

УДК 551.577.1

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ
ОСАДКОВ НА ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА**

Канд. физ-мат. наук Е.В. Боголюбова
М.Т. Кусаинова

В данной работе приведены статистические характеристики осадков на востоке Казахстана и проведена проверка длинных и коротких рядов на однородность с помощью критериев Стьюдента и Фишера. Были обработаны ряды с 1970 по 2000 годы. Также была получена объективная классификация осадков по формулам процентилей.

Осадки - наиболее сложное явление, обладающее сильной изменчивостью и трудно поддающееся долгосрочному предсказанию.

Количество осадков является важнейшей характеристикой климата данной местности. Знание режима осадков требуется в самых различных отраслях народного хозяйства. Изучению его климатология всегда уделяла большое внимание. Однако современная климатология основное внимание уделяет изменчивости метеорологических элементов от года к году. По этой причине основной величиной для климатической характеристики месячных сумм осадков до сих пор является "норма", т.е. среднее значение месячных сумм осадков в данном месяце за достаточно большой период наблюдений [1]. Характер пространственной неоднородности осадков отмечается многими авторами. Было отмечено, что эффект неоднородности распределения осадков формируется при совместном влиянии макро- и микроклиматических условий. Макроклиматические условия пространственной неоднородности осадков, обусловленные влиянием крупномасштабных процессов, могут быть учтены сравнительно редкой сетью пунктов наблюдений. Совершенно иначе обстоит дело с учётом микроклиматических условий, особенно в условиях сложного рельефа. Именно микроклиматическая неоднородность территории и является основной причиной значительной "пятнистости" в распределении осадков. В связи с этим для получения репрезентативных значений количества осадков требуется значительное пространственное и временное осреднение [5].

Распределение значительных осадков по территории Казахстана характеризуются некоторыми особенностями, связанными с географическим положением, строением рельефа и со многими другими факторами.

Территория Казахстана, за исключением высокогорных районов, отмечается ярко выраженной засушливостью. Объясняется это тем, что Казахстан расположен почти в центре Евразии и мало доступен непосредственному воздействию влажных атлантических масс воздуха, являющихся для западных районов СНГ основным источником увлажнения. Существенно и то обстоятельство, что особенности барико-циркуляционного режима Евразии обуславливают поступление на территорию северной части Казахстана воздушных масс в состоянии значительной трансформации.

Большое влияние на распределение количества осадков оказывает рельеф местности. Под влиянием возвышенности происходит перераспределение осадков по территории: увеличение их на наветренных возвышенных участках и уменьшение на подветренных. Заметное уменьшение осадков наблюдается вблизи крупных водоемов (Каспийское и Аральское море, а также озер Балхаш и Зайсан). С приближением к горным хребтам, под воздействием которых активизируются фронты, количество осадков резко возрастает. Высокогорные районы отмечаются избыточным увлажнением.

Восточно-Казахстанская область расположена на востоке республики в бассейне верхнего Иртыша, занимая казахстанскую часть Алтая, Зайсанскую котловину, хребты Саур и Тарбагатай. Рельеф области характеризуется наличием гор, предгорий, плато, равнин и котловин. Почти все правобережье Иртыша занято горной системой Алтая. Казахстанский Алтай делится на три района: западные отроги Центрального Алтая, Южный Алтай и Калбинский хребет.

Осадки по территории области распределяются неравномерно. В степной части выпадает обычно 200...280 мм в год, а в горных и предгорных районах – 300 мм и больше. Годовое количество осадков изменяется соответственно от 165...190 мм до 800...1500 мм. Осадки теплого периода (апрель – октябрь) преобладают над осадками холодного (декабрь – март). Это является характерным признаком континентальности области. Максимум осадков на большей части территории приходится на лето, чаще всего на вторую половину. Зима холодная и продолжительная (5...6 месяцев). Снежный покров по области залегает неравномерно; в горных и предгорных районах его высота в среднем достигает 60...80 см и больше, а степных и полупустынных – не превышает 15...25 см.

Нами были исследованы средние месячные суммы осадков за период сначала образования станции до 2000 года по шести станциям Восточно-Казахстанской области (Катон-Карагай, Усть-Каменогорск, Семипалатинск, Зайсан, Бахты, Аягуз), так как в последнем климатическом справочнике приведены месячные суммы осадков за 1891...1980 гг. Месячные суммы осадков были рассчитаны по обычной формуле. Обычно среднее арифметическое вычисляется путём суммирования отдельных наблюдений и деления полученной суммы на общее число измерений. Иногда среднее приходится вычислять по распределению повторяемости.

Точность многолетних средних определяется продолжительностью рядов наблюдений. Не всегда оправдан принцип: чем длиннее ряд, тем точнее среднее многолетнее значение. Этот вопрос решается в зависимости от поставленной задачи. Из сравнительно коротких рядов часто используют ряды, рассчитанные за 30 лет. Но в таких коротких рядах часто происходит смещение максимальных и минимальных величин годовом ходе. В ВМО приняты периоды за 1901...1930 и 1931...1960 гг. Но для районов с недостаточным увлажнением, каким является большая часть территории Казахстана, необходимо брать более длинные ряды наблюдений.

В зависимости от высоты, формы рельефа и экспозиции склонов в горных районах может выпадать различное количество осадков. В Усть-Каменогорске (285 м над уровнем моря) в среднем за год выпадает 464 мм (табл. 1), а в Катон-Карагае (1081 м) - 428 мм. Более сухими оказываются узкие долины, котловины, районы внутренних подветренных склонов гор и равнины. Например, на станции Бахты (441 м), расположенной в северо-восточной части пустынно-равнинного района Алакульской впадины, выпадает 268 мм осадков. В Аягузе (653 м), расположенном в широкой котловине, образованной отрогами хребта Тарбагатай и Чингиз-Тау, относящейся к пустынно - степному району Центрально-Казахстанского мелко-сопочника, и в Семипалатинске (195 м), расположенном на южной окраине Кулундинской степи, выпадает по 275 мм осадков.

В горных частях Восточно-Казахстанской области на синоптические процессы сильное влияние оказывают процессы мезомасштаба. К ним относятся горно-долинная циркуляция, орографические и фронтальные процессы, процессы волнообразования, связанные с пересеченным рельефом и характером подстилающей поверхности.

Таблица 1

Средние значения месячных сумм осадков в Восточно-Казахстанской области

Станция	Период	Месяц												Сумма			Среднее
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Теплое полугодие	Холодное полугодие	За год	
Каон-Карагай	1898...2000	14	13	13	27	57	62	65	56	39	37	26	19	49	17	428	36
Усть-Каменогорск	1910...2000	23	24	28	33	45	51	58	46	32	43	44	37	44	31	464	39
Семипалатинск	1875...2000	16	14	16	17	26	33	40	25	18	24	25	21	26	18	275	23
Зайсант	1889...2000	10	9	15	28	41	38	41	27	25	28	22	16	33	14	300	25
Бахты	1927...2000	19	19	18	26	29	21	23	14	13	25	33	28	22	23	268	22
Аягуз	1928...2000	17	14	14	23	31	31	37	19	17	26	26	20	26	18	275	23

Закономерности пространственного распределения зависят от циркуляционных факторов, то есть от активности циклогенеза. Большую роль играет влагосодержание воздуха и его относительная влажность. Образование значительных осадков связано с адиабатическим охлаждением воздуха при подъеме. Восхождение воздуха в большей степени зависит и от рельефа местности, который может увеличить или уменьшить выпадение осадков.

В холодный период года преобладают вторжения холодных и бедных влагой арктических воздушных масс умеренных широт континентального происхождения. Благодаря устойчивому снежному покрову и низким температурам воздух почти не обогащается влагой за счет испарения с земной поверхности. Поэтому количество осадков в холодный период невелико. В Зайсане выпадает в среднем 72 мм, в Семипалатинске и Аягузе - 92, 91 мм соответственно, в Катон-Карагае - 85 мм, на станции Бахты - 117 и в Усть-Каменогорске - 156 мм. За теплый период года на всех станциях выпадает большее количество осадков, чем за холодный. В Катон-Карагае - 343 мм, в Усть-Каменогорске - 308 мм, в Зайсане - 228 мм, в Семипалатинске и в Аягузе - 183 и 184 мм соответственно, на станции Бахты - 151 мм.

Годовой ход месячных сумм осадков в Восточно-Казахстанской области разнообразен. В Катон-Карагае он имеет четко выраженный максимум летом (июль) и минимум зимой (февраль). Станция Катон-Карагай расположена в горном районе на высоте 1081 м над уровнем моря, и обилие осадков летом тут может быть объяснено обострением фронтальных зон в связи с вынужденной конвекцией. В Усть-Каменогорске помимо главного максимума в июле наблюдается второй, менее выраженный, максимум в октябре-ноябре. На остальных 4-х станциях годовой ход аналогичен годовому ходу в Усть-Каменогорске. Несколько отличается годовой ход выпавших осадков в Зайсане, так как там наблюдается максимум в мае, июне, июле и октябре. Осенний максимум может быть связан с увеличением температурных контрастов в переходный период года и свободным прохождением циклонов через территорию.

Особый интерес представляет изучение изменчивости осадков, так как средняя величина не является достаточно полной характеристикой режима их выпадения. Среднее квадратическое отклонение S_x для шести станций Восточно-Казахстанской области рассчитано по формуле для несмещенного значения (табл. 2).

Таблица 2

Статистические характеристики месячных сумм осадков на востоке Казахстана

Станция, период	Статистические характеристики	Месяц											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Катон-Карагай 1898...2000	S_x	11	12	8	14	29	34	27	24	19	19	14	11
	C_v	0,77	0,92	0,57	0,53	0,51	0,55	0,41	0,42	0,49	0,51	0,52	0,56
	A_s	2,9	2,7	1,1	0,2	0,6	2,6	0,5	0,7	0,9	0,9	1,3	1,0
	E_x	11,6	10,2	2,1	-0,6	0,5	13,9	0,3	1,1	1,3	1,6	3,9	2,6
Усть-Каменогорск 1910...2000	S_x	13	13	18	22	24	33	32	26	20	22	20	21
	C_v	0,56	0,55	0,63	0,67	0,53	0,64	0,56	0,57	0,62	0,52	0,46	0,58
	A_s	1,6	1,2	1,6	1,6	0,5	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	0,8	0,8
	E_x	4,7	4,3	3,6	4,0	0,7	0,8	3,5	1,9	1,3	1,0	0,7	0,3
Семипалатинск 1875...2000	S_x	8	8	10	17	24	23	26	15	11	13	13	10
	C_v	0,52	0,61	0,63	0,98	0,90	0,70	0,65	0,61	0,60	0,54	0,51	0,49
	A_s	1,1	0,9	1,7	3,3	5,2	2,7	1,5	0,8	0,7	0,8	0,5	0,7
	E_x	2,9	1,7	6,7	18,2	43,2	15,9	3,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,5
Зайсан 1889...2000	S_x	6	7	11	18	25	26	22	15	16	18	13	9
	C_v	0,63	0,73	0,69	0,64	0,60	0,68	0,55	0,55	0,63	0,66	0,58	0,55
	A_s	1,9	1,8	1,1	0,7	1,1	0,9	0,5	0,4	1,1	1,3	1,5	1,3
	E_x	7,3	5,8	0,8	0,5	1,7	18,7	-0,5	-0,1	2,4	3	3,7	3,2

Окончание табл.

Станция, период	Статистические характеристики	Месяц											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Бахты 1927...2000	S_x	11	13	12	21	23	15	20	12	12	19	19	15
	C_v	0,56	0,68	0,68	0,80	0,78	0,74	0,87	0,86	0,92	0,74	0,58	0,53
	A_s	1,2	1,3	1,5	1,0	1,8	1,4	1,9	1,1	1,4	1,3	1,0	0,6
	E_x	2,5	2,5	3,4	0,5	5,6	3,5	6,7	1,1	2,0	3,0	1,0	0,1
Аягуз 1928...2000	S_x	14	11	11	19	24	23	30	18	12	16	16	13
	C_v	0,78	0,78	0,77	0,82	0,76	0,75	0,80	0,91	0,70	0,62	0,61	0,65
	A_s	1,6	1,0	1,6	1,6	1,0	1,3	1,3	1,8	0,7	1,0	1,1	1,4
	E_x	3,8	0,6	4,4	3,4	0,8	2,0	1,5	4,1	-0,2	2,2	2,1	2,4

Примечание: S_x – среднее квадратическое отклонение, C_v – коэффициент вариации, A_s – коэффициент асимметрии, E_x – коэффициент эксцесса.

Полугодовой ход средних квадратических отклонений совпадает с полугодовым ходом средних значений, т. е. чем больше норма, тем больше среднее квадратическое отклонение. Наибольшие S_x наблюдаются в летние месяцы, а наименьшие – в январе – марте. Анализ показывает, что рассеяние месячных сумм осадков на станциях Катон-Карагай, Усть-Каменогорск и Аягуз больше, чем в Семипалатинске, Зайсане и Бахты.

Не менее важной характеристикой изменчивости метеорологической величины является коэффициент вариации C_v . Он оценивает степень разброса по отношению к норме. Годовой ход коэффициента вариации для месячных сумм осадков говорит о том, что ни на одной из станций ни в один месяц разброс не превышал норму и был разным для всех рассмотренных станций. Для востока Казахстана в большинстве случаев значения коэффициента вариации больше 0,5. Так, в Катон-Карагае максимум отмечается в феврале (0,92), в Семипалатинске – в апреле (0,98), в Аягузе – в августе (0,91). Минимальные значения отмечаются в июле – 0,41, в феврале – 0,49, в ноябре – 0,61 соответственно. В Усть-Каменогорске и Зайсане колебания коэффициента вариации в течение года незначительны от 0,46 до 0,67 и от 0,55 до 0,73 соответственно. Эти значения коэффициента вариации довольно велики, но для осадков Казахстана обычны.

Все вопросы, связанные с изменчивостью и повторяемостью метеорологических величин, могут быть легко решены, если известна функция распределения. Для некоторых метеорологических элементов, например средних месячных температур воздуха, функции распределения близки к нормальным. В этих случаях функция распределения определяется двумя параметрами: средним значением и дисперсией.

Во многих физико-статистических схемах прогноза специфических характеристик погоды необходимо выполнения условия нормальности распределения предикторов, в качестве которых могут оказаться и осадки. Осадки в большинстве случаев распределены не нормально. Поэтому в настоящей работе были рассчитаны характеристики асимметрии и эксцесса месячных сумм осадков.

Нарушение симметричности распределения вероятностей называется скошенностью, или асимметрией. В симметричном распределении число наблюдений выше среднего одинаково с числом наблюдений ниже среднего. Коэффициент асимметрии определяется отношением третьего центрального момента к кубу среднего квадратического отклонения.

Для кривых распределения осадков характерна положительная асимметрия, слева ограниченная нулем, справа – бесконечностью. Предельные значения справа определяются типом климата. Для засушливого климата A_s часто бывает больше 2. Значения коэффициента асимметрии для рассмотренных станций, в основном, (см. табл. 2) более 0,5. Максимальное значение A_s отмечается в мае в Семипалатинске (5,2), минимальное в апреле в Катон-Карагае (0,2). На всех станциях наблюдается положительная асимметрия. Годовой ход для A_s всех станций различен, особые закономерности в годовом ходе уловить трудно.

Симметричное распределение вероятностей, сохраняя свою симметрию, может искажаться по сравнению с нормальной формой, имея непропорционально малое или большое число наблюдений в области лежащей вблизи среднего значения. Это искажение известно под названием «эксцесс».

Если E_x положителен, то распределение является островершинным, если отрицателен, то распределение плосковершинное. Для нормального распределения значения коэффициента асимметрии и эксцесса равны нулю. Анализ E_x показывает, что в апреле для Катон-Карагая, в июле – августе для Зайсана и в августе для Аягуза распределение плосковершинное, а в остальные месяцы – островершинное. В большинстве случаев значения коэффициента эксцесса довольно велики, т.е. $\geq \pm 0,5$.

Весьма важным для дальнейших статистических исследований и разработки расчетных методов прогноза осадков является использование однородных рядов. Гипотеза однородности проверялась для двух рядов: с 1889 по 2000 гг. и с 1970 по 2000 гг. Для проверки однородности по среднему использовался критерий Стьюдента.

При оценке проверяется нулевая гипотеза о том, что разница между средними статистически незначима, т. е. равна нулю, и они принадлежат к одной генеральной совокупности.

Из результатов сравнения двух выборок следует, что на всех станциях ряды однородны по среднему, за исключением Аягуза в январе, феврале и декабре.

Кроме исследования однородности по среднему проводились исследования однородности рядов месячных сумм осадков и по дисперсии. Эта оценка проверяется с помощью критерия Фишера.

При проверке нулевой гипотезы сравнение вычисленных значений критерия Фишера с критическими, показало, что для большинства стан-

ций ряды оказались однородными и по дисперсии, за исключением января, июня для Зайсана и февраля для станции Бахты. В эти месяцы ряды по дисперсии оказались неоднородными. Выполнение гипотезы однородности по среднему и по дисперсии позволяет сжимать необходимую информацию и использовать ее для дальнейших расчетов и прогнозов.

В синоптической практике долгосрочных прогнозов погоды используются обычно следующие градации осадков: "около нормы" (80...120 % от среднего многолетнего значения), "ниже нормы" (менее 80 % от среднего многолетнего значения), "выше нормы" (более 120 % от среднего многолетнего значения). По этим градациям осадки прогнозируют и по ним же оценивают.

Для не засушливых районов, к примеру, центра России, такой подход является обоснованным, так как повторяемость этих градаций для достаточно обеспеченных осадками регионов почти одинакова.

Но в Средней Азии и Казахстане такая пропорция не соблюдается. Из-за высокой повторяемости градации "ниже нормы", особенно в теплое полугодие, повторяемость градации "около нормы" мала. В некоторые месяцы она уменьшается до 5 или 0 %. Как указано в [4], полное отсутствие осадков в Туркестане в июле достигает вероятности 64%, в Кызыл-Орде в августе - 58%, в Балхаше в августе - 40%. На некоторых станциях в некоторые годы летом осадков вообще не выпадает, но в то же время в другие годы за счет ливневых осадков может выпасть достаточное их количество. А по общепринятой классификации размер градации "около нормы" бывает небольшим, и из-за узости этой градации летом в некоторых районах Казахстана необходимо прогнозировать осадки либо "ниже нормы", либо "выше нормы".

Все это приводит к резкому понижению оценки прогнозов. Если часто прогнозировать норму, то оценки прогноза из-за перечисленных особенностей климата могут быть на 20...25 % ниже, чем в не засушливых районах. Поэтому лучше использовать объективную классификацию, которую можно получить либо с помощью графиков эмпирических функций распределения, либо с помощью расчета по формулам процентилей для границ между равновероятными классами. Вероятность попадания осадков в классы "ниже нормы", "норма" и "выше нормы" составляет 33,3 %.

В работе были получены объективные классификации, но не для каждой станции, а для осредненных по площади осадков для севера и

центра бывшей Семипалатинской области и бывшей Восточно-Казахстанской области.

Н.И. Ефремовой [2, 3] доказано, что для целей долгосрочного прогноза погоды предпочтительнее использовать осредненные по площади осадки, вместо точечных. Ею отмечены следующие преимущества осредненных по площади осадков по сравнению с осадками отдельных станций:

1. корреляция осредненных по площади осадков убывает с расстоянием медленнее, чем осадков на отдельных станциях, что позволяет увеличивать радиус корреляции и выявить крупномасштабные связи этого элемента;
2. кривые распределения осредненных осадков ближе к нормальным, что дает возможность применять при расчетах различные статистические методы обработки данных;
3. для расчета месячных норм осредненных осадков с заданной точностью можно использовать ряды в 1,5...1,8 раза короче, чем ряды осадков по точечным данным;
4. применение осредненных осадков приводит к уменьшению числа пропусков данных.

Для территории Восточно-Казахстанской области приводилось осреднение по семи станциям (Лениногорск, Зыряновское, Курчум, Буран, Большенарымское, Зайсан, Катон-Карагай), а затем для этих рядов приводилась объективная классификация (см. табл. 3). Для классификации по бывшей Семипалатинской области использовались данные ГГО [2].

Таблица 3

Объективная оценка месячных сумм осадков, осредненных по территории (мм)

Область	Градация осадков	Месяц						
		4	5	6	7	8	9	10
Восточно-Казахстанская	Ниже нормы	≤ 27	≤ 30	≤ 37	≤ 40	≤ 25	≤ 26	≤ 29
	Норма	28-39	31-56	38-54	41-60	26-50	27-39	30-40
	Выше нормы	≥ 40	≥ 57	≥ 55	≥ 61	≥ 51	≥ 40	≥ 41
Семипалатинская (север)	Ниже нормы	≤ 10	≤ 15	≤ 17	≤ 17	≤ 18	≤ 12	≤ 14
	Норма	11-23	16-29	18-24	18-35	19-33	13-23	15-25
	Выше нормы	≥ 24	≥ 30	≥ 25	≥ 36	≥ 34	≥ 24	≥ 26
Семипалатинская (центр)	Ниже нормы	≤ 21	≤ 20	≤ 23	≤ 28	≤ 13	≤ 12	≤ 19
	Норма	22-31	21-41	24-46	29-50	14-30	13-23	20-38
	Выше нормы	≥ 32	≥ 42	≥ 47	≥ 51	≥ 31	≥ 24	≥ 39

Эта классификация может быть использована для решения задач климатологии, долгосрочных прогнозов погоды, а также при оценке оправдываемости некоторых численных и физико-статистических схем прогноза месячных сумм осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдал М.Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебания климата Казахстана. Часть I, II. – Л.: Гидрометеиздат. 1964г. – С. 293, 295.
2. Ефремова Н.И. О точности оценки ежегодных значений месячных сумм осадков, осредненных для больших площадей // Тр. ГГО, 1971. – Вып. 274. – С. 88-102.
3. Ефремова Н.И. Месячные количества атмосферных осадков для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 112 с.
4. Климат Казахстана. / Под ред. Утешева А.С. Л.: Гидрометеиздат. – 1959. – 367 с.
5. Педь Д.А., Попов А.В. Распределение аномалии месячного количества осадков при различных разновидностях зональной циркуляции атмосферы / Тр. Гидрометцентра СССР. – 1981. Вып. 237. С. 57-79.

РГП “Казгидромет”

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ СТАТИСТИКАЛЫҚ МІНЕЗДЕМЕЛЕРІ МЕН КЛАССИФИКАЦИЯСЫ

Физ-мат. ғылымд. канд.

Е.В. Боголюбова

М.Т. Құсаинова

Бұл мақалада Шығыс Қазақстанда байқалатын жауын-шашынның статистикалық мінездемелері берілген. Стьюдент және Фишер критериялар арқылы ұзын және қысқа қатарлар біртектілігі тексерілді. 1970...2000 жылдардағы мәліметтер анықталған және процентиль тендеу бойынша жауын-шашынның классификациясы жүргізілген.