
**НЕКОТОРЫЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО
МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА (КПО), ИНТЕНСИВНОСТИ
СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ В ВОЗДУХЕ
СУБМИКРОННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ТБИЛИСИ В 2009-2010 Г**

**Амираишвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Никофоров Г.В., Нодиа А.Г.,
Харчилава Д.Ф., Чанкветაძე А.Ш., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М., Чхაიძე Г.П.**

Институт геофизики им. М.Нодиа. E-mail: avto_amiranashvili@hotmail.com

Введение

В верхних слоях атмосферы озон присутствует естественно (озоновый слой), и это — преимущество, защищающее Землю от опасного ультрафиолетового излучения. Ниже озон является загрязнителем, он вредит здоровью людей, природе, естественным и искусственным строительным материалам. Формирование приземного озона — косвенное последствие загрязнения, которое вызывают машины. Он получается в результате фотохимических реакций, в которых участвуют оксиды азота и углеводороды, выбрасываемые автомобилями. Озон — один из основных составных компонентов фотохимического смога, который влечёт глазные заболевания, головные боли, кашель, лёгочные заболевания и др. Наиболее подвержены негативному воздействию астматики и дети. Количество приземного озона в северном полушарии по сравнению с прошлым столетием удвоилось [1 - 4].

Систематические исследования КПО в Тбилиси начались ещё в 1980 году [5]. В дальнейшем эти работы значительно расширились, что нашло отражение в большом количестве публикаций [1,5 – 8 и др.]. В этих работах были подробно проанализированы годовые, полугодовые, сезонные и суточные вариации концентрации приземного озона в г. Тбилиси и других районах Грузии. С 2009 года в рамках гранта GNSF/ST08/5-437 начались более детальные исследования КПО в Тбилиси в комплексе с другими факторами, влияющими на вариации концентрации приземного озона и образование фотохимического смога. В данной работе приведены данные ежедневных наблюдений (включая выходные дни) КПО в Тбилиси в период с 1 июня 2009 по 31 мая 2010 гг. Также рассмотрены связи КПО с интенсивностью суммарной солнечной радиации и содержанием субмикронных аэрозолей в приземном слое воздуха. На данном этапе исследований анализ данных проведен без учета погодных условий.

Методика исследования

Мониторинг КПО, интенсивности суммарной солнечной радиации и концентрации субмикронных аэрозолей проводился на территории термобарокамеры Института геофизики. Концентрация приземного озона измерялась с помощью электрохимического озонметра типа OMC-200 непрерывно в дневное время суток. В работе приведены часовые значения КПО. Содержание общего количества субмикронных аэрозолей диаметром ≥ 0.1 мкм измерялось с использованием прибора ФАН, работающего в счетном режиме, 4 раза в день, в 9, 12, 15 и 18 час (в зимнее время – в 17 час). Указанные измерения проводились на высоте 3 этажа термобарокамеры (8 метров над уровнем почвы, 41.754° с.ш., 44.927° в.д. высота 450 м над ур. моря). Интенсивность суммарной солнечной радиации измерялась с помощью пиранометра М-80М каждый час в 9,5 ... 18,5 час. Зимой эти измерения заканчиваются по окончании светового дня. Пиранометр установлен на башне термобарокамеры (высота 40 метров над уровнем земли) и

закрыт специальным защитным колпаком, который дистанционно из лаборатории мониторинга открывался во время измерений.

Результаты

1. Статистические характеристики концентрации приземного озона

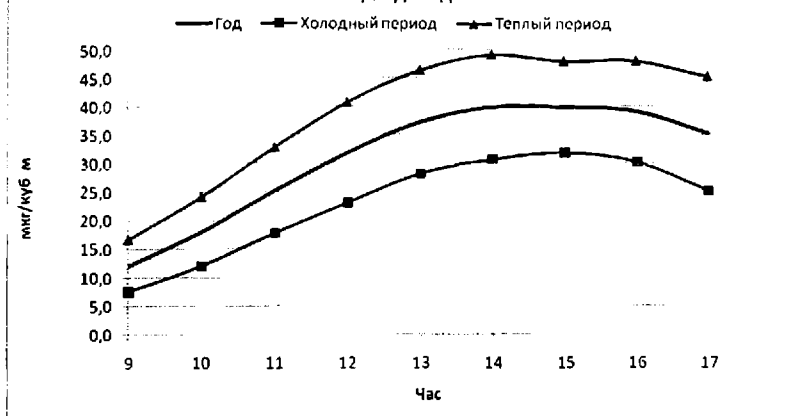
Данные о статистических характеристиках КПО приведены в таблице 1 и на рис. 1 – 3.

Таблица 1

Статистические характеристики концентрации приземного озона с 9 до 17 час в Тбилиси в три периода года (1.06.2009 – 31.05.2010). КПО – мкг/м³.

Время	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Год								
Среднее	12.1	18.0	25.2	31.9	37.2	39.9	39.9	39.1	35.3
Уравнение регрессии	КПО = 0.0185·x ⁴ - 1.0325·x ³ + 20.406·x ² - 165.39·x + 479.23, (R ² = 0.9994)								
Мин	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Макс	73	83	93	101	155	162	152	166	152
Вар. размах	73	83	93	101	155	162	151	166	152
Медиана	9	14	23	31	36	38	39	38	33
Мода	1	1	2	25	33	36	35	43	37
Ст. откл.	12.3	15.9	18.9	21.4	23.3	24.6	23.3	24.8	24.9
Ст. ошиб.	0.65	0.84	1.00	1.13	1.23	1.30	1.23	1.31	1.31
Козфф. вар. (%)	101.5	88.2	75.0	67.1	62.6	61.6	58.4	63.3	70.4
Число случ.	360	360	360	360	360	359	360	360	360
Довер. инт. 95%(+/-)	1.3	1.6	2.0	2.2	2.4	2.5	2.4	2.6	2.6
	Холодный период (октябрь-март)								
Среднее	7.5	11.9	17.7	23.0	28.1	30.6	31.8	30.2	25.2
Уравнение регрессии	КПО = 0.0054·x ⁴ - 0.391·x ³ + 8.99·x ² - 78.806·x + 238.28, (R ² = 0.9996)								
Мин	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Макс	65	70	75	79	78	85	87	81	88
Вар. размах	65	70	75	79	78	85	86	81	88
Медиана	3	7	11	17	27	29	31	30	20
Мода	1	1	2	2	2	3	2	5	2
Ст. откл.	10.3	14.5	17.6	19.8	20.6	21.3	21.5	22.0	21.3
Ст. ошиб.	0.77	1.09	1.32	1.48	1.55	1.60	1.61	1.65	1.59
Козфф. вар. (%)	137.2	121.2	99.4	85.9	73.4	69.5	67.7	72.8	84.4
Число случ.	179	179	179	179	179	178	179	179	179
Довер. инт. 95%(+/-)	1.5	2.1	2.6	2.9	3.0	3.1	3.2	3.2	3.1
	Теплый период (апрель-сентябрь)								
Среднее	16.6	24.1	32.7	40.6	46.2	49.0	47.9	47.9	45.3
Уравнение регрессии	КПО = 0.0313·x ⁴ - 1.6596·x ³ + 31.547·x ² - 249.74·x + 713.42, (R ² = 0.9986)								
Мин	0	0	1	3	2	4	4	3	4
Мах	73	83	93	101	155	162	152	166	152
Вар. размах	73	83	92	98	153	158	148	163	148
Медиана	14	21	30	38	41	44	43	43	40
Мода	7	11	23	25	35	33	35	40	33
Ст. откл.	12.4	15.0	17.2	19.3	22.3	24.2	22.2	24.3	24.2
Ст. ошиб.	0.93	1.12	1.28	1.44	1.66	1.80	1.66	1.81	1.80
Козфф. вар. (%)	74.7	62.2	52.6	47.4	48.2	49.4	46.5	50.6	53.4
Число случ.	181	181	181	181	181	181	181	181	181
Довер. инт. 95%(+/-)	1.8	2.2	2.5	2.8	3.3	3.5	3.2	3.5	3.5

Рис. 1 Дневной ход средних значений КПО в Тбилиси в три периода года



Годовые данные. Средняя КПО менялась от 12.1 мкг/м³ в 9 час, до 39.9 мкг/м³ в 14 и 15 час, при среднем значении 31.0 мкг/м³; минимальное значение КПО составляло 0 – 1 мкг/м³, максимальное значение КПО и вариационный размах менялись от 73 мкг/м³ в 9 час до 166 мкг/м³ в 16 час при средненежном значении 126 мкг/м³; медианное значение КПО менялось от 9 мкг/м³ в 9 час до 39 мкг/м³ в 15 час при средненежном значении 28.8 мкг/м³; стандартное отклонение – от 12.3 мкг/м³ в 9 час до 24.9 мкг/м³ в 17 час при средненежном значении 21.0 мкг/м³; коэффициент вариации – от 58.4 % в 15 час до 101.5 % в 9 час при средненежном значении 72.0 %. Максимум КПО наблюдается в 16 часов.

Холодный период. Средняя КПО менялась от 7.5 мкг/м³ в 9 час, до 31.8 мкг/м³ в 15 час, при среднем значении 22.9 мкг/м³; минимальное значение КПО составляло 0 – 1 мкг/м³, максимальное значение КПО и вариационный размах менялись от 65 мкг/м³ в 9 час до 88 мкг/м³ в 17 час при средненежном значении 79 мкг/м³; медианное значение КПО менялось от 3 мкг/м³ в 9 час до 31 мкг/м³ в 15 час при средненежном значении 19.4 мкг/м³; стандартное отклонение – от 10.3 мкг/м³ в 9 час до 22.0 мкг/м³ в 16 час при средненежном значении 18.8 мкг/м³; коэффициент вариации – от 67.7 % в 15 час до 137.2 % в 9 час при средненежном значении 90.2 %. Максимум КПО наблюдается в 17 часов.

Теплый период. Средняя КПО менялась от 16.6 мкг/м³ в 9 час, до 49.0 мкг/м³ в 14 час, при среднем значении 38.9 мкг/м³; минимальное значение КПО составляло 0 – 4 мкг/м³, максимальное значение КПО менялось от 73 мкг/м³ в 9 час до 166 мкг/м³ в 16 час при средненежном значении 126 мкг/м³; вариационный размах менялся от 73 мкг/м³ в 9 час до 163 мкг/м³ в 16 час при средненежном значении 124 мкг/м³; медианное значение КПО менялось от 14 мкг/м³ в 9 час до 44 мкг/м³ в 14 час при средненежном значении 34.9 мкг/м³; стандартное отклонение – от 12.4 мкг/м³ в 9 час до 24.3 мкг/м³ в 16 час при средненежном значении 20.1 мкг/м³; коэффициент вариации – от 46.5 % в 15 час до 74.7 % в 9 час при средненежном значении 53.9 %. Максимум КПО наблюдается в 16 часов.

Уравнения регрессии, описывающие дневной ход для всех указанных периодов, хорошо аппроксимируются полиномом четвертой степени (коэффициенты детерминации близки к 1). В качестве иллюстрации на рис. 1 приведен дневной ход КПО для указанных периодов года. Отметим, что расчетные кривые практически сливаются с экспериментальными.

Рис. 2 Повторяемость часовых значений КПО в Тбилиси в три периода года

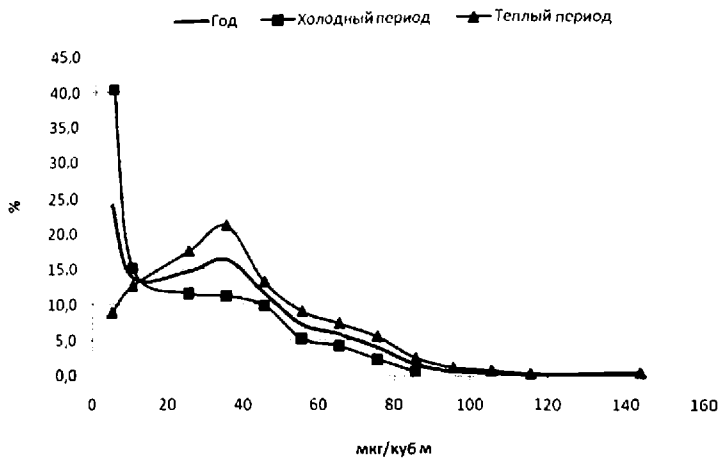
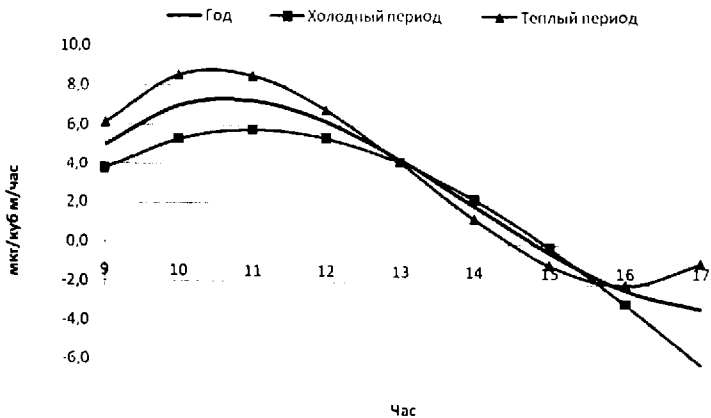


Рис. 3 Дневной ход средней скорости изменения значений КПО в Тбилиси в три периода года



На рис. 2 представлена повторяемость часовых значений КПО в Тбилиси за год, а также в холодное и теплое полугодия. Как следует из этого рисунка, повторяемость КПО для всех указанных периодов года не является нормальной. По годовым данным, наибольшая повторяемость КПО приходится на диапазон (0 - 10) мкг/м³ и составляет 24.0 %, с экстремумом в диапазоне (31 - 40) мкг/м³ – 16.2%. Для холодного периода наибольшая повторяемость КПО также приходится на диапазон (0 - 10) мкг/м³ и составляет 40.3 %, однако экстремумов нет. Для теплового периода наибольшая повторяемость КПО приходится на диапазон (31 - 40) мкг/м³ и составляет 21.0 %. По годовым данным значения КПО более 50 мкг/м³ наблюдаются в 19.8 % случаев, более 80 мкг/м³ – в 2.9 % случаев, более 100 мкг/м³ – в 0.77 % случаев.

На рис. 3 представлен дневной ход скорости изменений КПО в Тбилиси для трех периодов года. Как следует из этого рисунка, для всех указанных периодов года наибольшая скорость роста КПО наблюдается в дополуночные часы. По годовым данным эта скорость составляет 7.0-7.2 мкг/м³/час в промежутке времени от 10 до 11 час, для холодного полугодия – 5.3-5.8 мкг/м³/час в промежутке времени от 10 до 12 час, и для теплового полугодия – 8.5 мкг/м³/час в промежутке времени от 10 до 11 час. После 15 час скорость роста КПО меняет знак на обратный и по годовым данным наибольшая скорость убывания КПО наблюдается в 17 час (-3.2 мкг/м³/час), по данным для холодного периода года – также в 17 час (-6.0 мкг/м³/час), и по данным за теплое полугодие – в 16 час (-2.0 мкг/м³/час).

2. Связь концентрации приземного озона с интенсивностью суммарной солнечной радиации

Результаты анализа связи КПО с интенсивностью суммарной солнечной радиации приведены в таблице 2 и на рис. 4.

Таблица 2

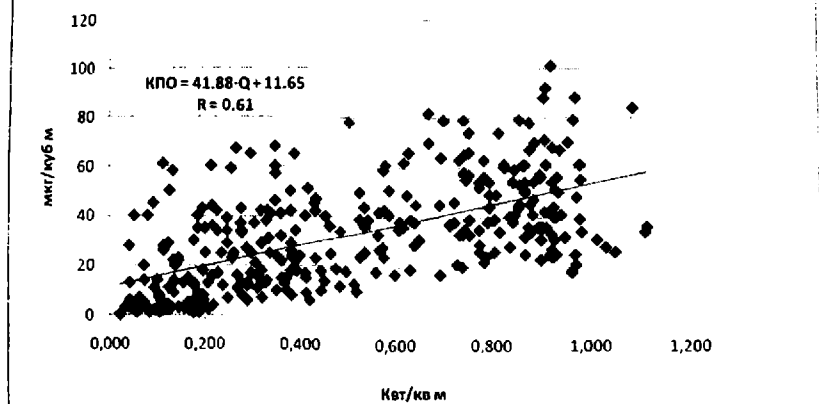
Линейное корреляционное соотношение (R) и коэффициенты уравнения регрессии между суммарной солнечной радиацией и КПО в Тбилиси в три периода года (06.2009 – 05.2010)
(КПО = a·Q + b)

Час	10	11	12	13	14	15	16	17
	Год							
R	0.52	0.58	0.61	0.57	0.53	0.59	0.57	0.48
a	34.11	39.06	41.88	40.69	40.06	43.6	48.88	50.25
b	7.72	9.58	11.65	15.97	19.22	19.51	20.13	21.04
	Холодный период							
R	0.37	0.57	0.63	0.61	0.60	0.67	0.66	0.53
a	40.70	60.98	59.88	53.13	52.35	64.76	82.26	6.40
b	6.45	4.25	5.28	10.37	12.49	11.55	10.66	12.65
	Теплый период							
R	0.41	0.39	0.38	0.34	0.29	0.38	0.37	0.25
a	29.25	27.00	26.44	26.55	23.28	27.34	30.81	25.22
b	10.37	17.21	23.27	27.64	33.45	31.25	31.64	34.62

В таблице 2 представлены результаты расчетов значений линейного коэффициента корреляции между КПО и Q, а также значений коэффициентов уравнения линейной регрессии между исследуемыми параметрами для данных за год, а также для холодного и теплового полугодий в 10, 11 ... и 17 час. Сразу отметим, что все величины R значимы (минимальное значение коэффициента корреляции с уровнем значимости не хуже 0.05 составляет 0.10 для годовых данных, и 0.15 для данных за холодное и теплое полугодия). По годовым данным значения R меняются от 0.48 в 17 час до 0.61 в 12 час, для холодного полугодия значения R меняются от 0.37 в 9 час до 0.67 в 15 час, и для теплового полугодия значения R меняются от 0.25 в 17 час до 0.41 в 9 час.

Примечательно, что в холодное полугодие корреляционная связь между интенсивностью суммарной солнечной радиации и концентрацией приземного озона более тесная, чем в теплое полугодие. Этот факт по мере накопления новой информации в дальнейшем будет исследован более подробно.

Рис. 4 Линейная корреляция и регрессия между КПО и суммарной солнечной радиацией Q в Тбилиси в 12 час по данным за год



На рис. 4 в качестве иллюстрации приведен график линейной корреляции и регрессии между КПО и Q в Тбилиси в 12 час по годовым данным.

3. Связь концентрации приземного озона с содержанием в воздухе субмикронного аэрозоля

Результаты анализа связи КПО с содержанием в приземном слое воздуха субмикронного аэрозоля представлены таблице 3 и на рис. 5.

Таблица 3

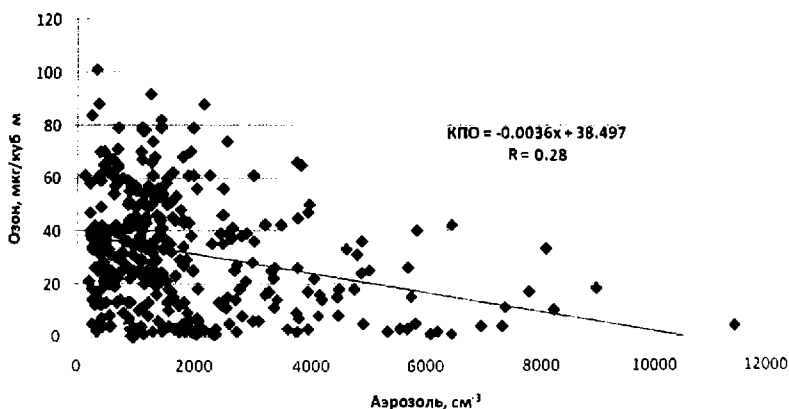
Линейная корреляция между концентрацией приземного озона и субмикронного аэрозоля в Тбилиси, 06.2009 – 05.2010

Время	9	12	15	17-18
Корреляция Аэрозоль - Озон	Год			
	-0.30	-0.28	-0.21	-0.28
	Холодный период			
	-0.21	-0.29	-0.13	-0.36
	Теплый период			
	-0.18	0.05	0.03	0.06

В таблице 3 приведены результаты расчетов значений линейного коэффициента корреляции между КПО и содержанием в воздухе субмикронного аэрозоля по данным за год, для холодного и теплого полугодий в 9, 12, 15 и 17-18 час. Для годовых данных и данных за холодное полугодие все величины R значимы. Для теплого полугодия корреляция между исследуемыми параметрами значима лишь для 9 час. Как и следовало ожидать, в целом корреляция между КПО и содержанием субмикронного аэрозоля в воздухе отрицательная. Подобные связи были установлены нами ранее и для твердых аэрозолей диаметром более 0.7 мкм [5]. Однако в данном случае мы имеем смесь твердых минеральных и антропогенных аэрозолей (продукты выброса транспорта и др.) с вторичными

аэрозолями, образующимися из газов в результате химических и фотохимических реакций по схеме газ → частица.

Рис. 5 Линейная корреляция между КПО и концентрацией субмикронного аэрозоля в 12 час в Тбилиси по данным за год



На рис. 5 для иллюстрации приведен график линейной корреляции и регрессии между КПО и концентрацией субмикронного аэрозоля в Тбилиси в 12 час по годовым данным.

Заключение

Представлены некоторые предварительные результаты комплексного мониторинга концентрации приземного озона, интенсивности суммарной солнечной радиации и содержания в приземном слое воздуха субмикронных аэрозолей в Тбилиси в период с июня 2009 по май 2010 г. Анализ проводился для данных за год, за холодное и теплое полугодия без учета типов погоды.

Проведен статистический анализ данных о КПО (основные стандартные статистические характеристики, повторяемость КПО, оценка скорости изменения КПО).

Изучены линейные корреляционные и регрессионные связи между КПО и интенсивностью суммарной солнечной радиации, а также содержанием в воздухе субмикронного аэрозоля.

Полученные результаты являются предварительными и будут уточняться по мере накопления данных.

Работа выполнена при поддержке гранта GNSF/ST08/5-437.

Литература

1. Амираншвили А.Г., Чихладзе В.А., Блиадзе Т.Г. – Современное состояние вопроса о пространственно-временном распределении фотохимического смога и озона, Труды Института геофизики им. М.З. Нодиа. ISSN 1512-1135. Том 61. С. 179 – 186.
2. Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air, Official Journal of the European Communities. 9.3.2002. L67/14-L67/30.
3. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), National Air Pollutant Emissions Trends.1900-1995. EPA-454/R-96-007, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C. 1996.
4. <http://www.epa.gov/airnow>.
5. Харчилава Д.Ф., Амираншвили А.Г. – Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии, Результаты исследований по международным геофизическим проектам. Москва. МГК. 1988. 1-114.



6. Харчилава Д.Ф., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М. - Анализ корреляционных связей концентрации приземного озона (КПО) в 15 со средними значениями КПО различного времени осреднения по дневным данным. Труды Института геофизики им. М.З. Нодиа. ISSN 1512-1135. Том 61. С. 201 – 206.
7. Чихладзе В.А. - Результаты исследований вариаций концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2003 гг. Труды Института геофизики АН Грузии. ISSN 1512-1135. Том 58. 2003.
8. Чихладзе В.А., Хазарадзе К.Р., Челидзе Л. Т. - Вариации повторяемости среднесуточных концентраций приземного озона (КПО) в Тбилиси. Труды Института геофизики им. М.З. Нодиа. ISSN 1512-1135. Том 61. С. 208 – 215.

თბილისში 2009 – 2010 წლებში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის (მოკ), მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობის და ჰაერში სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობის კომპლექსური მონიტორინგის ზომები და შედეგები

ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., კირკიტაძე დ., ნიკიფოროვი გ., ნოდია ა.,
ხარჩილავა დ.ფ., ჩანკვეთაძე ა., ჩიხლაძე ვ., ჩოჩიშვილი კ., ჩხაიძე გ.

რეზიუმე

წარმოდგენილია თბილისში 2009 წლის ივნისიდან 2010 წლის ივნისამდე პერიოდის მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის (მოკ), მზის ჯამური რადიაციის ინტენსივობის და ჰაერში სუბმიკრონული აეროზოლების შემცველობის კომპლექსური მონიტორინგის ზომები და შედეგები.

НЕКОТОРЫЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА (КПО), ИНТЕНСИВНОСТИ СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ В ВОЗДУХЕ СУБМИКРОННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ТБИЛИСИ В 2009-2010 ГГ

Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Никифоров Г.В., Нодия А.Г.,
Харчилава Д.Ф., Чанкветадзе А.Ш., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М., Чхадидзе Г.П.

Реферат

Представлены некоторые предварительные результаты комплексного мониторинга концентрации приземного озона, интенсивности суммарной солнечной радиации и содержания в приземном слое воздуха субмикронных аэрозолей в Тбилиси в период с июня 2009 по май 2010 г.

SOME PRELIMINARY RESULTS OF THE COMPLEX MONITORING OF SURFACE OZONE CONCENTRATION (SOC), INTENSITY OF SUMMARY SOLAR RADIATION AND SUB-MICRON AEROSOLS CONTENT IN AIR IN TBILISI IN 2009-2010

Amiranashvili A., Bliadze T., Kirkitadze D., Nikiforov G., Nodia A., Kharchilava j.,
Chankvetadze A., Chikhladze V., Chochishvili K., Chkhaidze G.P.

Abstract

Some preliminary results of the complex monitoring of surface ozone concentration, intensity of summary solar radiation and sub-micron aerosols content in surface boundary layer in Tbilisi in the period from June 2009 through May 2010 are represented.