

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ОРОГРАФИИ НА АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ ВО ВНУТРЕННЕМ ТЯНЬ-ШАНЕ

К.Б. Бакиров

Построена множественная линейная регрессионная модель, описывающая распределение средних годовых осадков на территории Внутреннего Тянь-Шаня в зависимости от координат места, превышений экранирующих хребтов и их удаленности. Модель имеет показатель достоверности 0,74 и рекомендуется к практическому использованию.

Ключевые слова: множественная линейная регрессия; орография; атмосферные осадки; Внутренний Тянь-Шань.

Высота местности принимается ведущим аргументом в горных гидрометеорологических расчетах и исследованиях. Приемы установления связей с высотой местности, безусловно, сыграли положительную роль в горной гидрометеорологии, помогли получить общее представление о величинах влагооборота. Однако детальные исследования атмосферных осадков [1, 2] показали, что распределение осадков в горах

зависит от множества факторов. Поэтому необходим многомерный анализ, учет рельефа в широком понимании этого слова (степень доступности территории влажным воздушным массам, ориентация склонов, абсолютная высота, горизонтальный масштаб возвышенностей и т.д.) [3]. Попытки учесть влияние рельефа на метеорологические величины предпринимались во многих работах [2–9, 11, 12, 14].

В работе [6] предложена система расчетов элементов водного баланса, в том числе осадков, учитывающих комплекс факторов гидрометеорологической доступности территории. Роль хребтов-барьеров, их высота, форма и крутизна склонов в пространственном распределении осадков рассмотрена в работах [3, 8].

Количественная оценка влияния орографических параметров на поле атмосферных осадков осуществлена в работе [5], при этом использовался аппарат многофакторного статистического анализа. Судя по работе [13] удалось получить линейные многофакторные уравнения, описывающие изменения месячных сумм осадков по территории в зависимости от ряда орографических параметров: высоты пункта, уклона склона, высоты барьера, расстояния до него и некоторых других – для нескольких водосборов в Западной Канаде. Следует отметить, что в работе [5] для оценки рельефа в Средней Азии введены условные параметры – центры орографического влияния, прямой и обратный продольно-циркуляционные эффекты. Для оценки влияния рельефа на годовые суммы осадков ГМС Внутреннего Тянь-Шаня нами использовалась та же методика анализа морфометрических показателей, что и в отношении температуры воздуха; при этом была применена программа шагового регрессионного анализа [10], которая используется в последнее время и для других целей [2, 11].

Для оценки влияния орографии на распределение атмосферных осадков были использованы средние многолетние годовые суммы (нормы) осадков 18 ГМС Внутреннего Тянь-Шаня, так как они представляют наиболее устойчивую и важную характеристику осадков; сведения о годовых суммах используются во многих теоретических исследованиях и применяются для решения многих практических задач, в большинстве случаев на основе их значений строят карты увлажнения рассматриваемых территорий.

При составлении уравнения множественной регрессии из совокупности многих возможных морфометрических показателей были выбраны параметры, максимально влияющие на поле атмосферных осадков, при этом в модель включались поочередно те факторы, которые не дублировали другие и не находились в тесной зависимости с ранее включенными параметрами, т.е. в отношении включенных параметров была отвергнута гипотеза мультиколлинеарности.

В результате в качестве зависимой переменной были выбраны годовые суммы осадков, а в

качестве аргументов расстояние станций до верховьев долины ($l_{ст}$), долгота станции (λ), широта (φ) и превышение экранирующего хребта (ΔH).

Из матрицы коэффициентов парной корреляции (табл. 1) видно, что сильно влияющего фактора на поле осадков не обнаружено. Например, такого как высота местности для температуры воздуха [1].

Таблица 1

Матрица коэффициентов парной корреляции

	x	$l_{ст}$	λ	φ	ΔH
x	1	-0,62	0,50	-0,48	-0,48
$l_{ст}$		1	-0,27	0,24	0,32
λ			1	0,04	-0,07
φ				1	0,06
ΔH					1

Обозначения: x – годовые суммы осадков, $l_{ст}$ – расстояние станции до верховьев долины, λ – долгота станции, φ – широта станции, ΔH – превышение экранирующего хребта над станцией. *Примечание:* все показатели нормированы.

Парные коэффициенты корреляции между зависимой переменной и остальными независимыми факторами различаются незначительно. Чтобы, установить истинную зависимость между атмосферными осадками и морфометрическими показателями необходимо проанализировать, как известно, частные коэффициенты корреляции (табл. 2).

Таблица 2

Матрица коэффициентов частной корреляции

	x	$l_{ст}$	λ	φ	ΔH
x	1	-0,62	0,50	-0,48	-0,48
$l_{ст}$		1	-0,27	0,24	0,32
λ			1	0,04	-0,07
φ				1	0,06
ΔH					1

Частные коэффициенты корреляции показывают, что наиболее существенная связь имеет место между расстоянием станции до верховьев долины и атмосферными осадками ($r = -0,62$), влияние же других факторов меньше ($|r| = 0,37...0,44$).

Рассмотрим теперь влияние этих факторов в совокупности.

Таблица 3

Результаты шагового регрессионного анализа влияния рельефа на годовые суммы осадков

Номер шага: 1	
Включенная переменная	Расстояние ГМС до гребня (лст)
R и R ² =D	0,68; 0,38
С.К.О. оценки регрессии	0,81
$\sum(\hat{y}_j - \bar{y})^2$ сумма квадратов регрессии	6,49
$\sum(y_j - \bar{y}_j)^2$ сумма квадратов остатков	10,51
$\tilde{x} = -0,618 \quad \tilde{\text{Iст}} \pm 0,197$	
Номер шага: 2	
Включенная переменная	Долгота (λ)
R и R ² =D	0,71; 0,50
С.К.О. оценки регрессии	0,75
$\sum(\hat{y}_j - \bar{y})^2$ сумма квадратов регрессии	8,50
$\sum(y_j - \bar{y}_j)^2$ сумма квадратов остатков	8,50
$\tilde{x} = 0,357 \quad \tilde{\lambda} - 0,523 \quad \tilde{\text{Iст}} \pm 0,189$	
Номер шага: 3 Включенная переменная	
	Широта (φ)
R и R ² =D	0,80; 0,64
С.К.О. оценки регрессии	0,66
$\sum(\hat{y}_j - \bar{y})^2$ сумма квадратов регрессии	10,95
$\sum(y_j - \bar{y}_j)^2$ сумма квадратов остатков	6,05
$\tilde{x} = 0,4 \quad \tilde{\lambda} - 0,393 \quad \tilde{\varphi} - 0,416 \quad \tilde{\text{Iст}} \pm 0,171$	
Номер шага :4	
Включенная переменная	Превышение экван. хребта (ΔH)
R и R ² =D	0,86; 0,74
С.К.О. оценки регрессии	0,58
$\sum(\hat{y}_j - \bar{y})^2$ сумма квадратов регрессии	12,58
$\sum(y_j - \bar{y}_j)^2$ сумма квадратов остатков	4,43
$\tilde{x} = 0,027 + 0,406 \quad \tilde{\lambda} - 0,401 \quad \tilde{\varphi} - 0,327 \quad \tilde{\text{Iст}} - 0,307 \quad \tilde{\Delta\text{H}} \pm 0,16$	

Обозначения: R – множественный коэффициент корреляции; D – коэффициент детерминации; С.К.О – среднее квадратическое отклонение.

Итоговое уравнение множественной регрессии с включением параметров: расстояние станции до верховьев долины (l (ст)), долготы (λ), широты (Φ) и превышения экранирующей станцию хребта (ΔH), выразится в следующем виде:

$$\tilde{x} = 0,027 + 0,406 \tilde{\lambda} - 0,401$$

$$\tilde{\Phi} - 0,327 \tilde{I}_{ст} - 0,307 \Delta \tilde{H} \pm 0,16.$$

Для сравнения приведем результаты, полученные другими авторами. В работе [2] установлено, что из характеристик осадков более явно связана с особенностями рельефа доля осадков того или иного сезона в годовой сумме, в частности доля зимних осадков. Для этого в работе [2] предлагается следующая формула для осадков холодного полугодия:

$$\tilde{D}_{хол} = -0,487 \tilde{H}_{ст} + 0,362 \frac{\tilde{x}}{L} B + 0,353 \frac{\tilde{H}}{H'} 0.$$

Как видно из формулы, распределение доли осадков холодного полугодия по территории примерно в равной степени зависит от высоты (\tilde{H}), удаленности станции вглубь горной системы (\tilde{x} / L) и различия высоты хребтов, простирающихся к северу и югу от станции (\tilde{H} / H'). Значения доли осадков, рассчитанных по фактическим значениям и по предложенной формуле, оказались достаточно близкими; так, например, для ГМС Ат-Баши эти значения составляют соответственно 0,21 и 0,25.

Для бассейна р. Нарын, большая часть которого входит во Внутренний Тянь-Шань в работе [5] получено, что использование двух показателей удаленности, характеризующих обратный продольно-циркуляционный эффект (L_1) и эффект экранированности (L_2), а также высоты позволяет описать существенную долю дисперсии (около 60%) поля нормированных осадков за сезоны и год ($R = 0,77 / 0,78$). Вклад этих параметров в описание поля осадков существенно меняется в течение года.

В холодный период года преобладает обратный продольно-циркуляционный эффект, заключающийся в уменьшении осадков по мере удаленности от хорошо увлажняемых низовий бассейна к его верховьям.

В теплый период влияние обратного продольно-циркуляционного эффекта становится менее заметным, доминирует высота и возрастает роль параметра L_2 – удаленности от северного горного обрамления, на периферии которого активность северных и северо-западных процессов в теплый период наибольшая.

Таким образом, распределение осадков во Внутреннем Тянь-Шане зависит от комплекса орографических факторов. Для годовых сумм осадков такими показателями являются расстояние станции до верховьев долины, координаты станции (долгота и широта), которые характеризуют расположение станции в горной системе, ее удаленность от хребтов-барьеров с запада на восток и с севера на юг, и превышение экранирующего хребта. Все перечисленные морфометрические показатели в совокупности определяют 74% дисперсии поля осадков, а на долю остальных неучтенных факторов приходится 26 % общей дисперсии.

Литература

1. *Подрезов О.А и др.* Климатические условия Кыргызстана (для технических приложений). – Бишкек: Илим, 1992. – 172 с.
2. *Чанышева С.Г., Субботина О.И.* О количественной оценке климатообразующего влияния рельефа // Метеорология и гидрология. – 1983. – №3. – С. 32–40.
3. *Антипов А.Н., Корытный Л.М.* Географические аспекты гидрологических исследований. – Новосибирск: Наука, 1981. – 177 с.
4. *Бакиров К.Б.* О распределении осадков на северных склонах хребтов Внутреннего Тянь-Шаня в гляциально-нивальном поясе // Водноледовые ресурсы Иссык-Кульской области. – Фрунзе: Илим, 1988. – С. 19–26.
5. *Богданова Л.Ф., Геткер М.И.* Статистический анализ и учет влияния орографии при расчетах осадков на Тянь-Шане // Тр. САНИГМИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – Вып. 225 (106). – С. 116–144.
6. *Гарцман И.Н.* Проблемы географической зональности и дискретность гидрометеорологических полей в горных условиях муссонного климата // Тр. ДВНИГМИ. – 1971. – Вып. 35. – С. 3–31.
7. *Геткер М.И., Глазырин Г.Е., Емельянов Ю.Н.* Влияние некоторых элементов орографии на распределение осадков в горных районах // Тр. САНИГМИ. – 1972. – Вып. 62 (77). – С. 30–38.
8. *Максютов Ф.А.* Классификация горных барьеров и барьерной роли гор в формировании ландшафтов // Вопросы физической географии. – Уфа, 1971. – С. 19–36.
9. *Пономаренко П.Н.* Атмосферные осадки Киргизии. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 134 с.
10. Програмное обеспечение ЭВМ. Пакет прикладных программ статистической обработ-

- ки медицинской информации. – Минск: БГУ, Ин-т математики, 1983. – 265 с.
11. Скаков А.А., Дмитриева Е.Ф. Опыт применения множественной пошаговой регрессии для прогноза пыльных бурь в Казахстане. Долгосрочные прогнозы погоды. – М.: Гидрометеоздат, 1985. – С. 3–12.
12. Швер Ц.А. Атмосферные осадки на территории СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 302 с.
13. Storr D., Ferguson H.L. The distribution of precipitation in some mountaineyes Canadian watersheds. Distribution of precipitation in some mountainous areas. – Vol. 11. – N326. WMO/OMM. – Geneva, 1972. – P. 290–306.
14. Willan A., Watts D. Meaningful multicollinearity measures // Technometrics. – 1978. – V.20. – P. 407–412.