

# Измерения содержания озона на основе спектров ИКФС-2 в 2015-2020 гг.

Поляков А.В., Виролайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Неробелов Г.М.



Санкт-Петербургский  
государственный  
университет

Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Российская федерация



**Девятнадцатая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ  
ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**  
15 - 19 ноября 2021 г., Москва, Институт космических исследований РАН

Несколько лет назад мы представили методику и некоторые результаты оценок общего содержания озона (ОСО) с использованием спектральных измерений ИКФС-2 на борту спутника Метеор М N2 (например, конференция ИКИ 2020, статьи). Позднее мы усовершенствовали методику и увеличили период измерений до 6 лет. Здесь мы показываем предварительную версию результатов.

Поляков А.В. и др., Валидация измерений общего содержания озона (ОСО) с борта спутников серии «Метеор М №2» в 2019-2020 гг., Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

Polyakov A.V., Timofeyev Y.M., Virolainen Y.A., Kozlov D.A. Atmospheric Ozone Monitoring with Russian Spectrometer IKFS-2 // Journal of Applied Spectroscopy, 86(4), 650-654. DOI 10.1007/s10812-019-00873-7;

Timofeyev, Y.M., Uspensky A.B., et al Hyperspectral infrared atmospheric sounder IKFS-2 on “Meteor-M” No. 2 – Four years in orbit // J.Q.S.R.T. 238, 2019, 106579.

<https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2019.106579>

Методика основана на методе искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС используется как аппроксимация решающего оператора и представляет собой трехуровневый персептрон. Функция активации логистическая. Один результат - ОСО. 30 нейронов скрытого слоя. Входные данные:

- А) спектральные измерения прибора ИКФС-2: 25 главных компонентов (ГК) спектра в области 660-1200 см<sup>-1</sup>, 50 ГК в полосе озона 980-1080 см<sup>-1</sup> и зенитный угол спутника;
- Б) То же, что а) плюс широта и день года;

Обучающая выборка была основана на данных **уровня 2** ОМІ по ОСО. Критерий выбора пар данных: рассогласование по времени менее 5 часов, по расстоянию менее 100 км. Для каждого пикселя ИКФС-2 использовалось ближайшее по пространству и времени (одновременно) измерение ОМІ.

Таким образом, было отобрано 16806989 пар спектров ИКФС-2 и ОСО по ОМІ. Для обучения ИНС использовалось только 3% всех пар данных. Ошибка аппроксимации ОСО с использованием алгоритма поиска ИНС, рассчитанная для всего (100%) набора данных: А) 10,3 ЕД; Б) 8,8 ЕД.

Сравнение с данными наземных измерений. Сравнение результатов **единичных** измерений ИКФС-2 (данные уровня 2) с данными **единичных** (hourly) наземных измерений.

# Измерительные станции, данные которых использовались при валидации ИКФС-2

Station	Latitude	Longitude	Altitude	Instrument
Alert	82.45° N	62.51° W	220 m	Brewer #029 (MKIV)
Eureka	79.99° N	85.93° W	8.7 m	Brewer #223 (MKIII)
Resolute	74.70° N	94.97° W	68 m	Brewer #235 (MKIII)
Churchill	58.74° N	94.07° W	26 m	Brewer #239 (MKIII)
Obninsk	55.10° N	36.61° E	100 m	Brewer #044 (MKII)
Edmonton	53.55° N	114.11° W	752 m	Brewer #195 (MKIII)
Goose Bay	53.31° N	60.36° W	26 m	Brewer #018 (MKIII)
Lindenberg	52.21° N	14.12° E	127 m	Brewer #078 (MKIV)
De Bilt	52.10° N	5.18° E	24 m	Brewer #189 (MKIII)
Kyiv-Goloseyev	50.36° N	30.50° E	206 m	Dobson #040
Saturna Island	48.77° N	123.13° W	202 m	Brewer #012 (MKII)
Arosa	46.78° N	9.68° E	1840 m	Dobson #062
Aosta	45.74° N	7.36° E	570 m	Brewer #066 (MKIV)
Egbert	44.23° N	79.78° W	264.5 m	Brewer #145 (MKIII)
Lannemezan	44.13° N	0.37° E	590 m	Dobson #049
Toronto	43.78° N	79.47° W	202 m	Brewer #014 (MKII)
Kislovodsk	43.73° N	42.66° E	2070 m	Brewer #043 (MKII)
Thessaloniki	40.63° N	22.96° E	60 m	Brewer #005 (MKII)
Academy of Athens	37.99° N	23.78° E	180 m	Brewer #001 (MKIV)
El Arenosillo	37.10° N	6.73° W	41 m	Brewer #150 (MKIII)
University of Tehran	35.73° N	51.38° E	1419 m	Dobson #109
Mauna Loa	19.54° N	155.58° W	3397 m	Brewer #119 (MKIII)
Paramaribo	5.81° N	55.22° W	16 m	Brewer #159 (MKIII)
Natal	5.84° S	35.21° W	49 m	Dobson #093
Ciater / Bandung	6.90° S	107.4° E	728 m	Brewer #116, #092 (MKIV)
Cachoeira-Paulista	23.50° S	46.20° W	574 m	Dobson #114

Разности ОСО ИКФС-2 и наземные. Средние, стандартные отклонения и среднеквадратичные

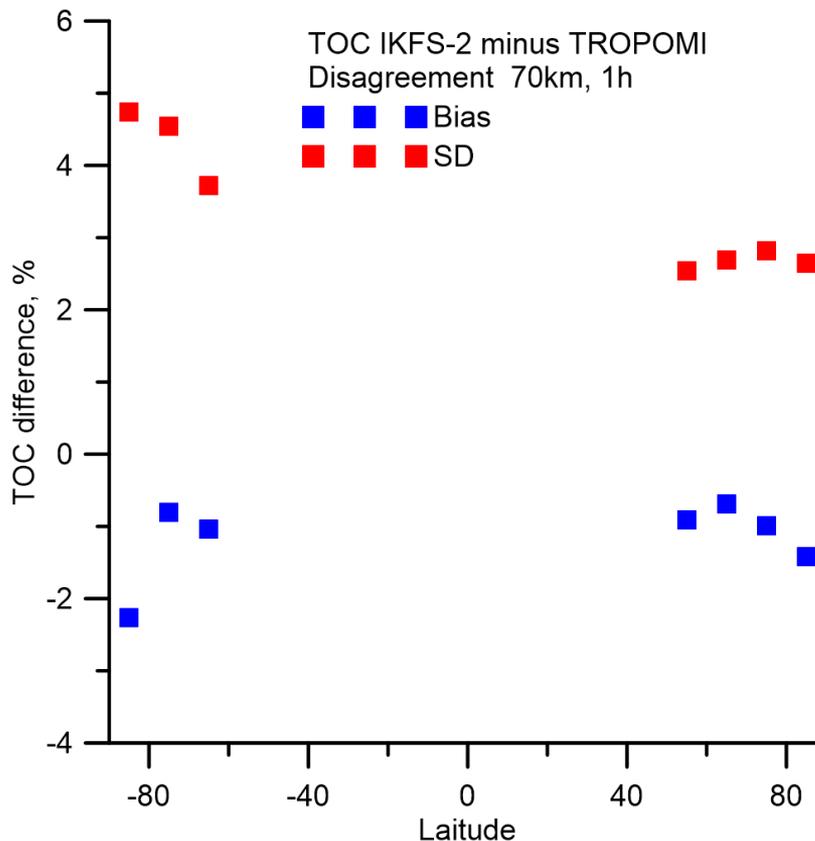
Time mismatch Dt, hour	Distance D, km	N	TOC difference, DU			TOC difference, %:		
			mean	SD	RMSD	mean	SD	RMSD
Dt < 0.1	D < 35	9960	-2.4	10.9	11.1	-0.71	3.26	3.34
0.2	35	20326	-2.4	11.5	11.7	-0.71	3.44	3.51
0.5	35	50500	-2.4	12.3	12.5	-0.72	3.68	3.75
1	35	100293	-2.4	12.1	12.3	-0.72	3.61	3.68
1	70	400694	-2.4	12.8	13.0	-0.71	3.82	3.89
1	35 < D < 70	300401	-2.4	13.0	13.2	-0.71	3.89	3.95
1	70-125	3779278	-2.1	15.7	15.8	-0.63	4.70	4.74
1	125-250	14798182	-2.2	20.1	20.2	-0.67	6.00	6.04
0.1 < Dt < 0.2	35	10366	-2.4	12.0	12.3	-0.72	3.60	3.67
0.2-0.5	35	30174	-2.4	12.8	13.0	-0.73	3.83	3.90
0.5-1	35	49793	-2.4	11.8	12.1	-0.72	3.54	3.62
1-2	35	97138	-2.4	11.5	11.8	-0.73	3.44	3.52
2-3	35	91733	-2.8	12.5	12.8	-0.83	3.72	3.81
3-5	35	171605	-3.2	13.4	13.8	-0.95	3.98	4.09
3-6	35	251490	-3.3	13.6	14.0	-0.99	4.04	4.16
6-12	35	388606	-3.4	16.7	17.1	-1.02	5.07	5.17
0.1	35-70	30020	-2.1	12.8	13.0	-0.63	3.85	3.90
12-24	35	924168	-2.2	20.7	20.8	-0.67	6.21	6.24

# Сравнение ОСО по данным ИКФС-2 и ТРОПОМИ

Рассогласование 70 км, 1 час

Разности ОСО	средние	SD	RMSD
е.Д.	-3.4	9.9	10.4
%	-1.1	3.1	3.3

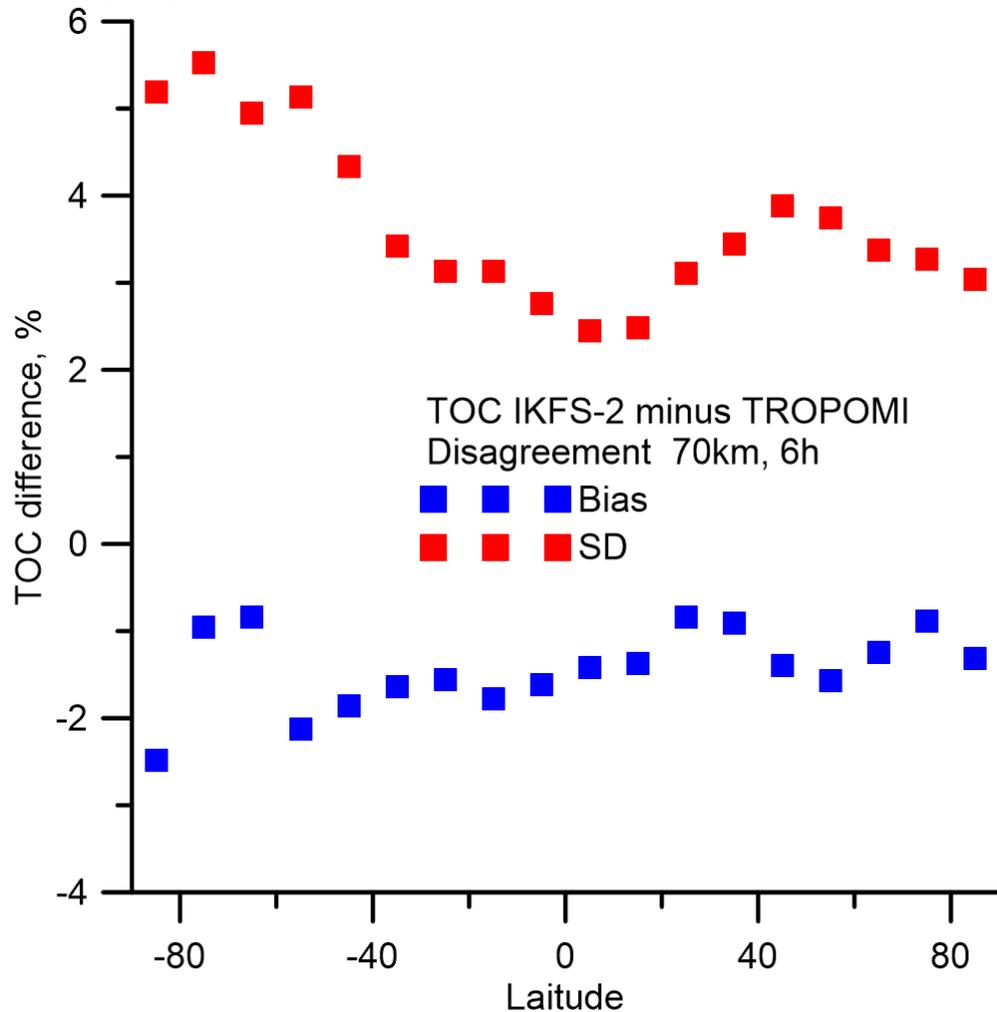
Два спутника (Метеор-М №2 и SENTINEL 5P) имеют разные орбиты, поэтому критерий рассогласования меньше 70 км и 1 ч между измерениями позволяет сопоставлять только измерения в высоких широтах.



## Сравнение ОСО по данным ИКФС-2 и ТРОПОМИ

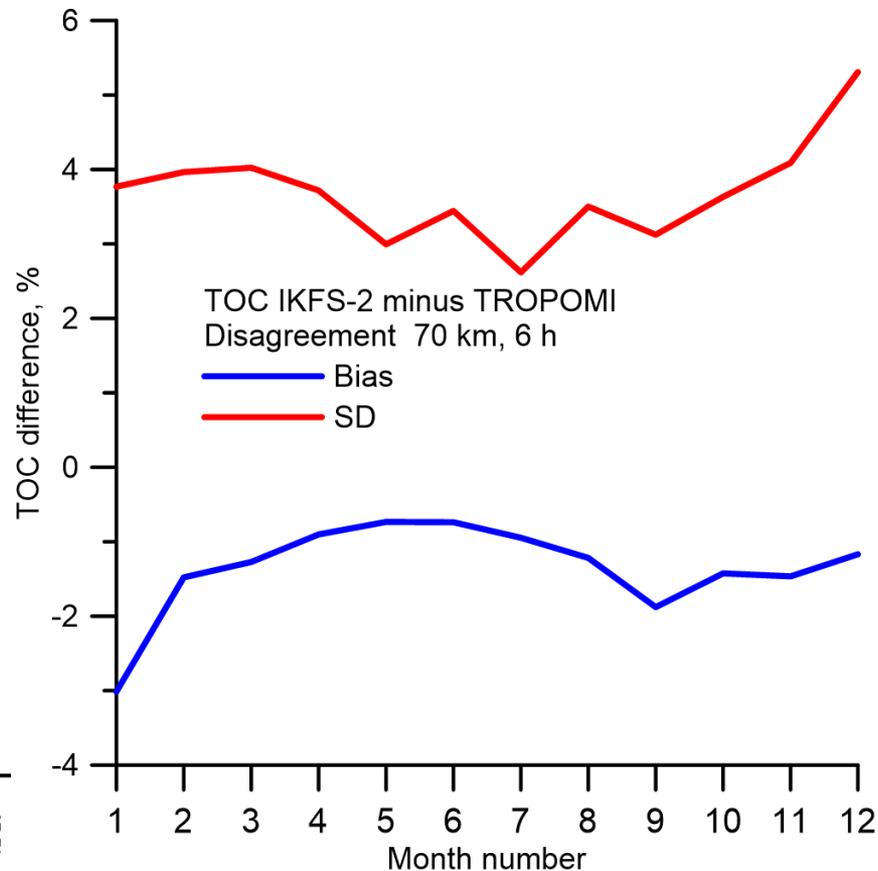
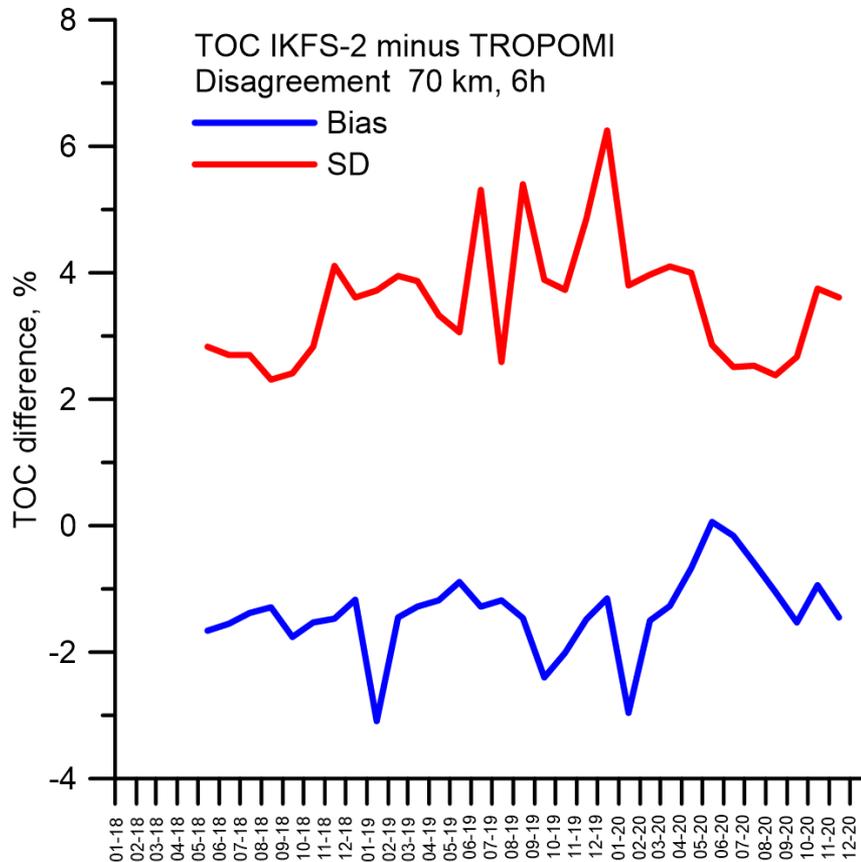
Рассогласование 70 км, 6 час

Разности ОСО	средние	SD	RMSD
е.Д.	-3.9	11.2	11.8
%	-1.3	3.7	3.9



# Сравнение ОСО по данным ИКФС-2 и ТРОПОМИ.

Разности: средние и стандартные отклонения



Примеры результатов

O3, DU



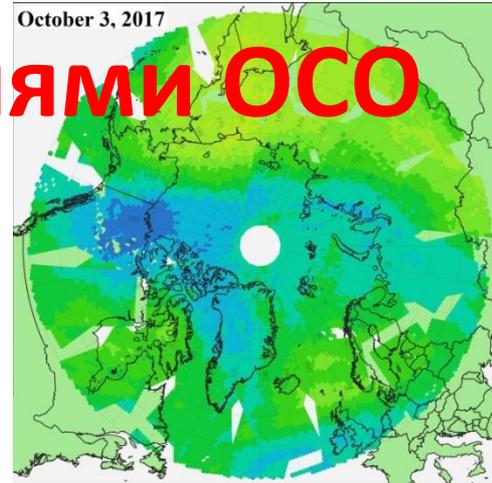
October 7, 2015



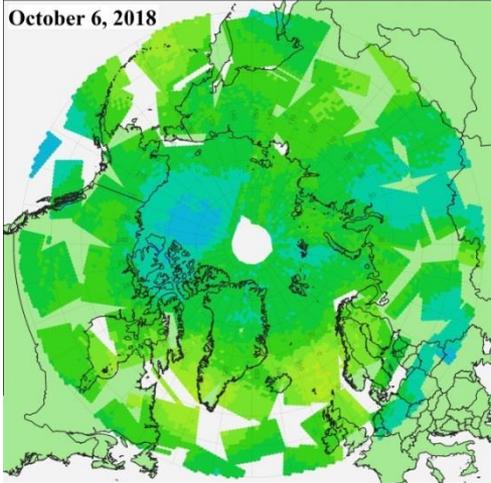
October 23, 2016



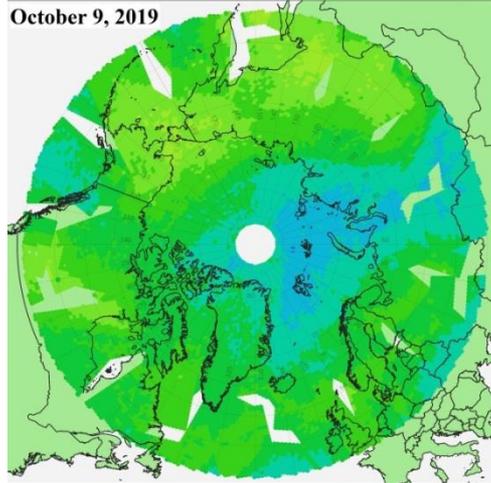
October 3, 2017



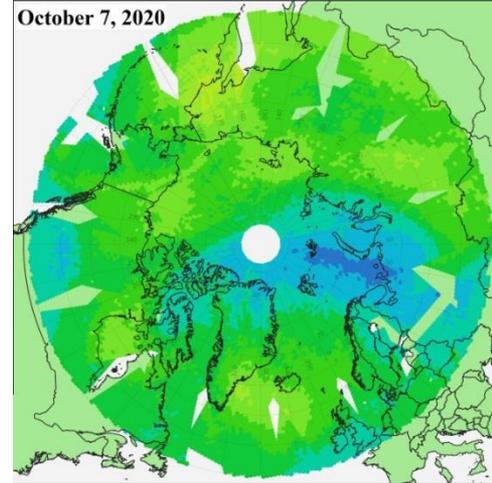
October 6, 2018



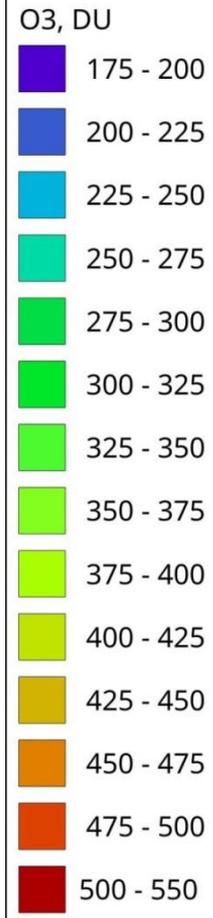
October 9, 2019



October 7, 2020

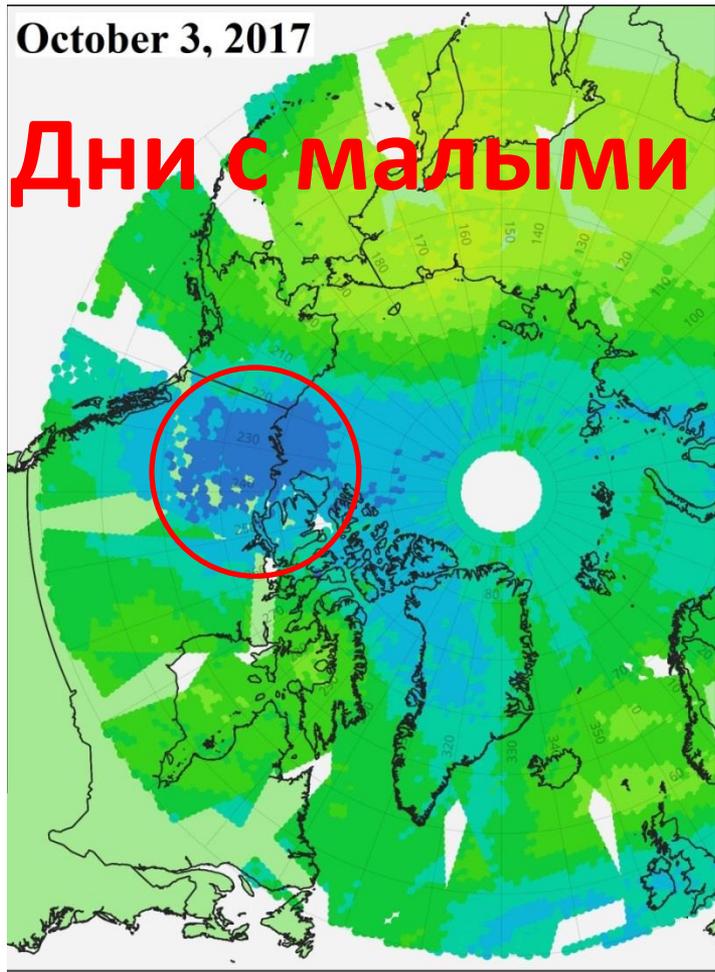


Дни с малыми значениями ОСО

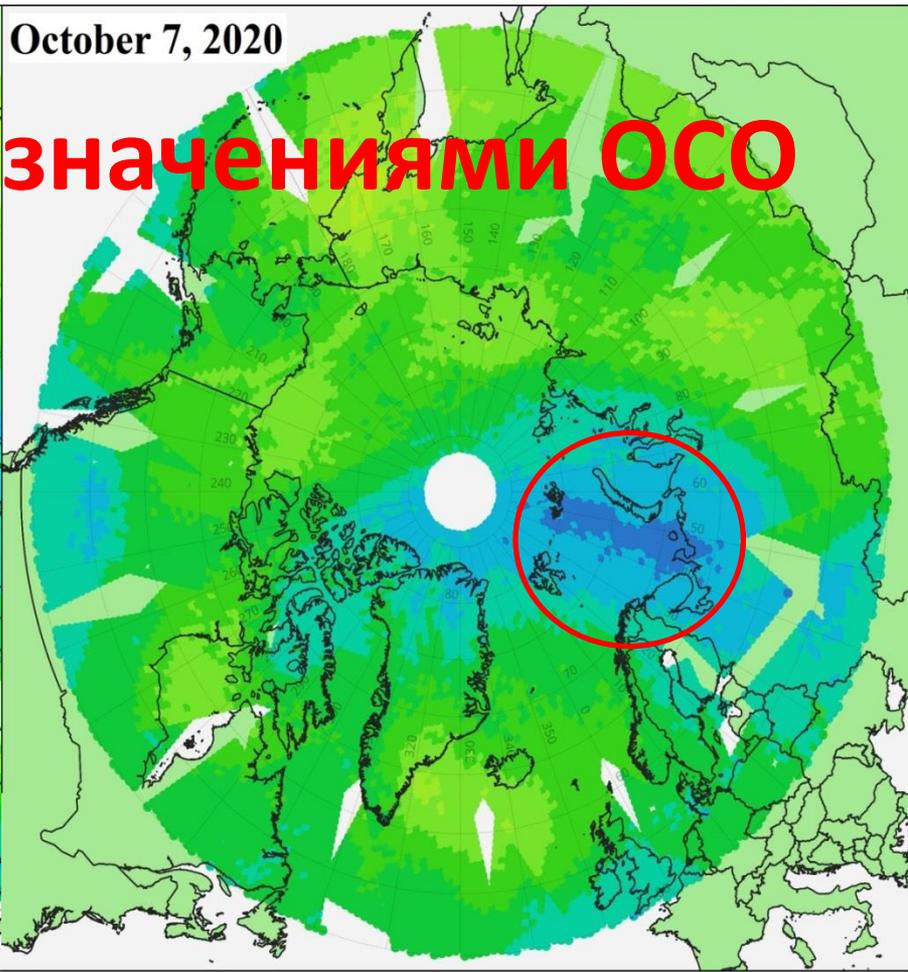


October 3, 2017

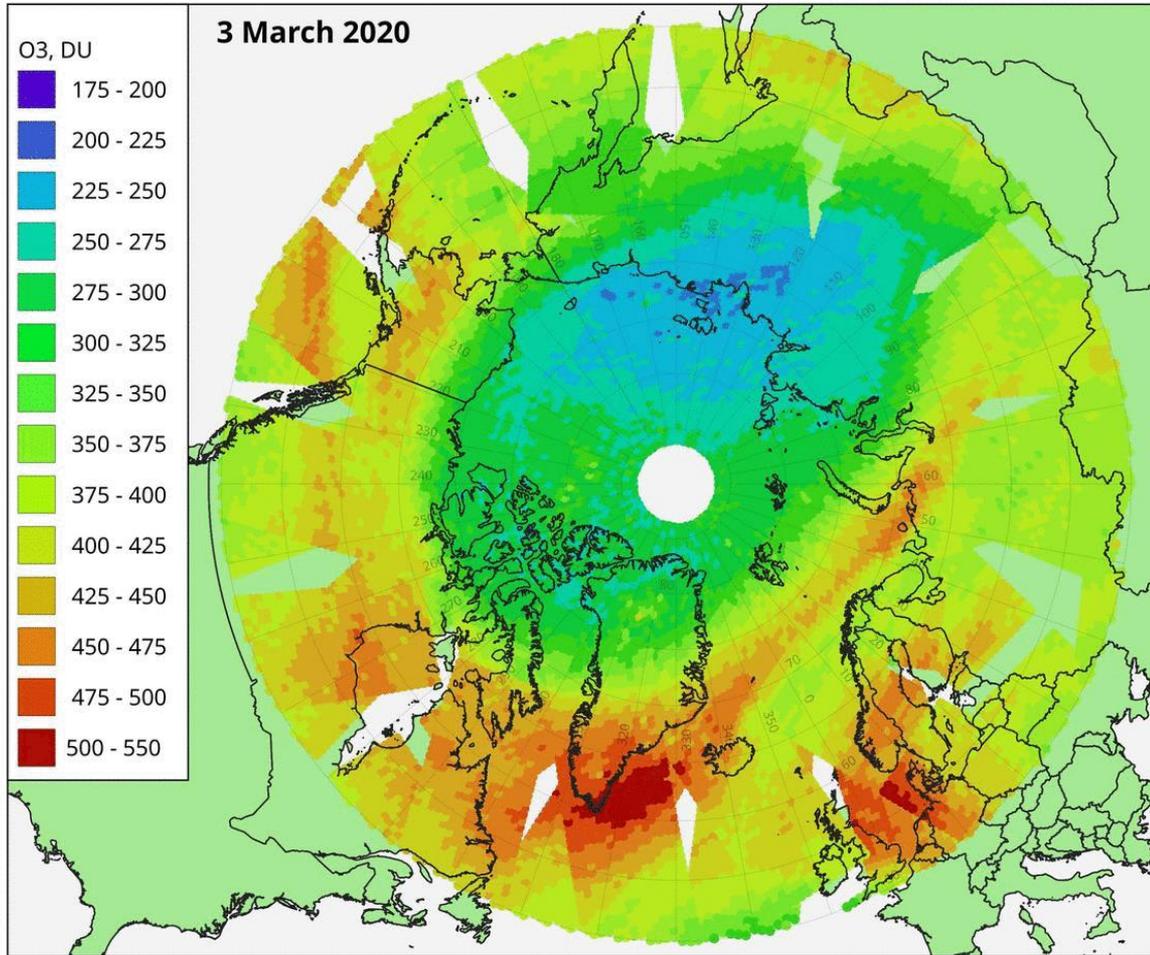
Дни с малыми значениями ОСО



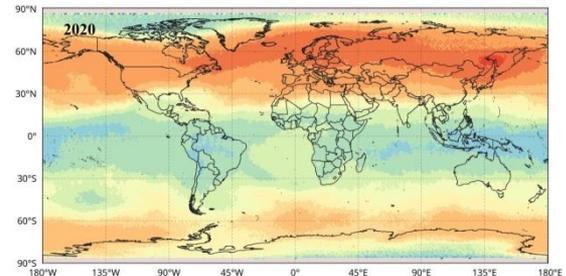
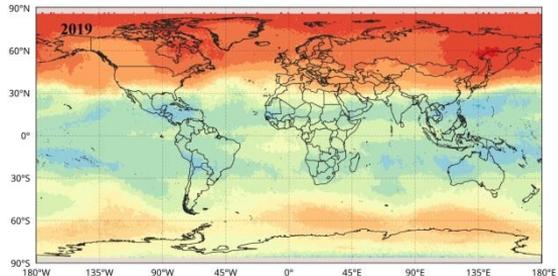
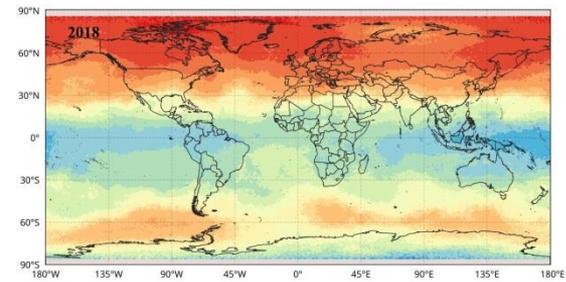
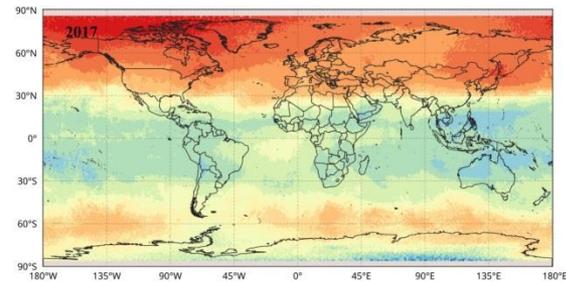
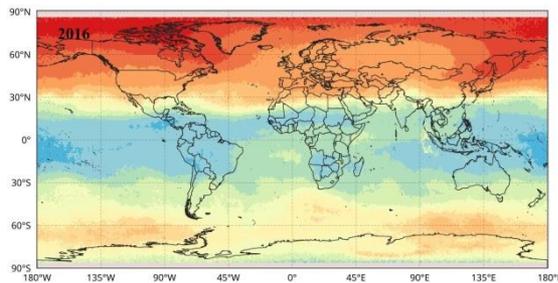
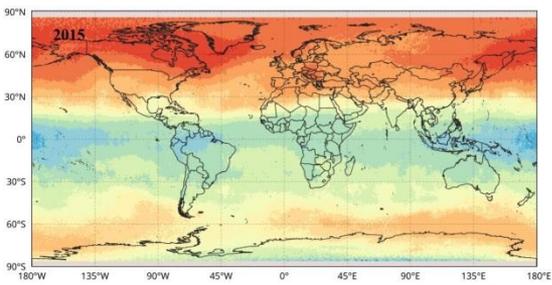
October 7, 2020



# Озоновые аномалии весной 2020 г. в Арктике



# Среднемесячные ОСО в марте 2015-2020



## Выводы

Показано, что различия между величинами ОСО, полученными из спектральных измерений ИКФС-2 и независимых данных: спутниковых (ТРОПОМИ) и наземных (Dobson и Brewer), как правило, составляют 3–5%. Наибольшие различия наблюдаются над Антарктидой при наличии озоновых дыр. Мы продемонстрировали, что ИКФС-2 способен отслеживать изменения общего содержания озона в периоды появления озоновых минимумов (например, весной 2020 в Арктике).

Благодарим Научно-исследовательский центр «Планета» за предоставление свободного доступа к спектрам ИКФС-2.

Исследование было выполнено в  
**Лаборатории исследования озонового слоя и  
верхней атмосферы**

Санкт-Петербургского государственного университета при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению 075-15-2021-583.

Спасибо за внимание