

Валидация измерений общего содержания озона (ОСО) с борта спутников серии «Метеор М №2» в 2019-2020 гг.

А.В. Поляков¹, Ю.М. Тимофеев¹, А.А. Соломатникова², Я.А. Виролайнен¹, Г.М. Неробелов¹



Санкт-Петербургский
государственный
университет

1) Санкт-Петербургский государственный университет



ГЛАВНАЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ
им. А.И. ВОЕЙКОВА

2) Главная Геофизическая Обсерватория им. А.И. Воейкова

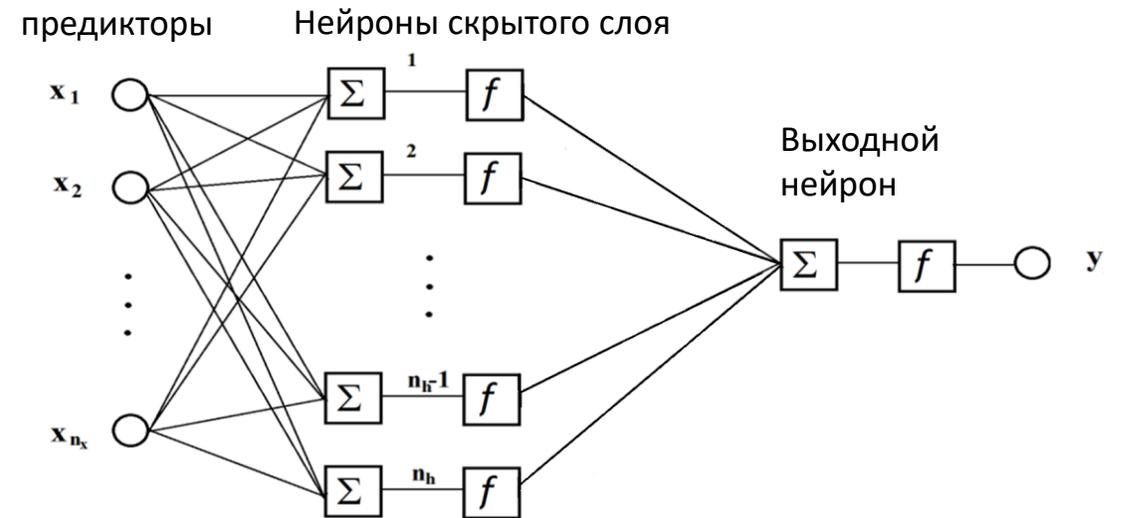


Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
16 - 20 ноября 2020 г., Москва, Институт космических исследований РАН

Озон является одной из важнейших газовых компонент атмосферы Земли, влияющей на радиационный и температурный режим планеты, УФ освещённость ее поверхности и экологию окружающей среды. В связи с этим в настоящее время осуществляется постоянный мониторинг содержания озона с помощью различных систем наблюдений. В частности, спутниковые методы измерений вносят существенный вклад, наряду с разнообразными наземными методами, в получение регулярной и высокоточной информации об общем содержании озона (ОСО). Важной задачей является взаимокалибровка различных систем измерений, в частности валидация спутниковых измерений. В нашем докладе показаны результаты взаимокалибровки спутниковых измерений с помощью Фурье-спектрометра ИКФС-2 (МИСЗ Метеор) и наземных измерений ОСО, а также примеры обнаружения аномалий ОСО, наблюдавших с марта-апреле 2020 года в Арктике.

Краткое описание методики восстановления ОСО

- Искусственная нейронная сеть – трехслойный персептрон
- Входные параметры – спектральные измерения прибора ИКФС-2: 25 главных компонент (ГК) всего спектра + 50 ГК полосы озона + зенитный угол наблюдения
- Выходной параметр – ОСО
- Обучение сети проводилось на данных ОМІ уровня 3. При этом рассматривались только дневные измерения ИКФС-2, выполненные в период с марта по декабрь 2015 года
- Рассматривались как безоблачная атмосфера так и состояние атмосферы в присутствии облачности



$$ОСО = y = f_2 \left(\sum_1^{n_x} w_i^2 f_1 \left(\sum_1^{n_h} w_{i,j}^1 x_j \right) \right)$$

f – функция активации

x_j – элемент вектора входных параметров

w_{ij}^1 и w_i^2 – весовые коэффициенты

Гаркуша А. С., Поляков А. В., Тимофеев Ю. М. Определение общего содержания озона по измерениям Фурье-интерферометра ИКФС-2 с борта спутника «Метеор-М» No 2, XIV Всероссийская Открытая конференция СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА 14–18 ноября 2016 года Москва, ИКИ РАН

Результаты 2015-2016 гг.:

Систематические различия данных ИКФС-2 и результатов измерений приборами Добсона и Брюера не превышают 1 %, а среднеквадратические 3.0—4.5 %. Применение методики и ИНС, обученных по данным 2014-2016 гг. к результатам измерений 2019-2020 гг. показали, что хотя средняя разность (спутниковые данные минус наземные) составила -0.7%, среднеквадратичная разность увеличилась до 12% ! Большие погрешности в определении в 2019г ОСО по ИНС, обученным в 2015-2017гг, вызваны абсурдно большими (несколько сотен ЕД) различиями данных двух типов измерений для нескольких эпизодов.

- Гаркуша А. С., Поляков А. В., Тимофеев Ю. М. Определение общего содержания озона по измерениям Фурье-интерферометра ИКФС-2 с борта спутника «Метеор-М» No 2, XIV Всероссийская Открытая конференция СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА 14–18 ноября 2016 года Москва, ИКИ РАН
- Гаркуша, А. С., Поляков, А. В., Тимофеев, Ю. М., Виролайнен, Я. А. Определение общего содержания озона по данным измерений спутникового ИК Фурье-спектрометра // ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА. 2017. 53, 4, стр. 493-501, DOI: 10.7868/S0003351517040079
- А.С. Гаркуша, А.В. Поляков, Ю.М. Тимофеев, Я.А. Виролайнен, А.В. Кухарский. Определение общего содержания озона по данным измерений спутникового ИК Фурье-спектрометра ИКФС-2 в облачной атмосфере (МИСЗ «Метеор-М» № 2) // Исследов. Земли из космоса. 2018. №2. С. 58-64, DOI: 10.7868/S0205961418020069
- Н.Е. Чубарова, Ю.М. Тимофеев, Я.А. Виролайнен, А.В. Поляков Оценки УФ-индексов в периоды пониженного содержания озона над Сибирью зимой – весной 2016г // Оптика атмосферы и океана, 2018, 31, №11, 902 – 905, doi: 10.15372/AOO20181107
- Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Виролайнен Я.А., Козлов Д.А. Мониторинг общего содержания озона в атмосфере с использованием российской аппаратуры ИКФС-2 // Журнал Прикладной Спектроскопии, 2019, 86(4), 597-601
- Y.M.Timofeyev, A.V.Uspensky, F.S.Zavelevich, A.V.Polyakov, Y.A.Virolainen, A.N.Rublev, A.V.Kukharsky, J.V.Kiseleva, D.A.Kozlov, I.A.Kozlov, A.G.Nikulin, V.P.Pyatkin, E.V.Rusin Hyperspectral infrared atmospheric sounder IKFS-2 on “Meteor-M” No. 2 – Four years in orbit // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer Volume 238, November 2019, 106579. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2019.106579>

Обучение на данных 2019-2020гг

Трехслойный перцептрон, обе функции активации – логистические (th), 25ГК всего спектра, 50 ГК полосы O_3 (980 – 1080 cm^{-1}), 30 НСС.

Для обучения использовались данные за период 31.12.2019 – 21.06.2020: рассмотрены все спектры ИКФС-2, к ним подобраны пары данных OMI уровня 2. Параметры согласования пар: разница во времени 5 часов, по пространству 100км. Всего 260000 пар.

Учебник - псевдослучайная (60%) выборка. Тестовая и валидационная выборки – по 20% каждая..

Погрешности обучения:

9.9 ЕД – на учебнике, 10.2 – на тестовой выборке

Сопоставление данных ИКФС-2 с результатами независимых измерений

№	долгота	широта	индекс	название
1	14.121	52.209	174	Lindenberg
2	51.380	35.730	464	University of Tehran
3	22.956	40.634	261	Thessaloniki
4	23.780	37.992	449	Academy of Athens
5	9.680	46.780	35	Arosa
6	30.497	50.364	498	Kyiv-Goloseyev
7	5.178	52.101	316	De Bilt
8	-155.580	19.540	31	Mauna Loa (HI)
9	-55.215	5.806	435	Paramaribo
10	-62.510	82.450	18	Alert
11	-94.970	74.700	24	Resolute
12	-85.930	79.990	315	Eureka
13	-60.360	53.310	76	Goose Bay
14	-94.070	58.740	77	Churchill
15	-114.110	53.550	21	Edmonton
16	7.360	45.740	479	Aosta

Подобранные к спутниковым измерениям наземные данные единичных измерений были получены на 15 станциях озонометрической сети:

Total Ozone - Hourly Observations:
doi:10.14287/10000003

WMO/GAW Ozone Monitoring Community, World Meteorological Organization-Global Atmosphere Watch Program (WMO-GAW)/World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC) [Data]. Retrieved October 24, 2013, from <https://woudc.org>. A list of all contributors is available on the website. doi:10.14287/10000001

Как видно из таблицы, все рассмотренные станции расположены в северном полушарии, в Европе и на североамериканском континенте. Мы исключили данные станции Arosa, содержащие неустойчивые, вплоть до отрицательных или изменяющихся за минуты на сотни ЕД значений ОСО.

Сопоставление данных ИКФС-2 с результатами независимых измерений

Зависимости различий результатов измерений ОСО двух типов от точности их согласования

№	рассогласование		Число пар	Разности ОСО, % ИКФС-2 минус наземные	
	Расстояние, км	Время, ч		Среднее (смещение)	Стандартное отклонение (разброс)
1	70	0.1	6113	-1.75	3.22
2	70	0.2	12587	-1.66	3.29
3	70	0.5	30208	-1.70	3.32
4	70	1	59668	-1.70	3.32
5	70	2	118992	-1.73	3.35
6	70	5	283712	-1.79	3.53
7	70	12	576539	-1.88	4.36
8	70	24	1150186	-1.80	5.43
9	35	0.1	1493	-1.78	3.17
10	70	0.1	6113	-1.75	3.22
11	150	0.1	27860	-1.71	3.68
12	300	0.1	111373	-1.71	4.51
13	500	0.1	303346	-1.74	5.54

Сравнение со среднедневными наземными данными.

Сравнение с российскими «горячими» данными за март-апрель 2020:
587 значений (дней/станций). среднее -1.6%, разброс 7.5%.

Сравнение с WODC, 14 ноября 2020

Сравнение с российскими станциями за 2019: 19721 сопоставление, смещение -2.2%, разброс 5.7%

Сравнение с всеми станциями за 2019-2020: 115521 сопоставление, смещение -1.6%, разброс 5.7%

Сравнения с результатами ассимиляции независимых данных

Измерения ИКФС-2

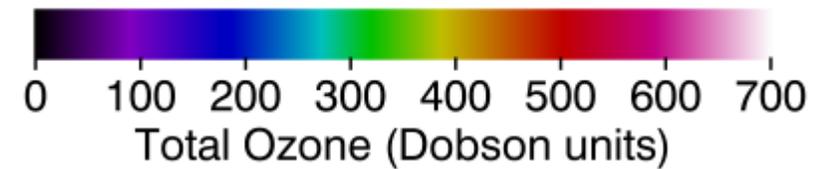
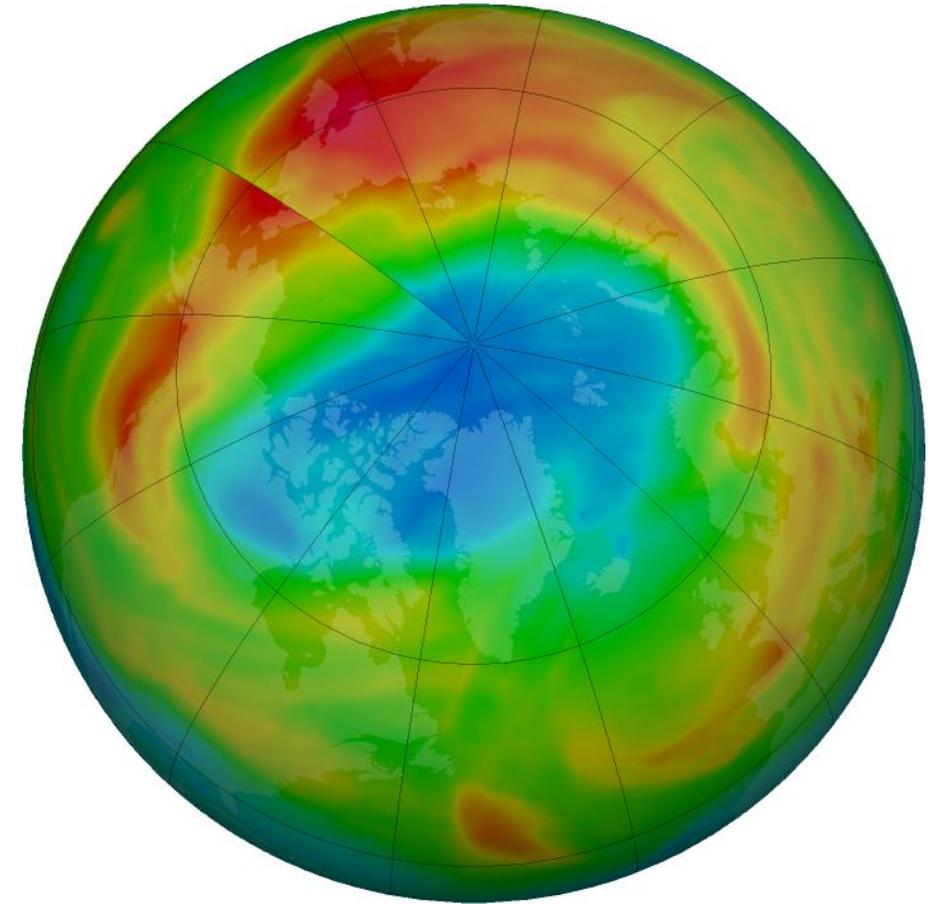
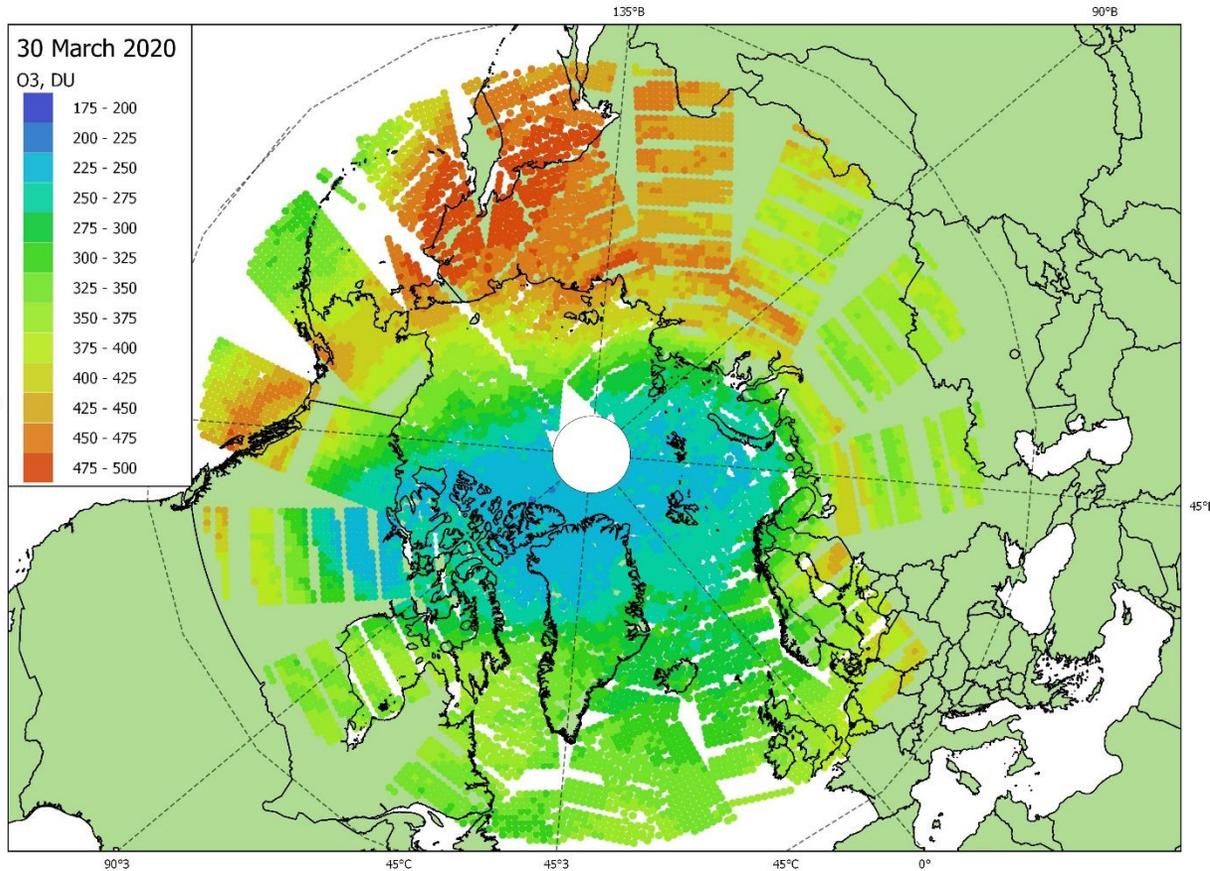
<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

The data and images are a combination of observations and output from the GEOS-FP assimilation. The satellite global coverage has missing pieces because of missing orbits, and no coverage in polar night. At present, the data is from the Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) instrument on the Suomi NPP satellite. The interpolated data are reasonable estimates, but caution should be exercised. The assimilation system changes as satellites drift and fail too.

30.03.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

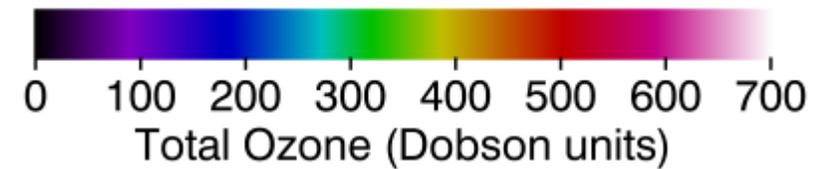
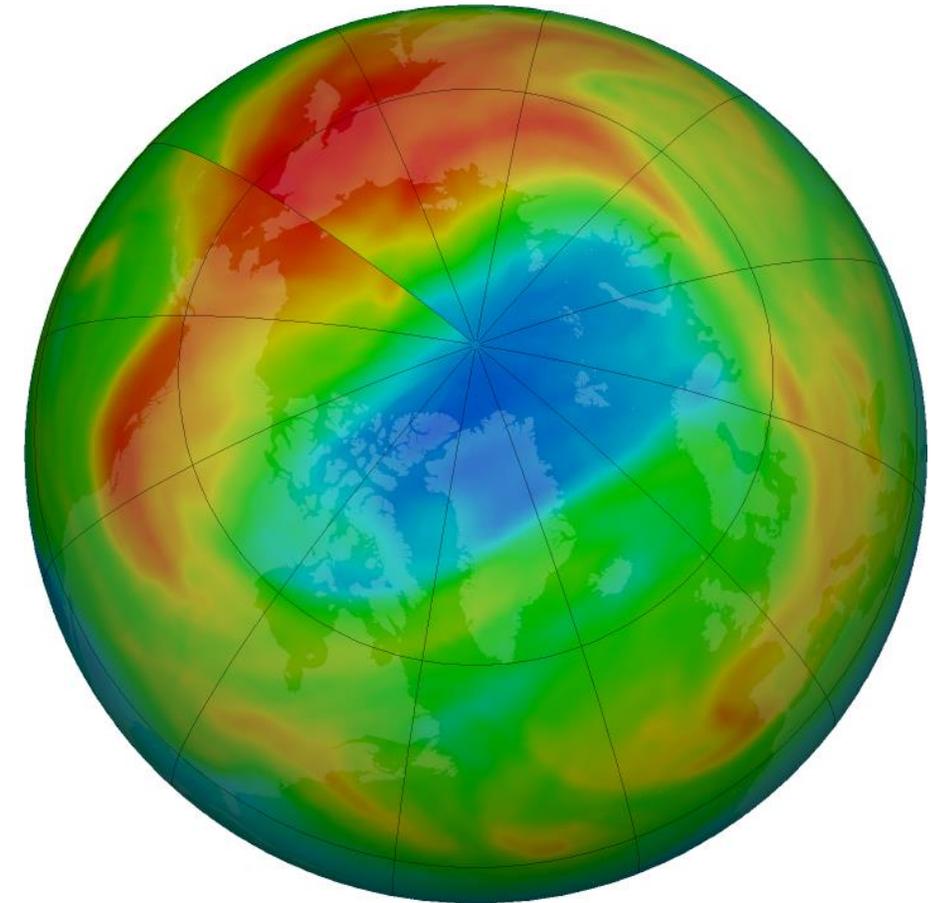
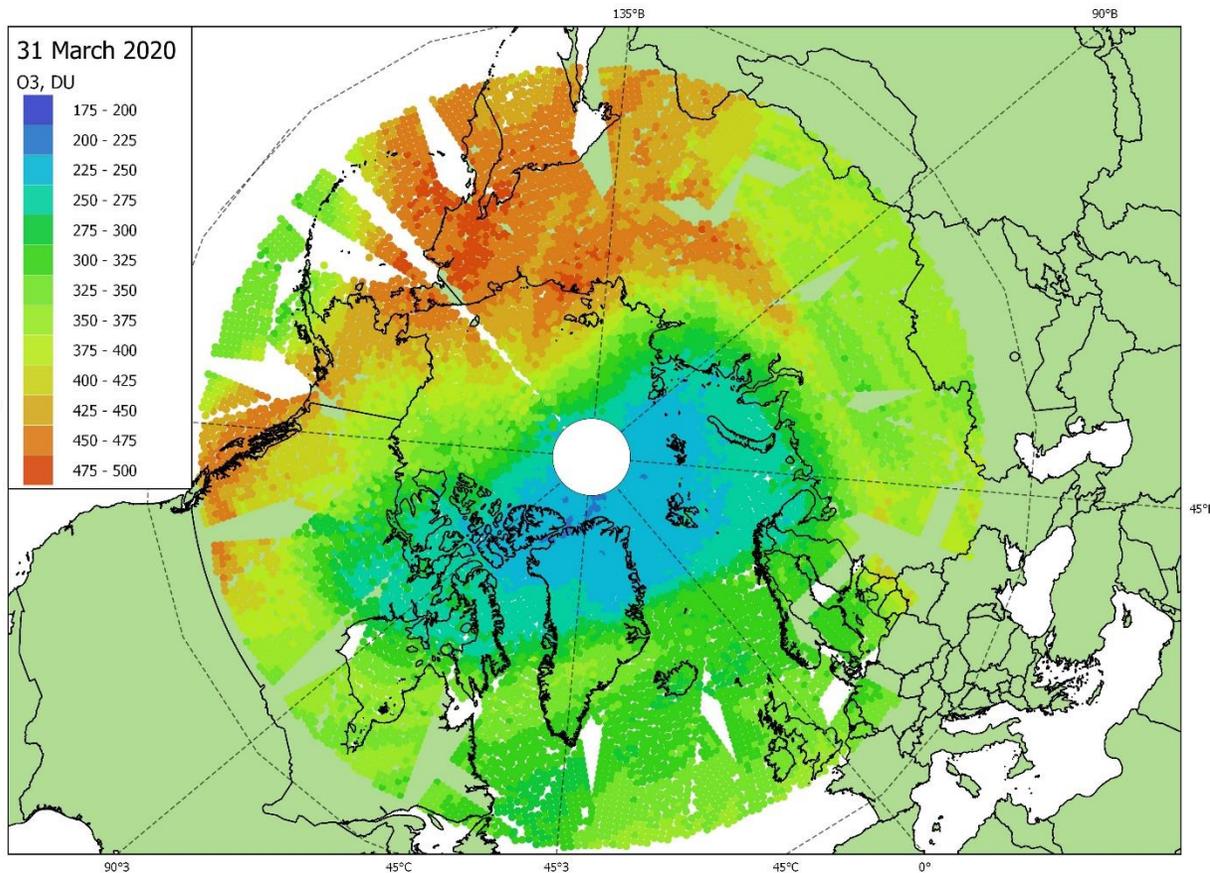


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

31.03.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

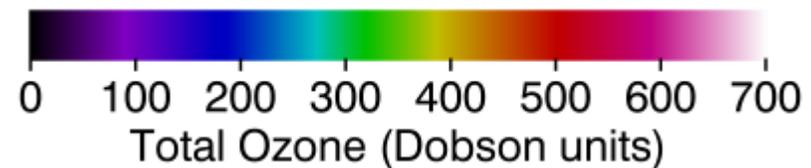
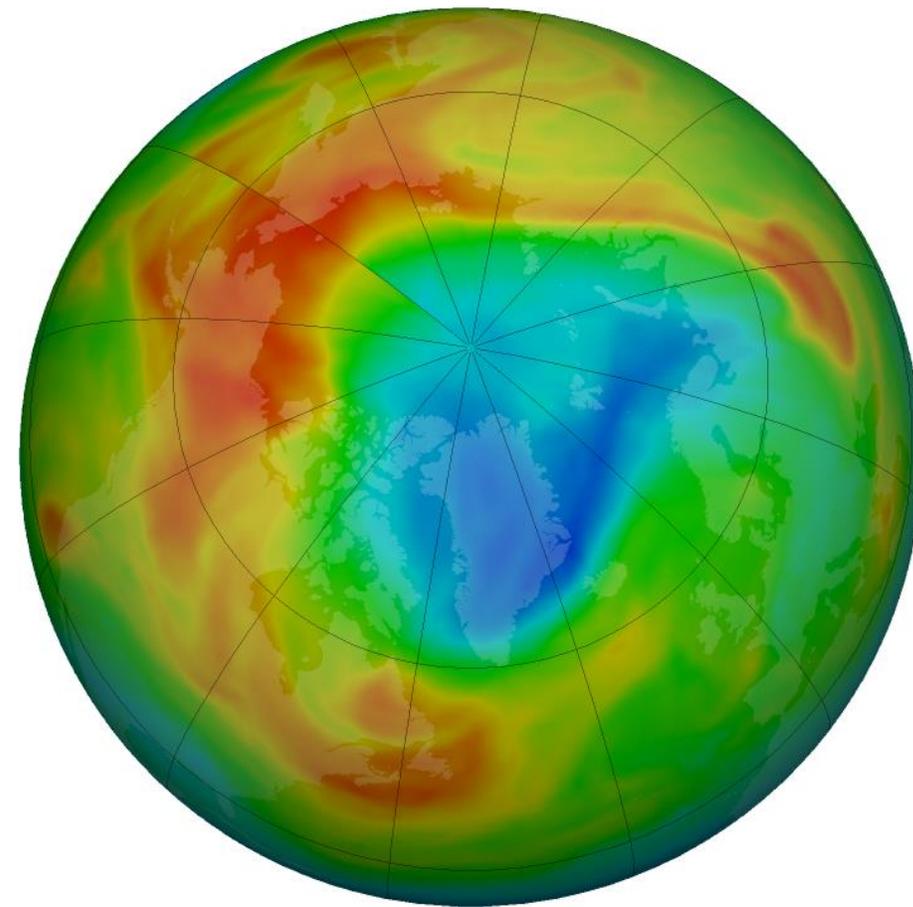
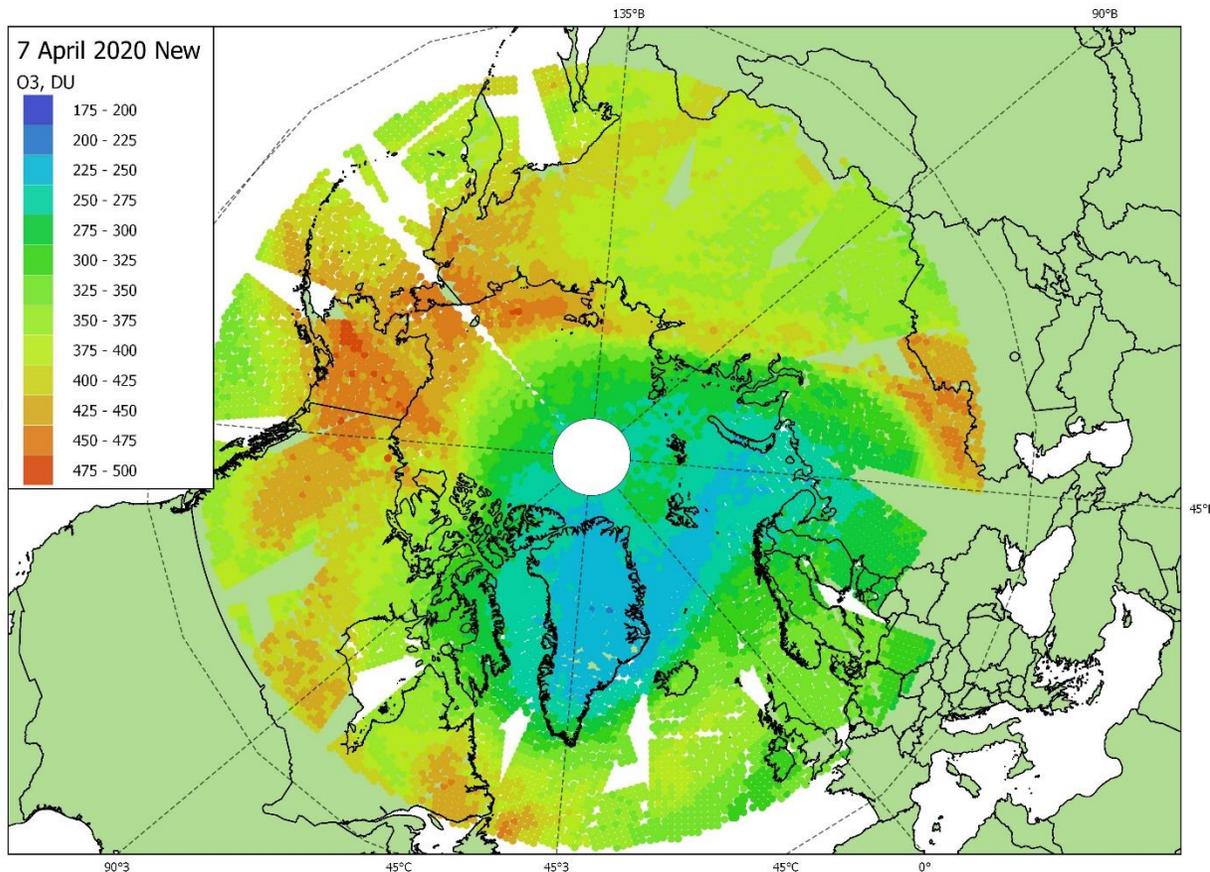


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

07.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

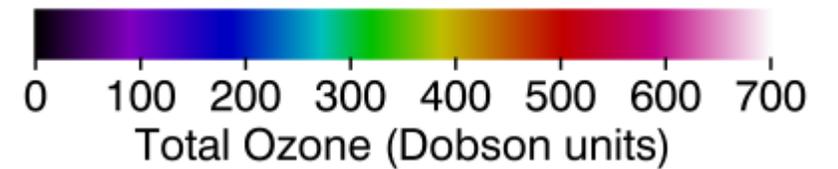
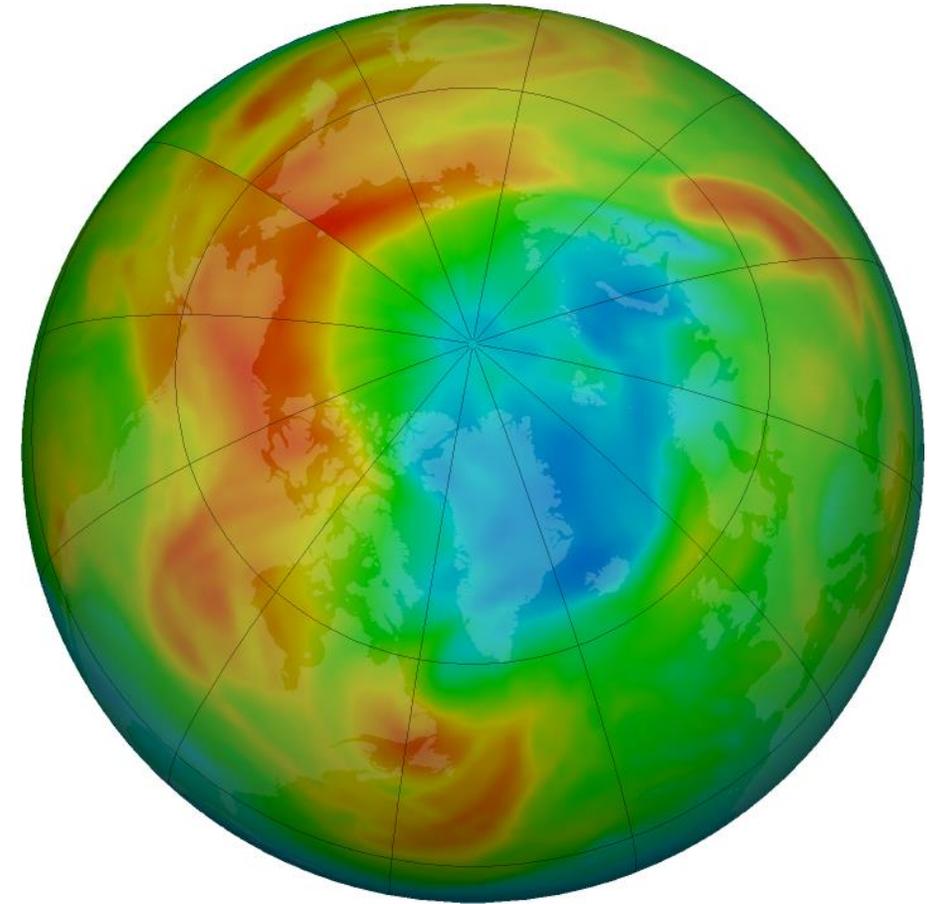
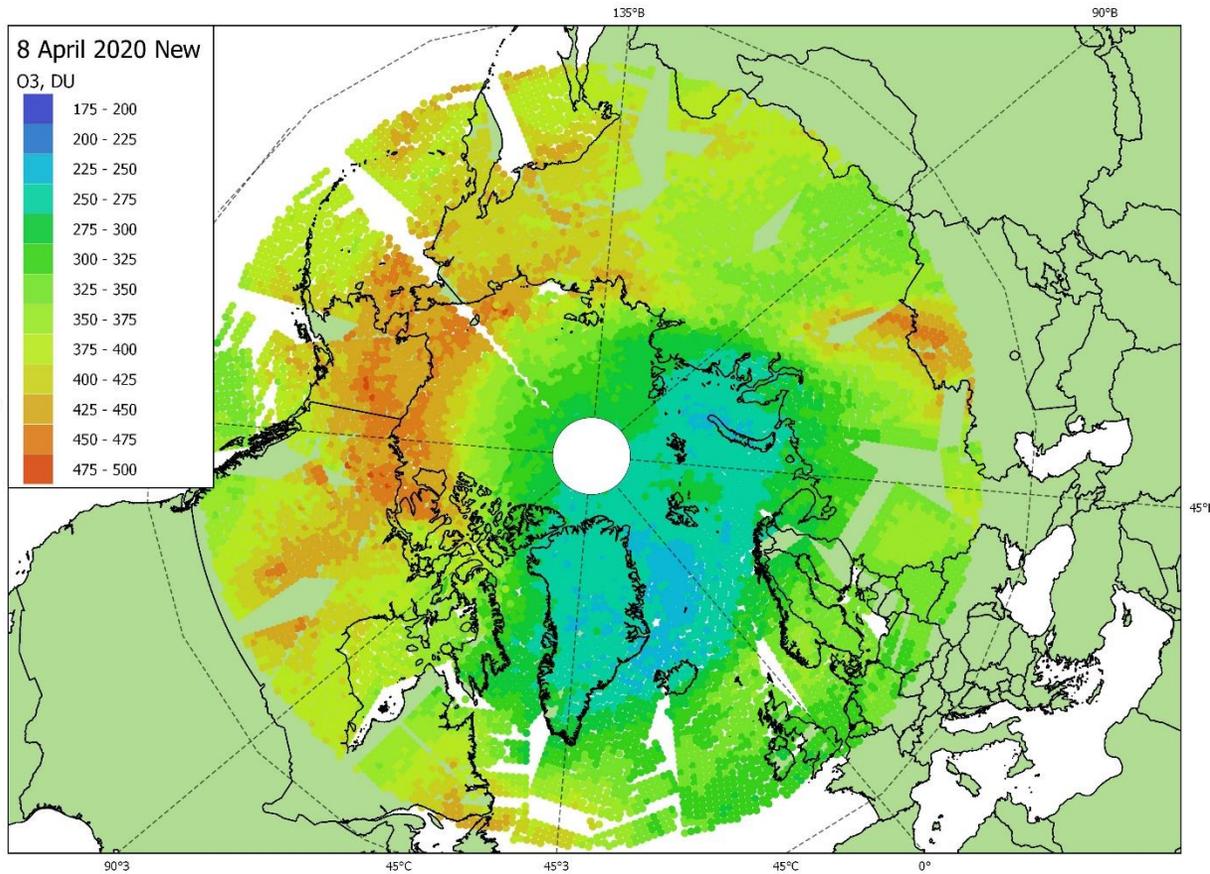


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

08.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

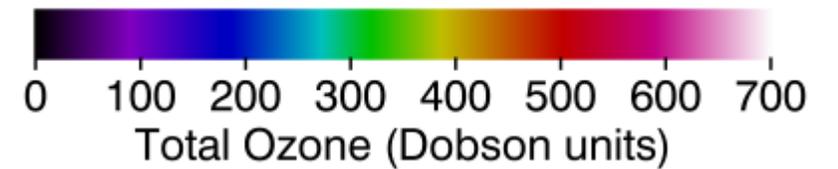
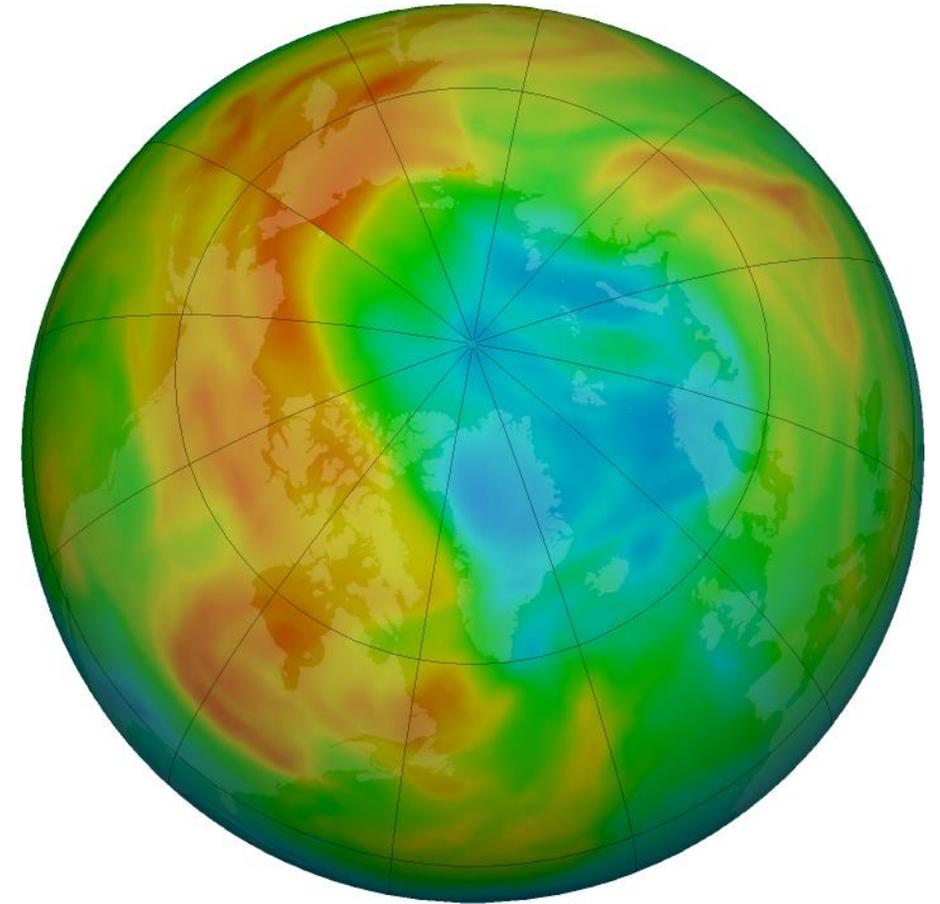
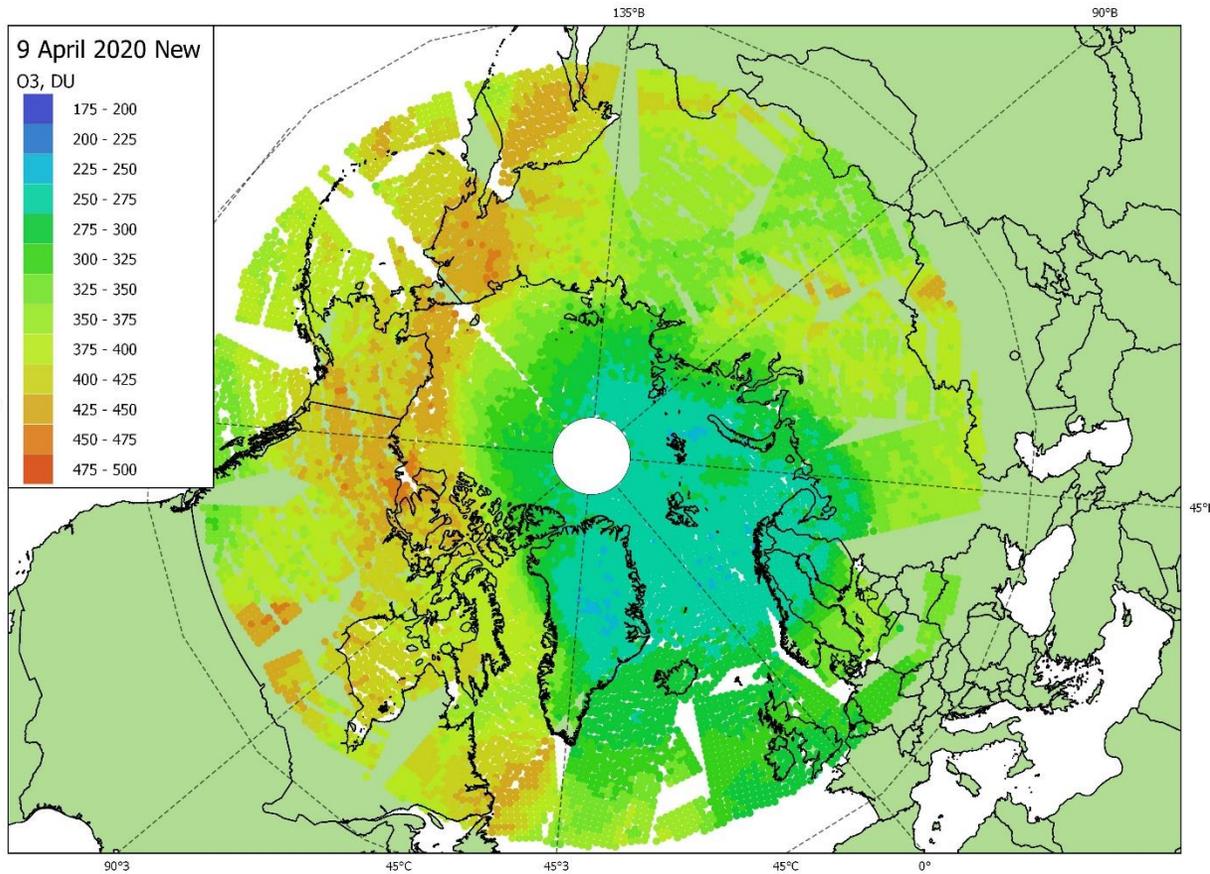


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

09.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

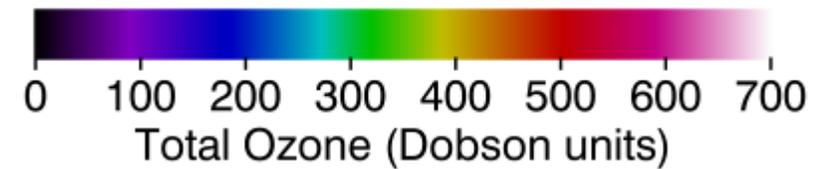
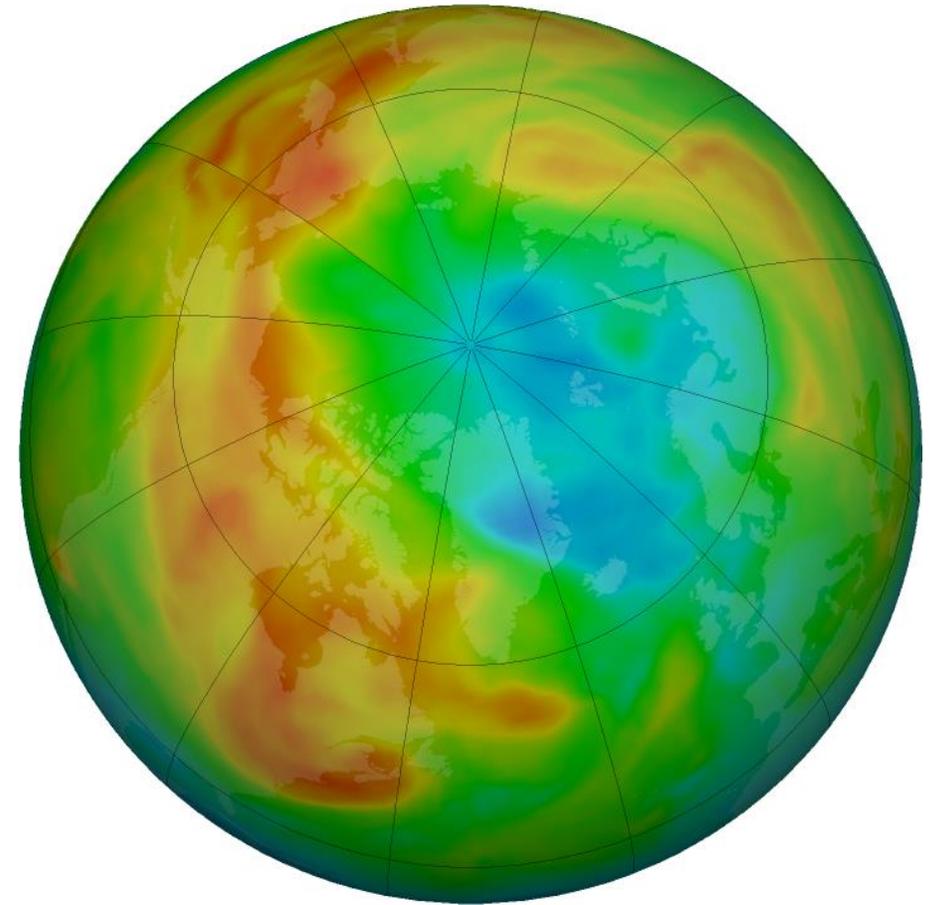
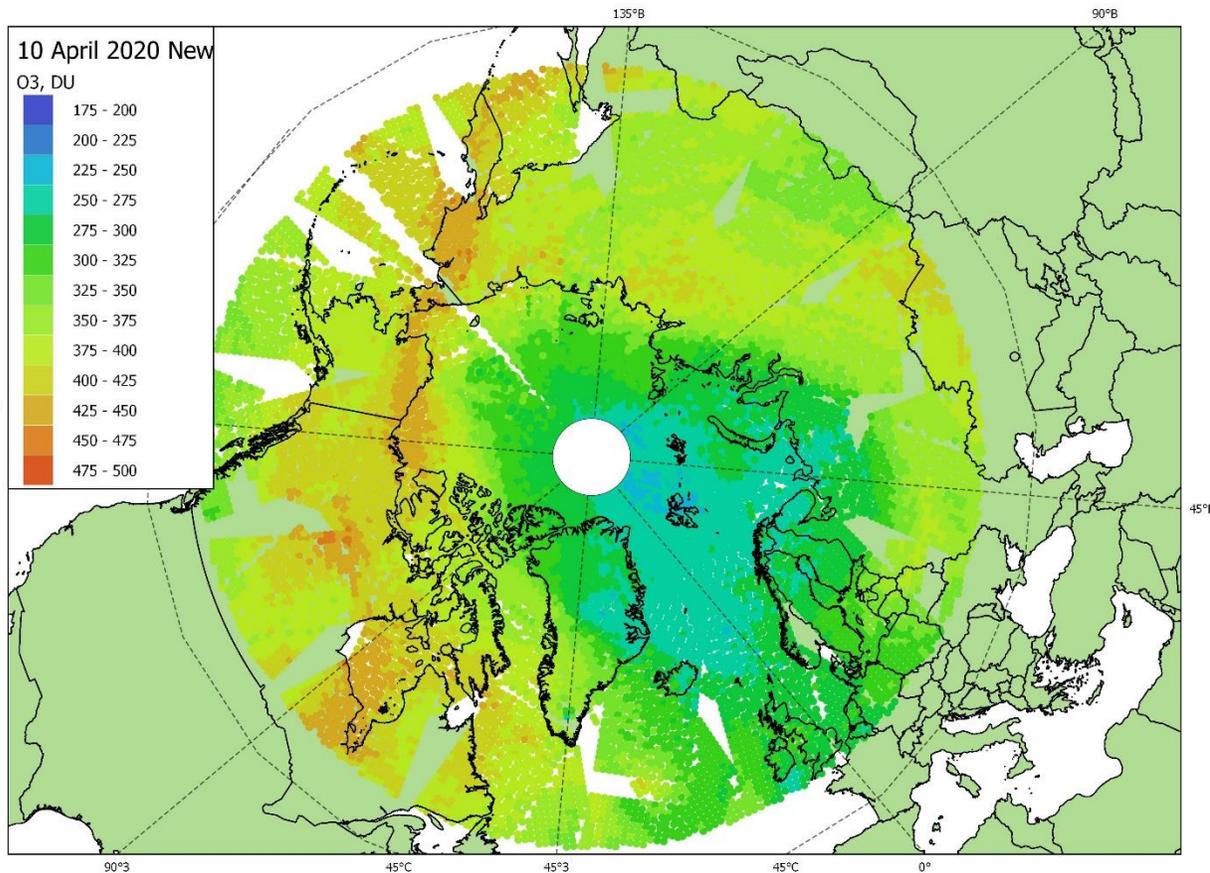


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

10.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

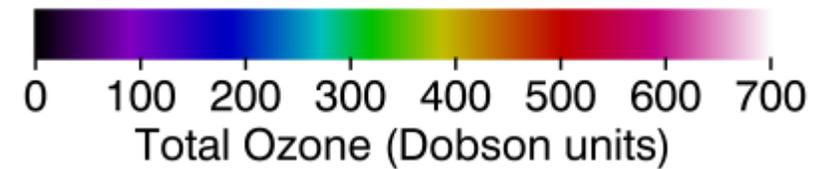
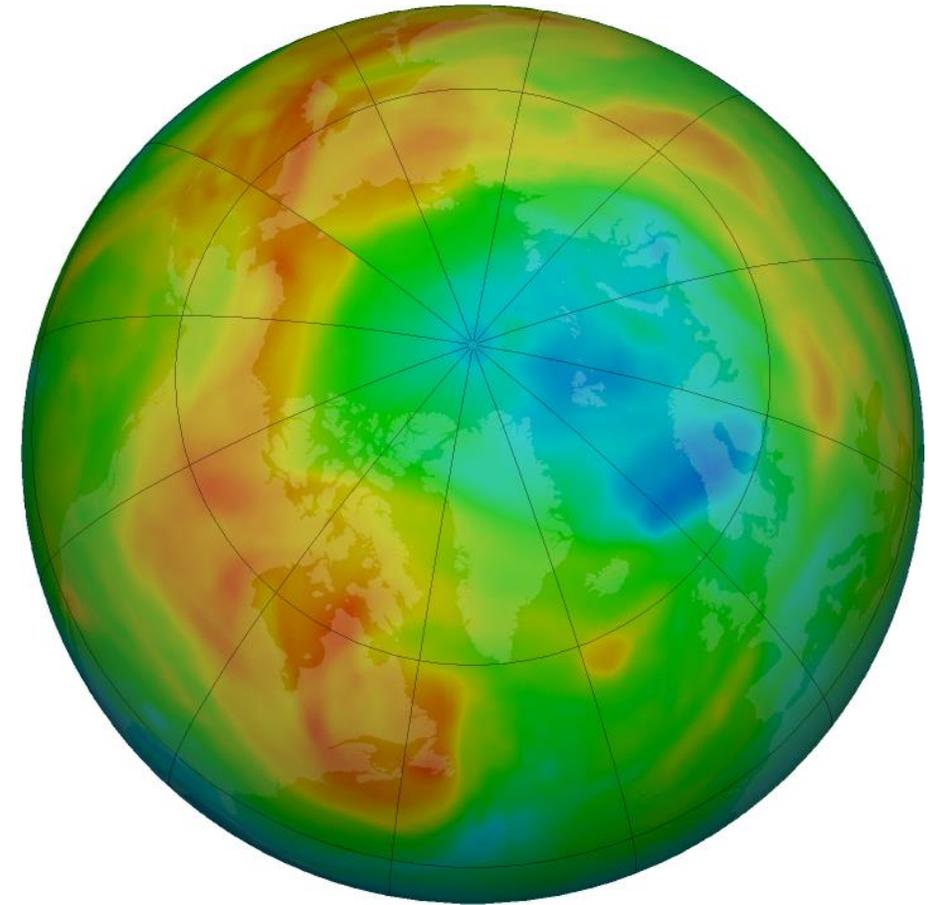
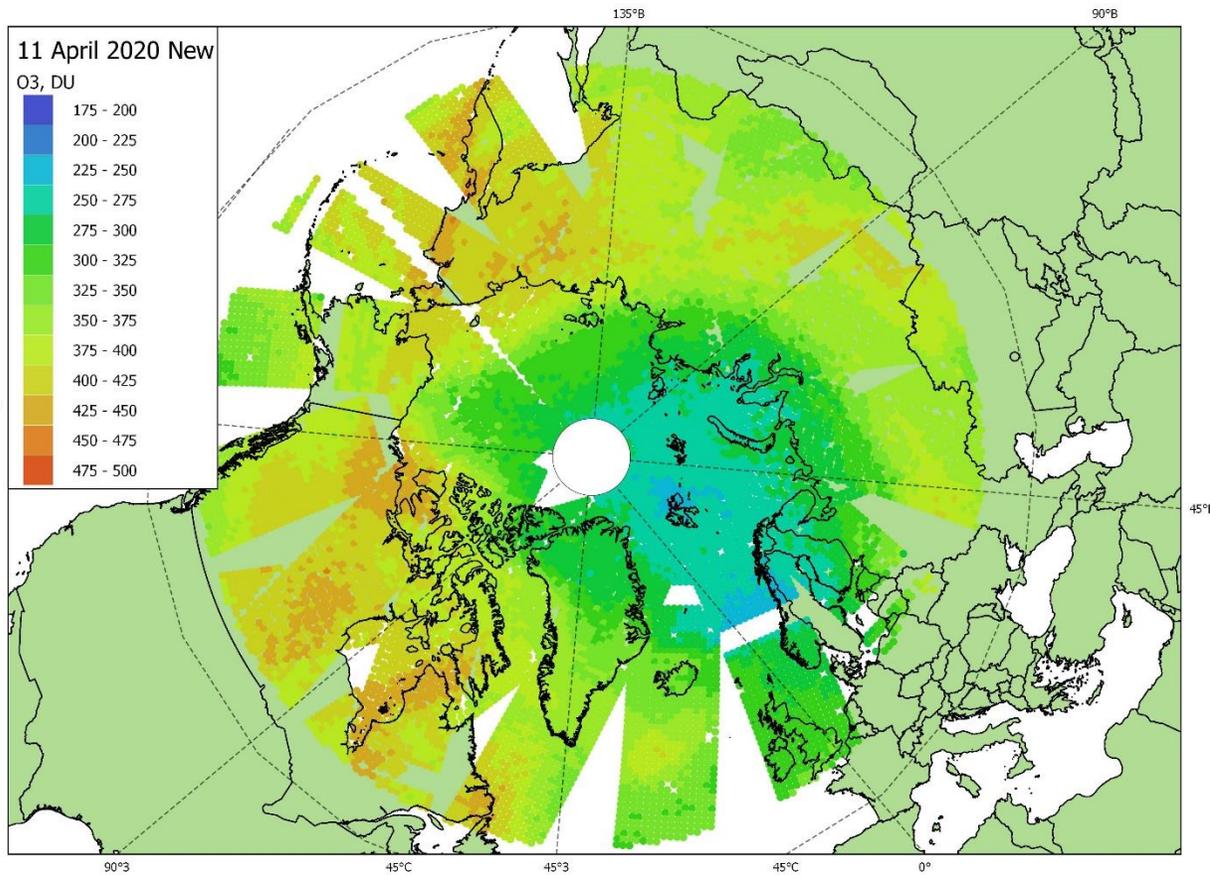


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

11.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

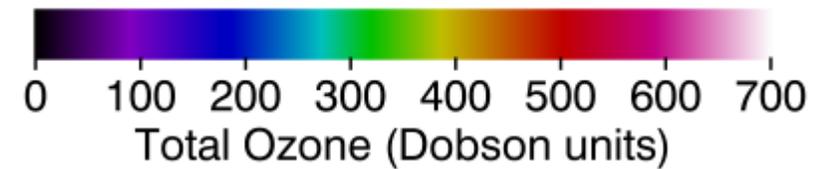
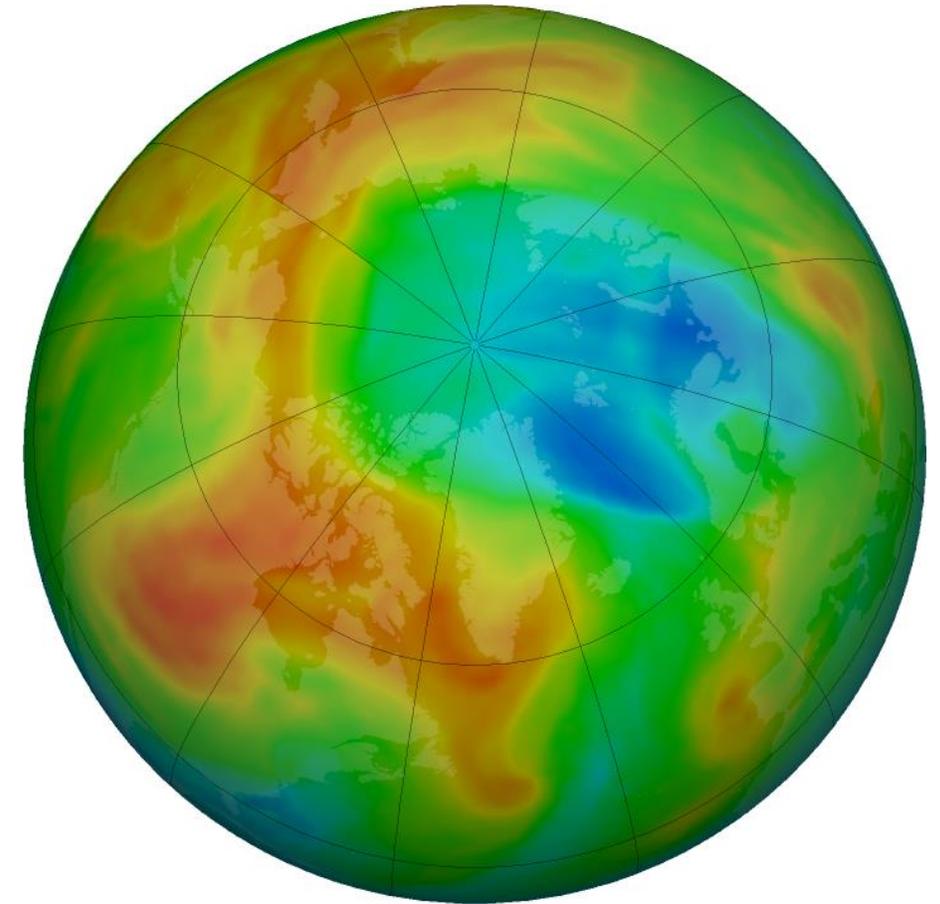
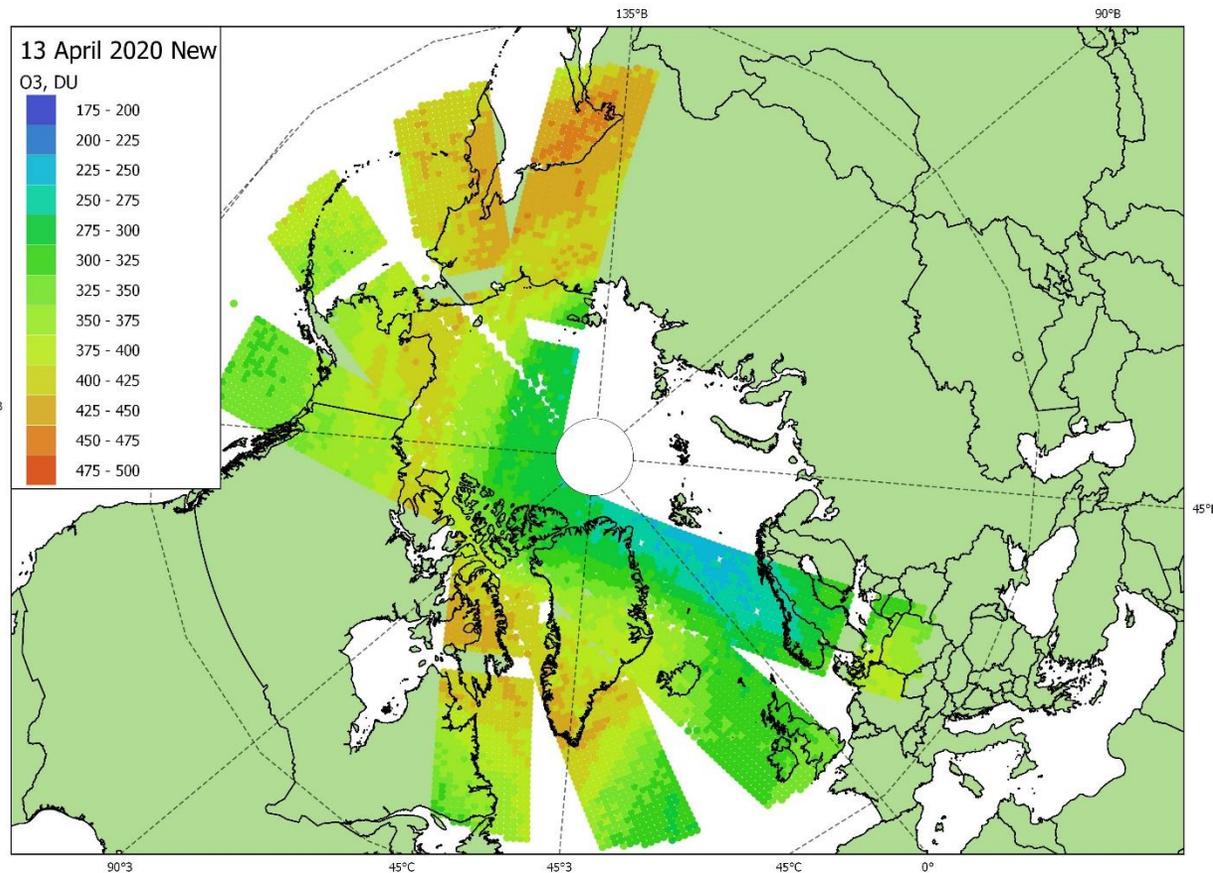


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

13.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

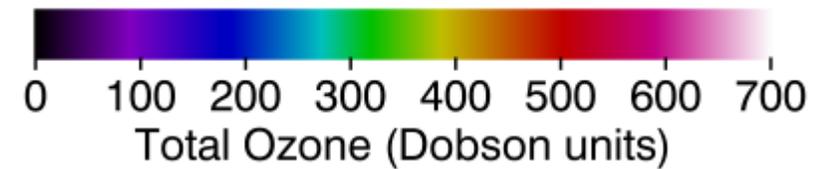
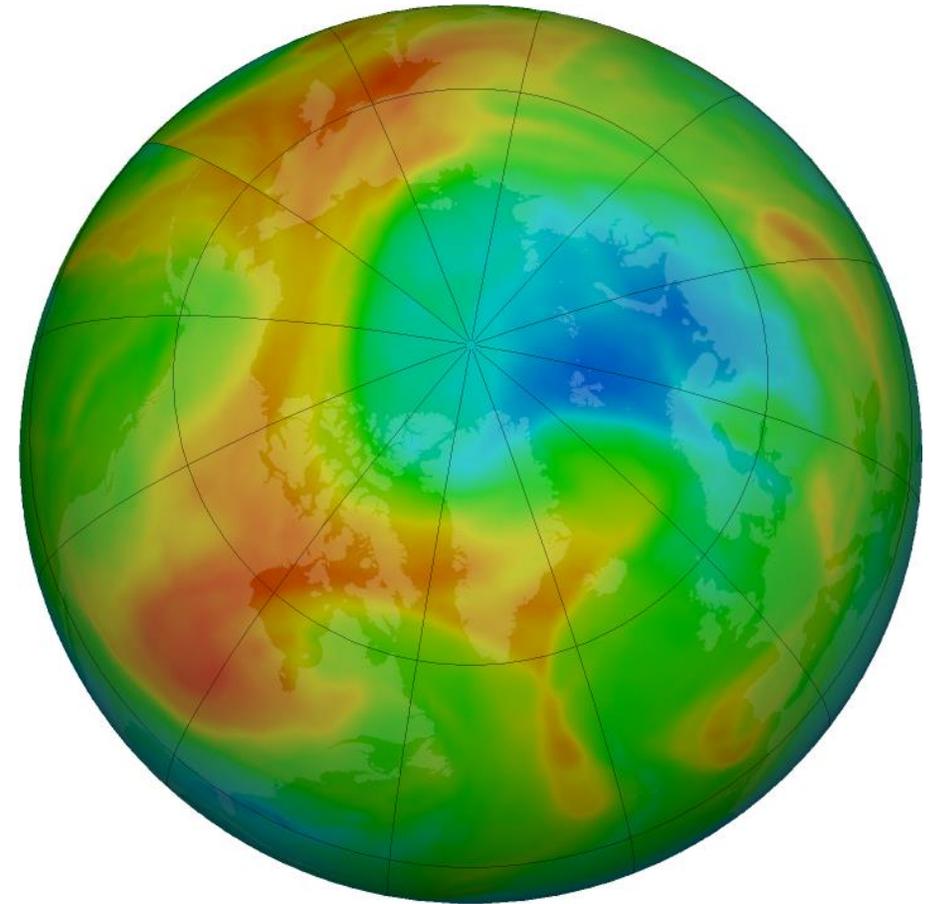
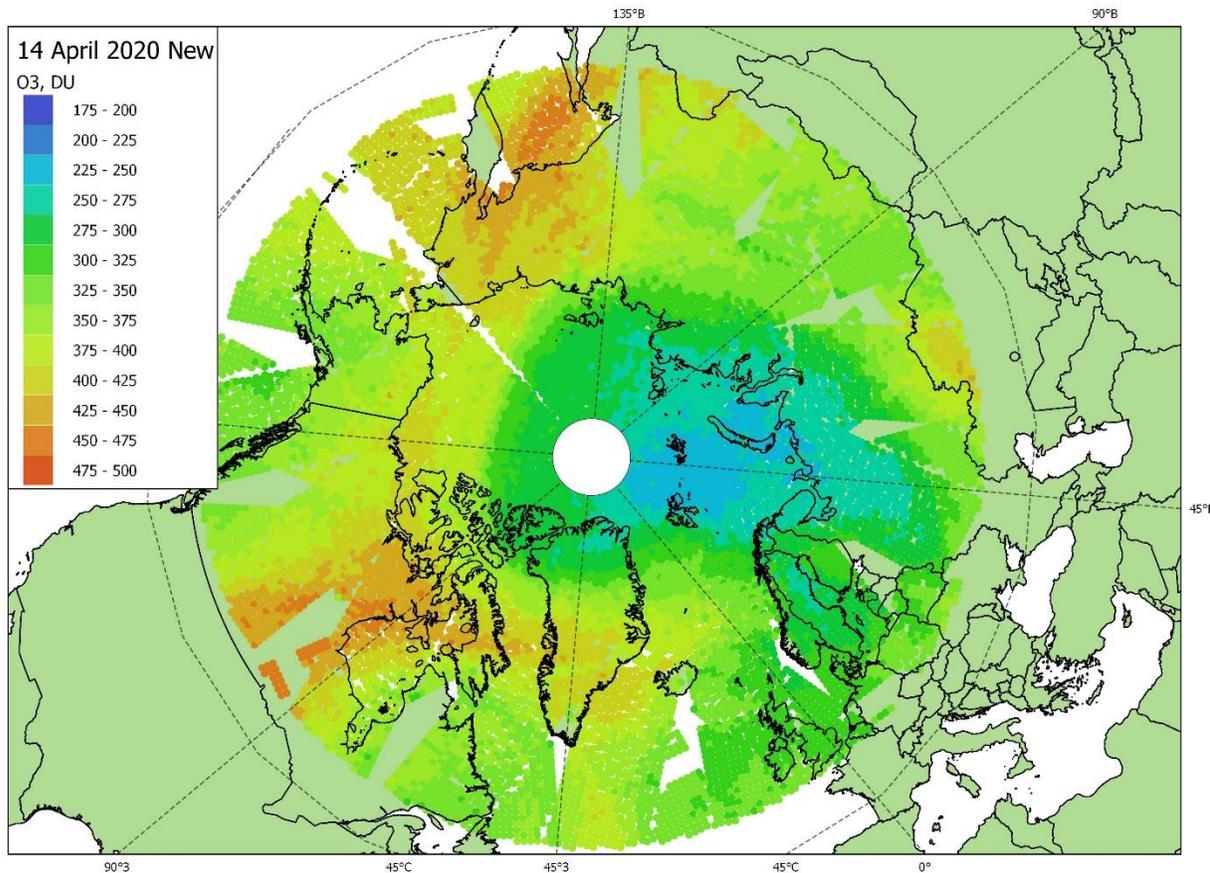


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

14.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

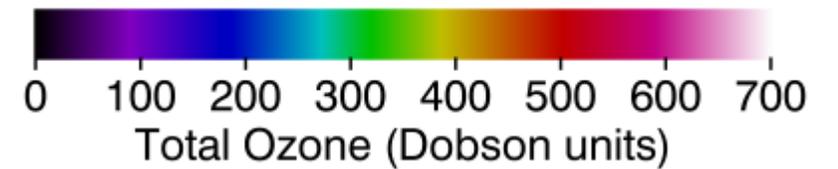
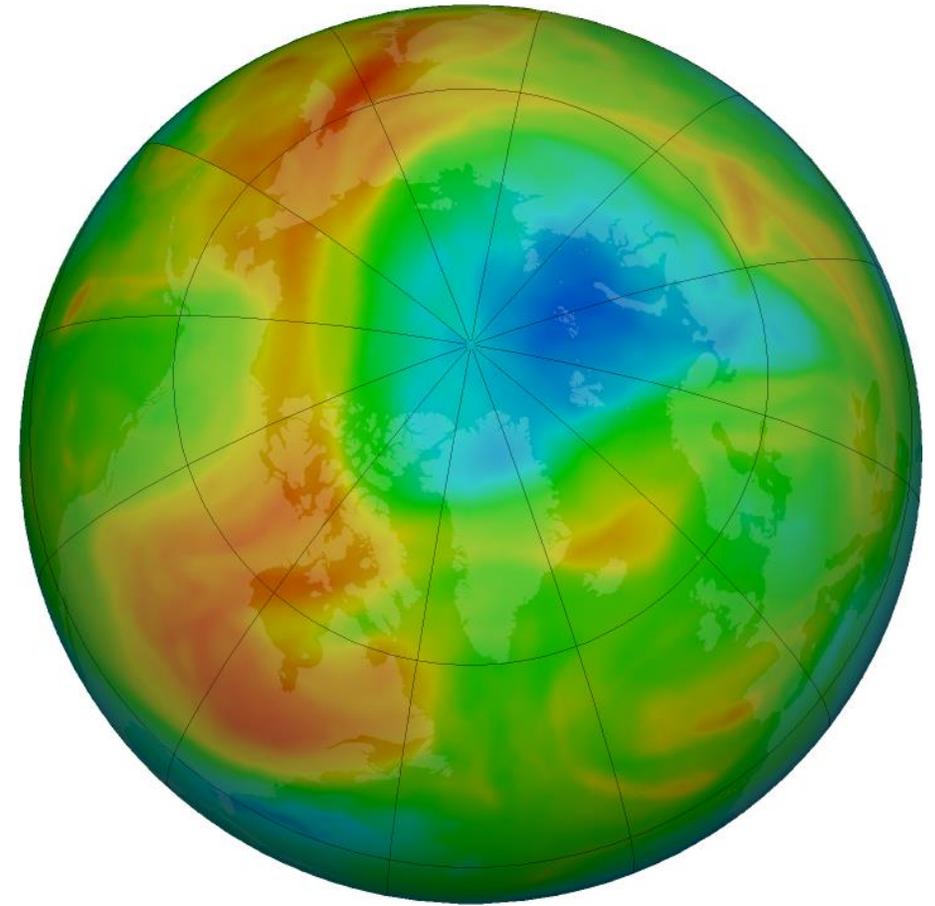
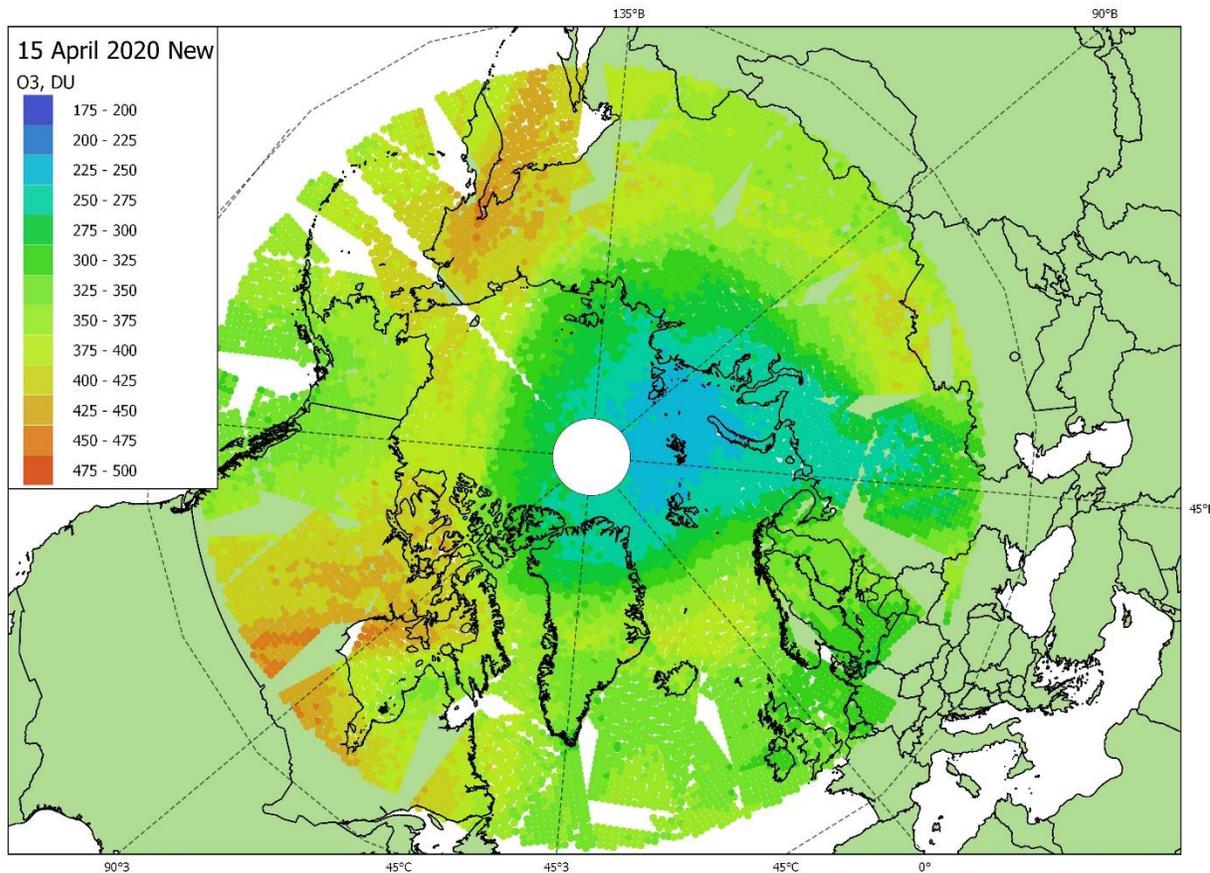


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

15.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

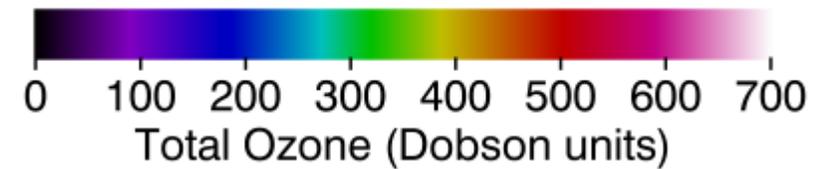
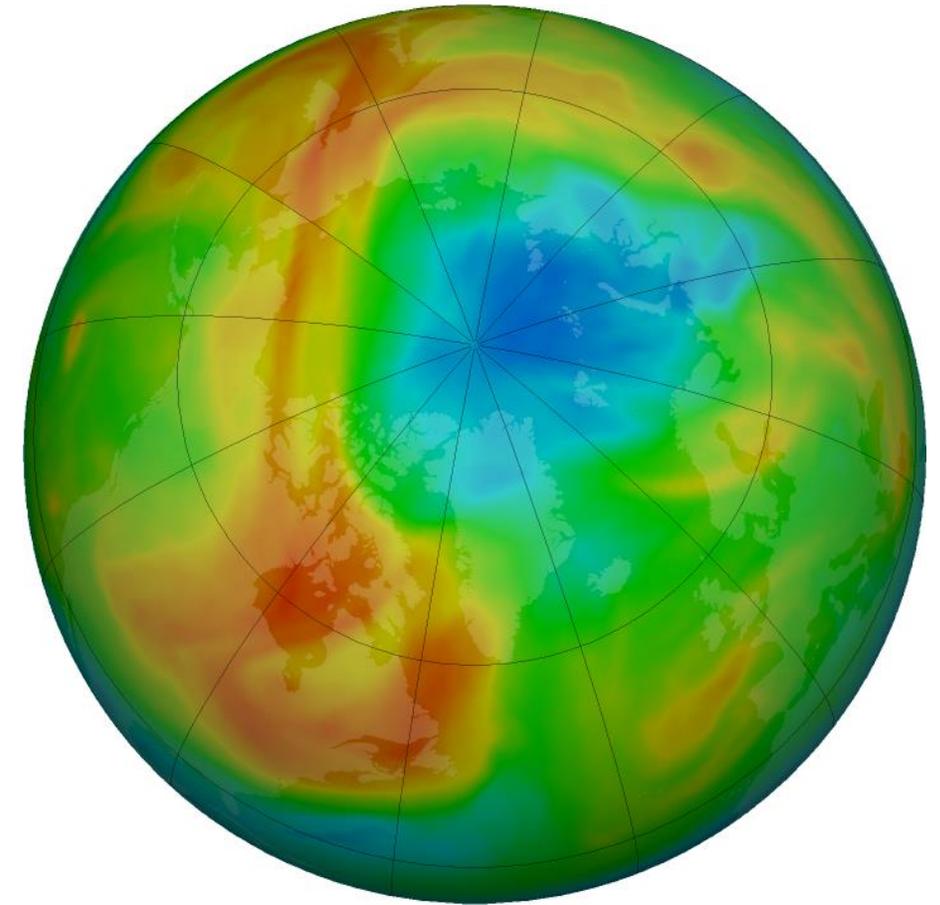
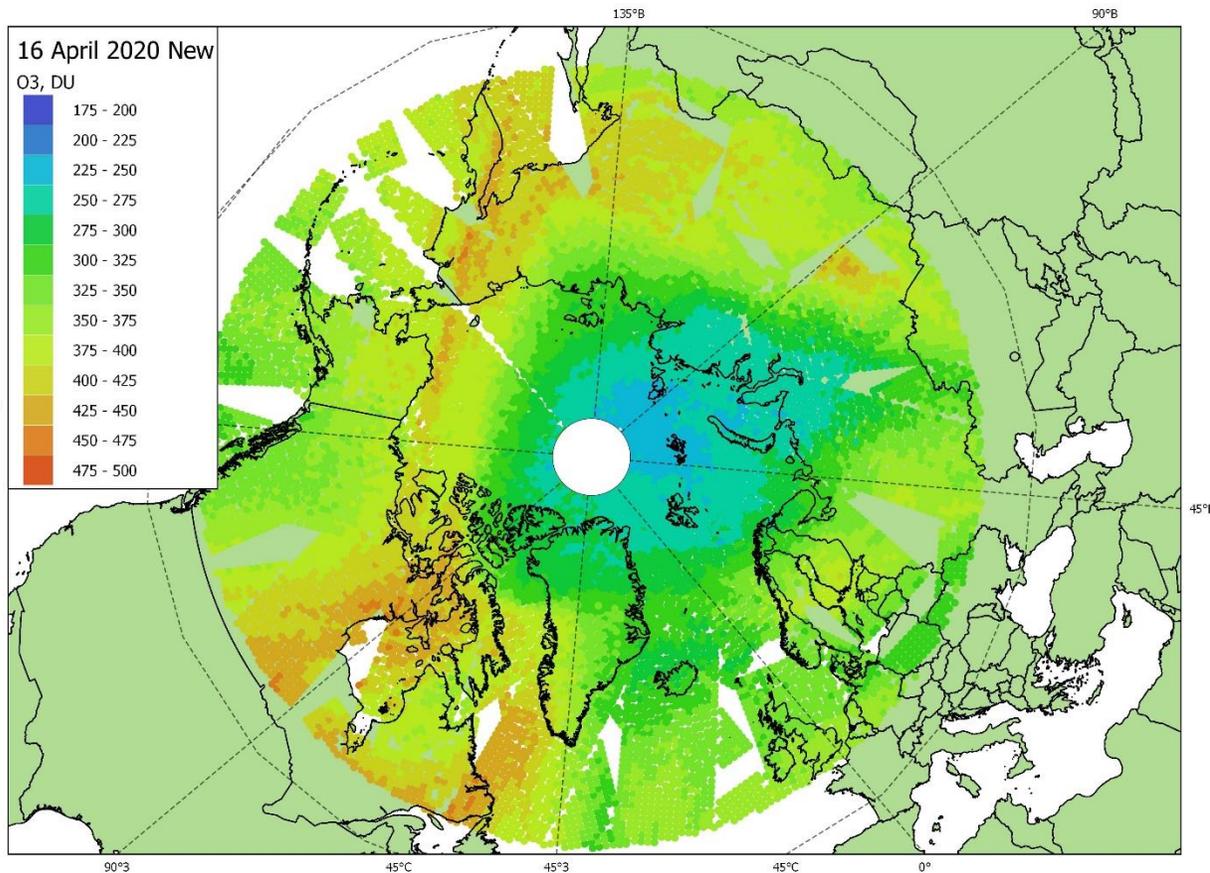


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

16.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

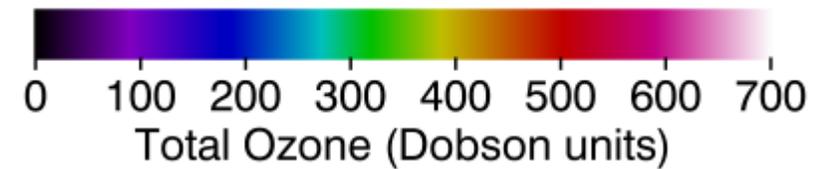
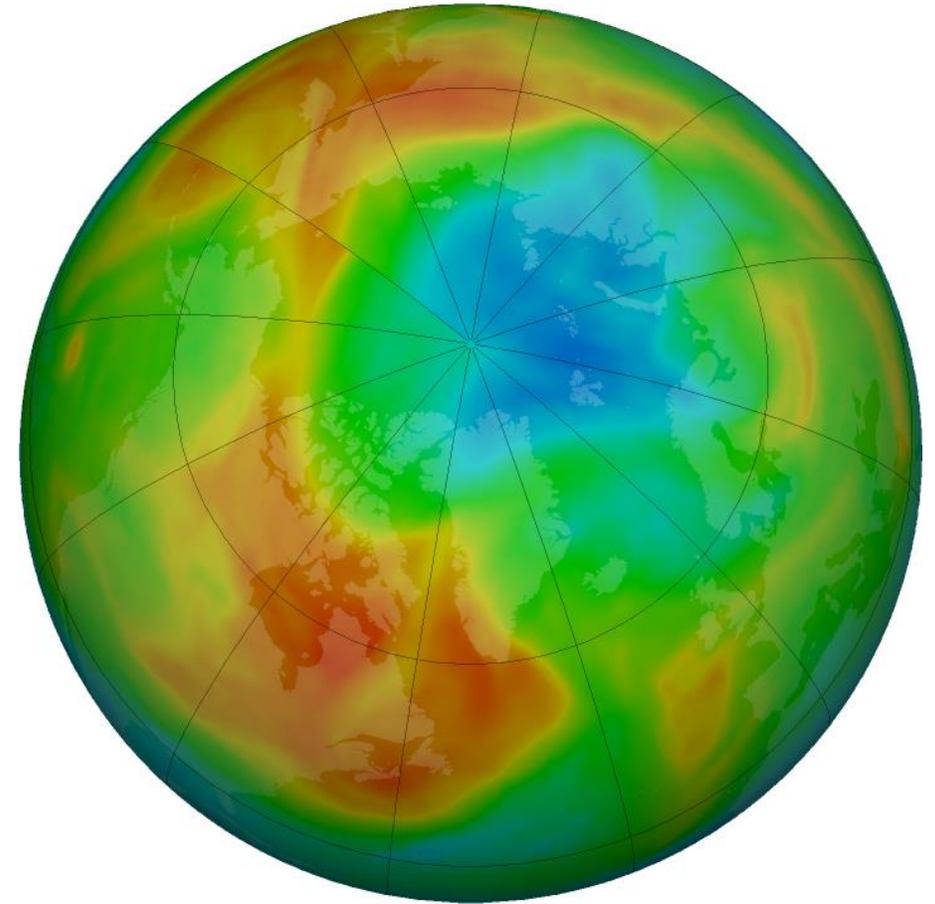
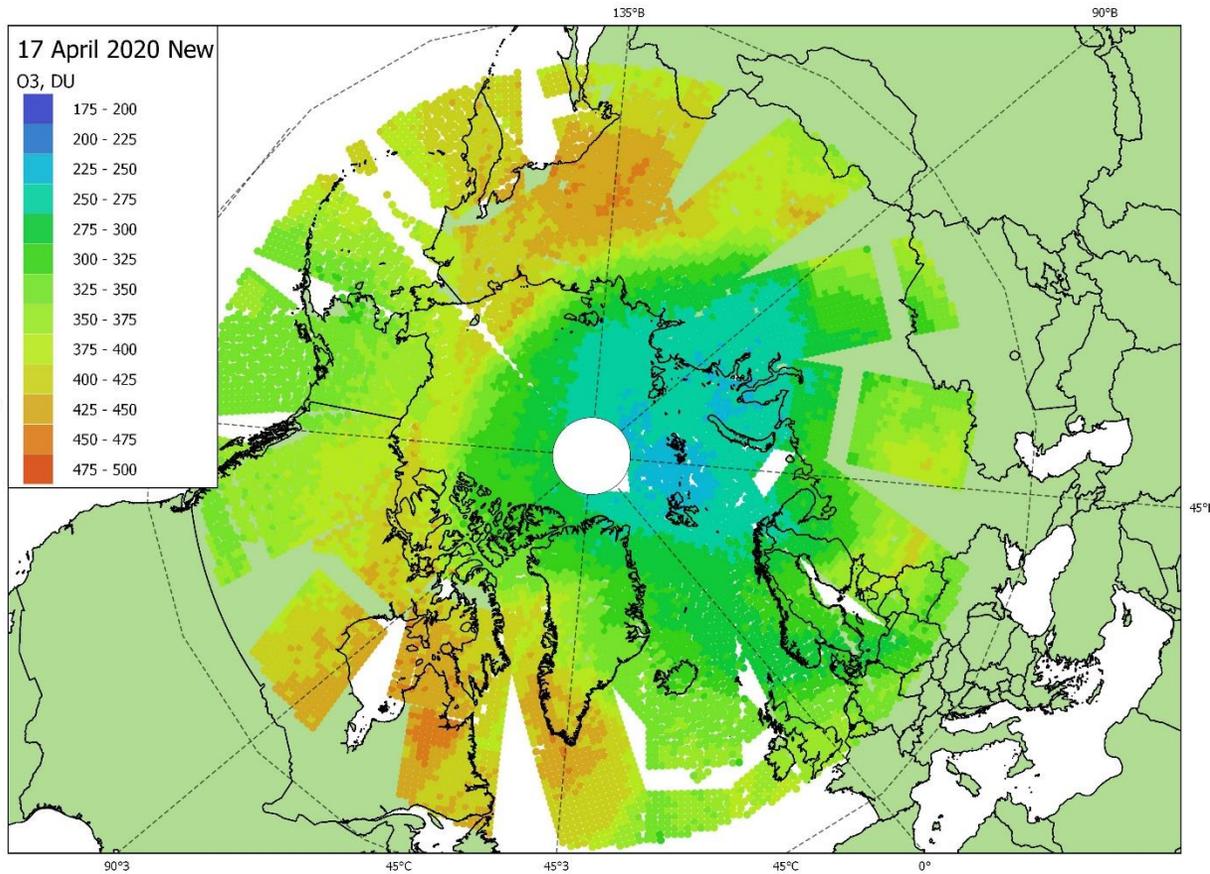


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

17.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

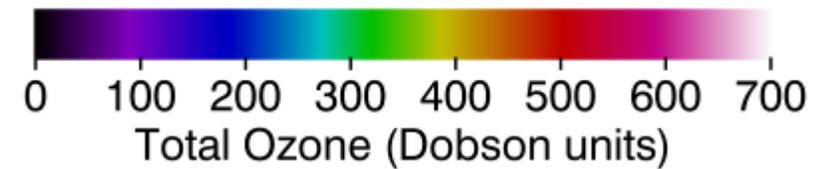
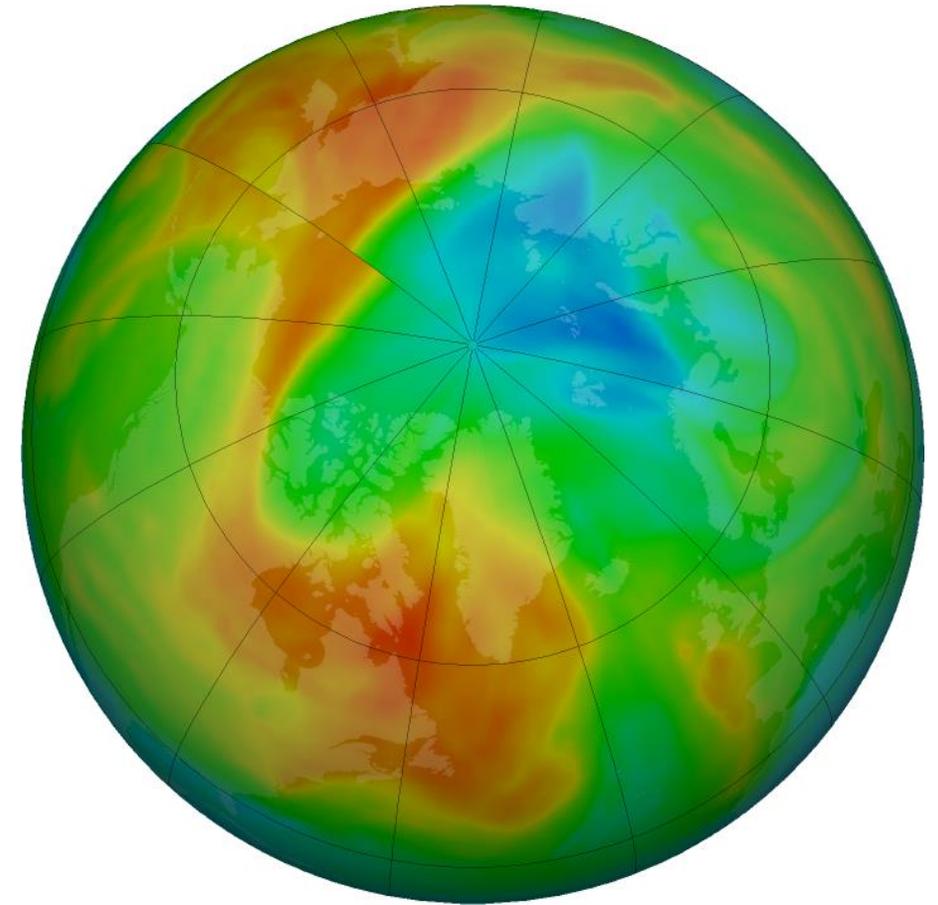
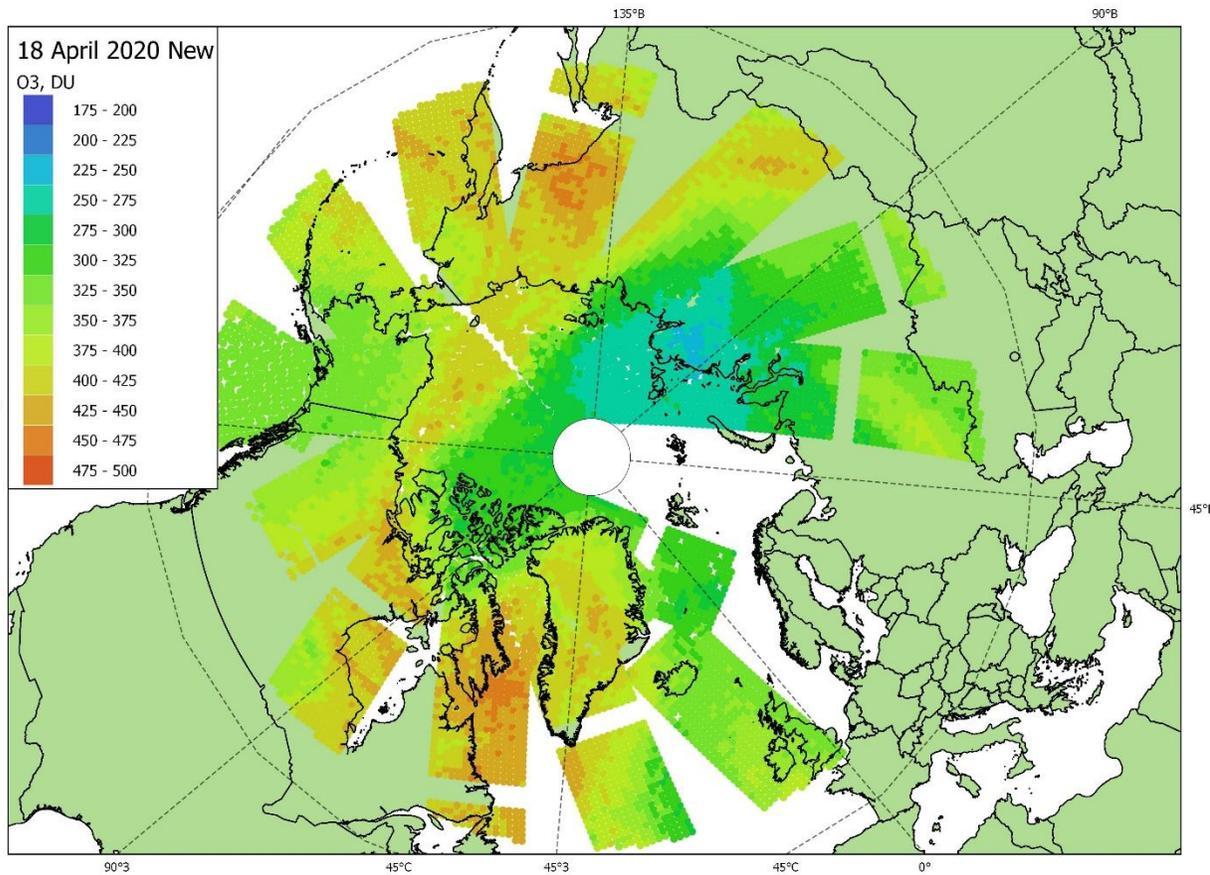
OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA



18.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

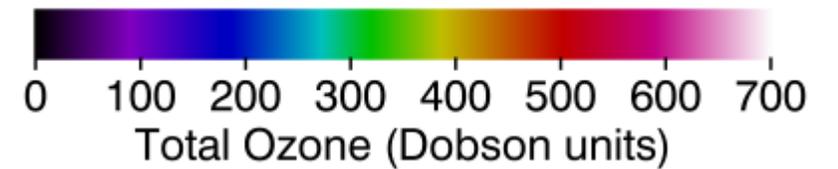
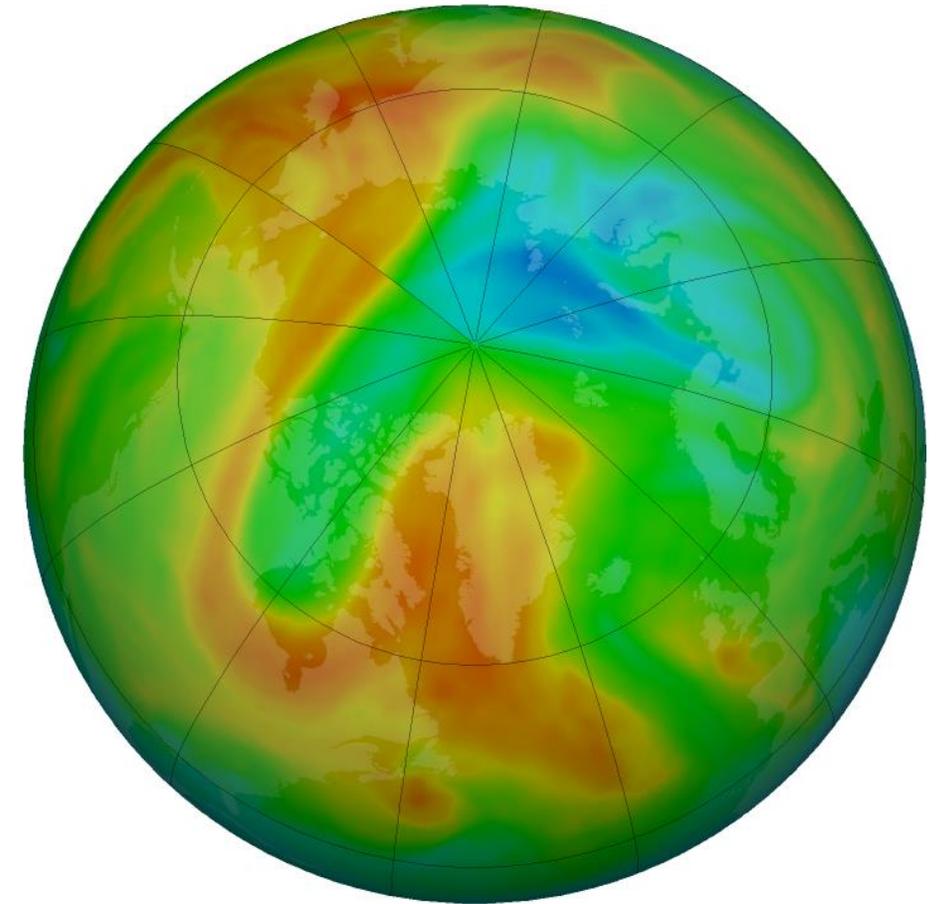
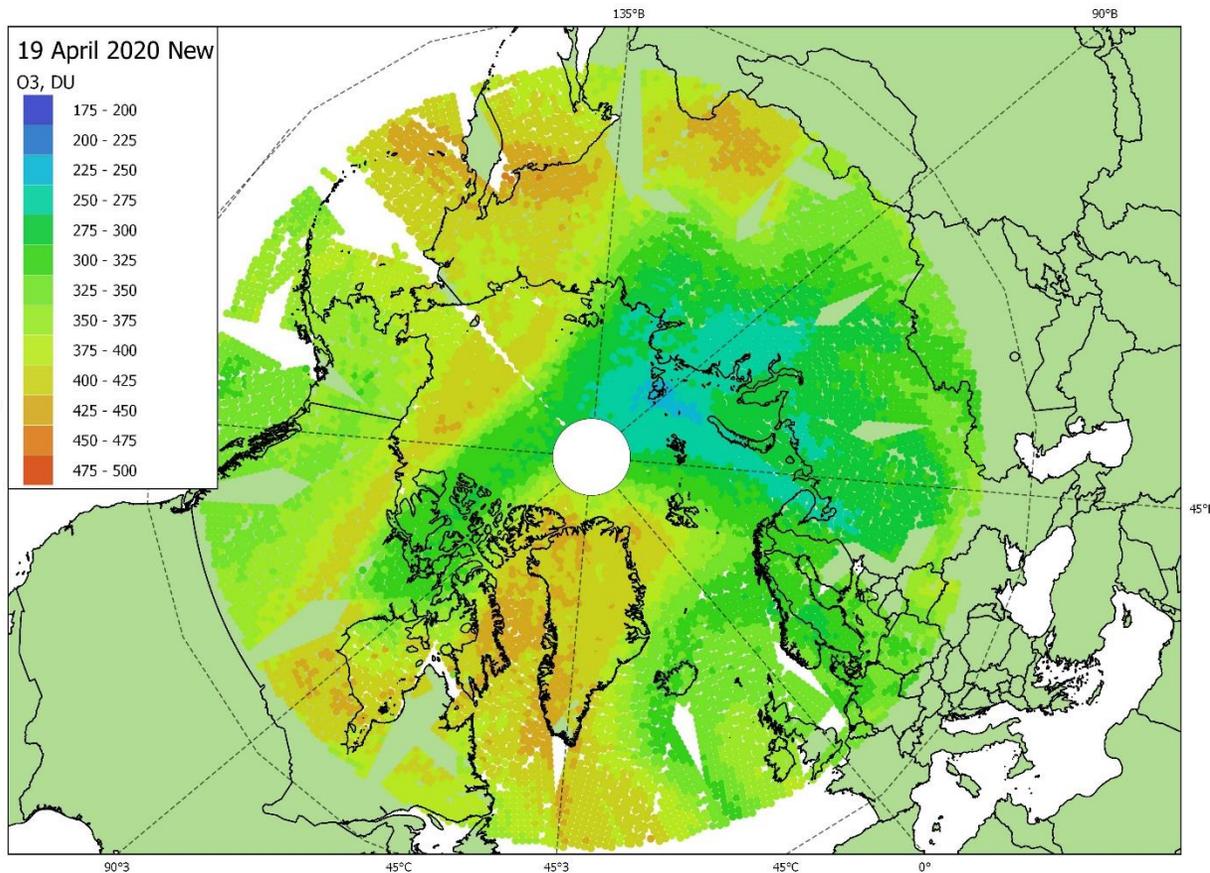


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

19.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA

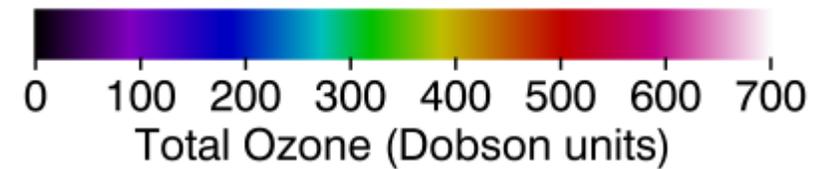
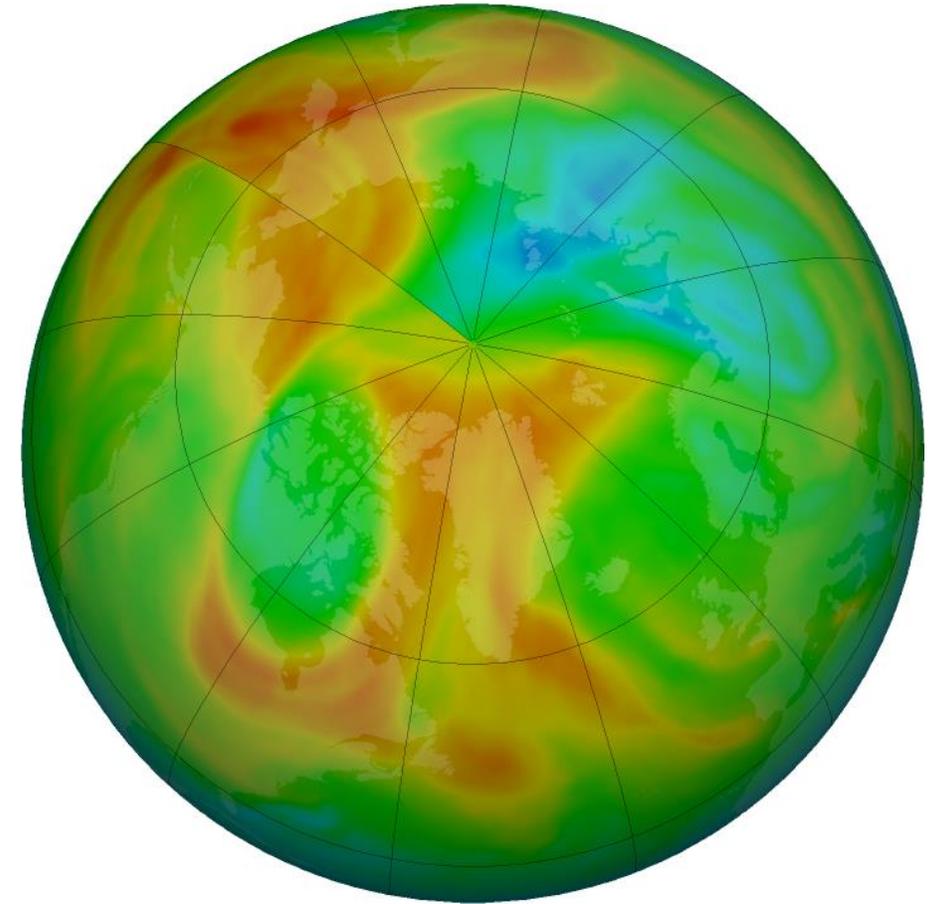
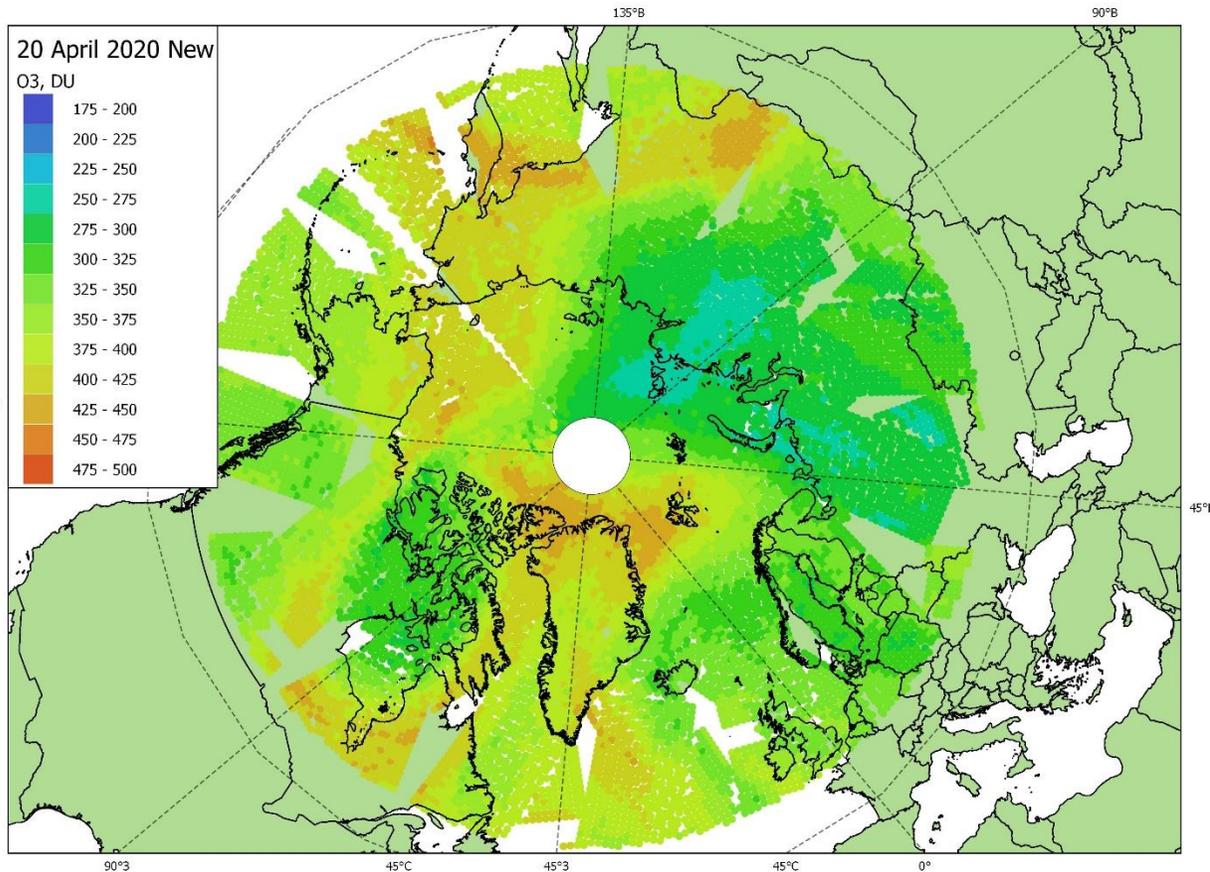


Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

20.04.2020

ИКФС-2 (IRFS-2)

OMPS+ GEOS FP assimilation, NASA



Источник: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>

Заключение

1. Показано, что методика определения ОСО из спектров ИКФС-2 на основе ИНС применима для измерений при адекватности учебника. Использование ИНС, обученных на данных 2014-2016 гг. при обработке данных 2019-2020 гг может привести к большим погрешностям в определении ОСО.
2. Выполнено обучение ИНС для периода 2019-2020 гг, погрешность обучения близка к 3%.
3. Систематическая погрешность методики относительно наземных оптических измерений может быть оценена величиной около 1.7 – 1.8%, при этом случайная составляющая погрешности составляет 2.5 – 3%.
4. Российский спутниковый фурье спектрометр ИКФС-2 позволяет обнаруживать и изучать аномалии содержания ОСО (озонные дыры), регулярно наблюдаемые в Арктике

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ [18-05-00426](#), [20-05-00627](#)

Спасибо за внимание !