

Самолет-лаборатория АН-30 «Оптик-Э»: 20 лет исследований окружающей среды

М.Ю. Аршинов¹, Б.Д. Белан¹, Д.К. Давыдов¹, Г.А. Ивлев¹, А.В. Козлов¹,
В.С. Козлов¹, М.В. Панченко¹, И.Э. Пеннер¹, Д.А. Пестунов¹,
А.С. Сафатов², Д.В. Симоненков¹, Г.Н. Толмачев¹,
А.В. Фофонов¹, В.С. Шаманаев¹, В.П. Шмаргунов^{1*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
²ГНЦ «Вектор»
633159, пос. Кольцово, Новосибирская обл.

Поступила в редакцию 29.06.2009 г.

Дан обзор основных направлений исследований, выполненных на самолете-лаборатории АН-30 «Оптик-Э» в период с 1996 по 2008 г. Приведены результаты обобщений многолетних экспериментов и новые оригинальные данные.

Ключевые слова: атмосфера, аэрозоль, биоаэрозоль, водород, газ, лидар, состав, самолет-лаборатория, воздух, подстилающая поверхность; atmosphere, aerosol, bioaerosol, hydrogen, gas, lidar, composition, aircraft-laboratory, air, underlying surface.

Введение

Самолетное зондирование в современных исследованиях окружающей среды, вследствие больших достоинств самого метода, вносит значительный вклад в изучение атмосферы и подстилающей поверхности. Основным преимуществом этого метода является то, что самолет-лаборатория (СМЛ) может как производить измерения *in situ* непосредственно в исследуемом объеме, так и с помощью дистанционных средств определять состояние подстилающей поверхности или состав атмосферных объектов. Кроме того, самолет-лаборатория позволяет сопровождать изучаемое атмосферное явление на расстоянии в тысячи километров и следить за эволюцией его характеристик. Самолет как носитель оборудования позволяет доставлять в заданную точку пространства многочисленные приборы, которые, как правило, объединяются в единую информационную систему на базе бортовой ЭВМ. Это обеспечивает

комплексность летных экспериментов, так как измерения ведутся в системе единого времени, по согласованным программам.

Перечисленные достоинства самолетных методов исследования окружающей среды обусловили широкое применение самолетов-лабораторий. В настоящее время за рубежом работают десятки самолетов-лабораторий. В России пик создания СМЛ пришелся на конец 80-х гг. XX в., когда их количество достигало 30 [1]. В настоящее время в России относительно регулярные исследования выполняют самолеты-лаборатории АН-30 «Оптик-Э» (ИОА СО РАН) и М-55 «Геофизика» (ЦАО) [2, 3].

Самолет-лаборатория «Оптик-Э» был создан в 1988 г. для оптико-метеорологического и экологического зондирования атмосферы и подстилающей поверхности. С тех пор он почти непрерывно, за исключением 1993–1994 гг., используется для проведения различных экспериментов. Его полное описание на момент создания приведено в [2].

За предыдущий период самолет-лаборатория АН-30 «Оптик-Э» принимал участие в комплексных экспериментах «DUST» (г. Душанбе), ОдАэкс (г. Одесса), «Вертикаль-86 и -87» (г. Томск), SATOR подпрограммы TOR программы EURECA [4]. Были проведены обследования состояния воздушного бассейна городов: Алма-Ата, Балхаш, Павлодар, Усть-Каменогорск, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре, Улан-Удэ, Нижневартовск, Нижний Тагил, Норильск, Петропавловск-Камчатский; территорий: Камчатки, Прибайкалья, Бурятии, оз. Байкал; месторождений: Самотлор, Мегион, Советское, Вахское, Стрежевское,

* Михаил Юрьевич Аршинов (michael@iao.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Денис Константинович Давыдов (denic@iao.ru); Георгий Алексеевич Ивлев (ivlev@iao.ru); Артем Владимирович Козлов (Atommyk@mail2000.ru); Валерий Степанович Козлов (vkozlov@iao.ru); Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru); Иоганес Эрнстович Пеннер (penner@iao.ru); Дмитрий Александрович Пестунов (prest@iao.ru); Александр Сергеевич Сафатов; Денис Валентинович Симоненков (simon@iao.ru); Геннадий Николаевич Толмачев (tgn@iao.ru); Александр Владиславович Фофонов (alenfo@iao.ru); Виталий Сергеевич Шаманаев (shvs@iao.ru); Владимир Петрович Шмаргунов (vpsh@iao.ru).

Первомайское, Лонтынь-Яхское, Катьльгинское, Западно-Катальгинское, Ломовое, Озерное, Оленье, а также зондирование поверхностного слоя воды и атмосферы над акваториями Баренцева, Карского, Берингова, Охотского, Японского, Черного, Каспийского морей, оз. Байкал и Балхаш.

Понятно, что в мировой науке за 20 лет произошло заметное обновление приборного парка и методов зондирования, появились и новые научные проблемы. Естественно, что это отразилось на измерительных комплексах самолета-лаборатории и существенном расширении круга решаемых задач.

В настоящей статье дан краткий обзор основных направлений исследований, выполненных после 1995 г. на СМЛ АН-30 «Оптик-Э» [4].

В настоящее время самолет-лаборатория принимает участие в следующих проектах: Российско-Японском «Вертикальное распределение парниковых газов над территорией Сибири», Российско-Французском «Перенос парниковых и окисляющих атмосферу газов из Западной Европы в Сибирь», в рамках Международного полярного года в проекте «POLARCAT».

С 1997 г. на самолете-лаборатории АН-30 «Оптик-Э» продолжались регулярные исследования вертикального профиля коэффициента аэрозольного рассеяния сухой основы частиц, начатые еще на са-

молете-лаборатории Ил-14. В 1999 г. они были дополнены синхронным измерением массовой концентрации сажи. Полеты осуществлялись в южном районе Новосибирской области (пос. Завьялово), один раз в месяц в дневное время со средней продолжительностью около 3 ч. Каждый из полетов самолета-лаборатории, как правило, содержал две характерные стадии. На первой из них самолет, вылетев из аэропорта г. Новосибирска, набирал непрерывно высоту до 7 км и в течение 20–30 мин достигал южных районов Новосибирской области. На второй стадии самолет барражировал над одним районом, меняя высоту полета с шагом 0,5–1 км и находясь на каждой горизонтальной площадке около 10 мин. Затем самолет возвращался в аэропорт г. Новосибирска. При анализе результатов основное внимание уделялось данным измерений в горизонтальном полете на высотах 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,5 и 7,0 км в фиксированном районе обследования (пос. Завьялово).

На рис. 1 показаны сезонные профили коэффициента аэрозольного рассеяния для двух циклов наблюдений (1986–1988 и 1999–2007 гг.).

Рассматриваемые высотные профили коэффициента аэрозольного рассеяния, полученные в 1999–2007 гг., хорошо согласуются с эмпирической моделью оптических характеристик, созданной на серьезной

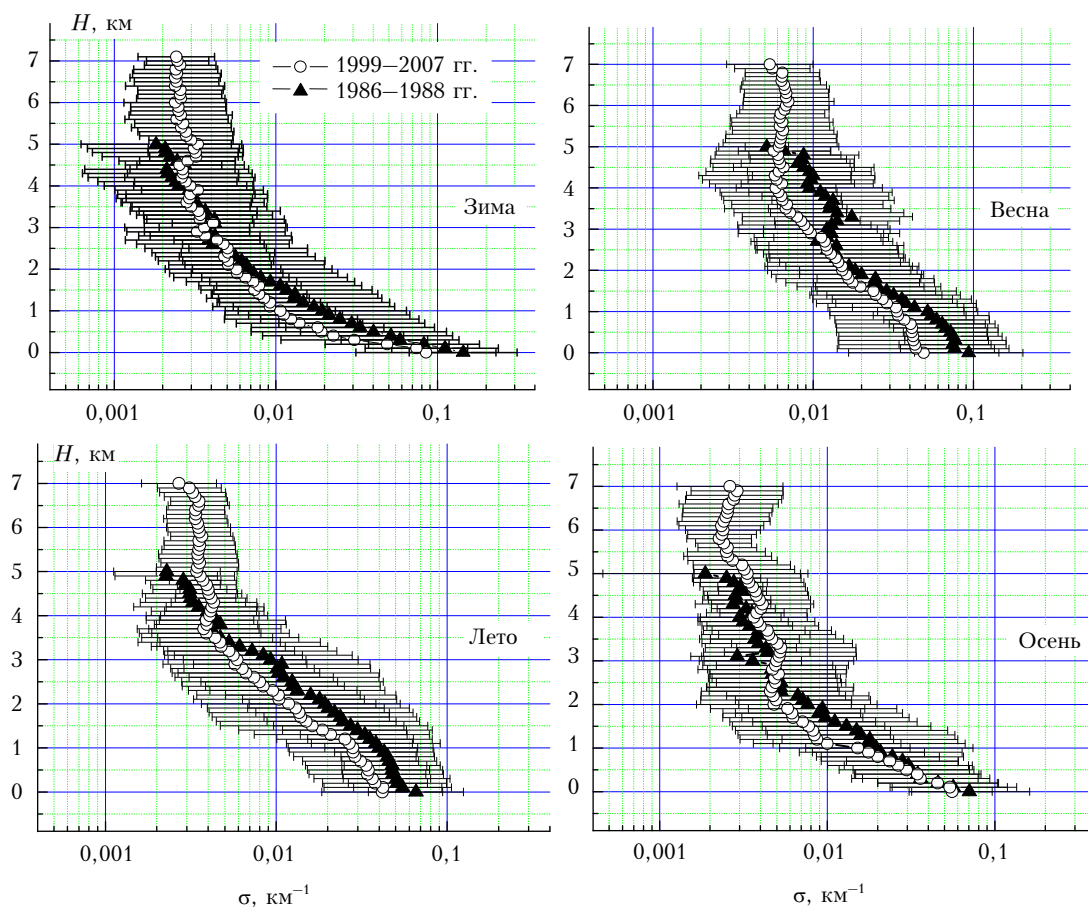


Рис. 1. Сопоставление средних высотных профилей коэффициента аэрозольного рассеяния по данным самолетных измерений в 1999–2007 и в 1986–1988 гг. (Западная Сибирь)

статистической основе по данным самолетных измерений в Западно-Сибирском регионе в период 1986–1988 гг. [5–8]. Этот факт дает основания полагать, что и анализируемые данные по поглощающим свойствам аэрозоля вполне адекватно описывают его характеристики в исследуемом регионе и отражают основные черты «аэрозольной погоды».

На рис. 2 приведены вертикальные профили массовой концентрации поглощающего вещества по данным 1999–2007 гг.

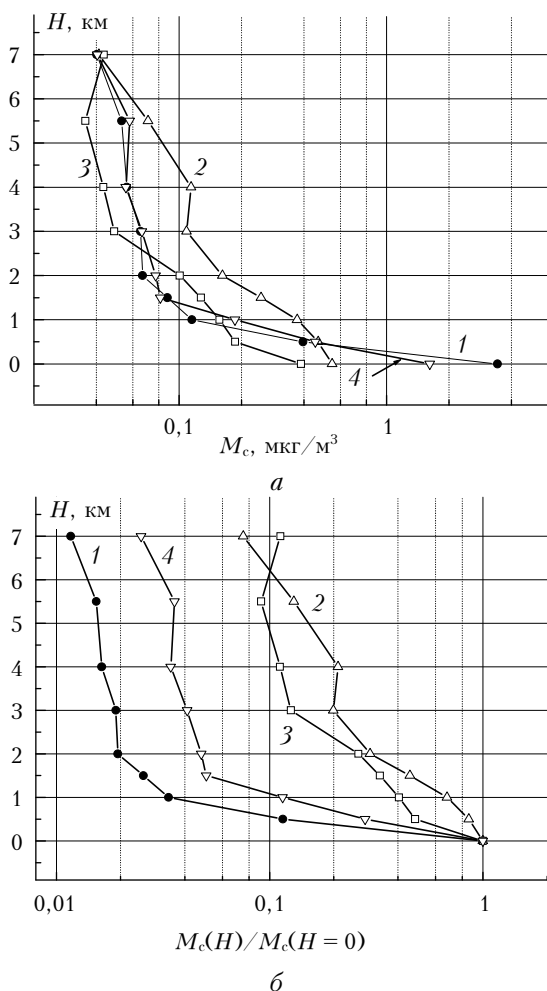


Рис. 2. Сезонные высотные профили массовой концентрации сажи (а) и нормированных значений концентрации сажи (б) (2000–2007 гг.): 1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

Сезонная изменчивость вертикальных профилей массовой концентрации сажи (рис. 2) характеризуется особенностями, близкими к полученным для профилей коэффициента аэрозольного рассеяния. В зимний период в приземном слое воздуха на высотах менее 0,5 км наблюдаются наибольшие значения массовой концентрации сажи (рис. 2, а, кривая 1). Осенний профиль абсолютного содержания сажи (кривая 4) близок к зимнему. В весенний период наблюдается повышенное содержание аэрозоля в диапазоне высот 1–5 км (кривая 2). Из рассмотрения нормированных сезонных профилей (рис. 2, б) вид-

но, что летний и осенний профили располагаются между весенним и зимним профилями массовой концентрации сажи [9–11].

За истекший период был проведен ряд экспериментов с применением бортового лазерного локатора (лидар) Макрель-2М. Возможности лидарного зондирования атмосферы иллюстрируют данные (рис. 3), полученные при полете 15 августа 2007 г. на севере Западной Сибири при зондировании профиля верхней границы облачности на трассе длиной 990 км.

Барометрическая высота полета самолета 6,5 км, на графике ей соответствует уровень 0. Направление зондирования – сверху вниз, по оси ординат указана дистанция от самолета, по оси абсцисс – полетное время при скорости 90 м/с, по оси аппликат – показатель обратного рассеяния. Расстояние до верхней границы облаков составляет 3,5–5 км, т.е. она находится на высоте 1,5–3 км над уровнем земли.

Рис. 4 демонстрирует возможности лазерного локатора по зондированию промышленных шлейфов выбросов. Зондирование было выполнено в районе г. Норильска в ноябре 2002 г. Видно, как трансформируется шлейф примесей, выходящий из города при его распространении под слоем инверсии.

В последние годы усилился интерес к исследованию микродисперсной фракции аэрозоля (наночастиц) в атмосфере. Для измерения наночастиц в ИХКиГ СО РАН была специально разработана для СМЛ АН-30 «Оптик-Э» автоматическая диффузионная батарея (АДБ) [12–14], укомплектованная конденсационным счетчиком частиц [15–17].

Уже в первых полетах было обнаружено явление нуклеации в свободной атмосфере. Причем в ряде случаев было зафиксировано совпадение слоев образования наночастиц и озона. Примеры такого рода вертикальных профилей приведены на рис. 5.

Рис. 5, а показывает совпадение слоев наночастиц и озона. Рис. 5, б, наоборот, демонстрирует, что в свободной атмосфере они изменяются независимо и даже в противофазе. На рис. 5 N_{3-70} – счетная концентрация наночастиц в диапазоне размеров от 3 до 70 нм. Анализируя появление слоев в свободной тропосфере [15–17], мы пришли к выводу, что в отсутствие облаков образование слоев может произойти за счет фотохимических процессов.

Накопленный к настоящему времени объем данных самолетного зондирования (64 вертикальных профиля в районе Новосибирска) позволяет сделать более определенные выводы [17]. Оказалось, что нуклеация в свободной атмосфере наблюдалась в 85% случаев. Из них 45% – ярко выраженные процессы, 40% – слабо. В 15% случаев нуклеации в свободной атмосфере не зафиксировано. При этом почти 80% слоев частиц образуется в диапазоне высот от 4 до 7 км. Ниже 2 км, внутри пограничного слоя атмосферы, выделение слоев затруднено, так как здесь могут находиться шлейфы от мелких пожаров. Наиболее часто мощность слоя, в котором происходит новообразование частиц, составляет 1 км (почти 35% случаев). Она может достигать толщины почти 4 км, но в более чем 60% случаев лежит в пределах от 0,5 до 2 км.

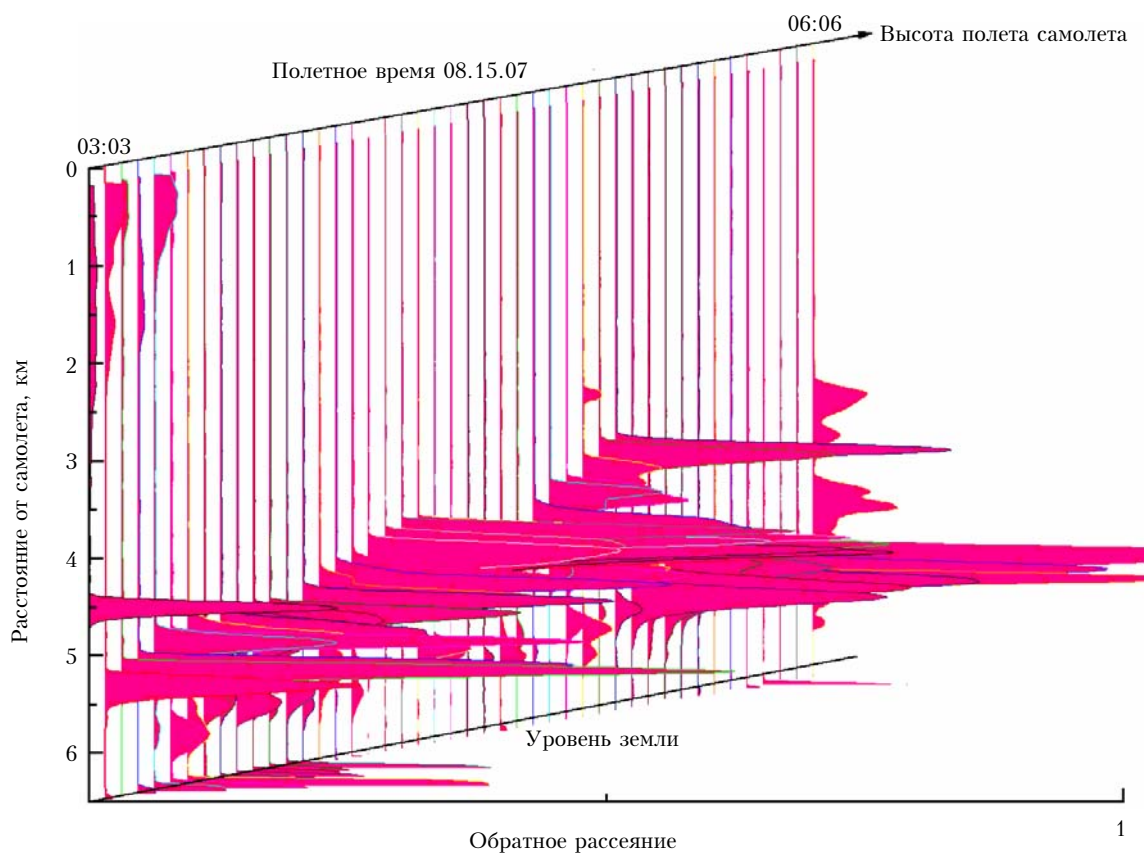


Рис. 3

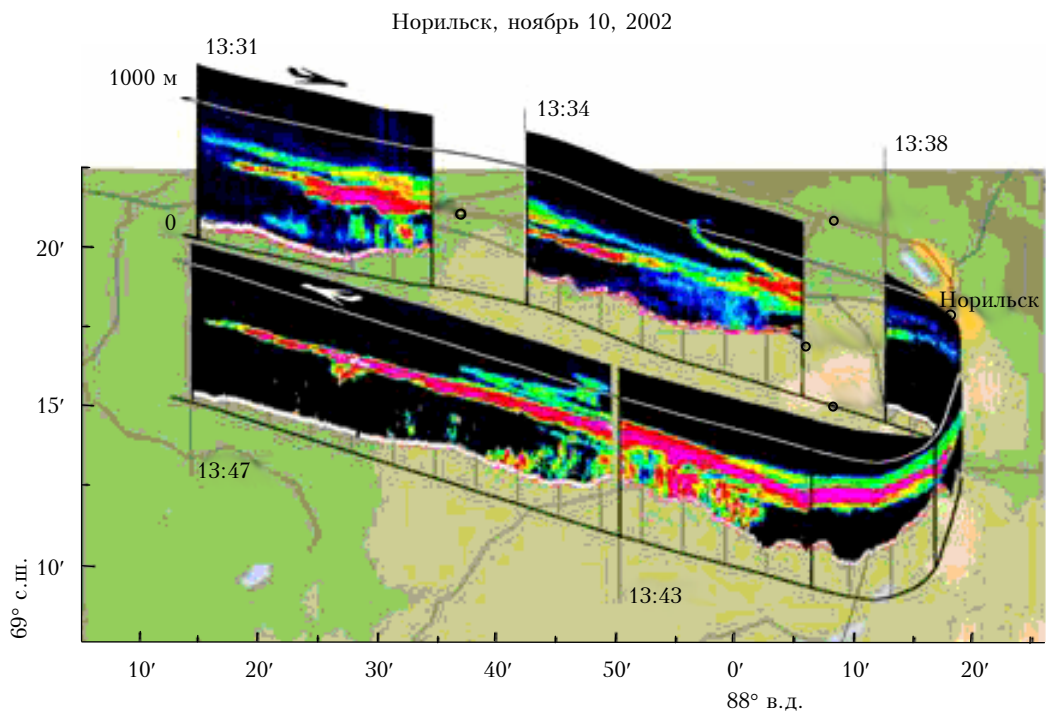


Рис. 4. 3D-распределение коэффициента обратного аэрозольного рассеяния по данным лидара

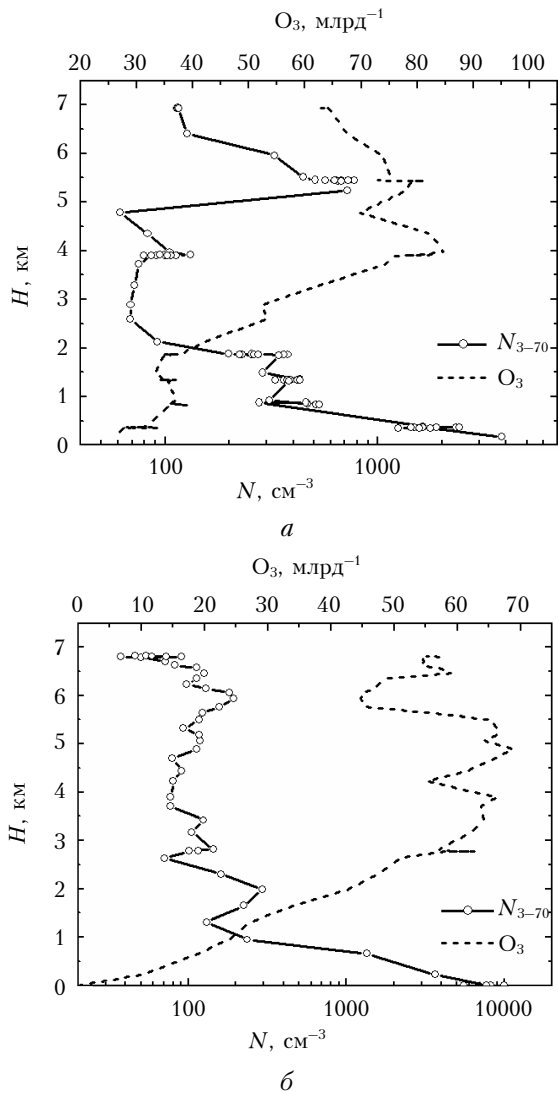


Рис. 5. Вертикальное распределение озона и наночастиц над югом Западной Сибири 24.03.2003 (а) и 10.08.2007 (б)

Большой цикл работ был выполнен на самолете-лаборатории Ан-30 «Оптик-Э» по биоаэрозолям. Их обобщение приведено в [18]. Как следует из данных, представленных на рис. 6, усредненный за время проведения наблюдений вертикальный профиль концентраций суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов на высотах 0,5 до 7 км практически постоянен (падение средней концентрации не превосходит 50%). Отметим, что этот результат заметно отличается от данных [19], где падение концентрации бактерий на высотах от 0,5 до 6 км составляло 80 раз, и только в одном эксперименте над Северным морем на высотах 0,5–3 км зафиксировано слабое изменение концентрации биоаэрозоля.

В настоящее время всеобщий интерес привлечен к изучению тенденции изменения газового состава в атмосфере как возможной причине глобальных изменений климата и окружающей среды.

Отечественные газоанализаторы, которые использовались в начале эксплуатации СМЛ АН-30 «Оптик-Э», заменены в настоящее время на более совершенные зарубежные. Их перечень и характеристики

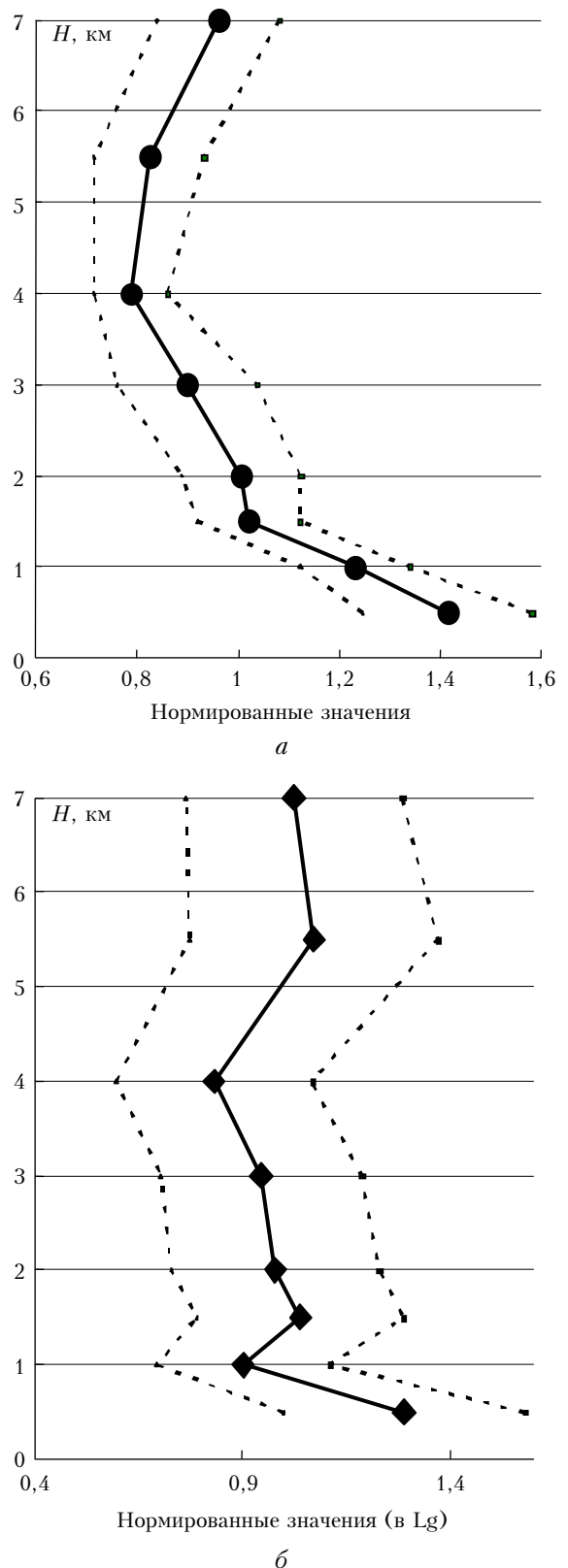


Рис. 6. Нормированные высотные профили концентраций суммарного белка (а) и жизнеспособных микроорганизмов (б) на юге Западной Сибири

приведены в табл. 1.

Газовый и аэрозольный анализ

Соединение (прибор)	Метод	Пределы обнаружения	Частота измерений, с
O ₃ (ОПТЭК 3.02П)	хемилюминесценция	1–500 мкг/м ³	1
O ₃ (TEI Model 49C)	УФ-поглощение	1 млрд ⁻¹	1
CO ₂ (Licor LI-6262)	ИК-поглощение	0,1 млн ⁻¹	1
CO (T-API Model 300E)	ИК-поглощение	1 млрд ⁻¹	1
NO _x (T-API Model 200E)	хемилюминесценция	1 млрд ⁻¹	1
SO ₂ (T-API Model 100E)	флуоресценция	1 млрд ⁻¹	1
Счетная концентрация аэрозоля (GRIMM Model 1.108)	оптический спектрометр	0,3–20 мкм	6
Счетная концентрация аэрозоля	диффузионная батарея	3–6 нм	30
		6–21 нм	30
		21–200 нм	30

Кроме того, на самолете осуществляется отбор проб атмосферного воздуха для последующего химического анализа. Отбор ведется через заборник, расположенный по левому борту самолета. Забираемый воздух проходит сначала через осушитель CoolPipe-2000, в котором происходит вымораживание влаги из пробы. Далее воздуховодный тракт разделяется на два пути. Первый – для отбора пробы в колбы, второй – для измерения CO₂ в реальном масштабе времени.

Пробы воздуха закачиваются в стеклянные колбы объемом 0,5 л под давлением ~ 2 атм. Отбор проб в колбы ведется во время полета на горизонтальных площадках на высотах 7,0; 5,5; 4,0; 3,0; 2,0; 1,5; 1,0 и 0,5 км. На каждой высоте отбираются две колбы. Кроме того, на высоте 0,5 км дополнительно отбирается проба в колбу объемом 2,0 л под давлением 2 атм.

Для измерения CO₂ в реальном масштабе времени используется анализатор Li-6262, для калибровки которого применяются эталонные поверочные смеси высокой (390 млн⁻¹) и низкой (340 млн⁻¹) концентрации. Цикл измерения и калибровки составляет

960 с, из них измерение 900 с, калибровка смесью с низкой и высокой концентрацией – 30 с.

Отобранные в колбы пробы затем обрабатываются в Национальном институте исследования окружающей среды (Цукуба, Япония). В них определяются различные газы (табл. 2).

Таблица 2

Диапазон концентраций и погрешности определения газов в отобранных пробах

Газ	Диапазон	Погрешность
CO ₂	340–450 млн ⁻¹	± 0,03 млн ⁻¹
CH ₄	1500–2500 млрд ⁻¹	± 1,7 млрд ⁻¹
N ₂ O	250–450 млрд ⁻¹	± 0,3 млрд ⁻¹
CO	50–350 млрд ⁻¹	± 0,3 млрд ⁻¹
H ₂	400–700 млрд ⁻¹	± 3,1 млрд ⁻¹

На рис. 7 показано распределение счетной концентрации аэрозоля ($d \geq 0,4$ мкм) и углекислого газа над северной частью оз. Байкал, которое было получено в июле 2008 г. Обобщение многолетних результатов имеется в [20].

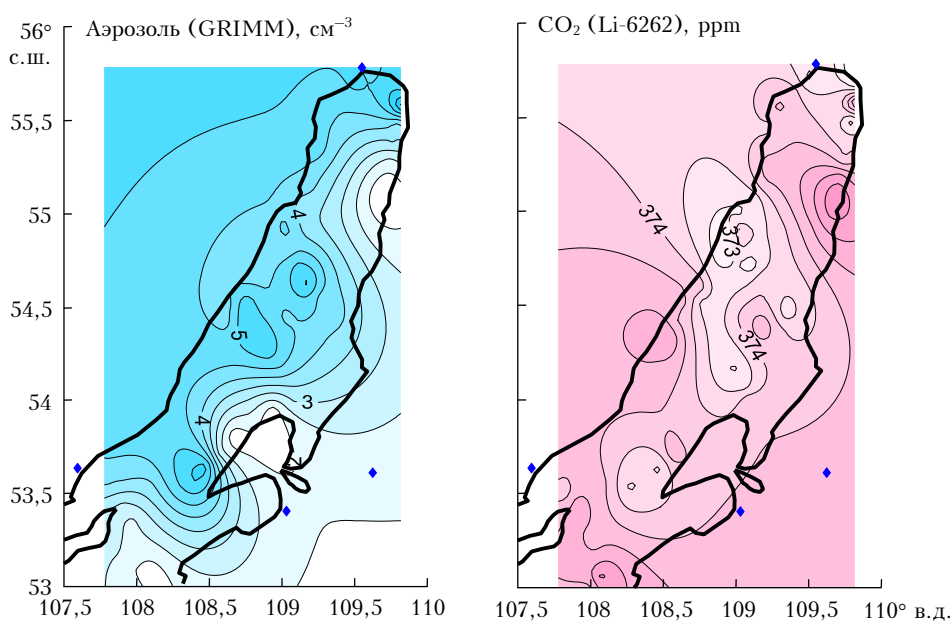


Рис. 7. Распределения аэрозоля и углекислого газа над северной частью Байкала 25.07.2008 г.

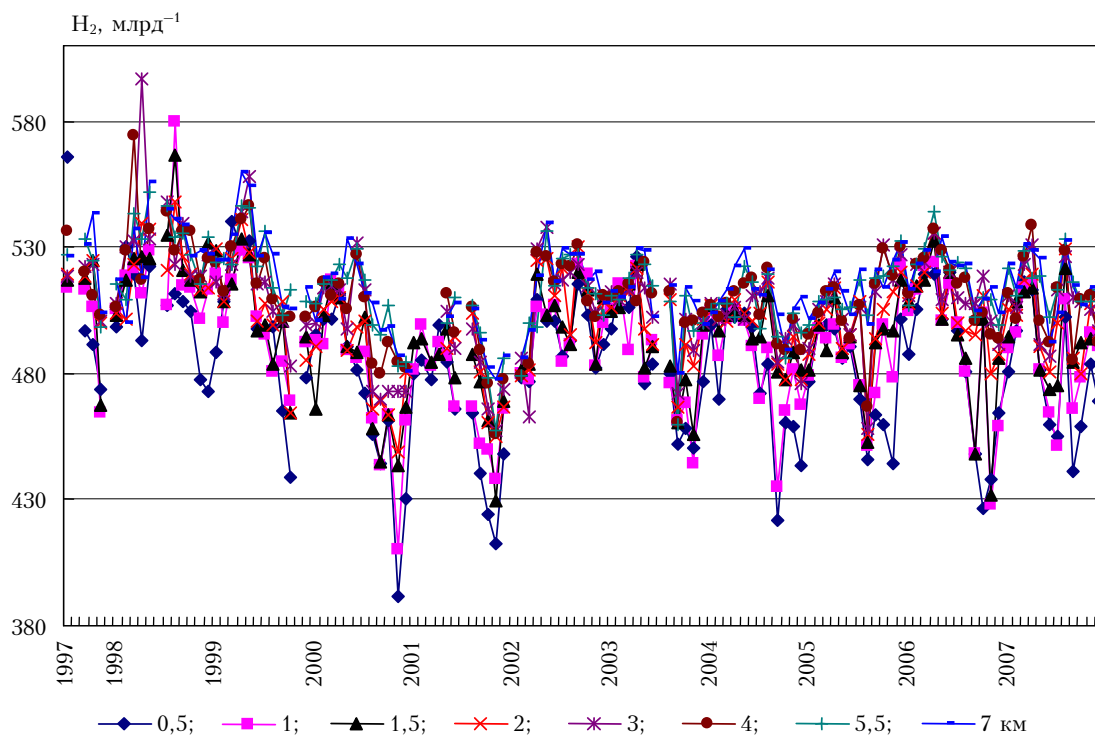


Рис. 8. Концентрация молекулярного водорода на разных высотах над Западной Сибирью

Остановимся еще на одной из глобальных проблем современной физики атмосферы. Согласно [21] одной из возможных причин появления озоновых дыр над полюсами может быть дегазация планеты и выделение, в частности, водорода, который вызывает разрушение озона. На рис. 8 показан многолетний ход концентрации водорода над территорией Западной Сибири.

Видно, что наибольшая концентрация водорода наблюдалась в 1998 г., наименьшая — в 2001-м. В период с 2003 по 2007 г. содержание водорода в тропосфере стабилизировалось. При этом концентрация H_2 в нижних слоях меньше, чем в свободной атмосфере. Это говорит о том, что на территории Западной Сибири источник такой примеси воздуха отсутствует.

Поскольку в одной статье невозможно отразить все результаты, которые получены большим коллективом самолета-лаборатории Ан-30 «Оптик-Э», то в заключение приведем список публикаций участников работ, включающих данные самолетного зондирования [22–43].

Работа выполнена при поддержке программы № 16 Президиума РАН, грантов РФФИ № 07-05-00645, 08-05-92499, 09-05-10020, проекта МНТЦ № 3032, госконтракта Роснауки 02.518.11.7153.

1. Белан Б.Д. Самолеты-лаборатории для оптико-метеорологического и экологического зондирования атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 1993. Т. 6. № 1. С. 5–32.
2. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М., Ковалевский В.К., Лукьянов О.Ю., Мелешкин В.Е., Микушев М.К., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Покровский Е.В., Сакерин С.М., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Шаманаев В.С., Щербатов А.И. Самолет-лаборатория Ан-30 «Оптик-Э»

для экологических исследований // Оптика атмосфер. и океана. 1992. Т. 5. № 10. С. 1012–1021.

3. Шур Г.Н., Юшков В.А., Дрынков А.В., Фадеева Г.В., Потертикова Г.А. Опыт исследования термодинамики стратосферы высоких широт Северного полушария на самолете-лаборатории М-55 «Геофизика» // Метеорол. и гидрол. 2006. № 8. С. 43–53.
4. Белан Б.Д., Зуев В.Е., Панченко М.В. Основные результаты самолетного зондирования аэрозоля в ИОА СО РАН (1981–1991 гг.) // Оптика атмосфер. и океана. 1995. Т. 8. № 1–2. С. 131–156.
5. Панченко М.В., Терпугова С.А. Годовой ход содержания субмикронного аэрозоля в тропосфере Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1033–1044.
6. Панченко М.В., Терпугова С.А., Полюкин В.В. Эмпирическая модель оптических характеристик аэрозоля нижней тропосферы Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 615–624.
7. Kozlov V.S., Panchenko M.V. Airborne measurements of the aerosol and soot contents in the troposphere (estimation of the single scattering albedo profiles) // Proc. of the 6th Int. Symp. on Tropospheric Profiling: Needs and Technologies. Leipzig, Saxony. September 14–20, 2003. P. 321–323.
8. Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Панченко М.В. Сезонная изменчивость вертикальных профилей поглощающих характеристик субмикронного аэрозоля в тропосфере // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22. № 7. С. 635–642.
9. Kozlov V.S., Panchenko M.V., Yaushева E.P. Mass fraction of black carbon in submicron aerosol as an indicator of influence of smoke from remote forest fires in Siberia // Atmos. Environ. 2008. V. 42. N 11. P. 2611–2620.
10. Panchenko M.V., Kozlov V.S., Terpuгова S.A., Shmargunov V.P., Burkov V.V. 2000. Simultaneous measurements of submicron aerosol and absorbing substance in the height range up to 7 km // Proc. of Tenth ARM Science

- Team Meeting, San-Antonio, Texas, 13–19 March 2000, 4 p. http://www.arm.gov/docs/documents/technical/conf_0003/panchenko-mv.pdf
11. *Tikhomirov A.B., Firsov K.M., Kozlov V.S., Panchenko M.V., Ponomarev Y.N., Tikhomirov B.A.* Investigation of spectral dependence of shortwave radiation absorption by ambient aerosol using time-resolved photoacoustic technique // *Opt. Eng.* 2005. V. 44. N 7. 071203; doi: 10.1117/1.1955327.
 12. *Ankilov A., Baklanov A., Colhoun M., Enderle K.H., Gras J., Julanov Y., Kaller D., Lindner A., Lushnikov A.A., Mavliev R., McGovern F., O'Connor T.C., Podzimek J., Preining O., Reischl G.P., Rudolf R., Sem G.J., Szymanski W.W., Vrtala A.E., Wagner P.E., Winklmayr W., Zagaynov V.* Particle size dependent response of aerosol counters // *Atmos. Res.* 2002. V. 62. N 3–4. P. 209–237.
 13. *Ankilov A., Baklanov A., Colhoun M., Enderle K.H., Gras J., Julanov Y., Kaller D., Lindner A., Lushnikov A.A., Mavliev R., McGovern F., Mirme A., O'Connor T.C., Podzimek J., Preining O., Reischl G.P., Rudolf R., Sem G.J., Szymanski W.W., Tamm E., Vrtala A.E., Wagner P.E., Winklmayr W., Zagaynov V.* Intercomparison of number concentration measurements by various aerosol particle counters // *Atmos. Res.* 2002. V. 62. N 3–4. P. 177–207.
 14. *Reischl G.P., Majerowicz A., Ankilow A., Eremenko S., Mavliev R.* Comparison of the Novosibirsk automated diffusion battery with the Vienna electro mobility spectrometer // *J. Aerosol Sci.* 1991. V. 22. N 2. P. 223–228.
 15. *Arshinov M.Yu., Belan B.D.* Vertical distribution of nanoparticles in the continental troposphere // *Atmos. and Ocean. Opt.* 2004. V. 17. N 7. P. 489–499.
 16. *Arshinov M.Yu., Belan B.D., Nedelec Ph., Paris J.-D., Machida T.* Spatial distribution of nanoparticles in the free troposphere over Siberia // C.D. O'Dowd, P.E. Wagner (Eds.). *Nucleation and Atmospheric Physics: 17th Int. Conf. on Nucleation and Atmospheric Aerosols.* Galway, Ireland, 2007. New York: Springer. P. 819–823.
 17. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Парис Ж.-Д., Задде Г.О., Симоненков Д.В.* Пространственная и временная изменчивость микродисперсной фракции аэрозоля (наночастиц) на территории Сибири // *Оптика атмосфер. и океана.* 2008. Т. 21. № 12. С. 1015–1023.
 18. *Сафатов А.С., Бурак Г.А., Андреева И.С., Олькин С.Е., Резников И.К., Сергеев А.Н., Белан Б.Д., Панченко М.В.* Глава 12. Атмосферные биоаэрозоли, издательство Wiley Interscience // *Науки об аэрозолях. Подробный справочник / Под ред. И. Аграновского.* (В печати).
 19. *Gruber S., Matthias-Maser S., Brinkmann J., Jaenicke R.* Vertical distribution of biological aerosol particles above the North sea // *J. Aerosol. Sci.* 1998. V. 29. Suppl. 1. P. S771–S772.
 20. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Иноуё Г., Максюттов Ш., Мачида Т., Фофанов А.В.* Вертикальное распределение парниковых газов над Западной Сибирью по данным многолетних измерений // *Оптика атмосфер. и океана.* 2009. Т. 22. № 5. С. 457–464.
 21. *Сывороткин В.Л.* Рифтогенез и озоновый слой М.: Геонинформмарк, 1996. 62 с.
 22. *Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Польшин В.В.* Спектрофотометры для исследования характеристик поглощения света аэрозольными частицами // *Приборы и техн. эксперим.* 2008. № 5. С. 155–157.
 23. *Baklanov A.M., Kozlov V.S., Panchenko M.V., Ankilov A.N., Vlasenko A.L.* Generation of soot particles in submicron range // *J. Aerosol Sci.* 1998. V. 29. Suppl. 1. P. 919–920.
 24. *Safatov A.S., Irina S., Andreeva I.S., Belan B.D., Buryak G.A., Emelyanova E.K., Jaenicke R., Panchenko M.V., Pechurkina N.I., Puchkova L.I., Repin V.E., Saranina I.V., Sergeev A.N.* To What Extent Can Viable Bacteria in Atmospheric Aerosols be Dangerous for Humans? // *Clean.* 2008. V. 36. N 7. P. 564–571.
 25. *Paris J.-D., Ciais P., Nédélec P., Ramonet M., Belan B.D., Arshinov M.Yu., Golytsin G.S., Granberg I., Athier G., Boumard F., Cousin J.-M., Cayez G., Stohl A.* The YAK-AEROSIB transcontinental aircraft campaigns: new insights on the transport of CO₂, CO and O₃ across Siberia and in the Northern Hemisphere // *Tellus B.* 2008. V. 60. N 4. P. 551–568.
 26. *Самохвалов И.В., Шаманаев В.С.* О пространственном распределении коэффициента обратного рассеяния в нижней тропосфере // *Изв. вузов СССР. Физ.* 1975. № 7. С. 126–127.
 27. *Пеннер И.Э., Шаманаев В.С.* Наземно-самолетное лазерное зондирование дымов электростанции // *Оптика атмосфер. и океана.* 1994. Т. 7. № 1. С. 338–345.
 28. *Коханенко Г.П., Пеннер И.Э., Шаманаев В.С.* Авиационные исследования аэрозоля над Байкальским ЦБК // *Оптика атмосфер. и океана.* 1996. Т. 9. № 6. С. 766–772.
 29. *Белан Б.Д., Бурков В.В., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Рассказчикова Т.М., Самохвалов И.В., Толмачев Г.Н., Шаманаев В.С.* Некоторые результаты зондирования промышленных выбросов бортовым лидаром «Макрель-2М» // *Оптика атмосфер. и океана.* 1992. Т. 5. № 2. С. 186–189.
 30. *Пеннер И.Э., Коханенко Г.П., Шаманаев В.С.* Лидарные исследования высоты верхней границы облаков над Западной Сибирью // *Оптика атмосфер. и океана.* 2000. Т. 13. № 4. С. 379–385.
 31. *Коханенко Г.П., Пеннер И.Э., Шаманаев В.С.* Авиационные исследования морской акватории. Ч. 1. Короткие трассы // *Оптика атмосфер. и океана.* 2001. Т. 14. № 12. С. 1132–1136.
 32. *Шаманаев В.С., Пеннер И.Э., Коханенко Г.П.* Авиационные исследования морской акватории. Ч. 2. Длинные трассы // *Оптика атмосфер. и океана.* 2002. Т. 15. № 7. С. 608–615.
 33. *Kokhanenko G., Ludbrook G., Penner I., Shamanev V.* Airborne Laser Sensing of Scottish Coastal Waters // *Mar. Geodesy.* 2001. V. 24. N 4. P. 195–207.
 34. *Коханенко Г.П., Пеннер И.Э., Шаманаев В.С., Ладбрук Дж., Скотт А.* Лазерное зондирование акватории оз. Байкал // *Оптика атмосфер. и океана.* 1999. Т. 12. № 1. С. 39–45.
 35. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Иноуё Г., Максюттов Ш., Мачида Т., Фофанов А.В.* Вертикальное распределение парниковых газов над Западной Сибирью по данным многолетних измерений // *Оптика атмосфер. и океана.* 2009. Т. 22. № 5. С. 457–464.
 36. *Safatov A.S., Buryak G.A., Andreeva I.S., Olkin S.E., Peznikova I.K., Sergeev A.N., Belan B.D., Panchenko M.V., Simonenkov D.V., Tolmachev G.N.* Altitude profiles of biogenic components of atmospheric aerosol in Southwestern Siberia // *Chem. Eng. Transact.* 2008. V. 16. P. 225–232.
 37. *Paris J.-D., Arshinov M.Yu., Ciais P., Belan B.D., Nédélec P.* Large-scale aircraft observations of ultra-fine and fine particle concentrations in the remote Siberian troposphere: New particle formation studies // *Atmos. Environ.* 2009. V. 43. N 6. P. 1302–1309.
 38. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Симоненков Д.В.* Фотохимическое образование микродисперсного аэрозоля в атмосфере континентального района // *Оптика атмосфер. и океана.* 2006. Т. 19. № 4. С. 328–339.

39. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Пирогов В.А., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В.* Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района. Ч. 1. Размеры и динамика колонки примесей // *Оптика атмосф. и океана.* 2006. Т. 19. № 5. С. 441–447.
40. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Пестунов Д.А., Рассказчикова Т.М., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В.* Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района. Ч. 2. Баланс примесей в зоне Норильска // *Оптика атмосф. и океана.* 2006. Т. 19. № 7. С. 622–631.
41. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Краснов О.А., Рассказчикова Т.М., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В.* Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района. Ч. 3. Распространение примесей в воздушном бассейне Норильского региона // *Оптика атмосф. и океана.* 2006. Т. 19. № 9. С. 798–804.
42. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Рассказчикова Т.М., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В.* Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района. Ч. 4. Вертикальная стратификация примесей // *Оптика атмосф. и океана.* 2006. Т. 19. № 10. С. 905–908.
43. *Белан Б.Д., Задде Г.О., Ивлев Г.А., Краснов О.А., Пирогов В.А., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В.* Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района. Ч. 5. Примеси в приземном слое воздуха. Соответствие состава воздуха гигиеническим нормативам. Рекомендации // *Оптика атмосф. и океана.* 2007. Т. 20. № 2. С. 132–142.

M. Yu. Arshinov, B. D. Belan, D. K. Davydov, G. A. Ivlev, A. V. Kozlov, V. S. Kozlov, M. V. Panchenko, I. E. Penner, D. A. Pestunov, A. S. Safatov, D. V. Simonenkov, G. N. Tolmachev, A. V. Fofonov, V. S. Shamanaev, V. P. Shmargunov. Aircraft laboratory Antonov-30 "Optik-E": 20-year investigations of the environment.

The purpose of the given work is the review of the basic directions of researches executed on plane-laboratory AN-30 "Optik-E" in the period from 1996 on 2008. Results of generalizations of long-term experiments and the new original data are given.