

ВАРИАЦИИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД АРОЗОЙ

В.И. Демин¹, А.М. Звягинцев²

¹Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты

²Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный

Аннотация. Исследована связь общего содержания озона (ОСО) над Арозой с основными формами атмосферной циркуляции по классификации Г. Вангенгейма. Во все сезоны наиболее высокое содержание озона соответствует форме циркуляции E, а наименьшие – форме циркуляции W. Показано, что смена циркуляционных эпох сопровождается аналогичными вариациями в ОСО. Между среднемесячными и среднегодовыми значениями ОСО и количеством дней с формами циркуляции E и W наблюдается значимая корреляция.

Введение

К настоящему времени выполнено значительное количество исследований, подтверждающих связь между общим содержанием озона (ОСО) и динамическими процессами в атмосфере (знаком вертикальных движений воздуха, циклоническими и антициклоническими полями, положением относительно оси струйными течениями, воздушными массами (см., например. [2, 4, 7, 8]). Однако такие связи подразумевают, что установление в циркуляционном режиме атмосферы продолжительного периода с аномальным развитием тех или иных динамических процессов, должно проявиться в аномалиях ОСО и даже в появлении тренда. Последнее необходимо учитывать при коротких рядах измерений (до нескольких десятков лет), так как период измерений может совпасть со сменой циркуляционной эпохи [3].

Целью данной работы является установление связи между формами циркуляции E, W, C по классификации Вангенгейма [1] и ОСО над Арозой (Швейцария).

Данные и методы

В работе использованы данные World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC) и Institute for Atmospheric and Climate Science (Швейцария). Выбор Арозы обусловлен наличием наиболее длительной серий измерений озона из существующих в мире (первые измерения здесь проведены еще в 1926 г., однако наиболее надежными они являются с 1950-х гг.

В процессе работы среднесуточные значения ОСО ставились в соответствие той или иной форме циркуляции. По полученным значениям рассчитывались среднемесячные значения ОСО, которые возможны при различных типах макроциркуляционных процессах.

Анализ и обсуждение

На рис. 1 представлены среднемесячные значения ОСО для форм циркуляции W, E, C. Статистически значимое различие между ОСО при макропроцессах групп E и W наблюдается во все месяцы, кроме июля ($p=0.05$); между процессами E и C в феврале, августе, сентябре, ноябре, декабре. Между макропроцессами W и C – во все месяцы, кроме июля, сентября, ноября.

Из рис. 1 также видно, что наиболее высокие ОСО над Арозой наблюдаются при макропроцессах форм E и, в меньшей степени, формы C. В тропосфере процессам E и C соответствуют волны большой амплитуды, но различной географической локализации гребней и ложбин: при форме циркуляции E над Атлантикой и Западной Европой наблюдается хорошо развитая ложбина, а над Восточной Европой – мощный гребень; при форме циркуляции C локализация ложбин и гребней обратная [1]. По всей видимости, наличие в тропосфере волн большой амплитуды, которые характерны для форм E и C благоприятствуют межширотному обмену воздухом (и озоном) между полярными и умеренными широтами. При процессах формы W в тропосфере наблюдаются волны малой амплитуды, быстро смещающиеся с запада на восток, и ослабление меридиального воздухообмена. Данной форме циркуляции во все сезоны соответствуют наиболее низкие ОСО над Арозой (рис. 1).

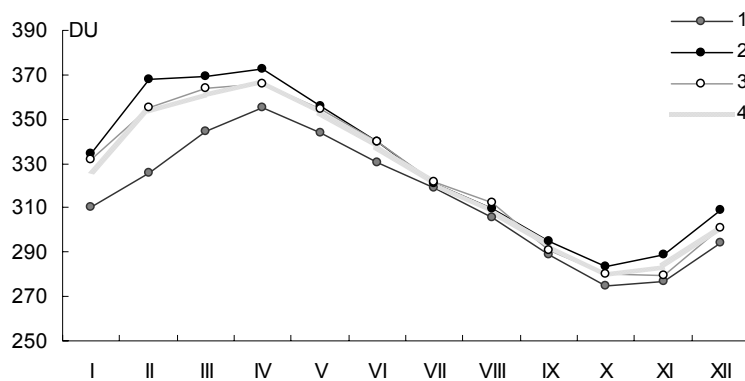


Рис. 1 Среднемесячные значения ОСО над Арозой в период 1951-2011 гг. при различных формах циркуляции (1 – E, 2 – W, 3 – C, 4 – без выделения форм циркуляции)

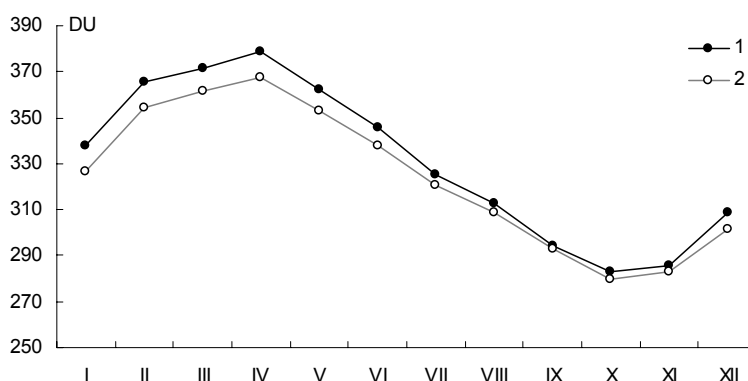


Рис. 2 Среднемесячные ОСО над Арозой, рассчитанные для периодов 1950-1980 гг. (1) и 1981-2010 гг. (2)

Обнаруженная связь между формами циркуляции и ОСО предполагает, что среднемесячные значения ОСО над Арозой должны зависеть от числа дней в месяце с той или иной формой циркуляции. Такая связь показана рис. 3 и 4.

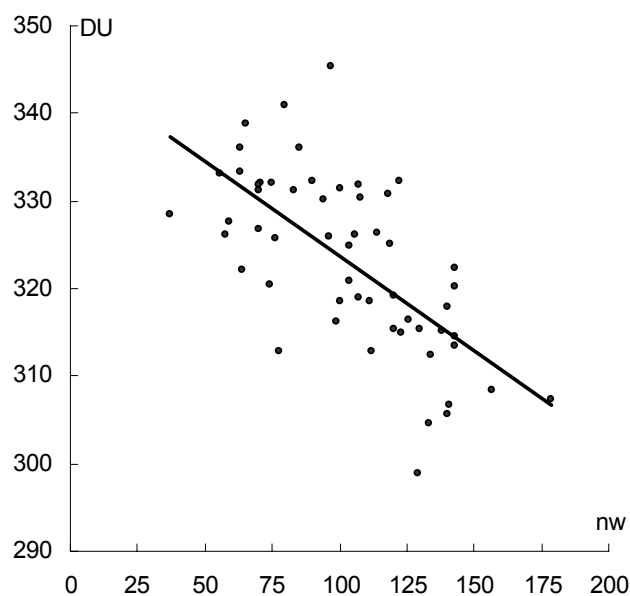


Рис. 3. Связь среднегодового значения ОСО и числа дней с формой циркуляции W (nw).

Как видно из рис. 4 долговременные вариации ОСО над Арозой аналогичны долговременным изменениям n_W . Доминирование в 1930-1960 гг. годы форм циркуляции E совпало с периодом наиболее высоких ОСО, а последующее увеличение макропроцессов формы W в 1980-е гг. происходило

одновременно со снижением ОСО. С середины 1990-х гг. выраженных тенденций в изменении числа макропроцессов формы W нет, что также согласуется с периодом относительно устойчивых значений ОСО.

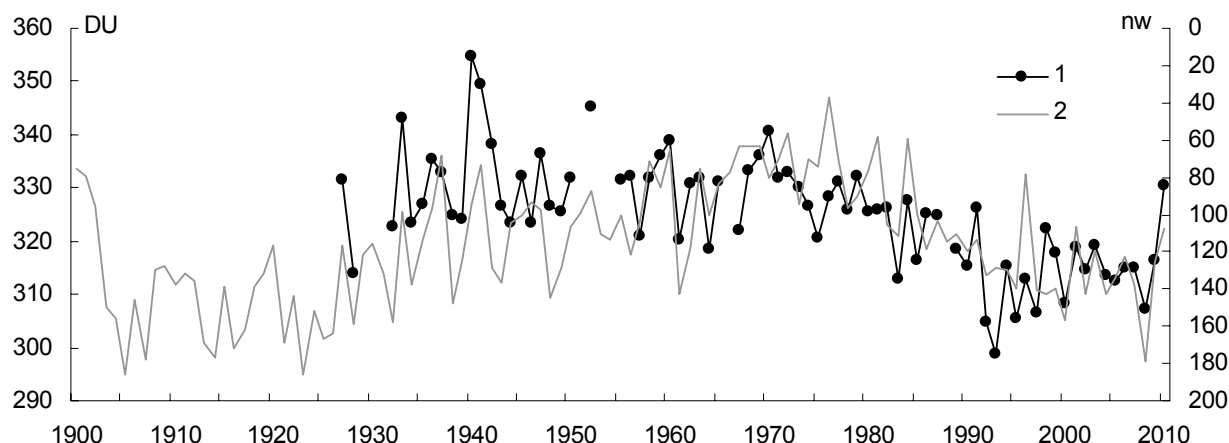


Рис. 4 Многолетняя динамика среднегодовых ОСО над Арозой по измеренным данным (1) и число дней с формой циркуляции W (nw) (2).

Выполненные к настоящему времени исследования связи ОСО с циркуляцией в тропосфере базируются на сопоставлении значений ОСО со всевозможными индексами циркуляции.

В таблице представлены коэффициенты корреляции между ОСО над Арозой в период 1951-2010 гг. и значениям NAO (North Atlantic Oscillation), AO (Arctic Oscillation), EA (East Atlantic), EA/WR (East Atlantic/Western Russia) и числом дней с макропроцессами форм E (n_E), W (n_W).

Таблица. Коэффициенты корреляции между значениями ОСО и различными индексами атмосферной циркуляции (прим.: только статистически значимые).

месяц	NAO	AO	EA	EA/WR	n_E	n_W
январь	-0.39	-0.52	-0.33	-0.34	0.36	-0.42
февраль	-0.38	-0.48	-0.31	-0.44	0.54	-0.61
март	-0.45	-0.48	-0.37		0.29	-0.40
апрель				-0.26	0.39	-0.29
май			-0.52			-0.39
июнь					0.27	-0.36
июль						
август			-0.57			-0.44
сентябрь	-0.28	-0.49	-0.55			
октябрь		-0.29	-0.42		0.30	-0.40
ноябрь		-0.31		-0.41	0.46	-0.26
декабрь	-0.36	-0.43		-0.46	0.45	-0.39
год	-0.32	-0.46	-0.36		0.52	-0.67

Хорошая корреляция ОСО над Арозой с индексом АО в зимнее и весеннее время отмечалась многими авторами (см., например, [6,7]). Однако, как видно из приведенной таблицы, корреляция ОСО с предлагаемыми в данной работе параметрами n_E и n_W лучше как по абсолютному значению, так и по числу месяцев, в течение которых эта корреляция статистически значима и устойчива (сохраняется на протяжении нескольких месяцев и сезонов).

Заключение

Исследована связь общего содержания озона (ОСО) над Арозой с основными формами атмосферной циркуляции по классификации Г. Вангенгейма. Во все сезоны наиболее высокое содержание озона соответствует форме циркуляции E, а наименьшие – форме циркуляции W. Показано, что смена циркуляционных эпох сопровождается аналогичными вариациями в ОСО.

Изменение формы циркуляции не может объяснить все долговременные вариации ОСО над Арозой. На это, в частности, указывает тот факт, что снижение ОСО имеет место при всех формах циркуляционных

макропроцессов. Однако среди всевозможных количественных показателей атмосферной циркуляции связь ОСО с p_W и p_E наиболее высокая и устойчивая. Это свидетельствует о целесообразности использования данных показателей в моделях временного хода ОСО. Это особенно важно, если учесть, что формы циркуляции W, E, C, в отличие от традиционно используемых индексов циркуляции, имеют выраженные периоды аномального развития, получивших названия циркуляционных эпох (рис. 5).

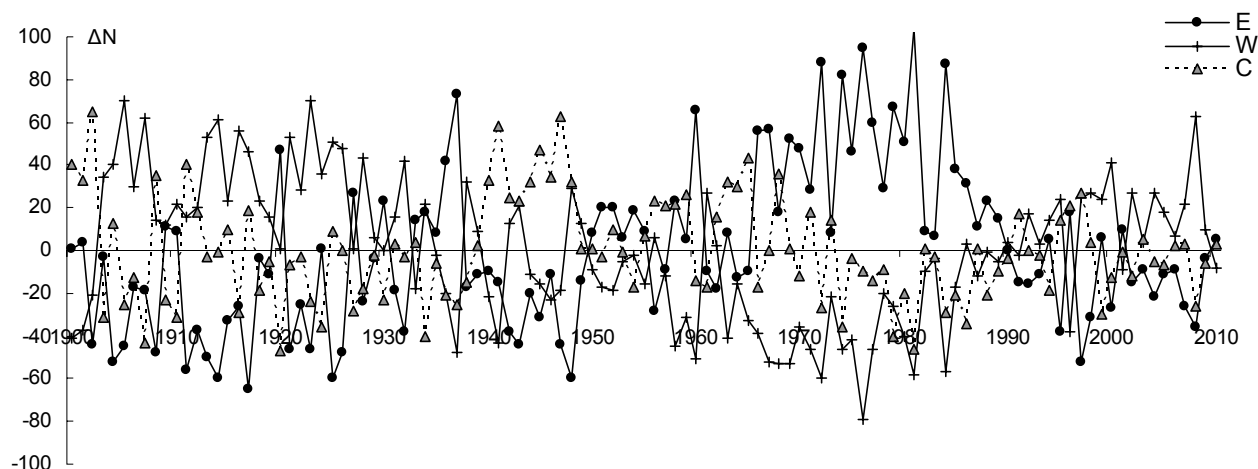


Рис. 5 Аномалии количества дней в году с формами циркуляции E, W, C (ΔN) от средних многолетних (1900-2010 гг.) значений.

Благодаря этому становится возможным долгосрочное прогнозирование изменений ОСО, возникающих при перестройках крупномасштабной атмосферной циркуляции. Так, например, после длительного периода с повышенной повторяемостью процессов формы W предполагается, что в ближайшее десятилетие произойдет активизация процессов формы E. В случае развития процессов по данному сценарию ОСО над Арозой должно возрасти и это возрастание будет носить естественный характер. Следует отметить, что параметры p_E и p_W в силу отсутствия автоматизированных методов определения форм циркуляции W, E, C, остаются довольно малоизвестными и не получают должного внимания среди исследователей.

Список литературы

1. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов – Л., Гидрометеиздат, 1974. 488 с.
2. Гущин Г.П., Виноградова Н.Н. Суммарный озон в атмосфере. Л., Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
3. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л., Гидрометеиздат, 1974. 568с.
4. Шаламянский А.М., Ромашкина К.И. Распределение и трансформация общего содержания озона в различных воздушных массах // Изв. АН СССР. Физика Атмосферы и Океана. Т. 16. №1. с.1258-1265. 1980.
5. Bronnimann S., J. Luterbacher, C. Schmutz, H. Wanner Variability of total ozone at Arosa, Switzerland, since 1931 related to atmospheric circulation indices //GRL, Vol. 27, 2000, No. 15, pp. 2213-2216
6. Hess, P. G., and J.-F. Lamarque (2007), Ozone source attribution and its modulation by the Arctic oscillation during the spring months, J. Geophys. Res., 112, D11303, doi:10.1029/2006JD007557.
7. Hudson, Robert D., Alexander D. Frolov, Marcos F. Andrade, Melanie B. Follette, 2003: The Total Ozone Field Separated into Meteorological Regimes. Part I: Defining the Regimes. J. Atmos. Sci., 60, 1669–1677.
8. Hudson, R. D.; Andrade, M. F.; Follette, M. B.; Frolov, A. D. The total ozone field separated into meteorological regimes - Part II: Northern Hemisphere mid-latitude total ozone trends //Atmospheric Chemistry and Physics, Volume 6, Issue 12, 2006, pp.5183-5191