

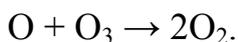
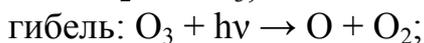
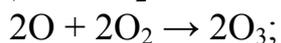
Замечания

по статье А.М.Звягинцева и Г.М.Крученицкого “О связи общего содержания озона в северном полушарии с арктическим и североатлантическим колебаниями”//Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2003, том 39, №4, с. 505-509. Копия статьи любезно предоставлена мне Анатолием Михайловичем Звягинцевым, за что ему большое спасибо.

Целью настоящей статьи (как и практически всех других работ этих авторов) является попытка доказательства того, что антропогенные хлорфторуглероды не играли определяющей роли в истощении озонового слоя в конце XX столетия. Этот тезис авторы пытаются доказать оценивая вклад динамических процессов в наблюдаемый тренд озона.

В связи с этим прежде, чем высказывать замечания по работе, я хочу познакомить читателя с особенностями воздействия динамики (естественный фактор) и химии (в случае хлорфторуглеродов – антропогенный фактор) на озоновый слой, которые в общем виде описаны ниже.

1) Озон является атмосферной компонентой, которая рождается и погибает в атмосфере исключительно химическим путём, а именно -



Это - общеизвестная теория озонового слоя Чепмена, предложенная 70 лет тому назад. Дальнейшие исследования обнаружили влияние других (помимо кислородных) компонент на озон. Но оказалось, что действие всех этих компонент (включая фреоны) сводится к ускорению последней реакции гибели озона. По этой причине рост содержания фреонов в атмосфере приводит к уменьшению озона.

Динамика не оказывает прямого действия на озон: сам по себе перенос озона с места на место воздушными массами не может ни разрушить озон, ни создать его. Если бы озон был химически пассивной примесью (как азот, например), то процессы переноса не оказывали бы на него никакого влияния. Но озон достаточно химически активен, поэтому динамика может повлиять на него косвенно, а именно - через химию (и только через химию), потому что перенос с одного места на другое меняет условия химического образования и гибели озона.

2) Химическая теория Чепмена в её современном виде позволяет рассчитать изменение атмосферного содержания озона при изменении атмосферного содержания фреонов или других химических компонент, оказывающих влияние на озон.

Количественной теории воздействия атмосферной динамики на озон нет. Поэтому оценить изменение озона из-за изменения динамики можно только косвенным образом – по разнице озона при “включении” и “выключении” динамических факторов в трёхмерных моделях (если, конечно, эти факторы достаточно полно учитываются в этих моделях). Менее надёжным методом оценки вклада динамики в изменение озона (за неимением трёхмерных моделей) является метод линейной регрессии, который в настоящее время достаточно широко используется.

Сегодня есть масса работ, описывающих влияния разнообразных динамических процессов на озоновый слой. Но если говорить об общих закономерностях, то нужно выделить два эмпирических принципа – принцип Дютша–Добсона и принцип Добсона-Норманда, которые заключаются в том, что перенос из тропиков к полюсам и сверху вниз приводит к общему росту озона. Легко понять, что оба эти принципа объясняются исключительно химической теорией озона и больше ничем. Но когда говорят о влиянии динамики на озон, об этом обычно забывают.

3) Действие динамики на озон локальное или региональное, в соответствии с локальной или региональной системой атмосферных процессов переноса. Действие фреонов на озон глобальное. Поскольку из-за своего большого времени жизни в атмосфере (50 – 100 и более лет) фреоны более или менее равномерно распределились по атмосфере всего земного шара.

4) Антропогенное химическое влияние фреонов на озон имеет один знак - фреоны уничтожают озон.

Действие динамики на озон не однозначно – динамические процессы могут приводить как к уменьшению озона, так и к его росту. Так, например, глобальный меридиональный перенос воздушных масс из тропиков к полюсам приводит в среднем к глобальному сезонному увеличению общего содержания озона (что имеет место зимой), а ослабление этого переноса летом – к его уменьшению на всех широтах.

5) Поведение динамических систем во времени либо хаотическое, либо периодически изменяющееся. Имея в виду, что на протяжении последних почти 25 лет происходило глобальное уменьшение озона, для объяснения этого уменьшения динамическими факторами, имеющими периодический характер, необходимо найти фактор с периодом около 50 лет, что позволило бы этому фактору оказывать на протяжении последних 25 лет воздействие на озон одного знака. Для непериодической динамики необходимо, чтобы она имела тренд одного знака на протяжении последних 25 лет, причём действие такого динамического фактора должно приводить только к уменьшению озона.

Более того (уже безотносительно к озону), если мы наблюдаем направленное изменение какого-нибудь динамического фактора в течение, например, 25 лет и не можем придумать никакого естественного периодического процесса с периодом в 50 лет, то такое изменение с большой вероятностью можно приписать антропогенному воздействию.

6) Последнее. Скажем сначала, что под межгодовыми вариациями или аномалиями озона в одной и той же точке в один и тот же момент времени (года) на протяжении определённого периода мы будем понимать отклонения от среднего за определённый период, *если тренд озона в этот период отсутствует; при наличии тренда* вариации или аномалии озона определяются после того, как этот тренд убирается из расчётов (т.е. наклонная прямая с вариациями снова превращается в горизонтальную прямую с теми же вариациями).

Действие химии, проявляющееся в изменении озона в столбе над данной точкой в один и тот же момент времени относительно года, принципиально не приводит ни к каким вариациям или аномалиям озона – его содержание будет в первом

приближении линейно уменьшаться (или расти) со временем, давая отрицательный (или положительный) линейный тренд или другую, гладкую, кривую.

Действие динамики на озон во времени в одном и том же месте ведёт во-первых, к вариациям (аномалиям) озона и, во-вторых, может приводить к тренду озона, если динамика направленным образом изменяется в течение достаточно большого времени (с сохранением вариаций на фоне тренда).

Сказанное выше нужно иметь в виду при использовании коэффициента корреляции для оценки связи озона с динамикой (да и любых других связей). Вычисление этого коэффициента для двух рядов переменных величин, случайным образом меняющихся со временем, сводится к сравнению отклонений от средних значений величин каждого ряда для рассматриваемого отрезка времени, *независимо от того, есть тренд у этих рядов или нет*. Другими словами, вычисление коэффициентов корреляции между изменчивостью во времени озона и АК (Арктическое Колебание) и САК (Северо-Атлантическое Колебание) исключает из рассмотрения тренд озона и АК и САК. Более того, когда мы заведомо знаем, что в рассматриваемый период времени имел место тренд озона (или тренд АК или САК) и тем не менее пытаемся через коэффициенты корреляции установить какие-то связи (что и делается в статье), мы сознательно уменьшаем корреляцию и тем самым затрудняем себе решение даже этой скромной задачи.

Из сказанного следует, что нужны “убийственные” аргументы, чтобы доказать, что наблюдавшийся в конце XX века отрицательный тренд озона обязан преимущественно изменчивости динамических факторов.

К сожалению, pdf-формат той копии статьи, которой я располагаю, не позволяет делать вставки непосредственно в текст статьи. Поэтому в тексте статьи вы найдёте только пометки с номерами замечаний, которые приводятся здесь (маленький жёлтый листочек с загнутым краем), либо текст коротких замечаний внутри этого листочка.

Переходим собственно к замечаниям.

Замечание №1 касается данных, приведенных на рис.1 статьи.

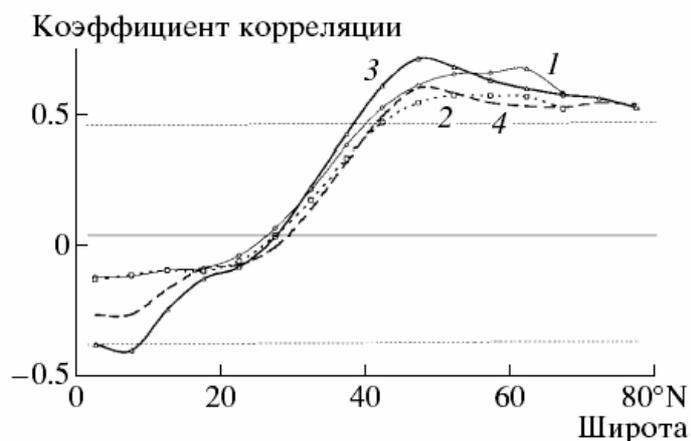


Рис. 1. Коэффициенты корреляции среднегодовых значений ОСО со средними за период с января по март индексами АК (1) и САК (2) в зависимости от широты. Кривые 3 и 4 – то же для среднемартовских значений ОСО.

Здесь авторы статьи сравнивают *среднегодовые* значения ОСО со средними за *январь-март* и *среднемартовскими* индексами АК и САК. Такое сравнение некорректно, поскольку фотохимическое время релаксации озона меньше года, и, скажем, к осени озон полностью “забывает” что и как на него воздействовало в январе-марте. Это во-первых. Во-вторых, как это можно видеть из моего рисунка 1а, коэффициенты корреляции сильно зависят от выбора периода времени (вплоть до смены знака), что ещё раз показывает ненадёжность этой характеристики для оценки связей озона с динамикой.

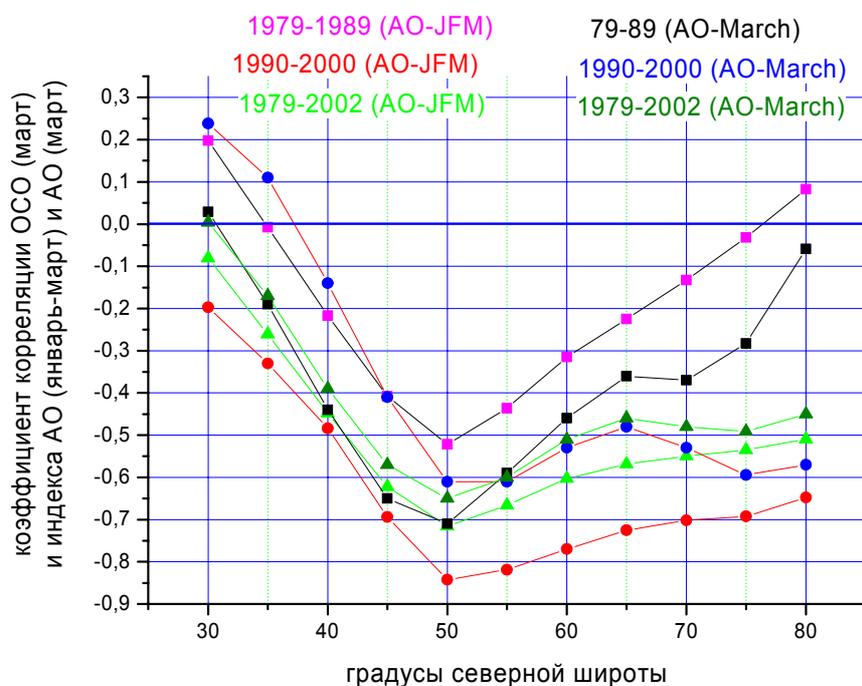


Рис.1а. Коэффициенты корреляции индексов АК в марте (АО-March) и индексов АК для периода январь-март (АО-JFM) со среднезональным общим содержанием озона в марте на разных широтах Северного полушария для разной выборки периода сравнения. Знак коэффициента корреляции на обратный не изменяли.

Замечание №2 касается оценок вклада АК в тренд озона, приведенных в статье, которые существенным образом отличаются от полученных мной. Ниже приводятся мои расчёты. Подчеркну, что метод был совершенно тот же, что и у авторов статьи. Различие заключалось в том, что использовались среднемесячные (а не среднегодовые) значения ОСО в широтной зоне 65° ю.ш. – 65° с.ш. (а не в узких широтных зонах). Первичные данные по озону были взяты из того же источника, что и в статье. Расчёты проводились для периода ноябрь 1978 года – апрель 1993 года (поскольку далее следует трёхгодичный провал в данных). Это давало массив в 174 отдельных значений ОСО, что вполне достаточно для проведения репрезентативного статистического анализа. Основным инструментом анализа был пакет “Анализ данных” Excel 2002.

Напомню, что метод множественной линейной регрессии в отношении временного ряда озона заключается в анализе следующего уравнения:

$$y = m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4 \dots + m_n x_n + b, \quad (*)$$

где y = зависимая переменная = озон в момент времени t (в нашем случае – в данном месяце нашего ряда, в котором 1 = ноябрю 1978 года);

$m_1 x_1$ = 1-я независимая переменная = сезонный цикл озона;

$m_2 x_2$ = 2-я независимая переменная = солнечный цикл озона;
 $m_3 x_3$ = 3-я независимая переменная = QBO - квазидвухлетний цикл озона;
 $m_4 x_4$ = 4-я независимая переменная = тренд озона;
 b = постоянная, равная озону в момент времени $t = 0$ (в нашем случае – в ноябре 1978 года).

Использовавшийся метод оценки вклада АК в тренд озона заключался в последовательном “убирании” из реального временного ряда озона (y) всех членов правой части уравнения (*), вплоть до получения остатка, который мы сопоставили с индексом АК.

Исходные данные (временной ряд озона – “ y ” в уравнении (*)) показаны на рис. 2а вместе с линейным трендом и его точностью. Как это указано на рис. 2а, линейный тренд озона в этот период оценён в $-(2,466 \pm 0,3048)\%$ за 10 лет.

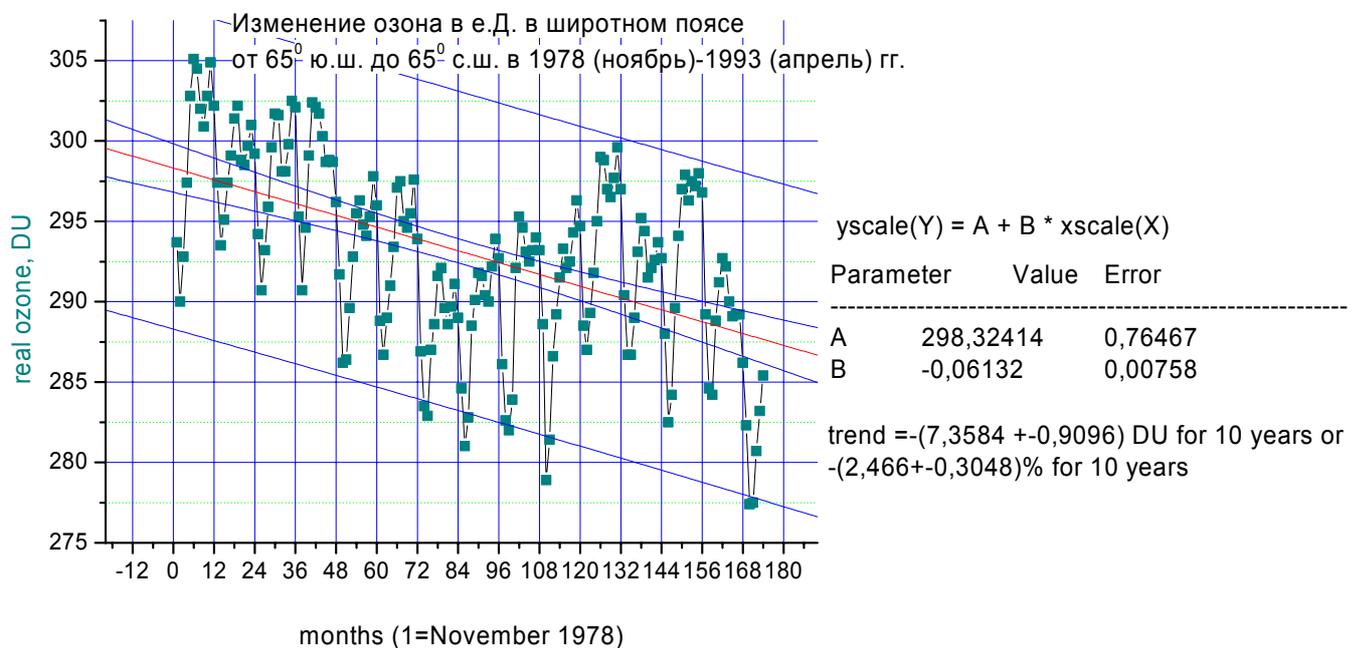


Рис.2а. Временной глобальный ряд озона в 1978 – 1993 гг. и его линейный тренд. Данные TOMS.

На рис. 3а приводятся исходные данные с убраным трендом (синяя кривая) и данные линейной регрессии сезонного изменения озона (красная кривая) (подобные данные удачно названы в статье предиктором озона со стороны рассматриваемого фактора). Можно видеть, что сезонный ход озона ярко проявляется в его временном ряду.

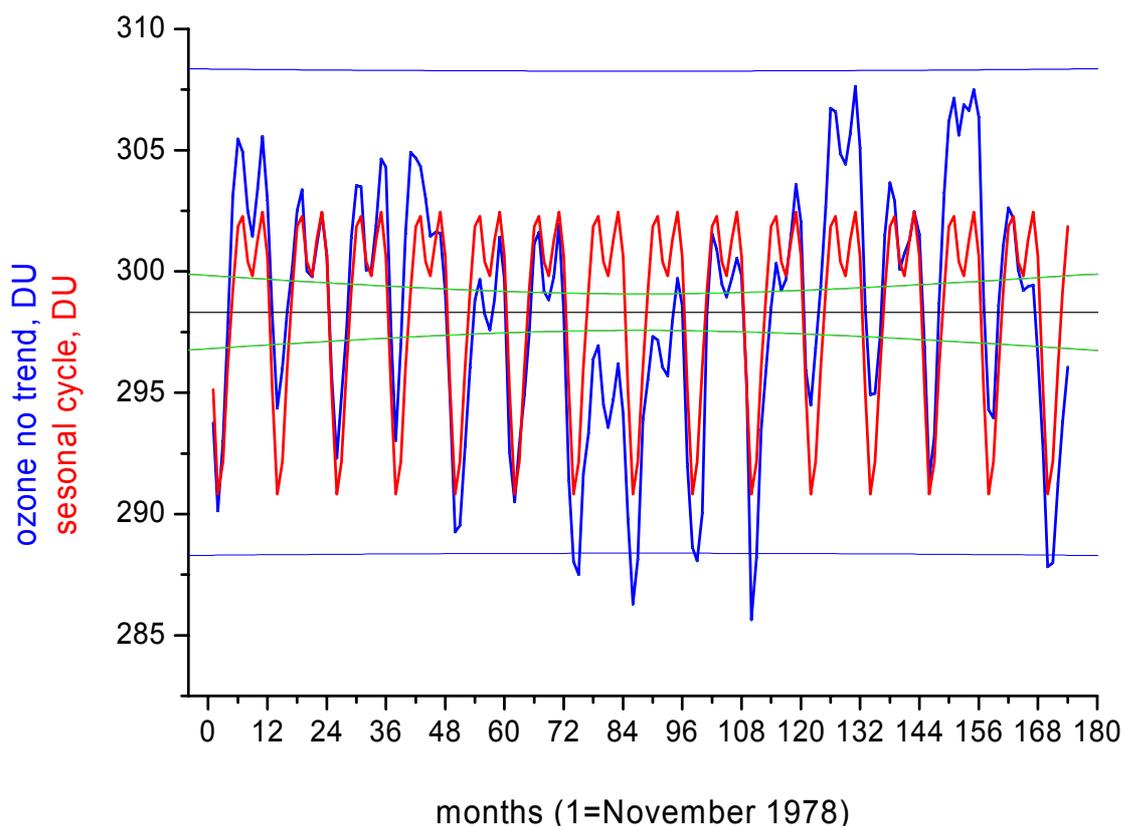


Рис.3а. Синяя кривая – это те же данные, что и на Рис.2а, но с “убранным” трендом. Красная кривая – это линейная регрессия сезонного цикла и данных озона без тренда. Получена для 95% доверительного интервала с использованием для сезонного цикла озона уравнения $(O_3) = A_0 + A_1 \sin(2\pi(\text{номер месяца})/12) + A_2 \cos(2\pi(\text{номер месяца})/12) + A_3 \sin(2\pi(\text{номер месяца})/6) + A_4 \cos(2\pi(\text{номер месяца})/6) + A_5 \sin(2\pi(\text{номер месяца})/4) + A_6 \cos(2\pi(\text{номер месяца})/4) + A_7 \sin(2\pi(\text{номер месяца})/3) + A_8 \cos(2\pi(\text{номер месяца})/3)$.

Далее на рис. 4а-6а приводятся результаты последовательного вычитания предикторов сезонного цикла, солнечного цикла и квазидвухлетнего колебания из временного ряда озона. Вплоть до получения “последних остатков”, представленных на рис. 7а. Эти остатки не объясняются никакими факторами, поэтому можно попытаться найти в этих остатках следы влияния на озон АК, т.е. предиктор озона со стороны АК, как это мы делали выше с другими факторами. Соответствующие данные приведены на рис. 8а. Они дают для тренда озона, обусловленного изменением индекса АК, величину – 0,0246 е.Д. или - 0,008% за 10 лет. Больше никак не получается. Добавим к этому, что коэффициент корреляции “последних остатков” озона с индексом АК составляет всего -0,02207, так что нечему удивляться.

Отсюда следует, что на глобальном уровне АК практически никак не проявляется ни в изменчивости озона, ни в его тренде.

Это и есть моё замечание по поводу данных на эту тему, приведенных в статье, где вклад АК в тренд озона на разных широтах северного полушария менялся на сотни процентов и даже менял знак.

Буду благодарен читателям и особенно – авторам статьи, если они укажут мне на ошибки в моих расчётах.

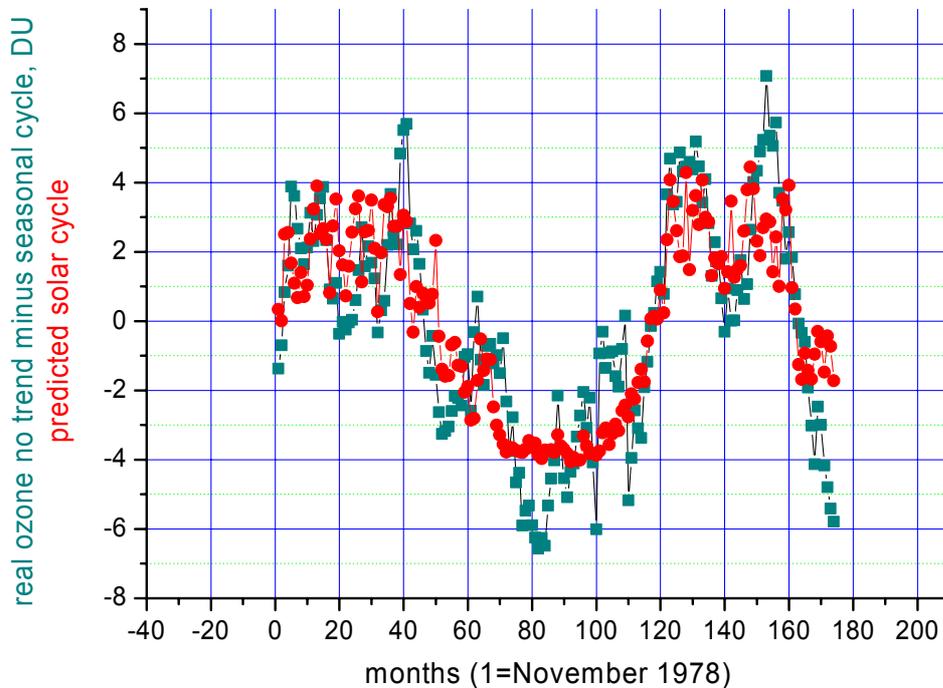


Рис.4а. “Остатки” озона после вычета сезонного цикла (тёмно-зелёные точки) и линейная регрессия этих “остатков” с солнечным циклом (красные точки).

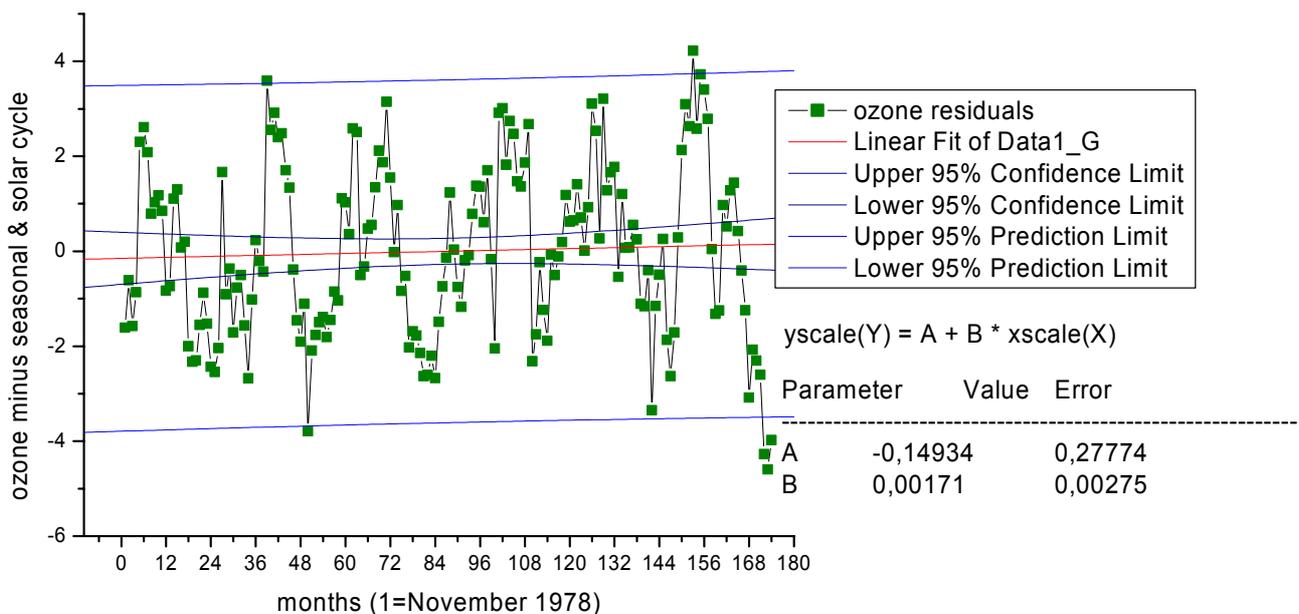


Рис.5а. “Остатки” озона после вычитания сезонного и солнечного цикла. Видно, что

появился небольшой положительный тренд озона, который составляет + 0,205 е.Д. или +0,07% за 10 лет.

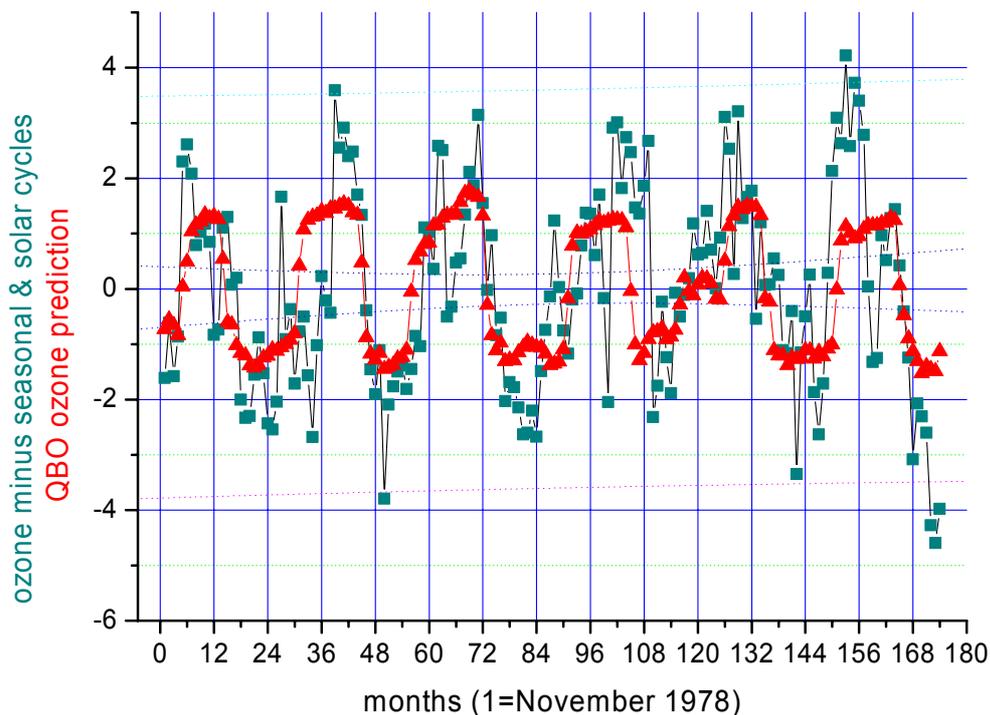


Рис.6а. “Остатки” озона после сезонного и солнечного цикла (тёмно-зелёные квадратики) и линейная регрессия этих “остатков” с QBO (красные треугольнички).

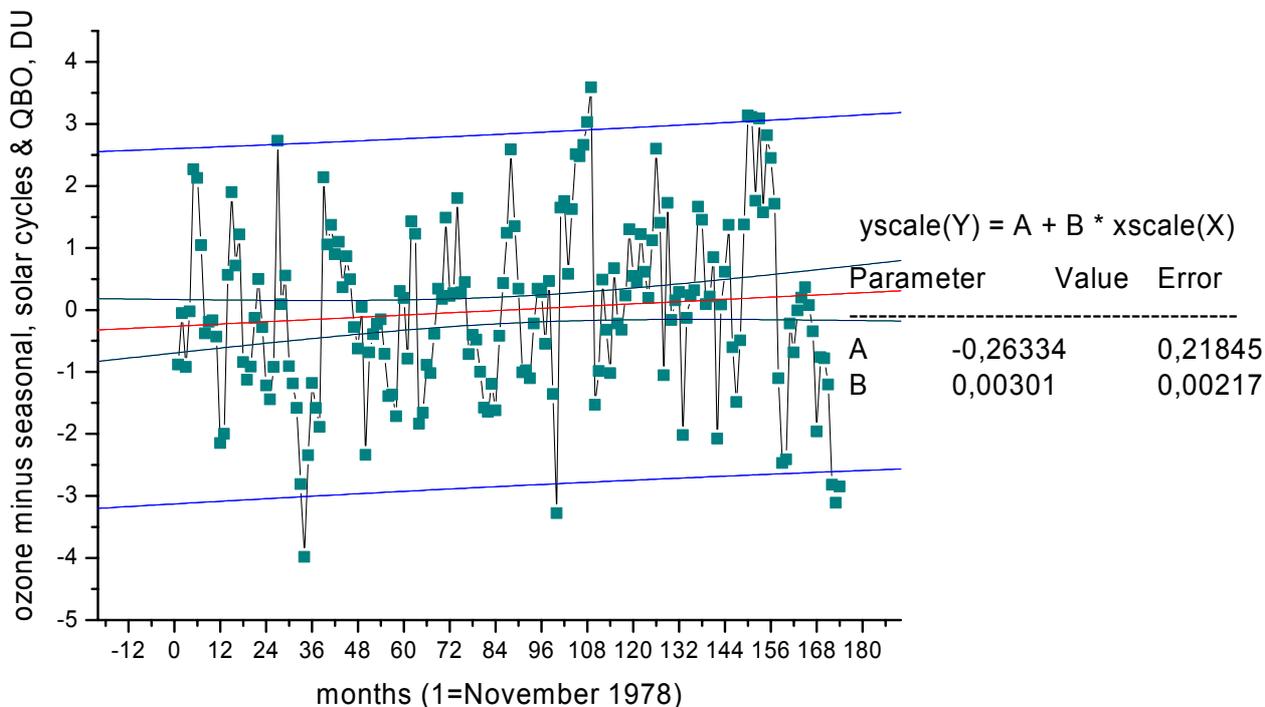


Рис.7а. “Остатки” озона после вычета сезонного, солнечного цикла и QBO и их линейный тренд, равный +0,361 е.Д. или +0,12% за 10 лет.

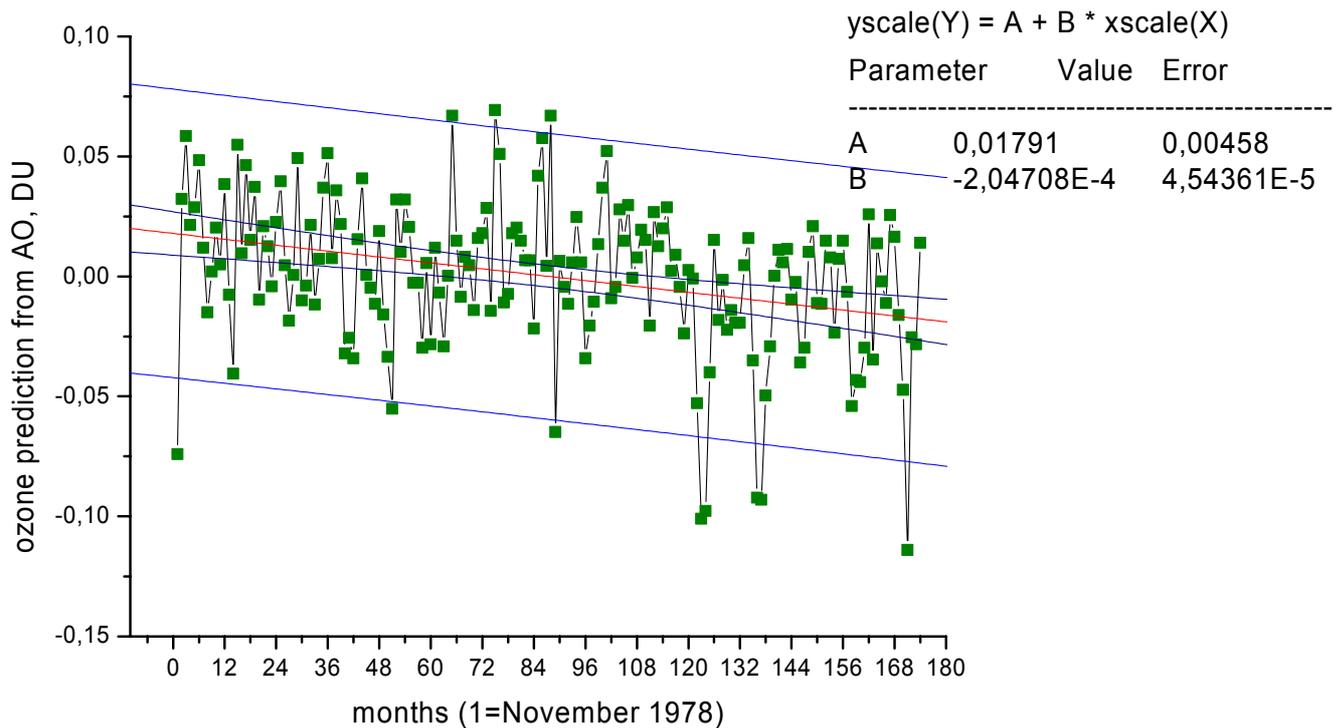


Рис.8а. Линейная регрессия “остатков” (приведенных на Рис.7а) с индексом Арктического Колебания и её линейные параметры.

Замечание №3 касается данных приведенных на рис.4.

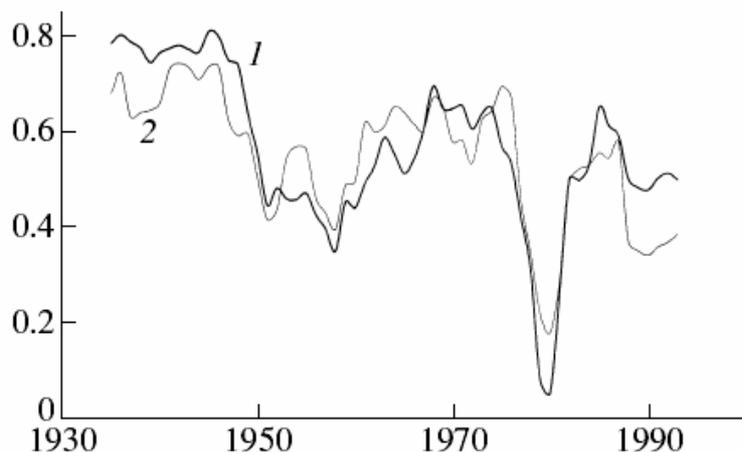


Рис. 4. Скользящие 17-летние коэффициенты корреляции (взяты с противоположным знаком) среднегодовых величин ОСО в Арозе с 1927 по 2001 гг. со средними за январь–март индексами АК (1) и САК (2). Значения коэффициентов соответствуют серединам 17-летних интервалов.

Хочу дополнить эти данные другими аналогичными результатами, взятыми из работы S. Bronnimann, J. Luterbacher, C. Schmutz, H. Wanner, J. Staehelin “Variability of total ozone at Arosa, Switzerland, since 1931 related to

Table 2. Correlation coefficients between total ozone anomalies at Arosa and four atmospheric circulation indices for all calendar months, winter, and summer (month-to-month and seasonal averages) from 1931 to 1997. Anomalies refer to 1931 to 1997 long-term monthly mean values. Coefficients are given as in Table 1.

	NAOI	AOI	EU1	EU2
January	-0.216	-0.544	*	*
February	-0.386	-0.499	*	*
March	-0.497	-0.588	*	*
April	*	*	*	*
May	*	*	0.439	0.286
June	*	*	0.221	*
July	*	*	0.285	*
August	*	*	0.462	0.385
September	-0.256	-0.205	0.540	0.214
October	*	-0.350	0.425	*
November	*	*	*	*
December	*	-0.345	*	*
Winter (monthly)	-0.238	-0.453	*	*
Summer (monthly)	*	-0.122	0.399	0.141
Winter (seasonal)	-0.467	-0.618	*	*
Summer (seasonal)	*	*	0.421	*

Можно видеть, во-первых, что коэффициенты корреляции озона с индексами NAO и AO заметно отличаются друг от друга (чего не наблюдается на рис.4), и что, во-вторых, максимальный коэффициент корреляции АО равен -0,618, а NAO - -0,497.

Замечание №4 касается утверждения, что отрицательный тренд озона в северном полушарии обусловлен также и солнечной активностью. Мои расчёты дают для предиктора солнечного цикла положительный тренд озона (в рассматриваемый период), равный 0,2% за 10 лет.

Замечание №5 о согласии полученных авторами данных с данными работы [9], в которой утверждается, что фреоны ни в чём не виноваты.

Если повнимательнее прочитать не только последнее, но и предпоследнее предложение абстракта этой статьи, то станет ясно, что расчёты И.Л.Кароля и др. доказывают как раз обратное - что именно фреоны и разрушали озон, чего авторы умудрились не понять. Цитирую абстракт статьи.

Приведены оценки влияния мер по ограничению производства хлорфторуглеводородов (ХФУ) Монреальского протокола и дополнений к нему (МПД), а также межгодовых вариаций циркуляции атмосферы на атмосферный озон. Представленные результаты получены с помощью трехмерной глобальной транспортно-фотохимической модели, использующей данные ассимиляционной системы Метеорологической службы Великобритании о состоянии ат-

мосферы, в 1990-х годах. Выделено заметное влияние вариаций атмосферной циркуляции на общее содержание озона в Северном полушарии. Полученные оценки показали, что введение МПД позволило сохранить к началу 2000 г. до 2% озона в Северном полушарии и до 5% в Южном. Расчеты также показывают, что ХФУ не играют определяющей роли в наблюдаемой межгодовой изменчивости озона.

Не буду обсуждать странность самой постановки задачи – попытка оценить влияние Монреальского протокола на озон к *2000 году*, при том, что Монреальский протокол действует всего несколько лет, а времена жизни фреонов составляют *50 – 100 лет* и более. Тем не менее чудесным образом было показано, что Монреальский протокол действует: он сохранил в Северном полушарии 2% озона (которые добавились бы к 4% потерянным ранее), а в Южном – 5% озона (которые добавились бы к 5% потерянным ранее). Другими словами, не будь Монреальского протокола – истощение озона к 2000 году в Северном полушарии увеличилось в полтора, а в Южном – в 2 раза! На основании этих данных авторы сделали вывод о непричастности фреонов к истощению озонового слоя (!?).

В действительности, если уж приводить аргументы в пользу или не в пользу фреонов, нужно посмотреть, что было бы с озоном, если бы уровень фреонов, скажем, 1970-го года не изменялся, а затем сравнить его с тем, что происходило в реальных условиях (т.е. при росте содержания фреонов).

Такие данные представлены на Figure 4-34, взятом с сайта <http://see.gsfc.nasa.gov/sees/strat/class/Chap4>

Данные говорят сами за себя, поэтому я не буду их комментировать. Но ещё раз подчеркну, что цитировать работу [9], якобы доказывающую непричастность фреонов к истощению озона, я бы не стал.

Других замечаний у меня нет.

Буду рад получить отклики на эти.

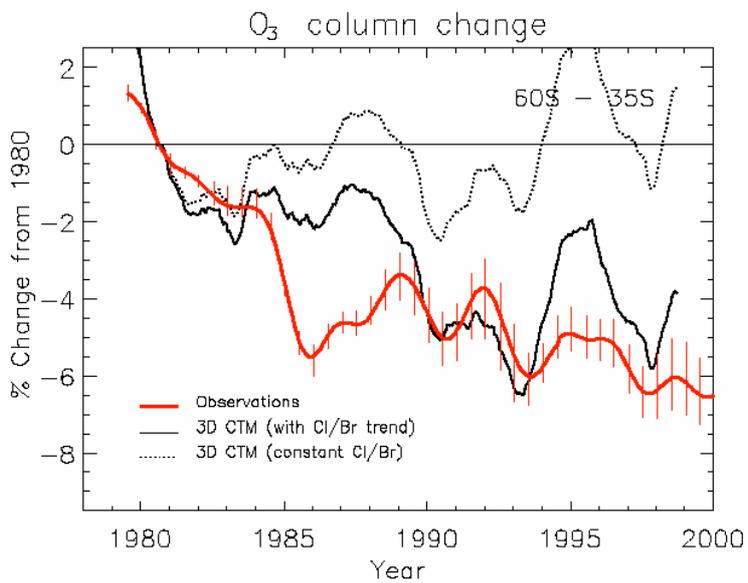
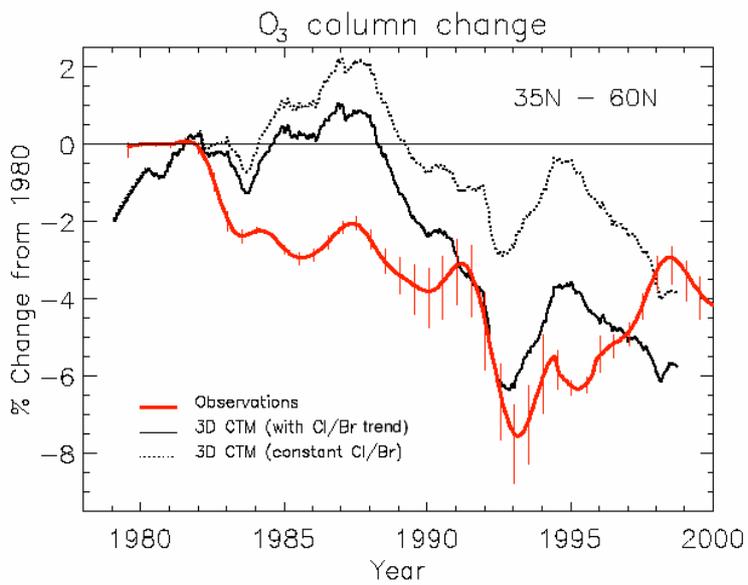


Figure 4-34. Time-series of column ozone change (% change from 1980) from the SLIMCAT 3-D CTM compared with observations (as in Figure 4-33) for 35°N-60°N (top) and 35°S-60°S (bottom). Results from two model simulations are shown: with a halogen trend and with constant (1979) halogen loading.