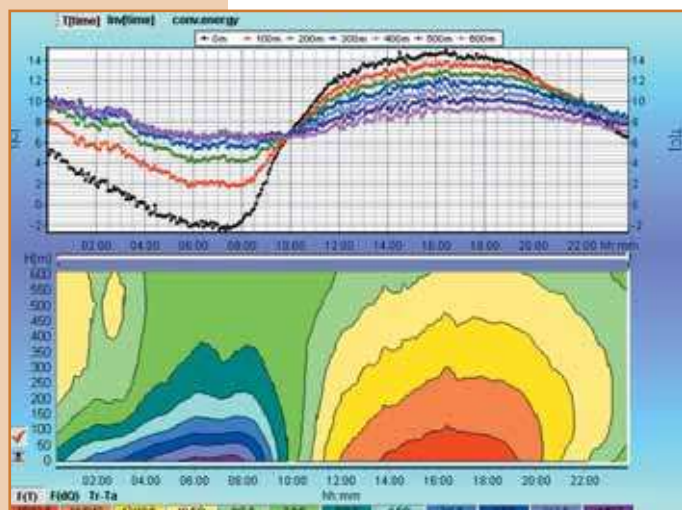
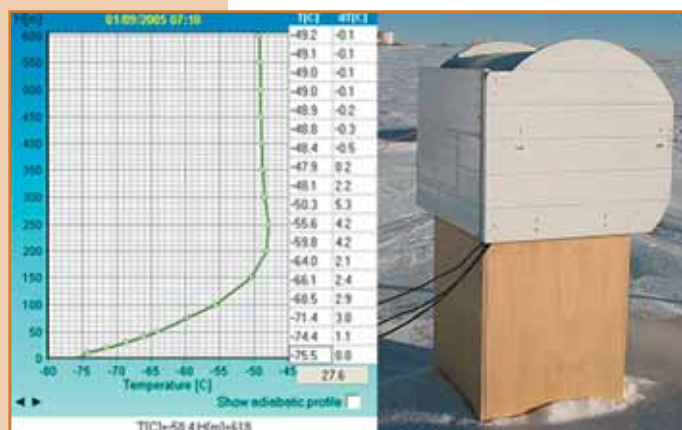


Схема расположения микроволновых температурных профилеров по проекту GURME в московском регионе.



Типичный суточный ход температуры в ПСА по данным микроволнового профилера.



Полярная версия микроволнового температурного профилера МТП-5П на Антарктическом плато и типичный измеренный профиль температуры (станция Конкордия. Высота 3 233 м над уровнем моря).

В 2005–2006 г.г. в рамках договора по исследованию термодинамических характеристик атмосферы в районе атомной станции в районе п. Удомля с помощью мобильного измерительного комплекса был проведен цикл измерений профилей температуры атмосферного пограничного слоя и общего содержания водяного пара в столбе атмосферы.

Совместно со специалистами ГМЦ РФ в 2010 г. были разработаны и утверждены на ЦМКП Росгидромета Методические рекомендации по использованию данных микроволновых профилеров в оперативной практике сетевых подразделений Росгидромета, что дает новые возможности в совершенствовании локального прогноза погоды и прогноза неблагоприятных метеорологических условий.

С помощью имевшейся в лаборатории уникальной лазерной аппаратуры ПМС для измерения характеристик находящихся в атмосфере аэрозольных частиц специалисты ЛДЗ ЦАО провели в 2003 – 2004 г.г. специальные измерения по заказам испытательного авиационного центра России (ЦИАМ им. П.И. Баранова), а также одного из основных разработчиков вертолетной техники в России (ОАО «Камов») в рамках испытаний нового вертолета КА-226. Специалисты ЛДЗ ЦАО принимали участие в проведении крупных международных проектов и экспедиций: BASE (Beaufort and Arctic Storms Experiment, 1994, Канада), CFDE – III (Canadian Freezing Drizzle Experiment III, 1997 – 1998, Канада), MAP (Mesoscale Alpine Program, 1999, Швейцария), ARM (Atmospheric Radiation Measurement Program, 1996–1997, США); AIRS (Alliance Icing Research Study, 1999 – 2000, Канада), ZCAREX (Zvenigorod Cloud-Aerosol-Radiation Experiment, 1999 – 2001), ARM (Atmospheric Radiation Measurement Program, 2001 – 2004, Россия – США), GURME (2001 – 2009, Россия – Швейцария); в каждый зимний сезон с 1995 по 2001 г.г. участвовали в экспериментах по исследованию процессов возникновения и диссипации туманов на севере Италии.

Специалистами Лаборатории опубликованы десятки научных статей в ведущих геофизических журналах мира: Journal of Atmospheric and Oceanic Technology (США), Meteorological Applications (Великобритания), Journal of Applied Physics (Япония), Radio Science (США), Bulletin of American Meteorological Society (США), IEEE of Geoscience and Remote Sensing (США), Theoretical and Applied Climatology (США), Доклады Академии наук (Россия); Известия РАН, Физика атмосферы и океана (Россия), Метеорология и гидрология (Россия), Оптика атмосферы и океана (Россия), а также сделано более 100 научных докладов на

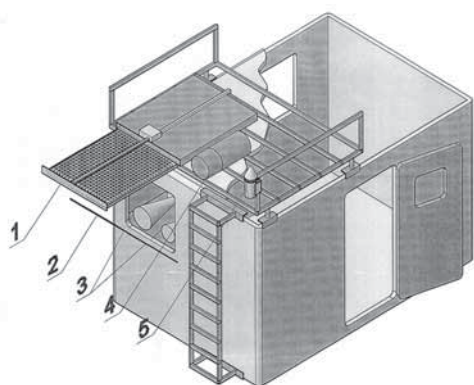
крупных международных научных конференциях (в США, Японии, Канаде, Китае, Франции, Италии, Нидерландах, Великобритании, Австралии, Австрии, Швейцарии, Германии, России).

О высоком уровне разработанных в лаборатории в 1992 – 2010 г.г. приборов говорит тот факт, что они с успехом используются в таких странах, как США (как в NOAA и NASA, так и на нефтяных платформах у берегов Аляски), Япония, Нидерланды, Франция, Италия (сеть мониторинга температурных инверсий на базе микроволновых профиломеров), Испания, Швейцария, Норвегия, Китай, Тайвань (сеть мониторинга температурных инверсий на базе микроволновых профиломеров), экспонировались в павильоне Российской Федерации на международной выставке «ЭКСПО-2000» (Ганновер, Германия), а также на многих Всероссийских и международных специализированных выставках, а именно:

- Экология России (1994, Манеж, Москва);
- Meteorex – 94 (Швейцария);
- Meteorexpo – 97 (Санкт-Петербург);
- Road & Service – 98 (Италия);
- Road & Service – 00 (Италия);
- Meteorex – 02 (Братислава, Словакия);
- Великие Реки – 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 (Нижний Новгород);
- Россия Единая – 03 (Нижний Новгород);
- «75 лет Московской области» («Крокус Экспо», 2004, Москва)
- ТЕСО – 2005, Бухарест, Румыния;
- ТЕСО – 2008, г. Санкт-Петербург;
- ТЕСО – 2009, г. Дубровник, Хорватия;
- МЕТЕО ЭКСПО – 2009, г. Санкт-Петербург;
- Международная выставка «Сочи на старте», Москва, ВЦ «Крокус Экспо», 2009.
- Безопасность-2010, Москва.

Лаборатория успешно выполняла научно-исследовательские работы, порученные ей Росгидрометом. Так, за период существования лаборатории (1992 – 2011 г.г.) было успешно выполнено 19 НИОКР Росгидромета – как по разработке новых методов и приборов, так и по проведению измерений и разработке методик. Сотрудники лаборатории дважды награждались именными ведомственными премиями и дипломами Росгидромета за лучшие научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (в 2000 г. и 2002 г.), успешно выполнены работы по заданию Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (2001 – 2010 г.г.): проекты; 01-05-64138 а; 05-05-65288 а; 06-05-74608 з; 06-05-79001 к; 07-05-00521 а; 07-05-10003 к; 08-05-00213 а; 09-05-080763 з; 09-05-10003 к.

Разработанная в ЛДЗ ЦАО полярная версия температурного профиломера более года в непрерывном режиме успешно отработала в 2004-2005 г.г. на франко-итальянской антарктической станции «Конкордия», где температура воздуха опускалась ниже минус 78⁰С.



1 - полуавтоматическая микроволновая мишень для калибровок, 2 - контррефлектор, 3 - радиометры каналов водяного пара и водозапаса облаков, 4 - температурные профиломеры, 5 - измеритель интенсивности жидких осадков.

Эскиз опытного образца измерительного комплекса для измерений профилей температуры тропосферы и общего содержания водяного пара в столбе атмосферы.

В рамках Федеральной целевой программы «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008 – 2015 годы» сотрудниками лаборатории в 2008 -2009 г.г. был успешно выполнен Государственный контракт (№ 24/ГФ/Н-08 от 30.09.2008 г.) «Проведение исследований по созданию измерительного комплекса для мониторинга термического режима атмосферы и общего содержания водяного пара на базе использования современных СВЧ радиометров». В ходе выполнения этой работы в соответствии с ТЗ был разработан и изготовлен экспериментальный образец СВЧ измерительного комплекса, обеспечивающий непрерывные измерения профилей температуры атмосферы в диапазоне высот 0 – 10 км, общего содержания водяного пара, интенсивности жидких осадков и водозапаса облаков. По своим техническим характеристикам созданный измерительный комплекс не уступает лучшим зарубежным аналогам. Начиная с 2011

года в лаборатории в рамках ФЦП ведётся ОКР по созданию опытных образцов СВЧ измерительного комплекса. Планируется установка пяти таких комплексов на сети геофизического мониторинга РФ в 2013-2015 г.г.

В настоящее время в ЛДЗ ЦАО продолжаются работы по созданию новых радиометрических приборов и внедрению уже созданных, коллектив лаборатории обладает высоким кадровым потенциалом - два доктора физико-математических наук, один доктор технических наук, ряд высококвалифицированных радиоинженеров и программистов.

Remote sounding

Investigations of atmospheric parameters using microwave radiometer began both in the former USSR and abroad in the early 1960 s.

In order to join the efforts of CAO specialists involved in radiometer measurements of atmospheric parameters, a new laboratory of remote sounding (LRS) was organized at CAO in 1992. In the period 1992 – 2010, the LRS developed quite a number of unique instruments such as Microwave Temperature Profiler MTP-5, Aircraft Icing Forecaster DOS, a system to forecast fog origination and dissipation at motor roads, an automated road surface monitor DISCO, radar rain sensor ABO “Kaplia”, etc. An automated remote radio thermal sounding system was created, enabling nearly continuous acquisition of surface layer temperature profiles, comparable in accuracy with conventional atmospheric sounding techniques and in situ sensors installed on weather towers and tethered balloons.

Data from MTP-5 set up on Roshydromet network to upgrade observational efficiency are used to produce short-term weather forecasts, pollution propagation forecasts and predict ecological disasters, e.g. at oil refining plants. Several MTP-5 versions have been realized - stationary and mobile, operable in polar, marine, and hot dusty conditions.

During the 2006-2008 full solar eclipses, for the first time in the world, microwave temperature profilers furnished continuous synchronous data on thermal regime at different levels in the atmospheric boundary layer, which were then thoroughly analyzed. Specialized versions of the instrument provided new experimental data on the features of the boundary layer thermal regime that are used in modeling diverse processes in an inhomogeneous boundary layer.

In 2003 – 2010, under the WMO International Project GURME (Global Urban Research Meteorology and Environment Project), LRS researchers, jointly with the Hydrometeorological Center and with support of Moscow Administration, took part in studying the vertical structure of the so-called “heat island” formed due to the influence of Moscow urban environment on the atmospheric boundary layer.

Specialists of the laboratory took part in numerous international projects and expeditions such as BASE (Canada, 1994), CFDE – III (Canada, 1997 – 1998), MAP (Switzerland, 1999), ARM (USA, 1996-1997), AIRS (Canada, 1999 – 2000), ZCAREX (Zvenigorod, 1999 – 2001), ARM (USA/Russia, 2001 – 2004), GURME (Switzerland/Russia, 2001 – 2009), and in 1995 - 2001 winter experimental studies of fog origination and dissipation in northern Italy.

The instruments developed in the laboratory are also known to be successfully employed abroad (USA, Japan, the Netherlands, France, Italy, Spain, Switzerland, Norway, China, and Taiwan). In 2004-2005, a polar temperature profiler version reliably operated at the France/Italy antarctic station “Concordia” where air temperature would at times fall below -78°C.

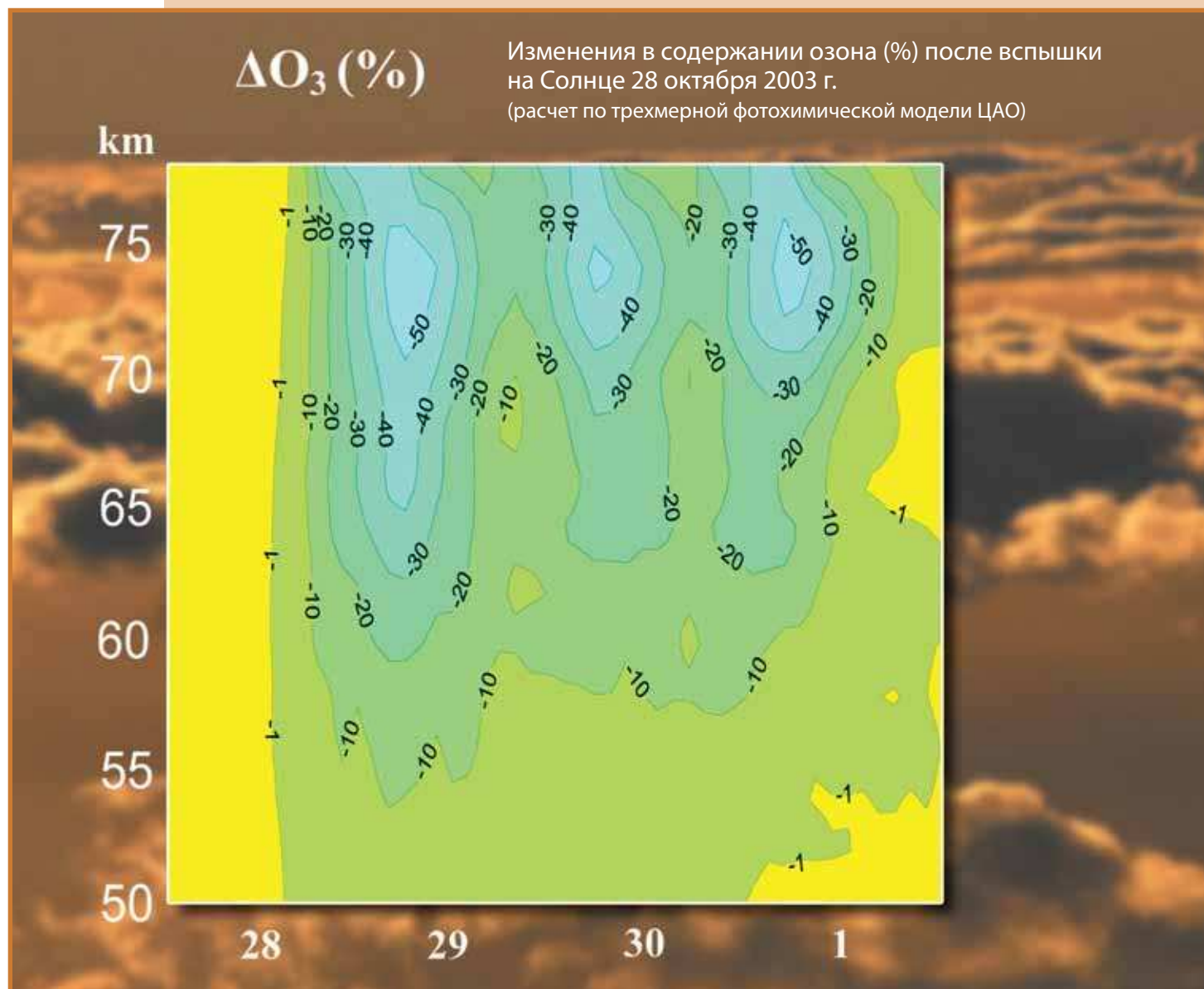
The instruments created at the LRS were more than once presented at all-Russia and international exhibitions such as “Russian Ecology” (Moscow, 1994), Meteorex – 94 (Switzerland), Meteoexpo – 97 and Meteoexpo – 2009 (St. Petersburg), Meteorex – 2000 (Italy) and Meteorex – 2002 (Slovakia), TECO -2005 (Romania), TECO-2008 (St. Petersburg), and TECO – 2009 (Croatia), etc.

Within the framework of the Federal Program for 2008 -2015 aimed at the development of a system of monitoring of the geophysical situation over the territory of the Russian Federation, a pilot microwave measurement system comparable in its technical characteristics with the best models abroad has been developed and manufactured. It is planned to install 5 such systems on the geophysical monitoring network of the Russian Federation.

At present, the laboratory continues its work in creating new radiometers and putting to practice those already realized.



70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СОСТАВА И ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ
3-DIMENSIONAL NUMERICAL MODELING OF ATMOSPHERIC
COMPOSITION AND DYNAMICS

ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА И ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ

3-DIMENSIONAL NUMERICAL MODELING OF ATMOSPHERIC COMPOSITION AND DYNAMICS

В 1999 году, по инициативе директора А.А. Черникова, в ЦАО была создана Лаборатория химии и динамики атмосферы (ЛХДА) для разработки и эксплуатации глобальных численных моделей в целях решения задач, стоящих перед Росгидрометом. В настоящее время ЛХДА располагает моделью общей циркуляции (различные версии), которая позволяет реализовать численные сценарии (в диапазоне высот 0-135 км) воздействий, приводящих к изменениям полей ветра и температуры, например вызванных разрушением озона в полярных широтах, а также трехмерной глобальной фотохимической моделью для высот 0-90 км.

Следует отметить, что численные модели разной сложности становятся все более важным инструментом при решении задач мониторинга и прогноза состояния окружающей среды, включая исследования, связанные с долговременными изменениями. Прогнозирование состояния атмосферы возможно только на основе численного моделирования. Мы остановимся на кратком описании того потенциала, который накоплен в ЦАО в области создания и использования численных глобальных моделей, а также перспектив, которые этот потенциал позволяет реализовать в рамках современных мировых тенденций и задач Росгидромета в рамках «Основных направлений исследований» Целевой научно-технической программы (ЦНТП):

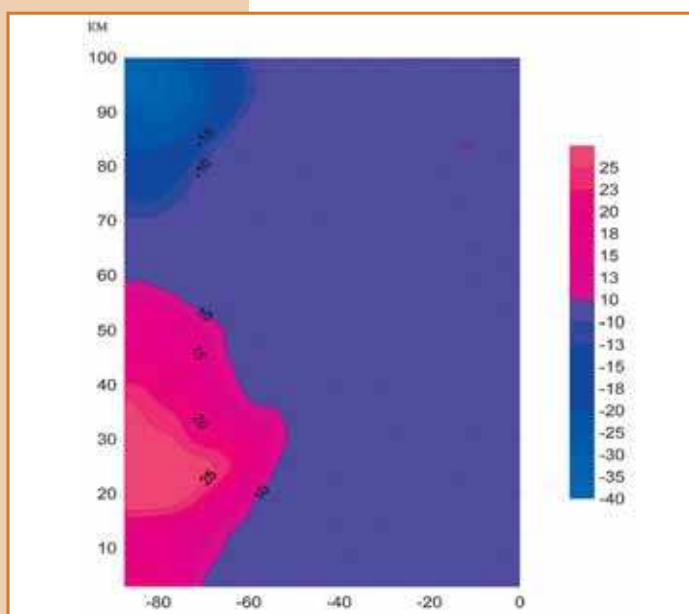
- Методы, модели и технологии гидрометеорологических и гелиофизических расчетов и прогнозов;
- Исследование климата, его изменений и их последствий.

Кратко остановимся на описании этих моделей.

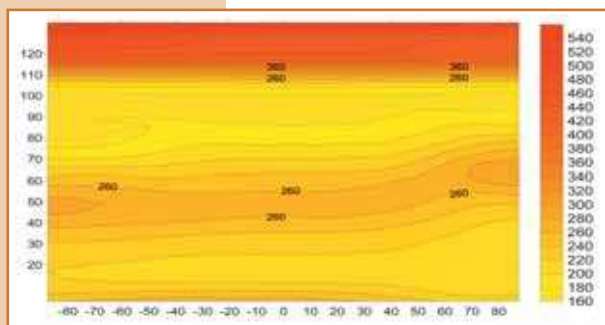
Модель общей циркуляции атмосферы (МОЦА)

МОЦА (CAO/COMMA) описывает термический режим и циркуляцию атмосферы, начиная от поверхности Земли до высоты 135 км. Ядро модели (COMMA-Cologne Middle Atmosphere Model) создано в Институте метеорологии г. Кельн, Германия. В настоящее время в ЛХДА ЦАО созданы новые версии более высокого пространственного разрешения и включающие более современные радиационные блоки. В создании новой версии МОЦА участвовали сотрудники ЛХДА ЦАО Г.А.Захаров, А.А. Кривоуцкий, А.А. Ключникова, А.И. Репнев, Л.А. Черепанова.

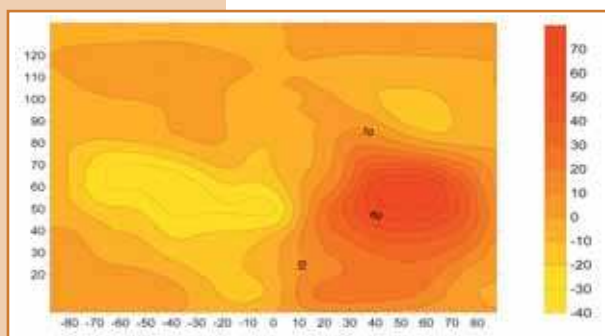
Радиационные блоки этой модели (нагрева солнечной радиацией и выхолаживания в пространство в инфракрасной области) учитывают перенос радиации в тропосфере в присутствии облачности и аэрозоля. Для высот выше 50 км учтено отклонение от локального термодинамического отклонения (ЛТЕ). Радиационные модули учитывают также поглощение и излучение радиационно-активными газами (O_3 , H_2O , CO_2 и др.), что позволяет исследовать последствия в изменении их содержания для глобальной



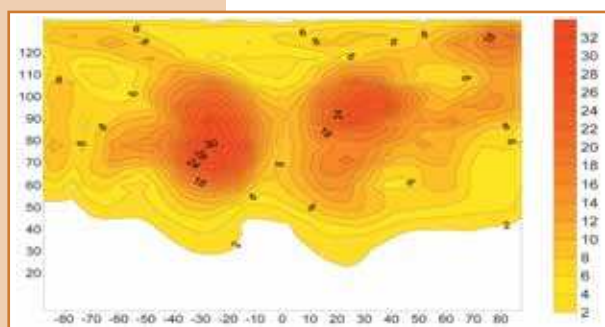
Стратосферное потепление и мезосферное похолодание (изменение в град. К по сравнению с невозмущенными условиями) в высоких широтах южного полушария, вызванное усилением интенсивности планетарной волны в тропосфере. (Сценарий реализован с помощью модели общей циркуляции).



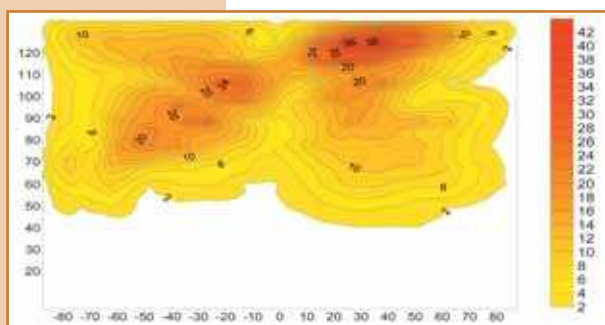
Глобальная структура температуры атмосферы (расчет по модели общей циркуляции CAO/COMMA).



Глобальная структура зонального ветра (расчет по модели общей циркуляции CAO/COMMA).



Глобальная структура амплитуды (м/с) суточного прилива в зональном ветре (расчет по модели общей циркуляции CAO/COMMA).



Глобальная структура амплитуды (м/с) суточного прилива в зональном ветре (расчет по модели общей циркуляции CAO/COMMA).

климатической системы в присутствии облаков и аэрозольных частиц. Тестирование данной (новой) версии модели, в которой реализована более детальная пространственная сетка, а также задано глобальное распределение температуры поверхности Земли, показало, что модель хорошо воспроизводит глобальные поля ветра и температуры, их суточный (приливы) и сезонный ход. В частности воспроизводится холодная летняя полярная мезопауза на высотах образования серебристых облаков.

Модель общей циркуляции использовалась при реализации численных сценариев воздействия солнечной активности на температурный режим и циркуляции, диагнозу глобальных трендов, обусловленных наблюдаемым в конце XX века разрушением озонового слоя, роли гравитационных волн в передаче возмущений из тропосферы в более высокие слои (включая нижнюю термосферу), условиям возникновения стратосферных потеплений вследствие роста амплитуды стационарных волн в тропосфере южного полушария. Рассчитанные глобальные поля компонент ветра и температуры использовались также в трехмерной фотохимической модели для описания переноса химически активной примеси.

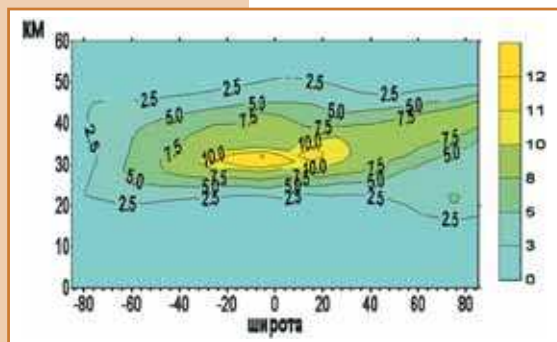
С помощью модели общей циркуляции удалось воспроизвести стратосферное потепление, зафиксированное по наблюдениям в 2002 году в высоких широтах южного полушария. Для реализации численного сценария на нижней границе модели было задано увеличение амплитуды стационарной волны с волновым числом $S=1$.

На приведенном рисунке представлен соответствующее увеличение температуры в стратосфере (порядка $30\text{ }^{\circ}\text{K}$), полученное при реализации данного сценария (Krivolutsky, Klyuchnikova, Ebel, 2004), а также сопровождающее его мезосферное похолодание (впервые обнаруженное по данным ракетного зондирования). В расчетах также было получено сильное торможение зонального ветра в средних и высоких широтах южного полушария (не представлено на рисунках), наблюдаемое, как известно, при сильных (мажорных) стратосферных потеплениях.

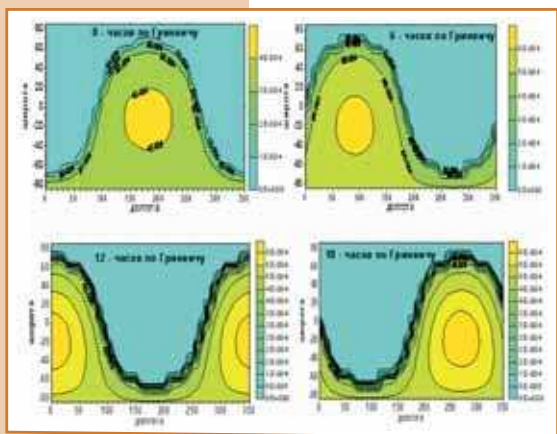
Была проведена верификация новой версии модели, которая показала хорошее соответствие расчетов по модели с Международной справочной эмпирической моделью (COSPAR International Reference Atmosphere - CIRA'86, Part I). На приведенных рисунках представлены рассчитанные по новой версии МОЦА глобальные поля температуры (зональное осреднение), зонального ветра (зональное осреднение), а также пространственная структура амплитуды суточного и полусуточного прилива в зональном ветре. Таким образом, данная (новая) версия МОЦА, созданная в ЛХДА ЦАО, хорошо воспроизводит основные черты динамики средней атмосферы и нижней термосферы. Модель, как уже было сказано выше, использовалась при реализации различных сценариев воздействия на термодинамический режим атмосферы, в частности была исследована реакция полярной атмосферы на сильное уменьшение озона, вызванное протонной вспышкой на Солнце (см. ниже). При этом был получен новый результат – увеличение температуры выше 80 км в период вспышки (А. Krivolutsky, А. Klyuchnikova, G. Zakharov, T. Vyushkova, A. Kuminov, Advances in Space Research, 2006). Анализ данных наблюдений со спутника UARS

для этого периода подтвердил этот эффект, который обусловлен, как показал анализ, сложным нелинейным взаимодействием внутренних гравитационных волн (ВГВ), распространяющихся из тропосферы, со средним состоянием, что в результате приводит к ослаблению воздействия ВГВ и относительному увеличению температуры в верхней мезосфере.

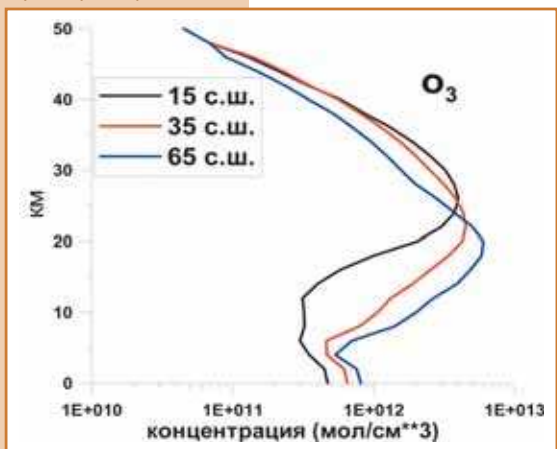
Новая версия МОЦА описана в Научно-техническом отчете ЦАО (А.А. Криволицкий, Г.Р. Захаров, А.И. Репнев, Л.А. Черепанова, НТ Отчет ЦАО, 2010).



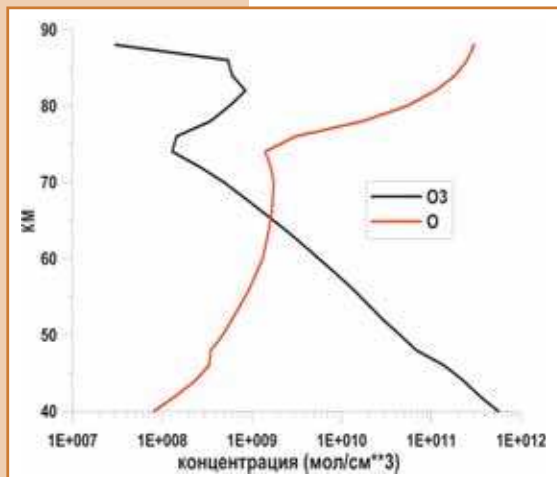
Отношение смеси озона (апрель, расчет по трехмерной фотохимической модели CAO).



Скорость фотодиссоциации озона в (апрель) средних широтах на различных долготах (расчет по трехмерной фотохимической модели CAO).



Концентрация озона в марте на различных широтах (расчет по трехмерной фотохимической модели CAO).

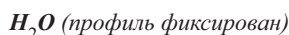
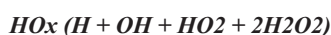
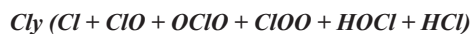
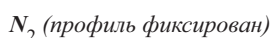
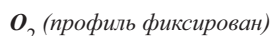


Концентрация озона и атомарного кислорода в марте в средних широтах в стратосфере и мезосфере (расчет по трехмерной фотохимической модели CAO).

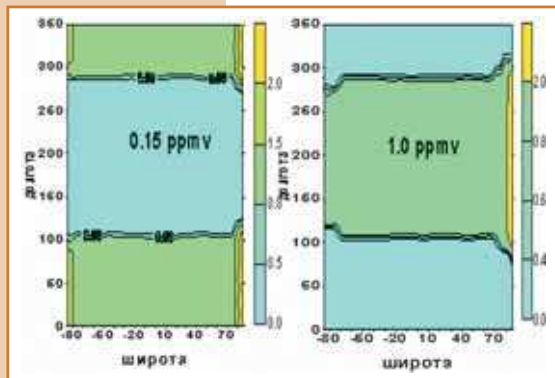
Трехмерная фотохимическая модель ЦАО

Модель была создана в рамках плановой тематики Росгидромета. Модель описывает взаимодействие 35 малых газовых составляющих, участвующих в 100 химических реакциях и реакциях фотодиссоциации в диапазоне высот 0-90 км. Необходимые для описания пространственные поля компонент ветра, а также температуры, предварительно рассчитываются по МОЦА.

Модель является результатом численного решения системы уравнений баланса каждой малой газовой составляющей с учетом их трехмерного пространственного переноса. При интегрировании данной системы уравнений, которая относится к так называемым «жестким системам», используется метод «химических семейств», предложенный в работе [Turco and Whitten, 1974]. «Жесткость» систем уравнений проявляется в данном случае в большом диапазоне значений характерных «времен жизни» химических компонент (от долей секунды до сотен лет), что потребовало бы очень малых временных шагов интегрирования. Метод «семейств» позволяет в значительной степени снять «жесткость» системы и значительно увеличить временной шаг. Фотохимический блок модели описывает взаимодействие между химическими составляющими, участвующими в 120 фотохимических реакциях. В модели рассчитываются следующие химические компоненты (включая «семейства» Ox , NOy , Cl_y , HOx):



В расчетах использованы сечения поглощения, квантовые выходы и потоки солнечной радиации приведенные в работе /Sander et al., 2003/. Шаги интегрирования по времени менялись от 100 до 500 с. Использовался метод расщепления по физическим процессам (рассматривается два процесса: фотохимия и перенос в пространстве). Для описания адвективного переноса используется схема Пратера /Prather, 1986/. При этом концентрации химических компонент на нижней границе модели фиксировались для долгоживущих компонент на верхней границе модели. Концентрации на нижней границе фиксировались, а концентрации короткоживущих компонент на верхней границе определялись из условия фотохимического равновесия. Уравнения модели решались для диапазона высот 0-90 км. При описании химии тропосферы были учтены процессы «вымывания» в облаках для



Суточный ход отношения смеси озона в марте на разных широтах на высоте 70 км (расчет по трехмерной фотохимической модели ЦАО).

некоторых компонент. Разрешение модели по вертикали составляет 2 км, по горизонтальным - 10^0 .

Скорости фотодиссоциации рассчитывались следующим образом,

$$J_i(z) = \int \Phi_i(\lambda) I(\lambda, z) \sigma_i(\lambda, T) d\lambda$$

где

- $\Phi_i(\lambda)$ – квантовый выход,
- $\sigma_i(\lambda, T)$ – сечения поглощения,
- $I(\lambda, z)$ – интенсивность потока солнечной радиации на уровне z ,

которая в свою очередь может быть записана в виде:

$$I(\lambda, z) = I_{\infty}(\lambda) \exp \left(- \sum_j \int \sum n_j(z) \sigma_j(\lambda, T) \sec \theta dz \right)$$

где

- $I_{\infty}(\lambda)$ – интенсивность потока солнечной радиации на границе атмосферы,
- θ – зенитный угол Солнца.

Скорости фотодиссоциации пересчитываются через каждый час модельного времени. Учитываются суточные и сезонные изменения зенитного угла Солнца для данной широты и его зависимость от высоты над поверхностью Земли. При «низком» Солнце ($\theta > 75^0$) вместо $\sec \theta$ в используются функции Чепмена.

Базовая версия модели описана в Научно-техническом отчете ЦАО (Криволуцкий, Вьюшкова, Захаров, Ключникова, Банин, НТ Отчет ЦАО, 2002).

Была проведена верификация трехмерной глобальной фотохимической с Международной справочной эмпирической моделью (COSPAR International Reference Atmosphere - CIRA'86, Part II), а также с результатами, получаемыми по другим (зарубежным) трехмерным моделям. Следует отметить, что данная модель была включена в международное сравнение всех трехмерных фотохимических моделей средней атмосферы. Сравнение проходило в рамках проекта NEPPA для периода вспышки на Солнце в октябре 2003 года. Для этого же периода имелись данные наблюдений прибора MIPAS, установленного на европейском спутнике ENVISAT. Прибор впервые измерил достаточно полный химический состав атмосферы в период протонного события. Модель ЦАО попала в список моделей, показавших хорошее соответствие результатов моделирования с данными наблюдений. Результаты сравнения опубликованы, среди авторов сотрудники ЦАО А.А. Криволуцкий и Т.Ю. Вьюшкова (Atmospheric Chemistry and Physics, 2011).

Модель хорошо воспроизводит пространственные распределения озона и других МГС и их временные вариации. Результаты представлены на рисунках. В дальнейшем планируется поднять верхнюю границу модели до 135 км, а также провести объединение двух моделей, которые будут работать в интерактивном режиме. Планируется также расширить список химических реакций, добавив ионную химию и получив возможность моделировать изменчивость нижней ионосферы (область D), а также взаимодействие ионных и нейтральных компонент.

С помощью данной модели в последние годы был выполнен цикл работ, посвященных исследованию воздействия протонных вспышек на Солнце на озоносферу полярных широт. При этом в численные сценарии был заложен химический механизм образования дополнительных молекул окиси азота (NO) и радикала OH, разрушающих озон в каталитических химических циклах. Для реализации такого типа сценариев необходим расчет скорости ионизации полярной атмосферы солнечными частицами высоких энергий. Измерения потоков частиц ведут в течении нескольких десятилетий американские спутники серии GOES. Данные о потоках протонов в различных каналах энергий и были использованы для расчета скоростей ионизации. Для этого был разработан соответствующий блок и проведены тестовые расчеты. Таким образом, наличие фотохимической модели, блока расчета скоростей ионизации частицами высоких энергий, а также непрерывный мониторинг частиц, потоки которых в различных каналах энергий практически сразу доступны через сайт в Интернете, позволяють считать, что создана основа для мониторинга состояния озоносферы и прогноза ее изменений, обусловленных как солнечной активностью, так и процессами в тропосфере. Созданная технология

легко реализуется и в случае попаданию в атмосферу электронов высоких энергий (результаты измерений также доступны).

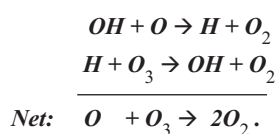
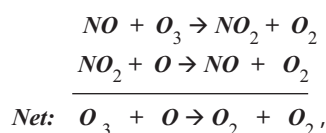
Работы в этом направлении поддержаны Российским Фондом Фундаментальных Исследований. Полученные результаты широко известны, как в России, так и за рубежом. Фотохимическое моделирование также позволило выявить новый эффект, модуляция глубины «озоновой дыры» при изменении атмосферного давления в этой области. Последнее, в свою очередь, является отражением глобальных процессов в земной атмосфере и может служить основой для прогноза антарктической аномалии озона, основанного на использовании фотохимического моделирования и данных наблюдений за состоянием (температура, давление) атмосферы в период антарктической зимы.

Результаты, основанные на фотохимическом моделировании были опубликованы в цикле статей (Krivolutsky, Vyushkova, Advances in Space Research, 2001, 2002, 2003).

Следует еще раз отметить, что представленные результаты моделирования находятся в хорошем соответствии как с расчетами по другим моделям, так и с данными наблюдений за атмосферным озоном.

Воздействие протонных вспышек на Солнце на озоносферу Земли

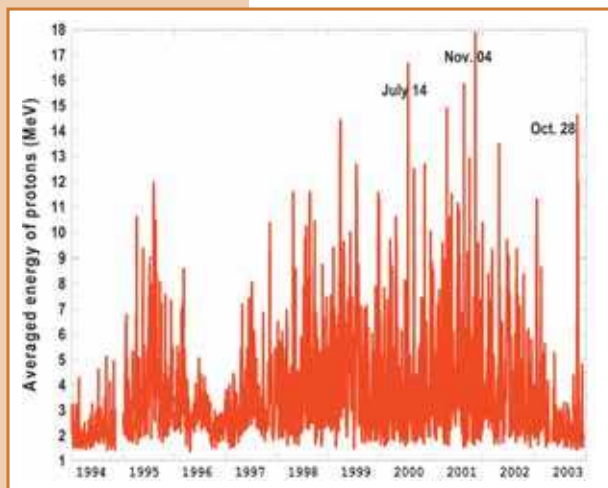
В ряде теоретических работ /Porter et al., 1976; Solomon and Crutzen, 1981/ была предсказана возможность образования в полярной атмосфере Земли дополнительного количества окислов азота и водорода солнечными космическими лучами в периоды протонных вспышек на Солнце. Далее эти дополнительные молекулы могут разрушать озон, интенсифицируя следующие каталитические химические циклы в атмосфере:



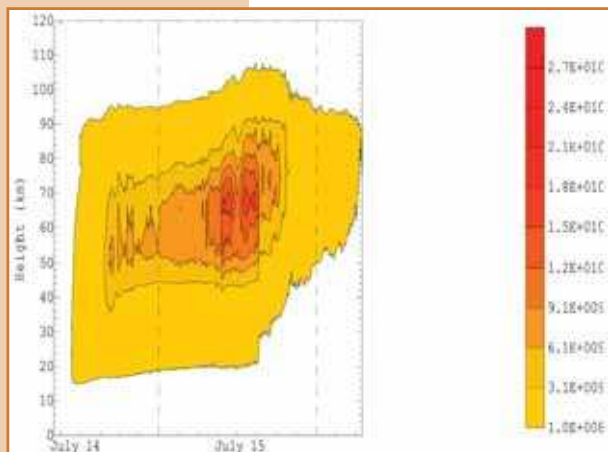
Непрерывные измерения со спутников GOES потоков энергичных частиц, идущих от Солнца в различных каналах энергий, позволяют вычислять скорость ионизации атмосферы и, соответственно, дополнительные источники окислов азота и водорода для их учета в фотохимической модели.

В ЛХДА за последнее десятилетие выполнен цикл работ по численному моделированию отклика озоносферы на такого рода внешнее воздействие. При этом важно, что изменения в содержании озона, вызванные вспышкой, должны приводить к изменениям температурного режима и циркуляции. Ниже приведены расчеты для протонной вспышки 14 июля 2000 года.

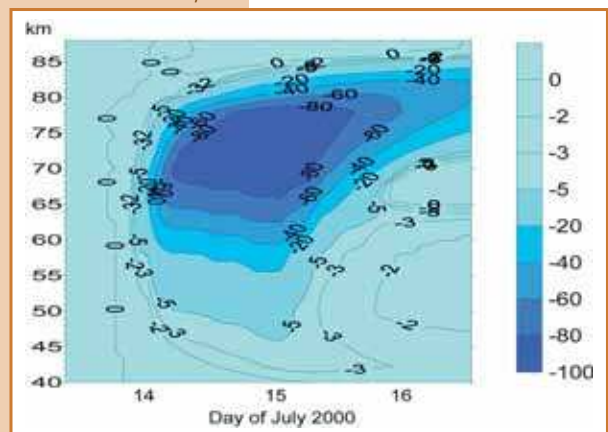
Обработка данных спутника UARS (прибор HALOE) позволила сопоставить результаты моделирования с данными наблюдений озона для периода вспышки.



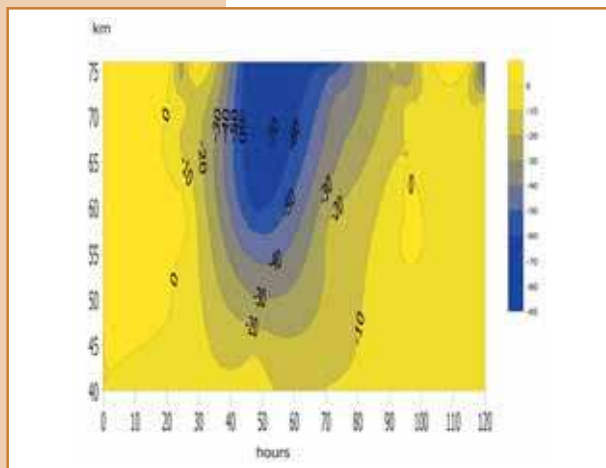
Средняя энергия солнечных протонов (5-100 МэВ) по данным измерений на спутниках GOES в 23-ем цикле активности Солнца.



Скорость ионизации (число пар ионов в м³ в сек) полярной атмосферы солнечными протонами в период вспышки на Солнце 14 июля 2000 г.



Изменения в содержании озона (%) после протонной вспышки на Солнце 14 июля 2000 г. (расчет по фотохимической модели CAO).



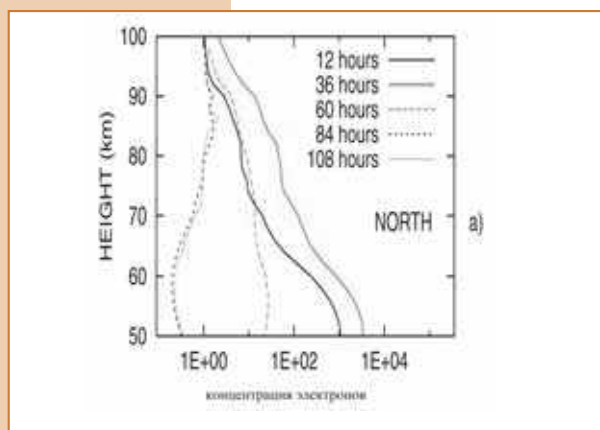
Изменения в содержании озона (%) после протонной вспышки на Солнце 14 июля 2000 г. по данным измерений со спутника UARS (прибор HALOE).

работ по моделированию изменений содержания ионов после протонных вспышек на Солнце. Расчеты показали, что в период вспышки электронная концентрация в *D* области (в том числе и в ночное время) возрастает на несколько порядков величины, достигая значений, характерных для слоя *F* ионосферы. В дальнейшем предполагается на базе этой модели создать трехмерный модуль для включения в фотохимическую модель. Таким образом, будет создана основа и для мониторинга состояния нижней ионосферы.

Перспективы использования численных моделей могут быть следующими:

Методы, модели и технологии гидрометеорологических и гелиофизических расчетов и прогнозов.

Мониторинг химического состава атмосферы (и нижней ионосферы) на основе использования численных моделей.



Изменения электронной концентрации в области *D* ионосферы в высоких широтах в период протонной вспышки на Солнце 14 июля 2000 г. в высоких широтах Северного полушария (расчет по фотохимической модели ионной химии).

На приведенном рисунке изображена эволюция протонной активности Солнца в 23-ем цикле его активности. Здесь высокие пики – моменты протонных вспышек. Вспышки 2000 года и 2003 года были обеспечены данными спутников UARS, MIPAS, а также некоторыми другими наблюдениями. На приведенных рисунках видно, что озон в мезосфере и верхней стратосфере практически полностью разрушен в период вспышки 14.07.2000 г. Следующий рисунок, основанный на обработке спутниковых данных, показывает хорошее соответствие модельных расчетов и данных спутниковых измерений.

Моделирование процессов в нижней ионосфере

Численная одномерная фотохимическая модель ионной химии области *D* ионосферы (50-100 км) разработана в Университете г. Братислава, Словакия. ЦАО располагает одной из версий этой модели. Совместно с коллегами из Словакии был выполнен цикл

Ввиду отсутствия в настоящее время отечественных спутниковых систем мониторинга состояния озоносферы (которая включает десятки газовых компонент, включая радиационно-активные газы), температуры и ветра в этой области, можно взять за основу созданные численные модели (фотохимическую и модель общей циркуляции), которые позволяют рассчитывать глобальные распределения нейтральных и заряженных (нижняя ионосфера) химических компонент, температуры и ветра от поверхности Земли до высоты 130 км при следующих входных параметрах: потоки солнечной электромагнитной и корпускулярной радиации (данные мониторинга со спутников доступны), данные о возмущениях в тропосфере волнового типа, проникающие в более высокие слои (могут быть использованы расчеты по прогностической модели Гидрометцентра РФ). В случае успешного функционирования прибора, установленного на спутнике «Метеор» для измерения потоков солнечных протонов, этими данными можно заменить (после специального сравнения) данные с американских спутников. Данные о потоках электронов

можно брать по измерениям с зарубежных спутников. Подготовку модуля, отвечающего за тропосферные воздействия (волнового типа) на озоносферу, нужно создать, однако этот вопрос достаточно хорошо проработан, как в теории, так и на примерах использования в некоторых зарубежных моделях. Воздействие из тропосферы важно и для мониторинга состояния нижней ионосферы.

Исследование климата, его изменений и их последствий. Исследование вклада облачного покрова, аэрозоля и растительного покрова в изменении климатических характеристик атмосферы.

Разработанная модифицированная версия МОЦ ЦАО (работы по модификации будут продолжены в части более детального описания процессов в тропосфере) уже сейчас дает уникальные возможности

для исследования и прогноза климатических изменений, происходящих в тропосфере, стратосфере и более высоких слоях. Реализация соответствующих сценариев, связанных с изменением облачного покрова (облака разных ярусов), содержания аэрозоля (с различными характеристиками), а также растительного покрова, позволят исследовать и оценить вклад этих факторов в наблюдаемые изменения климата, а также осуществлять прогнозирование для различных сценариев их изменений.

Работы, выполненные в Лаборатории химии и динамики атмосферы ЦАО и основанные на численном трехмерном моделировании глобальных фотохимических и термодинамических процессов, позволяющем исследовать поведение атмосферных параметров в условиях воздействия естественных и антропогенных факторов, были поддержаны Российским Фондом Фундаментальных Исследований (РФФИ) в виде ряда грантов, а также поддержаны контрактами в рамках ФЦП «Мировой океан» подпрограммы «Исследование и изучение Антарктики». Результаты опубликованы в виде статей в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах, а также представлены на многих симпозиумах и конференциях. В получении результатов, публикациях и статьях участвовали сотрудники лаборатории (М. В. Банин, Т.Ю. Вьюшкова, А.А. Криволицкий, А.В. Ключникова, А.А. Куколева, А.А. Куминов, И.Н. Мягкова, А.И. Репнев), сотрудники других российских институтов (проф. Г.А. Базилевская, –ФИАН; Н.К. Переясллова – ИПГ им. Федорова, М.Н. Назарова – ИПГ им. Федорова), а также многие зарубежные коллеги (A. Ebel, V. Fomichev, B. Funke, M. Prather, J. Lastovicka, A. Ondraskova и др.).

Многие результаты, полученные в ЛХДА ЦАО, а также ссылки на публикации сотрудников, приведены в монографии А.А. Криволицкого, А.И. Репнева «Воздействие космических факторов на озоносферу Земли», М.: ГЕОС, 384 с., 2009, издание которой было поддержано РФФИ в виде гранта и осуществлено издательством ГЕОС.

Представление результатов численного моделирования на отечественных и зарубежных симпозиумах и конференциях.

Основные результаты работы докладывались на Международных ассамблеях КОСПАР- COSPAR (32-я, 2000 г., Варшава, Польша; 33-я, 2002 г., Хьюстон, США; 34-я, 2004 г., Париж, Франция; 35-я, 2006 г., Пекин, Китай; 36-я, 2008 г., Монреаль, Канада; 37-я Бремен, Германия), на Ассамблеях Международного Союза Геодезии и Геофизики – IUGG (17-я, 1999, Бирмингем, Англия; 18-я, 2003, Саппоро, Япония; 19-я, 2007, Перуджия, Италия), на Ассамблеях международной ассоциации по метеорологии и атмосферным наукам- IAMAS (2003, Инсбрук, Австрия; 2009, Монреаль, Канада), на Ассамблее Международной ассоциации по геомагнетизму и аэрономии – IAGA (2005, Тулуза, Франция), на Международном симпозиуме, посвященном результатам выполнения программы CAWSES (2007, Киото, Япония), на Международных симпозиумах «Долговременные изменения и тренды в атмосфере» (Болгария; 2008, Санкт-Петербург, Россия), на Международных симпозиумах «Солнечные экстремальные события» (2004, Москва, Россия; 2005, Ереван, Армения), на конференции «Исследование состава атмосферы» (2007?, Москва, Россия), на Международных симпозиумах по солнечно-земной физике (2005, Иркутск, Россия; 2007, Звенигород, Россия), на конференции «50 лет исследований в Антарктике» (2005, Санкт-Петербург, Россия), на Международном симпозиуме «Проблемы геоэкологии» (2008, Бишкек, Киргизия), на 2-ом Международном симпозиуме «Частицы высоких энергий в атмосфере» - NEPPA (2008, Хельсинки, Финляндия), на Международном симпозиуме «Международный электронный геофизический год» (2009, Переславль-Залесский, Россия).

Проекты, поддержанные РФФИ, выполнение которых потребовало использования численного моделирования:

- **№ 97-05-64605** «Исследование вклада космических лучей в долговременные изменения озона»;
- **№ 03-05-64675** «Исследование изменений в озоносфере Земли после протонных вспышек на Солнце (численное трехмерное моделирование)»;
- **№ 06-05- 64436** «Долговременные изменения химического состава и циркуляции в атмосфере Земли, вызванные протонной активностью Солнца (численное моделирование)»;
- **№ 09-05-00949** «Исследование вклада потоков релятивистских электронов в изменение химического состава атмосферы в полярных широтах (численное моделирование).

Участие в международных проектах:

- Проект HEPPA (High Energetic Particle Precipitations in the Atmosphere);
- Проект ISST (International Space Science Institute) - "Study of cosmic ray influence upon atmospheric processes".

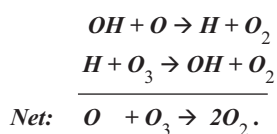
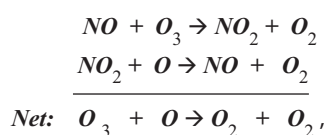
3-dimensional numerical modeling of atmospheric composition and dynamics

The laboratory was established in 1999 for the development and use of global numerical models to solve the problems set by Roshydromet. Now the laboratory employs a model of general atmospheric circulation (various versions) enabling realization of the numerical scenarios of interactions leading to changes in wind and temperature fields (in a 0-135 km range), which, e.g. are due to ozone destruction in polar latitudes, as well as a three-dimensional global photochemical model for a 0-90 km range.

The GCM (CAO/COMMA) describes atmospheric thermal regime and circulation up to 135 km. The model core (COMMA-Cologne Middle Atmosphere Model) was created at the Institute of Meteorology of Köln, Germany. By now, several new model versions with higher space resolution and more advanced radiation blocks have been constructed by LACD. The radiation blocks (solar heating and cooling through heat release back to space in the IR spectrum range) allow for radiation transfer in the troposphere in the presence of clouds and aerosol. For heights above 50 km, deviation from the local thermodynamic departure is allowed for. Also allowed for in the radiation blocks are radiation-active gases (O_3 , H_2O , CO_2 , etc.) absorption and radiation, which makes it possible to investigate the consequences of changes in the amount of these gases for the global climatic system in the presence of clouds and aerosol particles.

The model was developed under Roshydromet planned themes. It describes interactions of 35 minor gaseous constituents in 100 chemical reactions and photo-dissociation reactions in a 0-90 km height interval. The spatial fields of wind and temperature components required for this description are preliminarily MGAC-computed. The model efficiently reconstructs spatial distributions of ozone and other minor gases as well as their time variations. The results are presented in the figures below. It is further expected to raise the model's upper limit to 135 km and to integrate the two models for them to be run in an interactive regime. It is also planned to complement the list of chemical reactions with ionic chemistry and thus enable the modeling of the lower ionosphere (D-region) variability and interaction of ion and neutral components.

Some theoretical papers /Porter et al., 1976; Solomon and Crutzen, 1981/ predicted possible formation of additional nitrogen and hydrogen oxides in the polar atmosphere due to solar cosmic rays in periods of observed solar proton flares. The newly formed molecules can destroy ozone, leading to enhanced catalytic chemical cycles in the atmosphere:



Continuous GOES satellite-borne measurements of the solar fluxes of energetic particles in different energy channels enable computing atmospheric ionization rate and thus evaluating additional sources of nitrogen and hydrogen oxides to be allowed for in the photochemical model.

During the last decade, the laboratory fulfilled a work series on the numerical modeling of the ozonosphere response to such external influences. Importantly, changes in ozone content caused by solar flares will lead to changes in temperature regime and circulation. Below, computations for the 14 July 2000 proton flare are given.

A one-dimensional photochemical model of the ionosphere D-region (50-100 km) ion chemistry has been developed at Bratislava University, Slovakia. One version of this model is available to CAO. A work series on modeling changes in ion content following solar proton flares has been fulfilled by CAO jointly with specialists from Slovakia. The computations show that electron concentration in D-region in the period of a proton flare (including nighttime) becomes several orders of magnitude higher, reaching the values characteristic of the ionosphere *F*-layer. It is further expected to create, based on this model, a three-dimensional module to be included in the photochemical model. This will also form a basis for the lower ionosphere monitoring.

A modified version of CAO General Circulation Model is already furnishing unique possibilities to investigate and forecast climatic changes in the troposphere, stratosphere, and higher layers, further modification aiming at more detailed description of processes in the troposphere being underway. The realization of scenarios associated with changes in cloud cover (different cloud layers), amount of aerosols with different characteristics, and vegetation cover will make it possible to investigate and evaluate the contribution of these factors to climate changes observed as well as to forecast different scenarios of such changes.



70 лет
Центральной
Аэрологической
Обсерватории



АЭРОНАВТЫ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ
В ИСТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ
АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
AERONAUTS AND AERONAUTICS: CAO HISTORICAL
BACKGROUND

АЭРОНАВТЫ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ В ИСТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

AERONAUTS AND AERONAUTICS: CAO HISTORICAL BACKGROUND

С первых дней создания Обсерватории впервые, возможно и не только в истории нашей страны, начались планомерные и интенсивные научно-исследовательские полёты на свободных аэростатах и субстратостатах, а также регулярное зондирование атмосферы при подъёмах привязных аэростатов. В исследованиях участвовали О.Г. Кричак, С.С. Гайгеров, Н.З. Пинус, В.А. Белинский, П.Ф. Зайчиков, А.М. Боровиков, В.Д. Решетов и ряд других сотрудников Обсерватории. Воздухоплавательную часть возглавлял один из самых опытных специалистов страны - М.Н. Канищев. Полёты проводились выдающимися пилотами-воздухоплавателями Г.И. Голышевым, С.А. Зиновеевым, А.Ф. Крикуном, Б.А. Неверновым, Л.И. Ивановой, П.П. Полосухиным, А.А. Фоминым. Наблюдателями были В.И. Шляхов, В.К. Бабарыкин, В.И. Силаева, С.Н. Бурковская, В.Д. Литвинова, Г.Н. Шур, Ю.А. Серегин, С.М. Шметер, А.Ф. Кондратьева, М.И. Холина, А.А. Резчикова.



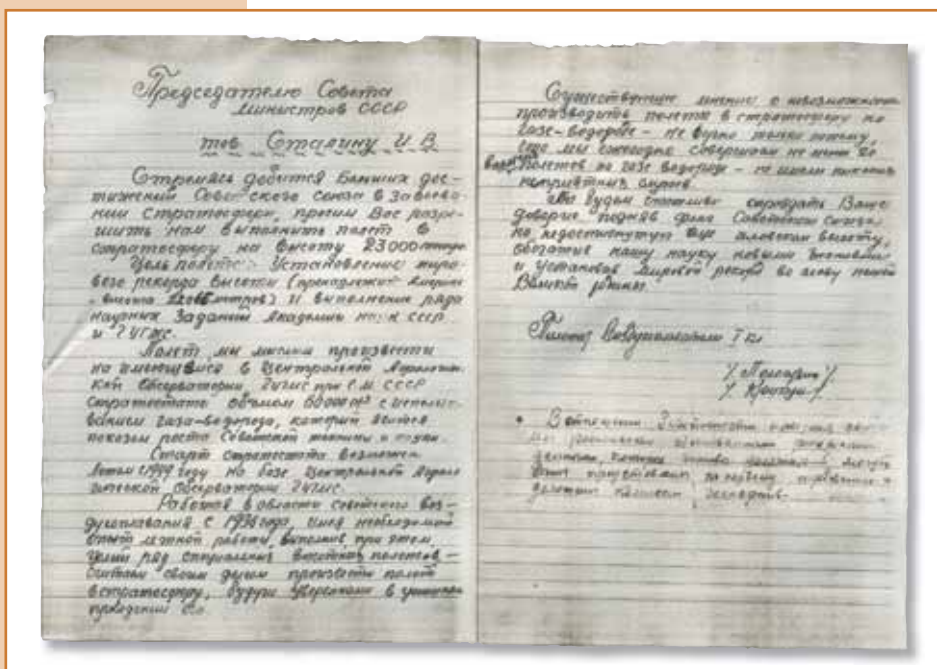
Крикун А.Ф., Голышев Г.И., Полосухин П.П., Зиновеев С.А.

Пилоты установили несколько мировых рекордов по продолжительности и высоте полёта на аэростатах. Некоторые из этих достижений оставались непревзойденными мировыми достижениями в течение почти 40 последующих лет. Рекордные полёты в открытой гондоле до нижней границы стратосферы осуществили пилоты-аэронавты Г.И. Голышев, А.Ф. Крикун, Б.А. Невернов, А.А.Фомин и П.П. Полосухин.

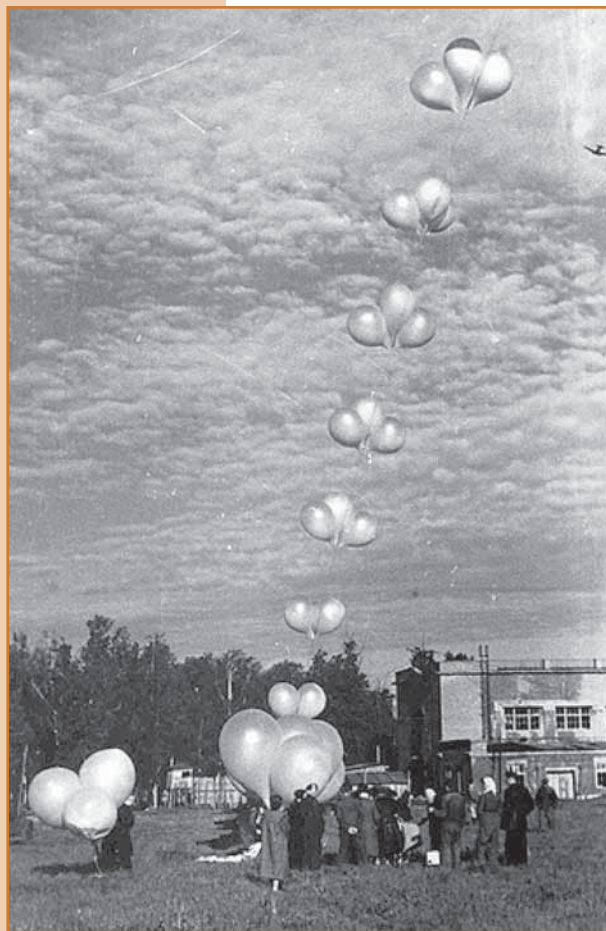
Нельзя не отметить выдающиеся результаты подъёмов в стратосферу в открытой гондоле, выполненные в разное время пилотами Г.И. Голышевым и А.А. Фоминым. Выполняя полёты по заданиям ЦАО и Академии наук, они достигли высот, соответственно,

11 300 м (7.01.1941 г.) и 12 138 (13.02.1941 г.). К сожалению, в связи с начавшейся войной, результаты не был зарегистрированы в качестве мирового рекорда. Всего, в довоенный период было проведено 136 научно-исследовательских полётов на свободных аэростатах, в том числе несколько групповых.

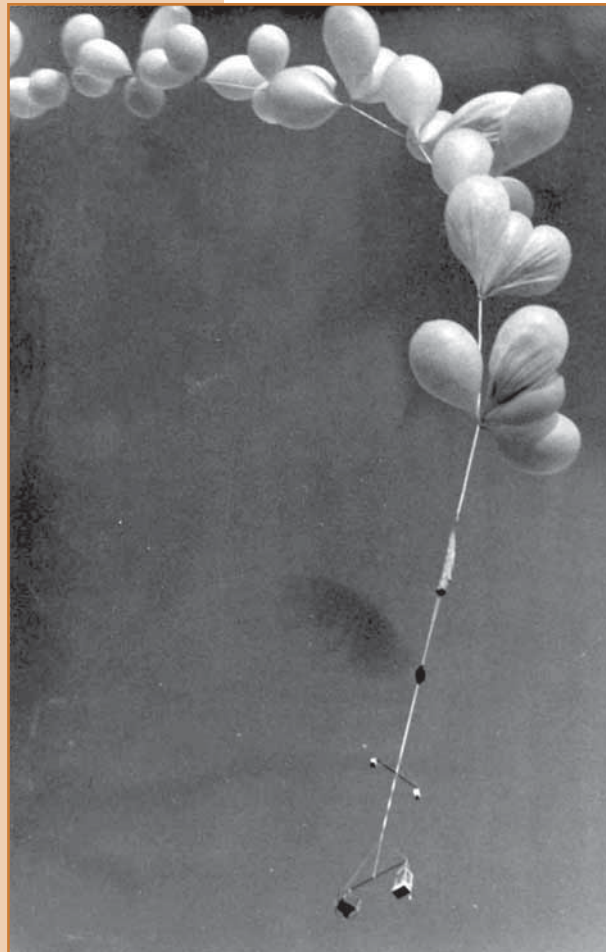
После войны в Обсерватории был создан хороший состав аэростатов различного объема, позволявший совершать длительные и высотные полёты. Отличительной особенностью научных работ стала их комплексность, а также участие в исследованиях ведущих специалистов из других институтов страны. Наблюдения со свободных аэростатов обеспечивали возможность



Черновик письма Сталину И.В. от пилотов Полосухина П.П. и Крикуна А.Ф. Хранится в музее ЦАО.



Автоматический стратостат ЦАО.



Стратостат АС-ЦАО в полёте с измерительной аппаратурой

определения траектории воздушных масс, их перемещения в различных синоптических условиях, исследования облаков, турбулентности, других характеристик атмосферы, распределения загрязнённости, позволяли проследить за трансформацией воздушных масс, проверить некоторые физические теории. Так в 1949 году был выполнен полёт для экспериментальной проверки теории однородной изотропной турбулентности. Научными наблюдателями в этом полёте были зам. директора ЦАО по науке Н.З. Пинус и зам. директора Института геофизики АН СССР проф. А.М. Обухова. Впоследствии академик А.М. Обухов вспоминал о полётах на аэростатах как о важном экспериментальном этапе в период создания теории турбулентности.

Кроме научных результатов практически каждый полёт становился для его участников незабываемым событием. В полётах приходилось уходить от грозы при «внезапном» развитии мощного кучевого облака. Приключений хватало и при посадках. Садились в болота и в глубокий снег, в середину лошадиного табуна и на широкую площадь перед сельсоветом. Даже бывало, что аэронавтов по донесениям бдительных советских граждан представители соответствующих органов в первый момент встречали как вероятных шпионов.

Говоря о результатах научных полётов аэронавтов ЦАО в послевоенный период, также нельзя не сказать о достигнутых ими при этом выдающихся спортивных результатах. В свое время значительная часть таблицы мировых рекордов в спортивном воздухоплавании была заполнена именами сотрудников Обсерватории. Следует отметить мировые рекорды в полётах на дальность и длительность на аэростатах различного объема достигнутые пилотами Обсерватории: мужчинами и женщинами.

К 1947 г. относится создание и начало использования автоматических высотных аэростатов. Вот как описывает Г.И. Голышев эту работу: «Схемы и некоторые технические решения, связанные с их конструкцией и полётом, были известны давно. Сейчас их использование кажется очень простым, но в ту эпоху было очень трудно многих научных работников убедить в том, что находящийся в воздухе автоматический стратостат можно обнаружить, проследить за его полётом и приземлить, сохранив при этом научные приборы, и что все это можно проделать довольно быстро». В 1948 г. с летной площадки Обсерватории впервые в мире удалось поднять автоматический стратостат с грузом 125 кг до высоты примерно 22 км и обеспечить затем его нормальную посадку. В дальнейшем подобные полёты стали для ЦАО обычными и регулярными.

Разработанные в послевоенные годы в ЦАО Г.И. Голышевым, Т.М. Кулинченко, А.С. Масенкисом метод, техническое решение и конструкция автоматических стратостатов (авторское свидетельство №11948), впоследствии получившие название АС-ЦАО, нашли затем широкое применение при исследованиях стратосферы, летных испытаниях новых видов аппаратуры и для ряда специальных работ, выполненных как по программам Обсерватории, так и для решения научных и прикладных задач других ведомств. По инициативе академика С.М.Вернова совместно, с ФИАН и НИИЯФ МГУ, на автоматических аэростатах был выполнен цикл работ по исследованию космического излучения. Ранее вышеуказанными институтами подобные измерения проводились при выполнении пилотируемых полётов до высот 11-12 км. Создание автоматических стратостатов АС-ЦАО значительно расширило возможности



Пилоты Б.А. Неве́рнов и А.А. Фо́мин готовы к высотному полету. 1941г.



Аэростат СССР ВР-106. Использовался в ЦАО для исследования атмосферы.



Кубок памяти пилота-аэронавта ЦАО А.Н. Новодережкина

выполнения исследований в стратосфере. В течение 1970-1991 г.г. на полевой базе ЦАО в г. Рыльске (организатор и руководитель А.С. Масенкис, а затем Д.М. Шифрин) и в других районах страны осуществлены полёты автоматических стратостатов конструкции ЦАО с высотами зондирования 25-33 км. Эти полёты, осуществляемые на протяжении многих лет в творческом содружестве с Государственным оптическим институтом им. С.И. Вавилова, позволили получить уникальные данные о газовом составе атмосферы, радиационных и оптических характеристиках атмосферы. За период с 1948 по 1991 годы специалистами Обсерватории было организовано и выполнено более 1600 полётов автоматических аэростатов. Если принять во внимание, что в период с 1945 по 1991 годы, организовано и выполнено 536 полётов пилотируемых аэростатов, а в период с 1947 по 1991 годы регулярно Обсерваторией выполнялись и исследовательские подъёмы привязных аэростатов различного класса (общее количество подъёмов более 7500), то аэронавтами и научными сотрудниками Обсерватории выполнен уникальный объём исследований с применением различных воздухоплавательных систем, практически не имеющих мировых аналогов.

В последние годы (1991-2011 гг.) сотрудники экспериментально-воздухоплавательного отдела ЦАО в рамках сотрудничества с Национальным космическим агентством Франции и специалистами Шведской космической корпорации принимали участие практически во всех осуществленных в Арктике международных кампаниях аэростатных исследований, в основном направленных на изучение состояния озонового слоя Земли. Начиная с эксперимента EASOE

(Первый Арктический стратосферный озонный эксперимент 1991-1992 г.г.) ЦАО (российский координатор Д.М.Шифрин) является активным участником проведения на российской территории всех европейских аэростатных кампаний исследования озонового слоя и за указанный период сотрудники ЭВО обеспечили проведение на территории России аэростатных экспериментов по программам 15-ти крупных международных кампаний, включая полёты долгодрейфующих аэростатов с временем дрейфа до 60-70 суток.

Воздухоплавание на аэростатах использовалось не только для изучения атмосферы. Одновременно с выполнением научной программы полёта, пилотами устанавливались и фиксировались рекорды как по высоте, так и по дальности.

Традиции спортивного воздухоплавания также не были забыты Обсерваторией. Начиная с сентября 1991 года, когда на полевой базе ЦАО в г. Рыльске в честь 50-летия Обсерватории был дан старт первому в истории нашей страны Чемпионату по воздухоплаванию на тепловых аэростатах. Сотрудники Обсерватории приняли участие в организации многих из уже состоявшихся к настоящему моменту соревнований чемпионатов и Кубка России по воздухоплаванию [www.http://balloon-cup.ru](http://balloon-cup.ru). Участие ЦАО в организации соревнований и в содействии организации метеорологического обеспечения проведения соревнований отмечено многочисленными грамотами со стороны Федерации Воздухоплавания России. С начала 90-х годов, в ЦАО были подготовлены несколько спортивных судей-наблюдателей международного класса, успешно продолжающих работать на чемпионатах по воздухоплаванию первого уровня – чемпионатах мира, национальных и европейских чемпионатах в рамках международной авиационной федерации (FAI). В течение долгого периода представителем России в международной воздухоплавательной комиссии FAI являлся сотрудник ЦАО - зав. экспериментально-воздухоплавательным отделом Обсерватории Д.М. Шифрин. Начиная с 2006 г., пилоты разных стран - участники ведущих в стране международных соревнований на тепловых аэростатах ежегодно соревнуются за кубок памяти А.Н. Новодережкина - на протяжении многих лет одного из лучших пилотов-аэронавтов Обсерватории; участника многих научных экспериментов, активно участвовавшего в становлении и развитии современного российского спортивного воздухоплавания.



В 2009 г. ЦАО была издана монография «Метеорология для воздухоплавателей и пилотов», одного из старейших специалистов Обсерватории в области физики облаков и авиационной метеорологии, профессора С.М. Шметера, написанная им незадолго до смерти. Книга была подготовлена к изданию учениками С.М. Шметера по рукописи, оставленной их учителем. Сразу после выхода в свет эта книга стала не только настольным пособием для пилотов-воздухоплавателей, но и редким изданием. Это еще одно подтверждение того, что ЦАО продолжает сохранять тесные связи с воздухоплавательными полетами и надеется в их укреплении в связи с возрождением дирижаблестроения в России.

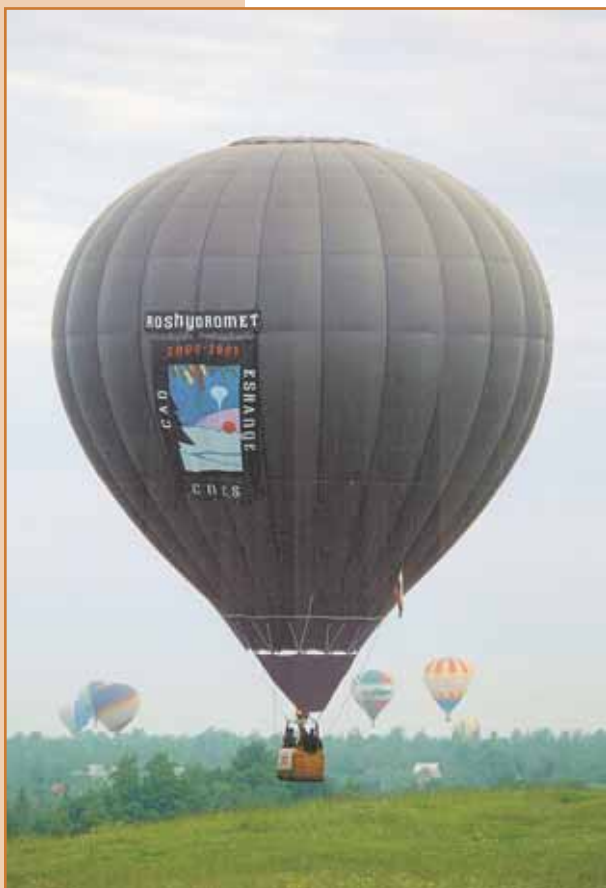
Aeronauts and aeronautics: CAO historical background

The Central Aerological Observatory began flying balloons to sound the atmosphere as early as before the World War II. From its very first days, CAO was probably the first to embark upon intense systematic research using free and sub-stratospheric balloons as well as regular atmospheric sounding using captive balloons. The studies involved many of CAO researchers, O.G. Krichak, S.S. Gaigerov, N.Z. Pinus, V.A. Belinsky, P.F. Zaichikov, A.M. Borovikov, and V.D. Reshetov among them. Balloon flights were fulfilled by outstanding pilots G.I. Golyshev, S.A. Zinoveyev, A.F. Krikun, B.A. Nevernov, L.I. Ivanova, and P.P. Polosukhin under the general guidance of a highly-qualified specialist M.N. Kanishchev. Balloon tracking was provided by observers V.I. Shliakhov, V.K. Babarykin, V.I. Silaeva, S.N. Burkovskaya, V.D. Litvinov, G.N. Shur, Yu.A. Seregin, S.M. Shmeter, A.F. Kondratieva, M.I. Kholina, and A.A. Rezchikova. All in all, 136 research flights of free balloons, including several grouped ones, were carried out.

Record flights in an open gondola up to the lower stratospheric boundary were fulfilled by balloonists G.I. Golyshev, A.F. Krikun, B.A. Nevernov, A.A. Fomin, and P.P. Polosukhin. Several world records in balloon flight duration and height were held, with some of them unexcelled for about 40 years.

After the war, CAO organized a park of balloons differing in volume, which made long-lasting and high-altitude flights possible. The research became diverse and comprehensive, involving leading specialists from other national science institutes. Free balloons enabled observation of air-mass motion under various synoptic conditions and their evolution, studying clouds, turbulence and other atmospheric characteristics as well as pollution transport, making it possible to validate some of the physical theories. In 1949, a balloon was flown to validate the theory of homogeneous isotope turbulence through experiment. Science observation and tracking was then provided by CAO Deputy Head N.Z. Pinus and Deputy Head of the Institute of Geophysics of the USSR Academy of Sciences Prof. A.M. Obukhov, who later referred to balloon flights as an important experimental phase in creating the theory of turbulence.

Apart from the importance of acquiring scientific results, each flight became an unforgettable event for the participants who remembered escaping unexpected natural hazards and awkward landings that caused fright and suspicion among local residents. The year 1947 saw the creation and early uses of automated high-altitude balloons. With basic design and some engineering solutions regarding both the structure and flight of balloons known long before and their realization seeming to be quite simple, it was however very difficult to convince many of the



Жизнь воздухоплавания в ЦАО продолжается. Спортивный аэростат «Roshydromet» в полёте



Подготовка к старту стратосферного аэростата в период Европейской кампании исследования озонового слоя. Организация полётов аэростатов осуществлялась Национальным агентством космических исследований Франции CNES, центром Esrange Шведской космической корпорации и Центральной аэрологической обсерваторией.

researchers that a flying automated stratospheric balloon can be detected, traced and landed, preserving its instrumentation, and do it rather quickly at that.

In 1948, an automated stratospheric balloon with a 125-kg payload was flown, for the first time ever, to about a 22 km height from CAO launching site and then successfully landed. From that time on, such flights organized by CAO have become routine. The engineering solution, the construction of an automated stratospheric balloon later named AC-CAO, and the related technique developed in post-war years by CAO's leading specialists G.I. Golyshev, T.M. Kulichenko, and A.S. Masenkis have become widely employed in stratospheric studies, in-flight tests of new instrumentation, in specific projects of the Observatory as well as in solving scientific and applied problems faced by other agencies. During the period 1970-1990, over 500 flights of automated stratospheric balloons of CAO's design that can fly at 25-33 km heights were fulfilled at CAO field base in Rylysk (Kursk Region) and other locations. The flights carried out throughout many years in collaboration with S.I. Vavilov State Optical Institute have furnished unique data on the gaseous composition, radiation and optical characteristics of the atmosphere. In the last decade (1991-2011), specialists from CAO Experimental Balloon Department took part in practically all international scientific balloon campaigns in the Arctic, basically aimed at studying the Earth ozone layer state, in cooperation with the National Space Agency of France and Space Corporation of Sweden. Beginning from EASOE (1st Arctic Stratospheric Balloon Experiment / 1991-1992), CAO has been organizer of all the European ozone balloon campaigns on the Russian territory. During this period, organizational and technical support was rendered by specialists of the Experimental Balloon Department to conduct experiments under 15 major international campaigns, including durable balloon flights (up to 60-70 days).

The traditions of sport ballooning are also being maintained by CAO. Since September 1991 when the first National Thermal Balloon Championship was launched at Rylysk Base to celebrate the 50th CAO Anniversary, balloonists of the Observatory took part in organizing all the national ballooning competitions.

ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ 70 ЛЕТ	5
РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ	17
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ	25
ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛАКОВ И ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ	33
Исследования микрофизики и динамики облачных систем умеренных широт	34
Исследования интенсивных ураганов в акватории Южно-Китайского моря и в Северной Атлантике	40
САМОЛЁТЫ-МЕТЕОЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ	45
Исследования микрофизических характеристик облаков с помощью самолётов-метеолабораторий	50
Исследования пограничного слоя атмосферы и облаков с помощью самолётов-метеолабораторий	50
Исследования неоднородного пограничного слоя атмосферы с помощью самолётов-метеолабораторий	52
Развитие прерывистого конвективного пограничного слоя над поверхностью с перемежающимися термическими свойствами, приводящее к образованию облаков кучевых форм	56
Исследования динамической структуры тропических конвективных облаков	57
АКТИВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОГОДУ	61
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ	73
ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ	81
Проект «METEOR 3M-SAGE-III»	85
ИССЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА	91
Оперативно-производственная деятельность по мониторингу состояния озонового слоя над территорией России	92
Исследования озонового слоя	94
Исследования тропосферного озона	97
ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ МЕТОДОМ МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОМЕТРИИ	101
ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА И ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ	111
Модель общей циркуляции атмосферы (МОЦА)	112
Трёхмерная фотохимическая модель ЦАО	114
Воздействие протонных вспышек на Солнце на озоносферу Земли	116
Моделирование процессов в нижней ионосфере	117
АЭРОНАВТЫ И ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ В ИСТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ	121

THE 70 TH ANNIVERSARY OF THE CENTRAL AEROLOGICAL OBSERVATORY	5
RADIOSONDE SOUNDING OF THE ATMOSPHERE.....	17
RADAR METEOROLOGY.....	25
STUDIES OF CLOUDS AND DYNAMICS OF THE ATMOSPHERE	33
AIRCRAFT STUDIES OF ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER AND CLOUDS	45
INTENDED WEATHER MODIFICATION.....	61
ROCKET SOUNDING	73
LASER AND OPTICAL TECHNIQUES FOR ATMOSPHERIC STUDIES.....	81
STUDIES AND MONITORING OF ATMOSPHERIC OZONE	91
REMOTE SOUNDING	101
3-DIMENSIONAL NUMERICAL MODELING OF ATMOSPHERIC COMPOSITION AND DYNAMICS	111
AERONAUTS AND AERONAUTICS: CAO HISTORICAL BACKGROUND	121



Федеральное государственное бюджетное учреждение
ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
(ФГБУ «ЦАО»)
Ул. Первомайская, д. 3, Московская область,
г. Долгопрудный 141700

The Federal State Budgetary Institution
«CENTRAL AEROLOGICAL OBSERVATORY»
(FSBI «CAO»)
3 Pervomayskaya St., Dolgoprudny,
Moscow Region, 141700 Russia

Тел./Tel. (495) 408-61-48 Факс/Fax.: (495) 576-33-27
<http://www.cao-rhms.ru>
e-mail: caohead@cao-rhms.ru
secretary@cao-rhms.ru