

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ НОРМ ЧАСТОТЫ, ДЛИТЕЛЬНОСТИ ГРОЗ И ЧИСЛА ГРОЗОЧАСОВ В КЫРГЫЗСТАНЕ

*Ю.А. Подрезова*

Анализируются парные линейные и параболические, а также линейные множественные корреляционные связи и регрессионные зависимости многолетних средних (норм) годовой частоты, длительности гроз и годового числа грозочасов от высоты, широты и долготы места для территории Кыргызстана в целом и четырех его климатических областей.

*Ключевые слова:* Кыргызстан; климатические характеристики гроз; территориальные распределения.

Грозоопасность любого региона определяется в первую очередь значениями многолетних климатических норм таких характеристик гроз как их годовая частота  $\bar{x}$ , длительность –  $\bar{z}$  и годовое число грозочасов –  $\bar{n}$ . Поэтому знание закономерностей распределений  $\bar{x}$ ,  $\bar{z}$  и  $\bar{n}$  для сложной горной территории Кыргызстана важно как с научной, так и с практической точек зрения.

Для оценки корреляционных связей и регрессионных зависимостей характеристик гроз от высоты  $z$ , широты  $\varphi$  и долготы  $\lambda$  были использованы многолетние данные (1960–1991 гг.) 65 метеостанций Кыргызгидромета, расположенных в диапазоне высот 0,6–3,61 км, широт 39–43° с.ш., долгот 69–80° в.д., которые зарегистрировали 50327 гроз. Были проанализированы следующие виды статистических зависимостей: линейная парная (коэффициенты корреляции –  $r_1$ ); параболическая парная второго порядка (коэффициент параболической корреляции –  $r_2$ ); множественная линейная (коэффициент множественной корреляции –  $R$ ). Такие задачи для

Кыргызстана в предыдущих исследованиях гроз не решались [1, 2].

Поскольку за счет взаимной корреляции координат  $z$ ,  $\varphi$  и  $\lambda$  самих метеостанций, некоторые статистические зависимости могут быть ложными, то для их исключения оценивались значения  $R$  для различных комбинаций предикторов из системы  $z$ ,  $\varphi$  и  $\lambda$ , например,  $R(z, \bar{x})$ ,  $R(z, \varphi, \bar{x})$ ,  $R(z, \lambda, \bar{x})$  и  $R(z, \varphi, \lambda, \bar{x})$ , а также парные  $r_1(z, \varphi)$ ,  $r_1(z, \lambda)$  и  $r_1(\varphi, \lambda)$  для станций.

Так, для Северного, Северо-Западного Кыргызстана оказалось, что  $r_1(z, \bar{x}) = -0,38$  и  $r_1(\varphi, \bar{x}) = 0,44$ . Казалось бы, что частота гроз наряду с обратной парной корреляцией с высотой имеет прямую с широтой. На самом деле корреляция с широтой является ложной и объясняется высокой связью координат  $z$  и  $\varphi$  станций,  $r_1(z, \varphi) = -0,86$ . Высоты горного обрамления для Чуйской долины закономерно повышаются с севера на юг по склону Кыргызского хребта. Поэтому широтная зависимость  $\bar{x}$  от  $\varphi$  просто дублирует зависимость  $\bar{x}$  от  $z$ . Вывод о пре-

Уравнения статистических моделей характеристик гроз от z, φ и λ для различных климатических областей Кыргызстана

Уравнение	Коэффициент корреляции	Номер
Кыргызстан в целом		
$\bar{X} = -9,773z^2 + 34,77z + 3,26 \pm 12,1$	$r_2=0,53$	(1)
$\bar{X} = -7,75z + 2,247\lambda - 125,42 \pm 12,9$	$R=0,46$	(2)
$\bar{z} = -0,283z + 1,80 \pm 0,42$	$r_1= -0,47$	(3)
$\bar{n} = -12,621z^2 + 39,059z + 16,42 \pm 22,2$	$r_2=0,50$	(4)
Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК)		
$\bar{X} = -1,55z^2 + 3,683z + 17,625 \pm 4,6$	$r_2=0,42$	(5)
$\bar{X} = 2,3089\lambda - 152,45 \pm 5,2$	$r_1=0,48$	(6)
$\bar{X} = -129,2 - 1,8116z + 2,0353 \lambda \pm 5,1$	$R=0,56$	(7)
$\bar{z} = -0,370z + 2,02 \pm 0,29$	$r_1= -0,68$	(8)
$\bar{n} = -9,3031z + 42,447 \pm 13,82$	$r_1= -0,53$	(9)
$\bar{n} = 5,4628\lambda - 376,79 \pm 15,7$	$r_1=0,40$	(10)
$\bar{n} = -274,8 - 8,3025z + 4,2703\lambda \pm 14,0$	$R=0,61$	(11)
Юго-Западный Кыргызстан (ЮЗК)		
$\bar{X} = -13,289z^2 + 41,253z + 3,08 \pm 12,8$	$r_2=0,55$	(12)
$\bar{z} = -0,322z^2 + 0,981z + 0,766 \pm 0,52$	$r_2=0,38$	(13)
$\bar{z} = -0,1836\lambda + 14,654 \pm 0,53$	$r_1= -0,40$	(14)
$\bar{z} = 14,108 - 0,1785z - 0,1718\lambda \pm 0,53$	$R=0,45$	(15)
$\bar{n} = -31,198z^2 + 101,11z - 24,163 \pm 24,6$	$r_2=0,52$	(16)
Иссык-Кульская котловина (ИКК)		
$\bar{X} = -30,77z^2 + 125,23z - 78,5 \pm 10,1$	$r_2=0,42$	(17)
$\bar{X} = -1160 - 13,8184z + 21,2795\phi + 4,2090\lambda \pm 10,0$	$R=0,64$	(18)
$\bar{z} = -17,68 + 0,9788\phi - 0,2914\lambda \pm 0,37$	$R=0,68$	(19)
$\bar{n}(z) = -15,90z + 84,09 \pm 21,8$	$r_1= -0,31$	(20)
$\bar{n} = -2643,34 - 20,805z + 64,45414\phi \pm 15,8$	$R=0,76$	(21)
Внутренний Тянь-Шань (ВТШ)		
$\bar{X} = -9,84z + 48,02 \pm 8,0$	$r_1= -0,69$	(22)
$\bar{z} = -0,101\lambda + 8,659 \pm 0,20$	$r_1= -0,64$	(23)
$\bar{n} = -14,17z + 60,89 \pm 12,8$	$r_1= -0,66$	(24)

небрежимо малой коррелированности  $\bar{x}$  и  $\phi$  следует также из сравнения  $R$ :  $R(z, \bar{x})=0,38$ ;  $R(z, \phi, \bar{x})=0,44$ ;  $R(z, \lambda, \bar{x})=0,56$  и  $R(z, \phi, \lambda, \bar{x})=0,56$ . Видно, что добавление  $\phi$  как предиктора значимо не увеличивает  $R$ . Этот пример рассмотрен так подробно ввиду его методической важности и обязательного использования таких решений при климатическом анализе в горных районах. Во всех случаях статистическая значимость корреляции и регрессии оценивалась по  $t$  и  $F$  критериям на уровне доверительной вероятности  $p=0,95$  [3]. В работе приводятся только статистически достоверные модели.

В таблице приведена полученная таким образом сводка из 24 статистических зависимостей по Кыргызстану в целом и 4 его климатическим областям. Она содержит уравнения регрессий, последние слагаемые которых со знаком  $\pm$  есть их стандартные ошибки, и показатели силы корреляционной связи –  $r_1$ ,  $r_2$  и  $R$ . Описание границ климатических областей и значений норм  $\bar{x}$ ,  $\bar{z}$  и  $\bar{n}$  по всем станциям можно найти в работах [4–8].

Как видно, по Кыргызстану в целом имеет место умеренные по силе корреляционные связи  $\bar{x}$ ,  $\bar{z}$  и  $\bar{n}$  с высотой и долготой места (парные коэффициенты корреляции по модулю находятся в пределах от 0,46 до 0,53). Так, частота гроз в зависимости от  $z$  описывается параболической зависимостью (1) со стандартной ошибкой  $\pm 12,1$  гроз ( $r_2=0,53$ ) и максимумом  $\bar{x} \approx 34$  в зоне подножий и нижней части склонов ( $z=1,5-2$  км). На минимальных высотах  $z=0,6$  км, значения  $\bar{x}=21$ , а в гребневой зоне,  $z=3,5$  км,  $\bar{x}=5$ . Почти такую же погрешность ( $\pm 12,9$  гроз) имеет множественная линейная ( $R=0,46$ ) зависимость (2)  $\bar{x}$  от  $z$  и  $\lambda$ , при этом  $\bar{x}$  убывает с  $z$  и возрастает с  $\lambda$ . Оба эти уравнения можно использовать на практике в зависимости от характера решаемой задачи.

От широты  $\phi$  частота гроз не зависит.

Длительность гроз  $\bar{z}$  для Кыргызстана в целом линейно ( $r_1=-0,47$ ) убывает с высотой (3), от 1,63 ч ( $z=0,6$  км) до 0,81 ч ( $z=3,5$  км), со стандартной ошибкой  $\pm 0,42$  ч.

Годовое число грозочасов  $\bar{n}$  изменяется в среднем для Кыргызстана по параболической высотной зависимости (4), имеющей погрешность  $\pm 22,2$  г.ч ( $r_2=0,50$ ) и дающей максимум также в зоне подножий ( $\bar{n}=47$  г.ч,  $z=1,5$  км) и  $\bar{n}=35$  г.ч на  $z=0,6$  км,  $\bar{n}=10$  г.ч на  $z=3,5$  км.

В различных климатических областях Кыргызстана (см. таблицу: ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ) получены свои наборы статистических

моделей, которые регионально существенно уточняют и расширяют возможности (1)–(4).

Для ССЗК найдено 7 региональных моделей, которым соответствуют модули коэффициентов корреляции от 0,4 до 0,68 ((5)–(11)). Множественная модель (7) описывает общее территориальное распределение  $\bar{x}$  от  $z$  и  $\lambda$  (от  $\phi$  зависимости нет), а парные модели (5) и (6) определяют частные зависимости  $\bar{x}$  только от  $z$  и  $\lambda$ . Стандартные ошибки всех трех моделей примерно одинаковы ( $\pm 4,6-5,2$  гроз), т.е. они равносильны по точности. Модели рекомендуются к практическому использованию в соответствии с характером решаемых задач.

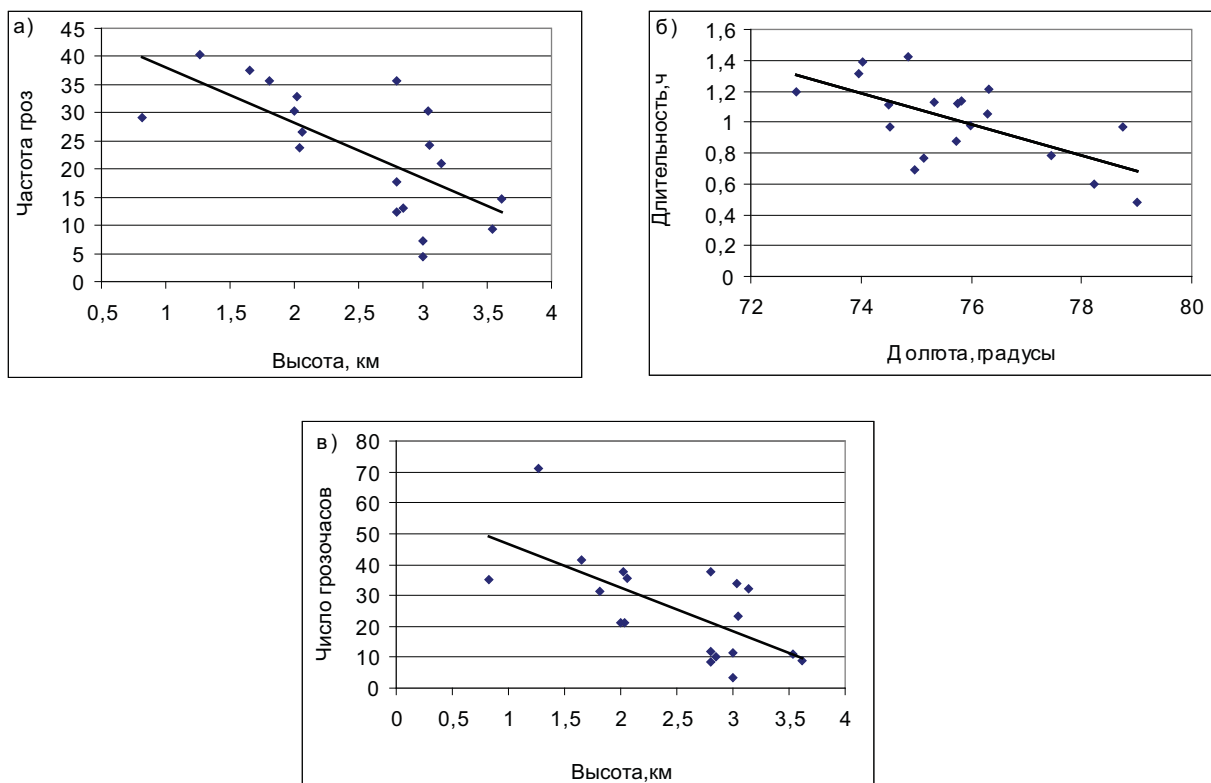
Длительность гроз в ССЗК линейно убывает ( $r_1=-0,68$ ) с высотой по (8) с погрешностью  $\pm 0,29$  ч. Число грозочасов меняется по территории в зависимости от  $z$  и  $\lambda$  ( $R=0,61$ ) по общей зависимости (11), имеющей погрешность  $\pm 14$  г.ч, а отдельно в зависимости от высоты – линейно по (9) и долготы – линейно по (10).

Для ЮЗК (горное обрамление Ферганы) получено 5 регрессий (12)–(16). Из них (12) и (13) дают параболические зависимости  $\bar{x}$  и  $\bar{z}$  от  $z$  с ошибками соответственно  $\pm 12,8$  гроз и  $\pm 0,52$  ч. Регрессия (14) описывает изменение  $\bar{z}$  от  $\lambda$ . Общая множественная зависимость (15) характеризует изменение  $\bar{z}$  от  $z$  и  $\lambda$  с погрешностью  $\pm 0,53$  ч. Наконец, зависимость (16) показывает высотное распределение грозочасов с погрешностью  $\pm 24,6$  г.ч. От широты все характеристики гроз в ЮЗК, как и ССЗК, не зависят.

В ИКК, как и ССЗК, найдено 5 регрессий (17)–(21). Общая множественная модель (18) описывает территориальное распределение  $\bar{x}$  от трех предикторов  $z$ ,  $\phi$  и  $\lambda$  с погрешностью  $\pm 10,0$  гроз ( $R=0,64$ ), а модель (17) дает параболическое высотное распределение  $\bar{x}$  ( $r_2=0,42$ ).

Длительность гроз в котловине зависит от широты и долготы по множественной регрессии (19), имеющей погрешность  $\pm 0,37$  ч ( $R=0,68$ ). Грозочасы  $\bar{n}$  линейно убывают с высотой по (20), но в общем, определяются высотой и широтой места по (21), имеющей погрешность  $\pm 15,8$  г.ч ( $R=0,76$ ). ИКК единственная климатическая область, где характеристики гроз зависят также и от широты.

Для орографически очень сложной территории ВТШ статистические решения оказались самыми простыми – получено всего три линейных регрессии (22)–(24) по одной на каждую характеристику  $\bar{x}$ ,  $\bar{z}$  и  $\bar{n}$ . Степень корреляционной силы этих зависимостей наглядно видна на рисунке, где показаны графики регрессий и исходные данные метеостанций. Видно, что опыт-



Графики корреляционных зависимостей: а –  $\bar{x}(z)$ , б –  $\bar{t}(\lambda)$ , в –  $\bar{n}(z)$  для ВТШ.

ные точки достаточно тесно и линейно группируются около прямых (22)–(24).

Согласно модели (22), частота гроз  $\bar{x}$  убывает с  $z$  и не зависит от  $\varphi$  и  $\lambda$  ( $r_1 = -0,69$ , ошибка регрессии  $\pm 8$  гроз). Точно так же, норма длительности  $\bar{t}$  убывает с долготой по (23) и не зависит от  $z$  и  $\varphi$  ( $r_1 = -0,64$ , ошибка регрессии  $\pm 0,20$  ч). Грозовые часы  $\bar{n}$  убывают с высотой по (24) и не зависят от  $\varphi$  и  $\lambda$  ( $r_1 = -0,66$ , ошибка регрессии  $\pm 12,8$  г. ч).

Приведенные в таблице статистические модели (совместно со сделанным анализом их применимости) территориального распределения климатических характеристик гроз в различных областях Кыргызстана рекомендуются к практическому использованию как важный и простой аналитический инструмент прикладного описания режима гроз.

#### Литература

1. Апостолов Г.А. Грозовая деятельность на территории Киргизской ССР // Изв. АН Кирг. ССР. – 1960. – Т. 11. – Вып. 7. – С. 43–76.
2. Климат Киргизской ССР / Под ред. З.А. Рязанцевой. – Фрунзе: Илим, 1965. – 292 с.
3. Закс Л. Статистическое оценивание / Пер. с нем. В.Н. Варыгиной. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
4. Подрезова Ю.А. Грозы в Северном, Северо-Западном Кыргызстане // Вестник КРСУ. – 2009. – Т. 9. – №11.
5. Подрезова Ю.А. Режим гроз во Внутреннем Тянь-Шане // Гидрометеорология и экология. – Алматы: Казгидромет, 2009. – №4. – С. 138–143.
6. Подрезова Ю.А. Основные климатические данные о режиме гроз в Кыргызстане // Вестник КРСУ. – 2009. – Т. 9. – №11.
7. Подрезова Ю.А. Режим гроз в Иссык-Кульской котловине // Гидрометеорология и экология. – Алматы: Казгидромет, 2009. – №3. – С. 85–93.
8. Подрезова Ю.А. Режим гроз в горном обрамлении Ферганской впадины. // Мат. Всерос. научн. конф. “Теоретические и прикладные вопросы современной географии”. – Томск: Томский госун-т, 2009. – С. 328–329.