

ПРОТИВОГРАДОВАЯ ЗАЩИТА В АЗЕРБАЙДЖАНЕ И ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

С.Г.Сафаров

*Национальный Департамент по Гидрометеорологии
Министерства Экологии и Природных Ресурсов
AZ1154 Баку, просп. Г.Алиева, 50
E-mail: safarov53@mail.ru*

В работе анализируются результаты противоградовых операций, проводимых на территории Азербайджана за период 1967-1990 гг., и оценивается их физическая и экономическая эффективность. С использованием наиболее информативных показателей эффективности доказывалось, что в противоградовых операциях было достигнуто значительное сокращение потерь от града и затраты на организацию и проведение защиты окупались в среднем 6 – 7 раз. Показывается, что в случае возобновления противоградовых работ с применением современных технологий активного воздействия можно добиться значительного экономического эффекта и дальнейшего развития сельского хозяйства.

Сложность рельефа, высокие температуры подстилающей поверхности, а также большое влагосодержание воздушных масс, вторгающихся из разных широт, обуславливают возникновение из года в год в тех или иных местах территории Азербайджана интенсивных градовых процессов, которые наносят значительный ущерб хозяйствам республики.

Учитывая высокие темпы развития сельского хозяйства, в том числе виноградарства, начиная с 1967 г., было организовано военизированное противоградовое подразделение и до 1991 г. в некоторых градоопасных регионах республики проводились противоградовые мероприятия.

Целью настоящей работы является статистический анализ результатов противоградовых работ, проводимых на территории Азербайджана, и оценка их эффективности. В работе использовались материалы годовых отчетов о производственной деятельности бывшей противоградовой службы республики.

Основные результаты противоградовых работ

Работы по защите от града осуществлялись на площади 1330000 га с помощью 12 военизированных противоградовых отрядов и 94 пунктов активного воздействия.

Защищаемая территория (ЗТ) характе-

ризовалась достаточно большой грозоградовой активностью.

Продолжительность сезона противоградовых работ составляла 184 (с 15 апреля по 15 октября) дня.

При среднегодовом числе дней с засевом облаков, равном 56, в 89 % случаев засев проведен успешно и на ЗТ не был отмечен ущерб от градобития, а в 11 % случаев – неуспешно или не полностью успешно, так как на ЗТ отмечалось выпадение града с ущербом.

Среднегодовое количество засеянных объектов воздействия (ОВ) составляло 387, варьируя от 251 до 561. При этом число с успешным засевом (т. е. без пропуска града на ЗТ) достигало 75%, а с неуспешным (с пропуском града) – 25%.

Детальный анализ материалов неуспешных воздействий показал, что основными причинами пропуска градобитий на ЗТ являлись следующие:

- ошибки персонала при выборе площадок засева или опоздание с началом воздействия;
- отказ радиолокационной техники, средств связи или средств доставки кристаллизующего реагента в облако в процессе активного воздействия (АВ);
- недостаточно интенсивный и единовременный засев сверхмощных градовых облаков из-за слабой скорострельности используемых ракетно-артиллерийских комплексов;

- недостатки технологии воздействия;
- запреты органов авиации и другие организационно-технические неполадки, которые были сведены к минимуму, но иногда имели место.

В среднем годовое число ОВ на 1 млн. га составляло 330, с расходом противоградовых изделий (ПГИ) 7680 единиц, варьируя в зависимости от градоопасности года от 4434 до 11456. Средний расход на 1 ОВ составлял 23,2 ПГИ, при этом сильно варьируя в зависимости от категории ОВ. В отдельных случаях на одно сверхмощное градовое облако было израсходовано более 200 ПГИ. В среднем за год на засев градоопасных облаков было использовано 76,4 кг кристаллизирующего реагента *AgI* (*йодистое серебро*).

В годы защиты от градобития потери урожая сократились в несколько раз (табл.). Наибольшее сокращение потерь наблюдалось в годы низкой градоопасности, когда мощные крупномасштабные градобития отмечались относительно редко. Анализ материалов активного воздействия (АВ) показывает, что эффективность защиты повышалась с годами по мере совершенствования техники и технологии защиты.

Методика и технология активного воздействия

Для обнаружения градоопасных ячеек и выделения площадок засева в основном были использованы метеорологические радиолокаторы МРЛ-5. Противоградовые операции проводились по советской технологии активного воздействия. До 1982 года методы активного воздействия основывались на концепции *конкуренции естественных и искусственных*

центров кристаллизации (Сулаквелидзе, 1967). Однако в дальнейшем она была заменена более перспективной и научно обоснованной концепцией *ускорения осадкообразования* (Абшаев, 1990).

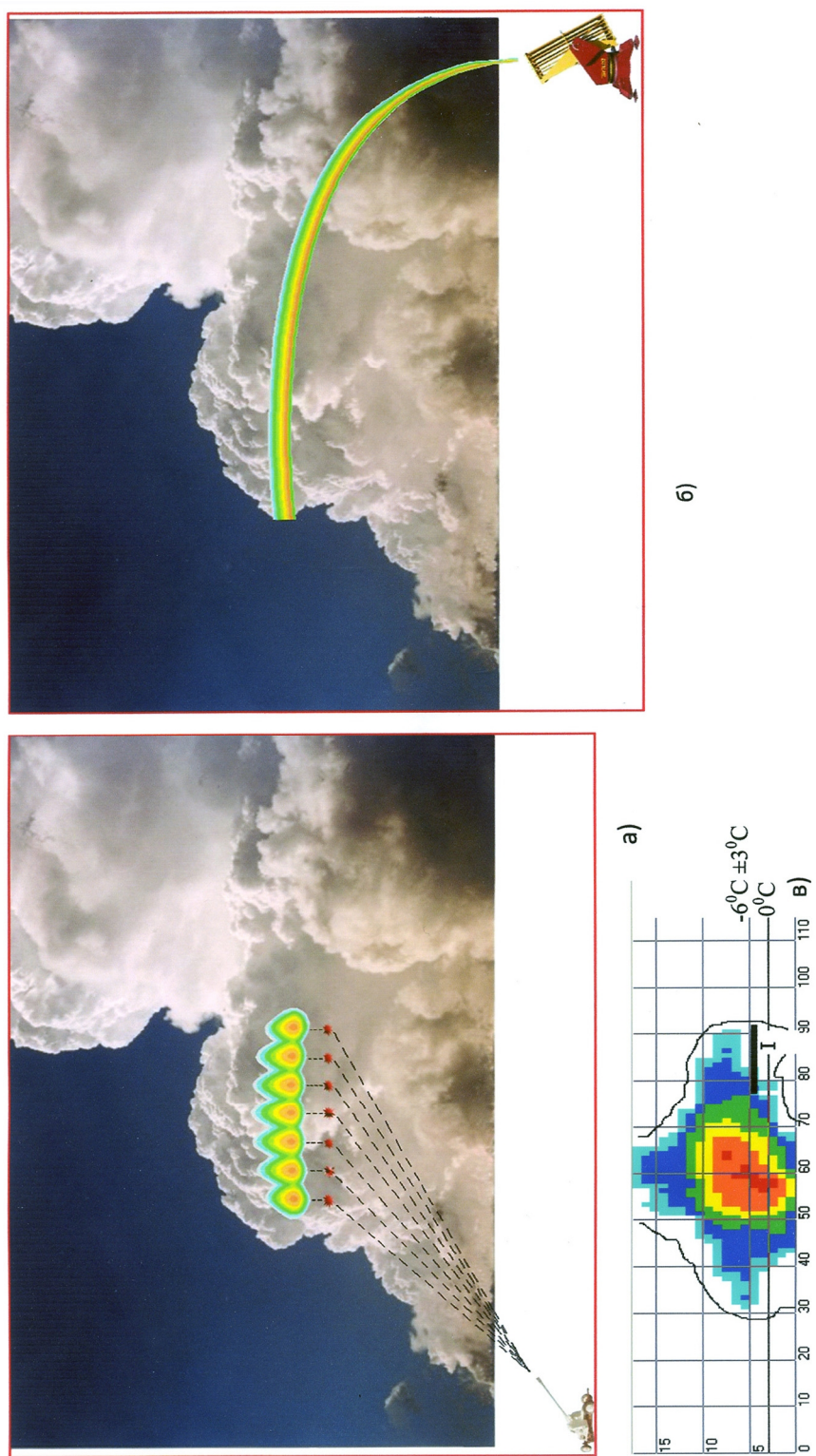
Эта концепция предусматривала преждевременное стимулирование выпадения осадков из зоны формирования условий зарождения града до начала градообразования и вымывания этой зоны искусственными осадками. В результате такого воздействия на вновь развивающиеся градоопасные ячейки естественный процесс градообразования разрешается выпадением дождя, а при воздействии на несимметричные градовые процессы с непрерывным распространением градообразования в пространстве нарушается непрерывность процесса зарождения, роста и выпадения града. Для ускорения осадкообразования рекомендовалось прямое и единовременное введение льдообразующего реагента по всей площади горизонтального сечения зоны формирования условий зарождения града на уровне изотермы $-6^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ (рис. в).

Методика воздействия, основанная на вышеизложенной концепции, была дифференцирована с учетом стадии развития и типа градовых процессов (иначе говоря, с учетом их структуры, динамики развития и характера распространения процесса градообразования в пространстве). Схемы засева облаков различных типов существенно различались. Однако независимо от типа процесса АВ с целью прерывания и предотвращения града рекомендовалось проводить на зону формирования условий градообразования (рис. в). Воздействие на зону локализации града в стадии его роста считалось неэффективным.

Потери урожая (N, %) до защиты (выделено жирным шрифтом) и в период защиты от градобитий

Годы	Потери	Годы	Потери	Годы	Потери	Годы	Потери	Годы	Потери
1961	4,20	1967	0,01	1973	0,29	1979	0,10	1985	0,46
1962	1,80	1968	0,00	1974	0,20	1980	0,12	1986	0,34
1963	5,80	1969	0,00	1975	0,04	1981	0,09	1987	0,02
1964	3,40	1970	0,75	1976	0,23	1982	0,13	1988	0,08
1965	1,40	1971	0,01	1977	0,04	1983	0,40	1989	0,19
1966	4,10	1972	0,00	1978	0,05	1984	0,26	1990	0,87
Среднее	3,45								0,20
σ	1,64								0,23

Примечание: σ – среднее квадратичное отклонение



Визуальный вид облака **Cu song** (а,б), схема артиллерийского (а) и ракетного (б) методов засева, вертикальное сечение радиозона облака (в) и область засева (I).

Операции по воздействию на объекты различных категорий осуществлялись по методике, изложенной в (Абшаев и др., 1986) с помощью противоградовых ракетно-артиллерийских комплексов “Эльбрус” (рис. а) и “Алазань”(рис.б).

Анализ эволюции объектов воздействия – облаков проведен по данным радиолокационных наблюдений и фоторегистрации структуры радиоэха ячеек на индикаторе кругового обзора (ИКО) и на индикаторе дальность-высота (ИДВ) радиолокатора МРЛ-5.

Методы оценки физической и экономической эффективности противоградовых работ

Эффективность и себестоимость противоградовых работ в значительной степени зависят от градоопасности региона, ценности защищаемых культур, повторяемости града и других неблагоприятных для сельского хозяйства атмосферных явлений, интенсивности и специализации сельскохозяйственного производства, особенностей применяемой агротехники, характеристик ущерба от разных стихийных явлений и в том числе от града.

Оценка эффективности противоградовых работ имеет некоторые аспекты:

- оценка физической эффективности АВ на конкретные градовые облака и поиск причинно-следственных связей эволюции параметров облаков с засевом;
- статистическая оценка физической эффективности ПГЗ;
- оценка экономической эффективности и рентабельности ПГЗ.

Оперативная радиолокационная оценка эффективности АВ на отдельный объект имеет большое значение в оперативной работе для корректировки стратегии в ходе воздействия на объект, принятия решения о необходимости продолжения или прекращения воздействия и определения очередности обработки объектов воздействия.

Под термином «физическая эффективность» здесь понимается способность применяемой технологии ПГЗ предотвращать градобития, уменьшать площадь градобитий, ущерб от града в n раз (или на n %) в отличие

от термина «экономическая эффективность», под которым понимается экономическая выгода и окупаемость затрат на применение той или иной технологии.

Статистическая оценка физической эффективности противоградовых работ, в целом, представляет интерес для анализа качества технологии и технических средств воздействия, определения их предельных возможностей и должна предшествовать оценке экономической эффективности.

Оценка экономической эффективности противоградовых работ служит для определения экономической выгоды и целесообразности их проведения. Она является наиболее сложной, так как включает в себя как физические (площадь и интенсивность градобития), биологические (степень повреждения, выживаемость растений после градобития) и экономические (ущерб, затраты на пересев и т.д.) категории при неудовлетворительном информационном обеспечении о сложном случайном процессе со значительной пространственно-временной изменчивостью.

При проведении этих работ оценка физической эффективности осуществляется путем сравнения ожидаемого, без проведения противоградовых работ, значения показателя эффективности с фактическим:

$$E_f = \left(1 - \frac{X_{\phi}}{X_{ож}} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

где X_{ϕ} – фактическое, а $X_{ож}$ – ожидаемое значения показателя эффективности, в качестве которых может быть использовано множество метеорологических и физических параметров: частота выпадения градовых осадков; S_r (га) – площадь выпадения града; E (дж/м²) – кинетическая энергия градовых осадков на единицу площади; S_e (га) – площадь повреждения от градобития сельхозкультур; K (%) – степень повреждения сельхозкультур от градобития; S (га) – площадь повреждения сельхозкультур в пересчете на 100% повреждения; процент потерь урожая N (%) и др.

В последние годы наиболее информативным показателем эффективности считается процент потерь урожая N (%) (Абшаев и др., 2006). Этот параметр включает в себя

степень повреждений, площадь поврежденных, площадь культивируемой территории и обеспечивает получение однородных рядов данных независимо от изменений площади ЗТ по годам:

$$N = \frac{S_{100}}{S_k} \cdot 100\% \quad (2)$$

где S_{100} – площадь градобитий в пересчете на 100 % повреждения; S_k – площадь культивируемой территории на ЗТ.

Оценку экономической эффективности можно осуществлять по следующей формуле:

$$E_e = Y_c - Y_s = (\bar{N}_c - N_s) \cdot S_k \bar{C} \quad (3)$$

где N_s – потери урожая в год (или период) защиты, $\bar{N}_c$ – среднееголетние потери до защиты, %; $Y_c = \bar{N}_c S_k \bar{C}$ – потенциальный ущерб от градобитий на ЗТ в год защиты; $Y_s = N_s S_k \bar{C}$ – фактический ущерб от градобитий на ЗТ в год защиты; $\bar{C}$ – средняя стоимость урожая (манат/га).

Оценка эффективности противоградовых работ на территории Азербайджана за период 1981-1990 гг.

Природная изменчивость потерь от града

Однородный ряд данных о потерях на ЗТ до защиты от градобития имеется для периода 1961-1966 гг. Как видно из таблицы, несмотря на довольно короткий период, до защиты потери от града имеют большую временную изменчивость. Потери от града в годы максимума градоопасности в более чем 4 раза превышают потери в годы минимума: $1,4 < N_c < 5,8$ %. Средняя потеря от града составляет 3,45%, а среднеквадратичное отклонение составляет примерно половину значения среднего – 1,64.

$$\text{Коэффициент вариации } \chi_c = \frac{\sigma_c}{\bar{N}_c} \cdot 100\%$$

имеет значение 0,48. Это свидетельствует о том, что нельзя достоверно оценивать эффективность ПГЗ в отдельном году (или коротком периоде) без учета градоопасности региона и года (периода).

Изменчивость потерь от града, модифицированная засевом облаков

В таблице приводятся данные о потерях от града за период 1967-1990 гг. Как видно из таблицы, за этот период среднегодовое значение потерь от града составляет 0,20 %, со среднеквадратичным отклонением 0,23%. Наибольшие потери от града наблюдались в 1970 и 1990 гг. Однако, если в первом случае значительные потери были связаны с большой градоопасностью года и низкой скорострельностью средств доставки кристаллизирующего реагента, то во втором случае они были связаны в основном с нехваткой ПГИ и невозможностью нормально проводить противоградовые операции из-за военного конфликта с Арменией.

Из таблицы следует, что в годы защиты от градобития потери сельхозпродукции по ЗТ значительно меньше, чем до защиты, и в зависимости от градоопасности года варьируют в пределах $0,0 < \bar{N}_s < 0,87\%$.

В период проведения защиты потери от градобития в среднем сократились в 18 раз, а значение среднеквадратичного отклонения в 7 раз. Коэффициент вариации увеличился в 2,5 раза. Такое увеличение в первую очередь связано с тем, что наряду с близкими к нулю потерями в отдельные годы отмечались пропуски серьезных градобитий, они реже наблюдались в 1981 - 1990 гг., когда использовалась унифицированная технология.

Таким образом, проведение противоградовой защиты в Азербайджане существенно трансформировало статистические характеристики потерь от града. Эффективность защиты повышалась с годами по мере совершенствования техники и технологии защиты.

Физико-статистическая и экономическая эффективность противоградовых работ

Оценка физической и экономической эффективностей ПГЗ осуществлялась по формулам (1) и (3). Эта оценка показала, что за период 1981-90 гг. физическая эффективность противоградовых работ в среднем составила 93%, варьируя в пределах $75 < E_f < 99\%$. Среднеквадратичное отклонение составило всего 4,9%, что свидетельствует об устойчивом и

надежном эффекте противоградовых работ.

Ежегодная экономическая эффективность противоградовых работ за вычетом затрат в среднем составила 8,7 млн. руб., варьируя в пределах $6,6 < E_e < 10,6$ млн. руб. в закупочных ценах сельхозпродукции на 31.12.1990 г. Ежегодные затраты на проведение противоградовой защиты составили $1,0 \div 1,5$ млн. руб., т.е. затраты на организацию и проведение защиты окупались в среднем 6 – 7 раз.

Таким образом, в противоградовых операциях, проводимых на территории Азербайджана, достигнуто значительное сокращение потерь от града. По эффективности противоградовой защиты служба Азербайджана занимала одно из ведущих мест в бывшем СССР.

Вышеизложенное доказывает, что в случае возобновления противоградовых работ с применением современных технологий активного воздействия можно добиться значи-

тельного экономического эффекта, роста объема сельхозпродукции, открытия новых рабочих мест и таким образом содействовать экономическому развитию градоопасных регионов республики.

ЛИТЕРАТУРА

- АБШАЕВ, М.Т. 1990. Новый метод воздействия на градовые процессы. В: *Тр. Всес. конф. по АВ на гидромет. проц.* Гидрометеиздат, Ленинград, 118 - 126.
- АБШАЕВ, М.Т., МАЛКАРОВА, А.М. 2006. Оценка эффективности предотвращения града. Гидрометеиздат. Санкт-Петербург. 279.
- АБШАЕВ, М.Т., БУРЦЕВ, И.И., ЗАХАРОВ, В.Г., МИХЕЕВ, М.Д. (под ред). 1986. Временные методические указания по воздействию на градовые процессы. ВНИИ МЦД. Обнинск. 43.
- СУЛАКВЕЛИДЗЕ, Г.К. 1967. Ливневые осадки и град. Гидрометеиздат. Ленинград. 412.

Рецензент: член-корр. НАН Азербайджана Р.М.Мамедов