

ИЗМЕНЕНИЯ КВАЗИГЛОБАЛЬНОГО ОЗОНА В ПЕРИОД 1979–2015 гг.

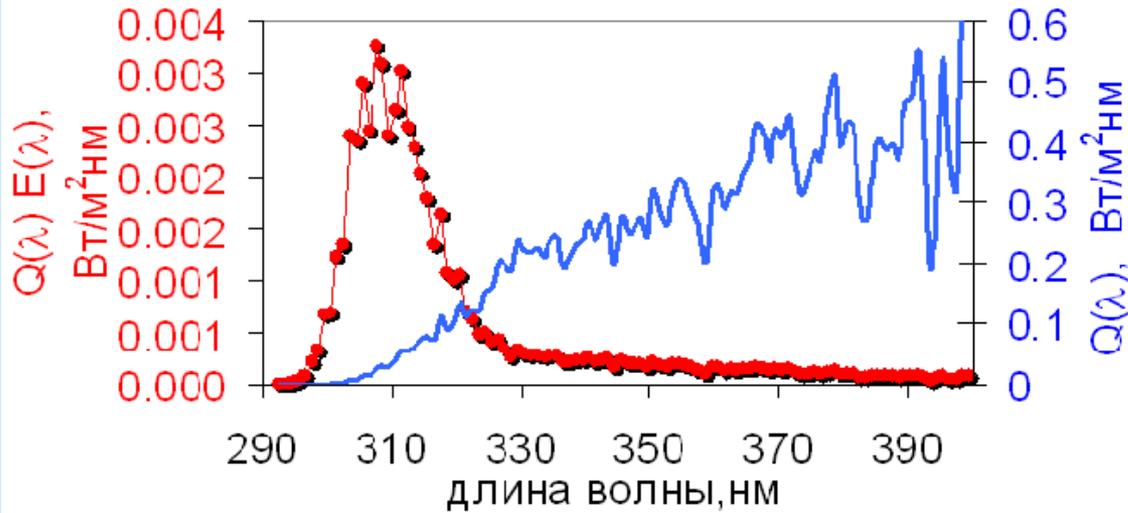
**М.П. Никифорова¹ (nikiforovamp@yandex.ru),
А.М. Звягинцев², П.Н. Варгин²**

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

²Центральная аэрологическая обсерватория

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ
(проект 16-35-50114 мол_нр)

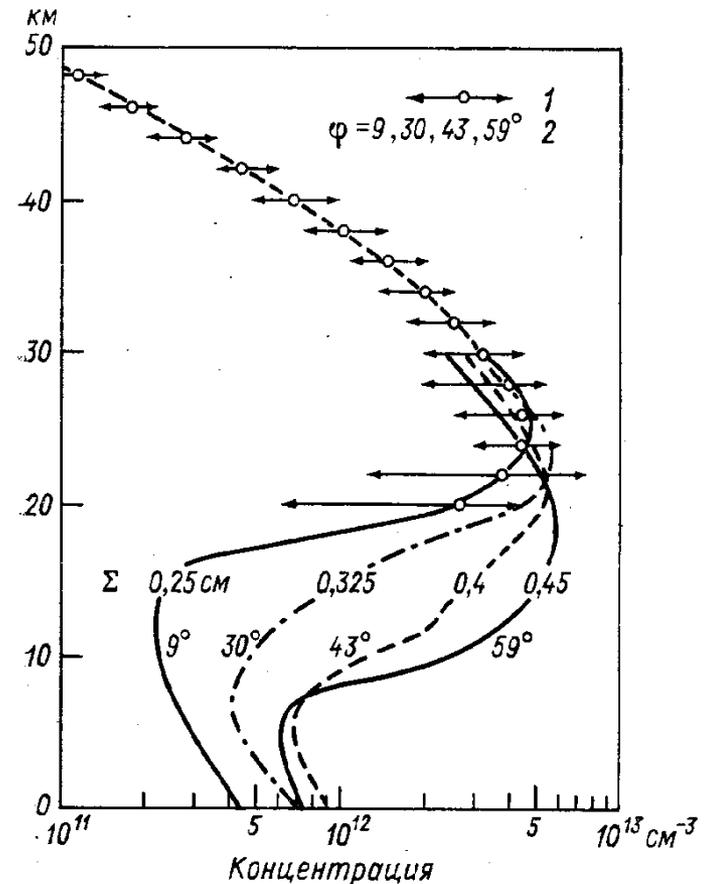
• Озон – единственный газ в атмосфере, заметно поглощающий солнечное излучение с $\lambda < 315$ нм и задерживающий УФ-В.



• Озон рождается в верхней стратосфере (30-50 км), основная масса озонового слоя расположена в области 15-30 км.

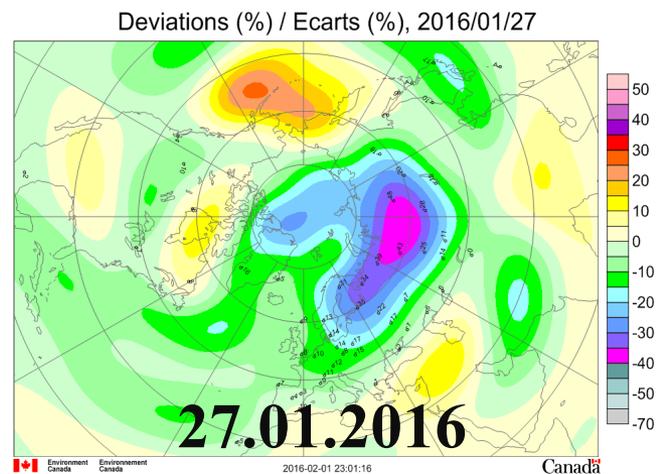
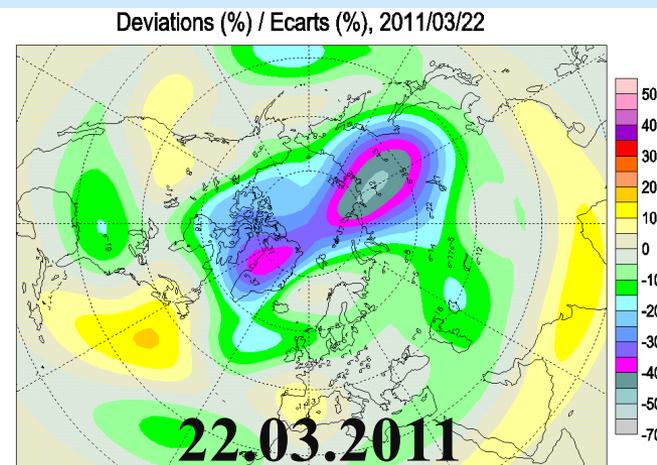
• Наземные наблюдения с 1920-х, массово – с 1956 г., спутниковые – с 1970-х.

• Основная характеристика ОС – общее содержание озона (ОСО) в единицах Добсона (ед.Д.), пропорциональна общему количеству молекул озона над единицей площади земной поверхности.



Результаты изучения квазиглобального ОСО

- 1970-80 гг. – признаки отрицательного тренда ОСО практически по всему миру [Vojkov et al., 1990]
- 1987 г. – Монреальский протокол
- Восстановление озонового слоя к уровням 1970-х гг. не ранее 2 половины 21 в. [WMO Ozone Report, 2014]
- Уровни квазиглобального ОСО за 2008-2013 гг. на 2 % ниже климатической нормы [WMO, 2014]
- По данным SBUV за 1979-2013 гг. выявлен положительный тренд квазиглобального ОСО [Frith et al., 2014]
- В 21 в. выявлено увеличение числа отрицательных существенных озоновых аномалий [Langematz et al., 2014]. Во внетропических широтах Северного полушария в зимне-весенний период наиболее интенсивные в 1995, 1996, 1997, 2000, 2005, 2011, 2016

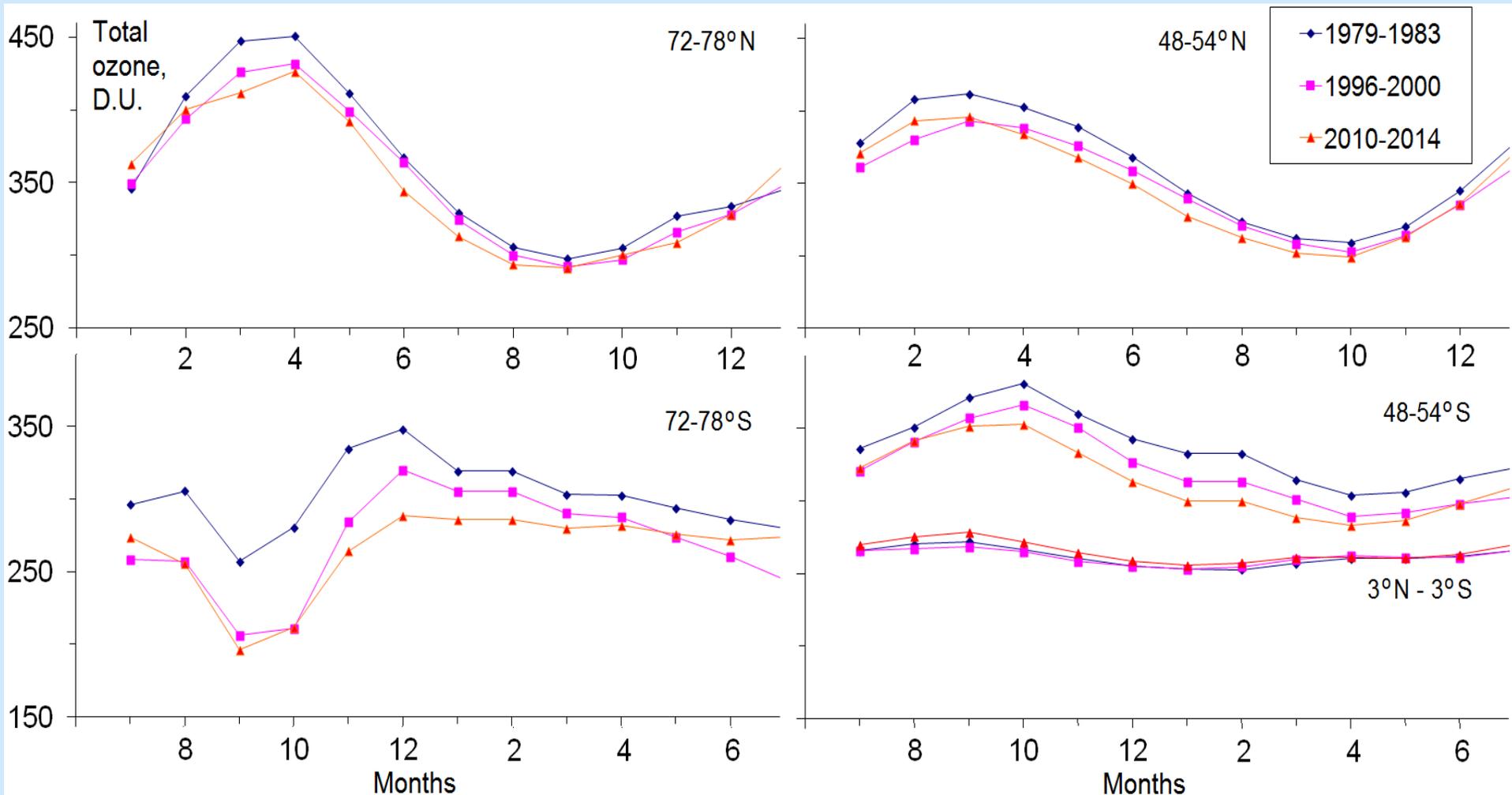


Фактический материал исследования по ОСО:

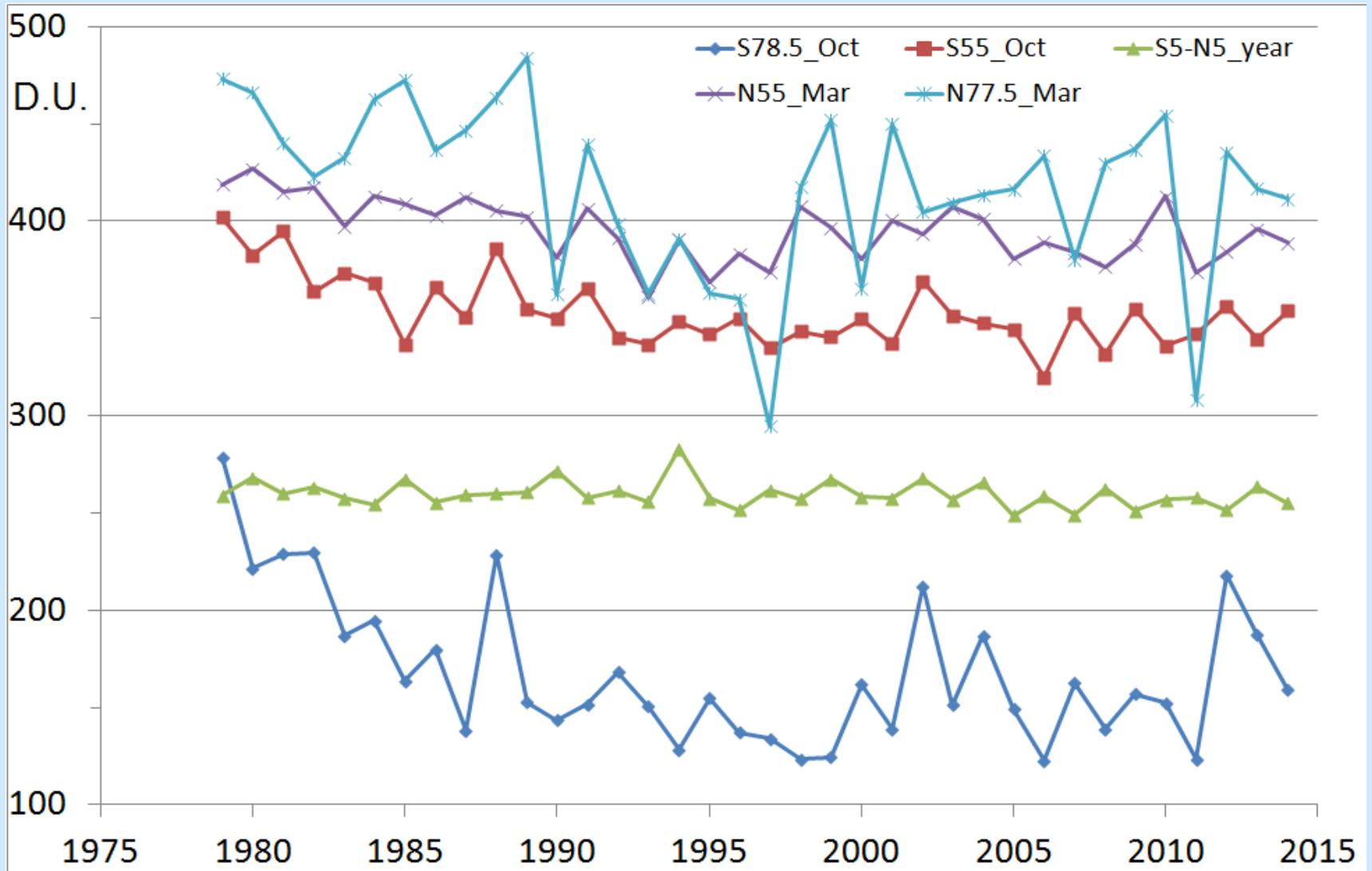
Базы данных спутниковых наблюдений аппаратурой TOMS, OMI (NASA, США) и SBUV (NOAA, США) – с 1979 г., аппаратурой GOME (ЕС) – с 1995 г., база данных реанализа ECMWF (Англия) – с 1979 г.

$$OCO_{\text{глоб}} = \frac{\sum_7^{26} (OCO_i \cdot B_i)}{\sum_7^{26} B_i} \quad (1) \text{ - квазиглобальное значение ОСО}$$

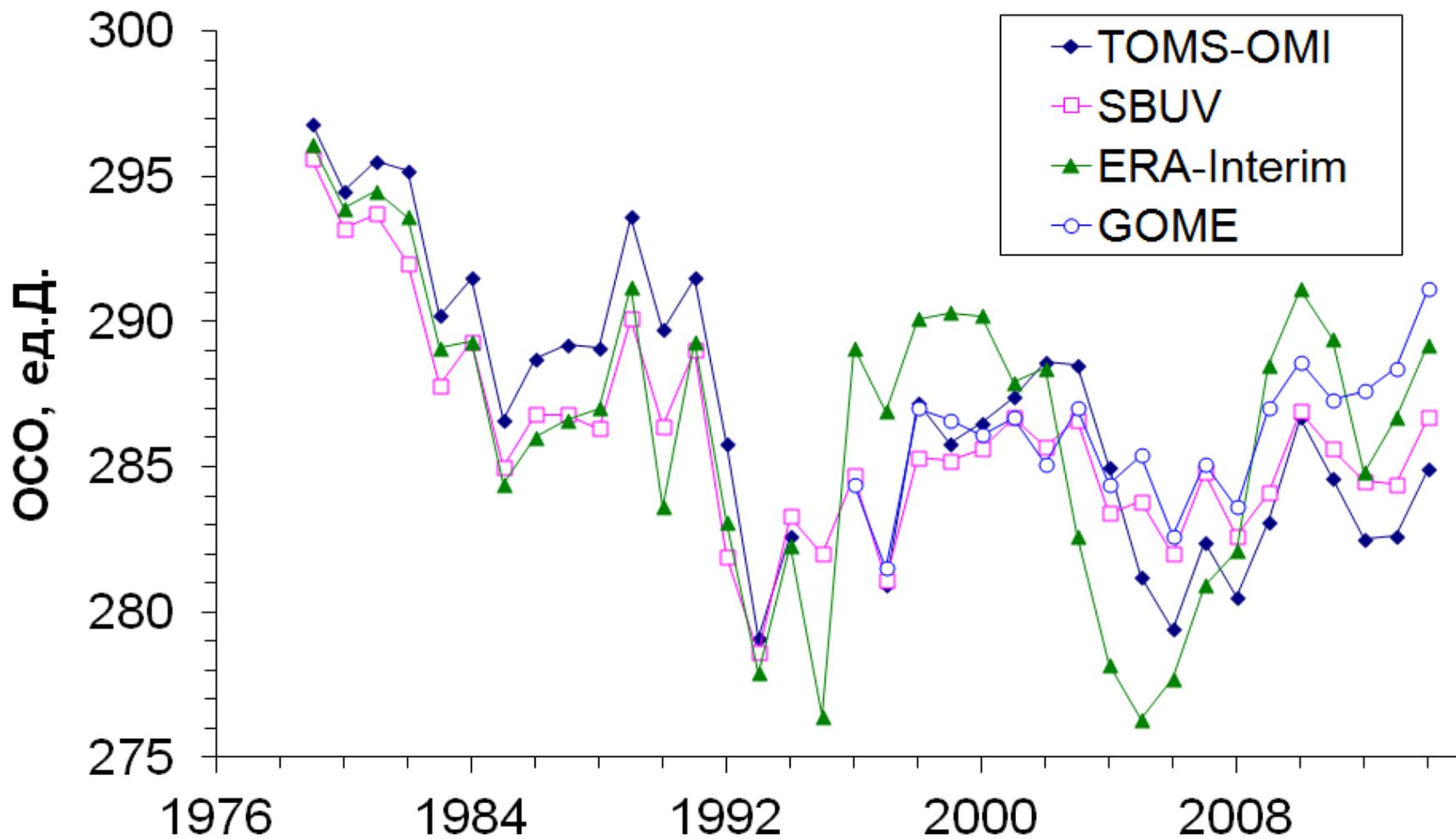
$$B_i = -\cos(i \cdot \pi / 30) + \cos((i - 1) \cdot \pi / 30) \quad (2), i \text{ - нумерация широтных поясов}$$



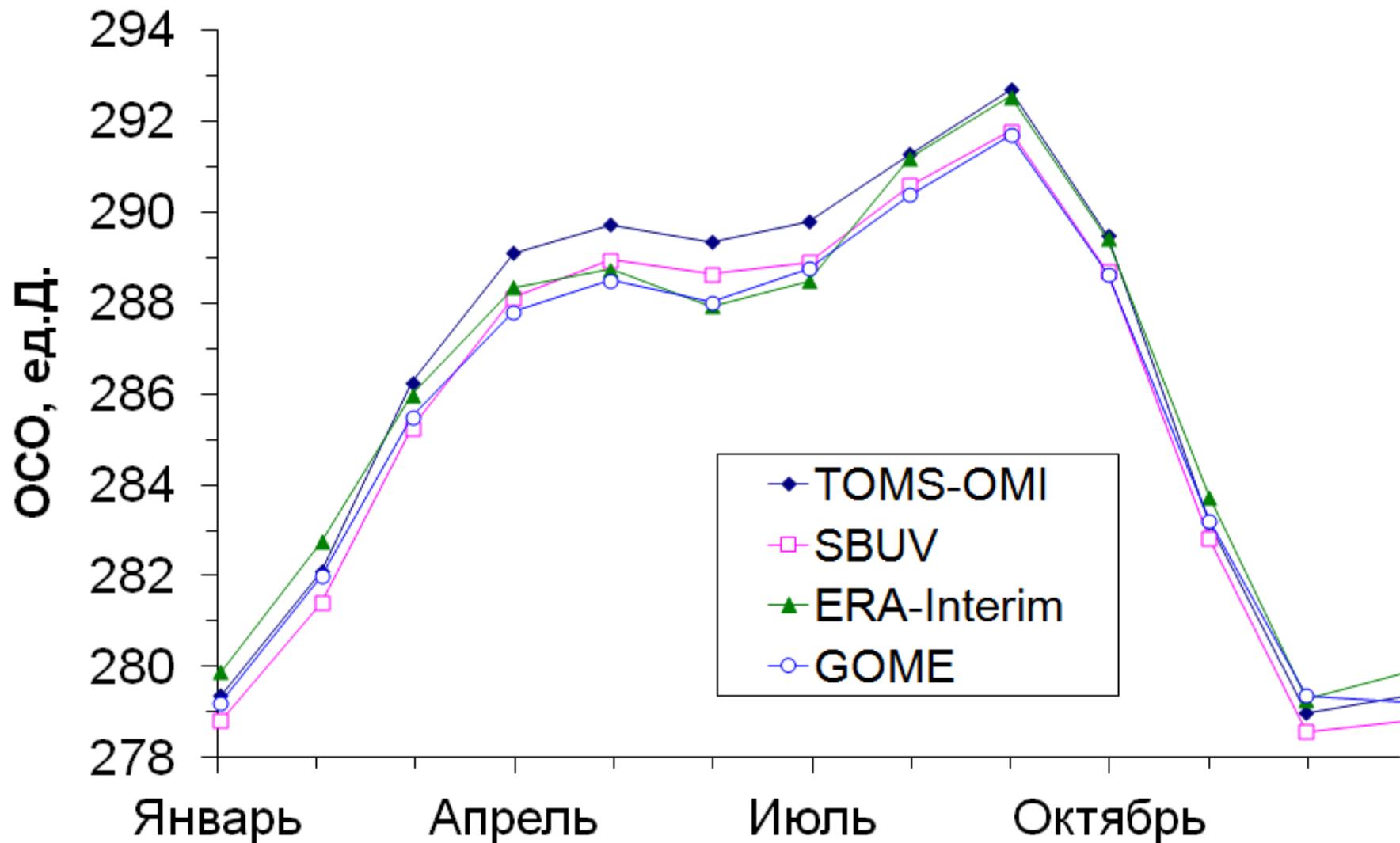
Сезонный ход ОСО (средние за 5 лет) в различных широтных поясах



**Ход ОСО в различных широтных областях
по данным TOMS/SBUV/OMI**



Ход среднегодового квазиглобального (в поясе 60S-60°N - более 86 % земной поверхности) ОСО по различным базам данных



**Сезонный ход квазиглобального ОСО
по различным базам данных**

Методика исследования. Регрессионная модель:

- $\Delta X(m) = X(m) - X_0(m) = const + T_{79} * m * \theta(-m) + T_{97} * m * \theta(m) + \sum k_i(m) * Reg_i(m) + r(m); \quad (1)$
- $X_0(m) = X_{00} + \sum l_j * \sin(2\pi * m/12) + l_j * \cos(2\pi * m/12), \quad (2)$
- $k_i(m) = k_{i0} * (1 + k_{is} * \sin(2\pi * m/12) + k_{ic} * \cos(2\pi * m/12)), \quad (3)$

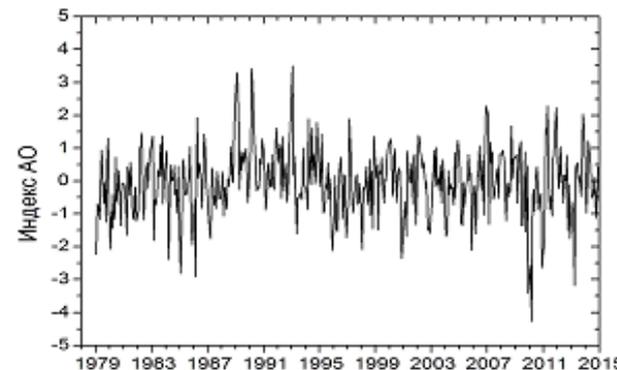
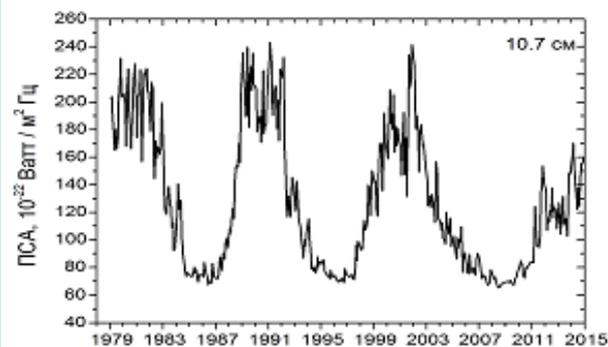
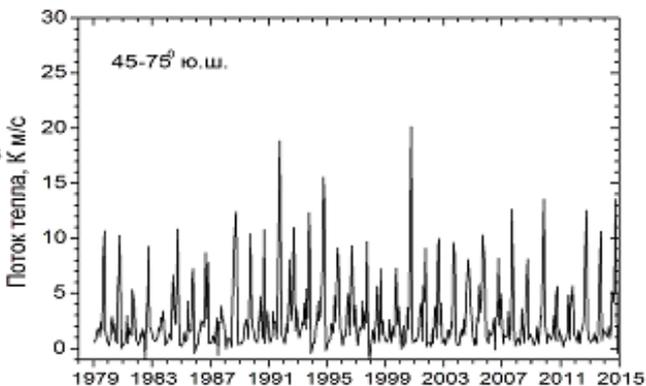
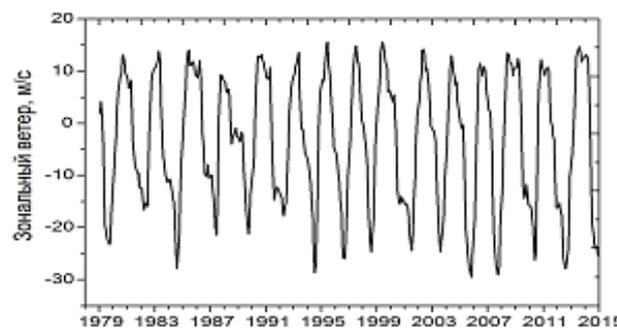
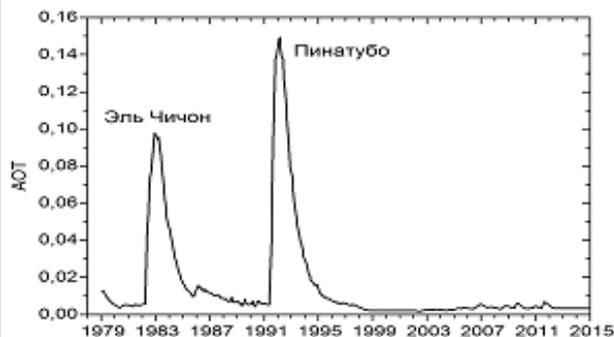
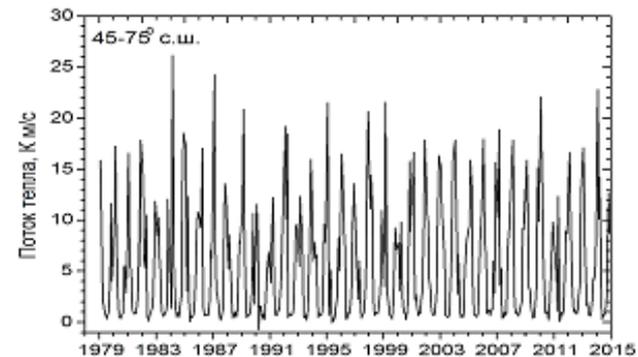
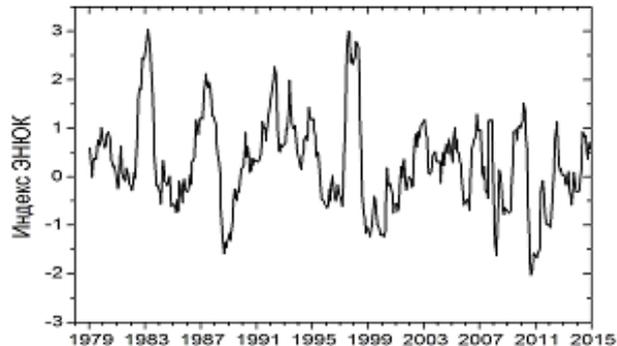
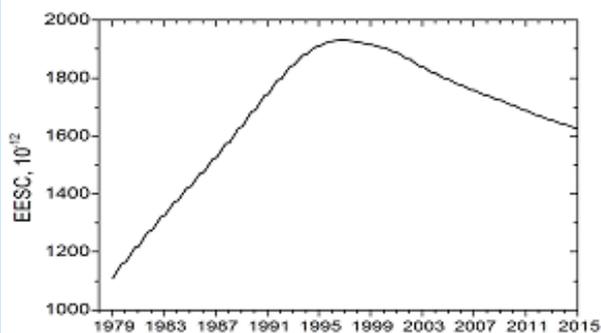
ИЛИ, В ЭКВИВАЛЕНТНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ:

- $k_i(m) = k_{i0} * (1 + k_{hi} * \cos(2\pi * (m - m_{0i})/12))$
- Reg_i – SA, QBO30(m), QBO30(m+7), AO (NAO), AAO, ENSO, Volcanos, HF, EESC or 2 Linear Trends

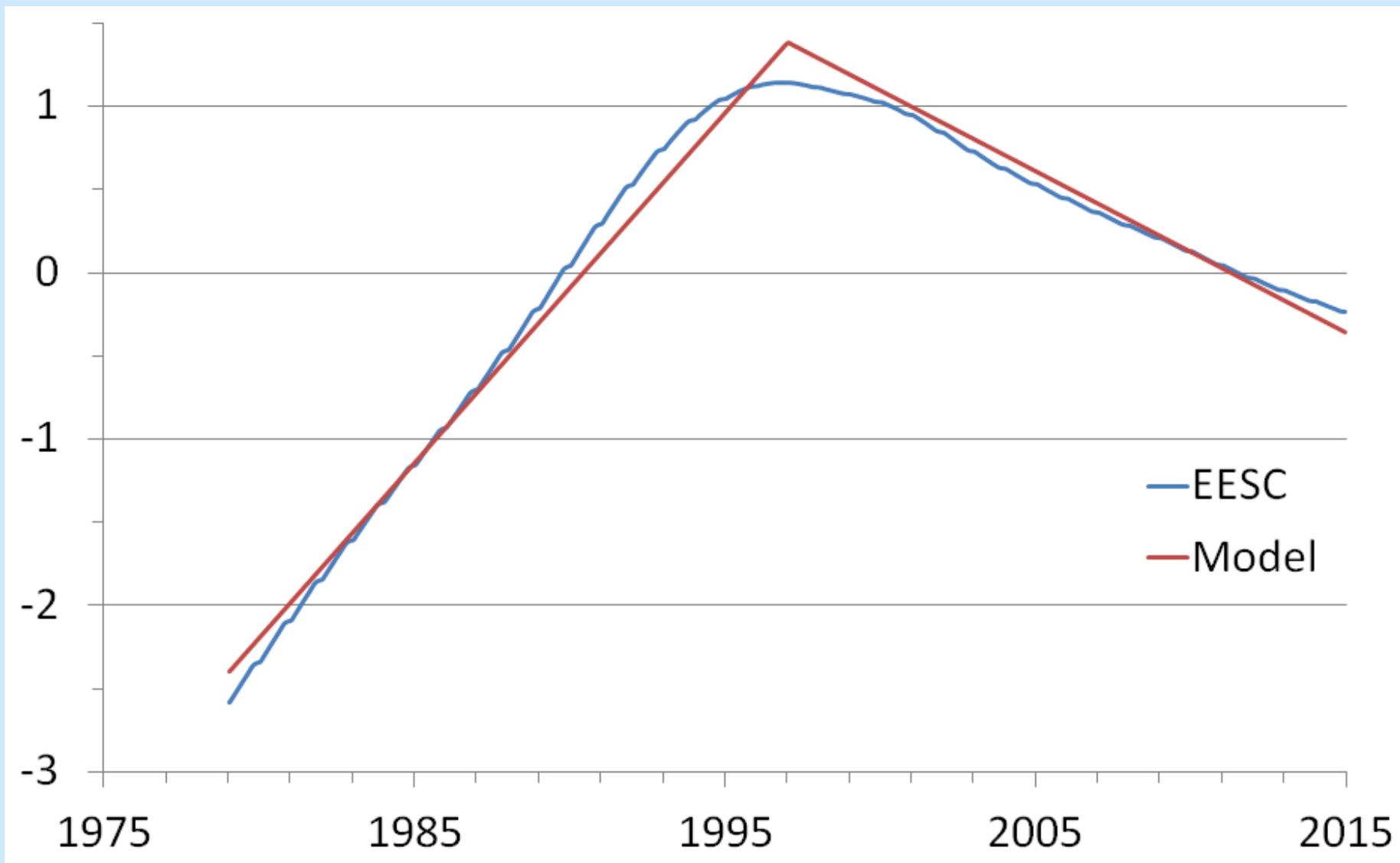
Регрессоры (Reg_i):

- SA – солнечная активность F10.7 [Soukharev&Hood, 2006];
- QBO30(m), QBO30(m+7) – квазидвухлетнее колебание [Angell-Korshover, 1964];
- AO (NAO), AAO – Арктическое (Североатлантическое) и Антарктическое колебания [Звягинцев и Крученицкий, 1996; Thompson, 2000; Никулин и Репинская, 2001];
- ENSO – Эль-Ниньо-Южное колебание [Zerefos, 1992];
- Volcanos – аэрозоль вулканических извержений [Angell, 1997];
- HF – потоки тепла в стратосфере 45-75° [Chehade, 2014; Frith., 2014];
- EESC (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine) – эффективное эквивалентное содержание хлорсодержащих (озоноразрушающих) соединений в стратосфере или 2 линейных тренда [Chehade, 2014; Frith., 2014].

Изменчивость регрессоров (1979-2015 гг.):



Фактический материал по изменчивости процессов получен с Интернет-сайтов: Climate Prediction Center NCEP NOAA (США); Earth System Research Laboratory NCEP NOAA (США); Goddard Institute for Space Studies NASA (США)

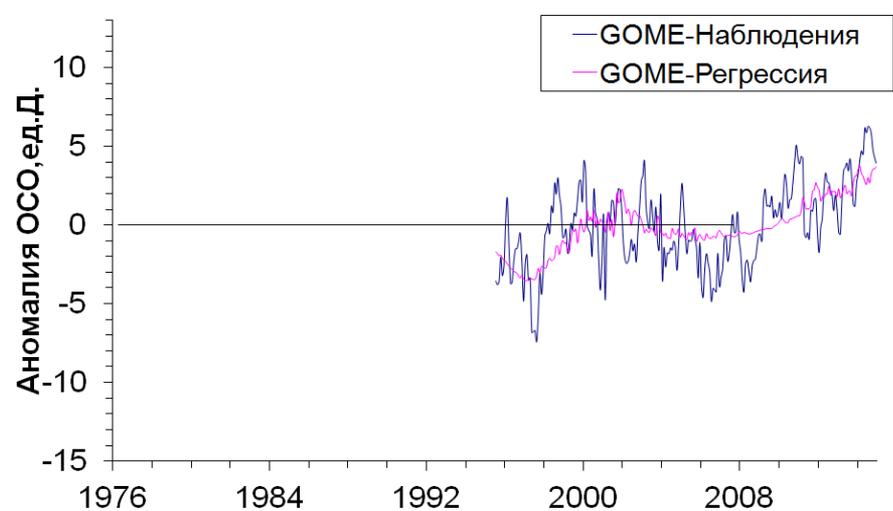
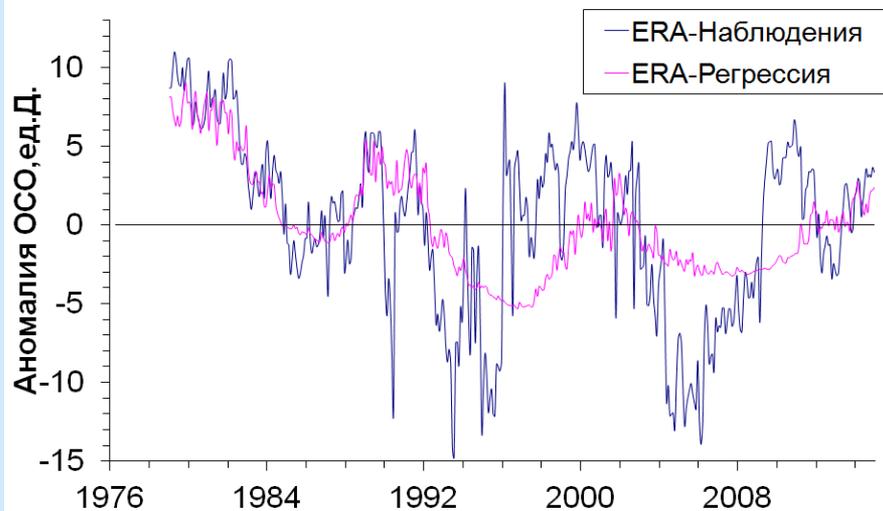
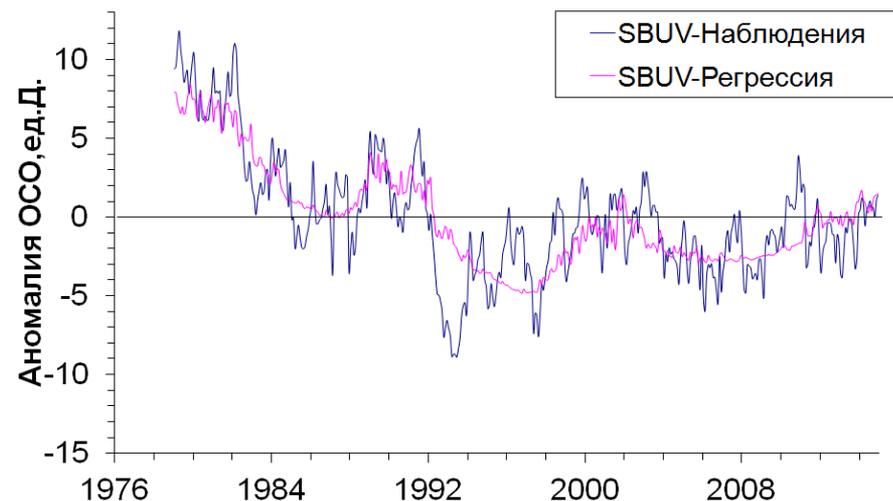
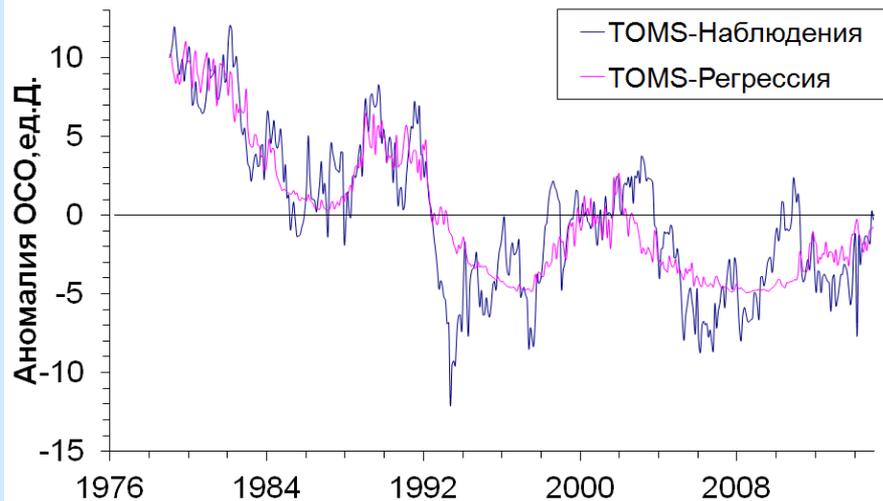


Аппроксимация функции EESC двумя линейными трендами

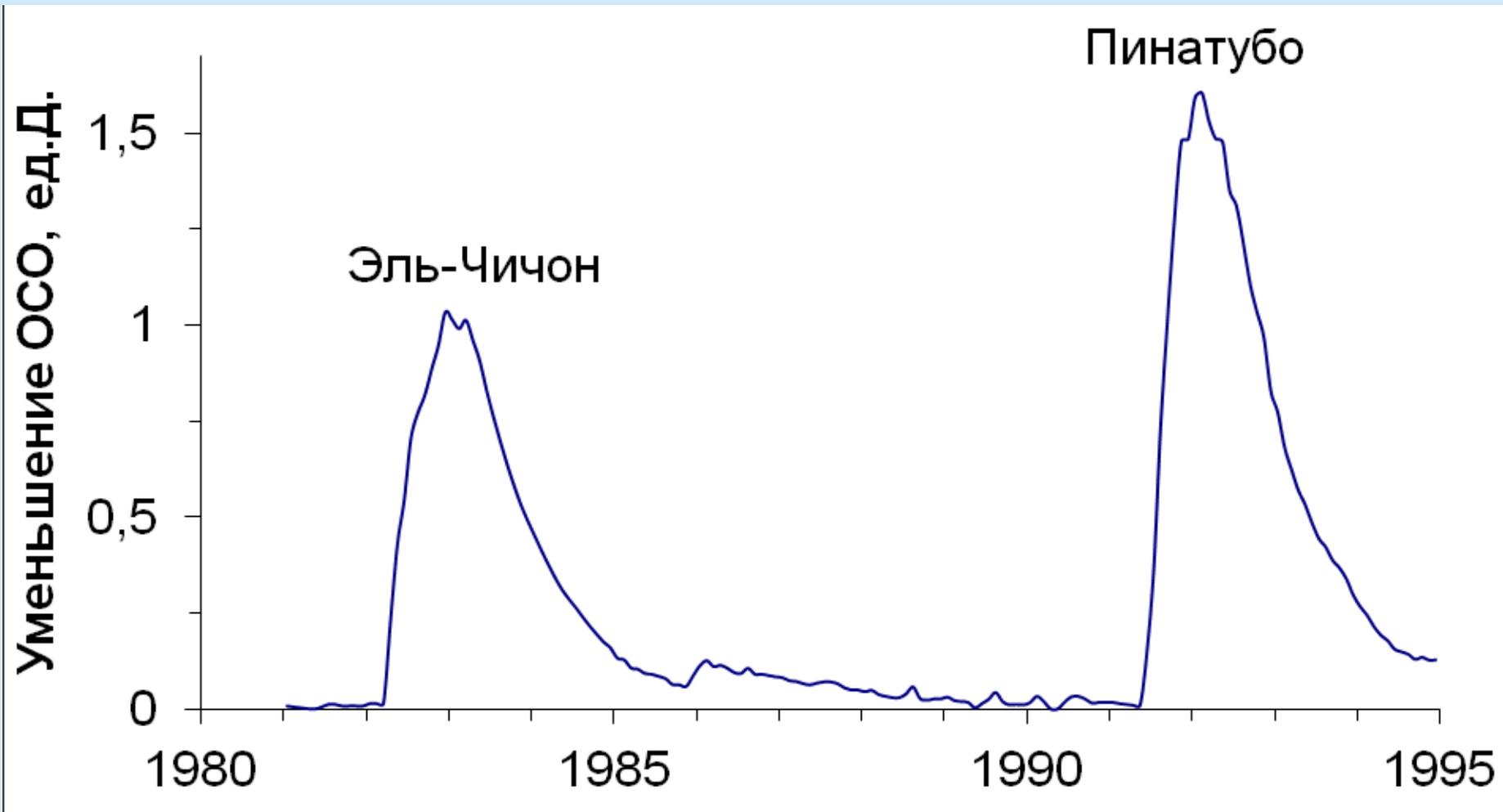
Коэффициенты регрессионных моделей квазиглобального ОСО

Данные	Период	Коэффициенты регрессионной модели и ее основные характеристики									
		Solar	Tr ₇₉	Tr ₉₇	QBO ₃₀	AO _{cos}	Volcano	ENSO	R ²	F	SD _{res}
TOMS/OMI	1979-2014	2.18±0.13	-0.51±0.03	<i>0.01±0.03</i>	-	-	-	-	0.743	466	2.49
	1979-2014	2.17±0.12	-0.52±0.03	<i>-0.02±0.02</i>	-0.76±0.11	-0.52±0.16	-0.40±0.13	-0.26±0.12	0.784	224	2.28
	1979-1996	2.00±0.16	-0.61±0.04	-	-	-	-	-	0.773	367	2.46
	1979-1996	2.07±0.14	-0.61±0.03	-	-1.32±0.15	<i>-0.39±0.21</i>	<i>-0.22±0.13</i>	-0.39±0.18	0.845	197	2.03
	1997-2014	2.19±0.21	-	<i>-0.07±0.04</i>	-	-	-	-	0.381	67	2.43
	1997-2014	2.10±0.21	-	-0.08±0.03	-0.38±0.15	-0.54±0.22	-	<i>-0.20±0.17</i>	0.410	31	2.37
SBUV	1979-2014	1.55±0.11	-0.48±0.02	<i>0.02±0.02</i>	-	-	-	-	0.666	288	2.22
	1979-2014	1.54±0.10	-0.50±0.02	<i>0.02±0.02</i>	-0.81±0.09	-0.28±0.13	-0.87±0.10	-0.24±0.10	0.770	207	1.84
	1979-1996	1.51±0.16	-0.57±0.04	-	-	-	-	-	0.719	276	2.47
	1979-1996	1.65±0.12	-0.54±0.03	-	-1.37±0.14	<i>-0.32±0.18</i>	-0.82±0.12	<i>-0.14±0.16</i>	0.850	204	1.80
	1997-2014	1.32±0.16	-	0.11±0.03	-	-	-	-	0.260	39	1.80
	1997-2014	1.20±0.15	-	0.08±0.03	-0.47±0.11	<i>-0.24±0.16</i>	-	-0.33±0.12	0.331	22	1.71
ERA-Interim	1979-2014	2.22±0.23	-0.42±0.05	0.21±0.05	-	-	-	-	0.361	82	4.44
	1979-2014	2.21±0.22	-0.44±0.05	0.16±0.05	-0.65±0.21	<i>-0.56±0.30</i>	-0.64±0.24	<i>-0.36±0.23</i>	0.396	41	4.32
	1979-1996	1.75±0.25	-0.63±0.05	-	-	-	-	-	0.580	150	3.76
	1979-1996	1.78±0.21	-0.64±0.05	-	-2.11±0.23	<i>-0.01±0.32</i>	<i>-0.34±0.21</i>	-0.57±0.28	0.709	88	3.13
	1997-2014	2.43±0.42	-	<i>0.05±0.07</i>	-	-	-	-	0.132	17	4.81
	1997-2014	2.38±0.43	-	<i>0.05±0.07</i>	<i>-0.36±0.31</i>	<i>-0.76±0.45</i>	-	<i>-0.19±0.34</i>	0.138	8	4.89
GOME	1997-2014	1.40±0.18	-	0.29±0.03	-	-	-	-	0.376	66	2.10
	1997-2014	1.31±0.18	-	0.27±0.03	-0.40±0.13	<i>-0.18±0.19</i>	-	<i>-0.22±0.14</i>	0.400	30	2.06

Примечание. Статистически значимые с доверительной вероятностью 0.95 коэффициенты выделены жирным, не значимые - курсивом.



Ход среднемесячных аномалий квазиглобального ОСО по различным базам данных и регрессионным моделям (коэффициенты детерминации: 0.78; 0.77; 0.40; 0.40)



Влияние вулканических извержений на квазиглобальное ОСО

ВЫВОДЫ

1. По данным реанализа ERA-Interim отношение среднемесячных значений глобального ОСО к квазиглобальному составляет $1,008 \pm 0,003$, что указывает на то, что изменчивость глобального ОСО в достаточной степени может быть охарактеризована соответствующей изменчивостью квазиглобального ОСО. Среднегодовое квазиглобальное ОСО в период 1979-2014 гг. составило около 290 ед.Д.

2. Временные ряды квазиглобального ОСО могут быть эффективно описаны регрессионной зависимостью от солнечной активности и двух кусочно-линейных трендов и/или функцией EESC, меньший, но статистически значимый вклад дают вулканические извержения, квазидвухлетние колебания и арктическое (или североатлантическое) колебание и явление Эль-Ниньо – Южное колебание.

3. Максимальное среднегодовое квазиглобальное ОСО наблюдалось в 1979 г., минимальное - в середине 1990-х гг. В период с 1979-1996 гг. уменьшение квазиглобального ОСО по всем использованным базам данных составило около 12 ± 2 ед.Д. В период с 1997-2014 гг. изменение квазиглобального ОСО по данным TOMS/OMI и ERA-Interim оказалось статистически незначимым, а по данным SBUV и GOME/SCIAMACHY/GOME2 произошло увеличение квазиглобального ОСО примерно на 2 и 5 ед.Д., соответственно.

Спасибо за внимание!

С уважением,

Никифорова Мария Павловна, nikiforovamp@ya.ru

Звягинцев А.М., Варгин П.Н.