

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Амиранашвили А.Г.

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.
Иванэ Джавахишвили, 0171, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1*

Введение

Градовая, и тесно связанная с ней грозовая, активность конвективных облаков зависит от следующих параметров атмосферы и облаков:

- термодинамических характеристик атмосферы, связанных с физико-географическими условиями местности;
- содержания в облаке переохлажденной воды;
- спектра размеров гидрометеоров;
- количества и интенсивности осадков, выпадающих из облака;
- электрической проводимости в облаках;
- содержания в облаках ледяных частиц;
- химического состава облачных элементов;
- содержания в облаке различных аэрозольных примесей и газов естественного и антропогенного происхождения.

В зависимости от характера изменения этих параметров, целый ряд которых имеет и обратные связи с разрядами молний и осадками, грозо-градовая активность облака либо может усиливаться, либо уменьшаться.

Влияние урбанизации на указанные параметры может осуществляться в результате действия различных факторов, к которым ориентировочно по мнению различных авторов [1-5 и др.] можно отнести:

1. Наличие городского острова тепла, оказывающего локальное воздействие на облачность и активность фронтов.
2. Резко выраженную шероховатость застроенной подстилающей поверхности, тормозящую горизонтальный перенос в приземном слое.
3. Загрязнение атмосферы, вызывающее уменьшение электрической проводимости воздуха по сравнению с окружающей местностью и увеличением градиента потенциала электрического поля. Загрязнение атмосферы влияет также на микрофизическую структуру облаков (спектр размеров капель, водность, ледность).
4. Появление тихих электрических разрядов (коронирования) с имеющихся в городах высоких строений, влияющих на грозовую активность облаков. Изменение последней может приводить опять-таки к изменению микрофизических характеристик облаков, определяющих образование и рост града.

5. Повышенный электромагнитный фон от многочисленных электрических установок, могущий изменять ионизационное состояние атмосферы.
6. Ионизация атмосферы естественными и антропогенными источниками (радионуклиды – радон и др., космическое излучение, гамма излучение почвы), влияющими на проводимость воздуха, образование ядер конденсации и кристаллизации.

Таким образом, эффекты 1 и 2 изменяют термодинамические условия образования и развития грозных и градовых облаков. Эффект 3 может проявляться на расстояниях до нескольких сотен км от мощных антропогенных источников загрязнений [6-7]. Эффекты 4 и 5 влияют на изменение электрической проводимости в облаках и, соответственно, интенсивности их грозовой активности. В настоящее время эффекты, вызванные изменением электропроводности атмосферы, изучены недостаточно. Это свойство атмосферы во многом определяет грозовую деятельность, влияет на процессы образования ядер конденсации и роста облачных капель и, следовательно, на развитие облачных систем, образование аэрозольных частиц (в частности, сульфатных частиц), скорость их роста.

Эффект 6, как оказалось, оказывает весьма существенное влияние на образование вторичных аэрозолей в атмосфере, в том числе и ядер конденсации, оказывающих большое влияние на формирование микрофизической структуры облаков [4,5,8-10].

В наших ранних исследованиях были проведены оценки влияния антропогенного (в том числе и радиоактивного) загрязнения атмосферы на интенсивность грозных и градовых процессов, а также режим осадков [11-16]. В частности было получено, что связь аэрозольного загрязнения атмосферы с интенсивностью грозных процессов имеет нелинейный характер, рост этого загрязнения может приводить как к усилению, так и к ослаблению интенсивности грозовой деятельности.

В данной работе представлены результаты исследований изменчивости интенсивности градовых процессов в Восточной Грузии под влиянием аэрозольного загрязнения атмосферы, в качестве характеристик которого использованы аэрозольная оптическая толщина атмосферы, бета-радиоактивные выпадения и аэрозоль льдообразующего реагента противорадовых ракет «Алазани».

1. Используемые данные и методика исследования

В работе использованы следующие фактические материалы:

- данные о среднемесячных полуденных значениях аэрозольной оптической толщи атмосферы для станции Телави, взятые из архивов Института географии им. Вахушти Багратиони и Института геофизики им. М. Нодиа;
- данные Гидрометеорологического департамента Грузии о бета-радиоактивных выпадениях;
- данные о различных параметрах градовой активности облаков в годы работы противорадовой службы Грузии [17,18], а также данные о градобитиях в Кахетии, полученные Институтом геофизики им. М. Нодиа [19];
- данные о радиолокационных наблюдениях за градоопасными облаками, полученные Институтом геофизики им. М. Нодиа.

При анализе данных были использованы статистические методы исследований.

Ниже приведен список используемых обозначений и сокращений.

АОД - аэрозольная оптическая толщина атмосферы, как характеристика общего уровня аэрозольной загрязненности атмосферы; **В** – бета-радиоактивные выпадения на территории Грузии, Бк/м²·сутки; **ЗТ** – защищаемая территория; **LgZ_m** – логарифм максимальной радиолокационной отражаемости облаков.

Характеристики градовых процессов на площади 10000 га:

Y(1) - количество подвергнутых воздействию облаков; **Y(2)** - количество ракет «Алазани», введенных в одно облако; **Y(3)** – ожидаемое число градовых случаев; **Y(4)** – фактическое число градовых случаев;

Y(5) - Доля ЗТ, побитая градом на 100%; **Y(6)** – эффект воздействия, % ; **Y(7)** - среднее на метеостанцию количество осадков на ЗТ.

Статистические характеристики.

Mean – среднее; **Min** – минимум; **Max** – максимум; **σ** – стандартное отклонение; **C_v** – коэффициент вариации (%); **Count** – число случаев; **R^2** – коэффициент детерминации; **t** – критерий Стьюдента; **α** - уровень значимости.

В тексте работы в ряде случаев размерности исследуемых параметров опущены.

2. Результаты

Результаты работы представлены в табл. 1 - 6 и на рис. 1 – 9.

2.1 Связь интенсивности градовых процессов с аэрозольным загрязнением атмосферы

В данном параграфе проведены оценки изменчивости некоторых параметров градовых процессов в условиях Кахетии под влиянием аэрозольного загрязнения атмосферы в годы работы противогордовой службы в период с 1967 по 1984 гг. В табл. 1, представлены статистические характеристики параметров градовой активности и аэрозольного загрязнения атмосферы в Кахетии.

Таблица 1

Характеристики параметров градовой активности в Кахетии в 1967-1984 гг. при различных уровнях аэрозольного загрязнения.

B, AOD	Характеристики градовых процессов на площади 10000 га				
	Y(1)	Y(2)	Y(3) /Y(4)	Y(5)	Y(6)
$B \leq 3$ AOD_{cp} = 0,179	10±1	43±7	(2,2±0,3)/ (0,3±0,06)	0,4±0,1	86±2
$B > 3$ AOD_{cp} = 0,129	8,0±0,9	51±5	(1,9±0,2)/ (0,19±0,02)	0,32±0,04	90±1

Как следует из этой таблицы, при низких уровнях бета-радиоактивных выпадений и высоких значениях аэрозольной оптической толщи атмосферы (**$B \leq 3$ Бк/м²·сутки, AOD_{cp} = 0,179**) по сравнению с высокими уровнями бета-радиоактивного фона и низкими величинами аэрозольной оптической толщи атмосферы (**$B > 3$ Бк/м²·сутки, AOD_{cp} = 0,129**) наблюдалась следующая изменчивость указанных характеристик градовой активности в Кахетии: рост количества подвергнутых воздействию облаков на 25 %, рост ожидаемого количества случаев града на 16 %, рост фактического количества случаев града на 58 %, увеличение пораженной на 100 % доли защищаемой территории на 25 %, уменьшение эффективности воздействия на 5 %. Таким образом, как и в случаях с грозовой активностью [11-15] , прослеживается действие аэрозольного загрязнения атмосферы и на параметры градовой активности облаков.

Одними из важнейших параметров, представленных в табл. 1, являются доля защищаемой территории, поврежденная градом на 100 % $Y(5)$, и эффективность воздействия $Y(6)$, характеризующими интенсивность градовых процессов. Множественный регрессионный анализ показал, что между значениями $Y(5)$, $Y(6)$ и $Y(2)$, AOD и B имеются следующие линейные регрессионные связи с совокупным коэффициентом корреляции, равным соответственно 0,73 и 0,70.

$$Y(5) = 0,003668 Y(2) + 1,723 AOD + 0,006353 B - 0,286$$

$$Y(6) = - 0,136 Y(2) - 91,72 AOD - 0,30765 B + 110,95$$

Анализ этих уравнений показывает, что изменчивость одной из независимых переменных в пределах вариационного размаха при неизменном значении двух других может приводить к изменчивости $Y(5)$ в следующих пределах : за счет $Y(2)$ – 162 %, AOD – 73%, B – 25 %, а $Y(6)$ - за счет $Y(2)$ – 26 %, AOD – 17%, B – 5 %. Таким образом, в годы с активными воздействиями в Кахетии интенсивность градовых процессов главным образом была связана с производственной деятельностью противоградовой службы (количество введенных в одно облако противоградовых ракет). В то же время существенный вклад в изменчивость интенсивности градобитий вносило аэрозольное загрязнение атмосферы. Бета-радиоактивные загрязнения также имели определенное влияние на интенсивность градовых процессов, но значительно меньшее, чем два первых фактора.

Следует отметить, что связи параметров градовой активности облаков с аэрозольным загрязнением атмосферы несколько лучше описываются нелинейными уравнениями. Указанное наглядно демонстрируется рис.1 - 7, на которых представлены графики парных и двумерных зависимостей указанных параметров градовой активности от аэрозольного и радиоактивного загрязнения атмосферы. Значения коэффициентов уравнений парной и двумерной регрессии и коэффициентов детерминации представлены в подписях к этим рисункам.

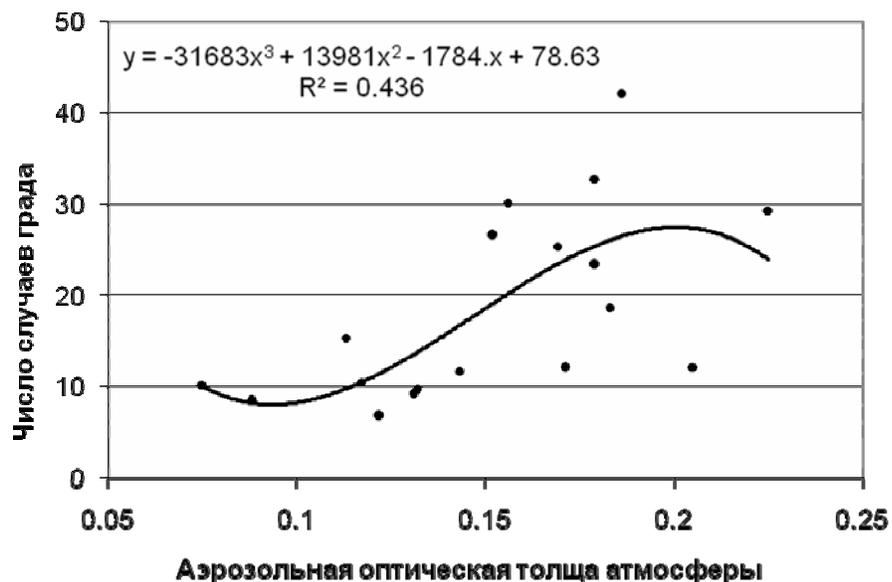


Рис. 1

Соотношение между количеством случаев града, приведенного к $ЗТ=785000$ га, и аэрозольной оптической толщиной атмосферы (Кахетия 1967-1984 гг)

Как следует из рис.1 , связь количества случаев града с аэрозольной оптической толщиной атмосферы в Телави описывается полиномом третьей степени ($R^2 = 0,4362$, $\alpha = 0,01$). При значениях **AOD** от 0,075 до 0,120 значения **Y(4)** изменяются незначительно. С дальнейшим ростом **AOD** от 0,120 до 0,200 количество случаев града на защищаемой территории увеличивается примерно от 10 до 28. С еще большим ростом **AOD** наблюдается тенденция убывания числа случаев града. Отметим, что в линейном приближении значение $R^2 = 0,372$.

На рис. 2 приведена зависимость количества случаев града от бета-радиоактивного фона. Указанную связь также можно описать полиномом третьей степени. Как следует из этого рисунка, в целом, с ростом **B** происходит уменьшение количества случаев града на защищаемой территории. Так, при росте **B** от 1 до 15 Бк/м²·сутки число случаев града на защищаемой территории уменьшается примерно от 25 до 5.

Двумерная зависимость количества случаев града на **ЗТ1** от **AOD** и **B** представлена на рис. 3. Значения коэффициентов уравнения множественной регрессии и коэффициента детерминации представлены в подписи к этому рисунку.

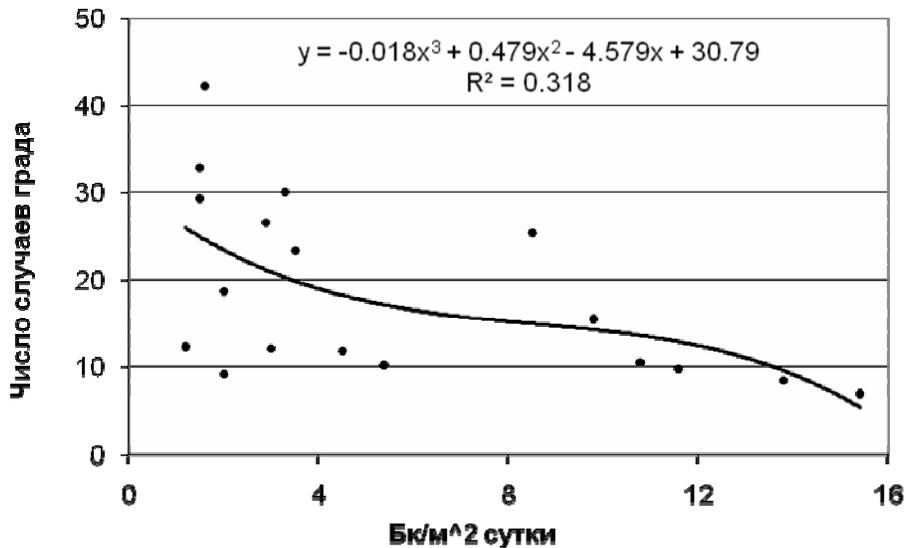


Рис. 2

Соотношение между количеством случаев града, приведенного к ЗТ=785000 га, и бета-радиоактивными выпадениями (Кахетия 1967-1984 гг)

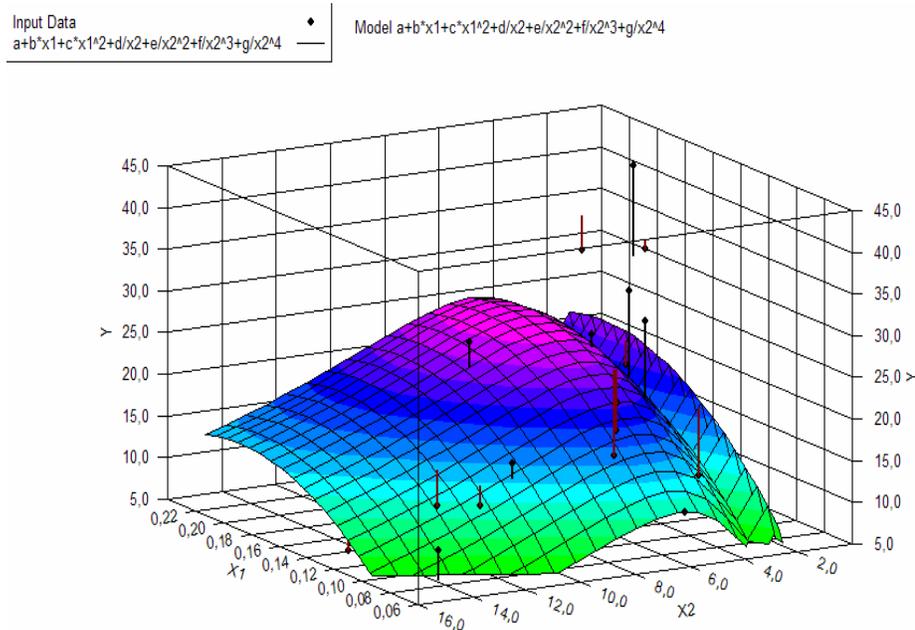


Рис. 3

Связь количества случаев града, приведенного к $ЗТ=785000$ га (Y), с аэрозольной оптической толщиной атмосферы ($X1$) и бета-радиоактивными выпадениями ($X2$) - (Кახეთი 1967-1984 гг).

$$Y = a + b \cdot x1 + c \cdot x1^2 + d/x2 + e/x2^2 + f/x2^3 + g/x2^4$$

$$a = -51,15994269; b = 413,685998; c = -1039,401044; d = 512,5697404; \\ e = -2424,784017; f = 4321,73551; g = -2533,599436; R^2 = 0,6566$$

На рис. 4 представлена зависимость доли защищаемой территории, поврежденной градом на 100 %, от аэрозольной оптической толщи атмосферы. Эта зависимость описывается полиномом четвертой степени ($R^2 = 0,365$, $\alpha = 0,01$). Как следует из рисунка в общем с ростом AOD происходит волнообразное изменение в сторону увеличения значения $Y(5)$. Отметим, что в линейном приближении значение $R^2 = 0,185$.

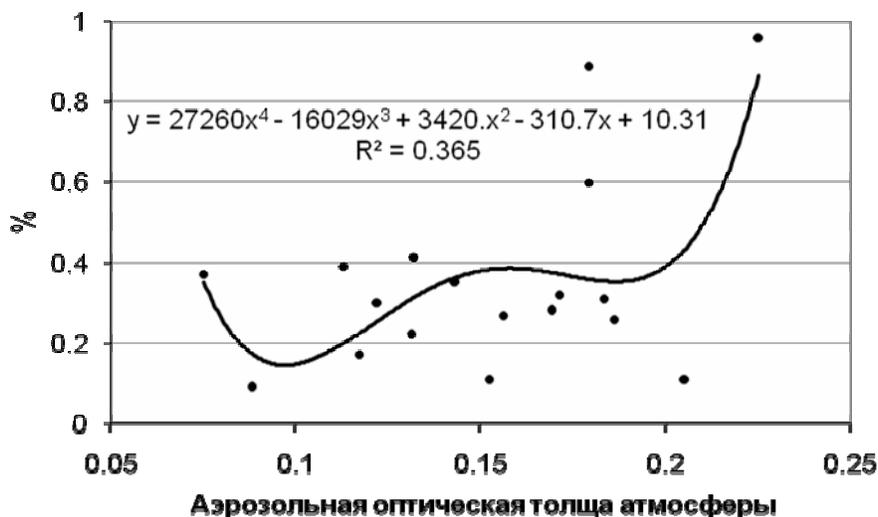


Рис. 4

Соотношение между долей ЗТ, поврежденной градом на 100 %, и аэрозольной оптической толщиной атмосферы (Кахетия, 1967-1984 гг)

Связь доли защищаемой территории, поврежденной градом на 100 %, от бета - радиоактивных выпадений изображена на рис.5. Указанная связь также описывается полиномом четвертой степени ($R^2 = 0,1277$, $\alpha = 0,05$). Как следует из этого рисунка в отличие от предыдущего случая с ростом **В** происходит волнообразное изменение в сторону уменьшения значения **Y(5)**. Отметим, что в линейном приближении значение $R^2 = 0,084$.

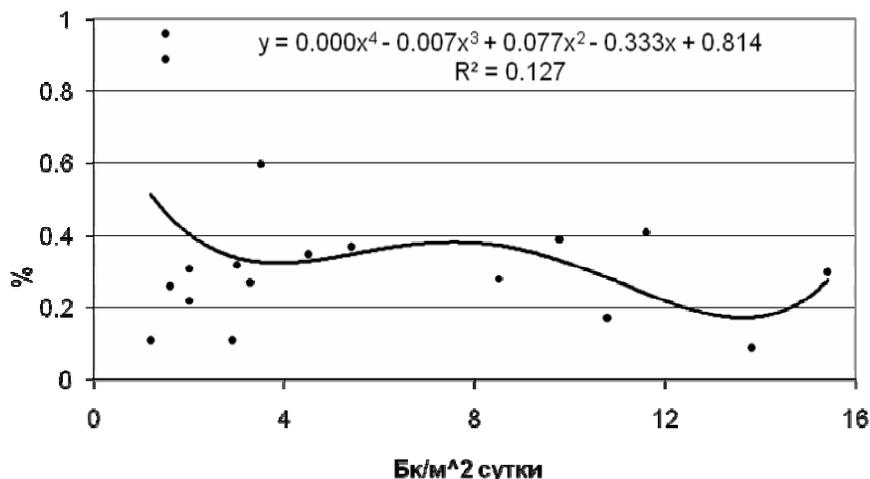


Рис. 5

Соотношение между долей ЗТ, поврежденной градом на 100%, и бета-радиоактивными выпадениями (Кахетия, 1967-1984 гг)

Двумерная связь доли защищаемой территории, поврежденной градом на 100 %, с **AOD** и **В** представлена на рис. 6. Значения коэффициентов уравнения множественной регрессии и коэффициента детерминации представлены в подписи к указанному рисунку.

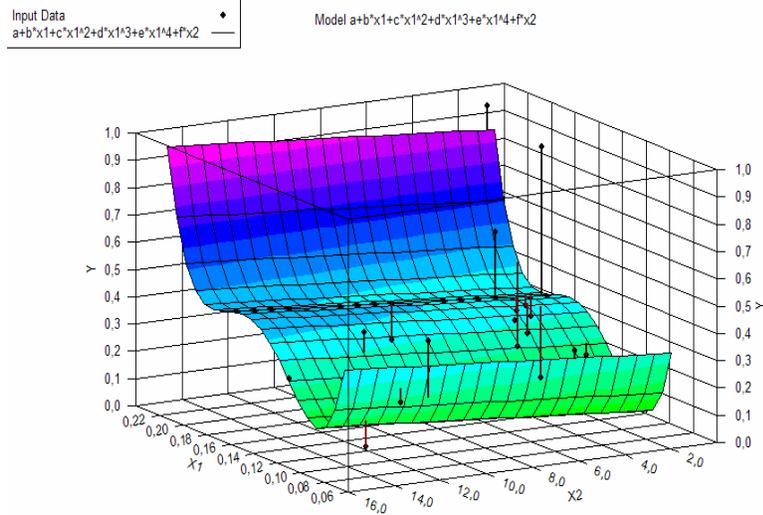


Рис. 6

Связь доли ЗТ, поврежденной градом на 100% (Y), с аэрозольной оптической толщиной атмосферы (X1) и бета-радиоактивными выпадениями (X2) - (Кахетия, 1967-1984 гг).

$$Y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_1^2 + d \cdot x_1^3 + e \cdot x_1^4 + f \cdot x_2$$

$$a = 11,91737361; b = -359,6027694; c = 3922,494048; d = -18188,60465; \\ e = 30613,56169; f = 0,006961406873; R^2 = 0,3715$$

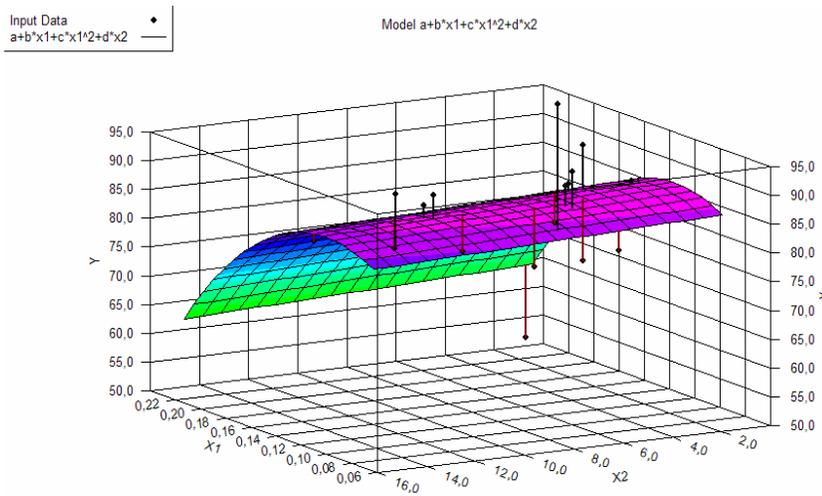


Рис. 7

Связь экономической эффективности воздействия на градовые процессы (Y) с аэрозольной оптической толщиной атмосферы (X1) и бета-радиоактивными выпадениями (X2) - (Кахетия 1967-1984 гг)

$$Y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_1^2 + d \cdot x_2$$

$$a = 65,57699131; b = 412,9889986; c = -1830,727177; d = -0,1567225664; R^2 = 0,321$$

Наконец, на рис. 7 представлена двумерная зависимость эффективности воздействия от **AOD** и **B**. Значения коэффициентов уравнения множественной регрессии и коэффициента детерминации представлены в подписи к указанному рисунку.

Таким образом, интенсивность градовых процессов существенно зависит от аэрозольного загрязнения атмосферы, хотя эта зависимость имеет достаточно сложный характер. В целом аэрозольное загрязнение атмосферы приводило к усилению интенсивности градобитий и соответственно к уменьшению эффективности воздействия противорадовых работ. Поэтому в дальнейшем, в случае восстановления работы противорадовой службы, фактор антропогенного загрязнения атмосферы должен быть учтен в методике воздействия на градовые процессы.

Наконец, рассмотрим влияние активных воздействий на градовые процессы и аэрозольного загрязнения атмосферы на режим осадков. Линейный корреляционный и регрессионный анализ данных показал, между средним на метеостанцию количеством осадков **Y(7)**, количеством введенного в одно облако реагента **Y(2)** и аэрозольной оптической толщиной атмосферы имеется прямая корреляционная связь (**R** равно соответственно по 0,34, **α** = 0,15). Корреляция между **Y(2)** и бета-радиоактивными выпадениями отрицательная, малозначимая (**R** = -0,2). Соответствующее уравнение множественной линейной регрессии имеет вид:

$$Y(7) = 13 Y(2) + 1506,65AOD + 3,684B + 161,37 \quad (R^2 = 0,283, \alpha = 0,15)$$

Таким образом, в годы работы противорадовой службы на **ЗТ** произошел рост количества осадков. При этом, изменчивость в пределах вариационного размаха каждой из независимых переменных при неизменности других приводит к следующей изменчивости количества осадков: за счет количества вводимого в облака реагента – на 38,1%, за счет аэрозольного загрязнения атмосферы – на 41,1 %, за счет бета-радиоактивного фона – на 9,5%.

Факт влияния аэрозольного загрязнения атмосферы на осадки и туманообразования обнаружен и другими исследователями в различных регионах мира. Так, по данным за 1961-1989 гг в Мадриде по сравнению с окрестностями количество осадков возросло на 11-20 %. Одна из причин – загрязнение воздуха. Другая – остров тепла и усиление конвекции [20]. В Рурской области годовое число дождливых и туманных дней на 20 больше, чем в прилегающих непромышленных районах [21]. Быстрый рост промышленности в Бомбее (Индия) и его пригородах совпал с увеличением количества осадков в этом районе на 15% [22].

Однако, чрезмерный рост содержания сульфатного аэрозоля, может вызвать и противоположный эффект (эффект перезасева). Например, за последние 20 лет на севере Китая происходит тенденция к уменьшению летних осадков и усилению засухи, тогда как в средне-восточной части – к увеличению осадков и частоты наводнений. Эти явления связываются с увеличением температуры на северо-востоке Китая и уменьшением температуры в средне-восточной части. Эти изменения также связываются с ростом эмиссии двуокиси серы (соответственно – сульфатов) и прямых и косвенных радиационных эффектов сульфатов на климат [23]. В период с 1971 по 1999 гг на целом ряде метеостанций в Канаде зафиксирован отрицательный тренд числа дней с туманами, связанный с увеличением загрязненности воздуха [24]. Отрицательный тренд числа дней с туманами с ростом аэрозольной оптической толщи атмосферы был получен и нами для шести актинометрических пунктов наблюдения за **AOD** (Тбилиси, Телави, Цалка, Анасеули, Сенаки, Сухуми) [25,26].

2.2 Чувствительность суточных вариаций интенсивности градовых процессов к изменчивости аэрозольного загрязнения атмосферы

Оценим чувствительность суточных изменений количества выпадающих осадков и интенсивности градовых процессов в будние и выходные дни. В табл. 2 представлены данные об

осадках для Телави в 1967-1970 гг, а в табл. 3 данные градодождемерной сети о жидких и твердых осадках для Кахетинского региона в теплое полугодие 1964-1966 гг.

Таблица 2

Статистические характеристики осадков (мм) из грозовых и негрозовых облаков в будние и выходные дни в Телави в теплое полугодие 1967-1970 гг

Состояние атмосферы	Mean	Min	Max	σ	C _v , %	Count
Все случаи	6,21	0,05	58,8	9,16	147,5	342
1.1 Осадки с грозой (все случ.)	8,24	0,05	53	10,45	126,8	151
1.2 Осадки без грозы (все случ.)	4,61	0,05	58,8	7,65	165,9	191
2.1 Осадки в будние дни (все случ.)	6,77	0,05	58,8	9,64	142,4	240
2.2 Осадки в выходные дни (все случ.)	4,91	0,05	36,8	7,82	159,3	102
3.1 Осадки с грозой (будние дни)	8,98	0,05	53	10,84	120,7	100
3.2 Осадки с грозой (выходные дни)	6,79	0,05	36,8	9,58	141,1	51
4.1 Осадки без грозы (будние дни)	5,18	0,05	58,8	8,33	160,8	141
4.2 Осадки без грозы (выходные дни)	3,01	0,05	21,5	5,02	166,8	50

Таблица 3

Статистические характеристики жидких и твердых осадков (мм) , выпадающих в Кахетинском регионе вне ЗТ в будние и выходные дни в теплое полугодие 1964-1966 гг.

(Среднее на один градодождемер)

Параметр	Mean	Min	Max	σ	C _v , %	Count
Жидкие осадки (все случаи)	13,68	0,05	49,8	12,39	90,6	216
Жидкие осадки (будние дни)	15	0,05	49,8	12,85	85,7	166
Жидкие осадки (выходные дни)	9,37	0,05	46	9,64	102,9	50
Твердые осадки (все случаи)	2	0,05	18,4	2,86	143	216
Твердые осадки (будние дни)	2,28	0,05	18,4	3,14	137,7	166
Твердые осадки (выходные дни)	1,04	0,05	6	1,24	119,2	50
Сумма осадков (все случаи)	15,68	0,25	65,2	14	89,3	216
Сумма осадков (будние дни)	17,3	0,25	65,2	14,6	84,4	166
Сумма осадков (выходные дни)	10,4	0,35	49	10,3	99	50

Как следует из табл. 2, для всего имеющегося массива данных 1967-1970 гг. (342 случая) среднесуточное количество выпадающих осадков в Телави составляет 6,21 мм и меняется от 0,05 до 58,8 мм.

Среднее суточное значение осадков в дни с грозой по всем случаям наблюдений (151) составляет 8,24 мм и меняется от 0,05 до 53 мм. По всему 191 случаю дней без гроз суточное количество осадков меняется от 0,05 до 58,8 мм и в среднем составляет 4,61 мм. В соответствии с критерием Стьюдента с уровнем значимости не хуже 0,01 суточное количество осадков в дни с грозами выше количества осадков в дни без гроз примерно в 1,8 раза.

Среднесуточное количество осадков в будние дни по всем данным (240 измерений) составляет 6,77 мм и меняется от 0,05 до 58,8 мм. Среднее суточное значение осадков в выходные дни по всем данным (102 измерения) составляет 4,91 мм и меняется от 0,05 до 36,8 мм. В соответствии с t критерием с α не хуже 0,1 суточное количество осадков в будние дни выше количества осадков в выходные дни примерно в 1,4 раза.

Среднее суточное количество осадков в будние дни с грозами составляет 8,98 мм и меняется от 0,05 до 53 мм. Суточное количество осадков в выходные дни с грозами меняется от 0,05 до 36,8 мм и в среднем составляет 6,79 мм. В соответствии с критерием Стьюдента с уровнем значимости не хуже 0,2 суточное количество осадков в будние дни с грозами в 1,3 раза выше количества осадков в выходные дни с грозами.

Наконец в среднем суточное количество осадков в будние без грозами равно 5,18 мм и меняется от 0,05 до 58,8 мм. Суточное количество осадков в выходные дни без гроз меняется от 0,05 до 21,5 мм и в среднем равно 3,01 мм. Суточное количество осадков в будние дни без гроз в 1,7 раза выше количества осадков в выходные дни без гроз (α по критерию t не хуже 0,02).

Таким образом, для всех рассмотренных в табл. 2 ситуаций в будние дни количество выпадающих осадков выше, чем в выходные. Это свидетельствует о явном влиянии антропогенного загрязнения атмосферы на их режим в Кахетии (по крайней мере в годы измерений), что хорошо согласуется с результатами исследований суточных значений загрязненности атмосферы и осадков в будние и выходные дни, приведенными в четвертой главе этой работы – уровень загрязненности в будние дни выше, чем в выходные.

Аналогичный результат также получается при анализе данных градодождемерной сети (табл. 3) для жидких и твердых осадков в Кахетии в период с 1964 по 1966 гг.

Как следует из табл. 3 среднее на один градодождемер количество жидких осадков в будние дни составляет 15 мм и меняется от 0,05 до 49,8 мм. Среднее значение осадков в выходные дни составляет 9,37 мм и меняется от 0,05 до 46 мм. В соответствии с t критерием с α не хуже 0,001 суточное количество осадков в будние дни выше количества осадков в выходные дни примерно в 1,6 раза.

Количество твердых осадков на один градодождемер в будние дни меняется от 0,05 до 18,4 мм и в среднем составляет 2,28 мм. В выходные дни среднее значение твердых осадков равно 1,04 мм и меняется от 0,05 до 6 мм. Количество твердых осадков в будние дни выше этого количества в выходные дни в 2,2 раза (α не хуже 0,001 по критерию t). Сумма жидких и твердых осадков в будние дни примерно в 1,65 раза выше, чем в выходные.

Для наглядности на рис. 8 представлено изменение среднего количества жидких и твердых осадков в Кахетии по дням недели, данные о которых приведены в табл. 3. Как следует из этого рисунка, минимум осадков наблюдался в воскресенье (в указанный период времени была 6-дневная рабочая неделя). Кроме этого, имеется два экстремума, во вторник и пятницу, объяснение наличия которых требует дальнейших исследований.

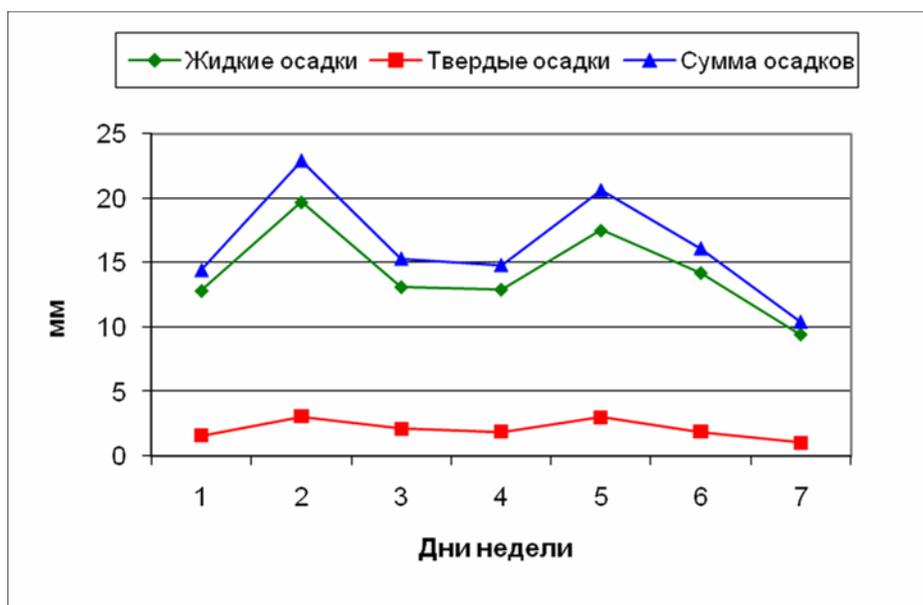


Рис. 8.

Изменение среднего количества жидких и твердых осадков в Кахетии (вне ЗТ) по дням недели в 1964-1966 гг.

Обратимся также к рис. 9, на котором изображено изменение среднего значения логарифма множителя максимальной радиолокационной отражаемости конвективных облаков по дням недели в Телавском районе в теплое полугодие 1972-1976 гг. Для построения этого рисунка использованы данные 899 измерений указанного радиолокационного параметра, который помимо грозовой активности конвективных облаков также характеризует их микрофизическую структуру, особенно в крупнокапельной части спектра облачных частиц.

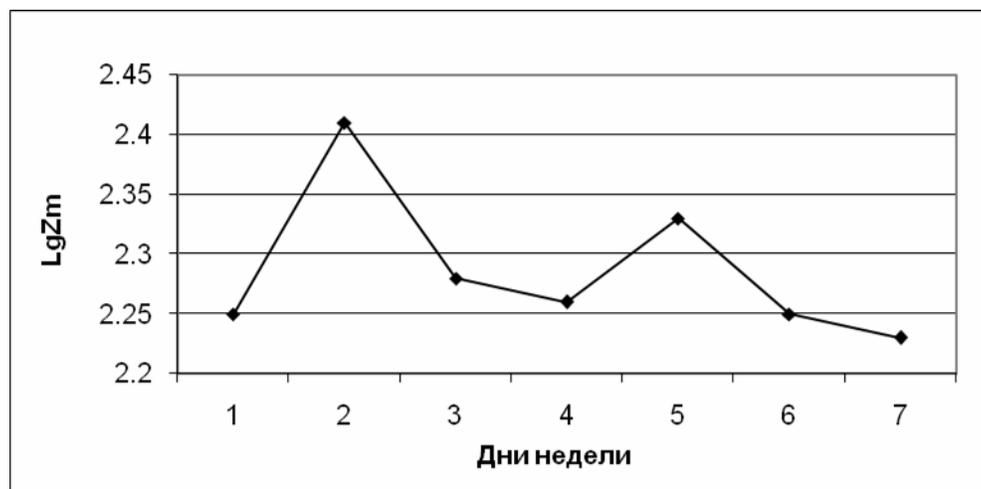


Рис. 9

Изменение среднего значения LgZ_m конвективных облаков в районе Телави по дням недели в 1972-1976 гг.

Ход LgZ_m на рис. 9 аналогичен ходу количества жидких и твердых осадков на рис. 8 6.5.1, с минимумом в выходные дни (в данном случае была уже 5-дневная рабочая неделя) и двумя экстремумами во вторник и пятницу, объяснение которых также требует дальнейших исследований. Однако и в данном случае прослеживается явный эффект антропогенного загрязнения атмосферы в изменчивости LgZ_m .

Важно выяснить, насколько устойчивы во времени указанные выше эффекты, обнаруженные нами для шестидесятых-семидесятых годов прошлого столетия. Для сравнения обратимся к табл. 4, в которой представлены данные об интенсивности градобитий в Кахетии на **ЗТ** в будние и выходные дни в теплое полугодие 1984-1989 гг. Отметим, что в этой таблице отсутствуют данные о катастрофическом градобитии 9 мая 1987 года.

Таблица 4

Статистические характеристики интенсивности градобитий в Кахетинском регионе на **ЗТ** в будние и выходные дни в теплое полугодие 1984-1989 гг.

Параметр	Mean	Min	Max	σ	$C_v, \%$	Count
Площадь, пораженная градом на 100% в будние дни (га)	160,6	2,5	817	199,4	124,2	30
Площадь, пораженная градом на 100% в выходные дни (га)	136,5	1,2	1039	250	183,2	15
Общая площадь, пораженная градом на в будние дни (га)	566,9	50	2382	595,7	105,1	30
Общая площадь, пораженная градом в выходные дни (га)	533,1	25	4876	1174	220,2	15

Анализ этой таблицы показывает, что в соответствии с двусторонним критерием Манна-Уитни [27] с достоверностью не хуже 90 % в будние дни интенсивность градобитий выше, чем в выходные. Критерий Стьюдента значимых различий в средних не дает. Отметим, что еще лучше этот эффект прослеживается для градобитий с интенсивностью 100 %- го поражения менее 1000 га. Таким образом можно полагать, что и во второй половине 80-х годов прошлого столетия эффект роста интенсивности градобитий в будние дни по сравнению с выходными сохранился.

Наконец остановимся на анализе возможных причин указанного выше эффекта. Для этой цели воспользуемся данными о физических характеристиках градобитий на Северном Кавказе, приведенных в работах [28,29]. В табл. 5 и 6 представлены проведенные нами результаты статистического анализа этих данных.

Таблица 5

Кинетические характеристики градобитий на Северном Кавказе в будние и выходные дни в 1983-1990 гг по данным [28]

Параметр	Mean	Min	Max	σ	Count
Макс. диам. градин,мм (будние дни)	21,27	4	64	9,47	45
Макс. диам. градин,мм (выходные дни)	22,36	6	44	8,3	22

Средн. диам. градин ,мм (будние дни)	5,9	2,3	17,5	3,095	45
Средн. диам. градин (выходные дни)	5,46	2,6	9,1	1,51	22
Среднеквадр. диам. градин ,мм (будние дни)	6,43	2,3	18	3,2	45
Среднеквадр. диам. градин ,мм (выходные дни)	6,06	2,6	9,7	1,57	22
Среднекуб. диам. градин ,мм (будние дни)	6,94	2,4	18	3,27	45
Среднекуб. диам. градин, мм (выходные дни)	6,69	2,8	11	1,78	22
Масса выпавших градин, кг/м ² (будние дни)	1,01	0,1	3,3	0,842	45
Масса выпавших градин , кг/м ² (выходные дни)	0,72	0,01	1,8	0,52	22
Энергия выпавшего града, Дж/м ² (будние дни)	98,7	0,3	413	107,9	45
Энергия выпавшего града, Дж/м ² (выходные дни)	85,6	0,3	361,6	84,45	22
Количество выпавших градин на м ² (будние дни)	5715,5	140	26072	5351,5	45
Количество выпавших градин на м ² (выходные дни)	3696,8	200	8613	2330,8	22

Таблица 6

Характеристики структуры зародышей градин на Северном Кавказе в будние и выходные дни в 1982-1989 гг по данным [29]

Параметр	Mean	Min	Max	σ	Count
Доля капельных зародышей, % (будние дни)	40,6	0	83	30,3	22
Доля капельных зародышей, % (выходные дни)	33,6	0	70	21,7	10
Доля крупяных зародышей, % (будние дни)	58,3	17	100	29,5	22
Доля крупяных зародышей, % (выходные дни)	65,4	30	100	22	10

Анализ данных, приведенных в табл. 5, показывает, что с достоверностью не хуже 90% по двустороннему критерию Манна-Уитни в будние дни масса, энергия и количество выпавших градин выше, чем в выходные дни (для массы и количества выпавших градин разницу в средних дает и критерий Стьюдента). Разница в размерах града незначима. Таким образом на Северном Кавказе, как и в Кахетии, интенсивность градобитий в будние дни выше, чем в выходные. Соответственно можно предположить, что в указанный период времени эффект антропогенного загрязнения атмосферы в изменчивости интенсивности градовых процессов носил региональный характер. Здесь же отметим, что в работе [30] для условий Юго-Восточной Франции по данным 1989-1999 гг приведены прямо противоположные результаты – рост интенсивности градобитий в выходные дни по сравнению с будними. В то же время в Рочлдейле (Англия) дождь по воскресеньям наблюдается реже, чем в будние

дни [31]. Это еще раз свидетельствует о нелинейности указанных выше связей и их региональном характере.

Наконец обратимся к табл.6, в которой представлены проведенные нами результаты статистического анализа данных о характеристиках структуры зародышей градин на Северном Кавказе в будние и выходные дни в 1982-1989 гг, приведенные в работе Тлисова и др. [29].

Как следует из табл. в будние дни по сравнению с выходными происходит рост доли капельных зародышей града и убывание доли крупяных зародышей. Рост доли капельных зародышей в будние дни может быть обусловлен увеличением содержания в атмосфере в эти дни крупнодисперсной фракции аэрозолей [32], способствующей образованию капельных зародышей града [33]. Иными словами в будние дни по сравнению с выходными растет вероятность роста града по механизму теплого дождя, что и приводит к более высокой интенсивности градобитий из-за более высокой плотности града в эти дни. Этот эффект находится в хорошем соответствии с тем фактом, что в будние дни количество выпадающих осадков выше, чем в выходные (табл. 2 и 3).

Заключение

Процессы взаимодействия естественных и искусственных аэрозолей с атмосферными процессами и, в особенности, с облаками весьма сложны. Взаимосвязи между грозовой и градовой активностью, осадками и аэрозольно-грозовым загрязнением атмосферы характеризуются региональными особенностями. Эти особенности обусловлены как физическими условиями образования облачности и осадков, так и количеством и видом аэрозольно-газового загрязнения воздуха. Размеры, химический состав, конденсационная и льдообразующая активность естественных и антропогенных аэрозолей могут существенно влиять на образование крупных капель и зародышей градин в облаках. В настоящее время, по сравнению с прошлым веком, характер антропогенного загрязнения атмосферы существенно изменился. Соответственно должна измениться и зависимость облачных процессов от этого загрязнения. Поэтому в дальнейшем, в случае восстановления работ в Грузии по регулированию облачных процессов, в методике воздействий необходим учет фактора антропогенного загрязнения атмосферы [34].

Литература

1. Williams E.R. – Lightning and Climate: A Review, Proc. 12th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June . V..2. 2003. PP. 665-668.
2. Ландсберг Г.Е. – Климат города. Л., Гидрометеиздат. 1983. 248 с.
3. Хайруллин К.Ш., Яковлев Б.А. – Влияние урбанизации на грозы и град. Тр. ГГО. И. 527. Л., Гидрометеиздат. 1990. С. 44-50.
4. 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, Trans. of M.Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sc., ISSN 1512-1135. V. 59. 2005. 128 p.
5. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. – Photochemical smog in Tbilisi. Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, ISSN 1512-1135. V. 63. 2012. 160 p.. (in Georgian).
6. Ayers G.P., Bigg K.K., Turvey D.E. – Aitken Particle and Cloud Condensation Nucleus Fluxes in the Plume from an Isolated Industrial Source. J. Appl. Meteor. V. 18. No 4. 1979. PP. 449-459.

7. Берлянд М.Е. – Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л., Гидрометеиздат. 1975. 448 с.
8. Muraleedharan T.S., Subba Ramu M.S., Vohra K.G. – Experimental Studies of the Formation of Aitken Nuclei in the Atmosphere. Proc. 11th Int. Conf. on atmospheric aerosols, Condensation and Ice Nuclei, Budapest, Hungary, 3-8 September. V.1. 1984. PP. 52-57 .
9. Amiranashvili A.G. - On the Role of Cosmic and Radioactive Radiation on the Formation of the Secondary Aerosols in Atmosphere. Int. Conference “Near-Earth Astronomy 2007” Abstract, Terskol, Russia, 3-7 September 2007. PP. 85.
10. Amiranashvili, A.G., Amiranashvili, V.A., Bakradze, T.S., Chikhladze, V.A., Glonti, N.Ya., Kharchilava, J.F., Tuskia, I.I - On the Influence of Cosmic Rays on the Secondary Aerosols Formation in the Atmosphere. 7th Int. Conference "Problems of Geocosmos", Abstract, St. Petersburg, Russia . 26 - 30 May, 2008.
11. 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. 12th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23. V. 1. 1996. PP. 267-270.
12. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Nodia A., Kirkitadze D. - Connection of Thunderstorm Processes Intensity with Aerosol Pollution of the Atmosphere. Proc. 13th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Beijing, China. 13-18 August 2007.
13. 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.
14. 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. PP.261-266.
15. 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/>.
16. 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. 14th International Conference on Clouds and Precipitation , Bologna , Italy ,18-23 July 2004. PP. 2_3_216.1-2_3_216.2.
17. setyva da masTan brZola, hidrometprocesebze aqtiuri zemoqmedebis samsaxuris 1967-1989 ww. MmuSaobis ZiriTadi Sedegebi, Tbilisi. 1990.15 gv.
18. Годовые отчеты о производственной деятельности ВС Грузинской УГКС, Тбилиси. 1984-1989.
19. Отчет по теме – Об исследованиях градовых явлений и разработка методов активных воздействий на градовые процессы (1958-1963). Ин-т геофизики АН СССР, Тбилиси. 1963. 232 с.
20. Felipe F.G. – La influencia de la ciudad sobre las precipitaciones: el caso de Madrid, Estud. geogr. No 199-200. 1990. PP. 397-411.
21. Wiegel H. – Niederschlagsverhältnisse und luftverunreinigungen des Rheinisch-Westfalischen industriegebietes und seiner umgebung, Veroff. Meteor., Berlin Inst. Univ., 3, No 3, 1938.
22. Ramachandra Murty A.S., Ramana Murty Bh. V. – Role of Dust on Rain Fall in North-West India. Pure and Appl. Geophys.. V. 104. No 3. 1973. PP. 614-622.
23. Qun Xu – Abrupt Change of the Mid-Summer Climate in Center East China by the Influence of Atmospheric Pollution. Atm. Env., V. 35, No 30, Pergamon, October 2001. PP. 5029-5040.
24. Muraca G., Mac Iver D.C., Urquizo N., Auid H. – The Climatology of Fog in Canada. Proc.2th Int. Conf.on Fog and Fog Collection, St.John's, Canada, July 15-20, 2001. PP. 513-526.

25. Amiranashvili A.G, Amiranashvili V.A., Tavartkiladze K.A., - Spatial-Temporary Variations of the Number of Fog Days per Year in Georgia. Proc.1st Int. . Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998. PP. 357-360.
26. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. - Comparative Analysis of Long-Term Variations of Number of Fog Days Per Year and Various Climateforming Factors in Georgia. Proc.2th Int. Conf.on Fog and Fog Collection, St.John's, Canada, July 15-20, 2001.PP.361-364.
27. Ван дер Варден Б.Л. – Математическая статистика. М., ИЛ. 1960. 434 с.
28. 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, 22-25 октября 1991. Санкт-Петербург. Гидрометеиздат, книга 2. 1995. С. 24-30.
29. 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, 16-21 октября 1989. М., МО Гидрометеиздата. 1991. С. 61-74.
30. 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, V.2. 2000. PP.1061-1064.
31. Ashworth J.R. – Smoke and Rain, Nature. No 154. 1944. PP. 213-214.
32. Амиранашвили А.Г. - Исследование грозо-градовых процессов в Грузии и их связей с аэрозольным загрязнением атмосферы. Дисс. на соиск. ученой степени доктора физико-математических наук, Институт геофизики им. М.З.Нодиа. Тбилиси. 2006. С.112-114.
33. Хоргуани В.Г. – Льдообразующая активность атмосферного аэрозоля и зарождение градовых частиц. Тр. Всес.конф. “Активн. возд. на гидромет. процессы”, Нальчик, 22-25 октября 1991 ,Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, книга 2. 1995. С. 140-144.
34. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш.,Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. – О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Труды института гидрометеорологии Грузинского технического университета, ISSN 1512-0902. Т 119. Тбилиси. 2013. С. 144-152.

ატმოსფეროს ანთროპოგენული დაბინძურების გავლენა სეტყვის პროცესების ინტენსივობის ცვალებადობაზე

ამირანაშვილი ა.

რეზიუმე

სეტყვის პროცესების წლიური ინტენსიურობა კახეთში არსებითად არის დამოკიდებული ჰაერის აეროზოლურ დაბინძურებაზე, თუმცა ამ დამოკიდულობას გააჩნია საკმაოდ რთული ხასიათი. მთლიანობაში ჰაერის არარადიოაქტიური აეროზოლური დაბინძურების ზრდას მიყვევართ სეტყვის მოსვლის ინტენსივობის ზრდისაკენ და შესაბამისად, სეტყვის საწინააღმდეგო ზემოქმედების ეფექტურობის შემცირებისაკენ.

ეს ეფექტი თავს იჩენს აგრეთვე სეტყვის პროცესების ინტენსივობის დღე-ღამურ ვარიაციებში. სამუშაო დღეებში სეტყვით დაზიანებული ფართობები, მაქსიმალური რადიოლოკაციური ამრეკვლადობის მამრავლის ლოგარითმი, თხევადი და მყარი ნალექების რაოდენობა კახეთში უფრო მაღალია, ვიდრე უქმე დღეებში. ანალოგიური

სურათი დაიკვირვება აგრეთვე ჩრდილო კავკასიაშიც (მოსული სეტყვის მარცვლების მასა, ენერგია და რაოდენობა სამუშაო დღეებში უფრო მაღალია, ვიდრე უქმეებში). სამუშაო დღეებში უქმეებთან შედარებით, აქ დაიკვირვება სეტყვის წვეთოვანი ჩანასახების წილის ზრდა და ხორხოშელის ჩანასახის მქონე სეტყვის მარცვლების წილის შემცირება (თბილი წვიმების მექანიზმით სეტყვის ზრდის ალბათობის გაზრდა). როგორც ჩანს, ყოფილ საბჭოთა კავშირში სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების განხორციელების პერიოდში, სეტყვის პროცესების ინტენსივობის ცვალებადობაში ატმოსფეროს ანტროპოგენული დაბინძურების ეფექტი ატარებდა რეგიონალურ ხასიათს.

შემოთავაზებულია, რომ ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოების ჩატარების დროს იყოს გათვალისწინებული ჰაერის ანთროპოგენული დაბინძურების ფაქტორიც.

Influence of the anthropogenic pollution of atmosphere on the changeability of hail processes intensity

Amiranashvili A.

Abstract

The annual intensity of hail processes in Kakheti depends substantially on the aerosol pollution of atmosphere, although this dependence has fairly complicated nature. As a whole an increase in the nonradioactive aerosol pollution of atmosphere leads to the intensification of the intensity of hail damages and respectively to the decrease of the effectiveness of the action of anti-hail works.

This effect appears also in daily variations in the intensity of hail processes. In Kakheti during the week-days the areas struck by hail, a logarithm of the multiplier of maximum radar reflectance, a quantity of liquid and solid precipitation are higher than into the weekends. Analogous situation also in the North Caucasus (mass, energy and a quantity of fallen hailstones during the week-days are higher than into the weekends). Increase in the fraction of the drop embryos of hail and decrease of the fraction of groats embryos (increase in the probability of an increase in the hail by the mechanism of warm rain) during the week-days in comparison with the weekends here occurs. In all likelihood in the period of the realization of anti-hail works in the former Soviet Union the effect of the anthropogenic pollution of atmosphere in the changeability of the intensity of hail processes bore regional nature.

It is proposed while performing of work on active actions on atmospheric processes to consider the factor of anthropogenic air pollution.