

Б.М. Хучунаев, А.А. Ташилова, Н.В. Теунова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт»
Россия, г.Нальчик

УДК 551.578.7

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

При решении задач, связанных с оценкой результатов активных воздействии на градовые процессы (АВ), приходится решать проблему определения значения показателя эффективности без АВ ($ПЭ_{без\ АВ}$) и его сравнение с показателем эффективности с АВ ($ПЭ_{с\ АВ}$). В качестве показателя эффективности обычно используют урожайность сельскохозяйственных культур, характеристики осадков на земле, радиолокационные данные об облаке.

Для более точного определения результатов АВ необходимо сравнивать значения $ПЭ_{без\ АВ}$ и $ПЭ_{с\ АВ}$ для одних и тех же градовых процессов. Но значения $ПЭ_{без\ АВ}$ для процессов, на которые проводились активные воздействия не известны (не доступны для прямого измерения). Поэтому для определения $ПЭ_{без\ АВ}$ используют косвенные методы. В мировой практике для этих целей наиболее часто применяют метод контрольных территорий и методы, которые основаны на данных страховых агентств о потере урожая. В случае метода контрольных территорий значения показателей эффективности на контрольной территории $ПЭ_{кт}$ используют в качестве $ПЭ_{без\ АВ}$. Но специфика градовых процессов такова, что $ПЭ_{кт}$ не равен $ПЭ_{без\ АВ}$. Поэтому замена $ПЭ_{без\ АВ}$ на $ПЭ_{с\ АВ}$ может привести к существенным ошибкам при определении АВ на градовые процессы.

Оценка эффективности АВ по данным страховых агентств содержит много субъективных моментов и среди специалистов вызывает обоснованное сомнение и недоверие.

В настоящей работе приведены результаты сравнительного анализа характеристик градобитий на защищаемой и контрольной территориях и оценки эффективности АВ на градовые процессы на основе регрессионных методов.

Оценка результатов АВ на градовые процессы проводилась на территории работ Куба-Табинского противорадового отряда Северо-Кавказской Военизированной службы в период с 1983 по 1997 гг. Характеристики града измерялись на градомерной сети Высокогорного геофизического института (ВГИ).

Градомерная сеть была расставлена на северном склоне Главного Кавказского хребта между г. Нальчиком и г. Кисловодском на площади $3,5 \cdot 10^3$ км². Протяженность сети 117км, ширина юго - восточной части сети – 24 км, северо-западной части – 45 км. На градомерной сети ВГИ было установлено 600 пассивных индикаторов града (ПИГ), 12 автоматических градосборников и 36 плювиографов. Плотность ПИГ на площади $2,5 \cdot 10^3$ км² составляла один прибор на 10 км², на площади $9 \cdot 10^3$ км² – один прибор на 2,5км².

На основе данных градомерной сети за указанный период были измерены характеристики 105 градовых процессов, из них 50 – АВ и 55 без АВ.

Сравнение характеристик градобитий на контрольной и защищаемой территориях не выявило их различия. Для более детального анализа выборки были разбиты на классы. Разделение на классы проводилось иерархическим методом классификации по 45 основным параметрам атмосферы в градовые дни. По этим параметрам выборка была разбита на 4 класса. В 4 класс вошли процессы только с активным воздействием.

Для оценки разброса средних и общих значений характеристик градобитий с АВ и без АВ был использован t - критерий. Статистика t - критерия имеет вид [1]:

$$t(n_1 + n_2 - 2) = \frac{\bar{x}_1(n_1) - \bar{x}_2(n_2)}{\tilde{S}_i \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

где $\bar{x}_1(n_1)$ и $\bar{x}_2(n_2)$ - средние значения выборок с АВ и без АВ, \tilde{S}_i^2 - оценка дисперсии, составленная из оценок дисперсии для каждой группы данных, n_1 , n_2 - количество измерений в выборках

$$\tilde{S}_i^2 = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} [(n_1 - 1)\bar{S}_1^2(n_1) + (n_2 - 1)\bar{S}_2^2(n_2)]$$

где

$$\bar{S}_j^2 = \frac{1}{h_j - 1} \sum [(x_i - x_j)(n)]^2$$

Если гипотеза "среднее в двух группах равны" – верна, то статистика $\tilde{t}(n_1 + n_2 - 2)$ имеет распределение Стьюдента с $(n_1 + n_2 - 2)$ степенями свободы [2]. Большие по абсолютной величине значения статистики $\tilde{t}(n_1 + n_2 - 2)$ свидетельствуют против гипотезы о равенстве средних значений.

Значения среднеарифметического диаметра градин (D_c) и общей кинетической энергии градин ($E_{об}$) в первом классе процессов находятся в пределах ошибок измерений. Среднее значение поверхностной плотности кинетической энергии (E_c) уменьшается на 28%, а концентрация градин (N_c) на 22%. Во втором классе процессов в результате АВ значимо изменяются следующие величины: среднеарифметический диаметр градин увеличивается на 27%, концентрация градин уменьшается на 32%. В третьем классе процессов значимо уменьшается среднее значение поверхностной плотности кинетической энергии на 39 %, концентрация градин на 53 % и общая кинетическая энергия на 45 %. Некоторый интерес

представляет сравнение площадей с различными кинетическими энергиями в процессах с АВ и без АВ. Доля площадей с поверхностной плотностью кинетической энергии менее 200 Дж/м² в процессах с АВ меньше, чем в процессах без АВ. Это, по-видимому, связано с тем, что активные воздействия приводят к значительным изменениям характеристик града в тех частях облака, где образуются и растут мелкие градины (с $E_c \leq 200$ Дж/м²).

Приведенный выше анализ показывает, что на основании прямого сравнения 15-летних данных о характеристиках града на контрольной и защищаемой территориях не возможно определить эффективность противоградовых работ, что, по-видимому, связано с малым периодом наблюдений. Поэтому для оценки $\Pi \mathcal{E}_{\text{без АВ}}$ нами был использован регрессионный метод. Процедура составления регрессионных уравнений включает: разбиение выборки на классы; составление уравнений регрессии; проверка существования значимой связи между характеристиками града на земле и параметрами атмосферы в градовые дни; определение ошибок уравнений регрессии. Разбиение на классы проводилось методом медианной классификации. По 45 параметрам атмосферы выборка была разбита на 3 класса.

В таблице 1 приведены средние характеристики града в процессах, вошедших в эти классы.

Как видно из таблицы 1, в первый класс вошли наиболее мощные градовые процессы с общей кинетической энергией 219,6-108 Дж, во второй - 143,2 . 108 Дж и в третий - 74,9 . 108 Дж. Значительное различие средних характеристик града в классах указывает, что параметры для разбиения выбраны верно.

Таблица 1 Характеристики града в I - III классах

| Класс | D_c мм | E_c Дж/м ² | N_c м ⁻² | $E_{об}$ 10 ⁸ Дж | $N_{об}$ 10 ¹⁰ м ⁻² |
|-------|-------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--|
| I | 6 | 116,2 | 4495 | 219,6 | 39438 |
| II | 5,1 | 59 | 5747 | 143,2 | 29203 |
| III | 5,5 | 132,5 | 10515 | 74,9 | 6689 |

Для определения значения $\Pi \mathcal{E}_{\text{без АВ}}$ для градовых процессов с активным воздействием были составлены регрессионные уравнения связи параметров атмосферы в градовые дни с характеристиками града на земле для 3-х классов.

I класс

$$N_c = N_0 - N_1 \Theta'_p(Z_m) + N_2 \Delta t_2, \quad (1)$$

где $\Theta'_p(Z_m)$ - псевдопотенциальная температура смоченного термометра на уровне z_m максимальной разности температуры облака и окружающего воздуха; Δt_2 - вертикальный градиент температуры в слое $H_k + 2\text{км} + 2\text{км}$; H_k - высота уровня конденсации; $N_0 = 381482$; $N_1 = 1351$ (K⁻¹); $N_2 = 203521$ (100м/с)

$$D_c = D_0 + D_1 H_p - D_2 \Delta t'_2, \quad (2)$$

где H_p - высота слоя потенциальной неустойчивости; $D_0 = 18,7$ (мм); $D_1 = 1,1$ (мм/км); $D_2 = 26,8$ (мм*100м⁰/C); $\Delta t'_2$ - вертикальный градиент температуры в слое $H_k + 2,5\text{км} + 2\text{км}$;

$$E_c = E_0 - E_1 T_K + E_2 \sum_0^{500} q, \quad (3)$$

где T_K - температура на уровне конденсации; $\sum_0^{500} q$ - суммарная удельная влажность в слое земля-500 Па; $E_0 = 10180$ (Дж/м²); $E_1 = 36,5$ (Дж/м²); $E_2 = 13,1$ (кг/г);

$$E_{об} = -E_0 - E_1 H_p + E_2 TT, \quad (4)$$

где TT - индекс интегральных сумм Миллера; $E_0 = 648$; $E_1 = 150$; $E_2 = 29,6$

II класс

$$N_c = N'_0 - N'_1 T_{\text{max}} + N'_2 TT + N'_3 P_{\text{max}}, \quad (5)$$

где T_{max} - температура на уровне максимальной разности температур в облаке и окружающей атмосфере; P_{max} - давление на уровне максимальной разности температур в облаке и окружающей атмосфере; $N'_0 = 153020$; $N'_1 = 757$; $N'_2 = 368$; $N'_3 = 57$

$$D_c = -D'_0 + D'_1 \Delta h + D'_2 T_{\text{max}} - D'_3 P_0, \quad (6)$$

где Δh - слой конвекции, расположенный в области отрицательных температур; P_0 - давление на высоте изотермы 0⁰C; $D'_0 = 34$; $D'_1 = 0,49$; $D'_2 = 0,21$; $D'_3 = 0,03$

$$E_c = -E'_0 - E'_1 H_0 + E'_2 \Delta t - E'_3 \Theta'_{p1}, \quad (7)$$

где H_0 - на высоте изотермы 0°C ; Δt - максимальная разность температур в облаке и в окружающем воздухе; Θ'_{p1} - минимальная псевдопотенциальная температура смоченного термометра на уровне слоя потенциальной неустойчивости; $E'_0 = 385$; $E'_1 = 106$; $E'_2 = 16,3$; $E'_3 = 11,1$

$$E_{об} = E'_0 + E'_1 P_{\max} - E'_2 \Delta t_2 + E'_3 P_0, \quad (8)$$

где $E'_0 = 4480$; $E'_1 = 8,5$; $E'_2 = 3175,3$; $E'_3 = 9,45$

III класс

$$N_c = N''_0 - N''_1 T_{\max} + N''_2 \sum_0^{500} q, \quad (9)$$

где $N''_0 = 282494$; $N''_1 = 1046$; $N''_2 = 325$

$$D_c = -D''_0 + D''_1 \Delta \Theta' + D''_2 T_{\max}, \quad (10)$$

где $\Delta \Theta'$ - разность псевдопотенциальных температур соответствующих уровням z_0, z_m , $D''_0 = 37,4$; $D''_1 = 1,28$; $D''_2 = 0,55$

$$E_c = -E''_0 + E''_1 \Delta \Theta' + E''_2 T_{\max}, \quad (11)$$

где $E''_0 = 37,4$; $E''_1 = 1,3$; $E''_2 = 0,14$

$$E_{об} = -E''_0 - E''_1 \Theta'_{p1} + E''_2 \sum_0^{500} q, \quad (12)$$

где $E''_0 = 61,7$; $E''_1 = 0,18$; $E''_2 = 8,3$

Для проверки утверждения имеется ли значимая зависимость между характеристиками града на земле и характеристиками воздушной массы, необходимо проверить гипотезу

$$C_0 = C_1 = C_2 = C_q = 0 \quad (13)$$

Если R- выборочное значение множественного коэффициента корреляции, то отношение $t = \frac{n-k}{k-1} \times \frac{R^2}{1-R^2}$, где R^2 - эмпирический коэффициент множественной детерминации, имеет F- распределения с $C(m_1, m_q) = (k-1), (n-k)$ степенями свободы.

Правило проверки гипотезы: гипотеза H отвергается, если $t > F_{m_1, m_2}$ при уровне значимости $1 - \alpha$. Значение F_{m_1, m_2} определяется по таблице [2]. Для всех выше приведенных зависимостей $t > F_{m_1, m_2}$ при уровне значимости 0,80, что указывает на значимость полученных выражений.

Для оценки точности регрессионной модели использовалась кросс-проверка. Ошибки определялись как отношение разницы между прогностическими и измеренными средними значениями к измеренным значениям в процентах. Для концентрации градин эти ошибки составляют 17,3 % , для кинетической энергии 18,9 % , для общей кинетической энергии 20 % , для среднего диаметра градин 18,7 %. Ошибки отдельных расчетов могут составить более 60 % , хотя суммарная ошибка меньше 20 % . Поэтому для оценки влияния АВ на характеристики града использовались суммарные значения рассчитанных характеристик. Изменение показателей эффективности в результате воздействия определялось по формуле:

$$\Delta \Pi \mathcal{E} = \left(1 - \frac{\bar{\Pi} \mathcal{E}_{cAB}}{\bar{\Pi} \mathcal{E}_{безAB}}\right) \times 100\% \quad (14)$$

где $\bar{\Pi} \mathcal{E}_{cAB} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$ - среднеарифметические значения показателя эффективности, определяются по данным градомерной сети.

$\bar{\Pi} \mathcal{E}_{безAB} = \frac{\sum X_{c1}}{n_1} + \frac{\sum X_{c2}}{n_2} + \frac{\sum X_{c3}}{n_3}$ - средние значения показателя эффективности без АВ, определяются по формулам (1-

12), где n_1, n_2, n_3 - количество градовых процессов в классах.

Результаты исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2 Отношение характеристик града в при активных воздействиях

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\left(1 - \frac{\bar{D}_{cAB}}{\bar{D}_{безAB}}\right) \times 100\%$ | $\left(1 - \frac{\bar{N}_{cAB}}{\bar{N}_{безAB}}\right) \times 100\%$ | $\left(1 - \frac{\bar{E}_{cAB}}{\bar{E}_{безAB}}\right) \times 100\%$ | $\left(1 - \frac{\bar{E}_{обcAB}}{\bar{E}_{оббезAB}}\right) \times 100\%$ |
| -30% | 64% | -60% | 36% |

Как видно из таблицы 2, при проведении активных воздействий происходит увеличение среднеарифметического диаметра градин на 30%; среднего значения поверхностной плотности кинетической энергии на 60%; уменьшение общей кинетической энергии на 36% и концентрации градин на 64%. Данная комбинация изменений характеристик града на земле может происходить в том случае, когда в результате АВ уменьшается концентрация мелких градин .

Полученные выше результаты относятся к случаям, когда АВ не приводят к полному предотвращению выпадения града. Они позволяют ответить на вопрос о количественном изменении различных характеристик градобитий при АВ. Несколько иной оказывается полная физическая эффективность противоградовых работ, полученных при учете количества градовых процессов с полным предотвращением выпадения града. Выражение для оценки эффективности противоградовых работ можно записать в виде:

$$\Theta = \frac{(\Delta\Pi\Theta)N_1 + N_2}{N_1 + N_2} \times 100\% , \quad (15)$$

где N_1, N_2 – количество градовых процессов с полным и неполным предотвращением града соответственно.

На основе вышеприведенного анализа изменений характеристик градобитий, в качестве показателя эффективности целесообразно выбрать общую кинетическую энергию.

Оценку N_2 можно провести двумя способами: первый на основе данных о количестве облаков, на которые производилось воздействие; второй на основе выпадения града на контрольной территории.

Привлекательной стороной первого способа оценки является то, что искомые градовые процессы образовались на защищаемой территории, где, собственно, производится оценка эффективности. Однако, этот способ обладает принципиальным недостатком, состоящим в том, что по известным причинам количество процессов, на которые производились АВ, значительно больше, чем процессы, с которых выпал бы град, если бы не было АВ. Предпочтительно, поэтому, для оценки АВ использовать данные о выпадении града на контрольной территории. В наших экспериментах количество градовых процессов с 1986 по 1997 год на защищаемой территории составило 44, на контрольной территории – 55. Подставляя эти данные в формулу (15), получим $\Theta = 49\%$. С учетом ошибок эффективность активных воздействий на градовые процессы находится в пределах от 39 до 59%.

В результате проведенных нами исследований получены следующие результаты:

1. При проведении АВ происходит уменьшение общей кинетической энергии для процессов с градом на земле на 36% , при этом значительно уменьшается количество мелких градин.
2. Физическая эффективность противоградовых работ находится в пределах 39-59% .

ლიტერატურა-REFERENCES-ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян С.А., Еников И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика - М.: Финансы и статистика.-1985, 87 с.
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики - М.: Наука.- 1983, 416 с.

უკ 551.578.7

სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების ზოგიერთი შედეგის შეფასება./ხუჩუნაევი ბ., ტაშილოვა ა., ტეუნოვა ნ./საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული -2011.- ტ.117.-გვ. 104-107.- რუს.;რეზ.ქართ.,ინგლ., რუს.

ნაშრომში მოცემულია სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების ფიზიკური ეფექტურობის განსაზღვრის შედეგები, რომლებიც გამოთვლილია რეგრესიის განტოლების საფუძველზე - სეტყვის მახასიათებლის ატმოსფეროს პარამეტრებთან კავშირით სეტყვიან დღეებში, სეტყვიანობის სიხშირის გათვალისწინებით დაცულ და საკონტოლო ტერიტორიებზე. მოყვანილია რეგრესიის განტოლებების ცომილებები, რომლებიც შეფასებულია ურთიერთშედარების მეთოდით.

UDC 551.578.7

SOME RESULTS OF ESTIMATE OF PHYSICAL EFFECTIVENESS OF CLOUD SEEDING ON THE HAILSTONE PROCESSES./B.M.Khuchunaev, A.A.Tashilova, N.V.Teunova/ Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University. -2011. - т.117. – pp. 104-107. -Russ.; Summ. Georg.; Eng.; Russ

In the article the results of definition of physical effectiveness against-hailstones operations, calculated on the foundation of regressive of coupling equations of performances of the hailstones with parameters of an atmosphere in hailstones days and according to frequency of shedding of a hailstones in defended and control territories are reduced. The errors of the equations of a regression are reduced which are appreciated by a method of cross-checkout.

УДК 551.578.7

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ./Б.М. Хучунаев, А.А.Ташилова, Н.В.Теунова/Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии.-2011.-т.117.-с.104-107.-Груз.;Рез.Груз.,Анг., Рус.

В работе приводятся результаты определения физической эффективности противоградовых работ, вычисленные на основе регрессионных уравнений связи характеристик града с параметрами атмосферы в градовые дни и с учетом частоты выпадения града на защищаемой и контрольной территориях. Приведены ошибки уравнений регрессии, которые оценены методом кросс-проверки.

