

**FEDERAL SERVICE FOR HYDROMETEOROLOGY  
AND MONITORING OF ENVIRONMENTAL**

**Greenhouse gases studies using  
aircraft observations and transport  
modeling**

Borisov Yu.<sup>1</sup>, Khattatov V.<sup>1</sup>, Yushkov V.<sup>1</sup>, Lukyanov A.<sup>1</sup>,  
Maksyutov S.<sup>2</sup>, Machida T.<sup>2</sup>

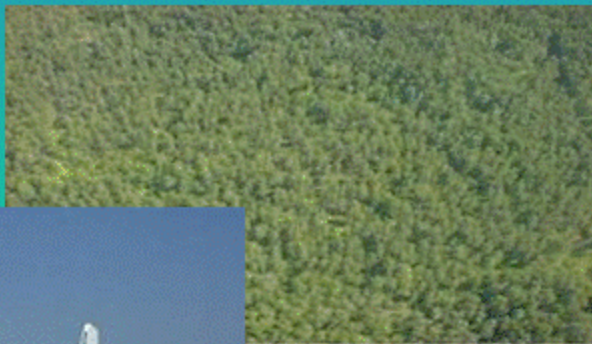
<sup>1</sup>Central Aerological Observatory, Dolgoprudny, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>National Institute for Environmental Studies, Japan

# Regular Aircraft observation of the carbon budget in West Siberia

## 1. Observations: airborne air sampling and analysis

Surgut  
from 1993 to now



Novosibirsk from 1997



Yakutsk from 1998

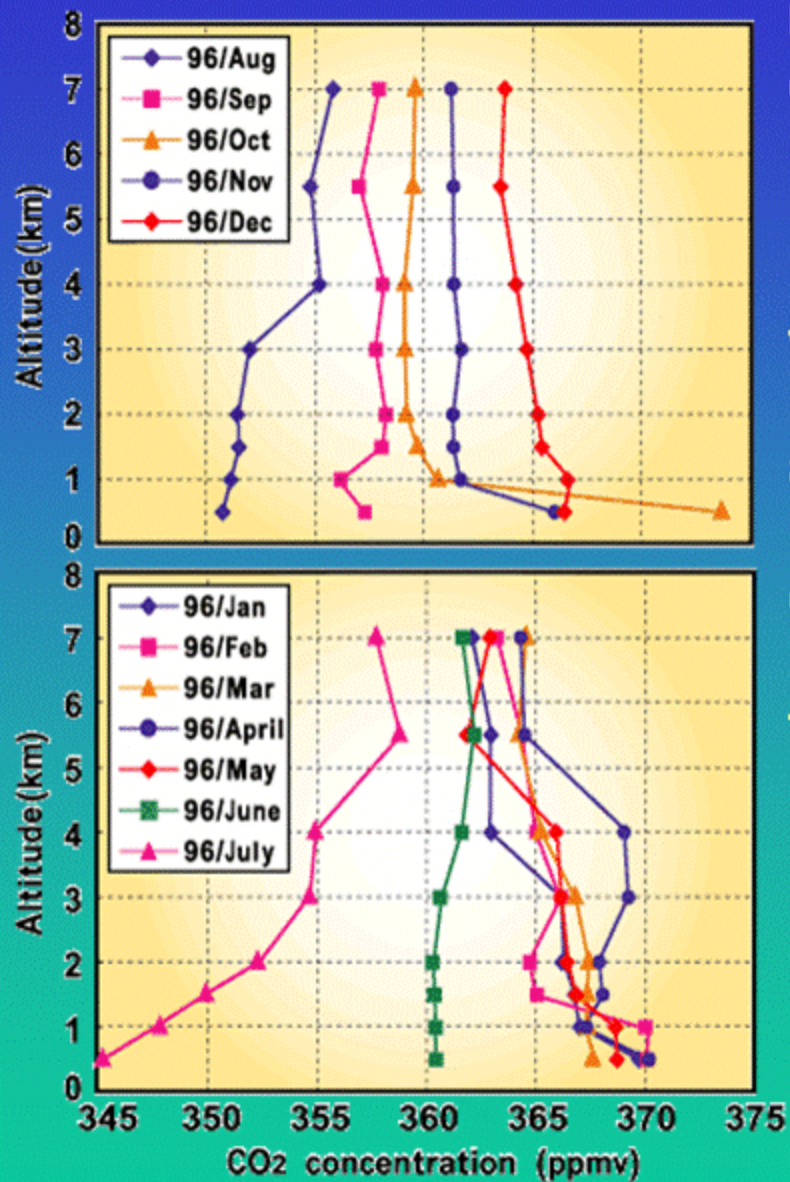


Fig. 2 shows the vertical profiles of CO<sub>2</sub> concentration over Surgut obtained from January to December 1996.

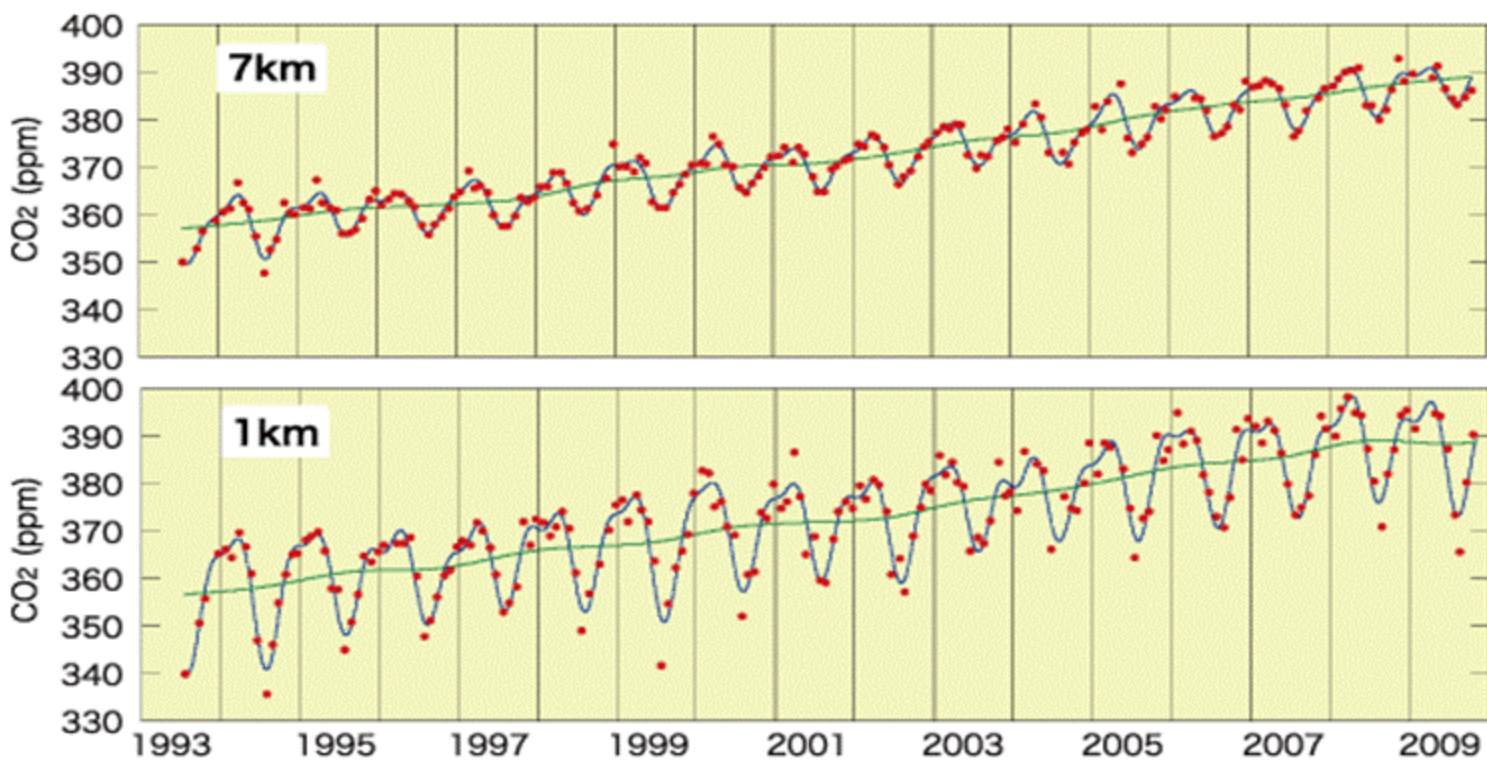
CO<sub>2</sub> concentrations over Surgut show lower values in summer and higher values in winter at each altitude.

In July, the concentration near the surface is extremely low and shows a strong vertical gradient due to the CO<sub>2</sub>

uptake by the vegetation around Surgut.

On the other hand, high CO<sub>2</sub> concentrations are observed at lower altitudes in winter.

Figure 2. Vertical profiles of CO<sub>2</sub> concentration over Surgut in 1996

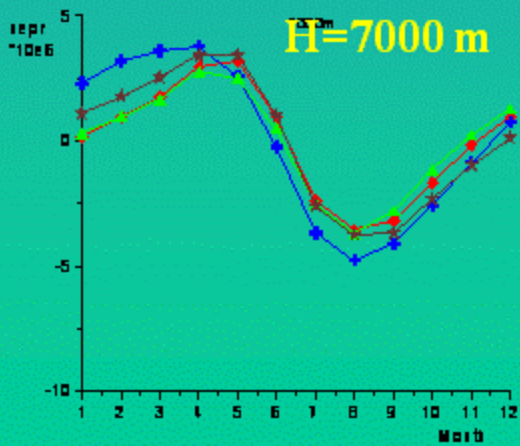
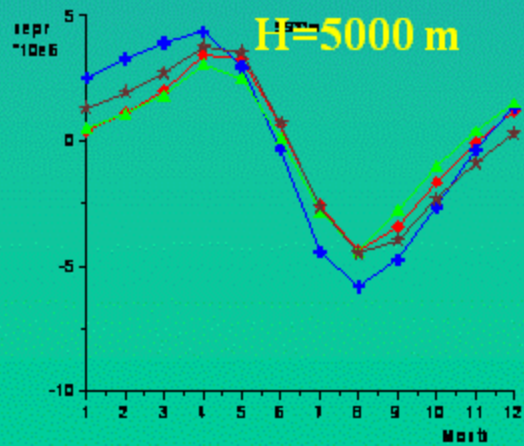
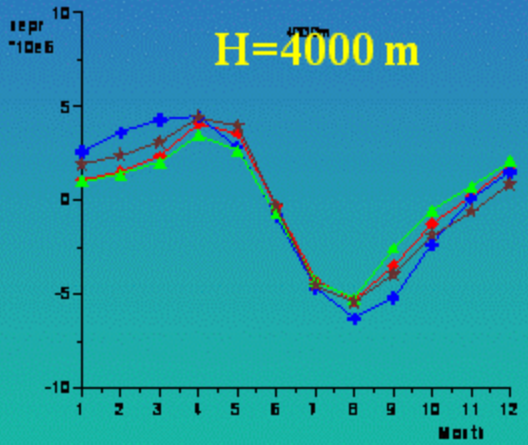
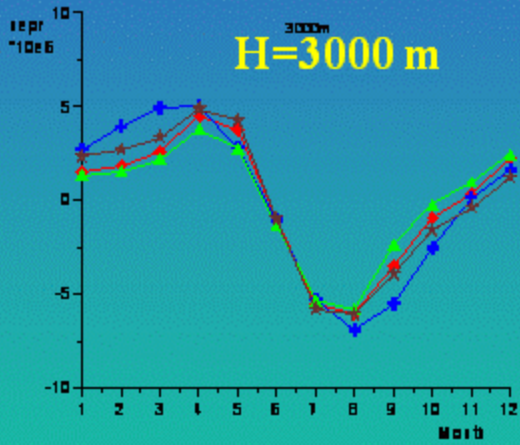
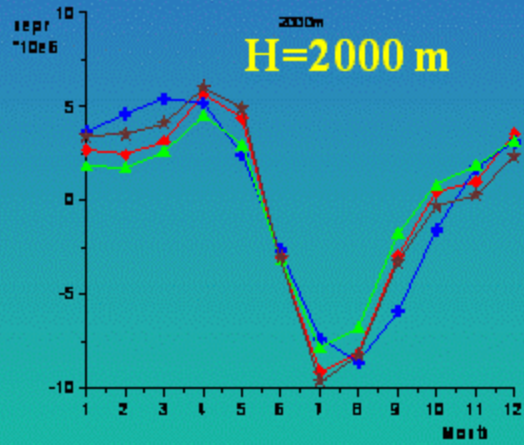
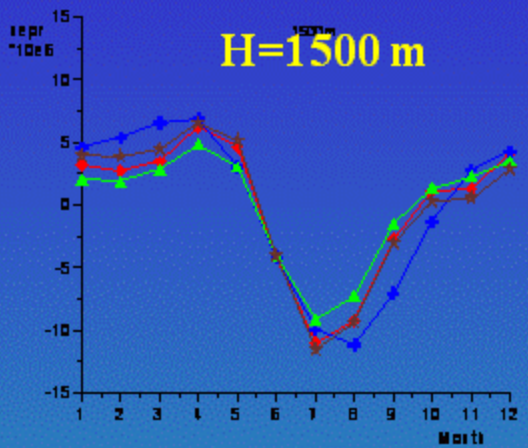
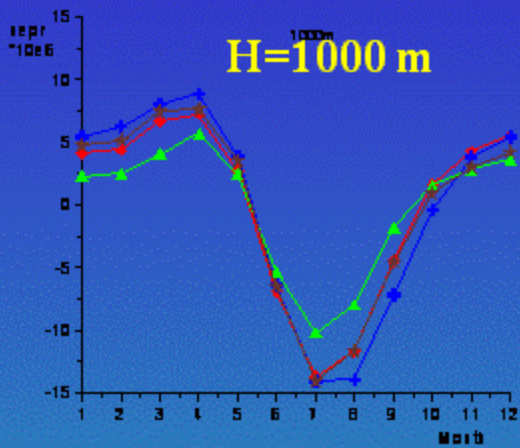
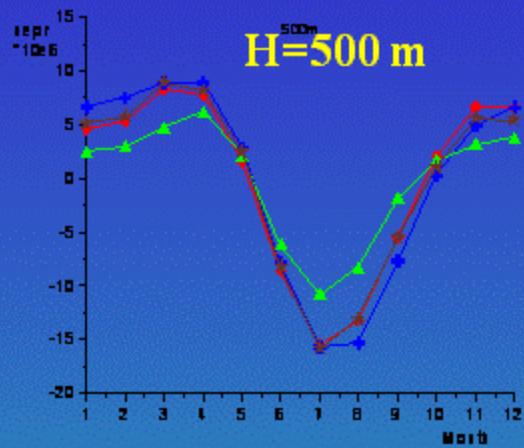


**Figure 3. Time series of CO<sub>2</sub> concentration at 1 km and 7 km altitudes over Surgut**

Note: Solid circles, blue lines, and green lines represent the observed data, the best-fit curves, and the long-term trends, respectively.

The time series of CO<sub>2</sub> mixing ratio observed in this study are shown in Fig. 3, together with the best-fit curves and the long-term trends. The seasonal cycles of the CO<sub>2</sub> mixing ratio at the respective altitudes reached a maximum in late March or early April and a minimum in early or late August. The peak-to-peak amplitude of the averaged seasonal cycle at 1 km over Surgut was found to be 23.3 ppm and that at 7 km was 10.7 ppm.

# Modelled and observed CO2 variations over Novosibirsk



- ◆ Concentration = nepf + fs95 + ocnf
- ★ Concentration = nepf
- ▲ Concentration = nepr + fs95 + ocnf
- ◆ Measurements

# Siberian CH<sub>4</sub> in inverse modeling with GISS and Bc7q emissions

## Inversion set-up

264 tracers: 12 month × 11 region × (anthropogenic and natural emissions) using 2005 winds and OH

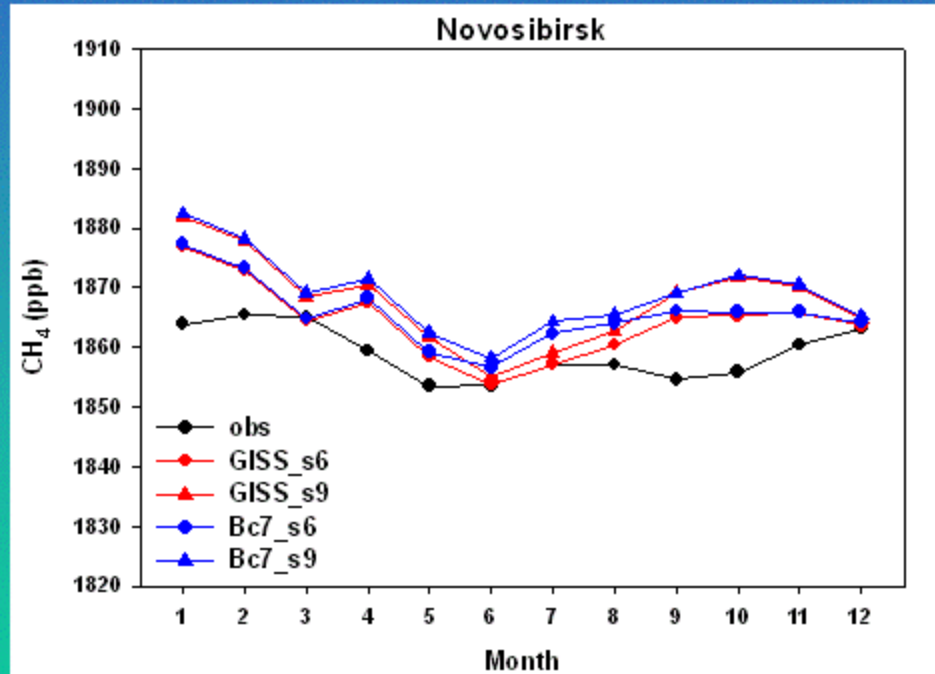
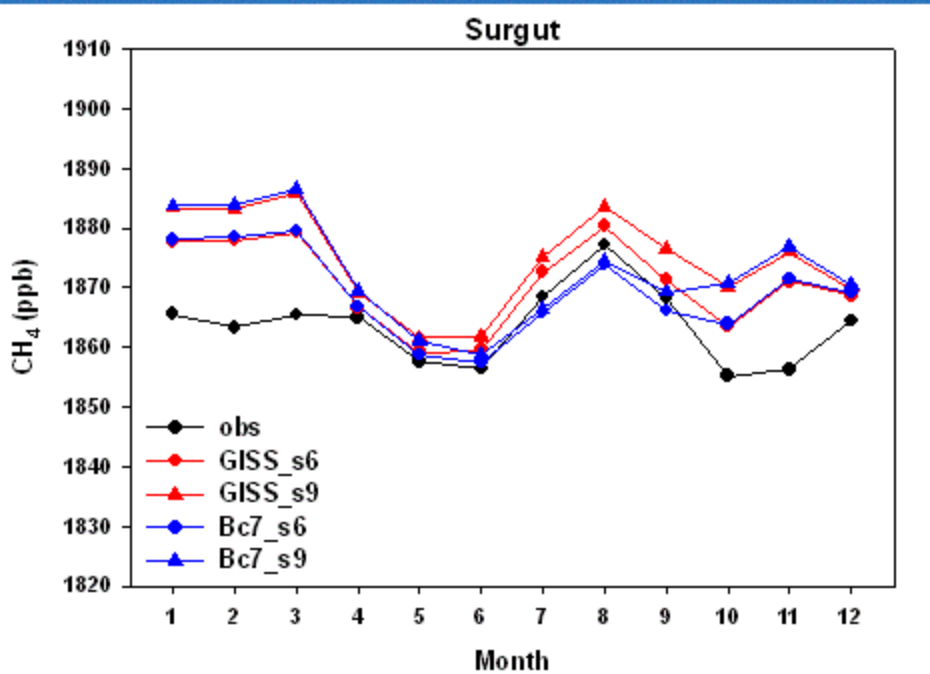
CH<sub>4</sub> observations at 59 sites including 7 vertical profiles: mean in 2002-2007 taken from GLOBALVIEW

Two vertical profiles of CH<sub>4</sub> over Siberia: mean in 1993-2007 for Surgut and in 1997-2007 for Novosibirsk

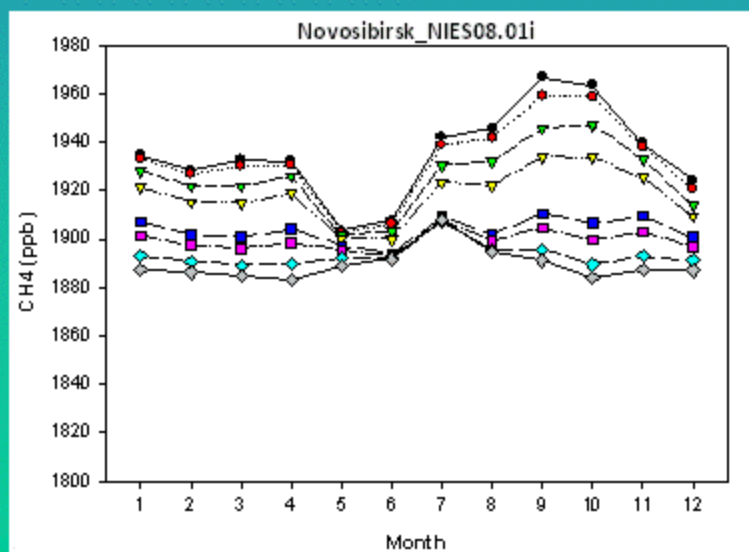
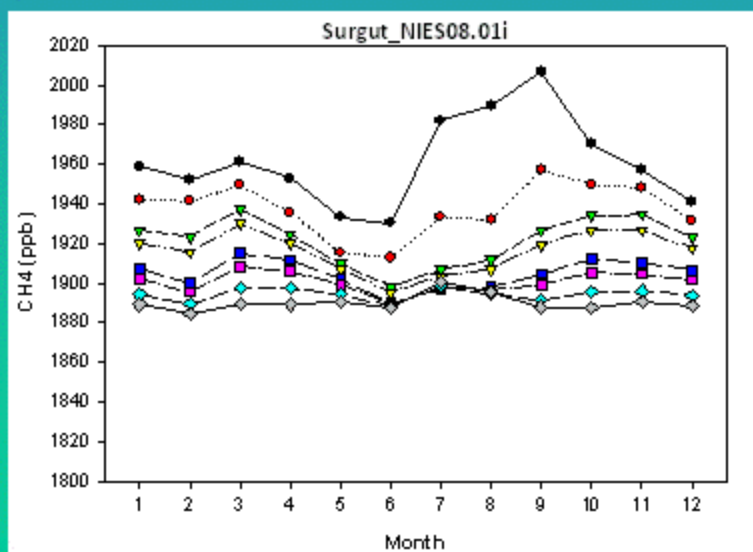
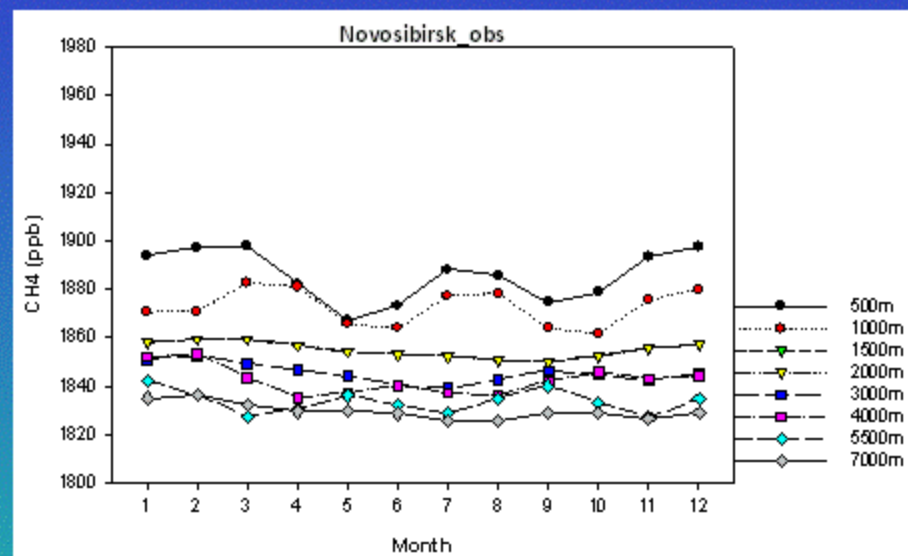
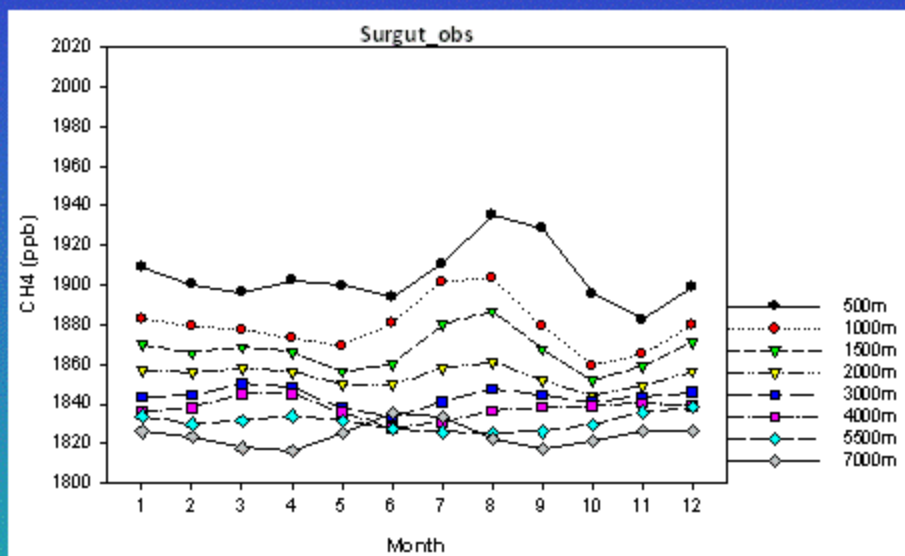
Prior flux uncertainty of 30% during Nov-Feb and 50% during Apr-Oct

GISS (Bc7q): inversion using partial-column data [pcol] with GISS (Bc7q) emission

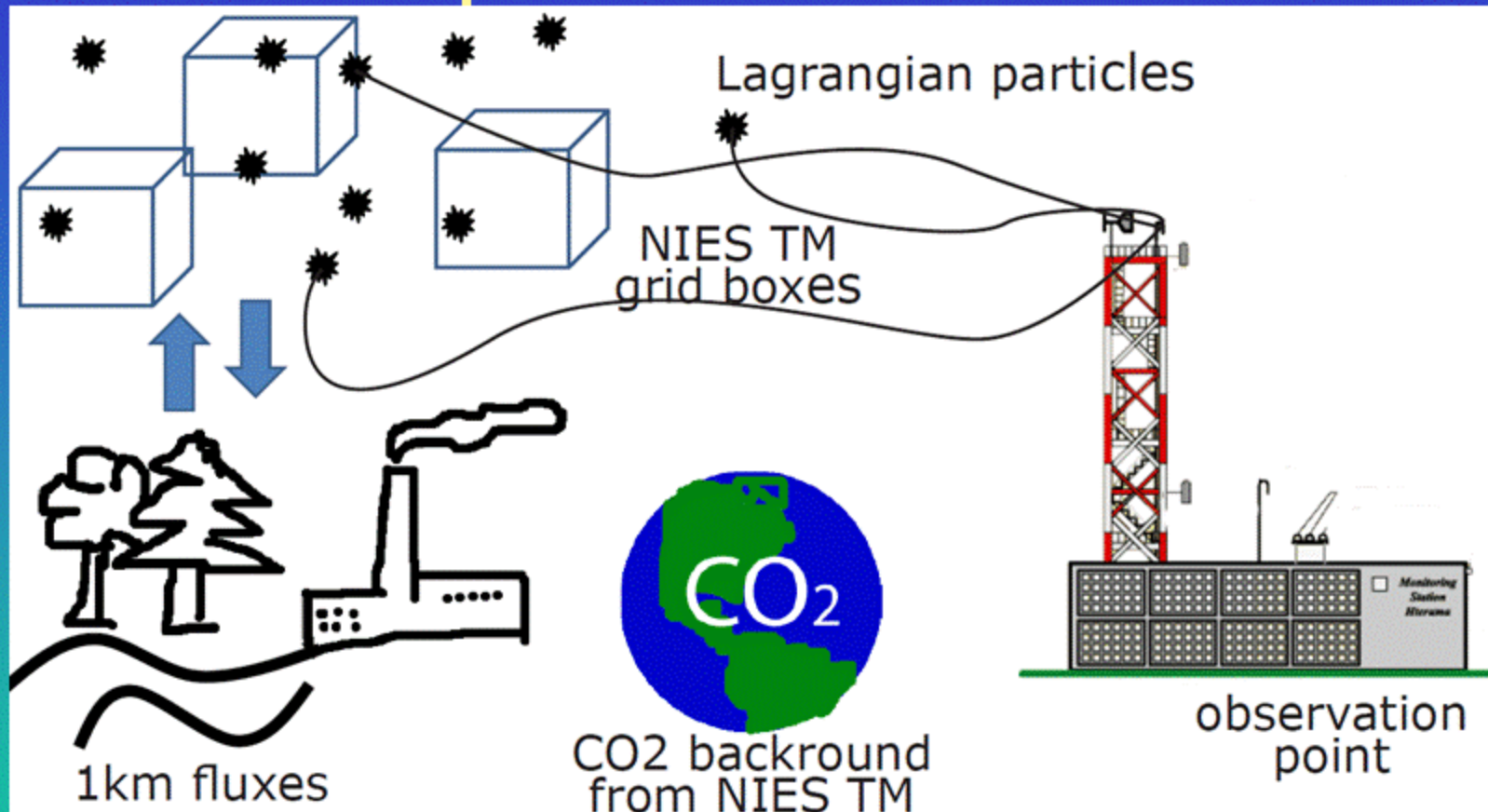
\_s6 (s9): Siberian data uncertainty of 6 ppb (9 ppb)



# Seasonal variation of observed and modeled CH<sub>4</sub> at Surgut and Novosibirsk from 0.5 km to 7.0 km.



# Coupled model scheme



NIES/FRCGC- Eulerian model  
FLEXPART – Lagrangian model

The background CO<sub>2</sub> values on the model grid were obtained by NIES/FRCGC one week before observations. Then FLEXPART in backward mode during one week used these background values and local CO<sub>2</sub> sources to simulate observations.



# Coupled model simulations

$$CO_2^{coupled} = CO_2^{NIES} + CO_2^{FLEXPART}$$

$$CO_2^{fl\ exp\ art} = \frac{T}{hNL} \sum_{ij} \sum_{l=0}^L S_{ij}^l \sum_{n=1}^N f_{ij}^{ln} \quad CO_2^{nies} = \frac{1}{N} \sum_{ijk} C_{ijk}^B \sum_{n=1}^N f_{ijk}^n$$

$i, j, k$  – indices of grid cell,  $l$  – time index,  $C_{ijk}^B$  – initial background concentration from Eulerian model,  $f_{ijk}^n$  equals 1 (parcel inside  $i, j, k$  cell), equals 0 (parcel outside  $i, j, k$  cell),

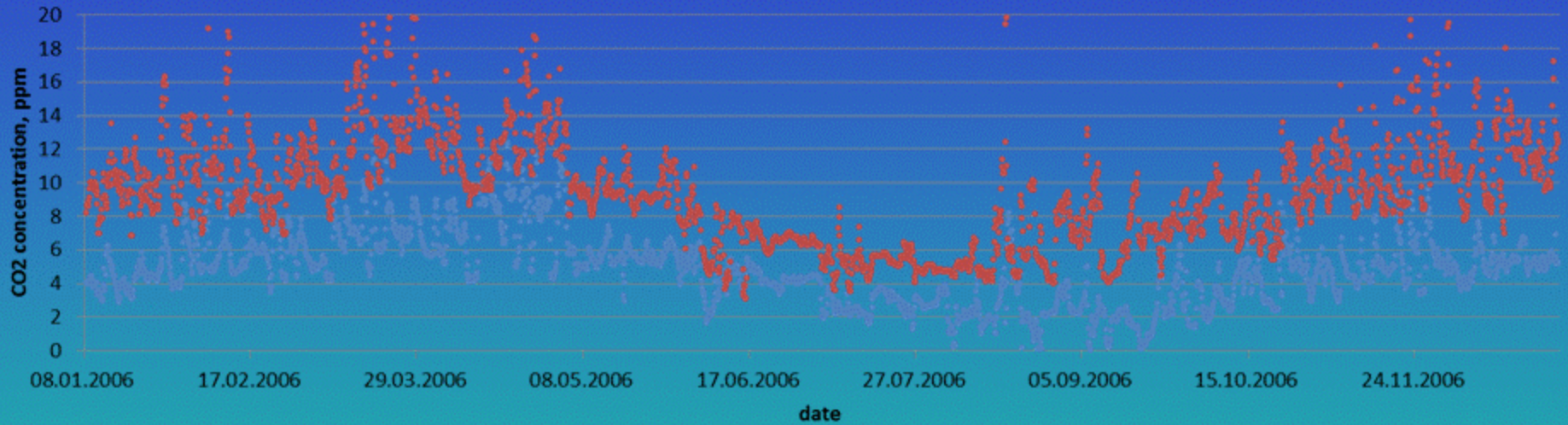
$T$  – duration of trajectories,  $L$  – number of trajectory time steps,  $h$  – height of sampling layer,

$S_{ij}^l$  – number of air parcels emitted in backward direction from receptor point,  $f_{ij}^{ln}$  – surface fluxes.

# Simulations

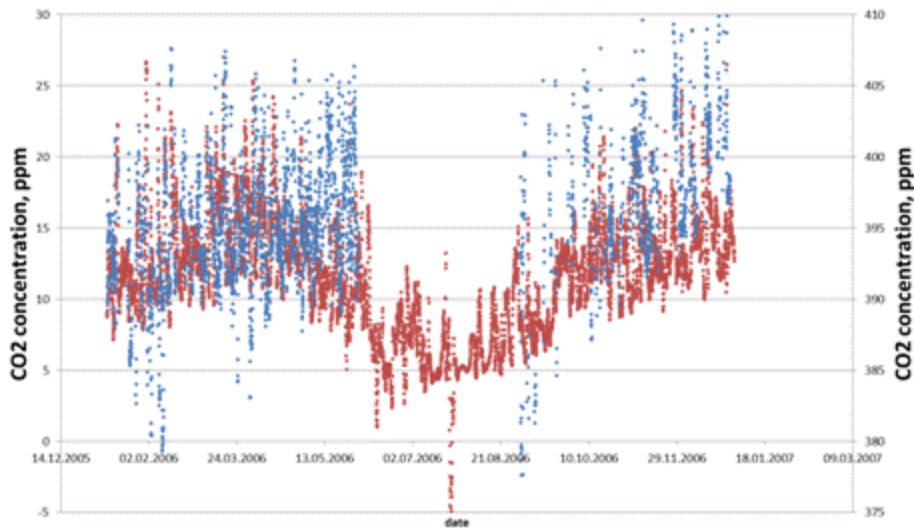
## Hateruma

• observations • model



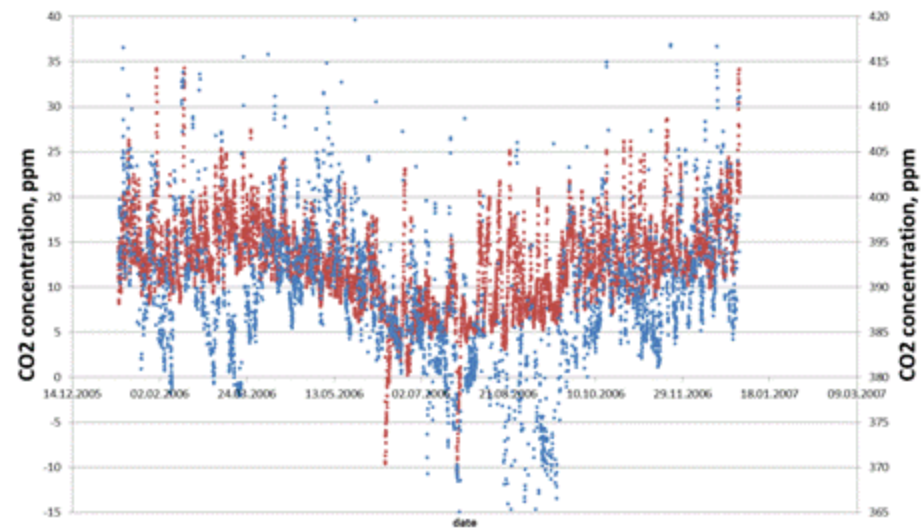
### Gosan

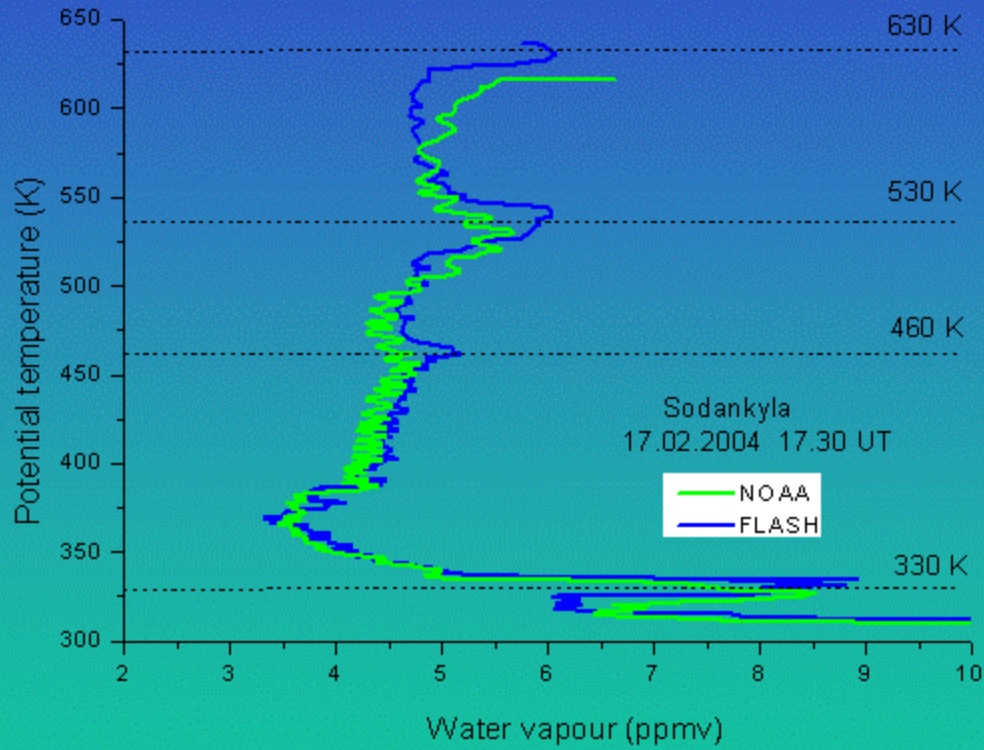
• model • observations



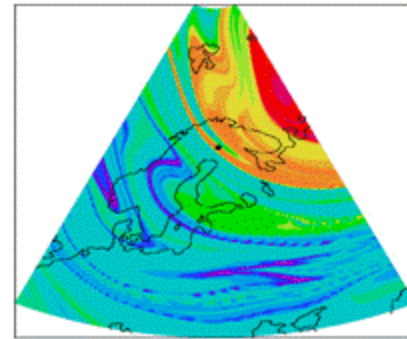
### Anmyeon-do

• model • observations





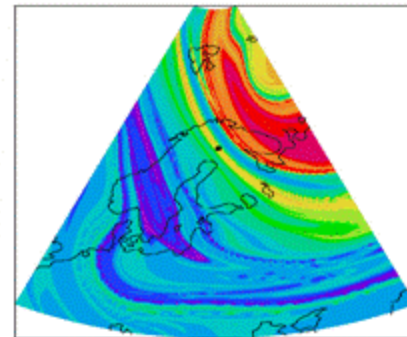
630 K



0426 02A/03

2004-02-14-1327

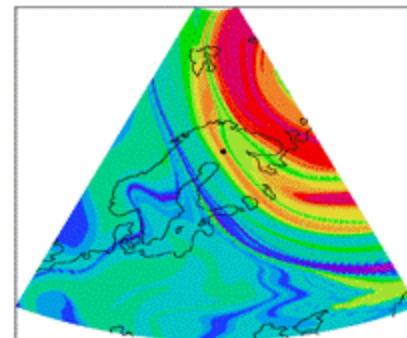
530 K



0426 02A/03

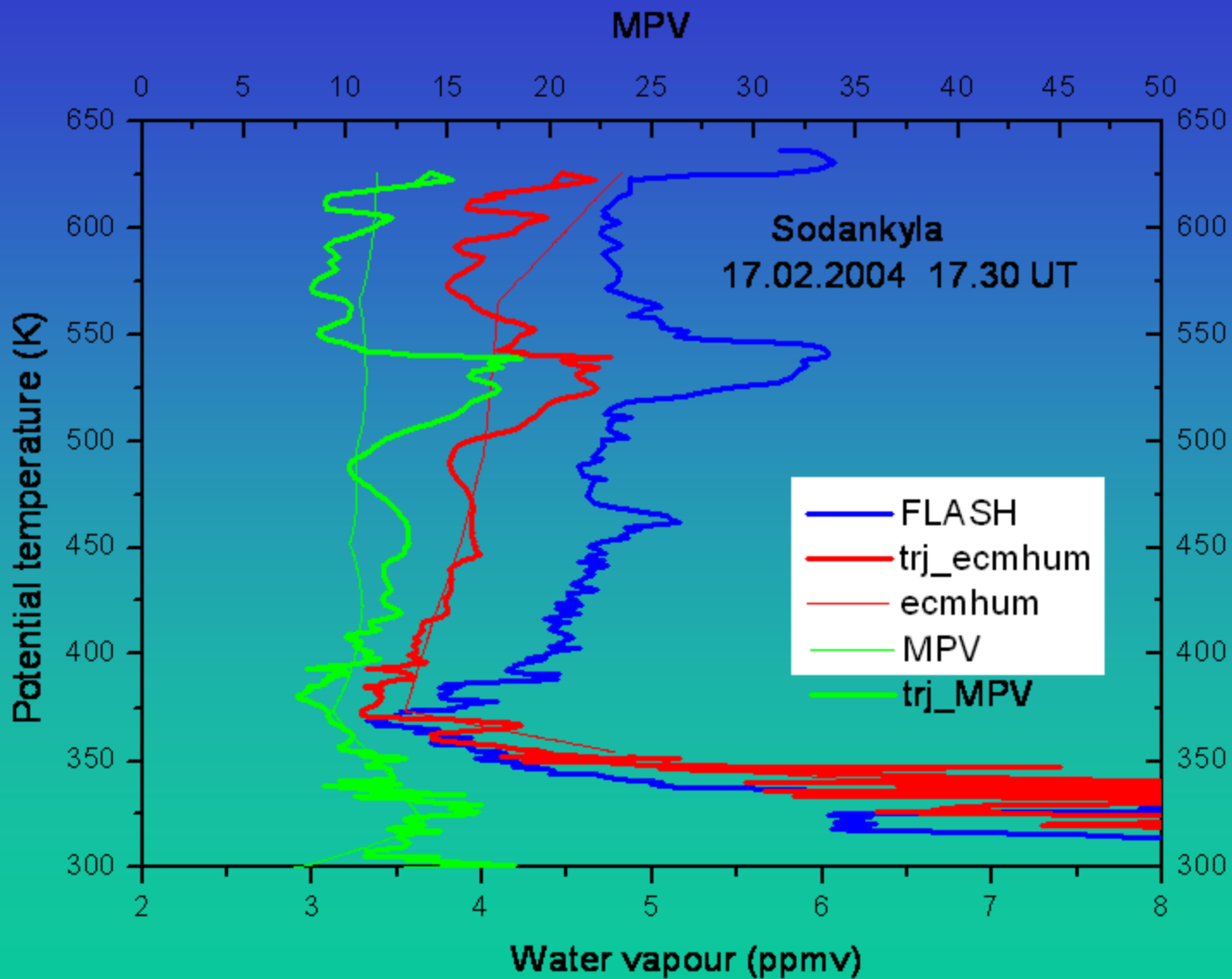
2004-02-11-1230

460 K

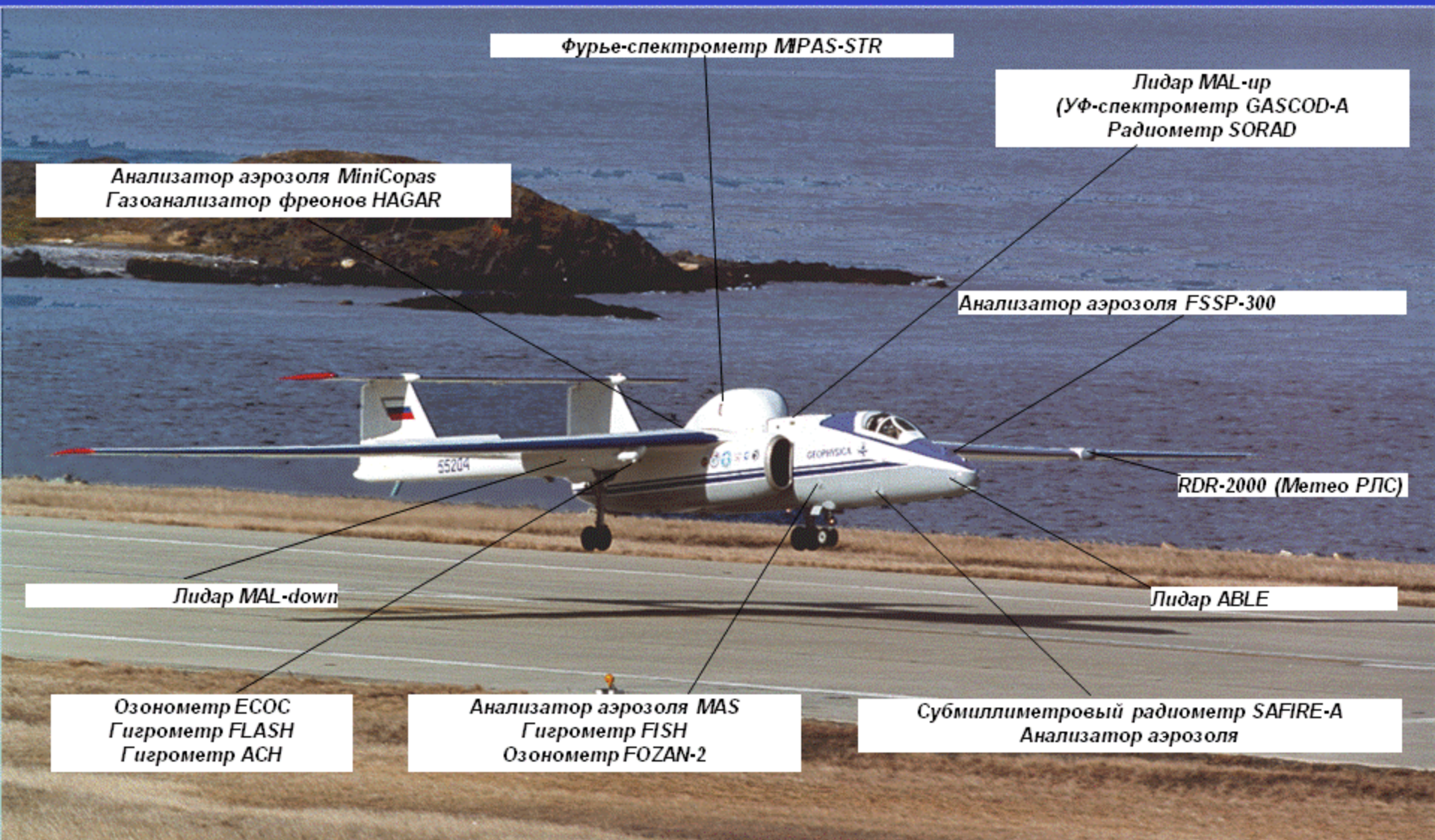


0426 02A/03

2004-02-03-1254



**Высотная (до 21 км) самолетная научная лаборатория М-55 «Геофизика».**  
**Масса научного оборудования 2100 кг.**



Фурье-спектрометр MPAS-STR

Лидар MAL-up  
(УФ-спектрометр GASCOD-A  
Радиометр SORAD)

Анализатор аэрозоля MiniCoras  
Газоанализатор фреонов HAGAR

Анализатор аэрозоля FSSP-300

RDR-2000 (Метео РЛС)

Лидар MAL-down

Лидар ABLE

Озонометр ECOC  
Гигрометр FLASH  
Гигрометр ACH

Анализатор аэрозоля MAS  
Гигрометр FISH  
Озонометр FOZAN-2

Субмиллиметровый радиометр SAFIRE-A  
Анализатор аэрозоля

# Исследование состава атмосферы с помощью высотного самолета-лаборатории М-55 «Геофизика»

Центральная аэрологическая обсерватория, Росгидромет

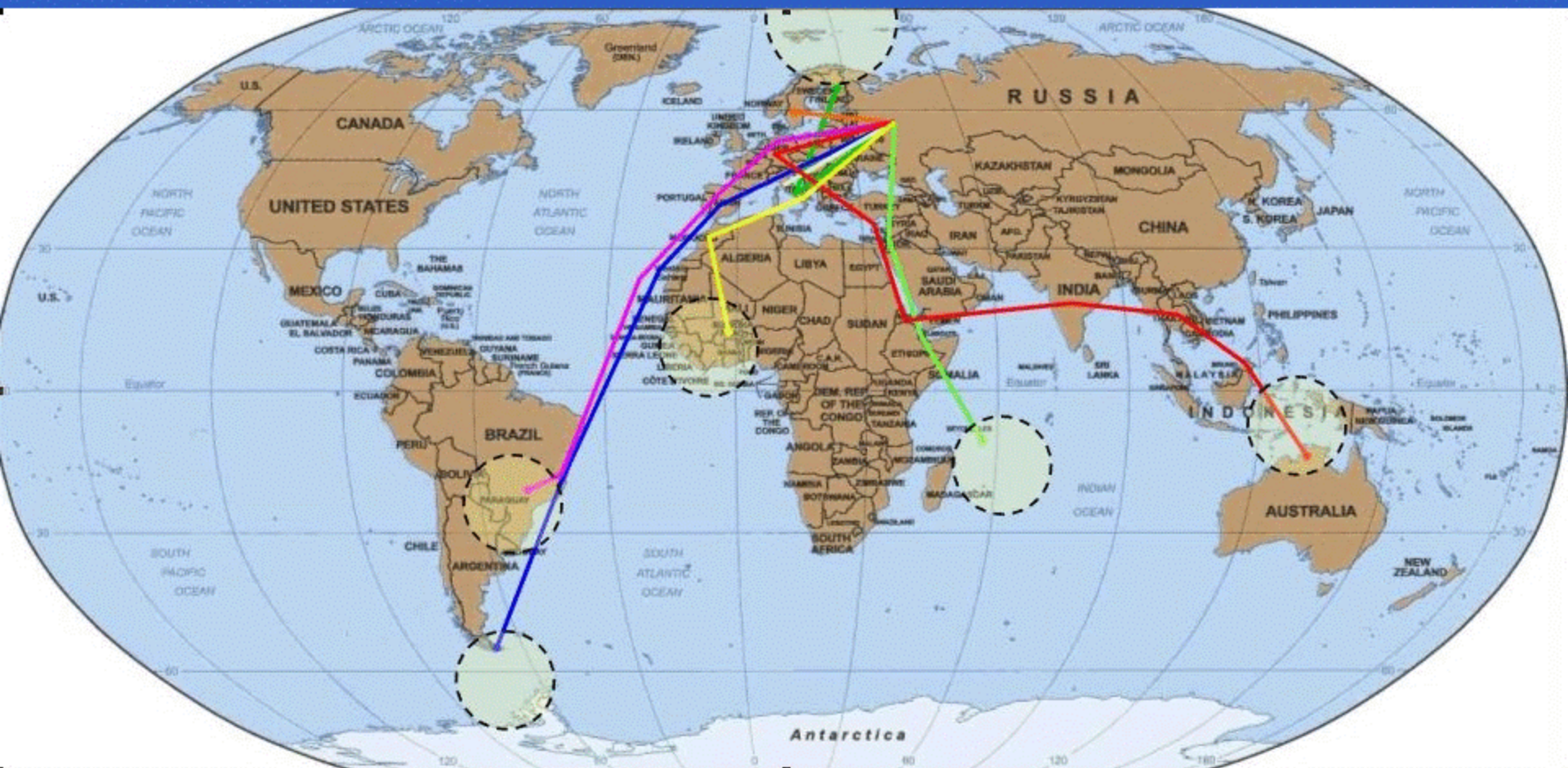


## Подготовка к полету самолета М-55 «Геофизика» в





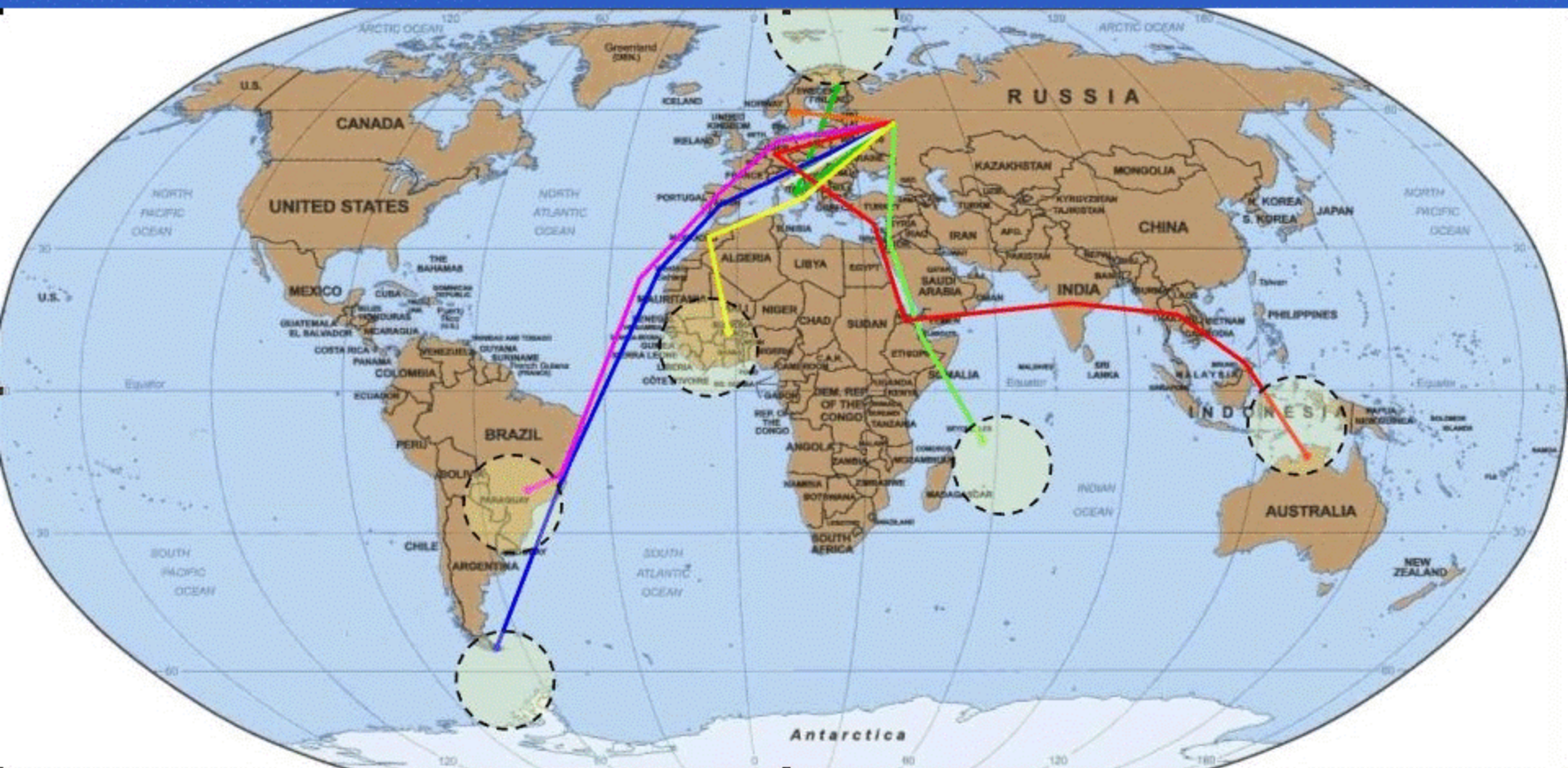
## Маршруты самолетных экспедиций за период 1993 - 2010 годы.







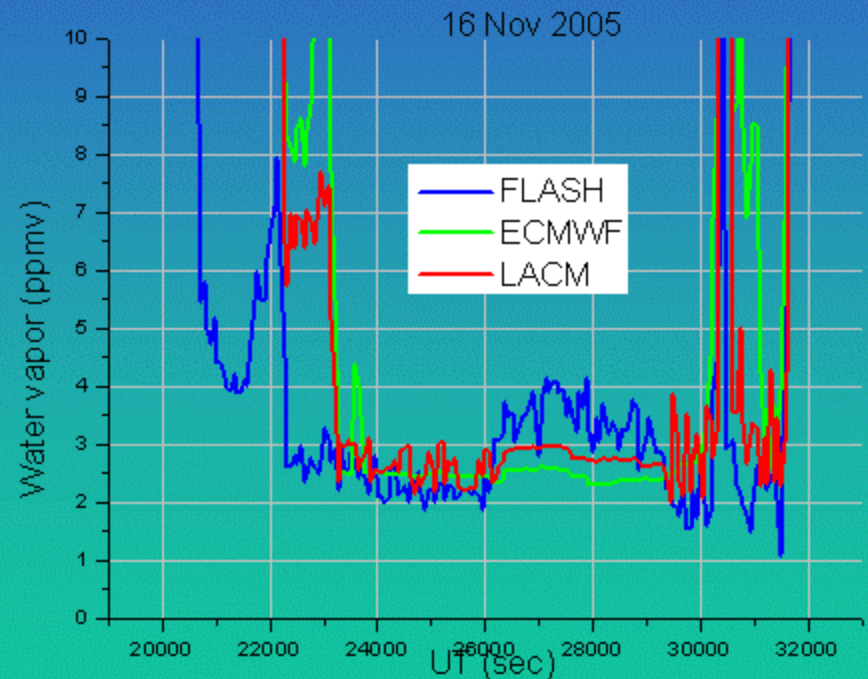
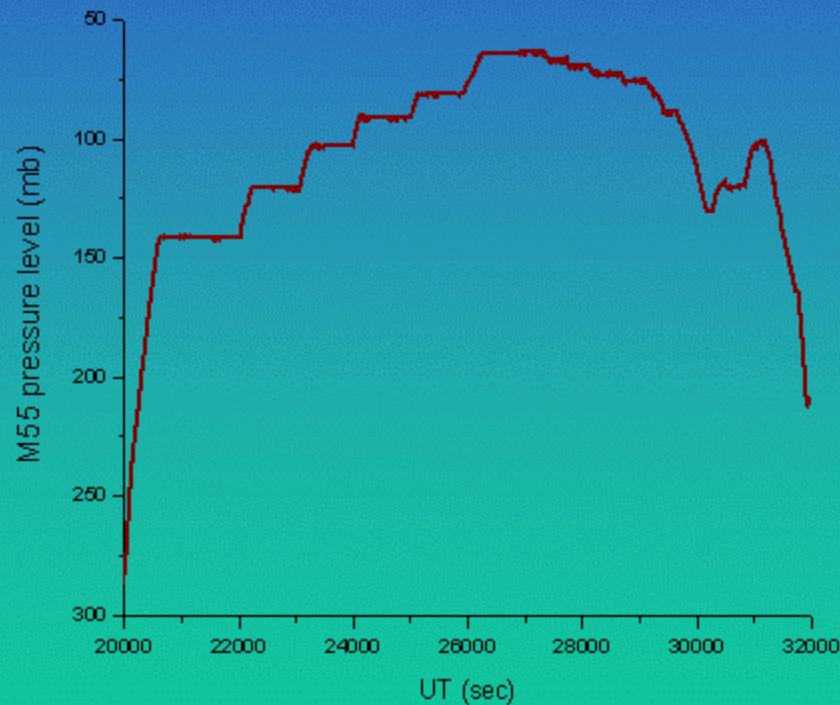
## Маршруты самолетных экспедиций за период 1993 - 2010 годы.



# M55 water vapor observations and modeling

FLASH-optical hygrometer

LACM-coupled trajectory/cirrus model

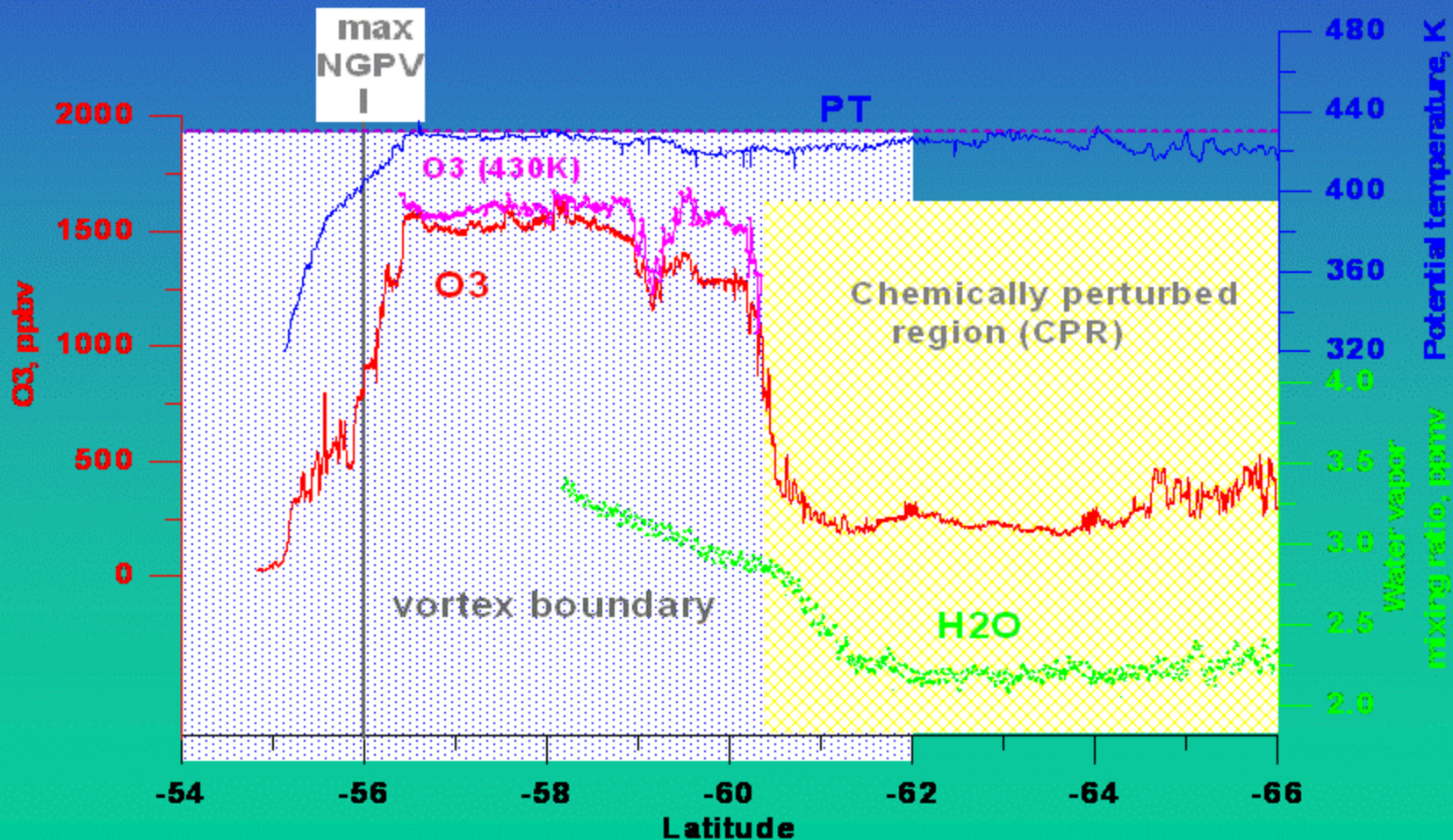


- 70 ученых и специалистов из 11 стран (Россия, Италия, Германия, Англия, Швейцария, Финляндия, Испания, Аргентина, Бразилия, Чили, США) участвовали в самолетной экспедиции APE-GAIA.
- Самолетные измерения состава атмосферы были также проведены на транзитных перелетах самолета М-55 «Геофизика» из Москвы в Аргентину и обратно.



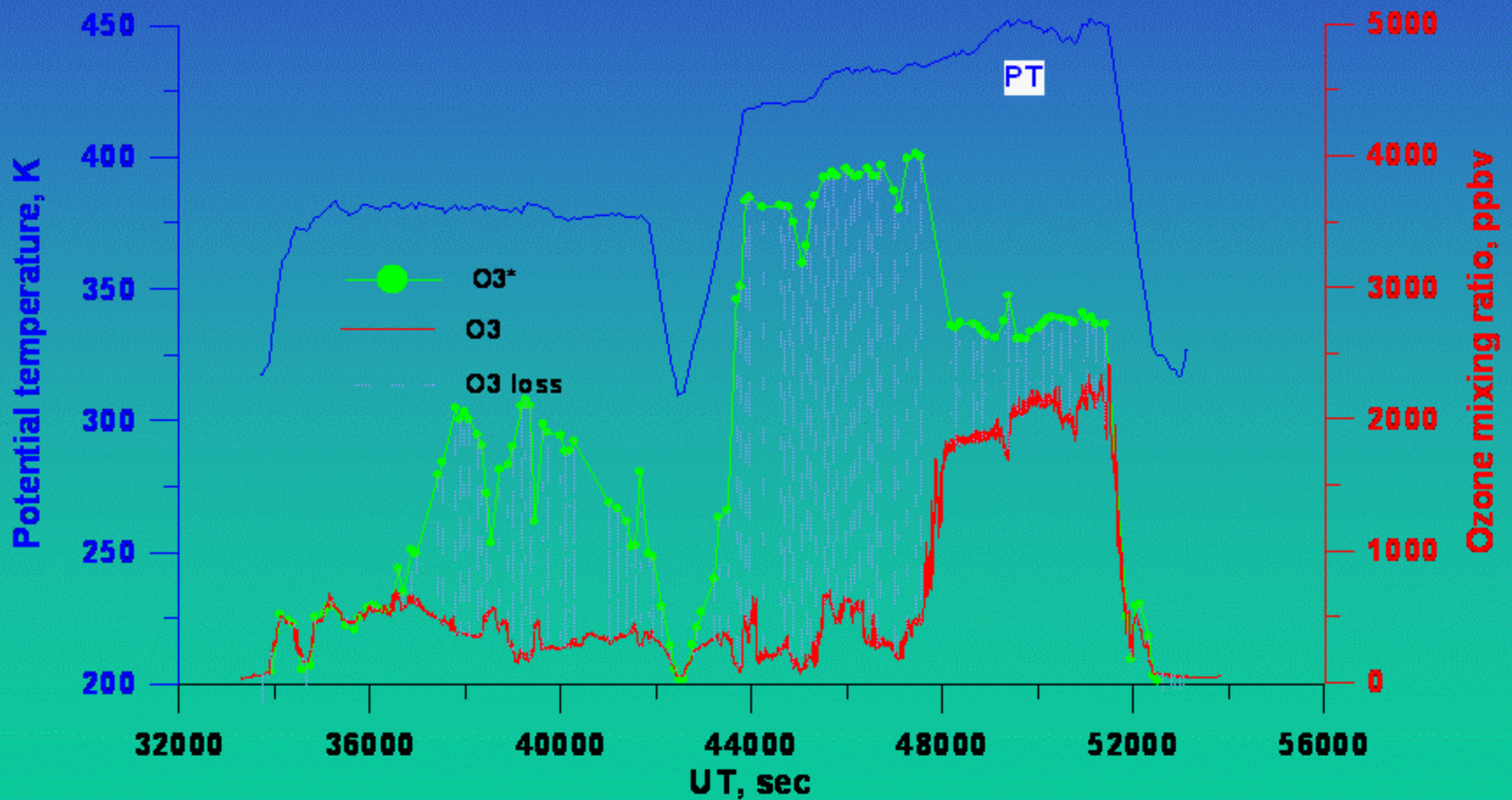
# Оценка химически возмущенного региона в нижней стратосфере над Антарктидой по данным самолетных измерений озона и водяного пара

The flight on September 23d 1999. Direct part.



# Оценка дефицита озона в стратосфере над Антарктидой по данным самолетных измерений

The flight on September 21st 1999.



# Подготовка научной аппаратуры в ангаре а-п. Кируна, Швеция



- 11 научных полетов
- Суммарное количество летных часов – 49



# Области применения стратосферного самолета-лаборатории М-55 «Геофизика» в системе наблюдений за составом атмосферы.

## *Мониторинг стратосферного слоя озона.*

- Измерения концентраций и пространственно временных распределений стратосферного озона, хлорных, бромных, азотных и водородосодержащих соединений в тропосфере и стратосфере, ответственных за химические и фотохимические процессы формирования озонового слоя.
- Оценки интенсивности источников и стоков малых газовых примесей естественного и антропогенного происхождения.
- Измерения химического состава и радиационных свойств полярных стратосферных облаков, а также облаков-циррусов, вблизи тропопаузы в высоких и тропических широтах.

## *Мониторинг стратосферного слоя аэрозоля (как одного из важнейших факторов глобальной климатической системы).*

- Измерения оптических, микрофизических и радиационных характеристик стратосферного аэрозоля и их пространственно временной изменчивости.

## *Мониторинг распределений парниковых газов в свободной атмосфере.*

- Измерения концентраций и пространственно временные распределений концентраций парниковых газов и их изменчивости.
- получение данных об интенсивности переноса парниковых газов и аэрозольных частиц из тропосферы в стратосферу.

## *Валидация спутниковых измерений состава атмосферы.*

# M-55 “Geophysica” aircraft

humidity measurements (FLASH and FISH). Between 10.5 UT and 11.5 UT on the fixed aircraft altitude (~ 230 mb) in the upper troposphere the significant increase of water vapour (from 30 ppmv to 80 ppmv) have been measured by both instruments (shaded region in Fig. 1). FISH has registered at that time the condensed phase of water as well.

In Fig. 2 the height evolution of two trajectories starting at 10.5 UT (10.5tr) and 11.5 UT (11.5tr) are presented. 10.5tr started before water vapour increase while 11.5 started after that increase. Fig. 2 shows that humid air masses sampled at 11.5 UT came from the boundary layer into the upper troposphere. This is a typical example of warm conveyor belt, which provides the presence of air masses with different chemical composition near the tropopause.

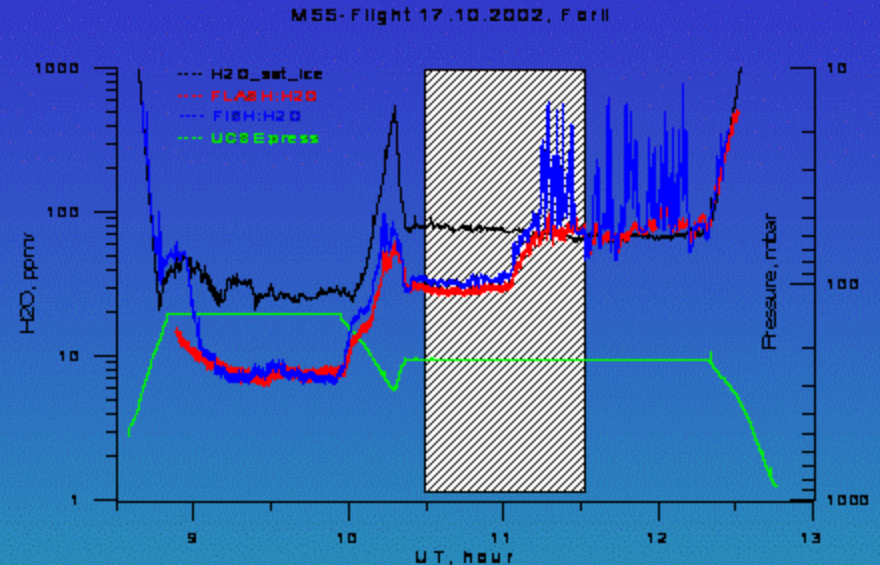


Fig. 1

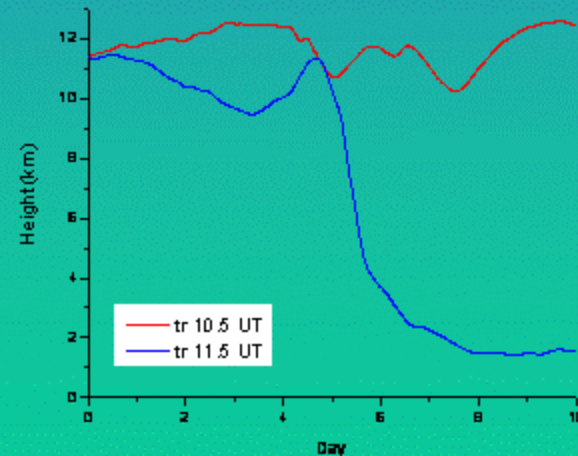


Fig 2





# TROPOSPHERIC AIRCRAFT LABORATORY FOR MONITORING GREENHOUSE GASES



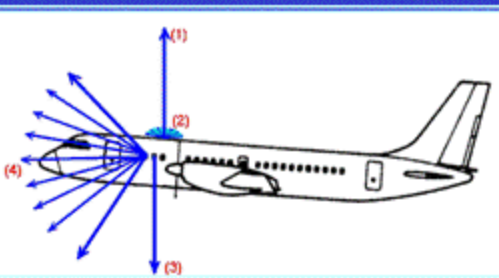
- Period of Development: Year 2010 – 2012
- Monitoring aerosol and gases of troposphere
- Weather modification
- Monitoring the results of weather modification

## Структурная схема

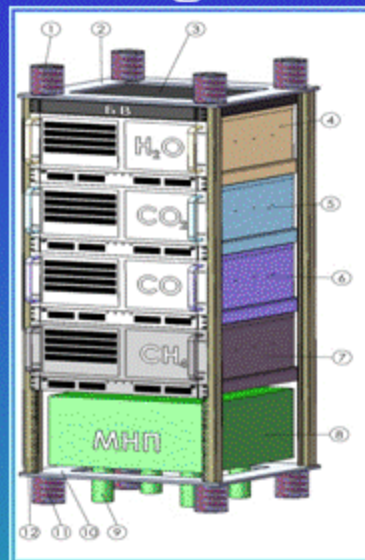




# Monitoring aerosol and gases of the troposphere



Spectrometer Shamrock SR303i



Aircraft IR Spectrometer

H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO



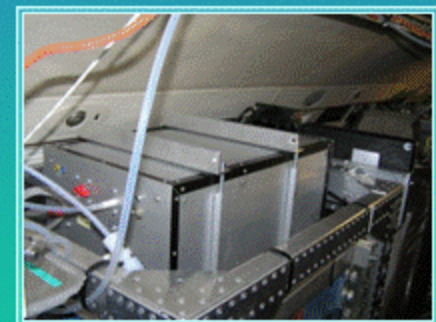
Aircraft instrument for Ozone high frequency fluctuations



Analyzer NO  
CLD 780 TR

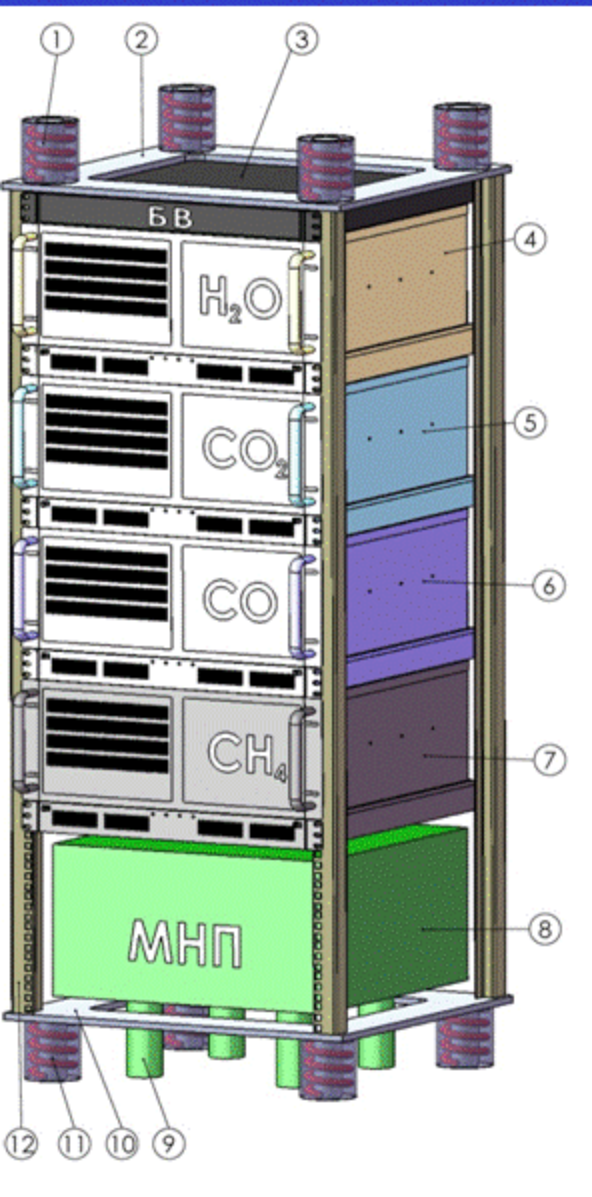


photolytic NO<sub>2</sub> converter  
PLC 762 ST



Aircraft instrument for NO<sub>2</sub> high frequency fluctuations

# AIRCRAFT LASER SPECTROMETER

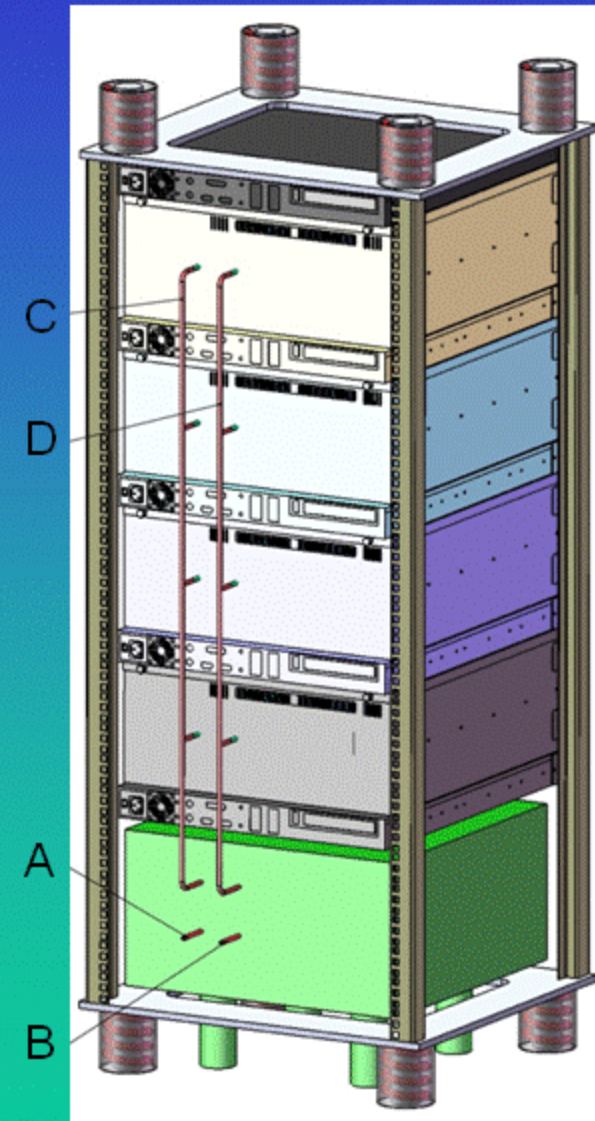


Вид стойки спереди

Spectrometer Consist of several Modules:

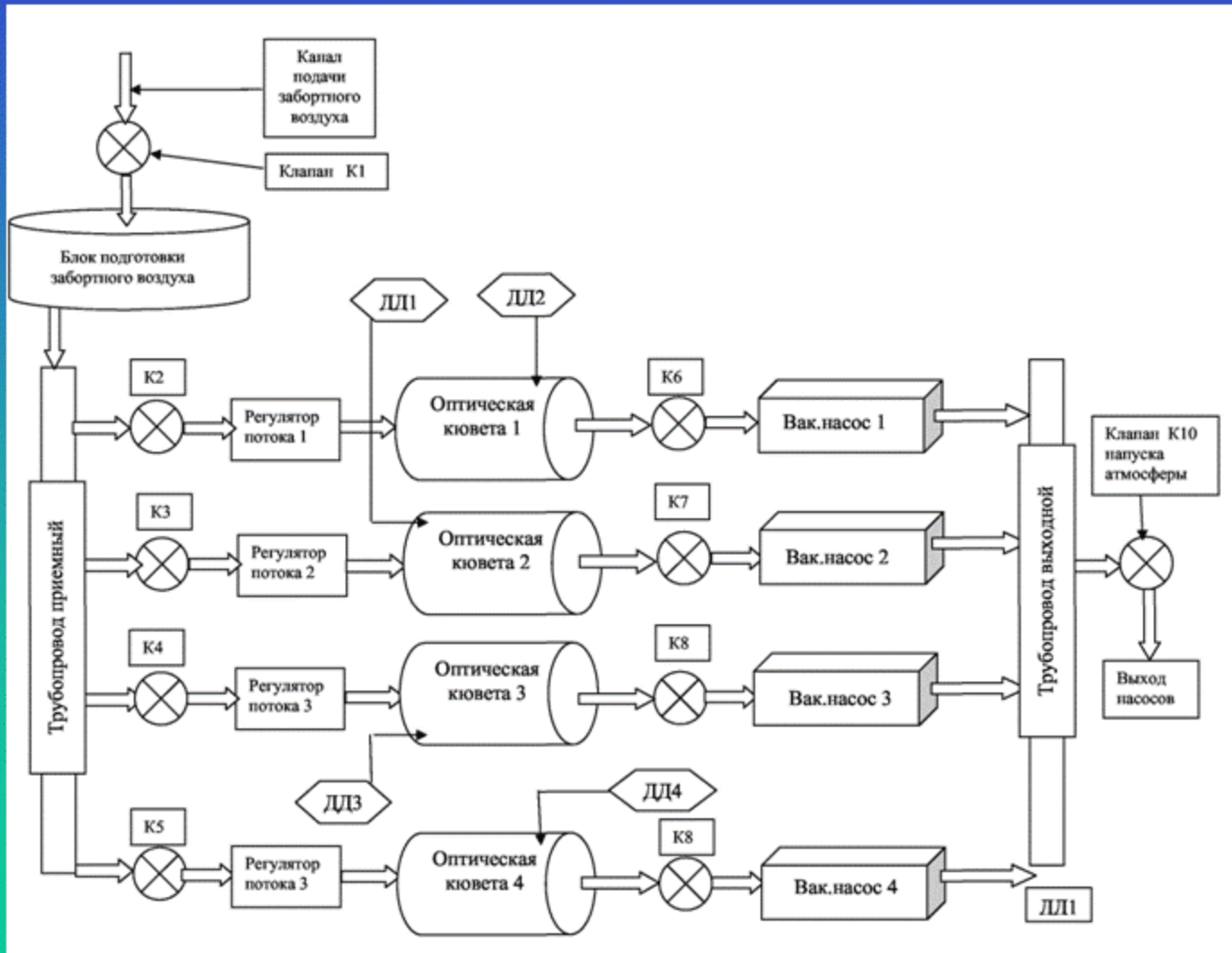
4 identical modules for 4 several greenhouse gases

And one particular moduls , that stabilizes characteristics of the outboard flow.

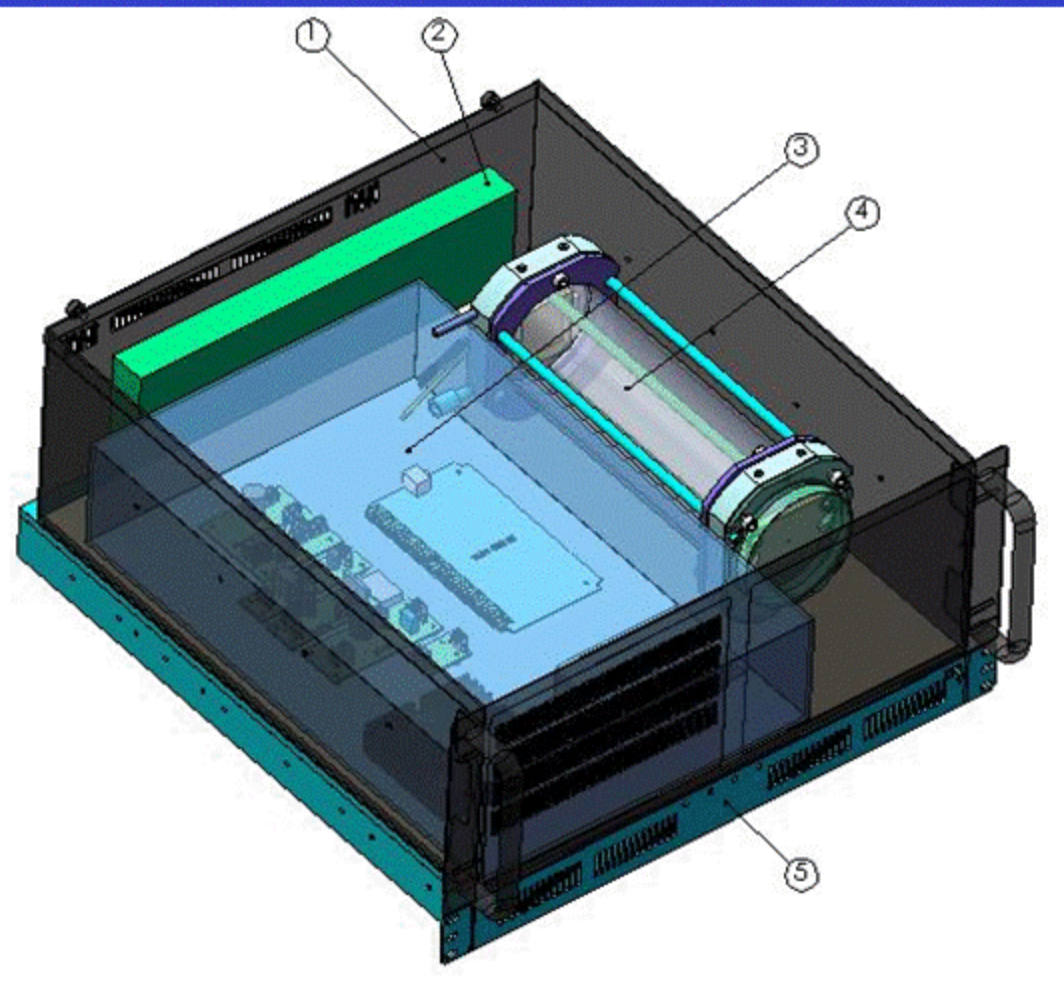


Вид стойки сзади

# SCHEME OF THE GAS ANALYZER WITH AIR PUMPING



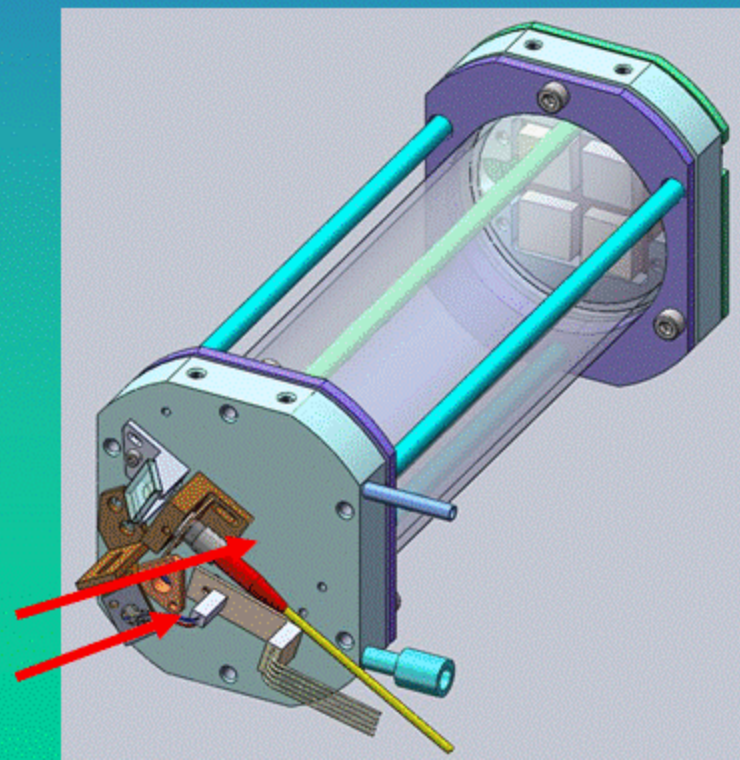
# General multipass cell view



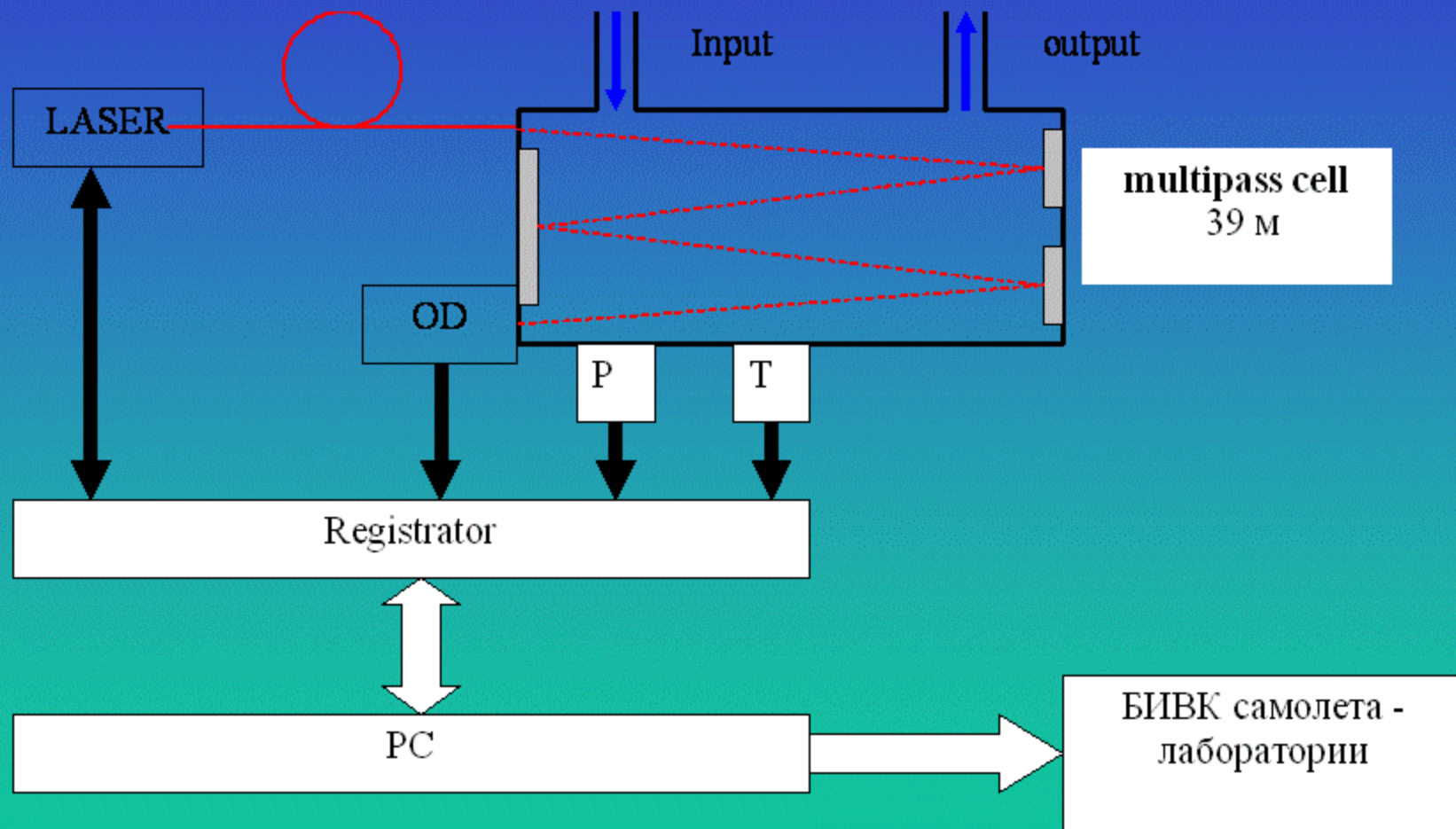
Модуль ДЛС спектрометра:

1. Стойка (4U)
2. Электрические и газовые соединения.
3. Регистратор и диодный лазер.
4. Многоходовая кювета
5. Промышленный компьютер (1U).

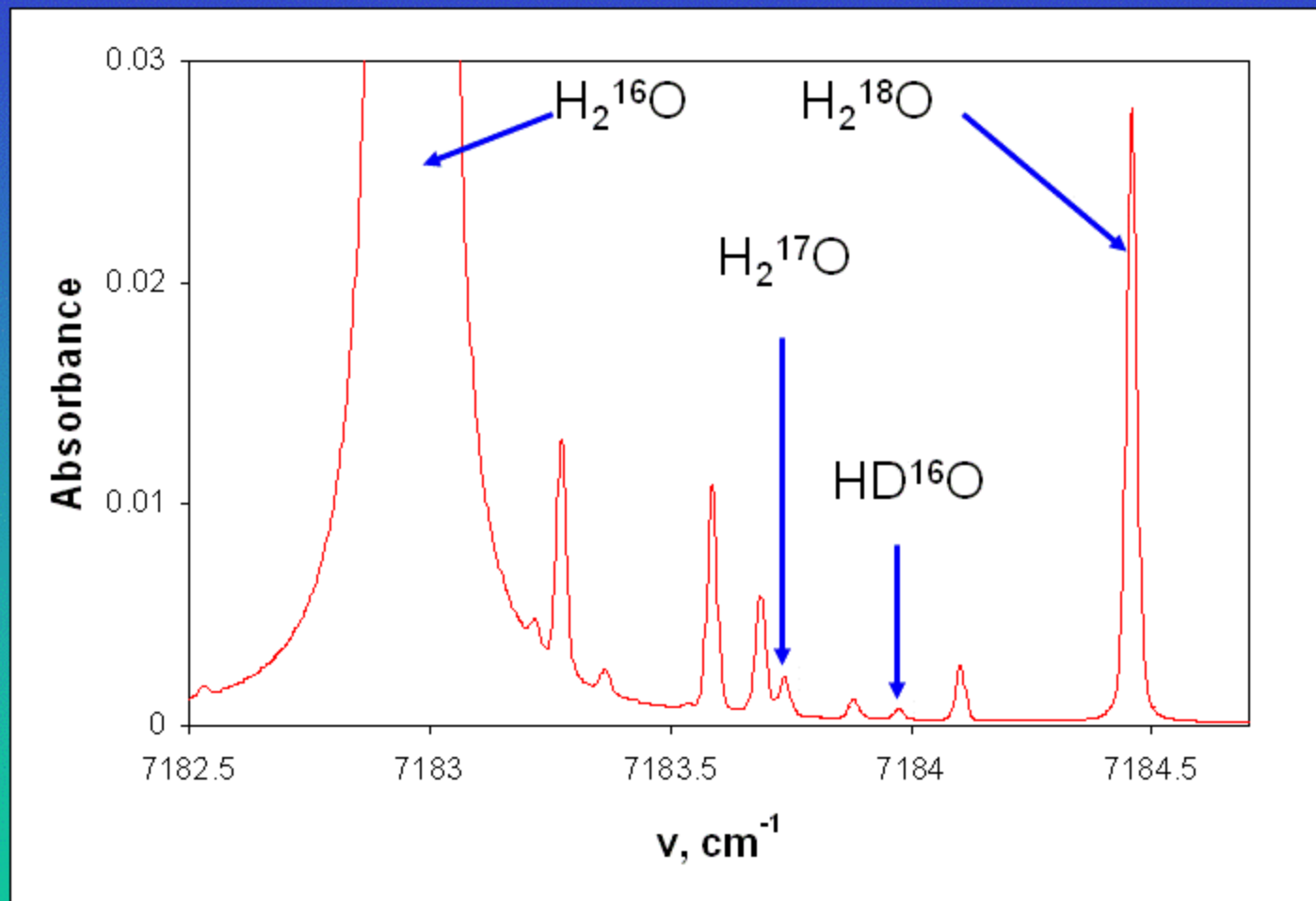
Оптический волновод входного лазерного излучения и фотодетектор



# MODULE BLOCK DIAGRAM IR SPECTROMETER



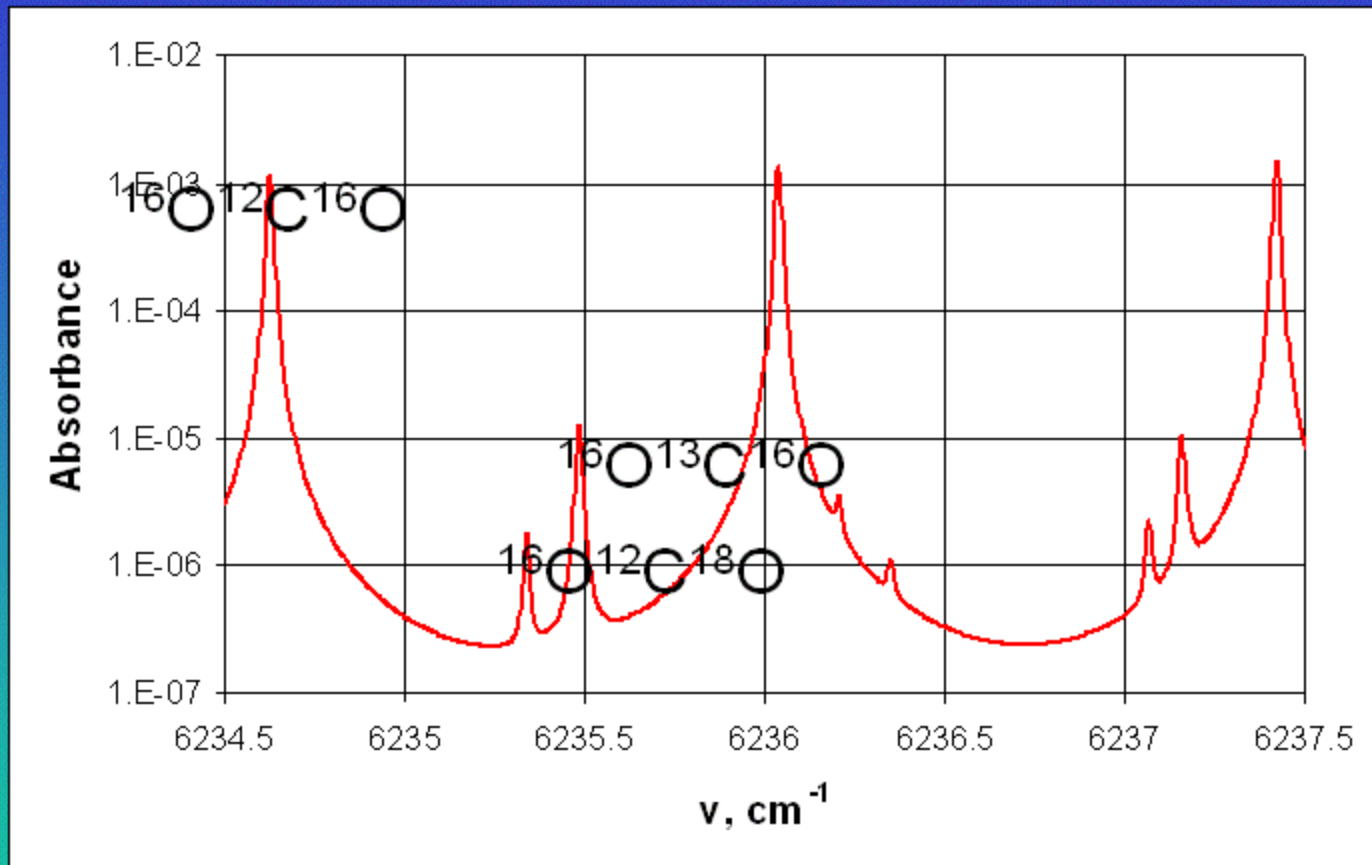
# Спектральный канал $\text{H}_2\text{O}$



Спектр поглощения для измерения водяного пара (сильная линия для  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ), а также изотопных составляющих (кислорода и водорода):  $P_0 = 30$  Torr,  $L = 39$  m.



# CO<sub>2</sub> Spectral channel



Спектр поглощения для измерения CO<sub>2</sub> (сильная линия <sup>12</sup>C<sup>16</sup>O<sub>2</sub>), а также изотопных составляющих углерода и кислорода. P<sub>0</sub> = 40 Torr, L = 39 m, концентрация CO<sub>2</sub> = 300 ppm.