

Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция  
«Современные проблемы дистанционного зондирования  
Земли из космоса»  
ИКИ РАН

# Оценки вариаций озона во время существования Антарктической озоновой дыры по данным сканеров TOMS и OMI

А.В. Дергунов<sup>1</sup>, В.Б. Кашкин<sup>2</sup>, Т.В. Рублева<sup>2</sup>, А.А. Романов<sup>2</sup>

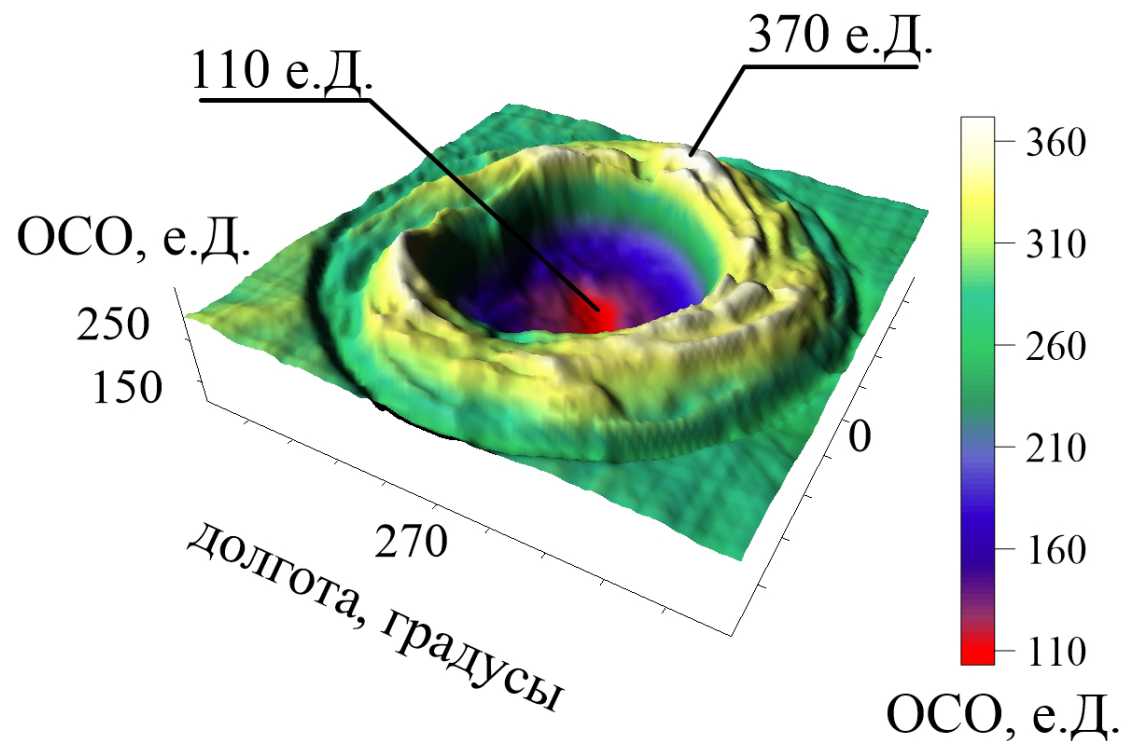
<sup>1</sup>*Федеральный исследовательский центр «Красноярский  
научный центр СО РАН», Красноярск*

<sup>2</sup>*Сибирский Федеральный Университет, Красноярск*

В 1985 г. было обнаружено, что в Южном полушарии над Антарктидой с сентября по ноябрь образуется озоновая аномалия - Антарктическая озоновая дыра (АОД), окруженная кольцом с повышенным общим содержанием озона. Площадь АОД за период с 1985 по 2018 гг. варьируется от 18 до 30 млн км<sup>2</sup>.

09.10.2015

Площадь АОД = 28.17 млн. км<sup>2</sup>



По определению ВМО озоновая дыра – это атмосферная область, в которой общее содержание озона (ОСО) меньше климатической нормы 220 е.Д. (1 е.Д. = 0.01 мм).

В настоящее время общепризнана химическая теория разрушения озона в полярной области Южного полушария хлорфторуглеродами (фреонами). Были подписаны Венская конвенция (1985 г.) и Монреальский протокол (1987 г.) о запрете производства озоноразрушающих веществ. При подписании Монреальского протокола было объявлено, что озоновая дыра исчезнет в 2010 г. Однако озоновая аномалия образуется ежегодно весной до настоящего времени.

Еще в 1986 г. сотрудники NASA Р.Столярски и М.Шеберл опубликовали работу [1], в которой показано, что:

- во время образования АОД происходит перенос озона из полярной области в умеренные широты Южного полушария;
- в конце сентября массы озона перемещаются обратно из умеренных широт в полярные, озоновый слой над Антарктидой восстанавливается.

*1. Stolarski R.S., Schoeberl M.R. Further interpretation of satellite measurements of Antarctic total ozone // Geophysical Research Letters 1986. V.13. № 12. P. 1210–1212.*

В данной работе изучалось перемещение озона весной 1985-2015 гг. из умеренных широт в полярную область Южного полушария по спутниковым данным TOMS (КА Nimbus-7, Earth Probe) и OMI (КА Aura). Интенсивность уходящего солнечного УФ излучения измерялась в диапазоне 300-380 нм с погрешностью 2-4%. Общее содержание озона определялось из закона Бугера-Ламберта-Бера.

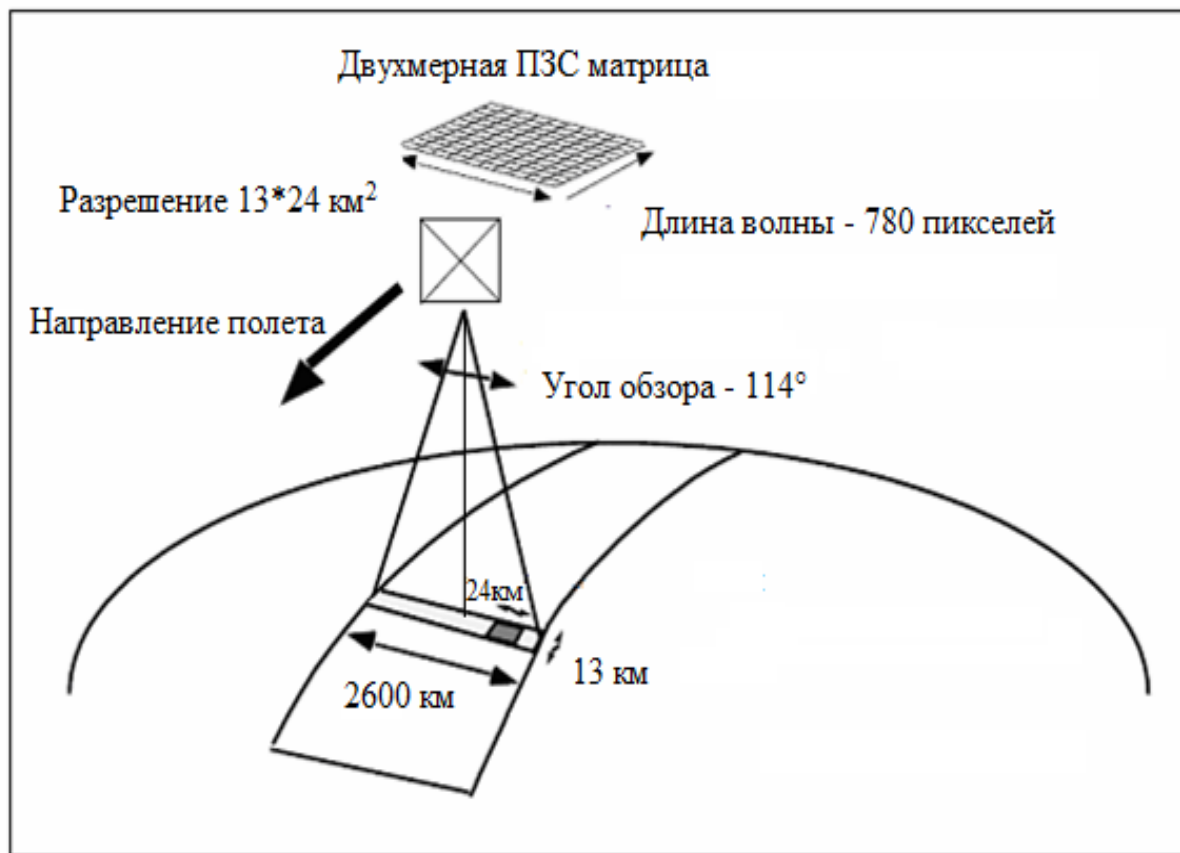
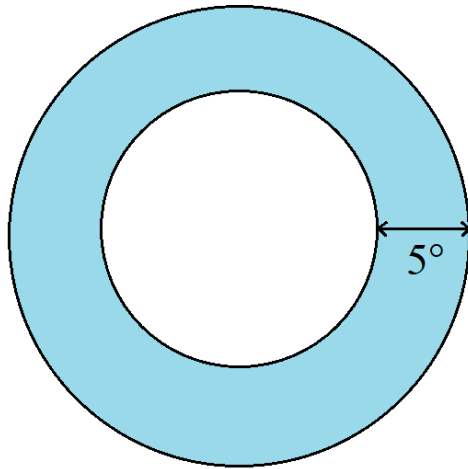


Схема измерения интенсивности уходящего солнечного УФ излучения спектрометром OMI/AURA

Зональные средние ОСО содержатся в базе данных NASA [<ftp://jwocky.gsfc.nasa.gov/pub/>].

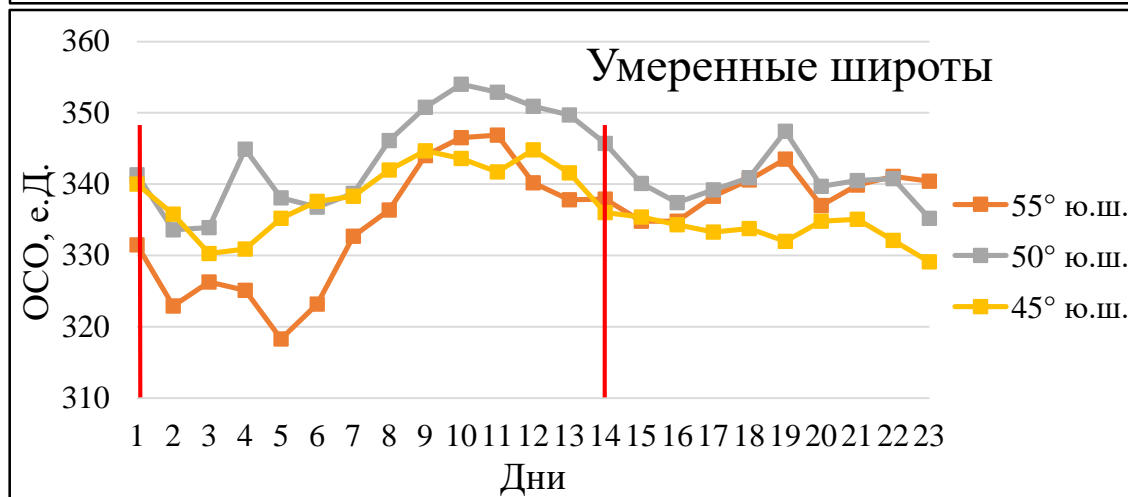
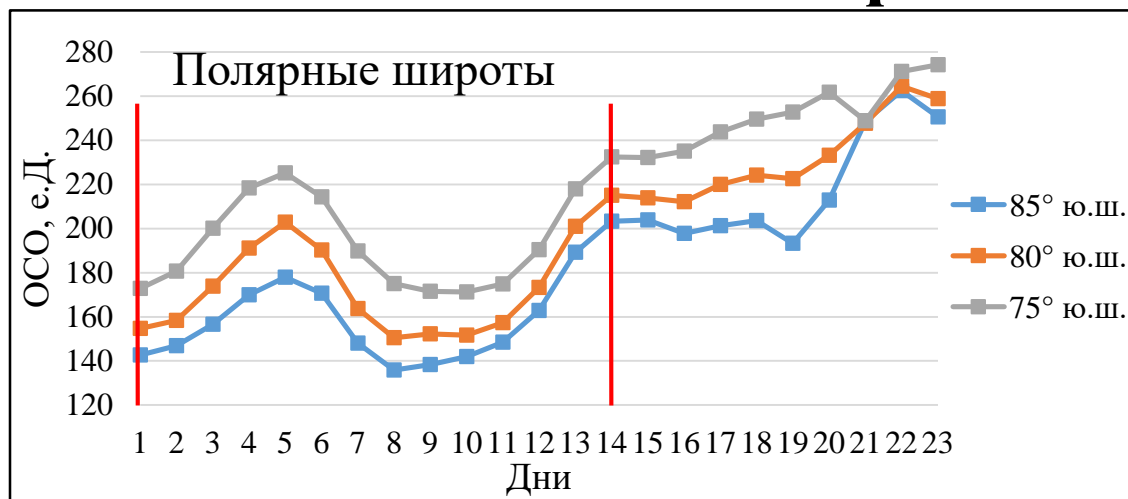


Схематичное изображение  
кольца широт

Зональные средние ОСО (зональные ОСО) – это ежедневные значения общего содержания озона в различных 5-ти градусных широтных кольцах, усредненные по долготе от 0 до 360 градусов.

ОСО – это общее содержание озона в слое вертикального столба атмосферы, выделенного при нормальных условиях ( $t = 0^{\circ}\text{C}$  и атмосферном давлении 1013 гПа).

# Временной интервал $\Delta T$ , определяющий начальный этап процесса «заполнения» АОД, и значения для него дефицита массы озона



| Дни интервала | $\Delta M$ , млн. т |
|---------------|---------------------|
| 1 октября     | 20,44               |
| 2 октября     | 18,48               |
| 3 октября     | 17,52               |
| 4 октября     | 18,45               |
| 5 октября     | 19,62               |
| 6 октября     | 21,66               |
| 7 октября     | 22,07               |
| 8 октября     | 21,07               |
| 9 октября     | 19,84               |
| 10 октября    | 18,84               |
| 11 октября    | 17,73               |
| 12 октября    | 15,39               |
| 13 октября    | 13,09               |
| 14 октября    | 11,80               |

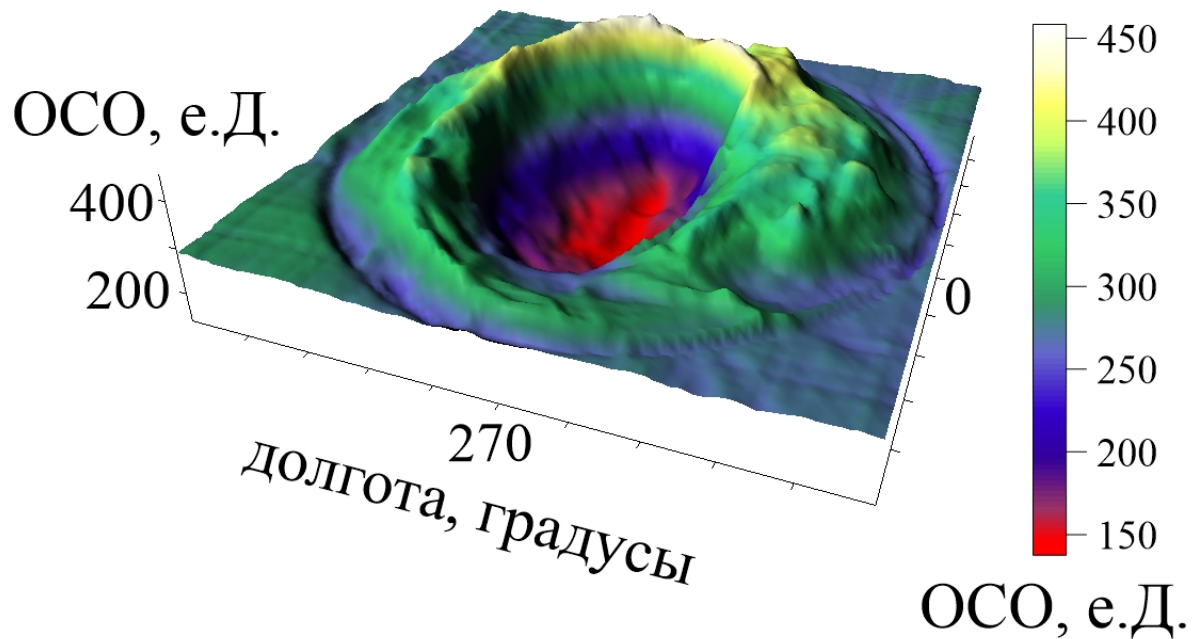
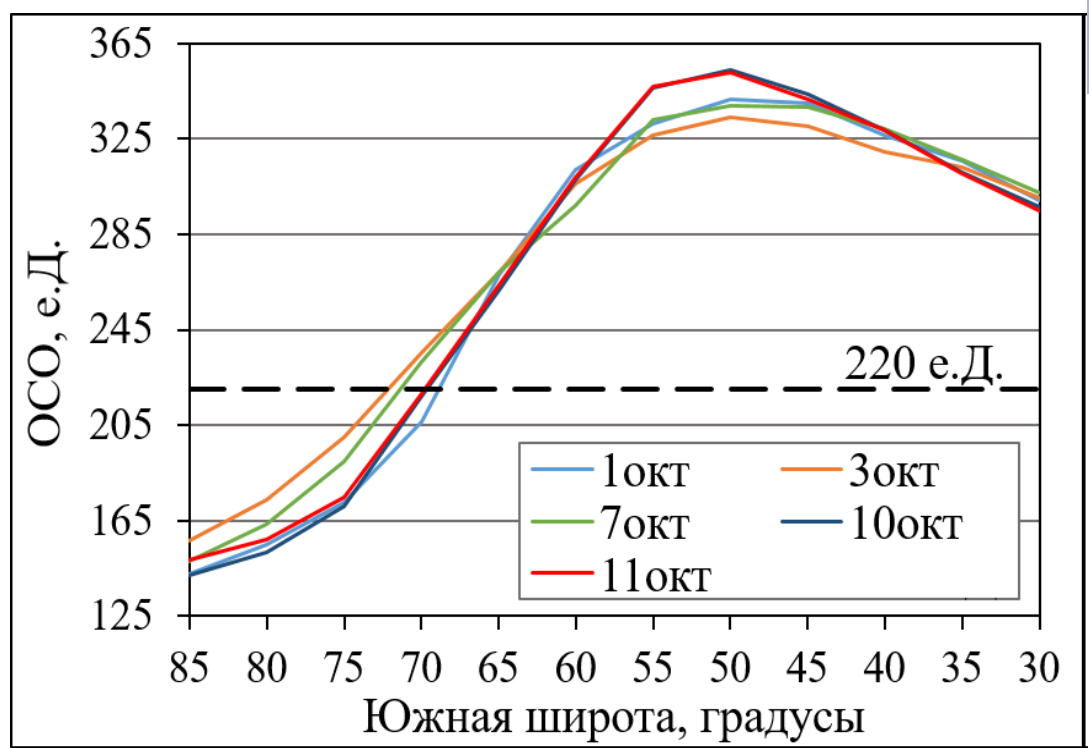
Красными линиями обозначены границы временного интервала  $\Delta T$ .

Для 2013 г.  $\Delta T = 14$  дней.

Значения дефицита массы озона  $\Delta M$  по данным NASA

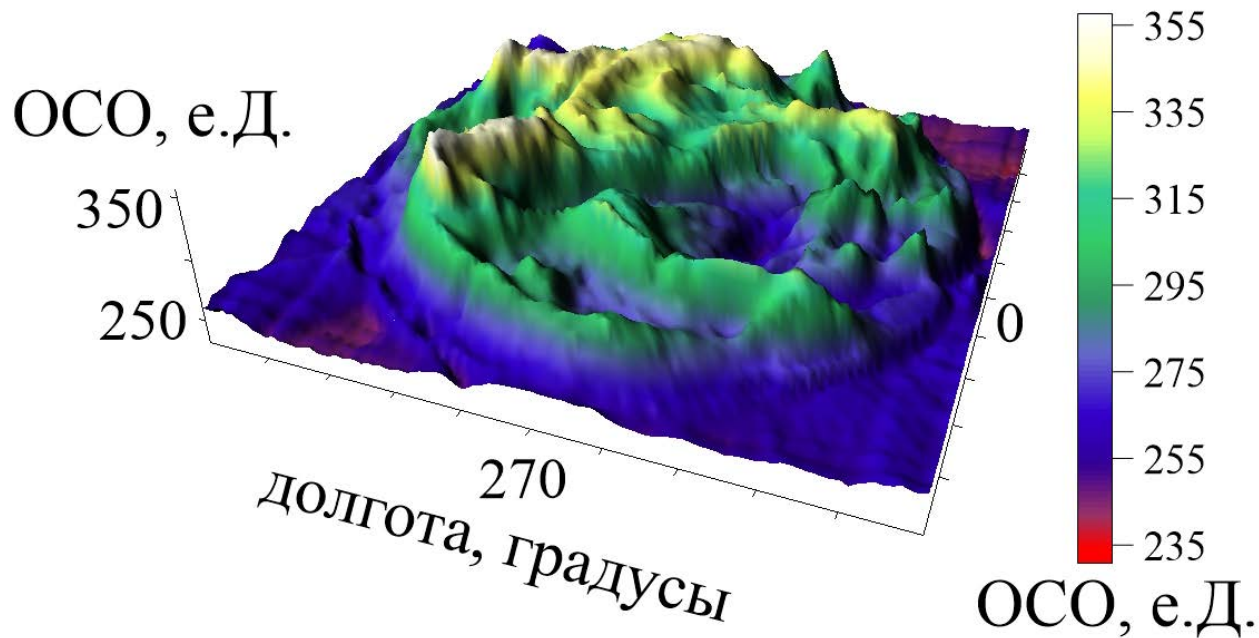
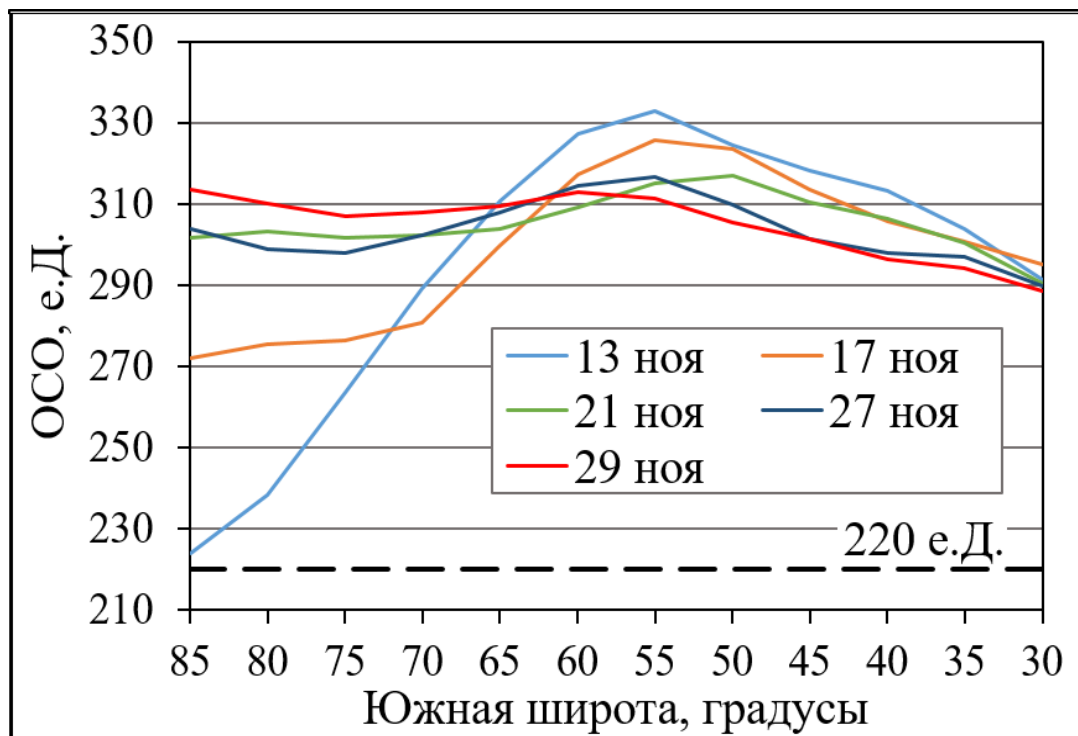
[<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>]

# Вариации зональных ОСО во время существования АОД в октябре 2013 г.



**11.10.2013**  
**Площадь АОД =**  
**18.23 млн. км<sup>2</sup>**

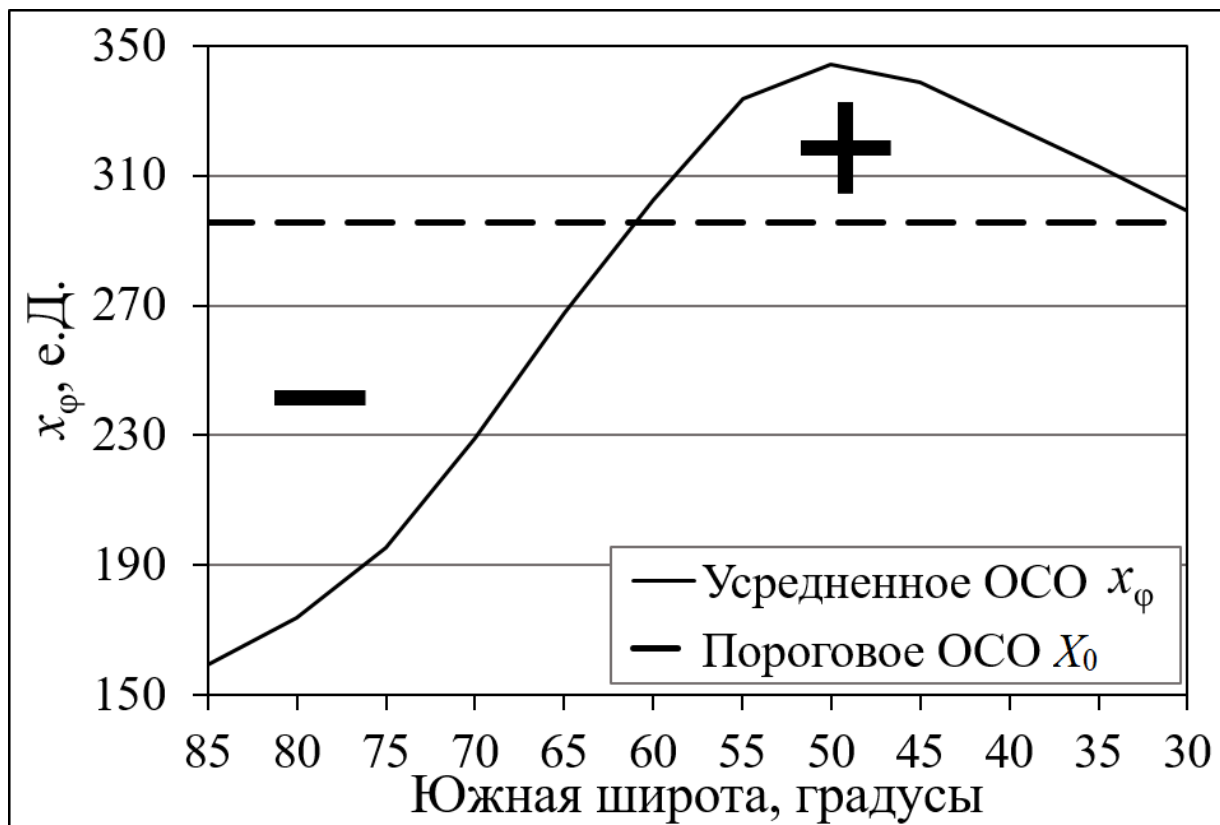
**Вариации  
зональных ОСО  
во время активных  
атмосферных  
процессов  
«заполнения»  
АОД в ноябре 2013 г.**



**29.11.2013**

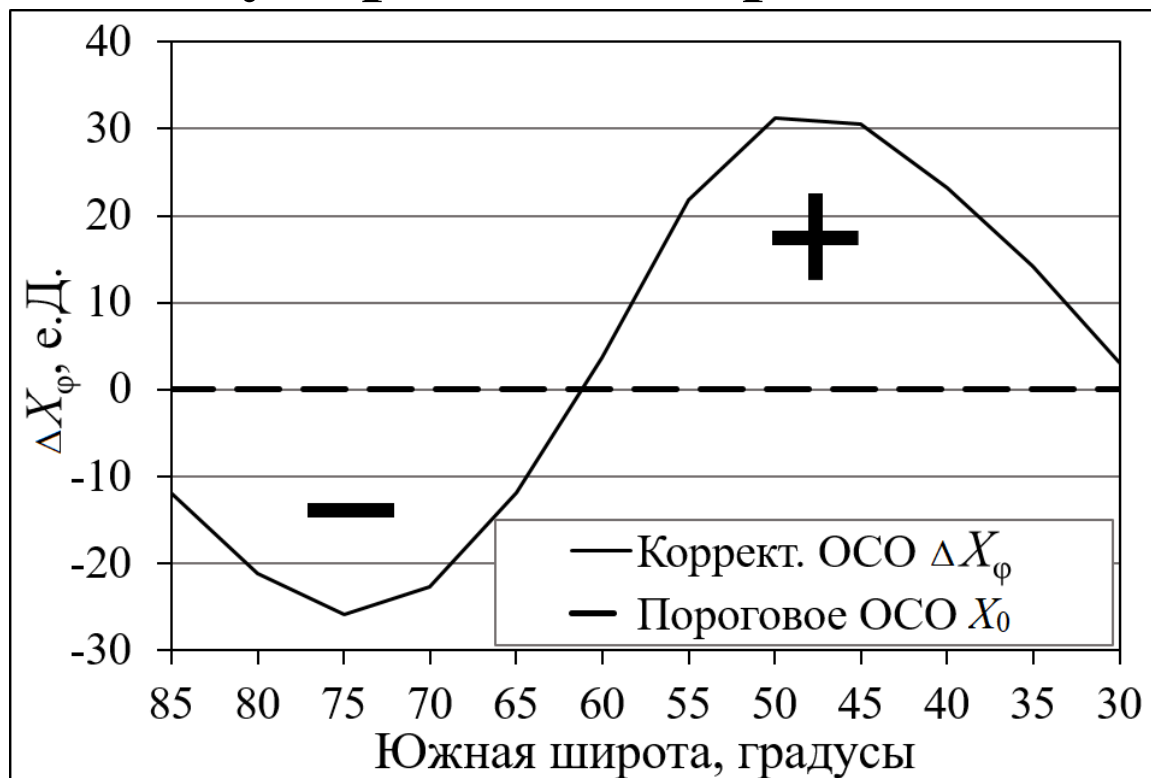


# Сравнение значений $x_{\varphi}$ и $X_0$ за интервал $\Delta T$ для полярных и умеренных широт



Пороговое значение  $X_0$  — это среднегодовое значение в области широт  $32.5^{\circ}$ – $52.5^{\circ}$  ю.ш. Для 2013 г.  $X_0 = 295.5$  е.Д. Превышение  $x_{\varphi}$  над  $X_0$  соответствует избытку озона  $E$  (excess) (область с «+»), а значение  $x_{\varphi}$  ниже  $X_0$  — дефицит озона  $D$  (deficit) (область с «-»).

# Сравнение скорректированных значений $\Delta X_\varphi$ и пороговой величины $X_0$ для полярных и умеренных широт



$$\Delta X_\varphi = x_\varphi \cos \varphi - X_0,$$

где  $X_0$  — пороговое значение,  $x_\varphi$  — усредненное значение ОСО,  $\varphi$  — начальное значение широты кольца.

Сумма значений  $\Delta X_\varphi$  для области со знаком «-»  $D = 89,7$  е.Д., а для области со знаком «+»  $E = 98,1$  е.Д.

# Оценки изменения ОСО при переносе озона из умеренных широт в полярную область Южного полушария

| Год  | X <sub>0</sub> , е.Д. | D, е.Д. | E, е.Д. | Q, %  |
|------|-----------------------|---------|---------|-------|
| 1987 | 305.7                 | 151.8   | 153.6   | -1.2  |
| 1989 | 312.9                 | 149.1   | 152.4   | -2.2  |
| 1990 | 304.4                 | 138.1   | 135.4   | 2.0   |
| 1991 | 311.2                 | 130.5   | 203.5   | -43.7 |
| 1999 | 299.2                 | 161.5   | 151.6   | 6.3   |
| 2005 | 302.3                 | 128.5   | 130.4   | -1.4  |
| 2010 | 295.7                 | 121.7   | 115.9   | 4.9   |
| 2013 | 295.5                 | 89.7    | 98.1    | -8.9  |
| 2014 | 302.8                 | 123.6   | 129.8   | -4.9  |
| 2015 | 296.5                 | 198.3   | 94.5    | 70.9  |

$$Q = \frac{D - E}{(D + E)/2} * 100\% ,$$

$Q$  – оценка ОСО, полученная на основе данных дефицита озона  $D$  в полярных широтах и его избытка  $E$  в умеренных широтах.

## Заключение

Полученные результаты подтверждают гипотезу о естественном геофизическом образовании – Антарктической озоновой дыры.

Обнаружено, что дефицит озона в полярной области и его избыток в умеренных широтах Южного полушария практически совпадают в 1987, 1989, 1990, 1999, 2005, 2010, 2013, 2014 годах. Оценки разности дефицита и избытка в большинстве случаев имеют тот же порядок, что и погрешность измерений.

Наибольшие отличия в оценках дефицита и избытка ОСО зафиксированы в 1991 и 2015 годах. По-видимому, в эти годы на процессы переноса озона из умеренных широт в полярную область повлияла активность вулканов Пинатубо ( $15.12^\circ$  с.ш.,  $120.35^\circ$  в.д.) и Кальбуко ( $41.33^\circ$  ю.ш.,  $72.61^\circ$  з.д.).

**Спасибо за внимание!**