

**КУДЛАЕВ Э. М., КОЗЛОВ М. В.,
ЛАГУТИН М. Б., ФЕДЧЕНКО Л. М.**

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОТИВОГРАДОВОЙ
СЛУЖБЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В 1978–1983 гг.**

Введение

Настоящая статья посвящена статистической оценке эффективности работы Северо-Кавказской Военизированной Службы (СК ВС) противорадовой защиты; исходным материалом для оценки эффективности служат представленные сотрудницей Высокогорного геофизического института В. А. Бочаровой архивные данные о площадях сельскохозяйственных угодий, побитых градом за 1962–1983 гг. в ряде районов Ставропольского края, Кабардино-Балкарии и Северной Осетии.

1. Об экспериментальных данных. Проведение успешной градозащиты (в том числе, в горных и предгорных районах, где интенсивность градовых процессов очень велика) является чрезвычайно важным [11], [20], [21] для сельского хозяйства, энергетики, средств связи и т. д. В связи с этим во многих странах осуществлялись и осуществляются научные эксперименты по активным воздействиям на градоопасные облака (инициатором их проведения в нашей стране — на Северном Кавказе — был Г. К. Сулаквелидзе [21]); история таких экспериментов насчитывает несколько десятилетий (см., например, работы [11], [12], [17], [19], [21], [26] и библиографию к ним). При проведении экспериментов измеряются интересующие исследователей физические характеристики, относящиеся к экспериментальным объектам, называемым *экспериментальными единицами* (э. е.). В нашем случае э. е. представляет собой градоопасное облако, а измеряемой физической характеристикой является величина площади (в гектарах), поврежденной выпавшим из него градом. Хотя физическим представлениям о процессе образования града и о механизме воздействия *реагентов* на градовые процессы и посвящены многочисленные исследования (см., например, [2], [4], [12], [21]), рассчитать заранее — до проведения эксперимента — величину эффекта воздействия не представляется возможным. Поэтому у специалистов усиливается интерес к использованию статистических методов,

для чего эксперимент проводят таким образом, чтобы одна часть э.е. подверглась воздействию, а другая осталась бы для контроля; при этом экспериментальные данные разбиваются на две выборки: *контрольную* и *с воздействием*. Затем в рамках выбранной вероятностной модели (моделей) применяются [17] статистические методы и делается вывод об эффективности воздействия; чем больше число э.е., тем, как правило, надежнее статистические выводы.

Опишем вкратце схему проведения градозащиты ВС СК на экспериментальной территории. Последняя, с одной стороны, представляет собой объединение территорий колхозов, совхозов и учхозов, входящих в сорок административных районов, а с другой — объединение близких по своим физико-географическим свойствам *засеваемой* (ЗТ) и *контрольной территорий* (КТ), а также территории, *прилегающей* (ПТ) к ним. Радиолокационными измерениями [1], [4] «на подходе» к экспериментальной территории обнаруживается градоопасное облако; в облако, находящееся над ЗТ, с помощью артиллерийских либо ракетных установок доставляется реагент (как правило, твердая углекислота). Проходя по ЗТ, КТ или ПТ, облако оставляет «след» в виде площади, в той или иной степени поврежденной градом; для каждого вида территории измеряются величина и степень поврежденности площади градобитий. Во многих случаях площадь градобитий представляет собой объединение площадей полностью и частично поврежденных градом, а поэтому экспериментальные данные содержат и величины *приведенных площадей градобитий*. Последние совпадают с величинами площадей, полностью поврежденных градом, а в случае площадей, частично поврежденных градом, подсчитываются с помощью долей их поврежденности. При этом значения всех приведенных площадей оказываются ненулевыми, так что количество э.е., соответствующих приведенным площадям на КТ, ЗТ и ПТ, совпадает с количеством площадей, поврежденных градом на соответствующей территории (см. табл. 1). Представленные нам архивные материалы содержали неточности, пропуски данных; большую работу по корректировке экспериментальных данных провела инженер Лаборатории математической статистики механико-математического факультета МГУ И. А. Кузнецова. В итоге нам пришлось использовать данные о работе ВС СК лишь за период 1978–1983 гг.

Следует отметить наличие большого количества э.е., что является редким для «погодных» экспериментов — см., например, эксперименты, упомянутые в работах [3], [6], [10], [14], [17], [19], [26]. Это обстоятельство расширяет возможности анализа эффективности противоградовых работ. Нас, прежде всего, интересует вопрос: уменьшилась ли «в среднем» площадь градобитий в результате противоградовой защиты? Для ответа на него мы должны выбрать вид (виды) поврежденности площадей градобитий, с помощью которого будут строиться выводы. Здесь мы будем оценивать эффективность работы ВС СК на основе данных о

приведенных площадях градобитий.

Таблица 1

Вид территории	Вид площади градобитий	Кол-во э. е.
контрольная	поврежденная градом	193
прилегающая	поврежденная градом	237
засеваемая	поврежденная градом	268

2. Выбор вероятностной модели. Будем предполагать, что величины приведенных площадей градобитий $X_k(i)$, $k = 1, \dots, n_i$ (значения $i = 0, 1, 2$ относятся к КТ, ЗТ и ПТ соответственно) являются независимыми в совокупности одинаково распределенными в пределах каждого вида территории случайными величинами. Основанием для предположения о независимости случайных величин $X_k(i)$ при изменении значений i и индекса k являются пространственная разобщенность видов территорий и наличие достаточно больших временных интервалов между э. е. соответственно. Имея большое количество э. е., мы попытаемся аппроксимировать распределения величин $X_k(i)$ параметрическими семействами распределений с различными, вообще говоря, значениями параметров для каждого $i = 0, 1, 2$. Как правило, именно параметрические модели используются (см. цитируемую выше литературу) при статистическом анализе эффективности активных воздействий на облачность, причем для аппроксимации распределения основной физической характеристики «погодного» эксперимента наиболее часто применяются следующие двухпараметрические семейства распределений: Вейбулла, также называемое [16] в отечественной литературе распределением Вейбулла–Гнеденко, с плотностью распределения f_W ,

$$f_W(x; \theta', \beta) = (\beta/\theta') (x/\theta')^{\beta-1} \exp \{ - (x/\theta')^\beta \} \quad \text{при } x, \theta', \beta > 0;$$

гамма — с плотностью f_G ,

$$f_G(x; \theta'', \delta) = [x^{\delta-1} (\theta'')^{-\delta} / \Gamma(\delta)] \exp \{ - x/\theta'' \} \quad \text{при } x, \theta'', \delta > 0;$$

логарифмически нормальное — с плотностью f_{LN} ,

$$f_{LN}(x; \theta^*, \sigma) = (2\pi)^{-1/2} (\sigma x)^{-1} \exp \left\{ - [1/(2\sigma^2)] \ln^2(x/\theta^*) \right\} \\ \text{при } x, \theta^*, \sigma > 0$$

(в случае $x \leq 0$ каждая из приведенных плотностей полагается равной нулю). Отметим, что распределение Вейбулла при $\beta = 1$ (как и гамма-распределение при $\delta = 1$) является экспоненциальным распределением, а при $\beta = 2$ совпадает с распределением Релея.

Проверка согласия распределения приведенных площадей градобитий (для каждого вида территории) с одним из указанных выше семейств распределений будет проводиться как графическими, так и аналитическими методами. Первые из них используют гистограммы и вероятностные диаграммы квантилей, а вторые основаны на критериях согласия (Колмогорова, Андерсона–Дарлинга, Крамера–Мизеса) и инвариантных относительно масштабных преобразований процедурах селекции Кьюзенберри и Кент [27].

3. Постановка задачи. Предполагая, что распределения приведенных площадей градобитий для КТ и ЗТ принадлежат двупараметрическому семейству одного из трех вышеназванных типов, для стандартных значений уровня значимости мы будем строить односторонние (в сторону уменьшения) доверительные интервалы для изменения математического ожидания указанных площадей.

В настоящей статье используются: терминология и факты, относящиеся к физике и методологии активных воздействий на градоопасные процессы (см. работы [2], [12], [21] и [1], [4] соответственно), к теории вероятностей и математической статистике ([8] и [13], [23] соответственно), а также применяются методы как общей теории проверки статистических гипотез [7], [18], так и ее специальных разделов, связанных с критериями согласия: графические ([23]–[25], [28], [29]) и аналитические ([25], [27]).