

УДК 551. 515.6 (575.12)

### РЕЖИМ ГРОЗ В ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЕ

Ю.А. Подрезова

*Исследуется частота гроз, их длительность, число грозочасов и годовой ход гроз в Иссык-Кульской котловине от приозерной равнины до высокогорной зоны по многолетним данным (1960...1991 гг.) 12 метеостанций Кыргызгидромета.*

**Задачи исследований, исходный материал.** Иссык-Кульская котловина (рис. 1) является одним из наиболее грозоопасных районов Центральной Азии [1...4] и Кыргызстана. Целью настоящей работы явилось климато-статистическое исследование режима гроз по данным многолетних наблюдений 12 метеостанций (М) Кыргызгидромета (общий период – 31 год, 1960...1991 гг.), расположенных в диапазоне высот от 1645 м (приозерная равнина) до 2787 м – высокогорная зона (табл. 1). Как видно, приозерная равнина освещена 7 примерно равномерно расположенными по периметру озера станциями, северное горное обрамление характеризуется двумя, а южное – тремя станциями. За весь период наблюдений зарегистрировано 12740 гроз, по станциям оно колеблется от 426 до 2502, что говорит о надежности полученных статистических расчетов.



Рис. 1. Карта района Иссык-Кульской котловины с расположением метеостанций и границей Кыргызстана (черная жирная линия).

Исследовались следующие характеристики гроз: средняя годовая частота ( $x$ ), длительность отдельной грозы ( $t$ ), интегральное годовое число грозочасов ( $n$ ), а также годовой ход гроз, т.е. распределение их по месяцам

года. По каждой характеристике рассчитаны 4 основные статистики: средние многолетние значения (нормы) ( $\bar{x}$ ,  $\bar{t}$ ,  $\bar{n}$ ), коэффициенты вариации ( $C_v$ ), асимметрии ( $A_s$ ) и эксцесса ( $E_s$ ). В табл. 1 приведены полученные значения средних и коэффициентов вариации по всем станциям, композиционно сгруппированным в 5 территориальных зон: запад, север и юг приозерной равнины, её северное и южное горное обрамление, представленные соответственно южным склоном Кунгей Ала-Тоо и северным склоном Терской Ала-Тоо. Выделение в отдельную зону запада котловины объясняется особыми климато-орографическими условиями, когда проникновение в нее внешних воздушных масс сопровождается их орографическим опусканием после переваливания через широтную цепь высоких хребтов Киргизский – Кунгей Ала-Тоо на их стыке, удалением воздуха от состояния насыщения и ослаблением атмосферных фронтов. Этим обусловлены особые климатические условия западной зоны котловины, соответствующие климату сухих степей или даже пустынь [2]. Необходимость выделения остальных 4 зон достаточна очевидна. В результате, представилось возможным рассмотреть закономерности территориального распределения гроз как в области всего контура приозерной равнины, так и отдельно в её южном и северном горных обрамлениях, получающих за счет различий в экспозиции склонов существенно различный приход прямой солнечной радиации.

Таблица 1

Статистики распределений годовой частоты, длительности гроз и числа грозочасов ( $n$ ) по метеостанциям

Станция	z, км	Число гроз	Частота		Длительность		Грозочасы	
			$\bar{x}$	$C_v$	$\bar{t}$	$C_v$	$\bar{n}$	$C_v$
<b>1. Западная зона приозерной равнины</b>								
Рыбачье	1,66	2320	32,68	0,24	2,29	0,73	74,85	0,34
<b>2. Северная зона приозерной равнины</b>								
Чолпон-Ата	1,64	2502	48,71	0,19	1,66	0,87	80,70	0,45
Красный Октябрь	1,64	2259	69,16	0,21	1,05	1,32	72,87	0,42
Среднее			58,94	0,20	1,36	1,10	76,79	0,44
<b>3. Южная зона приозерной равнины</b>								
Пржевальск	1,72	1710	45,87	0,33	1,20	0,91	55,16	0,47
Покровка	1,74	1250	37,23	0,45	1,06	1,36	40,03	0,43
Тамга	1,69	506	41,29	0,24	0,68	0,99	28,11	0,31
Бокомбаевское	1,80	607	40,46	1,01	0,85	0,99	33,72	1,01
Среднее			41,21	0,51	0,95	1,06	39,26	0,56
<b>4. Северное горное обрамление (южные склоны Кунгей Ала-Тоо)</b>								
Сан-Таш, пер.	2,32	2501	51,72	0,43	1,67	1,25	86,25	0,58
Кырчин	2,60	575	43,36	0,32	1,20	0,79	52,25	0,34
Среднее			47,54	0,38	1,44	1,02	69,25	0,46

Станция	z, км	Число гроз	Частота		Длительность		Грозочасы	
			$\bar{x}$	$C_v$	$\bar{t}$	$C_v$	$\bar{n}$	$C_v$
<b>5. Южное горное обрамление (северные склоны Терской Ала-Тоо)</b>								
Теплоключенка	2,00	524	43,62	0,41	0,92	1,09	40,27	0,47
Бол. Кызыл Су	2,56	806	47,40	0,25	0,85	1,04	40,50	0,49
Чон-Ашу	2,79	426	23,19	0,43	0,90	0,79	20,30	0,57
Среднее			38,07	0,36	0,89	0,97	33,69	0,51
Общее среднее			43,72	0,38	1,19	1,01	52,08	0,49

*Примечание:* Период наблюдений на станциях был следующим: Тамга (1960...1987 гг.), Бокомбаевское (1973...1990 гг.), Сан-Таш (1962...1990 гг.), Кырчин (1980...1990 гг.), Теплоключенка (1975...1987 гг.), Большая Кызыл-Су (1970...1990 гг.), Чон-Ашу (1970...1990 гг.), на остальных 5 станциях (1960...1990 гг.).

**Частота гроз.** Частота или повторяемость гроз  $\bar{x}$  в году в целом по котловине составляет около 44 случаев (табл. 1), что говорит об интенсивной грозовой деятельности, заметно большей, чем в среднем по Ферганской впадине, где  $\bar{x} = 29,2$  [5]. В области приозерной равнины прослеживается достаточно четкая закономерность изменений  $\bar{x}$  по территории: в западной части на М Рыбачье  $\bar{x} = 33$ , к востоку увеличивается по северному побережью, где  $\bar{x} = 59$  (по данным двух станций), при этом в его крайней восточной части частота достигает максимального по котловине значения до  $\bar{x} = 69$  (Красный Октябрь). В южной части приозерной равнины  $\bar{x}$  максимально в Пржевальске (46 случаев) и несколько меньше в его остальной восточной и центральной частях, где по данным трех станций  $\bar{x} = 41,2$ .

Характерным для всей приозерной равнины является малая годовая изменчивость повторяемости гроз с коэффициентами вариации  $C_v = 0,19...0,45$  при среднем значении 0,34 (исключение Бокомбаевское, где  $C_v = 1,01$ ). Это говорит о стабильно высокой частоте гроз от года к году. Если оценить вероятное максимальное годовое число гроз по неравенству Чебышева [5, 6]

$$x_{\text{макс}} = \bar{x}(1 + k_p \cdot C_v), \quad (1)$$

где задаваемому коэффициенту  $k_p = 3, 4$  и  $5$  соответствуют обеспеченности  $p$ , равные соответственно 0,889; 0,937 и 0,960, то получим следующие значения  $x_{\text{макс}}$ . (подставив в (1) значения  $\bar{x}$  и  $C_v$  из табл. 1):

Зона равнины:	1 (запад)	2 (север)	3 (юг)
$p = 0,889$ ( $k_p = 3$ )	56	94	83
$p = 0,937$ ( $k_p = 4$ )	64	106	97
$p = 0,960$ ( $k_p = 5$ )	72	118	111

Как видно, максимальные оценки очень высоки, достигая в западной наименее грозовой зоне даже для  $p = 0,889$  значений около 56, в наиболее грозовой северной зоне – 94, и в южной – 83.

Коэффициенты асимметрии по всем станциям котловины положительны и колеблются в пределах 0,5...4,8, что говорит о правомочности сделанных оценок  $x_{\max}$ .

По данным двух станций южного склона Кунгей Ала-Тоо (северное горное обрамление), расположенного благоприятно для высокой энергетической освещенности склона прямой солнечной радиацией, частота гроз здесь высока –  $\bar{x} = 48$  при достаточно малой межгодовой вариации ( $C_v = 0,38$ ). Это дает максимальные оценки по (1) равные:  $x_{\max.} (p = 0,889) = 102$ ,  $x_{\max.} (p = 0,937) = 120$  и  $x_{\max.} (p = 0,960) = 128$ , т.е. они оказались значительно выше, чем в западной приозерной зоне (что объясняется там малым значением  $\bar{x}$  и  $C_v$ ), и даже несколько большими, чем в северной и восточной зонах.

Для северного склона Терской Ала-Тоо две станции дают высокую частоту гроз примерно аналогичную южному склону Кунгей Ала-Тоо (43,6 и 47,4). Однако самая высокогорная станция Чон-Ашу (2,787 км) снижает эту картину, имея  $\bar{x} = 23,2$ . В результате по трем станциям общее  $\bar{x}$  оказывается равным всего 38,1. Если Чон-Ашу исключить, то вплоть до 2,5 км оценки  $x_{\max.}$  по (1) окажутся равными:  $x_{\max.} (p = 0,889) = 91$ ,  $x_{\max.} (p = 0,937) = 106$  и  $x_{\max.} (p = 0,960) = 121$ , т.е. примерно такими же высокими, как и для южного склона Кунгей Ала-Тоо.

Для Ферганской котловины [5] была установлена слабая параболическая зависимость  $\bar{x}$  от высоты места ( $c r_2 = 0,37$ ), дающая максимум гроз в зоне подножья и нижней части склонов на  $z \approx 1,5$  км. В Иссык-Кульской котловине картина аналогична:  $r_2 = 0,42$ , а параболическая регрессия с максимумом на  $z = 2$  км (подножье склонов) имеет вид ( $z$ , км):

$$\bar{x} = -30,77 \cdot z^2 + 125,23 \cdot z - 78,45 \pm 10,1, \quad (2)$$

где последнее слагаемое есть стандартная ошибка регрессии.

Эту зависимость можно использовать для оценочных расчетов в диапазоне высот 1,6...3,0 км. На рис. 2 показано корреляционное поле точек ( $z$ ,  $\bar{x}$ ) с графиком (2), позволяющее наглядно судить о качестве этой зависимости. Статистически функция (2) значима на уровне доверительной вероятности  $p = 0,90$ , что надо учитывать на практике.

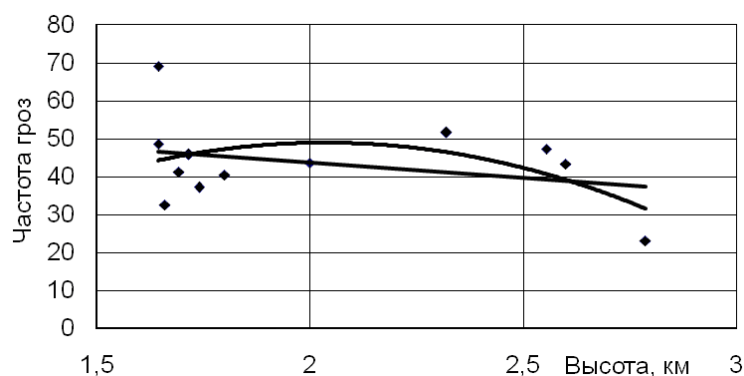


Рис. 2. Корреляционное поле точек ( $z, \bar{x}$ ) и график (2).

Если принять (2), то, как и для Ферганской котловины, к высоте 3 км наблюдается быстрое убывание  $\bar{x}$ . Так, для  $z$ , равных 2, 2,5 и 3 км, соответственно имеем – 49, 42 и 20 гроз. Физически это может найти объяснение в уменьшении нагрева подстилающей поверхности выше подножья и уменьшением влагосодержания воздуха. Обращаем еще раз внимание на то, что максимум высотных регрессий соответствует зонам подножий обеих котловин: в Иссык-Кульской – это высоты около 2 км, а в Ферганской – около 1,5 км.

Годовой ход гроз, осредненный по всем станциям, характеризуется следующим их распределением по месяцам в процентах:

Месяц:	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%	0,02	0,93	6,60	22,80	30,00	21,00	13,60	4,30	0,72	0,05

Очень редкие грозы могут возникать уже в марте, отдельные грозы происходят в апреле (около 1 %), но активный грозовой сезон начинается только с мая (6,6 %). В июне повторяемость гроз резко возрастает, достигая 22,8 %, а затем ещё растет в июле, где имеет максимум (30 %). В августе повторяемость резко падает (21 %), такое падение продолжается в сентябре (13,6 %) и октябре (4,3 %), где и заканчивается активный грозовой сезон. В ноябре ещё возможны отдельные грозы, а в декабре грозы, как и в марте, отмечаются крайне редко. Характерно, что в январе-феврале гроз не зарегистрировано.

**Длительность гроз.** По данным всех 12 станций (табл. 1) средняя длительность грозы ( $\bar{t}$ ) в котловине составляет 1,19 ч, колеблясь по отдельным станциям в пределах 0,68...2,29 ч. Как видно (табл. 1), разброс средних по 5 зонам также относительно невелик: самое высокое  $\bar{t} = 2,29$  ч

соответствует западной части приозерной равнины, где число гроз наименьшее, а для остальных 4 зон разброс находится в пределах 0,89...1,44. Географически грозы более длительны в северной зоне приозерной равнины ( $\bar{t} = 1,36$  ч), чем в южной ( $\bar{t} = 0,95$  ч), и более длительны над южными склонами Кунгей Ала-Тоо (1,44 ч), чем над северными Терской Ала-Тоо (0,89 ч), где их длительность минимальна.

Однако коэффициенты межгодовой вариации длительностей велики:  $c(t) = 1,01$  для все котловины,  $c(t) = 0,73...1,10$  для групп станций по 5-ти зонам и  $c(t) = 0,73...1,36$  для отдельных станций. Это означает, что длительность отдельных гроз на станциях может значительно превышать их средние значения. Так, используя осредненные значения  $\bar{t}$  и  $c(t)$  по 5 зонам, получим для них по (1) следующие оценки вероятных максимальных длительностей гроз:

Зона котловины:	1	2	3	4	5
$t_{\max}$ ( $p = 0,889$ ), ч	7,3	5,9	4,0	5,9	3,5
$t_{\max}$ ( $p = 0,937$ ), ч	9,0	7,3	5,0	7,3	4,3
$t_{\max}$ ( $p = 0,960$ ), ч	10,7	8,8	6,0	8,8	5,2

Как видно, осредненная по зонам максимальная длительность отдельной грозы с обеспеченностью  $p = 0,89$  находится в пределах 3,5...7,3 ч, с обеспеченностью  $p = 0,94$  – в пределах 4,3...9 ч, а с обеспеченностью  $p = 0,96$  – в пределах 5,2...10,7 ч, т.е. грозы в экстремальных случаях могут длиться четверть суток и даже половину суток.

**Число грозочасов в году.** Среднее в году число грозочасов (гч) по всей котловине составляет около 52, колеблясь по отдельным станциям от 20,3 (Чон-Ашу) до 86,3 (Сан-Таш, пер.). В западной зоне приозерной равнины за счет самой большой в котловине длительности гроз интегральное число велико – 74,85 гч. Оно такое же или чуть больше (Чолпон-Ата – 80,7 гч) в её северной зоне, где  $\bar{n} = 76,8$  гч. В южной зоне равнины среднее число грозочасов почти в два раза меньше,  $\bar{n} = 39,3$  гч.

На южных склонах Кунгей Ала-Тоо, число грозочасов, как и в прилегающей равнине, остается высоким ( $\bar{n} = 69,3$ ), убывая с высотой места (Сан-Таш – 86,3 гч, Кырчин – 52,3 гч). Северные склоны Терской Ала-Тоо, как и прилегающая равнина, имеют самое малое число грозочасов,  $\bar{n} = 33,7$  гч. Здесь также выше 2,5 км намечается тенденция уменьшения грозочасов с высотой (Большая Кызыл-Су – 40,5, Чон-Ашу – 20,3).

Таким образом, в географическом распределении числа грозочасов имеет место примерно та же картина, что и в распределении частоты гроз. Исключением является западная зона прибрежной равнины, где число грозочасов такое же большое, как и во всей северной зоне, что, как уже отмечалось является следствием повышенной длительности гроз.

Коэффициенты вариации  $s(n)$ , характеризующие межгодовую изменчивость числа грозочасов относительно невелики. По всей территории  $\bar{s}(n) = 0,49$ , по зонам они находятся в пределах  $0,34 \dots 0,56$ , а по всей совокупности станций в пределах  $0,31 \dots 1,01$ , т.е. они несколько выше, чем для частоты гроз, но заметно ниже, чем для их длительности.

Если точно также оценить вероятное максимальное значение числа грозочасов по зонам, используя средние значения  $\bar{n}$  и  $s(n)$  табл. 1, то получим:

Зона по табл. 1:	1	2	3	4	5
$n_{\max}$ ( $p = 0,889$ ), гч	151	178	87	165	85
$n_{\max}$ ( $p = 0,937$ ), гч	176	212	105	197	102
$n_{\max}$ ( $p = 0,960$ ), гч	202	246	123	229	120

Как видно, с обеспеченностью  $0,89$  максимально возможное число грозочасов в году по всем зонам значительно выше их среднегодового числа и находится в пределах  $85 \dots 178$  гч, а с обеспеченностью  $0,96$  – в пределах  $120 \dots 229$ . Географическое распределение максимальных оценок имеет тот же характер, что и распределение их средних оценок.

#### Корреляционная зависимость характеристик гроз от $z$ , $\varphi$ и $\lambda$

Этот вопрос уже был частично рассмотрен, когда проводился анализ высотной регрессии  $\bar{x}$  (рис. 2, формула (2)). В табл. 2 приведена сводка парных линейных  $r_1$  и параболических второго порядка  $r_2$  коэффициентов корреляции  $\bar{x}$ ,  $\bar{t}$ , и  $\bar{n}$  с высотой  $z$ , широтой  $\varphi$  и долготой  $\lambda$  для станций табл. 1.

Таблица 2

Сводка парных коэффициентов корреляции  $r_1$  и  $r_2$

Характеристика	С высотой $z$		С широтой $\varphi$		С долготой $\lambda$	
	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$	$r_1$	$r_2$
Частота – $\bar{x}$	-0,31	0,42	0,43	0,53	0,14	0,44
Длительность – $\bar{t}$	-0,23	0,23	0,42	0,57	-0,47	0,79
Грозочасы – $\bar{n}$	-0,31	0,35	0,64	0,66	-0,22	0,36

Прежде всего, видно, знаки  $r_1$  подтверждают отмеченные тенденции возрастания ( $r_1 > 0$ ) или убывания ( $r_1 < 0$ ) характеристик  $\bar{x}$ ,  $\bar{t}$ , и  $\bar{n}$  в

зависимости от аргументов  $z$ ,  $\varphi$  и  $\lambda$ . Обращает на себя внимание достаточно высокие  $r_1$  и  $r_2$ , характеризующие связь  $\bar{x}$ ,  $\bar{t}$ , и  $\bar{n}$  с широтой  $\varphi$  и аналогично высокие  $r_2$  для их связи с долготой. При этом следует заметить, что парная линейная корреляция самих координат станций выглядит так:  $r_1(z, \varphi) = 0,14$  (связь отсутствует),  $r_1(z, \lambda) = 0,49$  (связь существенна) и  $r_1(\varphi, \lambda) = 0,16$  (связь отсутствует).

Поэтому для описания географического распределения  $\bar{x}$ ,  $\bar{t}$ , и  $\bar{n}$  в котловине лучше построить их множественные линейные регрессии. Наиболее адекватными исходным данным оказались следующие зависимости:

$$\bar{x} = -1160,0 - 13,818z + 21,280\varphi + 4,209\lambda \pm 10,0, \quad (3)$$

$$\bar{t} = -18,46 + 0,037z + 0,983\varphi + 0,283\lambda \pm 0,34, \quad (4)$$

$$\bar{n} = -2643,34 - 20,805z + 64,454\varphi \pm 15,78, \quad (5)$$

где последние слагаемые со знаком  $\pm$  есть стандартные ошибки регрессий.

Достоверность этих уравнений следующая: а) для (3) – коэффициент детерминации  $D = 0,41$  и коэффициент множественной корреляции  $R = 0,64$ ; б) для (4) –  $D = 0,46$  и  $R = 0,68$ ; в) для (5) –  $D = 0,60$  и  $R = 0,76$ . Видно, что коэффициенты множественной линейной корреляции сравнительно высоки,  $R = 0,64 \dots 0,76$ , и статистически значимы на уровне доверительной вероятности  $0,75 \dots 0,95$ , несмотря на относительно малое число станций. Для оценочных расчетов уравнения (3) – (5) можно использовать на практике в фактических границах переменных, для которых они получены:  $z = 1,6 \dots 3$ ;  $\varphi = 42,1^\circ \dots 42,9^\circ$ ;  $\lambda = 76^\circ \dots 79,2^\circ$ . Эти уравнения дают приближенное географическое распределение характеристик гроз в котловине.

Следовательно, результаты корреляционно-регрессионных расчетов оказались весьма полезными для научного анализа распределения характеристик гроз в котловине, повысив практическую надежность выводов. При практической оценке грозовой деятельности в котловине и её горном обрамлении следует, прежде всего, использовать сгруппированные по зонам данные табл. 1 с их анализом, приведенном в тексте, дополняя их при необходимости расчетами характеристик по уравнениям (2) – (5).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апостолов Г.А. Грозовая деятельность на территории Киргизской ССР // Изд. АН Кирг. ССР. – 1960. – Т. 2. – Вып. 7. – С. 43-76.
2. Климат Киргизской ССР. – Фрунзе: Илим, 1965. – 292 с.



3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Вып. 32. Киргизская ССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 375 с.
4. Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 336 с.
5. Подrezова Ю.А. Повторяемость гроз в горном обрамлении Ферганской впадины // Вестник КРСУ. – 2009. – Том 9. – №1. – С. 138-143.
6. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1965. – 511 с.

Кыргызско-Российский Славянский университет, Кыргызстан, г. Бишкек

### **ЫСТЫҚКӨЛ ҚАЗАНШҰҢҚЫРЫНЫҢ НАЙЗАҒАЙ РЕЖІМІ**

Ю.А. Подrezова

*Ыстықкөл қазаншұңқырында көл маңы жазығынан биік таулы аумаққа дейінгі аралықты қамтитын, Қыргызгидрометтің 12 метеостансасының көпжылдық мәліметтері (1960...1991 жж.) бойынша найзағайдың жиілігі, ұзақтығы, саны мен жылдық барысы зерттелді.*