

# ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ В КАХЕТИИ И НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

А.Х. Аджиев<sup>1</sup>, А.Г. Амиранашвили<sup>2</sup>, Х.З. Чаргазиа<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, Россия  
<sup>2</sup>Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, Тбилиси, Грузия

## Введение

Грозоградовая активность конвективных облаков, помимо множества других факторов, существенно зависит от содержания в облаках различных аэрозольных примесей естественного и антропогенного происхождения. И в зависимости от характера изменения концентрации этих примесей в атмосфере, процесс градообразования может либо усиливаться, либо ослабляться [1,6,11-18].

В работах [1,11-13,15-17] были проведены оценки влияния антропогенного (в том числе и радиоактивного) загрязнения атмосферы на интенсивность грозовых и градовых процессов, а также режим осадков в различных регионах Грузии, в том числе и Кахетии, с учетом активных воздействий на градовые процессы. В частности, было установлено, что связь аэрозольного загрязнения атмосферы с интенсивностью грозовых процессов имеет нелинейный характер. Рост аэрозольного загрязнения может приводить как к усилению, так и ослаблению интенсивности грозовой деятельности. Рост нерадиоактивного аэрозольного загрязнения атмосферы приводит к усилению интенсивности градобитий и, соответственно, к уменьшению эффективности воздействия противоградовых работ [1]. Этот эффект проявлялся и в суточных вариациях интенсивности градовых процессов. В Кахетии на пораженной градом площади в будние дни логарифм множителя максимальной радиолокационной отражаемости, количество жидких и твердых осадков были выше, чем в выходные дни, что, по-видимому, связано с режимом загрязнения атмосферы. Аналогичная картина и для Северного Кавказа (масса, энергия и количество выпавших градин в будние дни была выше, чем в выходные). Анализ данных [7,8], проведенных в [1], показал, что в будние дни по сравнению с выходными здесь происходил рост доли капельных зародышей града и убывание доли крупных зародышей (увеличение вероятности роста града по механизму теплого дождя).

В данной статье, являющейся продолжением указанных выше работ, представлены результаты сравнительных исследований связи эффективности противоградовых работ с аэрозольным загрязнением атмосферы в Кахетии и на Северном Кавказе за 1968 – 1988 гг.

### **Используемые материалы и методика исследования**

Данные о противоградовых работах в Кахетии и на Северном Кавказе взяты из [3,4,9]. В качестве характеристик общего аэрозольного загрязнения атмосферы использована информация об аэрозольной оптической толщине атмосферы (АОТ) для Телави (Кахетия, Грузия) и факторе мутности атмосферы (ФМ) для Кисловодска (Северный Кавказ, Россия). Значения АОТ рассчитывались по данным актинометрических измерений прямой солнечной радиации по методике проф. Таварткиладзе К.А. [14]. Данные о факторе мутности атмосферы взяты из работы [5].

Отметим, что АОТ и ФМ не являются чисто локальными характеристиками загрязненности воздуха (хотя местные эффекты индустриального воздействия и играют важную роль в их изменчивости). Между уровнями общего аэрозольного загрязнения атмосферы в различных регионах Грузии, а также АОТ и общим уровнем аэрозольной загрязненности воздуха в Кисловодске, имеется достаточно высокая корреляционная связь [2]. Таким образом, даже по одному пункту измерения можно судить об уровнях загрязненности атмосферы на расстоянии нескольких десятков и сотен километров от этого пункта.

В работе применены статистические методы анализа случайных и неслучайных временных рядов [10]. Используются следующие обозначения и сокращения: Mean – среднее; Max – максимум; Min – минимум; Range – вариационный размах (Max - Min) ;  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $C_v$  – коэффициент вариации (%); R - коэффициент линейной корреляции;  $R^2$  – коэффициент детерминации;  $R_k$  и  $R_s$  – соответственно коэффициенты ранговой корреляции Кендэла и Спирмэна;  $R_a$  - коэффициент автокорреляции;  $K_{dw}$  - критерий Дарбина-Уотсона;  $\alpha$  - уровень значимости; реальн. – реальные данные; случ. – случайная компонента ряда; P - доля среднего от среднего значения реальных данных (%);  $\mathcal{E}_k$  и  $\mathcal{E}_{СК}$  – соответственно, эффективность противоградовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе; X – номер года 1...21 (1968...1988 гг.).

### **Результаты анализа**

Результаты анализа данных представлены в таблице и на рис. 1-6.

Таблица. Статистические характеристики эффективности противоградовых работ и общего аэрозольного загрязнения атмосферы в Кахетии и на Северном Кавказе в 1968-1988 гг.

Параметр	АОТ	Эк	ФМ	Эск
	Реальные данные			
Mean	0.158	80.9	2.81	65.6
Min	0.075	53	2.20	5
Max	0.225	95	3.26	99
Range	0.150	42	1.06	94
$\sigma$	0.039	10.6	0.26	24.4
$C_v$	24.6	13.1	9.1	37.3
Корреляционная матрица				
АОТ	1	-0.43	0.69	-0.19
Эк	-0.43 ( $\alpha=0.05$ )	1	-0.29	0.27
ФМ	0.69 ( $\alpha=0.001$ )	-0.29 ( $\alpha=0.24$ )	1	-0.38
Эск	-0.19 ( $\alpha=0.40$ )	0.27 ( $\alpha=0.27$ )	-0.38 ( $\alpha=0.10$ )	1
Характеристики неслучайности временных рядов				
R с годами	0.84	-0.50	0.62	-0.07
( $\alpha$ ) R	0.001	0.05	0.002	Незнач.
$R_k$ с годами	0.68	-0.30	0.42	0.005
( $\alpha$ ) $R_k$	0.0001	0.05	0.01	0.98
$R_s$ с годами	0.83	-0.42	0.61	0.015
( $\alpha$ ) $R_s$	0.0002	0.06	0.01	0.94
$R_a$ , лаг = 1 год	0.77	Незнач.	Незнач.	Незнач.
( $\alpha$ ) $R_a$	0.05			
Тренд + фон ( $Y = a \cdot X^2 + b \cdot X + c$ )				
a	-0.00041			
b	0.0143	-0.85	0.026	-0.28
c	0.032	66.6	2.15	9.4
$K_{DW}$	1.86	2.36	2.01	2.54
( $\alpha$ ) $K_{DW}$	0.05	0.05	0.05	0.05
Mean	0.124	57.2	2.43	6.4
Min	0.046	48.8	2.17	3.6
Max	0.156	65.7	2.69	9.2
Range	0.110	16.9	0.51	5.6
P	78.9	70.8	86.4	9.7
Случайные компоненты временных рядов				
Mean	0.033	23.6	0.38	59.23

Max	0.070	42.8	0.71	92.3
$\sigma$	0.016	9.2	0.20	24.4
$C_v$	48.9	38.9	53.0	41.2
P	21.1	29.2	13.6	90.3
Корреляционная матрица				
AOT	1	-0.10	0.19	-0.19
$\Xi_k$	-0.10 (незнач.)	1	0.03	0.27
ФМ	0.19 ( $\alpha=0.40$ )	0.03 (незнач.)	1	-0.43
$\Xi_{ск}$	-0.19 ( $\alpha=0.40$ )	0.27 ( $\alpha=0.27$ )	-0.43 ( $\alpha=0.05$ )	1

В таблице представлена статистическая структура временных рядов эффективности противоградовых работ и общего аэрозольного загрязнения атмосферы в Кахетии и на Северном Кавказе в период с 1968 по 1988 гг. На рис.1–4 приведена графическая информация о характере изменчивости уровней аэрозольного загрязнения атмосферы и эффективности противоградовых работ, а на рис.5–6 представлены регрессионные соотношения между реальными значениями эффективности противоградовых работ и загрязненностью атмосферы в исследуемых регионах.

Из таблицы, в частности следует, что по данным реальных измерений между эффективностью противоградовых работ и общим аэрозольным загрязнением атмосферы как в Кахетии, так и на Северном Кавказе, прослеживается значимая обратная линейная корреляционная связь.

Как показал анализ, все изучаемые характеристики, кроме эффективности противоградовых работ на Северном Кавказе, не являются случайными и зависят от времени (соответствующие значения коэффициентов линейной и ранговых корреляций). Автокорреляция с лагом один год наблюдалась лишь для AOT в Кахетии. Тренд AOT имеет вид полинома второй степени, а тренды рядов  $\Xi_k$  и ФМ – линейные. Доля среднего значения компоненты тренд+фон для AOT, ФМ и  $\Xi_k$  от средних реальных значений этих параметров находится в пределах 71–86 %. Формальная средняя трендовая составляющая для ряда  $\Xi_{ск}$  не превышает 10 % от среднего их реальных значений (таблица, рис.1-4).

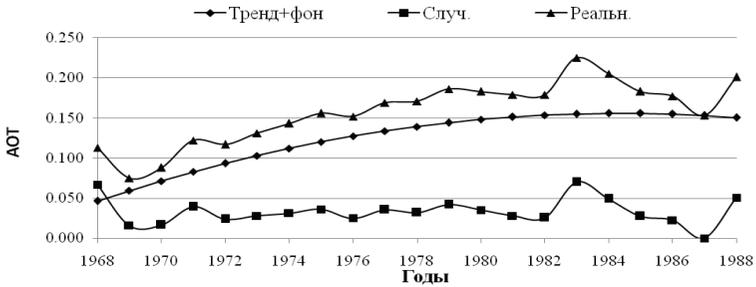


Рис. 1. Тренд аэрозольной оптической толщи атмосферы в Телави

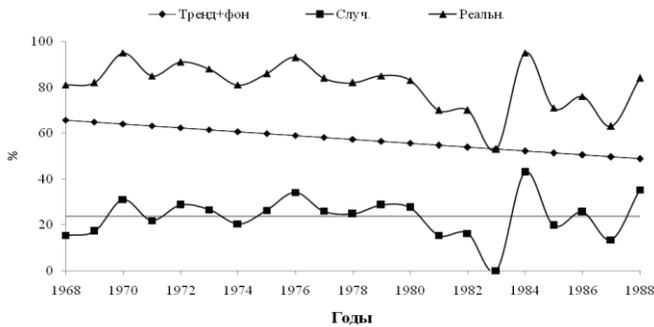


Рис. 2. Тренд эффективности воздействия на градовые процессы в Кахетии

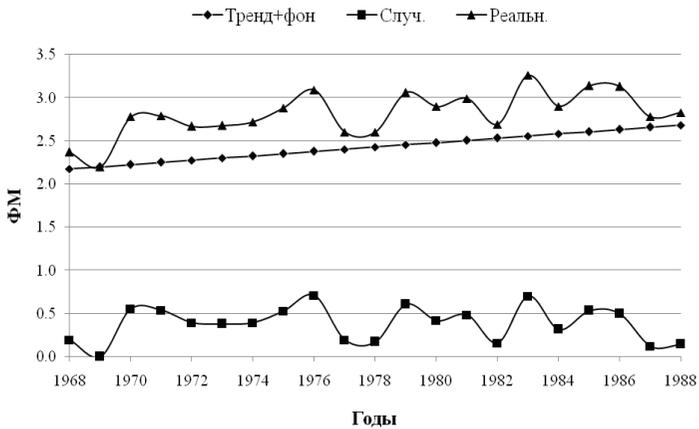


Рис. 3. Тренд фактора мутности атмосферы в Кисловодске

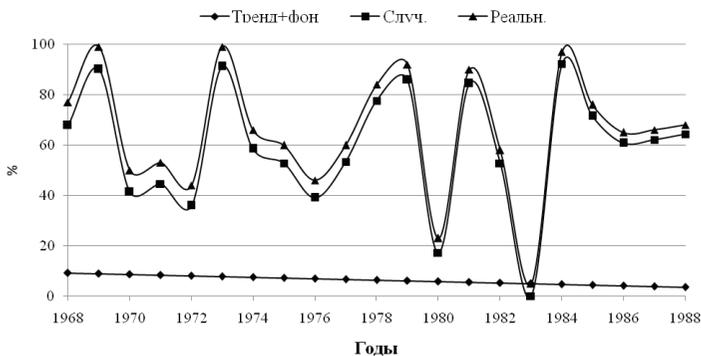


Рис. 4 Тренд эффективности воздействия на градовые процессы на Северном Кавказе

Рис. 4 . Тренд эффективности воздействия на градовые процессы на Северном Кавказе

Соответственно, значения  $R$  для случайных компонент рядов АОТ, ФМ и  $\mathcal{E}_K$  находятся в пределах 14 – 29 %, а  $\mathcal{E}_{СК}$  – 90 %. Линейная корреляция между случайными компонентами рядов АОТ и  $\mathcal{E}_K$  обратная, но незначимая, тогда как та же корреляция между случайными компонентами рядов ФМ и  $\mathcal{E}_{СК}$  даже тесней, чем для их реальных значения (-0.43 и -0.38 соответственно, см. таблицу).

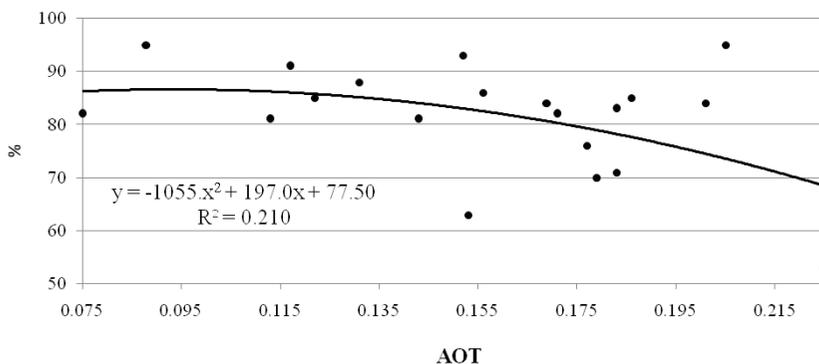


Рис. 5 . Соотношение между эффективностью воздействия на градовые процессы и аэрозольной оптической толщиной атмосферы в Кахетии (реальные данные)

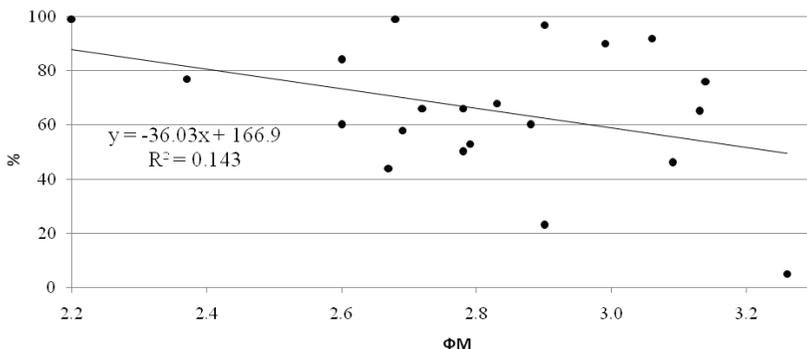


Рис. 6 . Соотношение между эффективностью воздействия на градовые процессы и фактором мутности в атмосфере на Северном Кавказе (реальные данные)

Таким образом, как в Кахетии, так и на Северном Кавказе в исследуемый период времени, в целом, рост общего аэрозольного загрязнения атмосферы связан с уменьшением эффективности противоградовых работ. Так, в среднем, в Кахетии с ростом АОТ от 0.075 до 0.225 эффективность противоградовых работ уменьшалась от 86 до 68 %. На Северном Кавказе увеличение ФМ от 2.2 до 3.26 было связано с уменьшением эффективности противоградовых работ от 88 до 49 % (таблица 1, рисунки 5-6). При этом имеется и разница в эффектах действия аэрозольного загрязнения атмосферы. В Кахетии этот эффект главным образом связан с общей тенденцией роста АОТ, тогда как на Северном Кавказе – со случайными вариациями общей аэрозольной загрязненности атмосферы.

### Заключение

В Кахетии (Грузия) и на Северном Кавказе (Россия) в период с 1968 по 1988 г. наблюдались эффекты уменьшения эффективности противоградовых работ, обусловленные ростом общего содержания аэрозольного загрязнения в атмосфере. В Кахетии этот эффект, главным образом, был связан с тенденциями увеличения загрязнения атмосферы, а на Северном Кавказе – со случайными вариациями общей аэрозольной загрязненности атмосферы.

### Список литературы

1. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов // Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135. – Тбилиси. 2013. Т. 64. С.160–177.

2. Амиранашвили А.Г., Таваркиладзе К.А, Кириленко А.А., Картунова З.В., Поволоцкая Н.П., Сеник И.А. Динамика аэрозольного загрязнения атмосферы в Тбилиси и Кисловодске // Тр. Ин-та гидрометеорологии Грузинского технического университета, ISSN 1512 0902. Тбилиси. 2013. Т. 119. С. 212 - 215.
3. Бурцев И.И. Разработка научно-методических основ создания системы противорадовой защиты СССР/ дисс. на соиск. уч. степ. доктора физ.-мат. наук. Л.: 1990. 297 с.
4. Град и борьба с ним. Основные результаты работы службы активных воздействий на гидрометеорологические процессы в 1967 – 1989 гг./ Тбилиси, 1990. - 15 с. (на грузинском языке).
5. Картунова З.В., Поволоцкая Н.П. Многолетний ход оптической прозрачности атмосферы в Кисловодске //Сб. докл. 2-ой межд. конф. "Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов". Кисловодск, 2000. С. 92–94.
6. Ландсберг Г.Е. Климат города. - Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 248 с.
7. Тлисов М.И., Хучунаев Б.М. Исследование пространственного распределения зародышей града //Тр. Всес. семин. "Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий", Нальчик, 1989. - М.: МО Гидрометеоздата, 1991. С. 61-74.
8. Тлисов М.И., Загидулин А.А., Хучунаев Б.М., Федченко Л.М. Аппаратура, методика и результаты наземных исследований физических характеристик града // Тр. Всес.конф. "Активн. возд. на гидромет. процессы", Нальчик, 1991. - С-Пб.: Гидрометеоздат. Кн. 2, 1995. С. 24-30.
9. ФГБУ "Северо-Кавказская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы"// Режим доступа: <http://www.vssk.ru/>.
10. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. - М.: Финансы и статистика, 1983. 303 с.
11. Хайруллин К.Ш., Яковлев Б.А. Влияние урбанизации на грозы и град // Тр. ГГО. 1990. Вып. 527. С. 44-50.
12. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the Role of Artificial Iceforming Reagents and Radioactive Intermixtures in the Variation of Convective Clouds Thunderstorm and Hail Activity //Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, 1996. Vol. 1. P. 267-270.
13. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Bachiashvili L.L., Bibilashvili T.N., Supatashvili G.D. Influence of the Anthropogenic Pollution of the Atmosphere and

Thunderstorms on the Precipitations Regime and their Chemical Composition in Alazani Valley Conditions // Proc. 14<sup>th</sup>Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004. PP. 2\_3\_216.1-2\_3\_216.2.

14. 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, Monograph, Trans. of M.Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sc. 2005. Vol. LIX. 128 p.

15. Amiranashvili A. Connection Between the Characteristics of Thunderstorm Activity and Air Pollution in Kakheti Region of Georgia // Proc. of IX Int. Symposium on Lightning Protection, Foz do Iguaçu, Brazil, 26-30 November 2007.

16. Amiranashvili A. Statistical Models of Connection of Lightning Activity with Aerosol Pollution of Atmosphere // Proc. of X Int. Symposium on Lightning Protection, Curitiba, Brazil, 9-13 November 2009. P. 261-266.

17. Amiranashvili A. Connection of Lightning Activity with Air Electrical Conductivity in Dusheti // Proc. of the XIth Int. Symp. of Lightning Protection, SIPDA, Fortaleza, Brazil, October 3-7, 2011. <http://ws9.iee.usp.br/>.

18. Dessens J., Fraile R., Sanchez J.L. Weekly Distribution of Hailfalls and Hailstone Size Distributions in Southwestern France // Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, 2000. Vol.2. P.1061-1064.