

РАЗВИТИЕ НАБЛЮДЕНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АЭРОЛОГИИ

Наблюдения в свободной атмосфере с помощью воздушных шаров

В России достаточно надежные измерения температуры воздуха на аэростате впервые были выполнены академиком Я. Д. Захаровым в 1804 г. Научные полеты на воздушных шарах в России возобновились в 1868 г., их выполняли М. А. Рыкачев, М. М. Поморцев; на воздушных шарах летали Д. И. Менделеев, С. И. Савинов, В. В. Кузнецов, Н. Н. Калитин и др. Результаты первых полетов были обработаны и опубликованы в 1881 г. М. М. Поморцевым.

С 1940 г. свободные аэростаты широко использовались для исследований атмосферы Аэрологической обсерваторией Центрального института прогнозов и затем с 1941 г. — Центральной аэрологической обсерваторией (ЦАО). В 1946—1952 гг. в ЦАО был выполнен обширный комплекс наблюдений на свободных аэростатах, находящихся в длительном дрейфе. Были осуществлены измерения одновременно на нескольких аэростатах, летящих на разной высоте. Аэростаты оснащались разнообразной аппаратурой для метеорологических и актинометрических наблюдений. Исследования на аэростатах проводили А. М. Боровиков, С. С. Гайгеров, В. Г. Кастров, В. А. Белинский, П. Ф. Зайчиков, В. Д. Решетов, Н. З. Пинус и др. В. А. Белинский, проанализировав результаты актинометрических наблюдений на аэростатах, впервые определил вертикальные, горизонтальные и временные вариации солнечной радиации (прямой, рассеянной, отраженной и суммарной). Им же были оценены альbedo различных поверхностей и другие радиационные параметры. В. Г. Кастров и С. С. Гайгеров выполнили уникальные исследования термической трансформации движущегося воздуха; А. М. Боровиков получил первые отечественные данные о физическом строении облаков.

Первый удачный полет стратостата в СССР был осуществлен 30 сентября 1933 г., когда стратонавты Г. А. Прокофьев, К. Д. Годунов и Э. К. Бирнбаум поднялись на стратостате

„СССР-1” на высоту 19 000 м и выполнили большой комплекс наблюдений. Впоследствии в связи с большой сложностью организации полетов пилотируемых стратостатов их стали проводить очень редко.

В 1948 г. в ЦАО под руководством Г. И. Голышева и А. С. Масенкиса был создан автоматический аэростат для проведения измерения атмосферных параметров и малых газовых составляющих в стратосфере.

Во время полетов на стратостатах изучалась интенсивность космических лучей и солнечной радиации, брались пробы воздуха, проводились наблюдения за оптическими и электрическими явлениями и др.

Шаропилотные наблюдения и шары-зонды

Первые выпуски шаров-пилотов (тогда еще бумажных) были выполнены в 1806 г. русскими моряками во время кругосветного плавания под руководством И. Ф. Крузенштерна.

Для наблюдения за шарами-пилотами с земли были сконструированы специальные теодолиты. В. В. Кузнецов и П. А. Молчанов предложили очень простые и удобные в работе теодолиты, которые применялись в течение нескольких десятков лет.

Первые регулярные выпуски шаров-зондов в России начали проводить в 1901 г. в Павловской обсерватории (под Петербургом). В СССР применяли метеорографы В. В. Кузнецова, а затем П. А. Молчанова. С помощью шаров-зондов была достигнута рекордная высота — около 36 000 м. Такие наблюдения проводились до начала 1930-х годов.

Самолетное зондирование

В России самолетное зондирование атмосферы было предложено выдающимся русским ученым А. А. Фридманом. В 1916 г. в районе Киева было выполнено несколько полетов, во время которых с борта самолета измерялась температура. Работая в Павловской аэрологической обсерватории (1913—1915 гг.),

А. А. Фридман разработал инструкцию по обработке метеорограмм и данных шаропилотных наблюдений.

В 1921—1922 гг. в Павловской обсерватории был сконструирован самолетный метеорограф. С 1921 г. в Московской аэрологической обсерватории по инициативе В. И. Виткевича началось систематическое самолетное зондирование атмосферы. Советское правительство, несмотря на трудности того времени, придало обсерватории для этих целей специальный авиационный отряд. Самолетное зондирование позволило получить первые достаточно точные и более или менее систематические данные о распределении температуры и влажности воздуха в нижней тропосфере, а главное — о вертикальном строении и других характеристиках облачных слоев.

Начиная с 1945 г. самолеты стали широко применяться для исследования арктических районов, где было невозможно проводить систематические выпуски радиозондов. В 1948 г. начала работать летающая метеорологическая обсерватория Арктического научно-исследовательского института, с помощью которой на протяжении более чем 10 лет выполнялись разносторонние исследования атмосферы в Арктике, позволившие получить первые представления о строении тропосферы в этой регионе. В антарктических экспедициях 1958—1962 гг. для этих же целей использовалась летающая метеорологическая обсерватория „Антарктида”.

В Советском Союзе до 1960 г. действовало около 30 пунктов самолетного зондирования, на которых производились регулярные подъемы самолетов до высоты 5—6 км с последующей оперативной обработкой результатов зондирования и подачей телеграмм. Результаты работы этой сети дали очень много для развития физики облаков.

В настоящее время самолеты используют главным образом в качестве летающих лабораторий, оснащенных большим комплексом аппаратуры для наблюдений за состоянием атмосферы по специальным программам. Примером может служить высотный самолет-лаборатория М-55 „Геофизика” с потолком подъема 22 км (КБ им. Мясищева, ЦАО).

Радиозондирование

Изобретателем радиозонда является выдающийся ученый-аэролог Павел Александрович Молчанов. Еще в 1923 г. он предложил прибор, подобный зондовому метеорографу с радиопередатчиком для передачи данных на землю.

Первый в мире успешный запуск радиозонда был осуществлен П. А. Молчановым 30 января 1930 г. в 13 ч 44 мин по московскому времени с территории Павловской аэрологической обсерватории. Радиозонд был прикреплен к связке резиновых шаров, наполненных водородом. Во время подъема прибор автоматически измерял температуру и давление воздуха и передавал результаты на землю в виде условных радиосигналов. После расшифровки принятых сигналов результаты зондирования сразу же были переданы в Ленинградское бюро погоды и в Москву, в Центральный институт прогнозов. Это было первое в мире оперативное аэрологическое сообщение.

В январе 1931 г. было выпущено девять радиозондов в Арктике, в районе Мурманска. Летом того же года, участвуя в научно-исследовательском полете дирижабля „Граф Цепелин” в Арктику, П. А. Молчанов производил выпуски радиозондов с борта дирижабля. Здесь он впервые показал, что радиозонд можно не только поднимать вверх на оболочке, но и сбрасывать вниз на парашюте.

При проведении Второго Международного полярного года (1931—1933 гг.) радиозонды выпускались на четырех советских станциях. К этому времени ни одна из стран еще не располагала собственными радиозондами, хотя их разработки интенсивно велись в Германии и Франции, поэтому советские радиозонды нашли применение также и на некоторых зарубежных станциях.

В 1935 г. в Советском Союзе начала действовать первая в мире сеть станций регулярного радиозондирования атмосферы. Было организовано 17 таких станций; 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 настоящее время российская аэрологическая сеть насчитывает 150 станций.

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 увеличивало высоту зондирования. Для высотных стратосферных наблюдений был сконструирован облегченный радиозонд массой 560 г. Большим достижением, наряду с некоторыми другими усовершенствованиями радиозонда, было введение измерений влажности воздуха (1933 г.). Проводились также исследования точности радиозондирования радиационных ошибок (И. Б. Срезневский, А. А. Шепелевский и др.).

Тогда же (1936—1937 гг.) 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 гг. на Урале (под Свердловском) Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова (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 Москву) сообщались и данные о распределении ветра.

Однако существенные практические результаты в этом направлении были достигнуты позже. Работы по применению радиолокатора для сопровождения шаров с пассивными отражателями, проведенные в 1943 г. в ЦАО В. В. Костаревым и Г. И. Голышевым на основе предложения В. В. Костарева и при поддержке Е. К. Федорова, открыли возможность определения скорости и направления ветра до максимальных высот подъема шара и заложили основу современного радиолокационного измерения скорости и направления ветра (до этого времени 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.

Система радиозондирования А-22—„Малахит” (1957 г.) была первой системой, в которой объединены измерения температу-

ры, давления и влажности воздуха, скорости и направления ветра и одновременно повышена их точность. 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, в которой впервые был автоматизирован процесс измерения и регистрации координат радисонда и телеметрической информации, позволило повысить надежность аэрологического зондирования, а применение электрического датчика температуры (терморезистора) уменьшило ошибки измерений температуры на больших высотах.

И наконец, развитие электронно-вычислительной техники позволило автоматизировать трудоемкую обработку данных. Кустовая централизованная система „Атмосфера” для обработки данных системы зондирования А-22—„Малахит” позволила накопить первый опыт в этом направлении, а комплекс ОКА-3 для централизованной обработки данных системы зондирования РКЗ—„Метеорит” — впервые внедрить автоматическую обработку в оперативную практику зондирования на целом ряде аэрологических станций.

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 г., 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 1970-х годов была создана и внедрена на большинстве станций аэрологической сети система РКЗ-5—„Метеорит-2” как основная система зондирования атмосферы (Б. Г. Рождественский, Я. Х. Черноброд, Г. И. Голышев, В. И. Шляхов, Г. П. Трифионов, А. Ф. Кузенков), отличающаяся

большой дальностью надежного приема сигналов радиозонда, 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 уголковыми отражателями. Важным достижением 1970-х годов является внедрение системы 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 полетов самолетов, дальнейшего увеличения экономичности и надежности системы зондирования потребовали создания малогабаритного радиозонда. На основе выполненных разработок полупроводникового генератора СВЧ и низкочастотных узлов радиозонда на полупроводниках были созданы образцы малогабаритных радиозондов массой до 300 г и проведены их испытания.

Следующим крупным шагом в совершенствовании системы радиозондирования явилась разработка в период 1980—1990 гг. новой системы радиозондирования АВК-1—МРЗ (Ю. В. Нейман, Х. Н. Гайнанов, Г. И. Голышев, А. А. Черников, Г. П. Трифонов, 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 г., работают достаточно надежно, быстро осваиваются операторами-аэрологами, облегчают их труд, сокращают время составления аэрологических телеграмм. В системе АВК-1—МРЗ используются малогабаритные радиозонды типа МРЗ.

К настоящему времени в России завершены разработки (Е. Н. Егоров, В. В. Чистюхин, А. А. Иванов, И. Г. Потемкин, А. В. Кочин) и промышленность готова производить аэрологический теодолит МАРЛ-Т и радиолокатор МАРЛ-А, созданные с использованием современной элементной базы и антенн с актив-

ной фазированной решеткой. Результаты зондирования могут быть направлены потребителям по любым каналам связи. Государственное предприятие КОМЕТ производит российско-финский радиозонд РФ-95 для АВК-1 и РФ-95Т для радиотеодолита МАРЛ-Т с улучшенными точностными характеристиками (А. М. Балагуров и др.). Аэрологические станции Мурманск и Воейково перешли на зондирование с использованием новых радиозондов.

Доля аэрологических станций РФ составляет около 16 % мировой сети радиозондирования, и от их данных зависит качество работы не только российских, но и международных прогностических организаций. Результаты последних Международных радиозондовых сравнений Всемирной метеорологической организации (ВМО), в которых активное участие принимала группа российских специалистов под руководством А. А. Иванова, показали, что качество и точностные характеристики обеих отечественных систем зондирования АВК—МРЗ и „Метеорит”—МАРЗ удовлетворяют требованиям ВМО. Более того, в результате проведенного недавно в США и Англии дополнительного анализа данных, полученных в ходе сравнений, и сопоставления их со стандартной атмосферой NASA было установлено, что российская система зондирования по геопотенциалу и температуре является одной из лучших.

Первые успехи отечественной аэрологии связаны с деятельностью Павловской (Слущкой) аэрологической обсерватории, образованной на базе аэрологического отделения и змейковой станции Главной физической обсерватории (ГФО, впоследствии ГГО).

По мере накопления материалов аэрологических наблюдений в Павловской, Московской и других геофизических обсерваториях разворачивались исследования физики свободной атмосферы, появлялись первые аэроклиматические работы.

1930-е годы ознаменовались проведением исследований стратосферы при помощи стратостатов. В СССР разработка научной аппаратуры и методик исследований в основном была осуществлена учеными ГГО (С. И. Савиновым, Н. Н. Калитиным, П. Н. Тверским, П. А. Молчановым и др.). В апреле 1934 г. состоялась первая Всесоюзная конференция по изучению стратосферы под председательством академика С. И. Вавилова, в которой активное участие принял С. П. Королев.

В истории аэрологии особую роль сыграли международные программы наблюдений и исследований в атмосфере. Во время Международного полярного года, проведенного в 1932—1933 гг., впервые были организованы совместные аэрологические наблюдения. За период Международного геофизического года (МГГ) (июль 1957 г.—декабрь 1958 г.) была осуществлена широкая всемирная программа аэрологических исследований. Совместная работа продолжалась и в дальнейшем в период Международного года геофизического сотрудничества (МГГС) в 1959 г.

В работе по программам МГГ и МГГС участвовало более 50 стран, причем Советскому Союзу принадлежит одно из первых мест как по разнообразию исследуемых проблем, так и по масштабу выполненных работ.

1970-е годы вошли в историю метеорологии как период интенсивного научного сотрудничества метеорологов многих стран в изучении глобальных атмосферных процессов. В частности, были выполнены обширные исследования по международной Программе исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП), которые возглавили в 1967 г. две международные организации: Международный совет научных союзов (МСНС) и ВМО.

С 1 декабря 1978 г. по 30 ноября 1979 г. был осуществлен наблюдательный период Первого глобального эксперимента ПИГАП (ПГЭП). В рамках ПИГАП это был самый крупный эксперимент, в задачи которого входили:

- достижение лучшего понимания закономерностей динамики атмосферы для повышения надежности прогнозов погоды;
- оценка пределов предсказуемости погоды;
- обоснование оптимальной системы наблюдений, обеспечивающей нужды численного прогноза погоды;
- изучение физических механизмов, определяющих колебания климата с временным масштабом от нескольких недель до нескольких лет, и проверка на данных наблюдений климатических моделей атмосферы.

Около 9200 метеорологических станций проводили наблюдения за явлениями погоды, ветром, давлением и температурой воздуха у поверхности земли. Примерно 850 аэрологических станций производили измерения вертикальных профилей давления, температуры, ветра и влажности. Свыше 700 судов проводи-

ли метеорологические наблюдения, в их числе около 55 выполняли также аэрологические наблюдения. Полярно-орбитальные спутники обеспечивали съемку облачности, производили температурное зондирование атмосферы и измерения температуры поверхности моря. Пять геостационарных спутников вели наблюдения в пределах 30° по широте по обе стороны от экватора. Эти наблюдения включали съемку облачности и определение скорости движения облачных систем. В тропической зоне работали 10 исследовательских самолетов, они летали на высоте около 10 км и сбрасывали радиозонды через 300 км. Для изучения траекторий движения и свойств воздушных масс в тропиках было выпущено около 300 дрейфующих шаров. В южном полушарии было установлено 300 дрейфующих буев, измерявших атмосферное давление и температуру воды и воздуха.

Данные, собранные во время ПГЭП, послужили основой создания реалистичных прогностических моделей погоды и климата.

В 1980-е годы внимание метеорологов было привлечено к так называемым энергоактивным зонам океана, т. е. районам, где взаимодействие атмосферы и океана происходит с наибольшей активностью (программа „Разрезы”, развернутая по инициативе академика Г. И. Марчука, и международный эксперимент ТОГА — „Исследование тропических областей океана и глобальной атмосферы”).

Ракетное зондирование

Развитие ракетной техники позволило распространить аэрологические исследования на верхнюю атмосферу. Ракетные исследования высоких слоев атмосферы в СССР начались в 1947 г., когда академиком С. Н. Верновым и другими была впервые запущена ракета для изучения космических лучей на больших высотах. В дальнейшем ракетные исследования развивались по двум направлениям. В первом направлении изучались свойства верхней атмосферы, ее состав и космические лучи с использованием больших геофизических ракет, поднимавшихся на высоты более 100—150 км; во втором направлении изучение атмосферы осуществлялось с помощью так называемых метеорологических ра-

кет, поднимающихся до высот 65—100 км. Пуск первой советской метеорологической ракеты МР-1 был выполнен под руководством В. А. Путохина и Г. И. Голышева в октябре 1951 г. Ракета была возвратной. Спуск на полигон как аппаратуры, так и двигательной установки давал возможность увеличить количество запусков ракет. Ракета позволяла измерять температуру посредством термометра сопротивления, давление с помощью манометра; ветер определялся по прослеживанию дрейфа парашюта. В результате запусков ракет МР-1 были получены первые данные о температуре, плотности и ветре до высоты более 50 км.

К началу 1957 г. вступила в строй малая метеорологическая ракета ММР-05 с высотой подъема 50 км. Измерительная аппаратура была переработана применительно к этой ракете и, кроме того, был разработан радиолокационный ответчик, что позволило заменить достаточно сложный оптический метод траекторных измерений мобильным радиолокационным методом. Эти меры расширили географию ракетных исследований и позволили производить запуски ракет практически при любых погодных условиях. Пуски ракет этого типа проводились в период МГГ в средних широтах с дизель-электрохода „Обь” и с о. Хейса. В результате этих исследований впервые были получены данные о структуре и процессах в верхней атмосфере над обширными акваториями океанов и над полярными районами.

В начале 1960-х годов было принято решение о существенной модернизации ракетного комплекса. Основными требованиями при этом были: увеличение высоты подъема ракеты, а также переход от жидкого топлива к твердым составам, безопасным в эксплуатации. Эти требования были успешно реализованы, и новый комплекс М-100 с 1964 г. введен в эксплуатацию на станциях ракетного зондирования.

Развитие ракетной техники, появление новых материалов, приборов и схем создали предпосылки принципиально новых решений при разработке как подъемных средств, так и бортовой аппаратуры. Было решено, что для оперативных измерений характеристик верхней атмосферы целесообразно создать более простую и дешевую ракету с ограниченным потолком подъема, а для реализации специальных научно-исследовательских программ — многоцелевую научно-исследовательскую ракету с высотой подъема 150—180 км.

В результате осуществления этих проектов были созданы ракетные комплексы ММР-06 и МР-12.

На некоторых ракетах, наряду с описанной выше аппаратурой, устанавливаются устройства для измерения ветра на высотах от 50 до 90 км.

Помимо указанных приборов, на ракетах М-100 устанавливались тепловые измерители концентрации водяного пара и атомарного кислорода, приборы для измерения плотности, концентрации заряженных частиц, интенсивности корпускулярных потоков, а также некоторая другая аппаратура. Наземный измерительный комплекс состоит из приемной радиотелеметрической станции и радиолокатора „Метеор-Р”.

Еще один тип головной части использовался для измерения корпускулярных ионизирующих излучений, интенсивности излучения, в том числе в УФ-диапазоне, и рентгеновского излучения Солнца.

Весь материал метеорологического ракетного зондирования систематизирован и положен в основу банка данных метеорологического ракетного зондирования.

Данные ракетного зондирования, наряду с результатами термического зондирования со спутников, использовались как для создания и усовершенствования справочных и стандартных атмосфер, так и для изучения крупномасштабных процессов в средней атмосфере.

Особого внимания заслуживает глобальная эмпирико-статистическая модель атмосферы, построенная в ЦАО на базе данных мировой ракетной метеорологической сети и данных термического зондирования со спутников. При создании этой модели были применены методы математического описания метеорологических полей с использованием метода разложения метеорологических параметров в ряды по базисным функциям. При разложении по широте использовались сферические функции, по высоте — полиномы Лежандра, по долготе и времени — тригонометрические функции. При построении глобальной модели необходимо было привести в соответствие ракетные данные, полученные различными ракетными зондирующими системами. Этому в значительной мере способствовали международные сравнения ракетных метеорологических систем, проведенные в Куру (Французская Гвиана), а также советско-американские и советско-фран-

цузские сравнения, выполненные в 1977 г. в Куру и вблизи о. Уоллопс (США).

Особое внимание было уделено климатологии средней атмосферы южного полушария, характерного своими специфическими процессами, обусловленными в значительной степени особенностями орографии и термического режима подстилающей поверхности.

Г. А. Кокиным и Е. В. Лысенко была исследована эволюция тренда температуры, измерявшейся с помощью метеорологических ракет М-100 Б на станциях о. Хейса, Волгоград, Тумба и Молодежная в интервале высот от 25 до 75 км. Количественные оценки охлаждения средней атмосферы от уровня верхней стратосферы до уровня нижней и верхней мезосферы были впервые получены в результате анализа регулярных измерений температуры ракетными системами США и СССР в течение 1973—1985 и 1964 и 1988 гг. соответственно. Особенно велики, до -1 К/год, были значения отрицательного тренда температуры средней и верхней мезосферы. Столь высокий темп охлаждения мезосферы был неожиданным и вызвал, в определенной мере, сомнение в надежности оценок тренда по ракетным данным ввиду их возможной статистической неоднородности.

Однако об охлаждении мезосферы в целом косвенно свидетельствовали и измерения высоты отражения радиоволн в области Д-ионосферы, проводившиеся в 1959—1986 гг. фазовысотным методом, и материалы наблюдений за частотой появления серебристых облаков в течение 1964—1988 гг. К числу независимых результатов, которые указывали на значительные изменения в термическом режиме мезосферы, необходимо отнести и материалы анализа спектрометрических измерений с борта спутника SME в течение 1982—1986 гг. Несмотря на чрезвычайно малый для климатических обобщений 5-летний период наблюдений, был сделан смелый и, как оказалось впоследствии, правильный вывод о значительном глобальном охлаждении средней и верхней мезосферы (60—90 км).

Полученные данные об изменении температуры мезосферы за последние три десятилетия превосходят теоретические оценки охлаждения мезосферы вследствие удвоения концентрации парниковых газов, таких как диоксид углерода и метан, которое ожидается лишь в следующем столетии. Это противоречие,

по-видимому, можно объяснить неполным учетом изменения химического состава мезосферы и фотохимических реакций в ней. Нельзя, безусловно, исключить и влияние спонтанных короткопериодных изменений климата, обусловленных, прежде всего, взаимодействием океана и атмосферы, временной масштаб которых может превышать 30-летнюю длительность регулярных ракетных измерений.

Следует подчеркнуть, что изменения термического режима особенно существенны в мезосфере. Именно в этом слое атмосферы Земли отмечены самый значительный отрицательный тренд и наибольшее увеличение амплитуд годовых и полугодовых колебаний температуры. В мезосфере наиболее отчетливо проявляется характер эволюции термического режима, тенденции дальнейших изменений и тренда температуры и характеристик ее регулярных колебаний.

Эволюция термического режима страто- и мезосферы является следствием глобальных изменений в радиационных, химических и динамических процессах, происходящих в атмосфере Земли в настоящее время. Причины этих изменений, среди которых не последнюю роль играет антропогенное загрязнение среды, исследуются различными методами, в том числе и с помощью численных моделей общей циркуляции атмосферы. Выявленные по данным ракетного зондирования изменения термического режима страто- и мезосферы могут быть использованы при тестировании и апробации усовершенствованных численных моделей, посредством которых будут выяснены причины и механизмы современных изменений климата средней атмосферы.

Лидарное зондирование

В 1963 г. сотрудники ЦАО В. В. Кравец, А. Е. Тяботов и Р. В. Деяшкин приступили к созданию и использованию лазерного локатора для зондирования атмосферы. В 1965 г. эта группа исследователей впервые в Советском Союзе провела измерения коэффициентов обратного рассеяния и деполяризации рассеянного в обратном направлении лазерного излучения дымкой, облаками и другими атмосферными образованиями при зондировании с Земли, а с июня 1966 г. — при зондировании атмосферы и

подстилающей поверхности также и с самолета-лаборатории Ил-18. В этот же период в ЦАО под руководством Е. Г. Швидковского были развернуты широким фронтом работы по лазерно-локационному (лидарному) зондированию атмосферы. Были разработаны оригинальные методы получения информации об основных метеорологических параметрах: плотности, температуре, влажности воздуха, скорости ветра, параметрах турбулентности в приземном слое атмосферы, а также об оптических свойствах, структуре и динамике облаков, туманов и аэрозольных скопленений и малых газовых составляющих. В это направление исследований в нашей стране внесли значительный вклад научные школы В. Е. Зуева (ИОА СО АН, г. Томск), В. М. Захарова и О. К. Костко (ЦАО, г. Долгопрудный), А. П. Иванова (ИФ АН Белоруссии, г. Минск) и М. Ф. Лагутина (ХИРЭ, Минвуз Украины, г. Харьков). В частности, отечественными исследователями были впервые с помощью лидаров проведены измерения:

— профиля температуры и влажности до высоты 3 км (Ю. А. Аршинов, ИОА, 1982 г.);

— концентрации натрия в диапазоне высот 90—110 км над Антарктидой (М. Ф. Лагутин, Е. Ю. Мегель, ХИРЭ, 1986 г.);

— поля скорости ветра в пограничном слое (Г. Г. Матвиенко, ИОА, 1980 г.);

— структурной функции и внешнего масштаба турбулентных пульсаций температуры в приземном слое (Н. С. Иванова, Г. М. Крученицкий, ЦАО, 1981 г.);

— профиля коэффициента аэрозольного рассеяния в Арктике на о. Хейса (Г. Ф. Тулинов, ИПГ, вторая половина 1980-х годов).

К сожалению, экономический кризис в стране воспрепятствовал дальнейшему развитию этого научного направления и, в особенности, внедрению ряда перспективных лидаров в широкую метеорологическую практику. В частности, были прерваны регулярные наблюдения за вертикальными профилями распределения озона и коэффициента аэрозольного рассеяния, проводившиеся в НПО „Тайфун” под руководством С. С. Хмелевцова.