



Особенности анализа долговременных спутниковых рядов при оценке трендов состава атмосферы и эмиссий парниковых газов

*В. С. Ракитин, Е. И. Фёдорова, А. В. Казаков, Н. С. Кириллова,
Н. Ф. Еланский*

E-mail: vadim@ifaran.ru

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

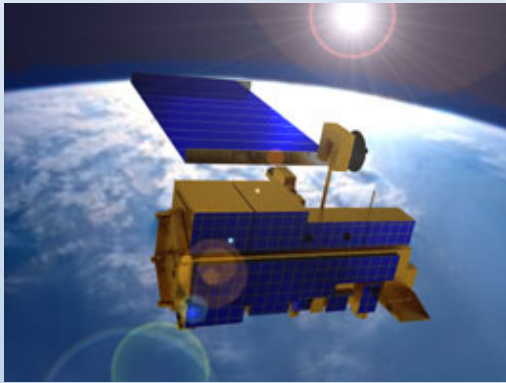
Кисловодск, 8 апреля 2026 г.



Орбитальные спектрометры

Т.н. «долголетающие» (более 15 лет) системы:

MODIS/Terra/Aqua:
AOD, O₃, облачность



AIRS/Aqua:
CO, CH₄, O₃, метео



OMI/Aura:
содержание NO₂, O₃



Приборы старшего поколения незаменимы при оценке региональных и глобальных долговременных изменений состава атмосферы, в особенности в районах земного шара, не охваченных наземными сетями мониторинга.

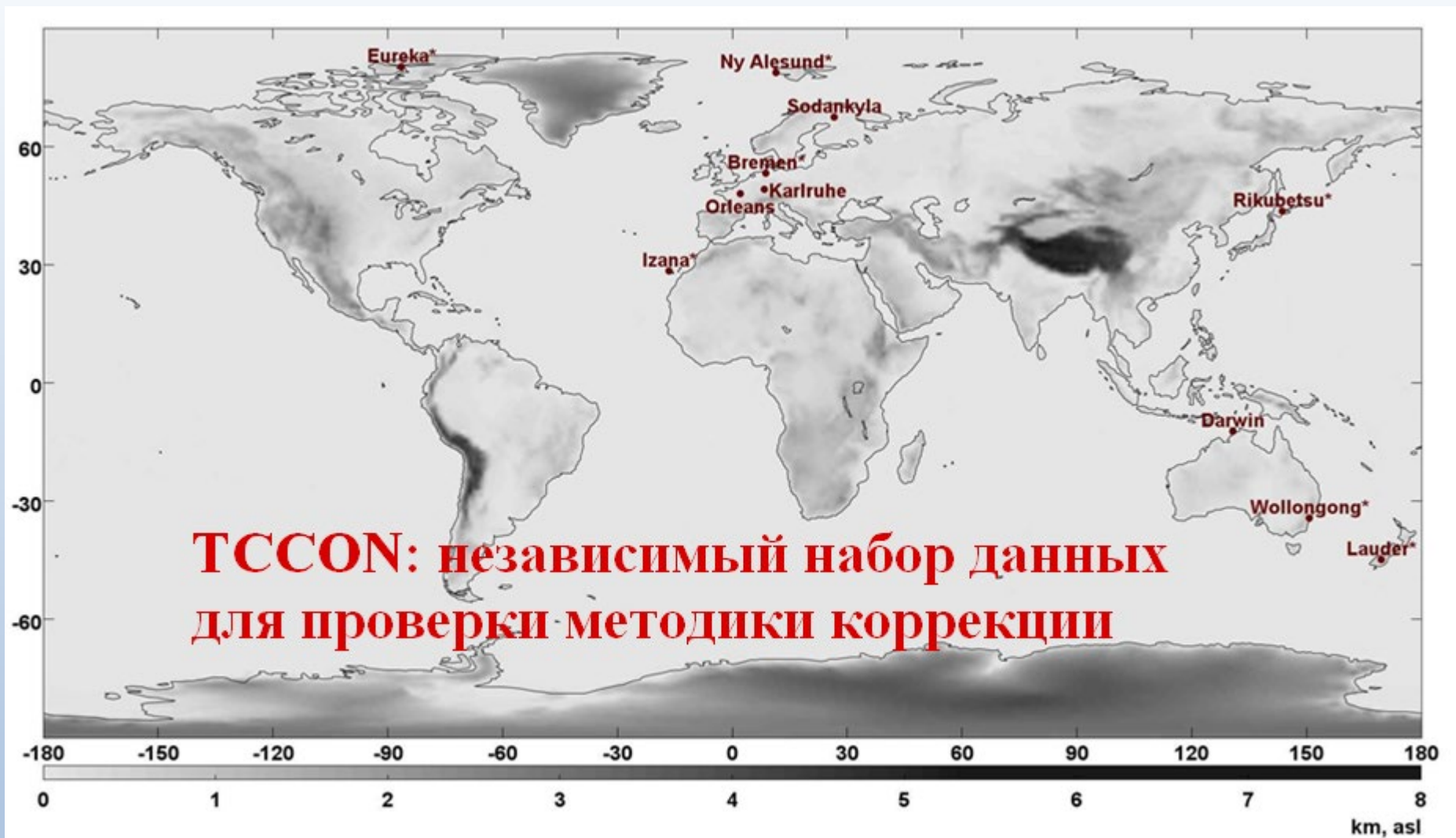
Спектрометр AIRS [Aumann et al., 2003] записывает спектры поглощения собственного инфракрасного излучения Земли в спектральном диапазоне от 3.75 до 15.4 мкм. Полоса захвата сканера составляет 800 км по обе стороны от наземной траектории, что позволяет охватить измерениями более 80% поверхности Земли.

Спутник покрывает поверхность земного шара в диапазоне -180° до +180° восточной долготы и -90° до +90° северной широты.

В процессе длительного функционирования качество орбитальных данных может ухудшаться, что косвенно подтверждается расхождением оценок трендов состава атмосферы, получаемым по спутниковым и наземным данным [Zou, 2019; Rakitin et al., 2020]

Цели и задачи исследования

- **Оценка качества** измерений общего содержания (ОС) метана и оксида углерода спутниковым прибором AIRS v6, v7 (Atmospheric InfraRed Sounder version 6 & 7, вид данных IR AIRS Only) и **валидация** высокоточными данными 18 наземных станций мониторинговой сети NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change), период с 2003 по 2022 г. Обнаружение возможного дрейфа параметров спутникового прибора
- Разработка методики коррекции долговременных орбитальных рядов
- Оценка эффективности разработанной методики на примере сопоставления характеристик соответствия спутниковых данных наземным измерениям и оценок трендов состава атмосферы, в том числе с использованием независимых наборов наземных данных: 11 станций Total Carbon Column Observing Network (TCCON)



Синхронизация орбитальных (AIRS) и наземных (GR) рядов: только дневные парные значения AIRS/GR, все доступные периоды для 18 точек, соответствующих расположению пунктов измерений сети атмосферного мониторинга Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC). Координаты каждого наземного пункта являются центром ячейки спутниковых измерений $1^{\circ} \times 1^{\circ}$.

Сведения о пунктах измерений NDACC [De Mazere et al., 2018]

№	Пункт	Шир./Долг., °	Выс. н.у.м., м	Коэф. у.м*	Период	Примесь, ОС
1	Eureka	80.0N/86.4W	610	0.926	2006-2020	CH ₄ /CO
2	Ny Alesund	78.9N/11.9E	15	0.998	2003-2022	CH ₄ /CO
3	Thule,	76.5N/68.7W	220	0.973	2003-2022	CH ₄ /CO
4	Kiruna	67.8N/20.4E	419	0.949	2003-2022	CH ₄ /CO
5	Harestua	60.2N/10.8E	596	0.928	2009-2020	CH ₄
					2003-2018	CO
6	Saint-Petersburg	59.9N/29.8E	20	0.997	2009-2022	CH ₄ /CO
7	Bremen	53.1N/8.8E	27	0.997	2004-2022	CH ₄ /CO
8	Zugspitze	47.4N/11.0E	2964	0.690	2003-2022	CH ₄ /CO
9	Jungfraujoch	46.5N/8.0E	3580	0.638	2003-2022	CH ₄ /CO
10	Toronto – TAO*	43.7N/79.4W	174	0.978	2003-2019*	CH ₄
					2003-2022	CO
11	Rikubetsu	43.5N/143.8E	380	0.953	2003-2019	CH ₄
					2003-2018	CO
12	Izana, Tenerife	28.3N/16.5W	2367	0.743	2003-2022	CH ₄ /CO
13	Mauna Loa	19.5N/155.9W	3397	0.653	2003-2022	CH ₄ /CO
14	Paramaribo	5.7N/55.2W	23	0.997	2004-2022	CH ₄
					2004-2018	CO
15	Reunion Maïdo	21.1S/55.4E	2155	0.763	2013-2019	CH ₄ /CO
16	Wollongong	34.4S/150.9E	30	0.996	2003-2022	CH ₄ /CO
17	Lauder	45.0S/169.7E	370	0.955	2003-2021	CH ₄ /CO
18	Arrival Heights	77.8S/166.7E	184	0.977	2003-2022	CH ₄ /CO

*коэффициент рассчитан посредством применения барометрической формулы [Хргиан, 1969]

**«ступенька» (сдвиг) наземных данных ОС CH₄ после 2019 г.

Приведение данных NDAСС к уровню моря

С использованием информации о высоте станции. были определены коэффициенты пересчета данных к уровню моря, рассчитанные по барометрической формуле (БФ) [Хргиан, 1969]:

$$C = \frac{P}{P_0} \quad (1). \text{ где:}$$

P – атмосферное давление на уровне станции, мбар

P_0 – атмосферное давление на уровне моря, 1013 мбар

Давление на уровне станции рассчитывается следующим образом:

$$P = P_0 \times \exp \left[-Mg \frac{h-h_0}{kT} \right]. \text{ где:}$$

P – давление в слое заданной высоты h

$h-h_0$ – разность высот, равная h при расчёте для уровня моря. м

P_0 – давление на уровне моря

k – универсальная газовая постоянная

T – абсолютная температура в градусах Кельвина

M – молярная масса воздуха

g – ускорение свободного падения.

Таким образом коэффициент перевода значения общего содержания в столбе к уровню моря равен:

$$C = \exp \left[-Mg \frac{h-h_0}{kT} \right].$$

В случае использования измеренного на станции давления (среднее собственное давление, или ССД) используется формула 1.

Пересчет ОС CH_4 в $X(\text{CH}_4)$

Для корректности сравнения данных возникает необходимость пересчета общего содержания газа ОС (CH_4) в усредненную по атмосферному столбу относительную объемную концентрацию $X(\text{CH}_4)$. После приведения измерений данных NDACC к уровню моря, данные переведены в среднюю концентрацию (ppm):

$$X(\text{CH}_4) = \frac{\text{OC}(\text{CH}_4)}{P_{\text{dry air}}}$$

Где $P_{\text{dry air}}$ – давление сухого воздуха, рассчитанное по формуле:

$$P_{\text{св}} = \frac{P_{\text{surf}}}{g * m(\text{dry air})} - \text{OC}(\text{H}_2\text{O}) * \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{dry air})}$$

где: $m(\text{H}_2\text{O})$ молекулярная масса воды ($18.02 \times 10^{-3} / N_A$, кг*молекула⁻¹),

$m(\text{dry air})$ - молекулярный вес сухого воздуха ($28.964 \times 10^{-3} / N_A$, кг*молекула⁻¹),

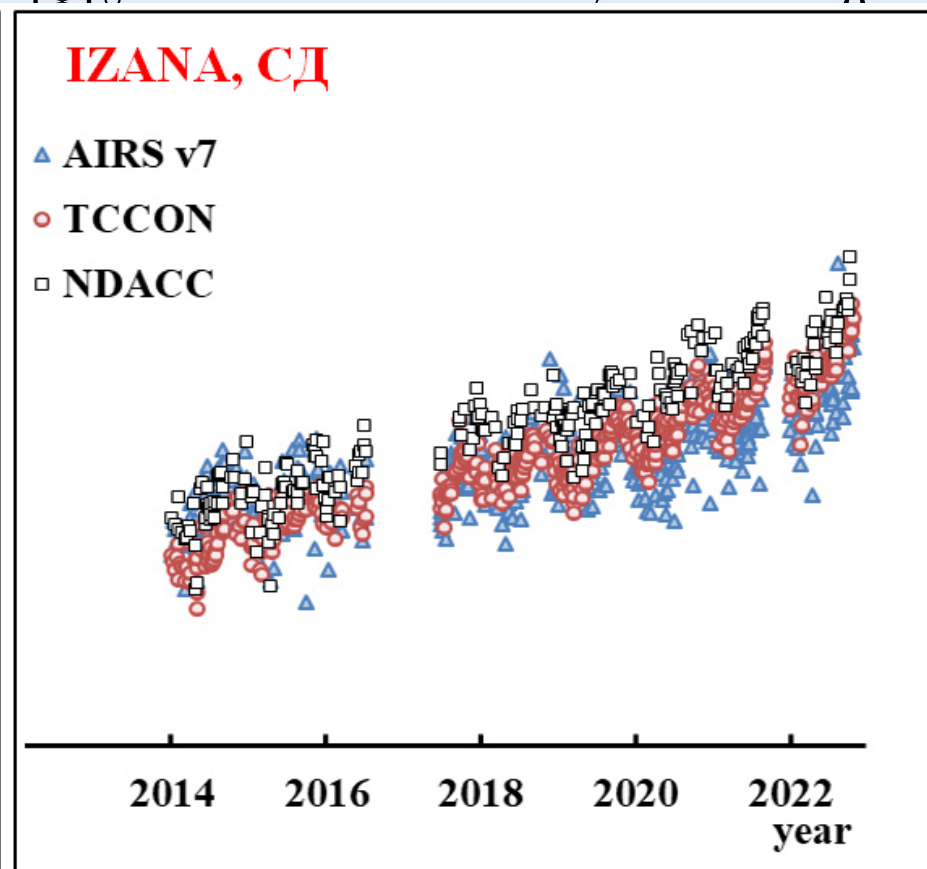
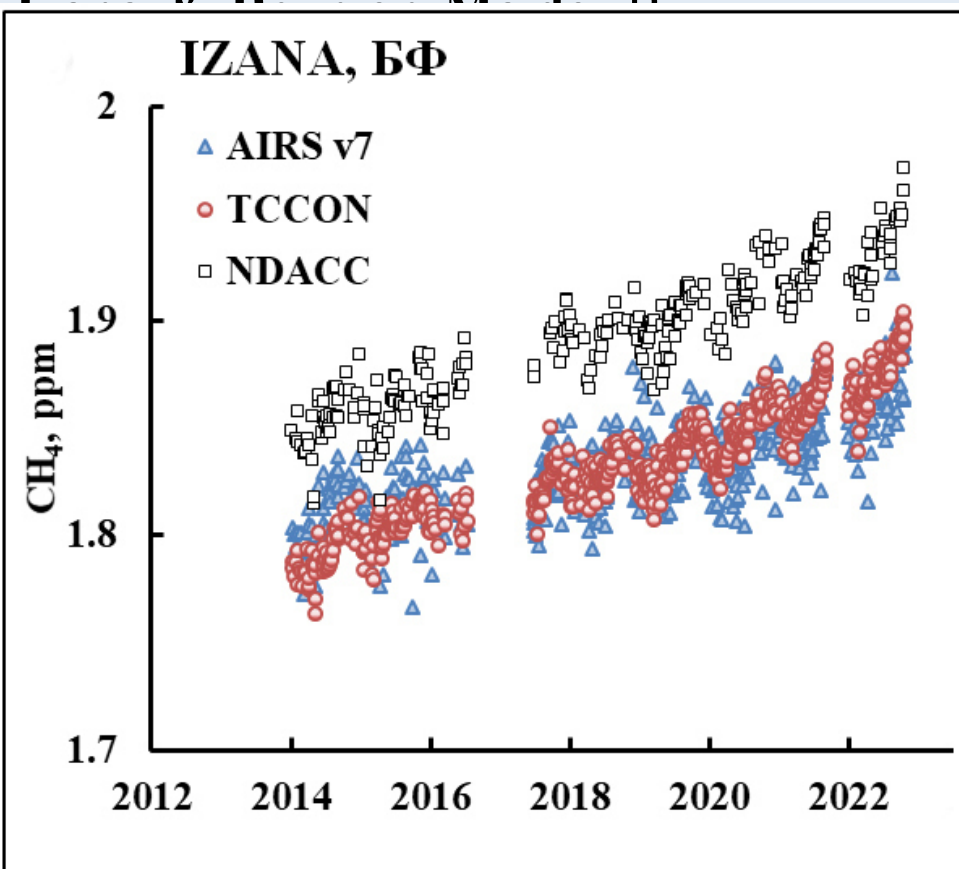
N_A - число Авогадро 6.022×10^{23} моль⁻¹ (молекул/моль)

g - ускорение свободного падения (9.81 м/с²)

P - давление на у.м., мбар

Параметры корреляции для высокогорных станций

Для расположенных выше **1000 м н.у.м.** районов со сложной топографией спутник неверно определяет высотность.

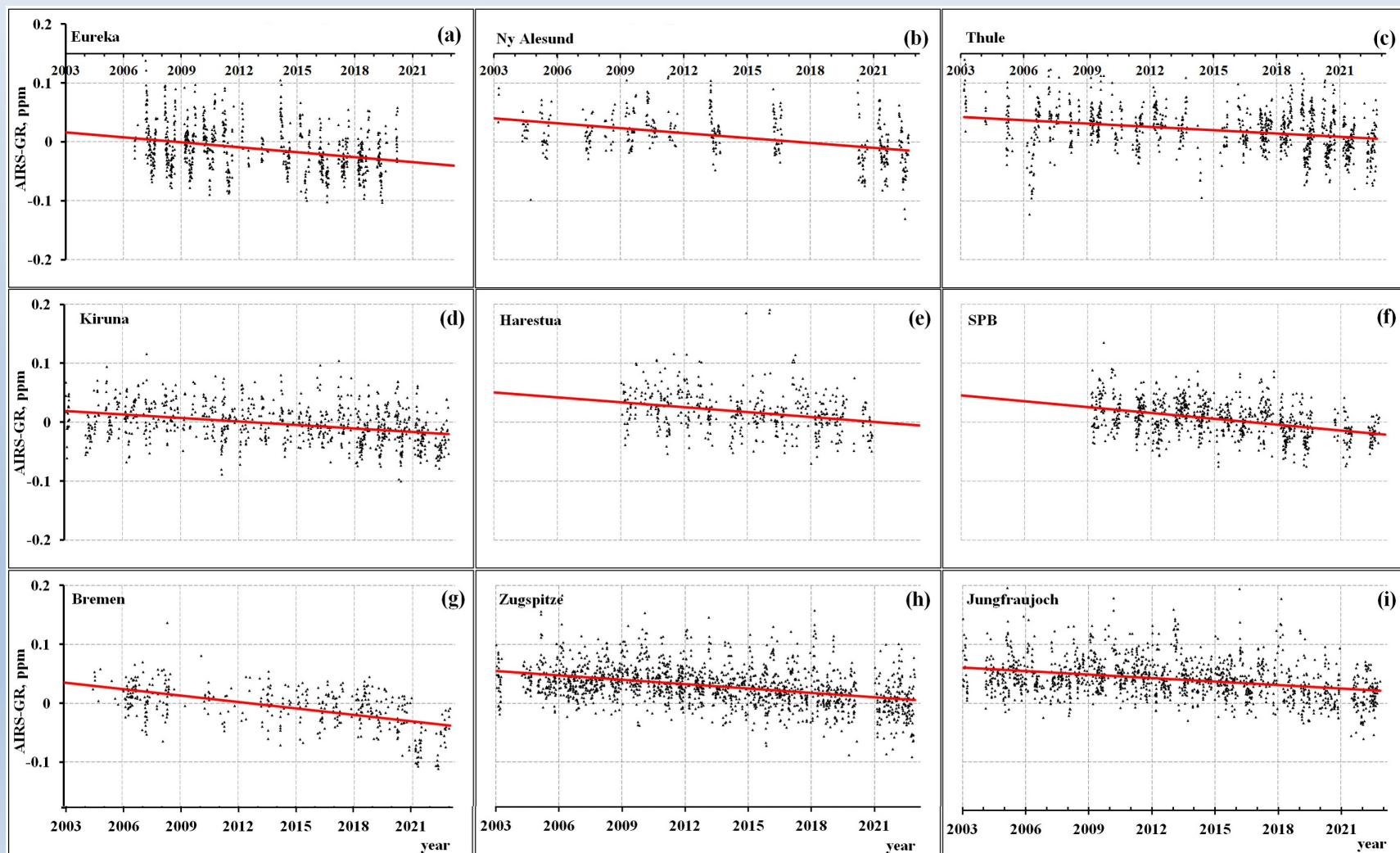


Mauna Loa	3397	1301
Reunion Maito	2155	0
Izana	2367	1

Пункт Izana.
Переменная «topography» AIRS

AIRS v6 и v7. Определение спутникового дрейфа «невязки» ОС (CH_4) и X (CH_4)

Установлены значимые долговременные изменения параметров соответствия орбитальных данных ОС (CH_4)/X(CH_4) AIRS Standard L3 v.6/v7 IR Only Daily наземным наблюдениям станций NDACC. Тренд «невязки» оказался отрицателен на всех исследуемых пунктах



AIRS v6. Спутниковый дрейф «невязки» для ОС CH₄:

барометрическая формула (БФ) и **среднее измеренное давление (СД)**

Satellite spectrometer drift (SSD) = $-1.69 \cdot 10^{14}$ и **$-1.64 \cdot 10^{14}$** молек/см² в сутки

СД: Пункт измерений	Тренд разности AIRS–GR, молек/см ² ($\times 10$) ¹⁴ в сутки	N (число пар)
Eureka	-2.02 ± 0.20	810
Ny Alesund	-1.74 ± 0.33	412
Thule	-1.07 ± 0.20	1027
Kiruna	-1.33 ± 0.16	907
Harestua	-1.96 ± 0.28	463
SPB	-2.15 ± 0.19	859
Bremen	-2.15 ± 0.32	404
Zugspitze	-1.67 ± 0.26	1721
Jungfrauoch	-1.32 ± 0.31	1441
Toronto	-1.41 ± 0.23	863
Izana	-1.22 ± 0.13	1081
Mauna Loa	-1.97 ± 0.34	1079
Reunion	-2.41 ± 0.20	542
Wollongong	-0.78 ± 0.15	1963
Lauder	-1.36 ± 0.18	1578
Arrival Heights	-1.62 ± 0.41	492
СРЕДНЕЕ	-1.64 ± 0.24	

Коррекция AIRS v6

**Satellite spectrometer drift (SSD) = $-1.69 \cdot 10^{14}$ молек/см² в сутки (БФ)
и SSD = $-1.64 \cdot 10^{14}$ молек/см² в сутки (СД)**

Коррекция рядов AIRS осуществлялась посуточно:

$$\text{OC CH}_4 \text{ SSD} = \text{OC CH}_4 + (N-1) \times \text{SSD},$$

где:

OC CH₄ SSD – скорректированное посуточное спутниковое значение OC CH₄, [молек/см²]

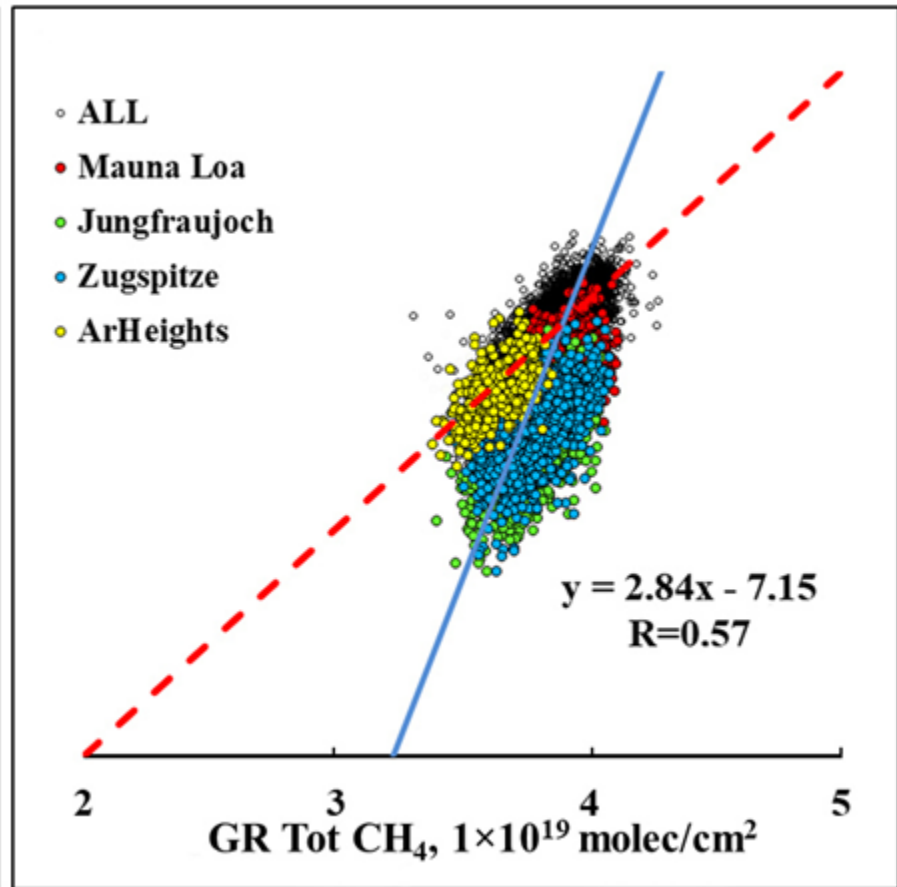
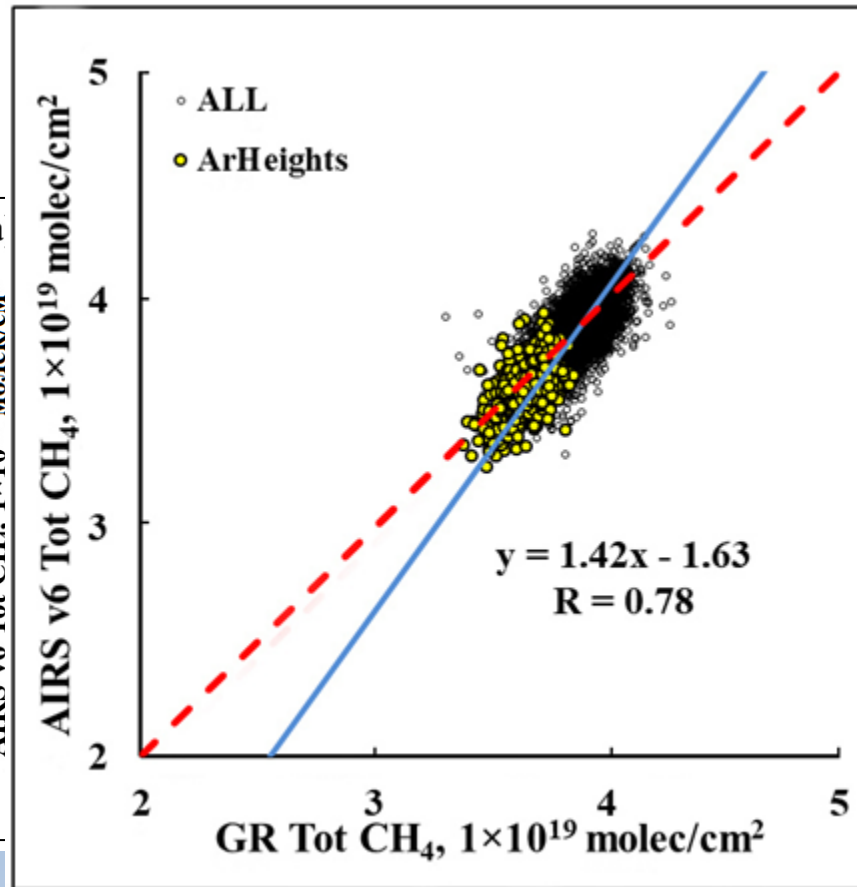
OC CH₄ – общее содержание CH₄ [молек /см²] по данным AIRS V6 L3

N – порядковый номер дня, начиная с 01.01.2003

SSD – коэффициент дрейфа

Параметры корреляции AIRSv6/GR по ОС CH_4 : барометрическая формула (БФ) и **собственное** **(измеренное) среднее давление (СД)**

Пункт	Исходные ряды, R	После коррекции, R
-------	------------------	--------------------



Wollongong	0.69	0.78
Lauder	0.65	0.77
Arrival Heights	0.38	0.53

AIRS v6. Тренды ОС CH₄. Использовано **среднее давление (СД)**

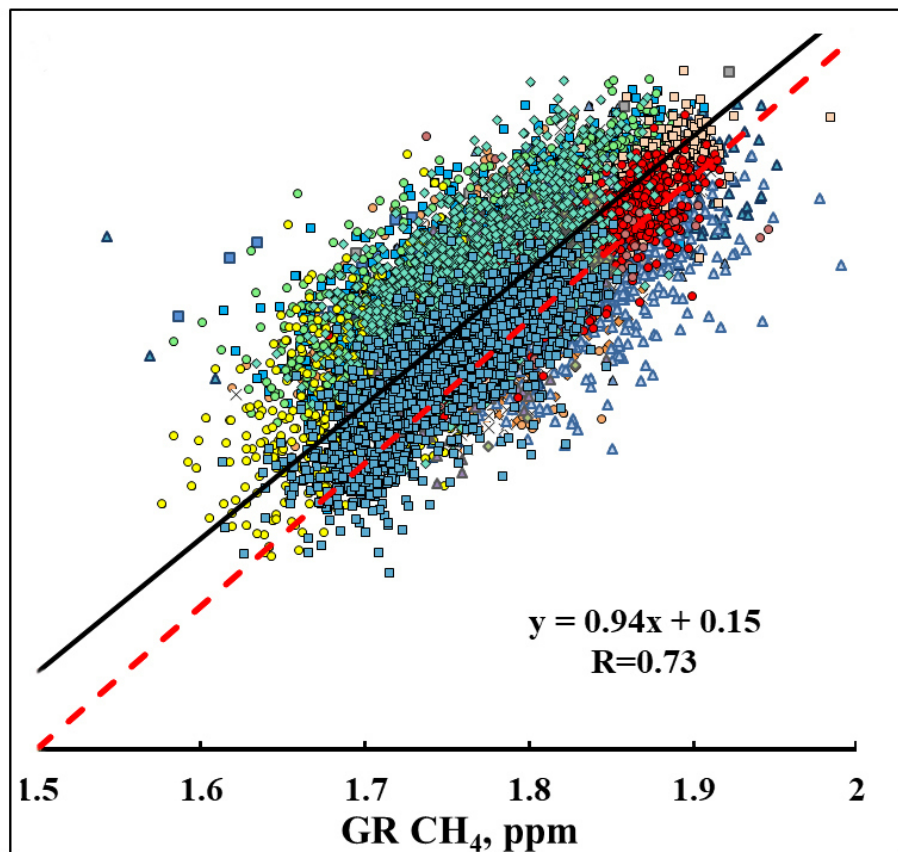
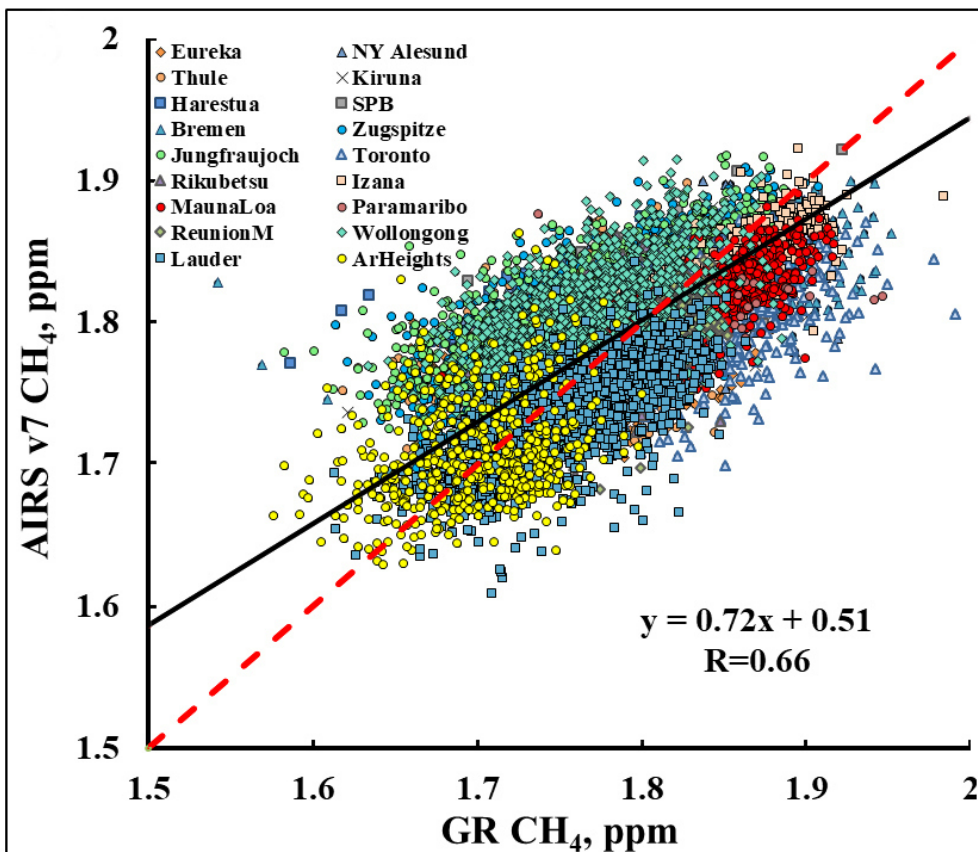
Пункт	Исходный тренд, %/год			Тренд после коррекции, %/год	
	AIRS	GR	AIRS-GR	AIRS	AIRS-GR
Eureka	0.14±0.03	0.33±0.03	-0.19	0.29±0.03	-0.04
Ny Alesund	0.27±0.03	0.43±0.03	-0.16	0.41±0.03	-0.02
Thule	0.21±0.02	0.31±0.02	-0.10	0.37±0.02	0.06
Kiruna	0.27±0.02	0.39±0.02	-0.12	0.43±0.02	0.04
Harestua	0.28±0.05	0.46±0.05	-0.18	0.43±0.04	-0.03
Saint Petersburg	0.28±0.03	0.48±0.03	-0.20	0.43±0.03	-0.05
Bremen	0.29±0.03	0.49±0.03	-0.20	0.43±0.03	-0.06
Zugspitze	0.29±0.03	0.42±0.01	-0.13	0.46±0.03	0.04
Jungfrauoch	0.33±0.03	0.41±0.02	-0.08	0.50±0.03	0.09
Toronto	0.24±0.02	0.37±0.03	-0.13	0.39±0.02	0.02
Rikubetsu	0.27±0.04	0.26±0.03	0.01	0.43±0.04	0.17
Izana	0.32±0.01	0.43±0.01	-0.11	0.47±0.01	0.04
Mauna Loa	0.30±0.05	0.45±0.02	-0.15	0.46±0.04	0.01
Paranaribo	0.20±0.03	0.34±0.06	-0.14	0.35±0.03	0.01
Reunion Maida	0.28±0.05	0.50±0.02	-0.22	0.43±0.05	-0.07
Wollongong	0.33±0.02	0.39±0.01	-0.06	0.48±0.02	0.09
Lauder	0.24±0.02	0.36±0.01	-0.11	0.41±0.02	0.05
Arrival Heights	0.25±0.05	0.40±0.03	-0.15	0.41±0.05	0.01
Среднее	0.27±0.03	0.40±0.02	-0.13	0.42±0.03	0.02

AIRSV7, X(CH₄): также, как для v6, обнаружен однонаправленный статистически значимый дрейф невязки SSD = **7.20×10⁻⁶ ppm/день** (**1.55*10¹⁴ молек/см²/день**)

Корреляция общего массива спутниковых
и наземных измерений X[CH₄]

а) до коррекции;

б) после коррекции



Wollongong	0.69	0.78	0.51	$y=0.72x+0.53$	0.65	$y=1.10x-0.12$
Lauder	0.65	0.77	0.71	$y=0.69x+0.53$	0.78	$y=1.02x-0.02$

AIRS v7. Тренды X(CH₄)

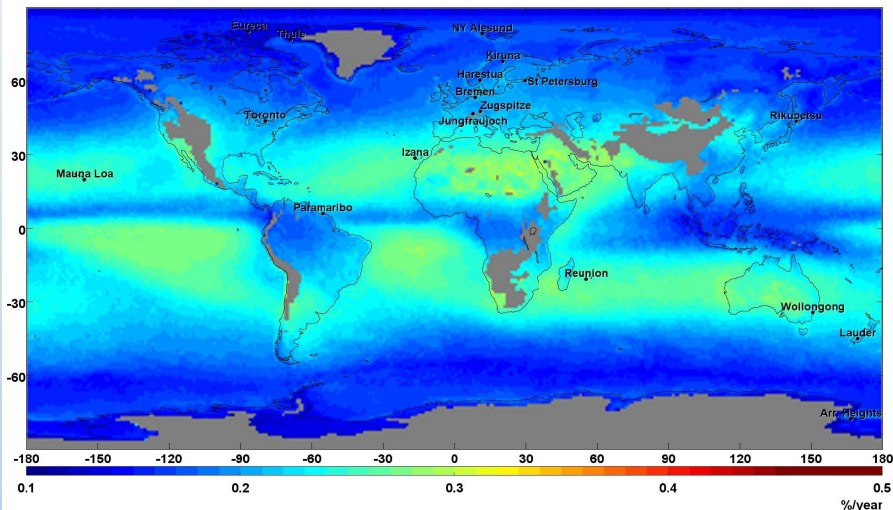
Пункт	Исходный тренд, %/год			Тренд после коррекции, %/год	
	AIRS	GR	AIRS-GR	AIRS	AIRS-GR
Eureka	0.17±0.02	0.32±0.03	-0.16	0.31±0.02	-0.01
Ny Alesund	0.28±0.02	0.43±0.03	-0.16	0.42±0.02	-0.02
Thule	0.27±0.04	0.41±0.03	-0.14	0.41±0.04	0.01
Kiruna	0.21±0.02	0.32±0.02	-0.11	0.35±0.02	0.03
Harestua	0.29±0.01	0.40±0.02	-0.11	0.43±0.01	0.03
Saint Petersburg	0.29±0.03	0.45±0.05	-0.16	0.43±0.03	-0.02
Bremen	0.30±0.03	0.49±0.03	-0.18	0.44±0.02	-0.05
Zugspitze	0.29±0.02	0.50±0.03	-0.20	0.43±0.02	-0.06
Jungfraujoch	0.29±0.01	0.44±0.02	-0.14	0.43±0.01	0.00
Toronto	0.31±0.01	0.43±0.02	-0.12	0.45±0.01	0.02
Rikubetsu	0.27±0.02	0.37±0.02	-0.10	0.41±0.02	0.04
Izana	0.28±0.04	0.28±0.04	0.00	0.43±0.04	0.15
Mauna Loa	0.34±0.01	0.44±0.01	-0.10	0.48±0.01	0.04
Paranaribo	0.30±0.01	0.49±0.02	-0.19	0.44±0.01	-0.05
Reunion Maito	0.21±0.02	0.34±0.05	-0.13	0.36±0.02	0.02
Wollongong	0.29±0.04	0.51±0.03	-0.22	0.42±0.04	-0.08
Lauder	0.23±0.02	0.39±0.01	-0.16	0.37±0.01	-0.02
Arrival Heights	0.26±0.01	0.37±0.01	-0.11	0.40±0.01	0.03
Среднее	0.27±0.02	0.41±0.03		0.41±0.02	

Применение методики динамической коррекции (реализовано с помощью программного комплекса ИФА РАН, свидетельство о регистрации № 2025619712)

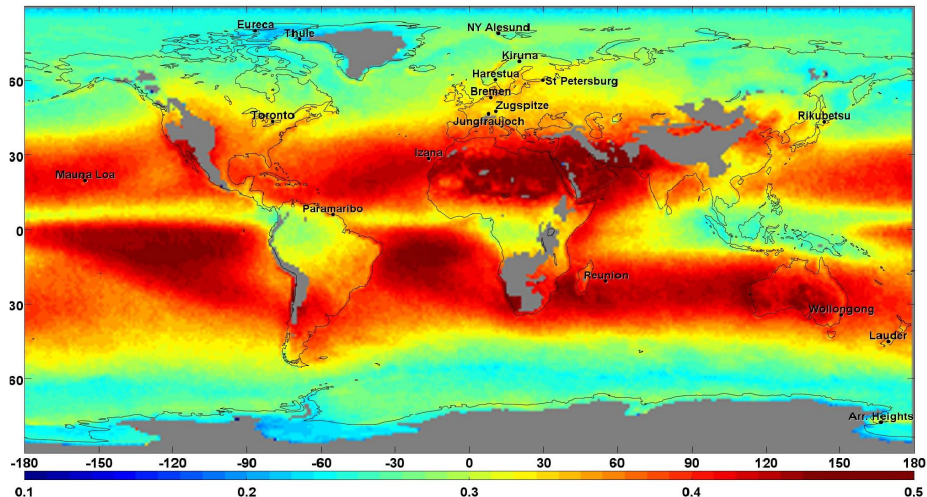
Тренды $X[\text{CH}_4]$ AIRS v7 (2003-2024) и их 95% доверительные интервалы до коррекции

после коррекции

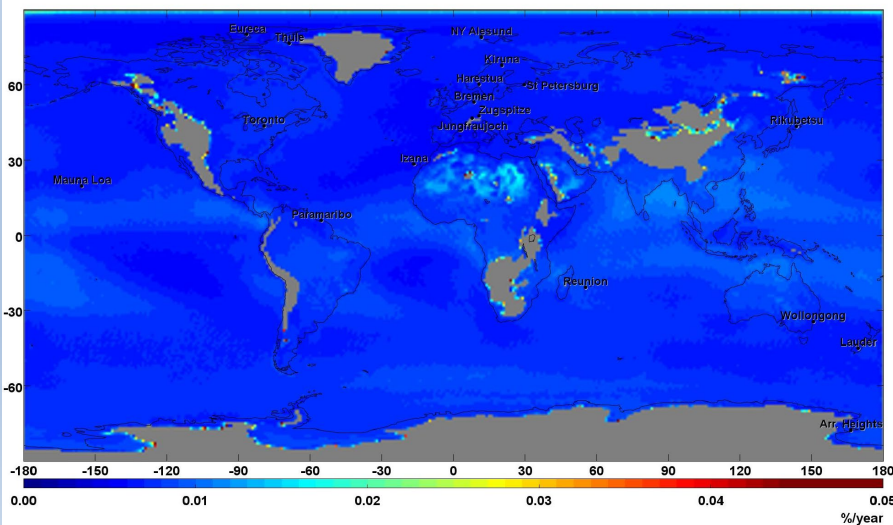
AIRS v7, trend $X[\text{CH}_4]$, 2003-2024



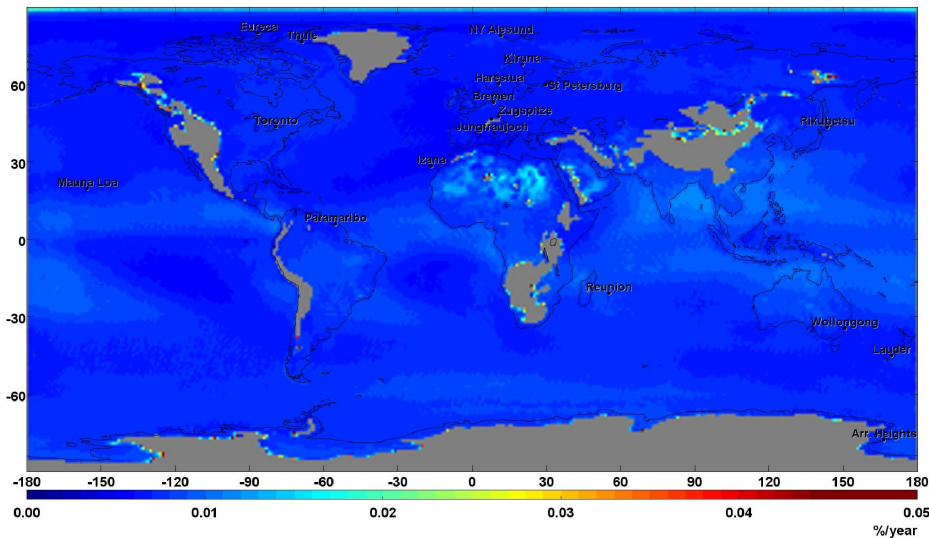
AIRS v7 corrected, trend $X[\text{CH}_4]$, 2003-2024



95% conf. int., trend $X[\text{CH}_4]$, AIRS v7, 2003-2024

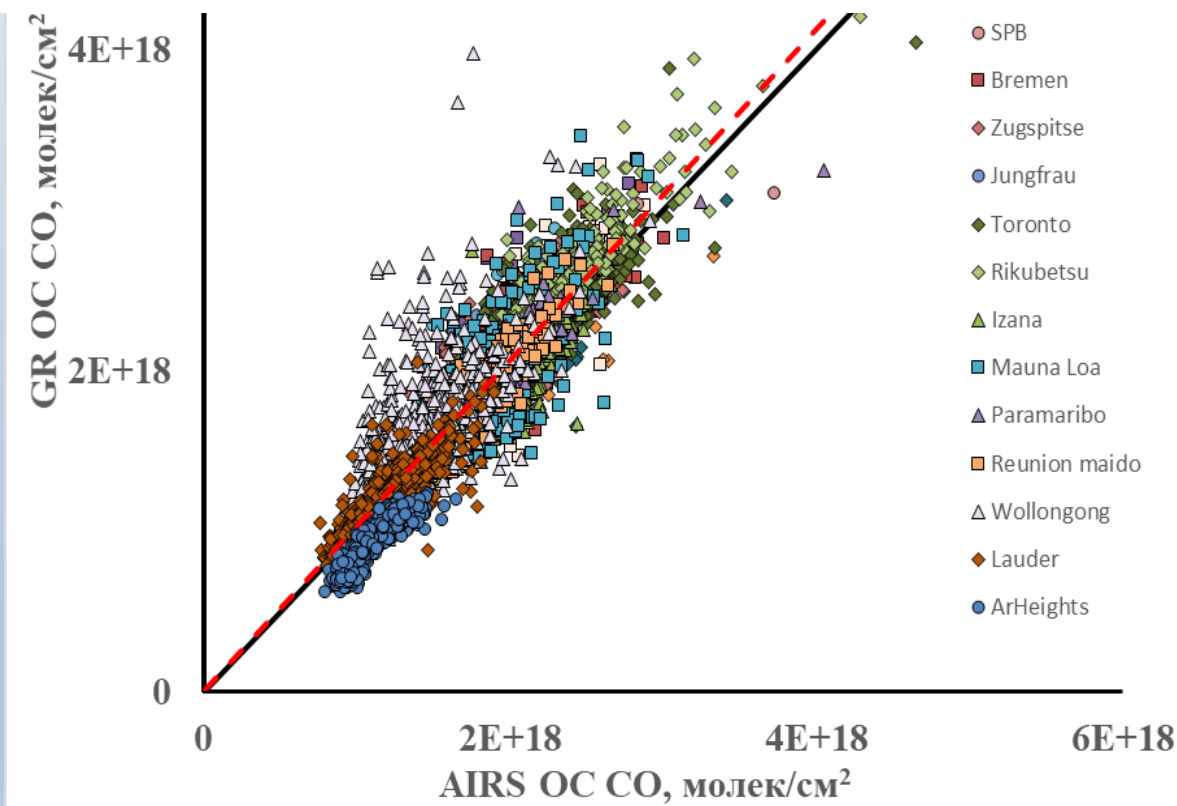


95% conf. int., trend $X[\text{CH}_4]$, AIRS v7, 2003-2024, corrected



Продукт ОС CO AIRS v.6

Наблюдается высокая корреляция исходных рядов наземных и спутниковых измерений между собой как постанционно (коэффициент корреляции R варьируется от 0.79 до 0.95), так и в общем массиве для всех исследуемых станций. Данные хорошо ложатся в единый массив ($R=0.93$). Коэффициент наклона линии линейной регрессии близок к 1 и составляет 1.03.



Harestua	0.91
Saint Petersburg	0.93
Bremen	0.90
Zugspitze	0.91
Jungfrau	0.92
Toronto	0.85
Rikubetsu	0.93
Izana	0.88
Mauna Loa	0.85
Paramaribo	0.87
Reunion maido	0.94
Wollongong	0.79
Lauder	0.89
Arrival Heights	0.90



AIRS/ NDACC OC CO: общий массив для всех станций

Тренды ОС CO AIRS vs NDACC

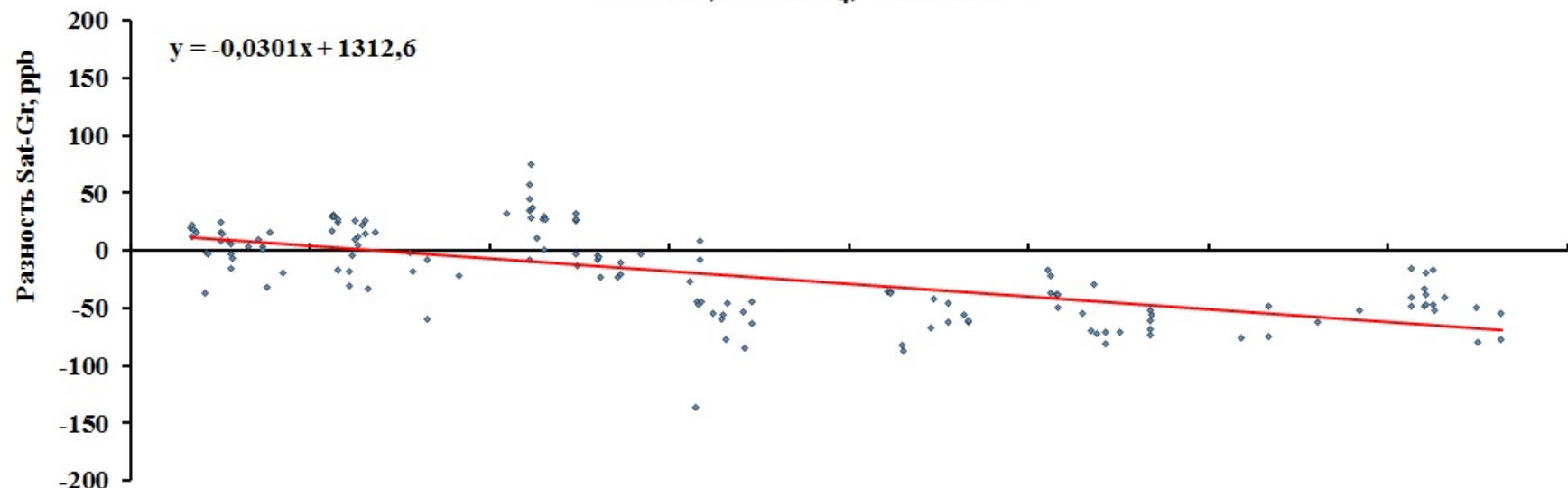
Пункт	Тренд AIRS, %/год	Тренд GR, %/год	AIRS-GR, %/год	N
Eureka	-0.13±0.18	-0.84±0.26	0.70	777
NY Alesund	-0.79±0.24	-1.15±0.30	0.36	415
Thule	-0.60±0.10	-1.15±0.14	0.54	1315
Kiruna	-0.80±0.14	-0.93±0.16	0.13	752
Harestua	-1.19±0.20	-1.37±0.21	0.18	681
Saint Petersburg	-0.89±0.25	-0.80±0.26	0.10	793

Оценки указывают на то, что данные ОС CO AIRS v.6 L3 достаточно хорошо соотносятся с высокоточными наземными данными и не требуют применения разработанной методики динамической коррекции.

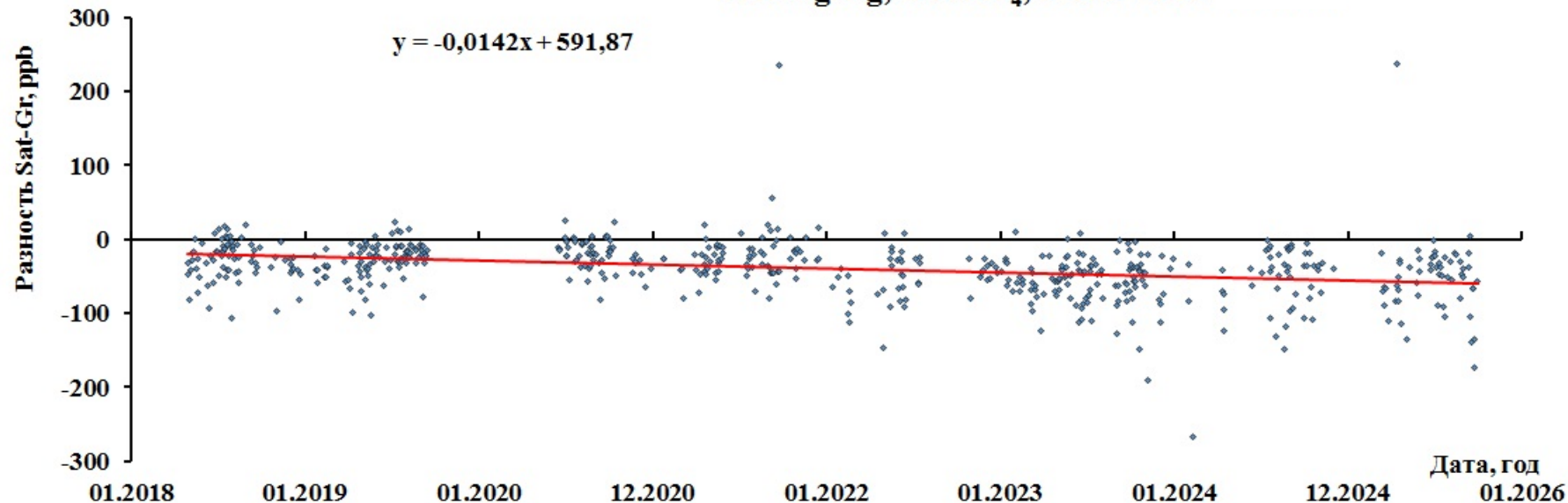
Mauna Loa	-0.95±0.26	-0.73±0.30	0.23	1278
Paramaribo	-0.89±0.39	-0.71±0.37	0.17	175
Reunion maido	1.27±0.59	1.23±0.62	0.04	818
Wollongong	-0.33±0.13	-0.48±0.16	0.15	2579
Lauder	-0.03±0.13	0.22±0.14	0.25	1695
Arrival Heights	-0.28±0.26	0.24±0.31	0.52	483
СРЕДНЕЕ	-0.62±0.22	-0.62±0.24	0.0	

Предварительная идентификация дрейфа разности измерений X(CH₄) TROPOMI - NDACC: на 12-ти из 14-ти пунктах дрейф отрицательный

Bremen, OC CH₄, TROPOMI-NDACC



Wollongong, OC CH₄, TROPOMI-NDACC



Проблема:

**нерепрезентативные
орбитальные данные**



**различные базы данных
(инвентаризации, реанализы и т.п.)**



неточности в модельных расчетах и оценках



НЕВЕРНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРОГНОЗЫ

Программно-алгоритмический комплекс ИФА РАН



Выводы

1. Установлены значимые долговременные изменения параметров соответствия орбитальных данных ОС CH₄ AIRS v.6 и v7 X(CH₄) IR AIRS Only Daily высокоточным наземным измерениям станций NDACC. Тренд «невязки» для измерений AIRS v6, v7 CH₄ с 2003 по 2022 гг. отрицателен на всех исследуемых пунктах.
2. Средний коэффициент наклона линии тренда невязки **SSD** для CH₄ определен как:
-1.64*10¹⁴ молек/см² в сутки (v6) и **-1.55*10¹⁴** молек/см² в сутки (v7) .
3. Применение среднего собственного давления при пересчете наземных данных на уровень моря улучшает характеристики соответствия измерений AIRS и NDACC.
4. Разработана и применена методика динамической посуточной коррекции орбитальных рядов CH₄. Коррекция привела к значимому улучшению параметров корреляции между орбитальными и наземными данными. Оценки трендов на основе орбитальных и наземных измерений существенно сблизились постанционно и практически совпали в среднем по всем станциям: **AIRSV7: 0.41±0.03 %/год; NDACC: 0.41±0.02%/год** против исходной оценки AIRSV7: **0.27±0.03 %/год** для периода 2003-2022 гг.
5. Эффективность методики оценена применительно к независимому набору наземных данных (11 станций TCCON) с использованием SSD, полученного для NDACC. Корреляция данных AIRS v7 и наземных измерений существенно увеличилась на всех пунктах TCCON/
6. Разработанная методика коррекции дрейфа является универсальной, то есть применимой к любым долговременным орбитальным рядам.

Использованная литература

1. Aumann H. H., Chahine M. T., Gautier C. et. al. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: Design, science objectives, data products and processing systems // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2003. 41. No. 2. pp. 253–264
2. Thrastarson H. Th., Fetzer E. J., Ray S. Overview of the AIRS Mission: Instruments, Processing Algorithms, Products, and Documentation, 2nd Edition, The AIRS-team and the CLIMCAPS Algorithms, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Thomas Hearty, NASA / GES DISC, Nadia Smith, Science and Technology Corporation, 6 May 2021, Document Edition 2.0
3. Rakitin V., Fedorova E., Skorokhod A., Kirillova N., Pankratova N., Elansky N. Principles of Correction for Long-Term Orbital Observations of Atmospheric Composition, Applied to AIRS v.6 CH₄ and CO Data // Remote Sens. 2025, 17, 2323. <https://doi.org/10.3390/rs17132323>
4. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1969 г., 644 с.
5. De Mazière M., Thompson A. M., Kurylo M. J. et. al. The Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC): History, status and perspectives // Atmospheric Chemistry and Physics. 2018. 18. pp. 4935–4964
6. Laughner J. L., Toon G. C., Mendonca J. et. al. The Total Carbon Column Observing Network's GGG2020 data version // Earth Syst. Sci. Data. 2024. 16. pp. 2197–226
7. Rakitin V. S., Kazakov A. V., Elansky N. F., Multifunctional software of the OIAP RAS for processing and analysis of orbital data on the atmospheric composition: Tasks, possibilities, application results, and ways of development // Proc. SPIE. – 29-th Intern. Symp. Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – 2023 – 12780 – 127805T.
8. Ракитин В.С., Казаков А.В., Еланский Н.Ф., Кириллова Н.С., Федорова Е.И. Программа для визуализации и анализа орбитальной информации о составе атмосферы // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025619712, 17.04.2025.
9. Rakitin V., Fedorova E., Skorokhod A., Kirillova N., Chernokulsky A. Validation of long-term methane (CH₄) satellite measurements from the AIRS spectrometer and correction of their temporal drift. Remote Sens., 2026, 18, accepted for print

Спасибо за внимание!

**Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда,
проект №25-77-31009**

Продукт ОС СО AIRS v.6

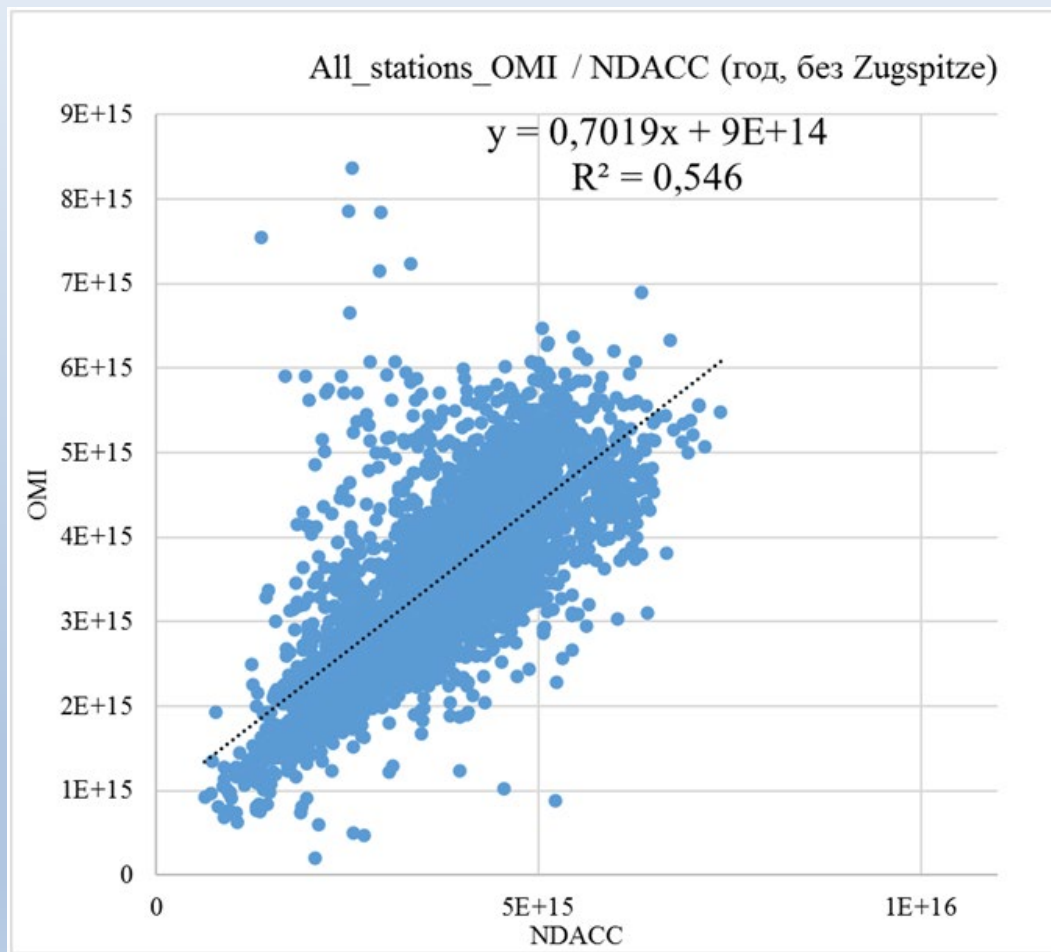
Данные ОС СО AIRS v6 Standard L3 Only Daily. Использованы все парные значения.

Пункт	Наклон разности. молек/см ² (×10 ¹²)
Eureka	36.8±8.20
NY Alesund	19.2±5.61
Thule	30.3±3.28
Kiruna	10.1±3.72
Harestua	13.8±5.39
Saint Petersburg	-4.89± 5.25
Bremen	-1.33± 6.12
Zugspitze	-5.59±1.99
Jungfrau	-10.9±2.78
Toronto	-3.93± 4.45
Rikubetsu	-5.17± 11.2
Izana	-1.88± 3.16
Mauna Loa	-8.64± 7.18
Paramaribo	-8.14± 11.1
Reunion maido	0.76± 8.95
Wollongong	6.28±3.80
Lauder	-7.81±1.96
Arrival Heights	-14.2±3.22

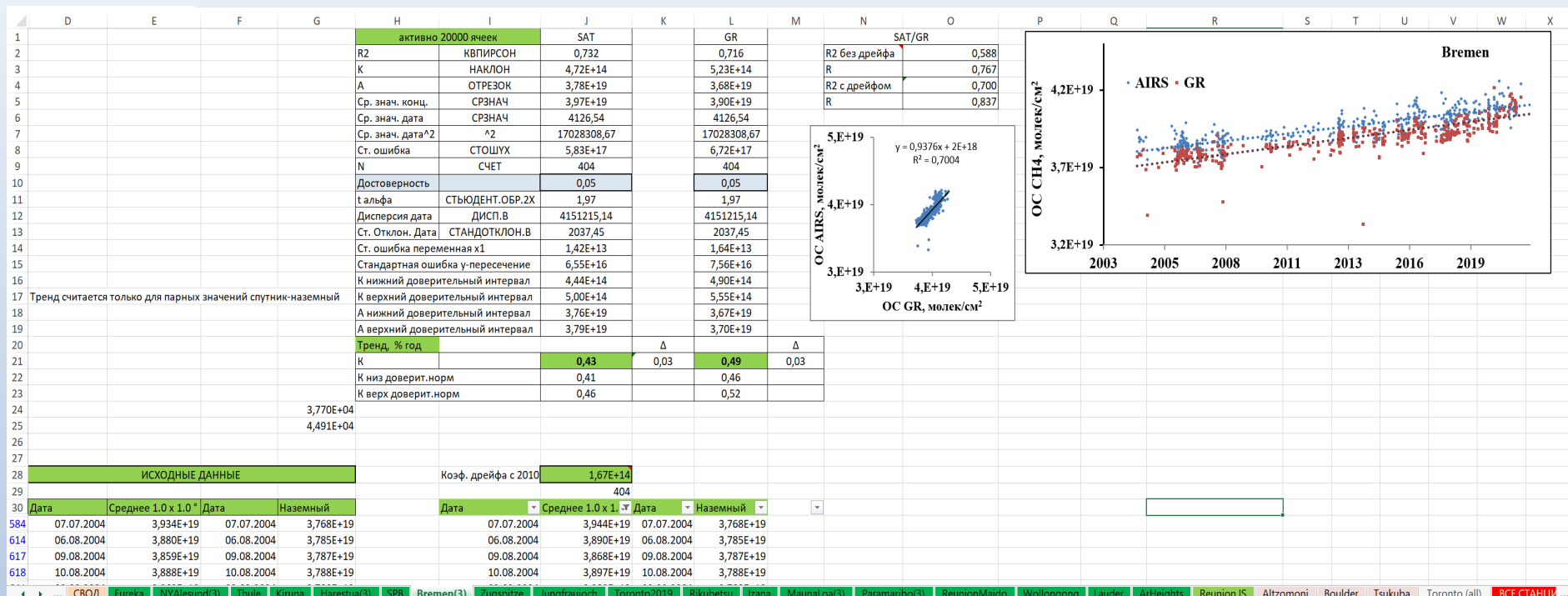
Постанционно определена величина наклона линейного тренда разности AIRS-GR.

В отличие от рядов CH₄, тренд «невязки» (разности AIRS-GR) для ОС СО имеет различную направленность и на многих станциях **статистически незначим**.

OMI vs NDACC, 2005-2021 гг., корреляционная диаграмма



Разработка стандартных форм для систематизации и обработки спутниковых и наземных данных (среда Excel)



Синхронизация рядов спутниковых и наземных измерений, а также расчет параметров линейной регрессии, трендов и корреляции, в т.ч. с применением корректирующего коэффициента дрейфа к ряду спутниковых данных.

AIRS vs NDACC, 2003-2022 гг., 16 пунктов измерений

Задачи (предварительные т.е. «технические»):

- ☐ Приведение орбитальных и наземных данных к единому формату
- ☐ Привязка данных к различным временным и координатным сеткам
- ☐ Синхронизация орбитальных и наземных долговременных рядов по пунктам

Разработка стандартных форм для систематизации и обработки спутниковых и наземных данных (среда Excel)

Задачи анализа:

- ☐ Применение статистических методов фильтрации выбросов (артефактов) к наземным и орбитальным рядам с учётом сезонных вариаций и долговременных трендов
- ☐ Расчет параметров соответствия орбитальных продуктов и наземных данных (линейная и ортогональная регрессия, «невязка», долговременные тренды) с оценкой статистических характеристик (доверительных интервалов)
- ☐ Расчет коэффициентов дрейфа «невязки» (разности между орбитальными и наземными значениями)

Недостатки:

- Для каждой задачи составляется своя форма (трудоемкость при переходе к новым задачам)

Преимущества готовых форм:

- ✓ легкость использования;
- ✓ расчет происходит мгновенно;
- ✓ возможность проводить большое число однотипных расчетов;
- ✓ т.к. это не скрипт, то сохраняются все исходные данные.

Дополнительные материалы

Для исследования параметров соответствия спутниковых измерений наземным данным был использован регрессионный анализ (методы линейной и ортогональной регрессии). При описании распределения массива точек уравнения линейной и ортогональной регрессии выглядят одинаково:

$$y=ax+b.$$

где:

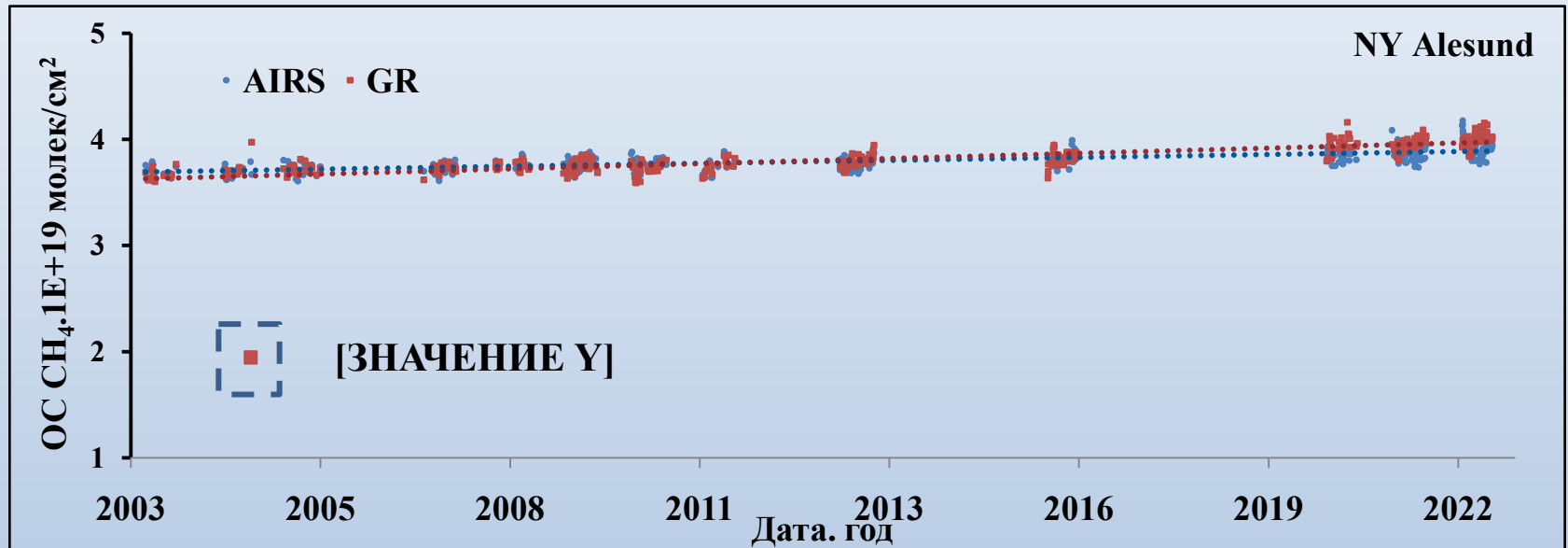
a – коэффициент наклона (далее КН) регрессии

b – коэффициент сдвига (свободный член) регрессии.

Метод ортогональной регрессии лучше подходит для определения зависимости двух измерительных рядов с неизвестным разбросом величин. Уравнение линейной регрессии математически моделирует неизвестную или зависимую переменную и известную или независимую переменную в виде линейного уравнения. поэтому оно наилучшим образом подходит для определения тренда ОС CH_4 и тренда разности AIRS-GR на заданном временном отрезке.

Работа с исходными данными

На этапе оценки качества исходных данных применялись методы фильтрации. В работе использованы только парные значения AIRS/GR.



К исходным рядам наземных измерений таких станций. как:

- NY Alesund;
- Harestua;
- Bremen;
- Mauna Loa;
- Paramaribo

с целью отсева случайных артефактных данных применен метод исключения трех минимальных и трех максимальных значений.