

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В ТБИЛИСИ В 1984-2003 ГГ.

Чихладзе В.А.

Институт геофизики им. М. Нодиа, 0193 Тбилиси, ул. М. Алексидзе 1.

Тропосферный озон увеличился и, в целом, продолжает непрерывно увеличиваться в определённых регионах мира вследствие эмиссии антропогенных предшественников озона. Однако, в разные периоды времени и в разных регионах мира скорости этого увеличения различны. Так, значительное увеличение количества приземного озона наблюдалось в Цугшпитце (Германия) (3000 м н.у.м.), где рост составлял 1,5% в год. Однако, за период 1970-ых и 1980 -ых годов, в первые 5 лет рост составил 3,06% в год, тогда, как в последние 5 лет этот рост составил всего 0,63 % в год. По результатам озонзондирования на станции в Хознпайсенберге в нижней и средней тропосфере наблюдался рост в течение 1970 -ых годов и в начале 1980-ых годов, а с середины 1980 -ых годов и в 1990-ые годы – незначительный рост. На горе Уайтфэйс в штате Нью-Йорк, где средний рост озона зафиксирован на уровне 0,45% в год, в последнее время наблюдается незначительное увеличение. Согласно данным станций мониторинга озона, в неурбанизированных районах США наблюдался незначительный тренд озона в 1980 – 1995 -ые годы [12], а озонозондирующие станции не показывают увеличения озона с 1980 -ых годов. Во всех остальных отдалённых наземных станциях в Северном полушарии, кроме станции Мауна-Лоа, Гавайи, где продолжается незначительное увеличение, примерно в 0,35% в год, с начала 1980 -ых рост не наблюдался. Такое же незначительное увеличение наблюдается в Южном полушарии на станциях мыс Пойнт в Южной Африке и мыс Грим в Австралии, а на Самоа он отрицателен .

На станции Аркона КПО выросла с 30 мкг/м³ (1955г) до 50 мкг/м³ (1980 г.), т.е. рост составил 0,9 мкг/м³ за год или примерно 3,9 % в год. Этот тренд дан с вероятностью P=95%. Наблюдённый максимум зафиксированных значений КПО составил >100 мкг/м³ и >160 мкг/м³ на всех станциях. По предположению автора, повышение КПО происходило вследствие фотохимического образования озона в тропосфере на месте из-за наличия большого количества CO₂, метана и других углеводородов в присутствии окислов азота (NO_x =NO₂ + NO), что по мнению автора является следствием роста антропогенного загрязнения атмосферы, в первую очередь автотранспортом [18].

Значительный рост тропосферного озона, равного 5 – 25 % в десятилетие, наблюдался в 1970 – 1996 годах над Европой (Хознпайсенберг, Пайерн, Уккл) и распространялся до уровня 300 мб над поверхностью. Бойков и Фиолетов [11], проанализировав тренд относительно местоположения тропопаузы, пришли к выводу, что рост над Хознпайсенбергом значителен на высоте 1 км над тропопаузой (здесь он локализуется на уровне между 200 и 250 мб). Данные по Японии показывают незначительное увеличение озона в 1970 – 1996 годах на уровне 5 – 15 % в десятилетие, основной - на уровне примерно 500 мб, только Кагошима даёт увеличение на 300 мб, что очевидно связано с тем, что она находится в субтропическом районе. Это не является очевидным для такого же увеличения над Северной Америкой, как это представлено в ВМО [19].

На востоке США (острова Валлопс) рост достигает всего 5% в десятилетие. Также не наблюдался рост в Канаде в 1970 – 1996 годах, здесь скорее идёт сокращение, тем не менее, канадские данные отличаются качеством [20]. Анализ проведён только для трёх станций, отобранных по качеству записи. Данные были использованы для программы WOUDC. Там наблюдаются большие вариации тренда в период 1980 – 1996 годов, по сравнению с периодом 1970 – 1996 годов в Европе. На станции Уккле нет значительного тренда, ещё меньший отрицательный тренд в Хознпайссенберге в средней тропосфере в 1980 – 1996 годах, только в Пайерне имеется положительный тренд до 10% в десятилетие. Имеются полные записи по тропосферным данным для Пайерна в 1980-ых годах [20]. Тренд в последнее время незначителен, так как основной рост озона приходится на период до 1985 года и величина озона с тех пор значительно не прибавилась. Две японские станции имеют рост 5 – 15% в десятилетие, но это не является главным, так как станция в Татено, у которой самые качественные записи, не показывает роста.

Канадские станции показывают уменьшение на 2 – 8% в десятилетие и они более надёжны, чем результаты 1970 – 1996 годов, потому что электрохимические ячейки зондов были использованы после 1980 –го года. Прежние данные канадских станций, использовавших электрохимические ячейки, показывают уменьшение [13; 15; 16]. Станция на острове Валлопс в США показывает незначительный положительный тренд, а в Боулдере имеет место понижение в средней тропосфере с 1980 –х годов примерно на 5% в десятилетие. Нет значительного тренда в Хило (Гавайи), примерно с 1982 года и в Лаудере, Новая Зеландия, с 1984 –го года. Олтманс и др. [15] обнаружили незначительный тренд в Хознпайссенберге, Боулдере, острове Валлопс, в Татено и Хило в 1979 – 1995 годах для средней тропосферы и это соответствует результатам других исследований, тогда как Бодекер и др [10] не обнаружили значительного тренда для Лаудера.

Согласно программам UNEP/WMO, было проведено исследование об исторических и современных измерениях озона в отдалённых районах Земли. Тренд тропосферного озона имеет региональный характер и особенно хорошо это прослеживается на обширной информации о количестве озона в Европе. Маренго и др. [14] проанализировали шёнбеновские измерения во Франции, в Пик дю Миди с 1874 по 1909 годы. Концентрация озона была стабильной в течение первых 20 лет, примерно на уровне 10 ррв, после этого она росла в течение следующих 15 лет примерно на 1,6% в год. Примерно такое же значение в 10 ррв получены на станции Монсюри в пригороде Парижа по данным наблюдений за 1876 – 1911 –ые годы количественным методом [17], несмотря на большое различие в высотах (Пик дю Миди находится на высоте порядка 3000 метров), то есть отсутствует высотный градиент. Проведя анализ данных по этим двум станциям, а также данных спорадических измерений по высокогорным станциям Европы за период 1933 - 1980 –ых годов, Маренго и др. [14] установили, что рост озона в течение 100 лет составил в среднем 1,6% в год. Современные измерения на Пик дю Миди дали примерно постоянные значения озона в период 1990 – 1993 годы. Олтманс и др. [15] сообщают о тренде озона в отдалённых районах, информация о количестве озона получена с помощью специально отобранных озонметрических станций с применением качественных технологий измерений.

В Грузии, как и в других странах мира, в последние годы отмечается положительный тренд концентрации приземного озона. Двадцатилетний ряд непрерывных наблюдений за КПО в Тбилиси дал возможность провести более детальный анализ изменчивости КПО в Тбилиси по сравнению с ранними исследованиями [1; 2; 3; 4; 5; 9; 10], а именно осуществить, как это принято в статистических исследованиях нестационарных процессов, выделение трендов и случайных составляющих из рядов наблюдений за КПО различного масштаба осреднения [7; 8]. Наличие автокорреляции является одним из признаков существования в рядах наблюдений трендов. На данном этапе исследований мы ограничились исследованиями временной регрессивной зависимости для среднемесячных значений КПО в Тбилиси в период с 1984 по 2003 гг, и анализом трендов для средних сезонных, полугодовых и годовых значений КПО для того же периода времени.

В Тбилиси в период с 1984 по 2003 гг (на 15 час.) до 1997-1998 гг происходил непрерывный рост КПО, после чего значения КПО стали несколько уменьшаться. Подобная изменчивость среднемесячных значений КПО хорошо прослеживается (за исключением летних месяцев) и на рис. 1 в качестве иллюстрации показана изменчивость среднемесячных значений концентрации приземного озона в Тбилиси в зимний сезон с 1984 по 2003 гг (на 15 часов), на которых изображены кривые временного хода КПО для каждого из зимних месяцев с фактическими данными и соответствующими им линиями регрессии. Коэффициенты уравнений регрессии, связывающих среднемесячные КПО со временем, представлены в таблице 1. В этой же таблице представлены значения коэффициентов детерминации, минимальная величина которого, в соответствии с критерием Фишера, для 20-летнего ряда наблюдений с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$, соответственно, составляет 0,197 и 0,315.

Изменчивость среднемесячных значений концентрации приземного озона в Тбилиси в зимний сезон с 1984 по 2003 гг (на 15 час)

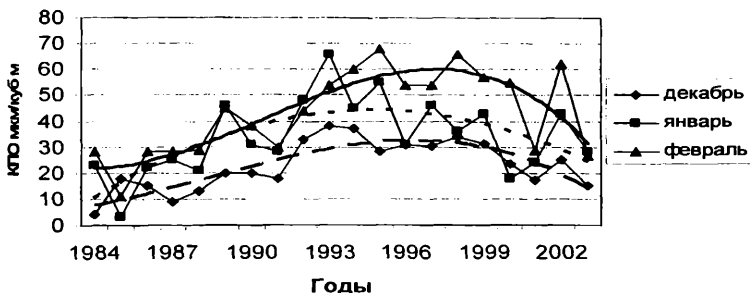


рис.1. Линии регрессии: декабрь - _____, январь - - - - - , февраль - - . - . - .

Таблица 1. Коэффициенты уравнений регрессии для временного хода среднемесячных значений концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2003 гг (на 15 час.)

$$\text{КПО} = d \cdot x^3 + c \cdot x^2 + b \cdot x + a, \quad (x = 1 \dots 20, \text{годы})$$

Месяц	d	C	b	a	R ²
Январь	0,0044	-0,432	8,1064	1,33	0,457
Февраль	-0,0325	0,7334	-1,1857	22,28	0,688
Март	-0,0497	1,109	-2,1284	32,7	0,757
Апрель	-0,0326	0,8313	-3,686	54,26	0,317
Май	-0,0358	1,0867	-8,104	68,64	0,389
Июнь			0,3073	53,5	0,0689
Июль			0,2761	51,96	0,0223
Август			0,3469	47,58	0,0385
Сентябрь	-0,0051	-0,0083	2,4106	35,2	0,337
Октябрь	-0,0332	0,9256	-5,637	39,82	0,474
Ноябрь	-0,0216	0,3567	1,9125	9,92	0,65
Декабрь	-0,0138	0,2206	1,52	5,91	0,73

Как следует из этой таблицы, за исключением летних месяцев, временной ход среднемесячных значений КПО для всех остальных 9 месяцев года в период с 1984 по 2003

гг достаточно удовлетворительно (α не хуже 0,01) описывается полиномом третьей степени. Для этих месяцев в линиях регрессии хорошо прослеживается рост среднемесячных значений КПО в первые 14-15 лет исследуемого периода, а затем спад в течение 5-6 последующих лет. Что касается летних месяцев, то в данном случае временная зависимость среднемесячных значений КПО выражена достаточно слабо.

Рассмотрим изменчивость внутригодичного хода КПО в Тбилиси в различные периоды времени. На рис. 2 и 3 представлены кривые этого внутригодичного хода для следующих периодов осреднения: 1984-1991 (время существования Советского Союза), 1992-2003 гг (постсоветский период), 1984-2003 гг (весь период) – рис. 2; 1984-1988 гг, 1989-1993 гг, 1994-1998 гг, 1984-2003 гг – рис. 3. Как следует из этих рисунков, максимум КПО в его внутригодичном ходе с течением времени постепенно перемещался от мая-июня к марту и обратно. В 1984-1988 гг максимум КПО в среднем отмечался в мае-июне ($54,8$ и $55,2$ $\text{мкг}/\text{м}^3$ соответственно), в 1989-1993 гг – в марте-апреле ($60,6$ и 60 $\text{мкг}/\text{м}^3$ соответственно), в 1994-1998 гг в марте (84 $\text{мкг}/\text{м}^3$), в 1999-2003 гг – в апреле-мае (по 63 $\text{мкг}/\text{м}^3$), за весь период наблюдений с 1984 по 2003 гг – в апреле (63 $\text{мкг}/\text{м}^3$), в советский период – 1984-1991 гг – в июне ($53,4$ $\text{мкг}/\text{м}^3$), в постсоветский период – 1992-2003 гг – в марте ($71,9$ $\text{мкг}/\text{м}^3$). Минимальные концентрации приземного озона во внутригодичном его ходе для всех периодов осреднения наблюдались в декабре и менялись в пределах от $11,2$ до $32,1$ $\text{мкг}/\text{м}^3$.

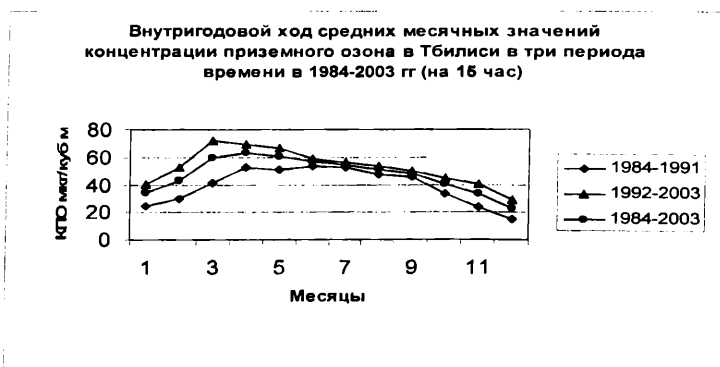


рис. 2



рис.3

Отметим, что подобное перемещение максимума КПО во внутригодовом ходе отмечается также для ряда Европейских станций [6].

Таблица 2 Внутригодовой ход среднемесячных значений КПО в Тбилиси, осредненный в два периода времени - 1992-2003 гг и 1984-1991 гг (мкг/м³)

Пер.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1992-2003	40,2	52,4	71,9	69,8	67,1	59,0	56,2	53,6	49,9	45,1	40,4	28,6
StDev	13,5	13,1	18,1	18,9	7,6	7,4	9,8	8,3	9,1	11,8	11,9	7,2
1984-1991	24,9	29,6	41,8	52,8	51,0	53,4	52,9	47,6	45,4	33,0	23,4	14,6
StDev	11,9	9,7	12,0	9,1	9,4	4,7	12,9	12,9	9,4	6,7	12,9	5,7
Разность	15,4	22,8	30,2	17,0	16,1	5,6	3,3	6,0	4,5	12,1	17,0	14,0
α по крит. t	0,02	0,00 01	0,00 01	0,02	0,00 2	0,05	незнач има	0,3	0,35	0,01	0,01	0,00 1

Из рис.1 и 2 также хорошо прослеживается динамика изменчивости внутригодового хода КПО с течением времени. Наибольший рост КПО приходится на зимние, весенние и осенние месяцы. Летом этот рост незначительный или незначимый. Для примера в таблице 2 представлены данные о внутригодовом ходе КПО в Тбилиси в советское время и в постсоветский период. Как следует из этой таблицы, наибольший рост КПО произошел в марте и феврале. С июня по сентябрь рост КПО незначительный или, в соответствие с критерием Стьюдента, незначимый.

Рассмотрим изменчивость средних КПО за сезон, полугодия и год в период с 1984 по 2003 гг. На данном этапе исследований ограничимся выделением тренда и случайной составляющей из указанных рядов наблюдений в соответствие со стандартными методами. Результаты этого анализа представлены на рис. 5 и в таблицах 3 и 4. Отметим, что подбор функций для тренда КПО осуществлялся путем одновременного анализа коэффициента детерминации R^2 , определяющего близость этой функции эмпирическим данным, и критерия Дарбина-Уотсона K_{dw} для остатков и определяющего степень случайности последних. Чтобы остатки не принимали отрицательных значений, к их значениям добавлялась абсолютная величина максимального отрицательного значения остатков. Соответственно от значений линии тренда эта величина вычиталась. Таким образом, минимальное значение остатков (или случайной составляющей) равно нулю. Линия же тренда сдвинута по оси ординат вниз на величину абсолютного значения максимальной отрицательной величины остатков. В целом сумма величин остатков и линии тренда в каждой точке наблюдения дает измеренное значение КПО.

В реальной атмосфере кроме тренда и случайной составляющей имеется еще и фоновая составляющая, которая должна быть постоянной во времени. К сожалению величина ее пока неизвестна. Поэтому, эта величина автоматически входит в тренд, так как минимум случайной составляющей по нашему определению равен нулю. Таким образом, в дальнейшем, под линией тренда будет подразумеваться сумма антропогенной и фоновой составляющих КПО. То есть, в дальнейшем, для простоты изложения будем употреблять термины - линия тренда-, или - антропогенная составляющая КПО.

Тренды средних КПО зимой, весной, осенью, в теплое и холодное полугодия, и за год, также как и для временного хода среднемесячных значений КПО, за исключением летнего сезона, вполне удовлетворительно описываются полиномами третьей степени (таблица 3), что наглядно видно на примере рис. 5. Для всех случаев выделения тренда имеется достаточно высокий коэффициент детерминации (R^2 меняется от 0,416 до 0,82 при минимально значимой величине равной 0,315 с уровнем значимости $\alpha = 0,01$) и критерий Дарбина-Уотсона, указывающий отсутствие автокорреляции в остатках (K_{dw} меняется от

1,76 до 2,6 при допустимом с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ диапазоне, составляющем 1,41-2,6). Что касается летнего сезона, то здесь тренда практически нет и можно говорить лишь о слабой незначимой тенденции роста КПО.

Таблица 3

Коэффициенты уравнений регрессии и линий тренда для временного хода среднесезонных, полугодовых и годовых значений концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2003 гг (на 15 час.)

Параметр	Зима	Весна	Лето	Осень	Теплый период	Холодный период	Год
R^2	0,692	0,637	0,064	0,674	0,416	0,82	0,743
Примечание	Минимальная величина коэффициента детерминации R^2 для 20-летнего ряда наблюдений с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ составляет 0,197						
$K_{дв}$	2,21	2,60	1,78	2,12	1,76	2,24	1,95
Примечание	Диапазон изменения величины критерия Дарбина-Уотсона $K_{дв}$ для 20-летнего ряда наблюдений с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ находится в пределах 1,41- 2,6.						
Коэффициенты уравнения регрессии вида: $KPO = d*x^3 + c*x^2 + b*x + a$, ($x = 1.....20$, годы)							
d	-0,014	-0,038		-0,019	-0,015	-0,024	-0,020
c	0,164	0,983		0,409	0,383	0,486	0,436
b	2,898	-4,431	0,310	-0,341	-1,710	0,390	-0,692
a	9,78	51,55	51,05	28,29	51,74	18,78	35,46
a - для линии тренда	-2,17	34,77	35,14	12,84	41,69	7,22	26,50
Доверительный интервал для коэффициентов уравнения регрессии CONF 95% (+/-)							
d	0,024	0,030		0,019	0,019	0,018	0,016
c	0,756	0,963		0,609	0,606	0,590	0,512
b	6,921	8,818	0,588	5,578	5,547	5,399	4,689
a	17,20	21,91	7,04	13,86	13,79	13,42	11,65
Нижний уровень доверительного интервала для коэффициентов уравнения регрессии CONF_L							
d	-0,037	-0,069		-0,038	-0,034	-0,043	-0,036
c	-0,592	0,020		-0,201	-0,223	-0,104	-0,076
b	-4,023	-13,248	-0,278	-5,919	-7,258	-5,009	-5,381
a	-7,42	29,63	44,01	14,43	37,95	5,36	23,81
Верхний уровень доверительного интервала для коэффициентов уравнения регрессии CONF_U							
d	0,010	-0,008		0,000	0,004	-0,006	-0,004
c	0,920	1,946		1,018	0,989	1,076	0,948
b	9,820	4,387	0,897	5,237	3,837	5,789	3,997
a	26,98	73,46	58,09	42,15	65,52	32,20	47,12

В качестве примера рассмотрим подробнее рис. 5 и 6. На рис. 5 представлена линия тренда и случайной составляющей среднего значения КПО за год. Минимум антропогенной составляющей КПО наблюдался в 1984 г. и составлял $26,2 \text{ мкг/м}^3$, максимум – в 1997 г., - $48,2 \text{ мкг/м}^3$, амплитуда – 22 мкг/м^3 , средняя скорость роста за указанный промежуток

времени составила примерно $1,7 \text{ мкг/м}^3$ в год, в 2003 г. антропогенная составляющая КПО составила $29,5 \text{ мкг/м}^3$.

На рис. 6 представлена линия тренда и случайной составляющей соотношения между средними значениями КПО в теплое и холодное полугодие. Минимум антропогенной составляющей этого соотношения наблюдался в 1996 г. и составлял 68,8%. В 1984 г. это соотношение составляло 208,2 %, а в 2003 г – 141,8%.

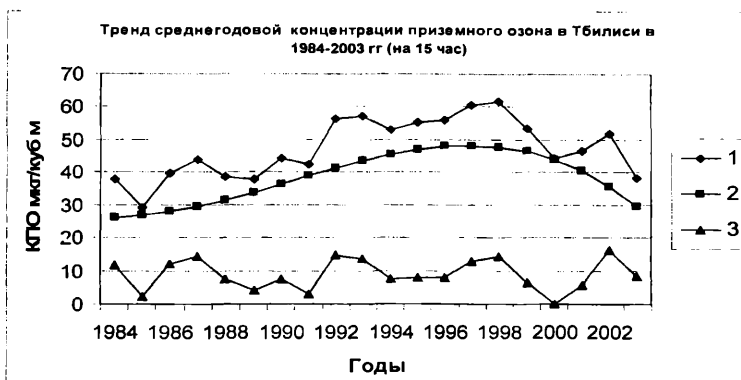


Рис. 5. 1 - Наблюдаемые значения, 2 - линия тренда , 3 - случайная и осциляционная составляющая

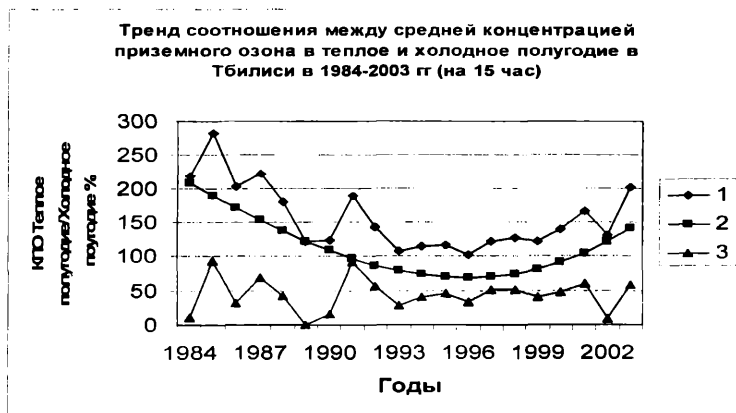


Рис 6. 1 – средняя КПО в тёплое полугодие, 2 – соотношение КПО, 3 - средняя КПО в холодное полугодие.

Таким образом, за истекший 20-летний период в период с 1984 до 1996-1998 гг происходил интенсивный рост антропогенной составляющей КПО для всех сезонов года (кроме лета), периодов года и за год в целом. В последующие годы значения КПО стали убывать. Наибольшая скорость роста антропогенной составляющей КПО от минимальных значений до максимальных происходила зимой, весной и в холодный период года

(соответственно 2,7; 2,8 и 2,4 мкг/м³ в год). Осенью, теплый период года и, в целом, за год скорость этого роста ниже и соответственно составляла 1,7; 1,1 и 1,7 мкг/м³ в год.

Различная скорость роста антропогенной составляющей КПО в различные периоды года обусловлена уменьшением со временем соотношения между этими составляющими в теплый и холодный периоды года с 208,2 % в 1984 г до 68,8% в 1996 г.

Таким образом, в различных регионах и в различное время скорость роста тропосферного (в том числе и приземного) озона различна. По нашим данным, скорость роста среднегодовой антропогенной составляющей КПО по отношению к ее минимальному значению в период с 1984 по 1997 гг составляла 6,5 % в год, а по отношению к среднему – 4,5 % в год. Этот рост выше, чем в указанных выше регионах, но и периоды наблюдений различны. Учитывая, что в последнее время идет некоторый спад КПО, о долговременных тенденциях ее изменчивости в Тбилиси пока говорить рано.

Таблица 4. Статистические характеристики осредненных за различные промежутки времени среднесезонных, полугодовых и годовых значений концентрации приземного озона в Тбилиси в период с 1984 по 2003 гг (мкг/м³, данные на 15 час.). 1 – измеренные значения, 2 – антропогенная и фоновая составляющая, 3 – случайная составляющая, 4 – доля случайной составляющей от измеренных значений (%).

Характ.		Mean							St Dev						
Сезон	Параметр	1984 - 1988	1989 - 1993	1994 - 1998	1998 - 2003	1984 - 1991	1992 - 2003	1984 - 2003	1984 - 1988	1989 - 1993	1994 - 1998	1998 - 2003	1984 - 1991	1992 - 2003	1984 - 2003
Зима	1	18,5	37,3	45,0	33,2	23,0	40,4	33,5	4,54	10,7	4,38	10,1	7,85	9,56	13,3
	2	7,7	24,1	32,3	21,8	12,8	27,3	21,5	5,48	4,5	0,74	7,35	8,36	6,72	10,4
	3	10,9	13,3	12,5	11,2	10,3	13,1	12,0	4,73	8,99	4,50	9,57	6,13	7,28	6,63
	4	59,0	35,6	27,8	33,6	44,7	32,3	35,7							
Весна	1	48,3	58,9	76,0	61,4	48,5	69,6	61,2	8,68	14,5	7,31	12,9	7,11	11,6	12,7
	2	30,6	42,6	57,7	46,8	33,7	51,6	44,4	1,28	5,97	2,53	10,6	4,80	8,55	8,84
	3	17,8	16,4	18,1	14,8	15,0	18,0	16,8	8,00	10,5	5,50	12,0	8,01	9,24	8,42
	4	36,9	27,8	23,8	24,1	30,9	25,8	27,4							
Лето	1	52,3	54,2	55,9	54,6	51,3	56,3	54,3	6,72	10,9	5,03	7,46	8,45	6,05	8,22
	2	36,1	37,6	39,2	40,7	36,5	39,6	38,4	0,49	0,49	0,49	0,49	0,76	1,12	1,03
	3	16,3	16,6	16,6	14,1	14,8	16,6	15,9	6,59	10,6	4,48	7,22	8,46	6,18	8,00
	4	31,2	30,6	29,7	25,8	28,9	29,5	29,3							
Осень	1	32,1	39,9	52,4	38,2	33,9	45,1	40,6	5,90	6,16	5,65	8,42	6,11	9,19	7,25
	2	15,4	26,2	34,2	24,9	18,6	29,6	25,2	2,45	3,82	0,91	7,24	4,91	6,28	7,09
	3	16,9	13,9	18,0	13,3	15,4	15,5	15,5	4,08	3,91	5,01	8,18	4,56	6,24	3,98
	4	52,3	34,5	34,3	34,9	45,4	34,3	38,0							
Теплый период	1	51,6	54,3	61,6	55,6	50,5	59,3	55,8	6,32	9,46	5,85	3,89	6,23	5,58	7,40
	2	40,1	44,9	51,0	47,2	41,3	48,8	45,8	0,51	2,38	1,07	3,99	1,92	3,20	3,53
	3	11,5	9,3	10,8	8,6	9,2	10,6	10,0	6,08	7,22	5,22	4,34	6,24	5,08	6,13
	4	22,3	17,1	17,5	15,5	18,0	18,0	18,0							
Холодный период	1	24,0	40,9	53,1	38,1	27,9	46,5	39,0	5,17	10,1	2,64	8,93	7,18	9,48	12,2
	2	12,2	28,8	40,1	28,2	17,4	34,1	27,4	4,09	5,40	1,30	9,36	7,54	8,05	10,5
	3	11,4	12,0	12,9	10,0	10,4	12,3	11,6	4,11	7,26	1,70	7,48	5,36	5,39	5,29
	4	47,3	29,4	24,3	26,2	37,5	26,5	29,6							
Год	1	37,8	47,6	57,3	46,8	39,2	52,9	47,4	5,43	8,65	3,77	6,09	4,88	6,85	8,67
	2	28,3	38,7	47,3	39,2	31,3	43,1	38,4	2,15	3,85	1,13	6,75	4,62	5,67	6,90
	3	9,7	8,7	10,1	7,4	7,9	9,7	9,0	4,84	5,27	3,12	5,91	4,55	4,73	4,58
	4	25,6	18,3	17,7	15,8	20,3	18,3	18,9							

Обратимся к таблице 4, в которой представлены статистические характеристики усредненных за различные промежутки времени среднесезонных, полугодовых и годовых значений измеренных концентраций приземного озона, а также ее антропогенной и случайной составляющих в Тбилиси в период с 1984 по 2003 гг. Следует отметить, что за все указанные периоды усреднения вариации случайной составляющей КПО незначительны.

Так, в среднем по пятилеткам, в зимний сезон изменчивость случайной составляющей КПО происходит в диапазоне 3,3-10,9 мкг/м³, весной от 18,1 до 14,8 мкг/м³, летом в пределах 16,6-14,1 мкг/м³, осенью от 18,0 до 13,3 мкг/м³, в теплое полугодие в пределах 11,5-8,6 мкг/м³, в холодное полугодие - 12,9-10,0 мкг/м³, в среднем в год от 10,1 до 7,4 мкг/м³.

В среднем в период с 1984 по 2003 гг случайная составляющая КПО составляла: зимой - 12 мкг/м³, весной - 16,8 мкг/м³, летом - 15,9 мкг/м³, осенью - 15,5 мкг/м³, в теплое полугодие - 10 мкг/м³, в холодное полугодие - 11,6 мкг/м³, в среднем в год - 9 мкг/м³. За этот же период времени антропогенная составляющая КПО составляла: зимой - 21,1 мкг/м³, весной - 44,4 мкг/м³, летом - 38,4 мкг/м³, осенью - 25,2 мкг/м³, в теплое полугодие - 45,8 мкг/м³, в холодное полугодие - 27,4 мкг/м³, в среднем в год - 38,4 мкг/м³.

При примерно равных значениях случайной составляющей КПО ее антропогенная составляющая в 1984-1991 гг и в 1992-2003 гг., соответственно, составляла: зимой - 12,8 и 27,3 мкг/м³, весной - 33,7 и 51,6 мкг/м³, летом - 14,8 и 16,6 мкг/м³ (практически не изменилась), осенью - 18,6 и 29,6 мкг/м³, в теплое полугодие - 41,3 и 48,8 мкг/м³, в холодное полугодие - 17,4 и 34,1 мкг/м³, в среднем в год - 31,3 и 43,1 мкг/м³.

В период с 1984 по 2003 гг в среднем доля случайной составляющей КПО от измеренных значений, соответственно, составляла: зимой - 35,7%, весной - 27,4%, летом - 29,3%, осенью - 38%, в теплое полугодие - 18%, в холодное полугодие - 29,6%, в среднем в год - 18,9%. В 1984-1991 гг и в 1992-2003 гг эти доли, соответственно, составляли: зимой - 44,7 и 32,3%, весной - 30,9 и 25,8%, летом - 28,9 и 29,5% (практически неизменность), осенью - 45,4 и 34,3%, в теплое полугодие - 18 и 18%, в холодное полугодие - 37,5 и 26,5%, в среднем в год - 20,3 и 18,3%.

Эти данные наглядно демонстрируют роль фотохимических процессов в образовании приземного озона в Тбилиси - в теплое полугодие доля случайной составляющей КПО от ее суммарной концентрации значительно ниже, чем в холодное. При этом интересно отметить, что за два указанных промежутка времени (советский и постсоветский периоды) в последний период зимой, весной, осенью и в холодное полугодие доли случайной составляющей КПО от ее суммарного значения заметно уменьшились. По всей вероятности в постсоветское время в указанные сезоны и периоды года в условиях с относительно невысоким уровнем солнечной радиации и слабым турбулентным перемешиванием возросла роль фотохимических процессов в образовании озона из-за его меньшего расхода на образование вторичных аэрозолей из окислов азота и серы и окисления антропогенных частиц пыли, содержание которых в воздухе уменьшилось в результате спада промышленного производства. В лений период и в теплое полугодие эти процессы могут нивелироваться повышенной турбулентностью, рассеивающей образовавшийся озон. Хотя могут быть и иные причины этих эффектов, детальный анализ которых - предмет наших дальнейших натуральных и модельных исследований.

Литერატურა

1. თაყვარელიძე კ., ბეგალიშვილი ნ., ხარჩილავა ჯ., მუმლაძე დ., ამირანაშვილი ა., ვაჩნაძე ჯ., შენგელია ი., ამირანაშვილი ვ. - ჰაერის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში. ჰაერის განმსაზღვრელი ზოგიერთი პარამეტრის რეჟიმი და მისი ცვალებადობა, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, მონოგრაფია, 1-100 (გადაცემულია დასაბუჯდად).

2. ხარჩილავა ჯ., ლოქაფიშვილი მ. - ტროპოსფერული ოზონის ვარიაციები საქართველოში, სამეცნიერო სესია "ჰაერის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში", თბილისი, მეცნიერება, 1998, 21-23.
3. Amiranashvili A.G. – National Report on ongoing and planned ozone research and monitoring and on calibration and archiving of measurements in Georgia, Report of the 5th meeting of the ozone research managers of the parties to the Vienna Convention for the protection of the ozone layer, Geneva, March 25-27, 2002, 12, 83-85.
4. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Gzirishvili T., Gunia G., Intskirveli L., Kharchilava J. - Variations of the Weight Concentrations of Dust, Nitrogen Oxides, Sulphur Dioxide and Ozone in the Surface Air in Tbilisi., Proc. 15th Int. Conf. on Nucleation and Atmospheric Aerosols, Rolla, Missouri, USA, 2000, August, 6-11, AIP, Conference Proc., vol. 535, Melville, New York, 2000, 793-795.
5. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. – Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures, Institute of Geophysics, Monograph, 1-128, (in press).
6. Girgzdene R., Girgzdis A. – The Estimation of the Ozone Level in the Heat-Resort and Recreation Areas of Lithuania During 1989-2002, Сб. докл. 3-ей Межд. конф. "Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов", Кисловодск, 21-24 апреля 2003, 20-21.
7. Ферстер Э., Ренц Б. – Методы корреляционного и регрессионного анализа, М., Финансы и статистика, 1983, 1-303.
8. Харчилава Д.Ф., Амиранашвили А.Г. – Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии, Результаты исследований по международным геофизическим проектам, Москва, МГК, 1988, 1-114.
9. Харчилава, Дж.Ф., Амиранашвили А.Г., Локапишвили М.Г. - Временная вариация концентрации приземного озона в городской и сельской местности , Тр. Симпозиума «Взаимосвязь региональных и глобальных процессов в атмосфере и гидросфере, 15 – 18 ноября 1988, г. Тбилиси , Тбилиси, Мецниереба, 1988.
10. Bodeker G.E., Boyd I.S. and Matthews W.A. - Trends and variability in vertical ozone and temperature profiles measured by ozonozondes at Lauder, New Zealand, J. Geophys. Res., 1998 , (submitted).
11. Bojkov, R.D. , Fioletov F. - Changes of the lower stratospheric ozone over Europe and Canada, J. Geophys. Res., 102, 1997, 1337 – 1347.
12. Fiore A.M., Jacob D.J., Logan J.A. , Yin J.A. - Long-term trends in ground level ozone over the contiguous United States: 1980 – 1995, J. Geophys. Res., 102, 1998 , 1471 – 1480.
13. Logan, J.A.- Trends in the vertical distribution of ozone: An analysis of ozone sonde data, J. Geophys. Res., 99, 1994, 25553 – 25585.
14. Marengo, A. Gouget H., Nedelec P., Pages J.P. , Karcher F. - Evidence of a long-term increase in tropospheric ozone from Pic du Midi data series, Consequences: Positive Radiative forcing, J. Geophys. Res., 99, 1994, 16617 – 16632. .
15. Oltmans S.J., Lefohn A.S., Scheel H.E., Harris J.M., Levy H., Galbally I.E., Brunke E.G., Mtytr C.P., Lathrop J.A., Johnson B.J., Shadwick D.S., Cuevas E., Schmidlin F.J., Tarasick D.W., Claude H., Kerr J.B., Uchino O., Mohnen V. - Trends of ozone in the troposphere, Geophys. Res. Lett., 125, 1998, 139 – 142.
16. Tarasick, D.W., Wardle D.I., Kerr J.B., Bellefleur J.J., Davis J. - Tropospheric ozone trends over Canada: 1980 – 1993, Geophys. Res. Lett., 22, 1995 , 409 – 412.
17. Volz A., Kley - Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century, Nature, 332, 1988, 240 – 242.
18. Warmbt W. - Results of long-term measurements of near-surface ozone in the GDR . A contribution to actual problems on tropospheric ozone. Рабочее совещание по исследованию атмосферного озона (Тбилиси, 23 – 27 ноября 1981 г.), Тбилиси, Мецниереба, 1982.

19. WMO (World Meteorological Organization), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994, Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No 37, Geneva, 1995.
20. WMO (World Meteorological Organization), Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 43, Geneva, 1998.

ქ. თბილისში 1984-2003 წლებში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ცვალებადობის ანალიზი

ვ. ჩიხლაძე

რეზიუმე

ჩატარებულია ქ. თბილისში 1984-2003 წლებში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის საშუალო თვიური მნიშვნელობების ცვალებადობის დროითი რეგრესიული დამოკიდებულების გამოკვლევა. გამოყოფილია და გაანალიზებულია მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის საშუალო წლიური, ნახევარწლიური, და სეზონური მნიშვნელობების ტრენდები.

Анализ изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2003 г

Чихладзе В.А.

Реферат

Проведены исследования временной регрессивной зависимости для среднемесячных значений КПО в Тбилиси в период с 1984 по 2003 гг, Выделены и проанализированы тренды для средних сезонных, полугодовых и годовых значений КПО для того же периода времени.

Investigation of variability of surface ozone concentration in Tbilisi in 1984-2003

V. Chikhladze

Abstract

Temporal regression dependence of monthly mean values of surface ozone concentration (SOC) in Tbilisi, 1984-2003, have been carried out. Seasonal, semi annual and annual trends of SOC have been revealed.