

## ПРИМЕНЕНИЕ САМОЛЕТА АН-2 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ВОЗДУХА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

**П.Н. Антохин, В.Г. Аршинова, М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, С.Б. Белан, Д.К. Давыдов, А.В. Козлов,  
О.А. Краснов, Д.А. Пестунов, О.В. Праслова, Т.М. Рассказчикова,  
Д.Е. Савкин, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофанов**

### AN-2 AIRCRAFT INVESTIGATION OF AIR COMPOSITION IN ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

**P.N. Antokhin, V.G. Arshinova, M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, S.B. Belan, D.K. Davydov, A.V. Kozlov,  
O.A. Krasnov, D.A. Pestunov, O.V. Praslova, T.M. Rasskazchikova, D.E. Savkin, G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov**

В работе представлен комплекс оборудования для измерения вертикального распределения концентрации малых газовых компонентов воздуха в пограничном слое атмосферы. Измерения проводятся с борта самолета Ан-2. Комплекс позволяет осуществлять запись параметров полета и концентрации измеряемых веществ с частотой 1 раз в секунду. Приведены данные о годовом и суточном ходе концентрации озона в 2011–2012 гг.

The equipment complex for measuring the vertical distribution of concentrations of air gas components in atmospheric boundary layer the is discribed. Measurements are made from a board of An-2 aircraft. The complex allows us to record flight parameters and air gas concentrations with a frequency of 1 time per one second. The examples on annual and daily behavior of the ozone concentration in 2011–2012 are given.

#### Введение

Динамика вертикального распределения малых газовых примесей в пограничном слое атмосферы остается мало изученной в настоящее время. Важной задачей является изучение вертикального распределения озона в пограничном слое атмосферы (ПСА). Озон не только является радиационно активным газом, но обладает также сильными токсичными свойствами, влияющими на окружающую природу. Поэтому важным вопросом остается его источник в пограничном слое атмосферы. В ряде работ показано, что вертикальное распределение озона в ПСА имеет хорошо выраженный максимум концентрации и заметную суточную динамику, которую связывают с фотохимической генерацией озона из соединений, поступающих в ПСА с подстилающей поверхности [Grant, 1999; Cheng, 2000; Tricki, 2000; Stohl, 2003]. В то же время эксперименты на пассажирских самолетах гражданской авиации, а также результаты проектов MOZAIK, CARIBIC и CONTRALL отрицают наличие максимума концентрации в ПСА и заметного суточного хода в нем [Marengo, 1998; Law, 2000; Patz, 2006; Sammas, 2007; Volz, 2007]. Целью настоящей работы является разработка аппаратного комплекса для проведения экспериментального исследования суточной динамики вертикального распределения озона в ПСА.

#### Приборы и методы

Для измерения параметров ПСА был создан измерительный комплекс на борту самолета Ан-2. Он имеет следующие основные характеристики, которые важны при проведении измерений в ПСА. Самолет способен поднять 1500 кг полезного груза, скорость движения составляет 150–190 км/ч, дальность полета при полной загрузке около 1000 км, максимальная высота подъема 4000 м. Полное описание измерительного комплекса имеется в работе [Антохин, 2012].

На борту самолета установлены датчики температуры, влажности, статического и динамического давления, газоанализаторы озона (ОПТЭК-3.02-П и

ТЕI-Model-49) и углекислого газа (Licor-800). Перечень оборудования дан в таблице, структурная схема комплекса – на рис. 1. Калибровка измерительных приборов проводится до и после каждого вылета. Газоанализатор оксида углерода калибруется по двум поверочным газовым смесям в течение всего полета. Газоанализатор озона калибруется с применением генератора озона ГС-024 непосредственно перед вылетом и после посадки самолета. Регистрация параметров полета, метеорологических данных, концентрации углекислого газа и озона ведется с частотой 1 раз в секунду.

Оборудование самолета Ан-2

Прибор или датчик	Диапазон измерений	Погрешность	Постоянная времени приборов
O <sub>3</sub> (TEI-Model-49)	0–200 млрд <sup>-1</sup>	1 млрд <sup>-1</sup>	5 с
O <sub>3</sub> (ОПТЭК-3.02-П)	1–500 мкг/м <sup>3</sup>	13 %	1 с
CO <sub>2</sub> (Licor-LI-800)	0–2000 млн <sup>-1</sup>	1 млн <sup>-1</sup>	1 с
Датчик температуры (Vaisala)	–60÷+80	0.2 °C	15 с
Датчик относительной влажности (Vaisala)	0–100 %	1.7 %	15 с
Датчик давления МРХ4115АР (Motorola)	15–115кПа	1.5 %	0.001 с
Дифференциальный датчик давления МРХ5010DP (Motorola)	0–10 кПа	5 %	0.001 с

Начиная с июля 2010 г. комплекс начал использоваться при проведении измерений вертикального распределения концентрации озона и углекислого газа в ПСА. Район экспериментов находится недалеко от д. Березоречка Томской области и удовлетворяет всем условиям, предъявляемым к фоновым исследованиям атмосферы. Профильные измерения проводятся над постом мониторинга парниковых газов Российско-Японского проекта TOWERS [Аршинов,

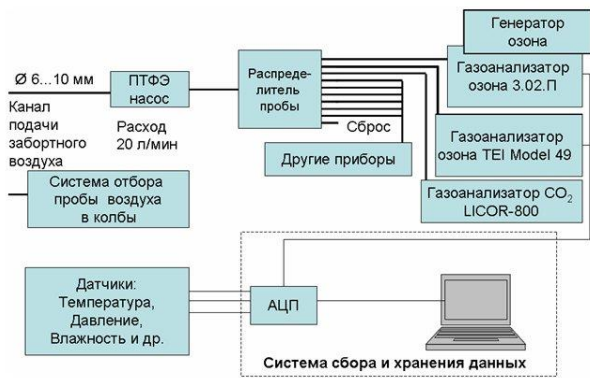


Рис. 1. Структурная схема измерительного комплекса самолета Ан-2.

2006]. Пост представляет собой оснащенную исследовательским оборудованием мачту, расположенную внутри большого лесного массива на удалении 60 км от Томска (54°08' N, и 84°20' E). Благодаря такой комбинации удастся получить профили концентраций озона от поверхности земли до высоты 3000 м в летний период и до 2000 м в зимний.

Кроме самолетных измерений, проводятся аэрологические с использованием аэрологического комплекса Vaisala-MW-21 DigiCora-III. Площадка для запуска шаров-зондов расположена на территории Томского академгородка. Запуски шаров-пилотов осуществляются синхронно с вылетом самолета Ан-2. Шар-зонд проводит измерения температуры, давления, относительной влажности, направления и скорости ветра до высоты 27 000 м. Применение шаров-пилотов позволяет повысить качество измерений, посредством введения поправок в измерения, проведенные на борту самолета.

### Заключение

В качестве результатов работы приведем вертикальные профили концентрации озона и сравнение метеорологических данных, полученных с борта самолета, с данными аэрологического зондирования.

На рис. 2 и 3 приведены вертикальные профили озона. Для каждого сезона года все профили получены в дневное время около 15:00 (GTM+7) местного времени. Видно, что профили обладают высокой изменчивостью как по высоте, так и в зависимости от сезона года.

Сопоставление измерений температуры, полученных с борта самолета и шара-зонда, приведено на рис. 4. Ввиду низкой скорости полета самолета

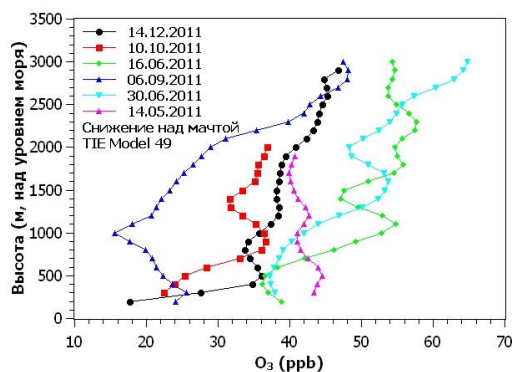


Рис. 2. Вертикальное распределение озона над территорией Западной Сибири в 2012–2013 гг.

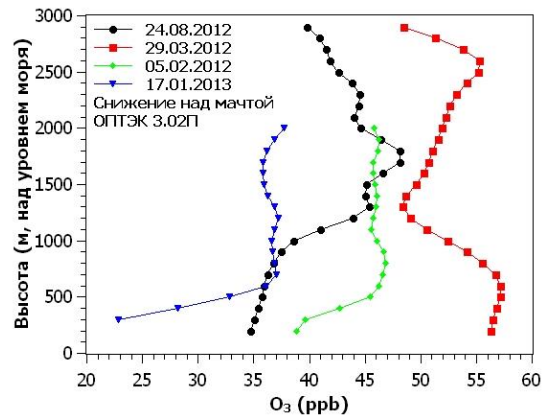


Рис. 3. Вертикальное распределение озона над территорией Западной Сибири в 2011 г.

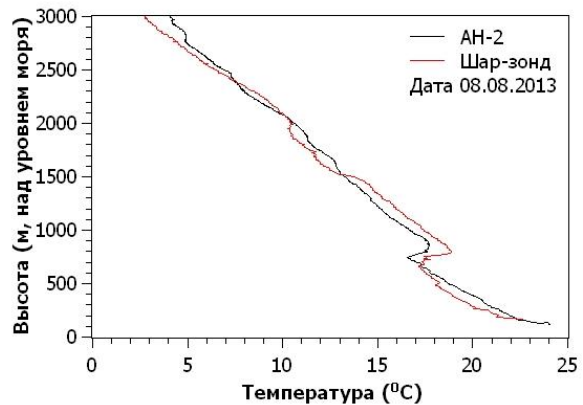


Рис. 4. Сопоставление измерений температуры, полученных с борта самолета и шара-зонда.

разогрев температурного датчика практически отсутствует, разница между профилями составляет  $\sim 1^\circ$ , что укладывается в погрешность измерений. Измерения относительной влажности воздуха, проведенные на борту самолета и с помощью шара-зонда, показывают согласие.

В результате проведенной работы создан и постепенно модернизируется измерительный комплекс на борту самолета Ан-2. В настоящее время ведутся работы по установке дополнительного оборудования, а именно, газоанализаторов оксида углерода и метана. Также изучается возможность установки пиранометров для проведения радиационных измерений.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, №7 0 и № 131, грантов РФФИ № 11-05-00470, № 11-05-00516, № 11-05-93116 и №11-05-93118, госконтрактов Минобрнауки № 11.519.11.5009, № 11.518..11.7045, № 14.515.11.0030 и № 8325.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д. и др. Применение самолета Ан-2 для исследования состава воздуха в пограничном слое атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 8. С. 714–720.

Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др. Организация мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу компонент над территорией Сибири и некоторые его результаты. 1. Газовый состав // Там же. 2006. Т. 19, № 11. С. 948–955.

- Cammas J.-P., Volz-Thomas A. The MOZAIC Program (1994–2007) // IGAActivities Newsletter. 2007. N 37. P. 10–17.
- Cheng W.-L. A vertical profile of ozone concentration in the atmospheric boundary layer over central Taiwan // Meteorol. Atmos. Phys. 2000. V. 75, N 3–4. P. 251–258.
- Grant R.H., Wong K.-L. Ozone profiles over a suburban neighborhood // Atmos. Environ. 1999. V. 33, N 1. P. 51–63.
- Law K., Plantevin P.-H., Thouret V., Marengo A. Comparison between global chemistry transport model results and measurement of ozone and water vapour by airbus in-service aircraft (MOZAIC) data // J. Geophys. Res. 2000. V. 105, N D3. P. 1503–1525.
- Marengo A., Thouret V., Nedelec P. Measurements of ozone and water vapor by Airbus in-service aircraft : The MOZAIC airborne program, an overview // Ibid. 1998. V. 103, N D12. P. 25631–25642.
- Patz H.-W., Volz-Thomas A., Hegglin M.I. In situ comparison of the NO<sub>y</sub> instruments flown in MOZAIC and SPURT // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6, N 9. P. 2401–2410.
- Stohl A., James P. A 3d backward trajectory database for the TOR-2 Project provided by the Lagrangian trajectory model ELEXTRA. // TOR-2 EUROTRAC Subproject Final Report. Munich: ISS. 2003. P. 144–159.
- Tricki T. Transport studies by lidar sounding – the IFU activities in 2000 // TOR-2. Annual report 2000. Munich: ISS. 2001. P. 87–96.
- Volz-Thomas A. In-service Aircraft for Global Observations – the future // Ibid. 2007. N 37. P. 18–22.

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия*