

**Б.Д. Белан**

## **САМОЛЕТЫ-ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ОПТИКО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Рассмотрены приборные комплексы самолетов-лабораторий, предназначенных для зондирования метеорологических величин, аэрозольного и газового состава воздуха, характеристик подстилающей поверхности. Приведены сравнительные характеристики различных самолетов-лабораторий, а также систем и устройств, входящих в их измерительно-вычислительные комплексы.

Большие возможности, представляемые самолетными методами для исследования атмосферы и подстилающей поверхности, все шире используются геофизиками различных стран в своей повседневной практике. В настоящее время оформилось несколько направлений самолетного геофизического зондирования, которые различаются либо по объекту зондирования (атмосфера, гидросфера, подстилающая поверхность), либо по решаемым задачам, либо по применяемым методам измерений. Созданы десятки самых разных самолетов-лабораторий (СМЛ). Однако имеющаяся в литературе информация о СМЛ носит неполный, отрывочный характер и не позволяет судить о проблеме в целом. Монографии и обзоры, опубликованные ранее [1–4], не отражают достигнутого в этой области прогресса. Поэтому целью настоящей статьи является сравнительный анализ по общедоступным литературным данным состояния аппаратного обеспечения методов самолетного геофизического зондирования.

### **Классификация самолетов-лабораторий**

В [3–7] имеется несколько попыток разделения самолетов-лабораторий на типы. В [3–5] СМЛ подразделяются на универсальные, специализированные, узкоспециализированные и разведчики погоды. В [8, 9] дополнительно выделяются СМЛ для активных воздействий. Очевидно, что такая классификация отражает только характер задач, для которых создавался СМЛ.

Не менее важным в классификации СМЛ, на наш взгляд, являются методы зондирования, которые реализуются в бортовых комплексах аппаратуры. В зависимости от методики измерений, при решении одних и тех же научных задач, может измениться сам тип самолета-лаборатории. Так, например, самолет-лаборатория, предназначенный для определения аэрозольного состава воздуха, может быть оснащен как контактными, так и дистанционными средствами измерений. Однако СМЛ первого и второго типа будут отличаться не только по составу и особенностям монтажа оборудования, но и по методикам проведения полетов.

В связи с этим можно предложить следующее разделение самолетов-лабораторий по типам. Специализированные СМЛ, которые в основном предназначены для технологических целей и по своему назначению и оборудованию далеки от рассматриваемого направления, можно выделить в отдельный класс. Такие СМЛ создавались в ЛИИ, ГосНИИГА и других организациях для испытания самих самолетов, отдельных узлов авиационной техники и т.п. Так, например, созданный в ЛИИ самолет-лаборатория Ту-154 использовался для отработки системы автоматизированной посадки корабля многоазового действия «Буран». Ввиду того что этот класс СМЛ далек от темы настоящего обзора, в дальнейшем к нему возвращаться не будем.

Остальные геофизические самолеты-лаборатории по характеру решаемых проблем можно разделить на две группы. В одну из них войдут СМЛ, предназначенные для зондирования подстилающей поверхности, в другую – для определения различных характеристик атмосферы. В каждой из этих групп, в зависимости от применяемых методов, также можно выделить несколько типов СМЛ.

К первой группе относятся СМЛ, использующие, как правило, естественное излучение подстилающей поверхности: оптическое, инфракрасное, гамма-фон. По интенсивности и спектральному составу выбранного излучения судят о тех или иных характеристиках подстилающей поверхности.

Впервые в этой группе СМЛ использовалась работающая в оптическом диапазоне аэрофотосъемочная аппаратура. В настоящее время этот вид самолетного зондирования вышел на уровень промышленного применения: созданы соответствующие предприятия и специальный носитель аппаратуры – самолет АН-30. Логическим развитием этого типа СМЛ стало внедрение в практику многозональной (многоспектральной) аэрофотосъемки, что позволило не только проводить картирование территории, но и производить таксацию лесов, выявлять массивы больных растений, выделять нефтяные пленки и т.п. [8]. Для реализации этого типа аэрофотосъемки была выпущена малая серия СМЛ Ту-134СХ.

Ко второму типу СМЛ, приборные комплексы которых работают в оптическом и ИК-диапазонах волн, относятся спектрофотометрические и радиометрические самолеты-лаборатории [9–13]. Они предназначены для оперативной регистрации изображения подстилающей поверхности в различных спектральных интервалах. На основании получаемой информации решается целый комплекс прикладных задач, включая определение радиационной температуры поверхности.

К описанным выше двум типам СМЛ, использующим пассивные дистанционные методы измерения, относятся и СМЛ третьего типа, оснащенные аппаратурой для проведения гамма-съемки. При соответствующей обработке информации такие самолеты-лаборатории позволяют определять не только радиоактивное загрязнение местности, но и снего- и водозапас обследуемых территорий [14].

Несколько позже самолеты-лаборатории, которые можно также отнести к этому классу, начали оснащаться активными средствами зондирования подстилающей поверхности. К ним относятся радиолокаторы неметеорологического назначения (метеорологические появились на самолетах значительно раньше) и лазерные локаторы (лидары) [15–17]. СМЛ этого типа позволяют определять влагозапас верхнего слоя почвы, мутность и высоту волн океана, высоту деревьев, наличие загрязнений на подстилающей поверхности и т.п.

Общим свойством этого класса самолетов-лабораторий, которое обусловлено их назначением, является то, что все их измерительные комплексы направлены в нади́р и, как правило, ими не проводятся измерения на высоте полета.

Ко второй группе самолетов-лабораторий отнесем те из них, которые предназначены для изучения атмосферы независимо от методов измерения используемых на их борту. Все разнообразие таких СМЛ можно разделить на три типа. В первый тип попадут самолеты-лаборатории, оснащенные контактными датчиками (они и были исторически первыми). Ко второму типу будут относиться те из них, на которых реализованы дистанционные методы: пассивные и активные. И в третью группу попадут СМЛ, появившиеся в последнее десятилетие, со смешанным составом оборудования. На них устанавливаются и контактные, и дистанционные средства измерений. Более узкое назначение же СМЛ любого из этих трех типов может быть самым разным: разведка погоды, исследование облаков, активные воздействия, изучение тайфунов, выбросов вулканов и т.п.

### **Характеристики самолетов для создания лабораторий**

Эффективность использования СМЛ зависит не только от характеристик его научного оборудования, но и от качества самого самолета-носителя этого оборудования. При создании самолета-лаборатории, после определения круга задач, которые он призван решить, необходимо выбрать тип носителя, позволяющего обеспечить их решение.

Наиболее важными характеристиками носителя, которые учитываются в первую очередь, являются продолжительность и дальность полета самолета, что определяет радиус действия СМЛ; минимальная и максимальная высоты полета, определяющие высотный диапазон работы СМЛ и, соответственно, набор решаемых задач. Так, например, гамма-съемка требует как можно более низкой высоты полета [14], а исследование стратосферы, наоборот, максимальной.

При выборе носителя СМЛ учитывается крейсерская и рабочая (зондировочная) скорость самолета. Это важно при постановке методик эксперимента. Так, при заданном темпе

регистрации информации на борту СМЛ чем меньше рабочая скорость самолета, тем большее пространственное разрешение будет получено. Увеличение зондировочной скорости СМЛ увеличивает число технических проблем, которые необходимо решить для проведения контактных измерений *in situ*. В первую очередь это перегрев датчиков температуры за счет полного торможения воздуха, требования выполнения условия изокинетичности при отборе проб воздуха, защита датчиков от механических повреждений в набегающем потоке.

Немаловажное значение при определении носителя имеют также энерговооруженность, грузоподъемность, стоимость аренды самолета; герметичность, объем и комфортность салона; наличие в конструкции планера элементов, обеспечивающих установку и крепление научного оборудования.

Т а б л и ц а 1

Технические характеристики самолетов-носителей научного оборудования

Самолет	Тип двигателя	Количество двигателей	Скорость, км/ч	Максимальная высота, м	Продолжительность полета, ч	Дальность полета, км	Расход топлива	Стоимость 1 часа полета
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ан-2	П	1	250/200	4300	4	750	—	500 р.*
Ан-12	Т	4	600/550	9700	6,5	3500	—	3000 р.*
Ан-24	Т	2	500/450	9000	5,5	2200	—	1500 р.*
Ан-26	Т	2	500/300	8600	6	2800	550	1500 р.*
Ан-30	Т	2	450/250	8100	6	2700	500	1500 р.*
В-737	Р	2	960/420	10000	6	3800	—	—
С-130	Т	4	550/—	11000	12	5500	1820	1800 дол.
Caravelle-116	Р	2	825/700	12000	5,5	3500	—	—
Cessna-206	Т	1	320/290	8000	4	1200	—	—
Cessna-404	П	2	420/370	8000	6	1800	—	—
Cheyenne-400	П	—	580/—	—	7	3500	230	350 дол.
CV-990	Р	4	950/—	13500	7	4800	—	—
DC-6	П	4	580/360	6000	12	7900	—	—
DC-7	П	4	450/—	7000	24	9000	—	—
DC-8	Р	4	850/—	10000	12	11000	4800	5400 дол.
Dornier-28	П	2	280/—	8900	7	1700	—	—
Dornier-228	Т	2	430/320	9000	—	—	—	—
ER-2 (U-2)	Р	1	970/—	22000	—	—	—	—
Falcon-E	Р	2	920/850	—	6	3500	—	—
Fokker-27	Т	2	500/—	9200	6	2000	—	—
F-106	Р	1	2300/—	16000	2,5	2400	—	—
Gulfstream-IV		2	850/—	13100	9	6300	1120	1200 дол.
Ил-14		2	400/200	7000	10	3200	360	470 р.**
Ил-18		4	685/300	13000	12	5000	800	2800 р.*
Ил-28		2	900/700	16500	4,5	2500	—	—
Ил-76		4	900/850	13000	11,5	4800	7200	9000 р.*
King Air		2	450/400	8500	7	2300	—	—
KC-135A		4	630/—	12000	9	—	—	—
L-188 Electra		4	580/—	9500	11	4500	1820	1800 дол.
L-200		2	310/280	5000	5,5	1700	—	—
Learjet-36A		2	800/—	15000	8	5000	490	700 дол.
Queen Air		2	400/300	9000	6,5	2300	—	—
Saberliner		2	720/—	15000	4	2200	820	700 дол.
Tu-16		2	1000/800	13000	8	6400	—	—
Tu-104		2	1000/800	13000	6,5	4200	3400	—
Tu-134		2	800/650	13000	4,5	2400	—	2400 р.*
Tu-154		3	1000/900	13000	6,5	5000	—	3600 р.*
Twin Otter		2	300/240	3000	4,5	1300	—	—
WP-30 Orion		4	580/360	12000	18	6600	2045	1800 дол.
WC-130B		4	600/480	12000	11	—	—	—
Як-40		3	750/600	12000	4,5	2000	—	1600 р.*

Примечание: тире – нет сведений; П – поршневой, Т – турбовинтовой, Р – реактивный, \* – в ценах 1991 г.; \*\* – в ценах 1988 г.; 250/200 – скорость крейсерская/рабочая (зондировочная).

К настоящему времени при создании СМЛ в мировой практике применяется более 50 типов носителей, начиная от планеров и одномоторных поршневых самолетов и кончая большими транспортными реактивными лайнерами последних поколений. Характеристики большинства из

них собраны в табл. 1.

Кроме перечисленных в табл. 1 носителей, СМЛ создавались также на базе самолетов В-23, В-707, В-727, В-747, С-90, С-131, С-160, Dornier-128, НД-34, Т-28, МВ-57F (WB-57F). Однако технические характеристики самих самолетов не приводились.

Суммируя вышеизложенное, прежде чем кратко проанализировать данные табл. 1, отметим, что для создания СМЛ в идеальном случае необходим самолет, который может продолжительное время находиться в воздухе, и, соответственно, иметь большой радиус действия, может летать на высоте нескольких десятков метров и подниматься в стратосферу, обладает большой крейсерской скоростью и небольшой рабочей, должен быть экономичным и недорогим, его салон должен быть вместительным, комфортабельным, а планер удобным для размещения оборудования.

Из перечисленных в табл. 1 самолетов наиболее соответствуют перечисленным требованиям Ан-12, Ан-30, С-130, CV-990, DC-6, DC-7, DC-8, Ил-14, Ил-18, L-188 Electra, WP-3D Orion. Судя по литературным источникам, они наиболее часто и применялись для создания самолетов-лабораторий.

Едва ли эффективно было создание СМЛ на базе таких носителей, как Ан-2, Cessna-206, L-200. Обычно такие самолеты используются из-за низкой арендной платы и простоты установки на них штатного оборудования и имеют, как правило, временный статус. Так, например, СМЛ на базе Ан-2 ЗСРНИГМИ работал только один год и предназначался для исследования турбулентности в пограничном слое атмосферы [18].

Для некоторых задач важна только одна из характеристик носителя. Так, при исследовании стратосферы необходимо как можно выше поднять приборы. Этим определяется использование таких машин, как ER (U-2), F-106, Ил-28.

### **Размещение оборудования на борту самолета-лаборатории**

Особенность самолетного метода измерений заключается в том, что приборы, размещенные на борту или вне СМЛ, должны работать в экстремальных условиях: повышенная вибрация, большие перепады температуры и влажности (особенно зимой), значительные скорости воздуха, омывающего датчики, перегрузки, вызванные турбулентностью, осадки, обледенение, значительные электрические наводки от штатного оборудования.

При оборудовании самолета научной аппаратурой возможно три варианта размещения датчиков и приборов в зависимости от их назначения, которые должны учитывать перечисленные проблемы.

Обычно аппаратура управления, контроля, регистрации и вторичные преобразователи размещаются в салоне самолета на специальных столах и стойках, обеспечивающих быстрое и надежное их крепление к конструкции самолета и особых проблем не вызывают [19]. Исключение составляет лишь проблема виброзащиты, так как даже в самых удаленных от двигателя местах вибрации редко бывают меньше чем 0,1–0,2 мм [20]. Частично эта проблема решается применением амортизаторов (что снижает их действие в 1,5–2 раза) и использованием разъемов и соединений. Естественно, что распределение оборудования вдоль салона должно осуществляться с учетом центровки самолета.

Второй вариант размещения оборудования связан с необходимостью ввода-вывода излучения при использовании средств активного и пассивного дистанционного зондирования. Как и в первом варианте, размещение приемных и передающих устройств этих приборов также производится внутри салона перед люками, обеспечивающими прохождение измеряемого излучения. Кроме отмеченных виброзащитных мероприятий, возникают проблемы, связанные с конструктивными изменениями [19]. Размеры люков не должны обрезать или искажать поле зрения или диаграмму направленности приемников. Вместе с тем люки должны защищать аппаратуру и экспериментаторов от атмосферных воздействий и не ослаблять прочность конструкции самого планера. Легче всего эти вопросы решаются на специально разработанных самолетах Ан-30, Ту-134СХ или на негерметичных машинах Ан-2, Ил-14, где имеются штатные люки, забранные стеклом или открытые насквозь (незастекленные). В этом случае задача установки оборудования сводится к созданию устройств его крепления, замене существующих иллюминаторов на требуемые или к разработке герметичных контейнеров для размещения аппаратуры над открытыми люками в случае герметичного салона. Создание

же дополнительных люков в имеющихся планерах связано со значительной и трудоемкой доработкой самолета и испытаниями, что возможно лишь в заводских условиях.

Третий вариант размещения оборудования на самолете обусловлен необходимостью выноса наружу различных датчиков и обтекателей. При решении этого вопроса требуется учет двух обстоятельств: правильное размещение датчиков на обшивке самолета и сохранение герметичности салона и его целостности. Первое связано с нейтрализацией возмущающего действия среды и собственно самолета на результаты измерений, второе определяется безопасностью полетов.

Правильное размещение датчиков должно учитывать аэродинамические характеристики корпуса самолета. Так, исследование показаний датчиков температуры, расположенных в разных частях самолета Ил-14, выполненное сотрудниками ЦАО, показало, что при размещении датчиков в передней части, перед винтами, несмотря на значительные расстояния между ними (до 6 м) и большой диапазон удалений их от обшивки (10 ... 80 см), разница между показаниями приборов не превышала  $+0,03 \dots 0,5^\circ\text{C}$ , то есть погрешности измерений [21]. Для датчиков, установленных за винтами, разброс показаний достигал  $+0,2 \dots 0,3^\circ\text{C}$ , что больше погрешности измерений.

К третьему варианту относится и монтаж средств дистанционного зондирования, вынесенных за пределы фюзеляжа. Примером такого монтажа могут служить радиолокаторы, установленные на пилонах в контейнерах, имеющих форму подвесных топливных баков на самолете-лаборатории Ту-134СХ [19].

Как правило, самолеты-лаборатории создаются в единственном экземпляре, в редких случаях в 2–3 экземплярах. Кроме того, со временем могут изменяться задачи, для которых они первоначально создавались. Поэтому весьма желательно, чтобы на СМЛ имелась возможность оперативной замены оборудования для исключения простоев СМЛ. Это накладывает определенные требования на конструктивные особенности аппаратуры. Так, например, за рубежом те же контейнеры для аппаратуры дистанционного зондирования уже давно имеют модульную конструкцию [22]. Это позволяет легко менять состав аппаратуры, производить ее отладку и проверку в полевых условиях, вне завода.

Таким образом, в процессе установки научного оборудования при создании самолета-лаборатории, все изменения касаются только внутренней и внешней части фюзеляжа. Все штатные системы энергопитания, связи, жизнеобеспечения, навигации, самолетовождения в процессе монтажа сохраняются или улучшаются.

### **Комплексы научной аппаратуры самолетов-лабораторий**

При всей важности выбора характеристик носителя и особенностей размещения исследовательской аппаратуры на СМЛ, эффективность использования самолетов-лабораторий определяется в основном составом приборов и методами измерений.

В обзорах [3, 4] комплекс научного оборудования СМЛ по функциональным признакам подразделяется на следующие группы:

- бортовые приборы для измерения физических характеристик окружающей среды (первичные преобразователи или датчики);
- средства регистрации и контроля работы датчиков (вторичные преобразователи);
- бортовые системы регистрации и обработки данных;
- аэрофотосъемочная и телевизионная аппаратура;
- дополнительное пилотажно-навигационное оборудование;
- вспомогательное оборудование.

В свою очередь, по целевому назначению измерительные комплексы подразделяются на следующие группы [3, 4]:

- термодинамические – для измерения средних значений и флуктуации метеовеличин (давление, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра) на высоте полета;
- облачные – для исследования микроструктуры облаков и осадков;
- радиолокационные и лазерные;
- радиационно-актинометрические;
- электрометрические, предназначенные для измерения напряженности электрического поля атмосферы, заряда самолета и т.п.;
- газоанализаторы.

Однако с момента выхода цитированных обзоров весьма существенно изменились интересы геофизиков, а соответственно направленность экспериментов и приборная база. Это в первую очередь касается следующих групп

Так, вместо приборов для исследования облаков уместнее говорить об аэрозольных комплексах, поскольку решение задач оптики атмосферы и контроля загрязнений привели к тому, что большая часть самолетных экспериментов проводится в ясных условиях. В результате на СМЛ появились фотоэлектрические счетчики, электростатические анализаторы, диффузионные батареи, расширившие диапазон измеряемых размеров частиц в меньшую сторону (до 1–3 нм). Таким образом, облачные приборы входят как составляющие в аэрозольные комплексы.

Прогресс в развитии лазерного и радиолокационного зондирования на СМЛ привел к тому, что они оформились в самостоятельные направления и проводятся на отдельных самолетах-лабораториях. В настоящее время имеются СМЛ, оснащенные только одним из видов активного зондирования, например, на ИЛ-18 ИПЭ РАН [23] используется несколько радиолокационных комплексов, а на F-106 NASA – только лазерный локатор [15]. Поэтому целесообразно разделение этой группы на две самостоятельных.

Это же касается и радиационно-актинометрической группы. В ней весьма интенсивное развитие за последние годы получила аппаратура для радиационных и микроволновых измерений, в то время как актинометрические приборы претерпели небольшие изменения. Наряду с радиолокационным и лазерным зондированием радиационное зондирование оформилось также в самостоятельное направление [24].

В предложенной классификации измерительных систем отсутствует группа приборов, которые все шире используются на СМЛ в последние годы. Это приборы, предназначенные для измерения оптических характеристик воздуха: нефелометры, позволяющие определять коэффициенты аэрозольного ослабления, массовую концентрацию взвешенных веществ, дальность видимости; спектрофотометры, фиксирующие оптическую толщину воздуха в разных спектральных интервалах; регистраторы прозрачности.

Следовательно, классификация [3, 4] должна в настоящее время уточняться и дополняться.

В табл. 2 приведены данные о наличии тех или иных измерительных систем в составе наиболее активно работавших и функционирующих в настоящее время самолетов-лабораторий.

Из табл. 2 следует, что ни один из самолетов-лабораторий, даже самый универсальный, не включает в себя все типы измерительных систем. Даже летный центр ЦАО, представленный совокупным оборудованием всех своих самолетов-лабораторий, не обладает всеми возможными системами. На каждом же конкретном СМЛ ЦАО набор датчиков и приборов существенно уже и определяется характером конкретного эксперимента (см., например, [25]).

Из представленных в табл. 2 комплексов наибольшее число групп приборов несут L-188 Electra (NASA) [26–29], WP-3D Orion (NOAA) [30], C-130 (Англия), [31, 32]. Приближается к ним по числу систем самолет-лаборатория ИОА СО РАН Ан-30 «Оптик-ЭМ» [33]. Остальные самолеты-лаборатории укомплектованы меньшим количеством приборов, что, очевидно, отражает их специализацию.

Две системы присутствуют на всех без исключения СМЛ, рассматриваемых в табл. 2. Это инерциальная навигационная система и метеосистема, измеряющая средние значения метеовеличин. Без первой, вообще говоря, самолет летать не может. Без второй, независимо от решаемых задач, невозможна корректная интерпретация данных. Не случайно, что измеряемые этими системами параметры вошли в перечень базовых, рекомендованных ВМО для самолетов-лабораторий, как многофункциональных, так и узкоспециализированных [34, 35].

Относительно мало в табл. 2 СМЛ, оснащенных лидарами. Уточним, что в таблице отражены только штатно установленные лидары. Фактически бортовых лидаров значительно больше» но они используются, как правило, в отдельных экспериментах, либо устанавливаются на самолет без другого научного оборудования и тогда вести речь о самолете-лаборатории вряд ли правомерно.

Кратко проанализируем характер приборов, входящих в состав перечисленных систем.

### **Пилотажно-навигационное оборудование**

На всех зарубежных СМЛ дальнего радиуса действия установлены инерциальные навигационные системы LTN-51 или LTN-72 [36]. Эти системы осуществляют измерение и дву-

кратное интегрирование линейных и угловых ускорений самолета и на этой основе расчет путевой скорости, угла сноса и счисление пути, а также измерение и дифференцирование углов тангажа, крена и курса. Системы включают в себя вычислительные машины, которые непрерывно выдают текущие координаты самолета и навигационные данные для вывода самолета в заранее заданные 8 точек маршрута. Для коррекции ошибок инерциальной навигационной системы, накапливающихся при многочасовых полетах (1,5 км/ч), на некоторых СМЛ устанавливается радионавигационная система OMEGA. Она использует фазовый метод измерения координат по 3 передающим станциям, работающим в диапазоне 10,2 ... 13,6 кГц. При этом точность повышения координат достигает 0,1 км. В последние годы на зарубежных СМЛ прошла испытания система GPS «NAVSTAR», использующая привязку по спутникам и позволяющая определять горизонтальные координаты с точностью до 5 ... 25 м и высоту полета ~ 15 м [37].

Таблица 2

Сводная таблица наличия измерительных систем на самолетах-лабораториях

Система	Тип	DC-6	WC-130B	KC-135	CV-990	L-188	WP-3D	Sabreliner	Queen Air	C-130	DC-7	Як-40	Cessna-202	C-131A	King Air	ER-2	DC-8	Caravelle 116	Falcon	Twin Otter	Cessna 404	ЛНИЦ ЦАО	Ил-14 ПТО	Ил-18 ДОР	Ан-30 ИОА
Навигационная	инерциальная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	ДИСС	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	н/у	н/у	н/у	н/у	+	н/у	н/у	+	+	+	+	+	+
	OMEGA	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	н/у	н/у	н/у	н/у	+	н/у	н/у	-	-	-	-	-	-
Метеосистема	средние	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	флуктуации	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Аэрозольный комплекс	облачные	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	водность	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
	чистые условия	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-
Газоаналитический комплекс	г/анализаторы	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+
	г/хроматограф	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+
	общее содержание	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Радиометрический комплекс (микроволновый)	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	
Оптический комплекс	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+
Лидар	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Акτιнометрия	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-
Электрометрия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Регистрация (ЭВМ)	+	+	н/у	+	+	+	+	н/у	н/у	н/у	н/у	+	н/у	+	н/у	н/у	н/у	н/у	н/у	н/у	н/у	+	+	+	+

Примечание: н/у – не указано.

На отечественных СМЛ обычно используется штатная навигационная система, не имеющая ЭВМ. Поэтому определяемое с ее помощью местоположение рассчитывается значительно грубее. Только на самолетах последних выпусков стали устанавливаться системы, подобные зарубежным. В последние годы разработана и начала использоваться система определения координат СМЛ по спутникам «Квиток». Однако данных о ее эксплуатационных характеристиках в общедоступной литературе найти пока не удалось.

Самолеты-лаборатории, как правило, имеют в составе навигационных систем доплеровские измерители путевой скорости и угла сноса. На отечественных – это ДИССы разных модификаций. За рубежом – Decca-Navigator. Данные доплеровских измерителей используются для определения местоположения и расчета скорости и направления ветра [38].

На тех СМЛ, где имеются бортовые системы регистрации, навигационные характеристики полета, наряду с данными измерения физических величин, заносятся в системе единого времени на долговременный носитель, что в дальнейшем существенно облегчает обработку данных.

## Измерители метеорологических величин

Как уже подчеркивалось, метеосистемы имеются на всех самолетах-лабораториях. Для этого используются как унифицированные приборы, так и экспериментальные образцы.

Измерения полного и статического давления на всех самолетах производятся с помощью приемников воздушного давления (ПВД), выполненных в виде трубок ПИТО и нагруженных на барокоробку [39]. Как правило, на каждом самолете устанавливается несколько ПВД для компенсации нарушений обтекания фюзеляжа при выполнении маневров. На отечественных самолетах ПВД нагружены на штатные датчики давления с аппаратурной компенсацией температурных отклонений по модели «стандартной атмосферы» [39]. Заканчивается система индикаторным прибором. Погрешность измерения отечественными системами составляет 1–2 мб [5]. Почти на всех зарубежных СМЛ после ПВД устанавливаются датчики фирмы Rosemount Inc. Их вторичные преобразователи подключаются к бортовому компьютеру, производящему осреднение данных, которые затем используются во всех расчетах. В зависимости от модификаций датчиков давления его значение определяется с погрешностью 0,5–1,0 мб.

Основным типом датчиков температуры воздуха на современных СМЛ являются термометры сопротивления с вихревой защитой. За рубежом – это платиновые датчики фирмы Rosemount Inc, установленные на Electra [26–29], WP-3D [30], Falcon [32] и ряде других. Они позволяют измерять температуру воздуха с погрешностью 0,5–1°. Иногда встречаются и термисторы, как например, датчик YSI/MP1 на СМЛ Cessna-206 [40]. В бывшем СССР самолетные датчики температуры серийно не выпускались. Поэтому на отечественных СМЛ используются экспериментальные образцы. Наиболее широкое применение нашел электротермограф ЦАО, установленный на нескольких СМЛ Госкомгидромета [41]. Он позволяет проводить измерения в диапазоне –70 ... +50°С с погрешностью ±0,4°С. Если же используются штатные датчики самого самолета, то по данным [42], погрешность измерений будет не менее +2°.

Для измерения влажности воздуха на зарубежных самолетах-лабораториях, как правило, используются конденсационные гигрометры или гигрометры точки росы, реже гигристоры. На отдельных СМЛ устанавливается 2 или 3 датчика водяного пара разных типов. Так, на СМЛ Falcon [43] установлены гигристор Vaisala HMP-11 и конденсационные гигрометры Normalair Garrat IDO-1, El. Res. Corp βLR. Надо отдельно отметить, что зарубежная промышленность предоставляет ученым широкий выбор гигрометров. Измеритель EG86 установлен на СМЛ Sabreliner [44], Cessna-404 [45]. На Queen Air используется Cambridge System-137 [46], на WP-3D General Eastern Inc [47]. В последние годы на зарубежных СМЛ широкое распространение получили оптические влагомеры ультрафиолетового диапазона, имеющие названия Лайман-Альфа. Они установлены на Electra [26], в качестве второго прибора на Cessna-404 [45], Sabreliner [36]. Гигристоры используются на Queen Air (ФРГ) [48] и Л-200В [49]. Погрешность измерения влажности указанными гигрометрами составляет 0,5–1 градус при постоянной времени 2–3 с. Кроме гигрометров, на многих зарубежных СМЛ установлены измерители флуктуации коэффициента преломления воздуха – микроволновые радиорефлектомеры, используемые для получения информации о пульсациях поля влажности.

Для бывшего СССР, в отличие от зарубежных стран, проблема измерения влажности на СМЛ является до сих пор нерешенной. Чаще всего на отечественных СМЛ используется датчик относительной влажности из животной пленки от радиозондов, который при отрицательных температурах становится малочувствительным [41]. Поэтому на СМЛ, как правило, эксплуатируются экспериментальные комплексы или лабораторная техника, как, например, гигрометры «Волна», «ГС-210» на Ил-14 ГГО [50]. И, по-видимому, прогресса в ближайшее время не предвидится.

По данным, обобщенным в [3], ранее на самолетах-лабораториях L-188, WP-3D, Sabreliner, Queen Air, C-130 для измерения турбулентных характеристик использовалась система регистрации порывов Gust Probe разработки NCAR. Система включает в себя датчики: ускорений, мгновенных углов атаки и скольжения набегающего потока (заторможенные или свободные флюгарки), полного и статического давлений, температуры и коэффициента преломления воздуха. Все датчики на специальной штанге выносятся вперед, в невозмущенный поток перед носовой частью фюзеляжа. Исключением являются датчики ускорений, расположенные внутри штанги. Система имеет свой вычислительный блок, куда поступает информация от ее датчиков и датчиков пилотажно-навигационного комплекса: гировертикали,

курсового гироскопа, инерциальной или доплеровской навигационных систем, датчиков давления. Cust Probe позволяла регистрировать флуктуации всех компонентов скорости воздуха, температуры и влажности в частотном диапазоне от 0,02 до 10 Гц. Впоследствии эта система начала заменяться на более современные: DISA Triaxial R91 на Falcon [27], Rosemount Inc. – Sabreliner [44]. На отечественных СМЛ используются экспериментальные образцы: АСТА в ЛНИЦ ЦАО [4, 5]; ТУЗ-1, БОРТ-1 на Ил-14 ГГО [50]. Эти комплексы позволяют поднять частотный диапазон регистрации до 100 Гц и повысить точность измерения флуктуации метеовеличин.

Скорость и направление ветра на СМЛ определяются расчетным методом, в котором источником информации выступает сам самолет [51]. Из анализа поля скоростей летящего самолета следует, что вектор его скорости относительно воздушной массы (истинная воздушная скорость  $V$ ) и вектор скорости воздушной массы относительно земли ( $v$ ) составляют в сумме скорость самолета относительно земли ( $w$  – путевую скорость), так называемый навигационный треугольник. Для измерения воздушной скорости самолета  $V$  используются различные методы. Тем не менее как на отечественных, так и зарубежных СМЛ преимущественно используется манометрический метод [52, 53], который требует исправления измеренного значения на сжимаемость воздуха. Измерение вектора путевой скорости  $w$  на отечественных и зарубежных самолетах производится, как уже отмечалось, с помощью доплеровских систем [38]. По известным  $V$  и  $w$  легко рассчитывается вектор  $v$ . Достигнутая к настоящему времени точность определения характеристик ветра зависит в основном от типа применяемого пилотажно-навигационного оборудования и колеблется от 0,05 до 2° по направлению и от 0,01 до 3 м/с по скорости [5, 54].

#### **Аэрозольные комплексы**

Самолетные комплексы для исследования атмосферного аэрозоля включают в себя, как правило, набор устройств и приборов, которые позволяют измерять массовую и счетную концентрацию частиц, их химический, дисперсный состав и морфологию в облачных и ясных условиях. Для этого используются как оперативно работающие приборы, так и всевозможные отборники проб, требующие впоследствии лабораторного анализа. Не останавливаясь на особенностях корректности отбора проб с борта самолета, так как это тема отдельного большого обзора, здесь рассмотрим только наиболее часто применяемые приборы и устройства.

Для измерения счетной концентрации и дисперсного состава (вне облаков) на зарубежных СМЛ используются, как правило, фотоэлектрические счетчики серии ASASP, ASSP, FSSP различных модификаций. Счетчики этой серии установлены на Queen Air [34], WP-3D [30], C-130 [31], Fokker-27 [55]. Развитое производство подобных приборов за рубежом позволяет использовать на СМЛ и другие приборы. Так, на СМЛ Cessna-206 применялись счетчики TSI-3030 и Royco-218 [46], на DC-6 – Mee Inc [34], на Cessna-404 – RION KC-01 [45]. На отечественных СМЛ для этих целей используется обычно счетчик АЗ-5 или его модификации [41].

Для определения химического состава и морфологии частиц на СМЛ устанавливаются всевозможные отборники, позволяющие проводить концентрирование аэрозоля на фильтрах или подложках для последующего анализа на земле. Как правило, вся эта техника носит экспериментальный характер и изготавливается в одном или нескольких экземплярах. Наиболее часто для этих целей на отечественных СМЛ используются фильтры из ткани ФПП-15 серии АФА-ВП, ХА, ХП разных размеров. На зарубежных применяются ткани Nylon; Millipore, Whatman-40, 41. Для их анализа на земле используются самые совершенные аналитические методы.

Аэрозольные самолетные исследования начинались с его облачных форм. Поэтому в настоящее время для этих целей разработано большое количество различных приборов [41]. Однако в этой области имеется безусловный лидер – фирма Particle Measurement Systems (PMS) США, системы которой установлены почти на всех зарубежных СМЛ. Поскольку в комплекс PAIS входит несколько приборов, то данная система решает полностью проблему измерения дисперсного состава аэрозоля в диапазоне размеров 3 ... 4500 мкм.

На отечественных СМЛ используется в основном экспериментальная техника: Аспект-10, 11; Аэлита, разработки ИЭМ [41]; ИРЧ, Арагац 751М, Аэрозоль, разработки ВГИ [25].

Немаловажное значение в процессе исследования облачного аэрозоля имеет измерение ядер конденсации и ледяных кристаллов. Для этого используются счетчики Rich-100 (Cessna-206) [34], General Electric 112L (WP-3D) [30]; Johnson–Williams (C-130) [31], UW-IPC (C-131A) [57], САЛЯ-2 (Як-40) [25] и Кристалл (Як-40) [58].

Важной характеристикой физики облаков является водность. Для ее измерения разработано несколько методов: термоэлектрический [59], оптический [60], весовой [61], по спектру облачных капель [62], метод намораживания [62], радиометрический [41], капиллярный [63]. Однако в самолетном зондировании наиболее широкое применение нашел метод горячей проволоки, основанный на учете тепла, затрачиваемого на испарение осевшей на проволоку воды [64]. Этот метод реализован в датчике водности Johnson–Williams, выпускаемом корпорацией «Cloud Technology» (США), установленном практически на всех зарубежных СМЛ. Исключение составляет Sabreliner [36], на котором используется датчик PMS-King. Датчик Джонсона–Вильямса хотя и не обладает высокой точностью и чувствительностью ( $0,2 \dots \dots 6,0 \text{ г/м}^3$ ), зато прост, надежен и выпускается серийно. На методе горячей проволоки основаны также измерители водности ДИВО-1; 1Л; 3; 3Л, разработанные в ВГИ И.В. Молокановым [41], имеющие пороговую чувствительность  $0,003 \text{ г/м}^3$  и погрешность 10%, а также датчики водности СЭИВ-3, ПВО ЦАО, установленные на нескольких СМЛ Роскомгидромета [4, 25, 50, 58].

### Газоаналитические комплексы

Исследования газового состава с борта самолета началось относительно давно. Интенсивное же развитие этот вид зондирования получил в последние 15–20 лет в связи с проблемами загрязнения воздуха, климатических изменений за счет тепличного эффекта, последствием образования «озоновых дыр» над полюсами и т.п. Поэтому в области самолетного газоанализа нет такого числа бортовых комплексов, как, например, по проблеме облачного аэрозоля.

Так, из данных табл. 2 видно, что в составе многих СМЛ этот вид приборов отсутствует. Из имеющихся можно отметить установку LS-400, Mod. 8440 и RFM на Cessna-206; Dacom и Beckman-865 – Electra; 1003-АН, Dassibi – WP-3D; Kok Inc., Monitor Labs–King Air [65]; ГКП-1 – ЛНИЦ ЦАО; 3-ОП, ГИАМ-15–Ан-30 ИОА СО РАН. Из приведенного перечня следует, что оперативный газоанализ на СМЛ проводится по небольшому количеству компонентов воздуха.

Другим направлением развития газоаналитических исследований на СМЛ является применение классических химических методов с предварительным отбором и концентрированием газов на борту (непрямые методы). Наиболее широкое применение из них получили масс-спектрометрический и газохроматический методы, а также их сочетание: хромато-масс-спектрометрический метод [66]. Эти методы позволяют определять содержание некоторых газов, когда их концентрация составляет несколько сотен атомов на литр [67]. Одним из важнейших моментов применения непрямых методов на борту СМЛ является отбор проб воздуха без искажений, чему посвящен обстоятельный обзор [68], и концентрирование газов [69]. Для отбора проб воздуха чаще всего используют обычный отбор в контейнеры или пробоотбор, совмещенный с концентрированием: абсорбцию – поглощение примесей растворителем, криогенное концентрирование или адсорбцию на твердых сорбентах. При определении сложных смесей, типа полициклических ароматических углеводородов, их предварительно выделяют на тонкопористых фильтрах или комбинируют фильтрацию, импрегнирование и сорбцию. Важным моментом газоанализа при непрямых методах является десорбция. Чаще всего применяются илюирование, термодесорбция, вакуумная десорбция, десорбция паром и растворение. Процедура извлечения примесей после концентрирования, их десорбция, многочисленные операции обработки концентрата вносят наибольшую систематическую погрешность в результаты определения концентрации газов, примерно 2/3 от общей [70].

Из экспериментальных методов, опробованных на борту самолета, можно отметить следующие: оптический (спектроскопический); лазерную флуоресценцию; метод дифференциального поглощения; масс-спектрометрический и электрохимический. Согласно [71] с помощью оптического метода на СМЛ достигнута чувствительность 1 ppb для формальдегида ( $\lambda = 239,7; 326,1; 339 \text{ нм}$ ); лазерная флуоресценция применялась для оперативного контроля альдегидов в полосе 320–345 нм и достигнут предел обнаружения 10 ppb; метод дифференциального поглощения реализован для контроля NO, NO<sub>2</sub> и HNO<sub>3</sub> в диапазоне 2–15 мкм при пороге 1–2 ppb; масс-спектрометрия с химической ионизацией при атмосферном давлении дала возможность определять альдегиды с борта самолета на уровне единиц ppb; лучшая чувствительность электрохимических методов, достигнутая на СМЛ, составляет 0,3–5 ppb при погрешности  $\pm 5\%$ .

Однако, несмотря на интенсивное развитие методов газоанализа на СМЛ, основные данные по газовому составу воздуха получены пока с помощью непрямых методов. В этом убе-

ждают и результаты программы GTE/CITE-2, выполненной NASA по интеркалибровке газо-аналитической аппаратуры на СМЛ Electra [29], в ходе которой лучшие характеристики достигнуты с помощью непрямых методов.

### **Актинометрические комплексы**

На большинстве зарубежных самолетов--лабораторий установлена аппаратура для измерения интегральных полусферных потоков радиации, нисходящих и восходящих. Для этой цели используются стационарные пиранометры и пиргелиометры Eppley разных моделей. На C-130, C131-A, Electra установлены PIR и Mod. 2, на Sabreliner – PSP и PIR. Они работают в спектральных интервалах 0,2 ... 3 мкм и 4 ... 50 мкм. Исключение составляет King Air, на котором установлен LI-COR.

Из отечественных самолетов-лабораторий актинометрическим оборудованием оснащены только СМЛ ЛНИЦ ЦАО, и ранее такая аппаратура устанавливалась на СМЛ ГГО Ил-18 [72]. Однако регулярных актинометрических исследований с борта отечественных самолетов-лабораторий не проводилось.

### **Радиометрические комплексы**

К радиометрической аппаратуре, кроме собственно радиометров, можно условно отнести разнообразные спектрофотометры и микроволновые устройства, использующие тот же принцип измерения (табл. 3).

Радиометры, устанавливаемые на борту самолета-лаборатории, предназначаются для измерения радиационной температуры подстилающей поверхности или верхней кромки облаков. Они работают обычно в окне прозрачности атмосферы 9 ... 11 мкм. На зарубежных СМЛ применяются радиометры типа Barnes. Например, на Electra используется PRT-5 и сканирующий PRT-6; на Sabreliner-Barnes 14-325. Данных о спектрофотометрах и микроволновых устройствах на зарубежных СМЛ выявить не удалось. Исключение составляет лишь программа Годдардовского центра космических полетов США, опубликованная в [10], по которой должно было быть создано большое семейство подобных устройств. Однако о результатах ее выполнения пока не сообщалось.

Отечественные СМЛ укомплектованы этим типом оборудования значительно шире, о чем свидетельствуют данные табл. 3. Часть из этих комплексов носила экспериментальный характер, другая использовалась для картирования спектральных характеристик земной поверхности, для измерения ее радиационной температуры.

В табл. 3 не вошли приборы, установленные на СМЛ для метеорологических исследований. К ним относятся ИКРА и ТЕТА, используемые летным центром ЦАО [4], ИТ-3 – Ил-14 ГГО [6, 50].

### **Электрометрические измерители**

Кроме самолета-лаборатории C-160 (Франция), предназначенного для исследования молний [75], других СМЛ или отдельно установленных приборов в зарубежной литературе выявить не удалось.

На отечественных самолетах-лабораториях этот тип приборов представлен в основном экспериментальными устройствами, разработанными в ГГО: измеритель напряженности поля – ПНП, измеритель тока – ИТ [4].

В целом же в последние годы этот вид измерений с применением самолетов-лабораторий почти не выполнялся.

### **Оптические приборные комплексы**

Эти приборы находят все более широкое применение в самолетном зондировании атмосферы. Так, с помощью Фурье спектрометра NCAR, ультрафиолетового спектрофотометра NASA, установленных на DC-8 [76], солнечного спектрофотометра Eppley и спектрофотометра NCAR, смонтированных на Electra [26–29], удалось получить уникальные данные о содержании малых газовых компонентов в стратосфере в области «озоновой дыры» [77, 78].

Широкое применение на зарубежных СМЛ находят нефелометры: MR-1550 на Cessna-206, Meteorol Research Inc Mod. 1591 на WP-3D и Queen Air.

Таблица 3

## Характеристика радиометрических и микроволновых комплексов самолетов-лабораторий

Тип самолета, принадлежность, ссылка	Назначение (наименование) прибора	Тип, фирма	Измеряемые характеристики	Длина волны, частота	Диаграмма, апертура	Чувствительность, порог, диапазон	Пространственное разрешение	Угол наблюдения от надира	Сканирование	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ил-18, ИРЭ РАН, НПО «Взлет», Россия [23]	Блок надирных трассовых радиометров:	P-11	Характеристики подстилающей поверхности	11 см	26°	0,4 К/с	2,7 км	0	–	
		P-21		21 см	26°	0,4 К/с	2,7 км	0	–	
		P-80		8 мм	4°	0,5 К/с	0,4 км	0	–	
		P-135		1,35 см	6°	0,5 К/с	0,6 км	0	–	
		P-225		2,25 см	9°	0,1 К/с	0,9 км	0	–	
		P-27		27 см	26°	0,4 К/с	2,7 км	0	–	
		Сканирующие радиометры		CP-80	8 мм	1,5°	0,5 К/с	0,12 км	–	–
	CP-135		1,35 см	2°	0,4 К/с	0,16 км	–	–		
	CP-225		2,25 см	2°	0,4 К/с	0,16 км	–	–		
	«Дельта»		–	–	–	–	–40°	–		
	РП-08		8 мм	6°	0,1 К/с	0,6 км	+42°	–		
	РП-225		2,25 см	9°	0,2 К/с	0,9 км	+42°	–		
	РСА11В22		10 см	4×40°	–	20–25 м	45°	–		
	Радиовысотомер Аэрофотосъемка	«Гребень»	2,25 см	1,5°	–	0,1 м	0	–		
–		–	41°	–	7–10 м	0	–			
Ил-14, ЛПИ, ГГО Санкт-Петербург, Россия [73]	СВЧ-радиометрический комплекс		Влажность грунта	95 МГц	–	0,15 К/с	–	–	–	
				370 МГц	–	0,08 К/с	–	–	–	
Ил-14, ИАФА, Эстония, Тарту [74]	Программируемый измеритель индикатрис	ПИИ-1	Оптические характеристики подстилающей поверхности	481(12.5) нм	3°	–	–	75°	Шаг – 3° Скорость 120 шаг/с	
				553(3.5) нм	3°	–	–	75°		
				667(22.7) нм	3°	–	–	75°		
				759(10) нм	3°	–	–	75°		
	Регистрация	«Электроника-60»								

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ан-2, ВНИИСХМ, НПО «Селекционная техника», Россия [9]	Фотометрический ком- плекс	СКФА	Спектральная яркость почвен- но-растительных объектов	0,40 мкм 0,45 мкм 0,50 мкм 0,55 мкм 0,60 мкм 0,67 мкм 0,70 мкм 0,75 мкм 0,78 мкм 0,84 мкм 0,90 мкм 1,0 мкм 1,05 мкм 1,1 мкм 1,2 мкм 1,25 мкм	23,5±0,5°	–	–	–	0,5 с по каждому каналу	
	Регистрация	ДЗ-28								
– ИРЭ АН, Украина [16]	Радиофизический ком- плекс: РЛС бокового обзора;сканирующий радиометр	–		3 см 8 мм	–	1,5 К	45×70 м	–	–	Поляризация верти- кальная – В, горизонтальная – Г
		–			–	0,3 К	500×500 м	–	–	
– ИКИ РАН, Россия [17]	Радиофизический ком- плекс	Радиометр	Гидрофизические характеристики поверхности	0,3 см 0,8 см 0,8 см 1,5 см 1,5 см 8 см 18 см 2 см 0,8 см 1,5 см 0,3 см 0,8 см 1,35 см 11 мкм	9° 9° 9° 9° 9° 15° 25° 6° 9° 9° 9° 9° 15° 15° 8°	0,25 К 0,1 К 0,2 К 0,15 К 0,2 К 0,1 К 0,1 К 0,03 К 0,2 К 0,2 К 0,3 К 0,3 К 0,2 К 0,05 К	– – – – – – – – – – – – – – –	0 0–80° 0–80° 0–80° 0–80° 0 0 0 0 0 180° 180° 180° 0	– – – – – – – – – – – – – – –	В В Г В Г В В В, Г – – – В В В В

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ан-30, ИОА СО РАН, Россия [33]	Радиометрический комплекс	Спектрофотометр	Оптические харак- теристики поверх- ности	440 нм 487 нм 551 нм 630 нм 670 нм 1060 нм 1221 нм	0,4°	–	–	0–90°	20°/с	–
		Радиометр	Радиационная температура	1620 нм 8,1 мкм 9,1 мкм 10,2 мкм 12,1 мкм 14,8 мкм	1,0°	150–320°K	–	0–90°	20°/с	–
Ил-18 Г ГО, Россия [13]	Микроволновый ком- плекс		Радиационная температура	0,8 см	1,0°	2 К	–	+50°	–	Г
				0,8 см	1,2°	0,1 К	–	+30°	–	В, Г
				1,35 см	1,2°	1,0 К	–	+50°	–	Г
				1,6 см	1,6°	1,5 К	–	+50°	–	Г
				1,9 см	–	1,2 К	–	0	–	Г
				2,1 см	–	0,03 К	–	+45°	–	В
				2,45 см	–	0,8 К	–	0	–	Г
				3,2 см	2,8°	0,2 К	–	+30°	–	В, Г
				5,0 см	–	0,1 К	–	30°	–	Г
				5,0 см	–	0,8 К	–	0	–	В, Г
				5,0 см	3,5°	0,8 К	–	0	–	В, Г
				8,5 см	6,1°	2,0 К	–	20°	–	В, Г
				11,5 см	–	0,1 К	–	20°	–	В, Г
				14,0 см	–	0,1 К	–	20°	–	В, Г
				18,0 см	–	0,1 К	–	0	–	Г
				21,0 см	–	0,5 К	–	0	–	Г
35,0 см	–	0,5 К	–	0	–	Г				

Т а б л и ц а 4

## Основные характеристики лидаров, установленных на самолетах-лабораториях

Лидар	Назначение	Лазер	$\lambda$ , мкм	$f$ , Гц	Длительность импульса, нс	Приемная оптика, мм	Расходимость, мрад	Мощность, энергия	СМЛ	Ссылка	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Марк-5 (Стенфорд. ин-т)	аэрозоль	стекло с неодимом	1,060	20,0	12	150	0,3	50 мВт	WC-130B	[84]	
ЛР-2	облака	рубин	—	—	—	МТО-1000	—	—	Ил-18	[85]	поляризация
ЛР-3 (ЦАО)	—»—	гранат	0,532	—	15	МТО-1000	0,3	10 мДж			
(NASA)	аэрозоль	родамин RBL	0,585	—	500	200	—	0,4 Дж	Electra	[86]	
(NASA)	аэрозоль	рубин	0,6943	0,1	20	380	—	1 Дж	—	[87]	
(NASA)	облака	гранат	0,532	5,0	8	180	1,0	50 мДж	—	[88]	поляризация    и $\perp$
ALPHA-1	аэрозоль	гранат	1,06; 0,532	10,0	15	350	2,0	100 и 20 мДж	Queen Air	[88-90]	
ALARM	и газы	CO <sub>2</sub>	10,60	—	—	—	—	—			
(NASA)	аэрозоль	рубин	0,6943	1,0	30	360	1,0	1 Дж	P-3A	[91]	работа в зенит
ALEX-F	аэрозоль	NT-672	0,532; 1,06	10,0	—	350	2,0	120 и 400 мДж	—	[92]	
Speiclab	аэрозоль	стекло	1,06	—	10	450	—	0,1 Дж	—	[93]	
(NASA)	аэрозоль и O <sub>3</sub>	Jobin Yvon	0,286; 0,300; 0,600	10,0	—	350	—	0,35 Дж	—	[94]	
Светозар	облака	рубин	—	0,1	—	100	1,0	—	Ил-14	[95]	поляризация линейная
Светозар-2	аэрозоль	стекло	—	0,3	30	200	—	0,15 Дж	Ил-18ДОРР	1,0	—»—
Светозар-3	—»—	рубин	0,532	—	15	3×100	—	0,01 Дж	Ан-30	1,0	линейная или циркулярная
ИО РАН	облака	—	0,530	—	15	МТО-500	7,0	—	—	[96]	
Л-1М	аэрозоль	—	0,530	0,1	30	210	1,3	0,5 Дж	—	[97]	
ИФ БКА	—»—	—	1,060	—	—	300	—	0,06 Дж			
ИК-лидар (NCAR)	аэрозоль	CO <sub>2</sub> (2 режима)	—	—	130	300	—	0.3 и 0,21 Дж	King Air	[98]	
AOL (NASA)	океанография	неон	0,5401	400	7	300; 300	—	2 кВт	C-54	[99]	сканирование
AOL-модифиц. (NASA)	—»—	N <sub>2</sub> ; Nd:YAG; CO <sub>2</sub>	0,337; 0,532; 9,500	200; 6,25; 2	10; 15; 100	180	2,6; 0,4-4,0; 2,0	0,3 Дж	P-3A	[100]	
WRELADS-2 (Австралия)	—»—	гранат	1,064; 0,532	168 или 84	7 и 5	180	—	5 мДж	F-27	[101]	
CCRS (Канада)	—»—	NT-462	0,532; 1,064	10	5	—	—	10 и 15 мВт	Twin Otter	[102]	
Чайка (ИОФАН)	—»—	гранат с усилит.	0,532	10	—	300	—	50–100 мДж	Ан-30	[103]	

Продолжение таблицы 4

(Канада)	—»—	N <sub>2</sub> ; Ne	0,3371; 0,5401	1–100	9 и 3	–	13 и 26	140 и 20 кВт	–	[104]
	—»—	N <sub>2</sub>	–	–	3	–	1,0	1 мДж	–	[105]
(Италия)	—»—	YAG (3-гарм.)	0,355	–	2	–	0,1	50 мДж	–	[106]
(ФРГ)	—»—	эксимер краситель	0,308; 0,450; 0,533	2	6	400	–	10 и 1 мВт	–	[107]
(ФРГ)	—»—	краситель	–	–	3000	200	–	1 Дж	–	[108]
DIAL (NASA)	аэрозоль, O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	Electra	[109]
(Япония) Коопе- рация	аэрозоль	CO <sub>2</sub> (2 лазера)	9,0–11,0	–	–	300	–	0,3 Дж	B 727	[110]
DIAL (NASA)	O <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , P, T, H <sub>2</sub> O	–	0,727; 0,940	10	–	1250	–	0,5 Дж	ER-2	[111]
(МИФИ)	CH <sub>4</sub> , трубо- проводы	CO <sub>2</sub>	0,9217; 0,9228	–	–	–	–	–	–	[112]
(NCAR)	ветер	CO <sub>2</sub>	10,800	–	–	–	–	–	CV-990	[113] гетеродинный
(Univ. Colorado)	аэрозоль, газы	Nd : YAG	1,064	2	–	14 дюйм	2,0	0,1 Дж	C-131A	[114]
DIAL (NASA)	P, гравит. волны	александрит	0,725–0,790	10	100	400	–	0,1–0,15 Дж	Electra	[115]
(NASA)	аэрозоль	Nd:YAG+CH-яч.	1,064; 1,540	–	–	400	–	–	ДС-8	[116] зенит, надир
(Франция)	аэрозоль	Nd:YAG	1,064; 0,532	10	10	300	–	130 и 80 мДж	F-27	[117] поляризация линейная
(ФРГ)	аэрозоль, H <sub>2</sub> O	Nd:YAG	0,720	10	–	400	30	–	Falcon	[118]
(ГГО)	аэрозоль	–	0,690	–	30	–	–	–	Ил-18; ЯК-40	[119]
LATAS (Univ. Alabama)	аэрозоль, ветер	CO <sub>2</sub>	10,590	–	–	150	–	1,5 Вт	C-131	[120] поляризация линейная

На отечественных СМЛ подобные приборы почти не используются. Можно указать на применение регистратора прозрачности облаков РП-73 на Як-40 УкрНИГМИ [58] и ЛНИЦ ЦАО [4].

### **Бортовые лидарные комплексы**

Вопросам применения лазерного зондирования для исследования атмосферы и подстилающей поверхности посвящено много работ (см., например, [15, 79–82]). В некоторых из них затрагиваются проблемы лидарного зондирования с борта самолета. Однако сведения, содержащиеся в них, не позволяют составить целостное представление о состоянии дел в этой области. Пробел в этом направлении в значительной степени компенсируется обзором И.В. Самохвалова и В.С. Шаманаева [83]. По данным этого обзора, с учетом более поздних публикаций, составлена табл. 4, в которой собраны сведения о лидарах, использовавшихся или штатно установленных на самолетах-лабораториях для зондирования атмосферы или подстилающей поверхности.

Из табл. 4 видно, что большая часть бортовых лидаров предназначена для зондирования атмосферного аэрозоля и облаков. Достаточно много лидаров создано для решения гидрографических задач: определения загрязнения водной поверхности, в том числе и параметров нефтяной пленки; оптических свойств верхнего океана; наличия в нем гидрозоля и планктона; измерения высоты ветровых волн. Имеется несколько лидаров для зондирования метеопараметров, включая влажность воздуха. Начали разрабатываться лидары для зондирования газового состава воздуха.

На наш взгляд, данные табл. 4 свидетельствуют о том, что самолетное лазерное зондирование начало переходить из области экспериментальных работ в область практического применения не только в научно-исследовательских, но и в народнохозяйственных целях.

### **Бортовые системы регистрации информации**

От совершенства методов обработки и накопления информации во многом зависит эффективность применения самолетов-лабораторий. В зависимости от способа решения ими поставленной задачи все типы систем регистрации можно разделить [5] на узкоспециализированные и многофункциональные; по построению: на индивидуальные и централизованные и т.д. Не вдаваясь в подробности технологии построения систем регистрации, рассмотрим лишь конкретные виды их реализации.

В [121] приводится описание бортовой системы ARIS-III, которая устанавливается на СМЛ Sabreliner и DC-5 Buffalo. Входной интерфейс системы включает в себя 40 входных аналоговых каналов ( $\pm 5В$ ), параллельный 72-разрядный входной регистр разовых команд, канал приема последовательных цифровых кодов, 4 входа для приема сигналов с сельсинов. ARIS-III снабжена высокоскоростным интерфейсом связи с навигационной системой и интерфейсом связи с бортовым ИБК ADARS. Регистрация информации осуществлялась на 7-канальный магнитный накопитель. Для наземной обработки была создана система на базе ЭВМ типа IBM.

Кроме того, на тех же СМЛ установлена универсальная система сбора и регистрации данных ADARS [122]. Она предназначена для обработки данных системой ARIS-III с дополнительными функциями расчета пилотажно-навигационных и метеорологических данных, отображения и подготовки к передаче по телеметрическому каналу, реализуемому компьютером ROLM-1601. Периодичность опроса системы ARIS-III составляет 2 с. При этом на вход ADARS поступает 32 значения измеряемых величин. С помощью видеотерминала оператор может быстро вводить кодированные результаты визуальных наблюдений для записи на магнитную ленту.

На самолете-лаборатории L-188 Electra установлена система регистрации EDMS [123]. Она построена по магистрально-модульному принципу. Основу системы составляют 2 компьютера с оперативной памятью 16 Кбайт слов каждый. Первый служит для сбора и обработки информации, второй – для подготовки выходных массивов, для управления внешними устройствами. Для связи с источниками измерительной информации EDMS имеет 50-канальный АЦП, пятиканальный преобразователь последовательных кодов в параллельный; 10-канальный преобразователь частота/код; 8-канальный 2-байтовый параллельный буфер с адресной вы-

боркой. Для связи с инерциальной навигационной системой OMEGA предусмотрены входные и выходные интерфейсы связи.

На СМЛ серии King Air установлен универсальный информационно-вычислительный комплекс CADS [124]. На общей шине стандарта Intel Multibus собрана система из 4-х процессоров. К двум из них подключаются 2 накопителя на магнитной ленте, инерциальная навигационная система LTN-76, а также до 16 датчиков с аналоговыми выходами (0–10 В) и 4 последовательных канала с частотой импульсов 100 Гц. Ко второй паре процессоров подключается бортовой доплеровский локатор и четыре счетчика Кнолленберга. В CADS имеется 3 центральных процессора Intel-8086 CPV, работающие параллельно. Один из них, главный, выполняет функции сбора и обработки данных измерений и визуализации результатов на экране дисплея, производит программное тестирование узлов комплекса. Второй процессор предназначен для обработки радиолокационной информации, составления и отображения комбинированных изображений. Третий – производит расчет спектров облачных частиц и их двумерное изображение на экране дисплея. Суммарная по всем каналам максимальная скорость приема информации системой CADS составляет 92000 байт/с.

В [125, 126] кратко описана система регистрации СМЛ С-131А Вашингтонского университета. Она собрана на базе IBM PC-2 и имеет 16 аналоговых входов (+5В), 32 дискретных (TTL) канала. Опрос датчиков осуществляется с частотой 10 Гц. Накопитель информации имеет емкость 67 Мбайт, объема которого хватает на 18,2 полетных часа. Система снабжена термопринтером HP2671G, позволяющим распечатывать 120 знаков в секунду текстовой информации и 90 точек в секунду графической.

На отечественных самолетах-лабораториях системы регистрации являются наиболее слабым звеном бортовых измерительных комплексов. Так, на Як-40 УкрНИГМИ еще недавно использовались оптические самописцы серии К [58], на ИЛ-14 ГГО – Искра-1256 [6], Ил-14 ИАФА (Эстония) ДЗ-28 [74]. Поэтому можно считать прогрессом разработанную в ЦАО систему БАРС [5], которая базируется на более современной ЭВМ. И лишь в самое последнее время на отечественных СМЛ стали использоваться ЭВМ типа IBM [33].

Подводя итог работе в целом, отметим, что даже в очень большой статье вряд ли удастся осветить все аспекты самолетного зондирования. Кроме того, задача усложняется тем, что многие вопросы этой многосторонней проблемы освещаются в ведомственной литературе, имеющих небольшие тиражи и, как правило, малоизвестной в широких научных кругах. Поэтому настоящий обзор является попыткой максимального охвата информации по всем направлениям применения самолетов-лабораторий в геофизических целях, что, естественно, требовало выделения наиболее характерных деталей. Можно надеяться, что он будет полезен тем, кто хочет познакомиться с проблемой в целом или определить свое место среди подобных исследований.

1. Зайцев В. А., Ледохович А. А. Приборы и методика исследования облаков с самолета. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 175 с.
2. Зайцев В. А., Ледохович А. А. Приборы для исследования туманов и облаков и измерения влажности. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 255 с.
3. Мельничук Ю. В., Невзоров А. Н., Шур Г. Н. //Метеорология и гидрология. 1980. № 2. С. 112–119.
4. Бабарыкин В. К., Гракович В. Ф., Григорьев Л. Ф. и др. Оборудование самолетов-метеолaborаторий и методы обработки измерительной информации. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. Сер.: Автоматизация сбора и обработки гидрометеорологической информации. 1981. Вып. 1. 48 с.
5. Литинецкий А. В. Разработка самолетной аппаратуры для получения данных о температуре и ветре в реальном времени. Дисс. ... к. т. н. Долгопрудный: ЦАО, 1989. 245 с.
6. Синькевич А. А. Создание комплекса самолетной метеорологической аппаратуры, разработка методики ее применения и результаты экспериментальных исследований облаков. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. С.-Петербург: ГГО, 1992 27 с
7. Douglas M. W. //Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1990. V. 71. P. 1746–1757.
8. Мелешко Е. Е. Спектрофотометрические исследования природных покровов Земли. Л.: Наука, 1978. С. 34–38.
9. Самсонов Ю. Е., Швейдель М. И., Кульчицкий А. П. и др. //Труды ВНИИСХМ. 1984. Вып. 14. С. 92–99.
10. Serafin R. J., Szejwach G., Phillips B. B. //J. Geophys. Res. 1986. С. 91. № 2. P. 2510–2516.
11. Михайлов В. В., Войтов В. П. //Проблемы физики атмосферы. 1969. Вып. 7. С. 175–181.
12. Волков А. В., Кабанов Д. М., Сакерин С. М., Турчинович С. А. // Аппаратура дистанционного зондирования параметров атмосферы. Томск: Изд-во ТФ СО АН СССР, 1987. С. 71–81.
13. Кондратьев К. Я., Мелентьев В. В., Назаркин В. А. Космическая дистанционная индикация акваторий и водосборов. С.-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. 248 с.

14. Фридман Ш. Д., Коломеец Е. В., Пегоев А. Н. и др. Мониторинг влагозапасов в снеге, почвах, ледниках по естественным проникающим излучениям. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 264 с.
15. Орлов В. М., Самохвалов И. В., Белов М. Л. и др. Дистанционный контроль верхнего слоя океана. Новосибирск: Наука, 1991. 149 с.
16. Кириленко А. С., Крыжановский В. В., Кулешов Ю. А. и др. //Препринт ИРЭ АН УССР. 1986. № 321. 39 с.
17. Эткин В. С., Алексин Б. Е., Анискович В. М. и др. //Препринт ИКИ АН СССР, 1987. № 1279. 43 с.
18. Барахтин В. Н., Котельников В. К. //Труды ЗСРНИГМИ, 1976 Вып. 24. С. 12–17.
19. Горин Г. С., Супрун М. Д., Дрожжин В. В., Кошурников С. А. // Труды ГосНИИ-ЦИПР, 1989. Вып. 38. С. 116–122.
20. Мирмович Л. А., Орлов К. Я., Пархимович В. А. //Труды УкрНИГМИ, 1979. Вып. 170. С. 123–126.
21. Беляев В. П., Дмитриев В. К. //Труды ЦАО, 1977. Вып. 128. С. 93–101.
22. Алексеев С. А. //Зарубежное военное обозрение. 1983. № 12. С. 59–65.
23. Самолетный комплекс для исследования природных ресурсов, экспертизы чрезвычайных и экологических ситуаций. //Проспект МОМКАГЭ, 1991. 16 с.
24. Васильев О. Б. Спектральные коротковолновые потоки и яркости в атмосфере. Дисс. ... д. ф. н. Л.: ЛГУ. 1987. 387 с.
25. Мяконький Г. Б., Тлисов М. И., Федченко Л. Д. //Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий. Л.: Гидрометеоздат, 1991, С. 77–84.
26. Folt R. L. //Atmos. Technol. 1973. V. 3 № 1. P. 16–17.
27. Nicholls S., Shaw W., Hauf T. //J. Clim. and Appl. Meteorol. 1983. V. 22. № 9. P. 1637–1648.
28. Garstang M., Browell E., Sachse G. et al. //J. Geophys. Res. 1988 D93. № 2. P. 1528–1550.
29. Hoell J. M., Albuiron D. L., Gregory G. L. et al. //J. Geophys. Res. 1990. D95. № 7. P. 10047–10054.
30. Schnell R. C., Watson T. B., Bodhaine B. A. //J. Atmos. Chem. 1989. V. 9. № 1–3. P. 3–16.
31. Readings C. J. //Meteorol. Magaz. 1985. V. 114. № 1352. P. 66–77.
32. Grant A., Zank S. //Contrib. Atmos. Phys. 1986. V. 59. № 1. P. 185–194.
33. Зуев В. Е., Белан Б. Д., Кабанов Д. М. и др. //Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 10. С. 1012–1021.
34. Aircraft instrumentation for cloud physics research and weather modification programmes. //WMO Report № 7. Geneva. 1978. 62 p.
35. Kennedy P. J., Frey D. ALPEX Aircraft Data Documentation NCAR. Boulder, 1983. 88 p.
36. Tjernstrom M., Friehe C. A. //J. Atmos. and Ocean Technol. 1991. V. 8. № 1. P. 19–40.
37. Haering E. //AIAA Pap. 1990. № 0230. P. 1–24.
38. Самолетные навигационные системы. Под ред. В. Ю. Поляка. М.: Воениздат, 1973. 416 с.
39. Воробьев В. Г. Авиационные приборы и измерительные системы. М.: Транспорт, 1982. 392 с.
40. Blumenthal D. L., Ogren J. A., Anderson J. A. //Atmos. Environ. 1978. V. 12. P. 613–620.
41. Абшаев М. Т., Байсиев Х. М. //ВНИИГМИ-МЦД. 1988. Вып. 2. С. 1–54.
42. Браславский Д. А., Логунов С. С., Пелькор Д. С. Авиационные приборы и автоматы. М.: Машиностроение, 1978. 428 с.
43. Hauf Th. //Meteorol. Rundsch. 1984. V. 37. № 5. S. 163–176.
44. Ziegler D. E., Mc Carthy J. //Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1981. V. 62. № 3 P. 403–411.
45. Toy a T., Kimura F., Murayama N. //J. Meteorol. Soc. Jap. 1986. V. 64. № 3. P. 431–442.
46. Blumenthal D. L., Ogren J. A., Anderson J. A. //Atmos. Environ. 1978. V. 12. P. 613–620.
47. Conway T. J., Raatz W. E., Gammon R. H. //Atmos. Environ. 1985. V. 19. № 12. P. 2195–2201.
48. Paffrath D., Peters W. //VI Congr. mond qualite air. Paris. 1983. P. 123–136.
49. Колдовски М., Прокоп М. //Проблемы фоновго мониторинга состояния природной среды. 1986. № 4. С. 234–236.
50. Звонарев В. В., Лядов В. С., Пономарев Ю. Ф. и др. //Труды ГГО. 1986. Вып. 497. С. 51–62.
51. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. Л.: Гидрометеоздат. 1981. 384 с.
52. Браславский Д. А. Приборы и датчики летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1970. 392 с.
53. Lenshow D. H. //NCAR. Techn Note EDD-74, Boulder, 1972. 42 p.
54. Axford D. N. //J. Appl. Meteorol. 1988. V. 27. № 4. P. 488–496.
55. Lechner I. S., Fischer G. W., Larsen H. R. et al. //J. Geophys. Res. 1989. D94. № 12. P. 14893–14903.
56. Gorner P., Fabries J. F. //8 Symp. int. saute, trav. prod, fibres artis ord. Inst. nat. rech. secur. 1990. № 140. P. 595–626.
57. Brock Ch. A., Radke L. F., Lyons J. H., Hobbs P. V. //J. Atmos. Chem. 1989. V. 9. № 1–3. P. 129–148.
58. Войт Ф. Я., Мирмович Л. А., Фурман А. И. //Труды УкрНИГМИ, 1987. Вып. 212. С. 112–119.
59. King W. D., Parkin D. A., Handsworth R. H. //J. Appl. Meteorol. 1978. V. 17. № 12. P. 1780–1785.
60. Knollenberg R. G. //J. Appl. Meteorol. 1971. V. 11. № 3. P. 501–508.
61. Корниенко Е. Е., Мирмович Л. А. //Труды УкрНИГМИ, 1968. Вып. 74. С. 130–133.
62. Knollenberg R. G. //Clouds, their formation, optical properties, and effects. New York: Academic Press. 1988. P. 15–89.
63. Warner J., Newhman T. O. //Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 1952. V. 78. P. 48–52.
64. Merceret F. J., Schiricker T. L. //J. Appl. Meteorol. 1975. V. 14. № 2. P. 319–326.
65. Boatman J. F., Wellman D. L., Valin C. C. et al. //J. Geophys. Res. 1989. D94. № 4. P. 5081–5093.

66. Ревельский И. А., Яшин Ю. С., Милли В. Э. и др. //Уч. записки Тартусского госуниверситета. 1989. Вып. 844. С. 156–170.
67. Другов Ю. С. //Заводская лаборатория. 1988. Т. 54. № 7. С. 3–13.
68. Jaenicke R., Hahn J. //CODATA Bulletin. 1989. V. 21. № 1. P. 1–111.
69. Другов Ю. С., Ягдовский В. Д. //Проблемы аналитической химии. 1990. № 10. С. 113–143.
70. Джейнинге В., Рапп А. Подготовка образцов для газохроматографического анализа. М.: Мир, 1986. 166 с.
71. Otson R., Fellin Ph. //Sci. Total Environ. 1988. V. 77. № 2–3. P. 95–131.
72. Кондратьев К. Я., Тер-Маркарянц Н. Е. //Труды ГГО. 1975. Вып. 366. 98 с.
73. Отчет по НИР ЛПИ. Гос. регистр. № 01830081464, 1985. 146 с.
74. Отчет по НИР ИАФА АН ЭССР. Гос. регистр. № 056351. 1989. 54 с.
75. Friedlander M. //Rev. Palais decouv. 1986. V. 15. № 143. P. 36–38.
76. Coffey M. T., Mankin W. Q., Coldman A. //J. Geophys. Res. 1989. D94. № 14. P. 16597–16613.
77. Tuck A. F., Watson R. T., Condon E. P. et al. //J. Geophys. Rs. 1989. D94. N°9. P. 11181–11222.
78. Kerr R. H. //Science. 1989. V. 243. № 4894. Pt. 1. P. 1007–1008.
79. Зуев В. Е. Лазер-метеоролог. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 178 с.
80. Зуев В. Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. М.: Радио и связь, 1981. 288 с.
81. Зуев В. Е., Кауль Б. В., Самохвалов И. В. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозольей. Новосибирск: Наука, 1986. 186 с.
82. Захаров В. М., Костко О. К., Хмелевцов С. С. Лидары и исследование климата. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 320 с.
83. Самохвалов И. В., Шаманаев В. С. //Депонир. в ВИНТИ № 2403-B88 Деп. 38 с.
84. Uthe E. E., Jonson W. B. //Final Report. 1971. AT(04-03) – 115SRY Project № 7929. Menlo Park, Calif. USA. 78 p.
85. Захаров В. М., Костко О. К., Орлов В. М. и др. //Труды ЦАО. 1971. Вып. 102. С. 144–149.
86. Gams G. W., Patterson E. M., Wyman C. M. //Opt. and Quant. Electr. 1975. V. 7. P. 187–191.
87. Eckert J. A., McElroy J. L., Bundy D. H. et al. //Int. conf. Environ. Sens. and Asses. Las Vegas. New York, 1976. 10.3/1–10.3/4.
88. Spinhirne J. D., Hansen M. J., Candill L. O. //Appl. Opt. 1982. V. 21. № 9. P. 1564–1571.
89. Uthe E. E., Viezee W., Morley B. M., Ching J. K. S. //Bull. Meteorol. Sec. 1985. V. 66. № 10. P. 1255–1262.
90. Uthe E. E. //Int. Geosc. and Remote Sens. Symp. (IGARSS'83) : Remote Sens. 1983, Fa 4.5/1–4.6/6.
91. Fuller W. H., Robinson D. M., Rouse B. R. //9-th Int. Laser Radar Conf. Laser Atmos. Stud. Munich. 1979. P. 153–154.
92. Mori P., Reinhardt F., Renger W. //DFVLR–Nachr. 1979, № 27. S. 26–28.
93. Werner Ch., Bachstein F., Dietr S. e. a. //Rev. Sci. Instrum. 1978. V. 49. № 7. P. 974–981.
94. Browill E. V., Shipley S. T., Carter A. F., Butler C. F. //NASA Conf. Publ. 1982. № 2228. P. 60–63.
95. Абрамочкин А. И., Занин В. В., Пеннер И. Э. и др. //Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 2. С. 92–96.
96. Городецкий А. К., Гольдин Ю. А., Князев Н. А. и др. //Изв. АН СССР. ФАО. 1980. Т. 16. № 8. С. 867–869.
97. Иванов А. П., Чайковский А. П., Дятлов К. Н. и др. //ЖПС 1987. Т. 26. Вып. 6. С. 1044–1052.
98. Schwiesow R. L., Lightsey P. A. //NASA Conf. Publ. 1986. № 2431. P. 273–275.
99. Hoge F. E., Swift R. N., Friederick E. B. //Appl. Opt. 1980. V. 19. № 6. P. 871–883.
100. Bufton Z. L., Hoge F. E., Swift R. N. //Appl. Opt. 1983. V. 22. № 17. P. 2603–2618.
101. Penny M. F., Abbot R. H., Phillips D. M. //Appl. Opt. 1986. V. 25. № 13. P. 2046–2058.
102. Reid D. B., Gesing W. S., Me William B. N., Gibson J. R. //IEEE. 1983. № 5. P. 751–760.
103. Аброчкин А. Г., Бункин А. Ф., Власов Д. В. и др. //Труды ИОФ АН СССР. 1986. Т. 1. С. 23–29.
104. Bristow M. //Canadian Remote Sens. Society Aerospace Electron. Symp. Halifax, 1975. P. 148–150.
105. O'Neil R. A., Buja-Bijnas L., Raefner D. M. //Appl. Opt. 1980. V. 19. № 6. P. 863–870.
106. Ferrario A., Pizzolati P. L., Zanzottera E. //NASA Conf. Publ. 1986. № 2431. P. 146–147.
107. Diebel-Longhorn D., Gunther K. P., Hengstermann T. et al. // Int. Congr. Lascr-85. Munchen, 1985. P. 644–647.
108. Gehlhaar U., Luiher J. //Laser-79. Opto-Electron. Conf. Proc. Munich. 1979. P. 514–519.
109. Browell E. V., Gregory G. L., Harries R. C., Kirchhoff V. W. J. // J. Geophys. Res. 1988. D93. № 2. P. 1431–1451.
110. Itabe T., Asai K., Ichiru M. et al. //Appl. Opt. 1989. V. 28. № 5. P. 931–934.
111. Browell E. V. //NASA Conf. Publ. 1987. № 2450. P. 60–83.
112. Березовский В. В., Гандурин А. Л., Игумнов Е. А. и др. //Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 9. С. 1917–1919.
113. Lee R. W. //21 Conf. Radar Meteorol. Boston. 1983. P. 655–657.
114. Radke L. F., Brock Ch. A., Lyons J. H., Hobbs P. V. //Atmos. Environ. 1989. V. 23. № 11. P. 2417–2430.
115. Korb C. L., Schwemmer G. K., Starr D. O. et al. //15-Int. Laser Radar Conf. Tomsk, 1990. Pt. 1. P. 30–33.
116. Spinhirne J. D., Bufton J. L., Gavanaugh J. F., Chudamani S. //Ibid. P. 34–35.
117. Pelon J., Flamant P., Meissonnier M. //Ibid. P. 36–39.
118. Ehret G., Renger W. //Ibid. P. 67–69.
119. Egorov A. D., Boitson P. P., Sinkevich A. A. et al. //Ibid. P. 382.

120. Bowdle D.A., Rothermel J., Vaughan J.M. et al. //J. Geophys. Res. 1991. D96. №3. P. 5327–5335.
121. Glaser W. //Atmos. Technol. 1973. V. 3. №3. P. 61–65.
122. Gramp J.B. //Ibid. P. 67–69.
123. Kelley N.D. //Ibid. P. 21–24.
124. Lawson P.R., Treddenick D.S. //5 Symp. Meteorol. Obser. and Inst. Toronto, 1983. P. 283–285.
125. Terry H.E., Radke L.F. //Antarct. J. U. St. 1988. V. 23. № 5. P. 182–183.
126. Brock Ch.A., Radke L.F., Lyons J.H., Hobbs P.V. //J. Atmos. Chem. 1989. V. 9. № 1–3. P. 129–148.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
25 октября 1992 г.

**B.D. Belan. An Airborne Laboratory for Optical-Meteorological and Ecological Sounding of the Atmosphere.**

Instrumental complexes of flying labs aimed at sounding meteorological values, aerosol and gas composition of air, as well as the underlying surfaces are considered in the paper. Intercomparison of measurement capabilities of different flying labs, including their informational-computer complexes are given.