

**Боголюбова Е.<sup>1</sup>, Куанышова С.<sup>2</sup>**

к.ф.-м. наук, доцент, Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан, \*e-mail: elenavalentinovna.bogolyubova@mail.ru, тел.: +7 705 569 3409

<sup>2</sup>студентка 4 курса, Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан, \*e-mail: sandugash.k1994a@mail.ru, тел.: +7 747 556 6749

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ  
СЕЗОННЫХ СУММ ОСАДКОВ НА ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА  
В 1970– 2015 ГГ.**

Характер тенденций изменения средних сезонных сумм осадков на обширной территории Казахстана может быть различным и существенно влиять и даже изменить структуру посевных площадей республики. Основной целью исследования является оценка и сравнительный анализ статистических характеристик, а также тенденций изменения средних сезонных сумм осадков за последние десятилетия. В работе рассчитаны средние сезонные значения сумм осадков для весны, первой и второй половины лета по шести станциям Восточного Казахстана, вычислены и проанализированы характеристики изменчивости – средние квадратические отклонения (СКО) и коэффициенты вариации. Проведена оценка характеристик нормальности распределения средних сезонных сумм осадков (коэффициентов асимметрии и эксцесса), построены гистограммы распределения сумм осадков для вышеперечисленных сезонов по станциям Аягуз, Бахты, Катон – Карагай, Павлодар, Семей, Усть-Каменогорск и для осредненных по территории востока Казахстана сезонных сумм осадков. Определены тенденции изменения этих сумм для каждой из перечисленных станций и для осредненных по территории Восточного Казахстана осадков. Тенденции изменения сезонных осадков весной, в первую и вторую половину лета для отдельных станций указывают на значимый и незначимый рост сезонных осадков, а осредненных по территории сезонных сумм – на значимый рост в последние десятилетия во все рассматриваемые сезоны теплого периода года. На это указывают и годовые суммы осадков, которые за исследуемый период увеличились.

**Ключевые слова:** сезонные осадки, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрия, эксцесс, тренды, коэффициент корреляции, значимость коэффициента корреляции для пятипроцентного уровня значимости.

Bogolyubova E.<sup>1</sup>, Kuanyshova S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>to. f-m of sciences, associate professor, Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Kazakhstan, \*e-mail: elenavalentinovna.bogolyubova@mail.ru, tel.: +7 705 569 3409

<sup>2</sup>student 4 courses, Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Kazakhstan, \*e-mail: sandugash.k1994a@mail.ru, tel.: +7 747 556 6749

**Statistical structure and tendencies of change of the seasonal sums  
of rainfall in the east of Kazakhstan in 1970 – 2015**

The character of tendencies of change of the average seasonal sums of rainfall in the extensive territory of Kazakhstan can be various and it is essential to influence and even to change the republic structure of sown areas. The main objective of the study is to evaluate and compare statistical characteristics, as well as trends in the changes in average seasonal precipitation over the past decades. The average seasonal values of precipitation sums for spring, first and second half of summer were calculated for six stations in East Kazakhstan, the variability characteristics – mean square deviations (CAO) and coefficients of variation were calculated and analyzed. The characteristics of the normal distribution of the average seasonal sums of precipitation (asymmetry and kurtosis coefficients) have been estimated,

histograms of precipitation sums for the above seasons at the Ayaguz, Bakhty, Katon-Karagai, Pavlodar, Semey, Ust-Kamenogorsk and averaged over the eastern Kazakhstan seasonal precipitation. The trends of these amounts change for each of the above stations and for precipitation averaged over the territory of East Kazakhstan are determined. Trends in seasonal precipitation in spring, in the first and second half of summer for individual stations, indicate a significant and insignificant increase in seasonal precipitation, and averaged over the territory of seasonal amounts – for significant growth in recent decades in all the considered seasons of the warm period of the year. This is also indicated by the annual amount of precipitation, which increased during the period under study.

**Key words:** seasonal precipitation, mean square deviation, coefficient of variation, asymmetry, kurtosis, trends, correlation coefficient, significance of the correlation coefficient for a 5% level of significance.

Боголюбова Е.<sup>1</sup>, Қуанышова С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ф-м. ғ.к., доцент, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан, \*e-mail: elenavalentinovna.bogolyubova@mail.ru, тел.: +7 705 569 3409

<sup>2</sup>4 курс студенті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан, \*e-mail: sandugash.k1994a@mail.ru, тел.: +7 747 556 6749

### 1970–2015 жж. Қазақстанның шығысында жауын-шашынның орташа маусымдық жиынтығының статистикалық құрылымы мен өзгеру тенденциясы

Қазақстанның аумағындағы орташа маусымдық жауын-шашынның өзгеру тенденцияларының сипаты әртүрлі болуы мүмкін және республиканың егіс алқаптарының құрылымына әсер етуі және өзгертуі мүмкін. Зерттеудің негізгі мақсаты соңғы онжылдықта жауын-шашынның орташа маусымдық жиынтығының статистикалық сипаттамаларын салыстырмалы талдау мен өзгеру тенденцияларын бағалау. Жұмыста Шығыс Қазақстанның алты станциялары бойынша көктем, жаздың бірінші және екінші жартысына жауын-шашынның орташа маусымдық жиынтығының өзгергіштік сипаттамалары, яғни орташа квадраттық ауытқу (ОКА) және вариация коэффициенттері есептелді. Жауын-шашынның орташа маусымдық жиынтығының қалыпты таралуының сипаттамалары (асимметрия және эксцесс коэффициенттері) бағаланды, сонымен қатар Аягөз, Бақты, Катон – Қарағай, Павлодар, Семей, Өскемен станциялары бойынша көрсетілген маусымдарға және орташаланған Шығыс Қазақстанның аймағы бойынша жауын-шашын жиынтығының таралу гистограммалары салынды. Аталған әр станцияларға жеке және Шығыс Қазақстан аймағы үшін орташаланған жауын-шашын жиынтығының өзгеру тенденциясы анықталды. Көктем, жаздың бірінші және екінші жартысында маусымдық жауын-шашынның өзгеру тенденциясы маңызды және маңызды емес өсуін көрсетеді, орташаланған аймақ бойынша – соңғы онжылдықта жауын-шашынның орташа маусымдық жиынтығының барлық қарастырылған жылдың жылы кезеңінде маңызды өсуі байқалды.

**Түйін сөздер:** маусымдық жауын-шашын, орташа квадраттық ауытқу, вариация коэффициенті, асимметрия, эксцесс, трендтер, корреляция коэффициенті, бес пайыздық маңызды деңгей үшін корреляция коэффициентінің маңыздылығы.

## Введение

Как физическая наука, метеорология в основном имеет дело с физикой, химией и динамикой атмосферы. Она также касается вопросов прямого влияния многих атмосферных явлений на поверхность Земли, океаны и жизнь биосферы в целом. Ее основные цели – наилучшим образом понять и предсказать атмосферные явления от местного до планетарного масштаба и продолжительностью от нескольких секунд, минут и часов до нескольких дней, недель и сезонов, а также оценить взаимосвязанное функционирование всей системы не только качественно, но и количественно. Современная синоптическая метеорология зани-

мается анализом и прогнозированием погоды от микро – до планетарного масштаба. Однако, оправдываемость долгосрочных прогнозов погоды по-прежнему оставляет желать лучшего. Целью исследования является также достижение наилучшего понимания динамической и физической основы эволюции погоды и климата (Browning, 1985: P.293–319; Browning, Harrold, 1969: P.288–309; Eliassen, 1962: P.147–160; Emmanuel, 1962: P.147–160; Hoskins, Bretherton, 1972: P.11–37). Большой интерес ученых всегда вызывали вопросы изучения изменения структуры циклонов и фронтогенеза, а также конвективной неустойчивости в атмосфере. Это поможет точнее предсказать изменения погодных и климатических условий на месяч-

ные, сезонные, годовые, десятилетние и более длительные временные масштабы. Результаты исследования можно использовать при разработке моделей прогноза погоды на сезон, при планировании строительных работ в различных отраслях экономики, при метеорологическом обеспечении коммунального хозяйства, а также при планировании работ автомобильного и железнодорожного транспорта.

### Исходные данные и методы исследования

В работе для исследования брались ряды месячных сумм осадков за 1970–2015 гг. и средние многолетние значения (Справочник по климату Казахстана. 2004: 67). Были рассчитаны средние сезонные суммы осадков для синоптических сезонов теплой половины года – весны, первой и второй половины лета – на метеостанциях (МС) востока Казахстана: для метеостанций Аягуз, Бахты, Катон-Карагай, Павлодар, Семей и Усть-Каменогорск. Проведен сравнительный анализ статистических характеристик средних сезонных сумм осадков. Для анализа выбирались синоптические сезоны, для которых характерно разграничение по сменам характера атмосферных процессов и по их особенностям в ходе метеорологических величин. Осадки весной рассчитывались по средним месячным сум-

мам марта и апреля, в первую половину лета – по суммам мая и июня, во вторую половину лета – по суммам июля и августа.

### Результаты и обсуждение

Анализ средних многолетних значений месячных, сезонных и годовых сумм осадков по литературным источникам показал, что эти величины в Казахстане убывают при передвижении с севера на юг. В Петропавловске (на севере) сумма осадков за год составила 317 мм, в Караганде – 282 мм, а в южных пустынях (Актау) – 152 мм (Климат Казахстана. 1960: 260).

Помимо убывания количества осадков с широтой для равнинной части Казахстана характерно также изменение их количества с запада на восток, которое заключается в увеличении годовых сумм от Уральской области к Павлодарской приблизительно на 60–80 мм. Наиболее дождливыми являются летние месяцы: июнь–июль (Боголюбова Е.В. 1985:16; Боголюбова Е.В., Игнатенко О.С. 2003: 43–50).

При исследовании был проведен сравнительный анализ месячных и годовых сумм осадков для шести станций Восточного Казахстана, рассчитано сезонное и годовое количество осадков для весны, первой и второй половины лета за 1970–2015 гг. (табл. 1).

Таблица 1 – Среднее месячное, сезонное и годовое количество осадков на станциях Восточного Казахстана за 1970–2015 гг.

Станция	Месяц												Год	Весна	Первая половина лета	Вторая половина лета
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Аягуз	25	19	20	27	38	35	42	29	18	31	35	29	348	24	37	32
Бахты	21	20	18	28	28	23	39	15	13	25	36	28	294	23	26	27
Катон-Карагай	16	18	18	39	63	68	68	82	47	46	31	23	519	28	65	75
Павлодар	22	17	18	20	30	42	63	41	24	29	29	25	360	19	36	52
Семей	18	21	24	21	35	38	58	29	20	28	30	27	349	23	36	44
Усть-Каменогорск	32	32	35	44	56	54	57	48	36	50	56	47	547	40	55	58

В соответствии с таблицей 1, был проведен анализ пространственного распределения средних месячных, годовых и сезонных сумм осадков на территории Восточного Казахстана. Наибольшее годовое количество осадков выпадало на двух станциях в теплую половину года: в Усть-Каменогорске (547 мм) и на станции Катон-Карагай (519 мм), которая располагается на

высоте 1081 м. над уровнем моря. Наименьшее годовое количество осадков наблюдалось в Бахты – 294 мм. По количеству осадков Семей занимает срединное между Аягузом и Павлодаром значение.

В результате можно сделать следующий вывод: на всех станциях Восточного Казахстана максимальное количество осадков выпадает во

вторую половину лета, за исключением Аягуза, где максимум характерен для первой половины лета. В рассматриваемые месяцы количество осадков плавно растет от весны к лету, затем уменьшается в августе – сентябре, а в октябре снова увеличивается.

В отдельные годы месячные и сезонные количества выпадающих осадков в зависимости от условий атмосферной циркуляции могут значительно отклоняться от среднего многолетнего значения (Боголюбова Е.В., Кусаинова М.Т. 2003: 35 – 47; Боголюбова Е.В. Балтабаева Д.Б.

2012: 78 – 89; Боголюбова Е.В., Бегалиева А.Б. 2013: 52 – 65). Разброс около среднего характеризуют среднее квадратическое отклонение и дисперсия, а относительный разброс – коэффициент вариации, характеризующий на сколько рассеяние превышает норму. В исследовании были рассчитаны и проанализированы средние и характеристики изменчивости (среднее квадратическое отклонение  $S_x$  и коэффициент вариации  $C_v$ ) сезонных осадков за 1970-2015 гг. для весны, первой и второй половины лета на востоке Казахстана (таблица 2).

**Таблица 2** – Средние и характеристики вариации средних сезонных сумм осадков на станциях Восточного Казахстана за 1970 – 2015 гг.

Станция	Статистические характеристики	Сезон			Годовая сумма
		весна	первая половина лета	вторая половина лета	
Аягуз (653 м)	сред. многолетняя	20,0	34,0	30,0	298,0
	$\bar{R}$	24,5	36,5	32,3	348,0
	$S_x$	12,6	24,7	30,3	147,1
	$C_v$	0,52	0,68	0,94	0,44
Бахты (441 м)	сред. многолетняя	24,0	26,0	19,0	283,0
	$\bar{R}$	23,2	25,7	26,9	294,0
	$S_x$	12,3	14,5	53,5	123,5
	$C_v$	0,53	0,57	1,98	0,42
Катон-Карагай (1081 м)	сред. многолетняя	23,0	61,0	61,0	450,0
	$\bar{R}$	28,4	65,4	74,9	519,0
	$S_x$	16,4	32,9	78,0	255,8
	$C_v$	0,58	0,50	1,04	0,50
Павлодар (119 м)	сред. многолетняя	13,0	28,0	38,0	268,0
	$\bar{R}$	19,1	35,7	51,8	360,0
	$S_x$	11,9	22,9	33,2	142,0
	$C_v$	0,63	0,64	0,64	0,39
Семей (195 м)	сред. многолетняя	16,0	29,0	35,0	270,0
	$\bar{R}$	22,7	36,5	43,8	349,0
	$S_x$	13,7	21,7	27,0	158,1
	$C_v$	0,61	0,59	0,62	0,45
Усть-Каменогорск (285 м)	сред. многолетняя	33,0	51,0	54,0	487,0
	$\bar{R}$	39,5	55,3	57,7	547,0
	$S_x$	20,6	28,3	34,6	210,8
	$C_v$	0,52	0,51	0,60	0,38

В соответствии с таблицей 2, сравнительный анализ средних многолетних сезонных осадков для метеостанций Восточного Казахстана, вычисленных за 1970–2015 гг. и по данным за 1891–2000 гг. (Справочник по климату Казахстана. 2004: 67), показал, что на всех станциях Восточного Казахстана весной, в первую и вторую половину лета среднее многолетнее значение, вычисленное за 1970–2015 гг., больше, чем средняя многолетняя величина, рассчитанная за 1891–2000 гг. Только для станции Бахты весной и в первую половину лета наблюдается обратная картина. Однако, во вторую половину лета среднее многолетнее за 1970–2015 гг. на станции Бахты больше, чем за 1891–2000 гг. Годовые суммы указывают на увеличение осадков в 1970–2015 гг.

Анализ данных показал, что значения средних сезонных сумм осадков в первую и вторую половину лета больше, чем весной на всех станциях востока Казахстана. Максимальные значения сезонных сумм осадков на востоке отмечались на станции Катон-Карагай в первую (65,4 мм) и во вторую половину лета (74,9 мм), в Усть-Каменогорске – во вторую половину лета (57,7 мм), а минимальные значения отмечались весной на станции Павлодар (19,1 мм). Эти отличия можно объяснить разным режимом осадков, орографией и циркуляционными условиями, в частности, и различной высотой над уровнем моря некоторых станций.

Максимальное среднее квадратическое отклонение отмечалось во вторую половину лета в Бахты (53,5 мм) и Катон-Карагае (78,0 мм). Наименьшая изменчивость наблюдалась весной на МС Павлодар (11,9 мм). Таким образом, в сезоны с максимальным количеством осадков (во вторую и первую половины лета) отмечались максимальные значения среднего квадратического отклонения.

Значение коэффициента вариации изменяется в широких пределах: от 0,50 в Катон-Карагае в первую половину лета до 1,98 на станции Бахты во вторую половину лета. Максимальное значение коэффициента вариации отмечается на метеостанции Бахты (1,98). Минимальные значения коэффициента вариации отмечаются на станциях: Катон-Карагай в первую половину лета (0,50), на станции Аягуз весной (0,52), на станции Бахты (0,53) также весной, на станции Усть-Каменогорск весной (0,52) и в первую половину лета (0,51).

На МС Катон-Карагай в первую половину лета распределение сезонных сумм осадков

можно считать близким симметричному распределению, так как значение  $C_v$  в эти месяцы не превышали 50 %. В остальных случаях значения коэффициента вариации превосходили вышеуказанную величину.

На всех рассматриваемых станциях, кроме Бахты и Катон-Карагай, во второй половине лета рассеяние не превышало норму, т.е. значения коэффициента вариации не достигали 1,0, хотя и были достаточно большими. На МС Бахты значение коэффициента вариации  $C_v$  во второй половине лета составило 1,98, а на МС Катон-Карагай во второй половине лета значение  $C_v$  было равным 1,04, т.е. во вторую половину лета на этих станциях рассеяние превысило норму.

Наибольшая изменчивость атмосферных осадков на большинстве исследуемых станций наблюдалась во вторую половину лета, когда отмечались наибольшие значения средних сезонных сумм осадков. Значения  $S_x$  возрастали от первой половины лета ко второй половине лета, то есть, увеличиваясь от мая – июня, достигали максимума в июле и затем уменьшались к августу на всех станциях, кроме Катон-Карагай.

Большая протяженность территории Казахстана определяет существенные различия в климатических условиях севера и юга, запада и востока. Летом в связи с прогреванием подстилающей поверхности над Казахстаном формируется термическая депрессия. Однако, большую изменчивость погоды, особенно в переходные сезоны, обуславливают выходы южных циклонов и западные и северо-западные вторжения. Осадки повсеместно отличаются значительной изменчивостью не только из месяца в месяц, но и из сезона в сезон.

В большинстве регионов Казахстана количество осадков за год несколько увеличилось (Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Долгих С.А. 2009: с.70-77). Существенные положительные тенденции в годовых суммах отмечаются в районе южных склонов Урала, в долине реки Ишим, в местах горных поднятий Казахского мелкосопочника, в предгорьях и горах юга и юго-востока Казахстана. Рост годовых и сезонных осадков наблюдается и на востоке республики.

Многие статистические методы обработки данных, в том числе и статистические методы прогноза, разработаны для данных, подчиняющихся нормальному распределению. Поэтому в работе были рассчитаны и проанализированы коэффициенты асимметрии  $A_s$  и эксцесса  $E_x$  сезонных и годовых сумм осадков (табл. 3).



Значимость коэффициентов для 5%-ого уровня значимости оценивалась с помощью критических значений по таблицам. Если вы-

численные значения превосходили критические, то асимметрия и эксцесс считались значимыми.

**Таблица 3** – Характеристики нормальности распределения (коэффициенты асимметрии и эксцесса) сезонных и годовых сумм осадков для станций Восточного Казахстана за 1970 – 2015 гг.

Станция	Статистические характеристики	Сезон			Годовая сумма
		весна	первая половина лета	вторая половина лета	
1	2	3	4	5	6
Аягуз	$A_s$	0,50	0,97	2,63	1,19
	$E_x$	-0,47	0,49	8,98	1,53
Бахты	$A_s$	0,42	1,42	6,25	4,25
	$E_x$	-0,13	2,65	40,95	23,9
Катон-Карагай	$A_s$	1,51	1,92	5,25	2,92
	$E_x$	2,52	5,51	30,82	10,24
Павлодар	$A_s$	1,06	1,76	1,25	1,30
	$E_x$	0,44	4,02	0,61	1,06
Семей	$A_s$	0,90	1,22	0,83	1,16
	$E_x$	0,45	2,05	0,06	0,08
Усть-Каменогорск	$A_s$	1,11	1,46	2,01	1,87
	$E_x$	0,91	2,90	6,27	3,10

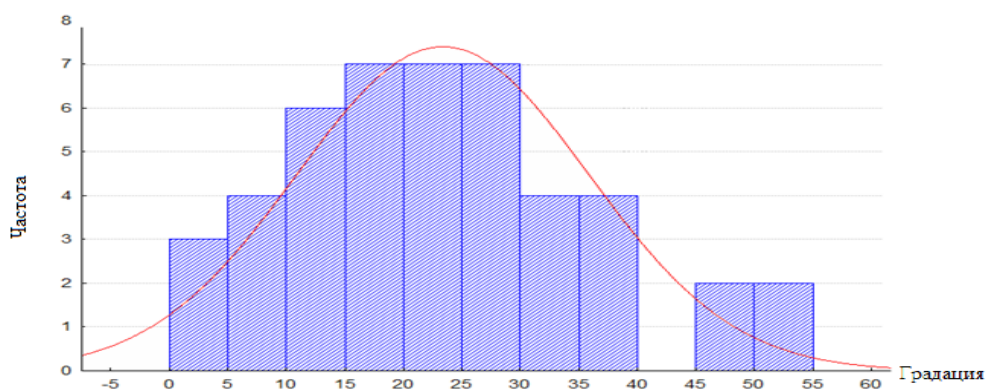
Согласно таблице 4, почти на всех станциях во все сезоны асимметрия была положительная и значимая. Коэффициенты асимметрии превышали критическое значение (0,66) на всех станциях, за исключением Аягуза и Бахты весной. Распределения сезонных осадков во все остальные рассматриваемые сезоны по асимметрии отличались от нормального распределения.

Анализ коэффициентов эксцесса ( $E_x$ ) показал, что имеются как положительные, так и отрицательные значимые и не значимые значения. Положительные эксцессы варьировали от 0,06 до 40,95. Максимальные значения коэффициентов эксцесса  $E_x$  отмечались на станции Бахты (40,95) и в Катон-Карагае (30,82) во вторую половину лета. Здесь они значительно превысили критическое значение (0,86). Не превысили его коэффициенты эксцесса в Аягузе весной и в первую половину лета. В Бахты, Павлодаре и в Семейе весной коэффициенты эксцесса также были меньше критического. В Семейе они не превысили критическое значение и во вторую половину лета. То есть, в переходный сезон распределения сезонных осадков в Аягузе, Бахтах, Павлодаре и

Семее близки к нормальному распределению. Годовые значения коэффициента асимметрии и эксцесса максимальны на станции Бахты и составляют соответственно 4,25 и 23,9. Значителен эксцесс и в Катон-Карагае (10,24). Для годовых сумм осадков, как и следовало ожидать, значения коэффициентов асимметрии и эксцесса велики.

При подробном рассмотрении было замечено следующее: коэффициенты асимметрии и эксцесса на МС Аягуз и Бахты лишь весной меньше критического, следовательно, в данном случае распределения сезонных осадков весной близки к нормальному распределению, а в другие сезоны отличаются от нормального распределения. При разработке физико-статистических моделей прогноза ряды осадков, распределения которых отличаются от нормального распределения, следует подвергнуть нормализации.

В работе также были построены и проанализированы гистограммы распределения сезонных осадков весной, в первой и второй половине лета (рис. 5-7) на шести станциях Восточного Казахстана за 1970 – 2015 гг.



**Рисунок 1** – Гистограмма распределения сезонных осадков весной за 1970-2015 гг. на станции Бахты

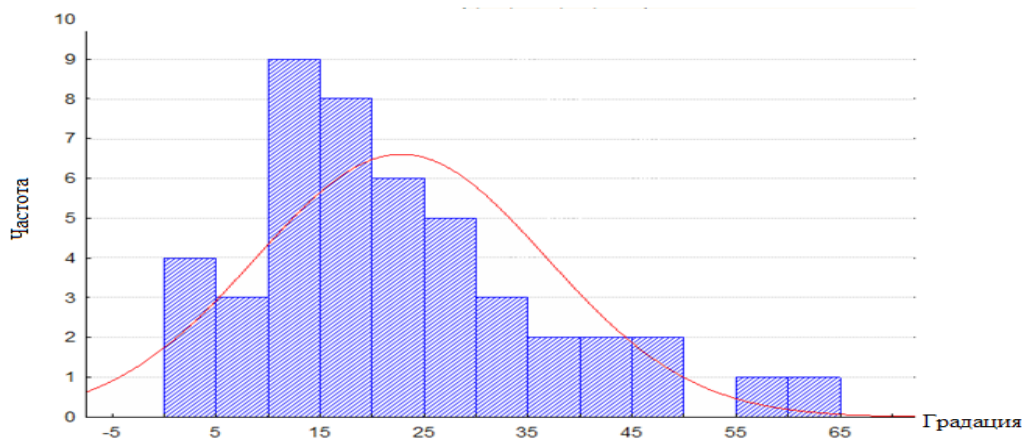
В соответствии с рисунком 1, анализ показал, что гистограмма распределения сезонных осадков весной в Бахты соответствует нормальному распределению.

Совместный анализ коэффициентов асимметрии, эксцесса и гистограмм показал, что для всех рассмотренных станций коэффициент асимметрии был положительным, что свидетельствует о малой повторяемости осадков больших градаций и о высокой повторяемости осадков относительно небольших градаций.

На станции Бахты наибольшую повторяемость весной имеют градации 15-20 мм, 20-25 мм и 25-30 мм. Наименьшую – градации 45-50 мм и 50-55 мм. Гистограмма для сезонных

осадков в Аягузе весной также показывает на распределение, близкое к нормальному распределению, о чем свидетельствуют и значения коэффициентов  $A_s$  (0,50) и  $E_x$  (-0,47), которые меньше критических. На станции Бахты весной коэффициенты асимметрии и эксцесса также меньше критических значений, но в другие сезоны асимметрия и эксцесс значимы для пятипроцентного уровня значимости. Для остальных метеостанций асимметрия положительная и значимая.

По эксцессу в Павлодаре и Семее (рис. 2) распределения сезонных осадков весной также близки нормальному, а по асимметрии – отличаются от нормального распределения.



**Рисунок 2** – Гистограмма распределения сезонных осадков весной за 1970-2015 гг. на станции Семей

Таким образом, коэффициент асимметрии на всех метеостанциях Восточного Казахстана во все рассматриваемые сезоны положителен, что

позволяет сделать вывод о том, что правая ветвь кривых распределения является удлиненной, так как при положительной асимметрии сред-

няя располагается правее моды. Все гистограммы указывают на тот факт, что наиболее часто встречаются осадки небольших градаций. Коэффициенты эксцесса принимают как положительные, так и отрицательные значения и лишь в некоторых случаях меньше критического значения.

Для целей долгосрочного прогноза погоды и для решения некоторых задач климатологии предпочтительнее использовать осредненные по площади осадки, чем данные на станциях (Ефремова Н.И. 1976: 112; Леднева К.В., Мещерская А.В. 1977: 158).

Ефремовой Н.И. были отмечены следующие преимущества осредненных по площади осадков по сравнению с осадками отдельных станций:

1) корреляция осредненных по площади осадков убывает с расстоянием медленней, чем осадков на остальных станциях, это делает возможным увеличивать радиус корреляции и выявлять крупномасштабные связи этой метеорологической величины;

2) кривые распределения осредненных осадков ближе к нормальным, что позволяет шире применять статистические методы обработки;

3) для расчета месячных норм осредненных осадков с заданной точностью можно использовать более короткие ряды, чем ряды осадков по точечным данным;

4) применение рядов осредненных величин приводит к уменьшению числа пропусков данных.

В работе были составлены ряды осредненных по площади осадков в целом для Восточно-Казахстанской области весной, в первую и вторую половину лета.

Для этих осредненных по территории рядов осадков были построены и проанализированы гистограммы распределения сезонных сумм осадков весной, в первую и вторую половину лета за 1970-2015 гг. Гистограмма осредненных по территории сезонных осадков весной показала на распределение близкое к нормальному распределению. В этом случае значения коэффициентов  $A_s$  (0,49) и  $E_x$  (-0,30) были меньше критических.

В первой и во второй половине лета распределения осредненных по территории Восточного Казахстана осадков были отличны от нормального, т.е. коэффициенты асимметрии и эксцесса значительно превышают критическое значение для пятипроцентного уровня значимости. Сле-

довательно, ряды осредненных по территории сезонных осадков для первой и второй половины лета следует подвергнуть нормализации.

В связи с повышением температур в последние десятилетия не менее важным является определение тенденций изменения средних сезонных сумм осадков. Был проведен анализ аппроксимаций временного хода сезонных осадков с помощью линейного и полиномиального (шестого порядка) трендов на станциях востока Казахстана за 1970-2015 гг. Ряды сезонных осадков с помощью метода наименьших квадратов аппроксимировались линейным трендом:

$$R = A(t) + B,$$

где  $R$  – осадки;  $A$  – коэффициент линейного тренда;  $t$  – время (годы);  $B$  – уровень ряда в начальный момент времени (свободный член).

Также была проведена аппроксимация временного хода сезонных осадков с помощью полиномиального тренда шестого порядка. Линейные тренды хорошо определяют главную тенденцию изменения за весь рассмотренный промежуток времени, а полиномиальные – помогают уточнить эти изменения в более короткие периоды времени по сравнению с рассматриваемым.

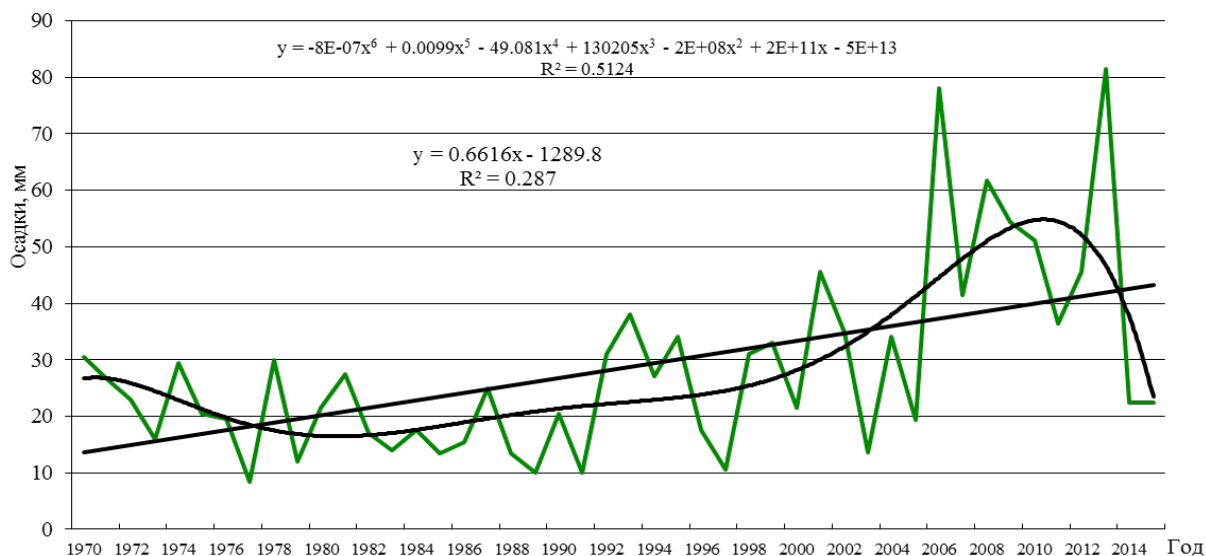
В качестве примера на рисунке 3 приведена аппроксимация временного хода сезонных осадков линейными и полиномиальными трендами шестого порядка для станции Катон-Карагай весной.

Анализ показал, что весной на МС Катон-Карагай первый максимум сезонных осадков наблюдался в 2013 году (81,5 мм), второй – в 2006 году (78 мм), а минимум сезонных осадков отмечался в 1977 (8,5 мм), 1989 и 1991 годах (10 мм).

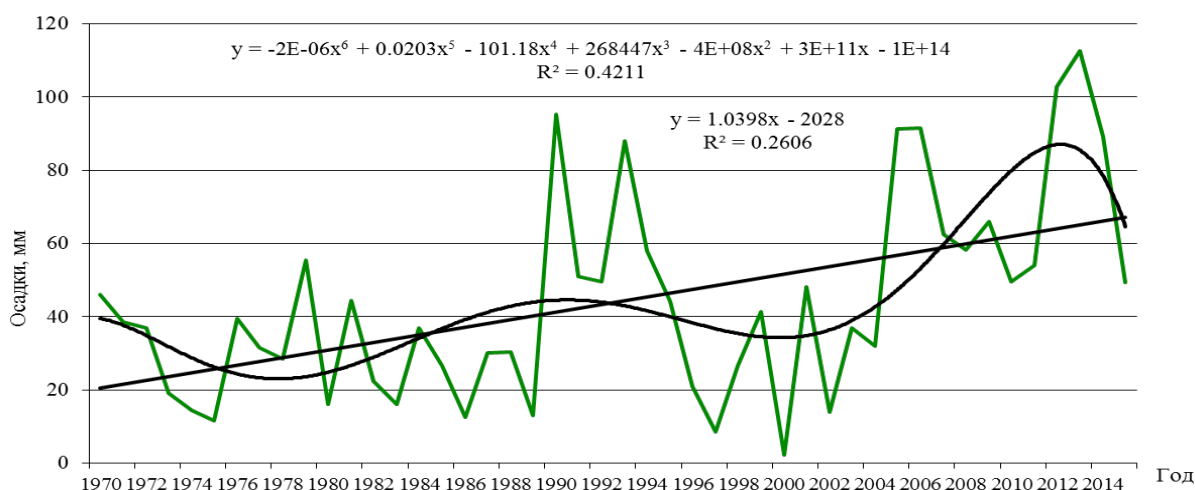
Коэффициент регрессии в уравнении тренда для весны положителен, что говорит о росте сезонных осадков весной на 6,6 мм за каждые 10 лет. Коэффициент корреляции ( $R = 0,54$ ) больше критического (0,29) и значим для 5%-ого уровня значимости. Коэффициент корреляции для полиномиального тренда также является значимым и имеет более высокое значение ( $R = 0,71$ ). Внутри полиномиального тренда можно заметить уменьшение осадков с 1971 по 1983 годы, затем – рост до 2011 года и далее наблюдалось резкое уменьшение осадков.

В Семее также отмечается значимый рост сезонных осадков весной и летом (рис.4).





**Рисунок 3** – Аппроксимация временного хода средних сезонных сумм осадков на МС Катон-Карагай с помощью линейного и полиномиального трендов весной



**Рисунок 4** – Аппроксимация временного хода средних сезонных сумм осадков на МС Семей с помощью линейного и полиномиального трендов во вторую половину лета

Коэффициент регрессии в уравнениях линейных трендов для весны, первой и второй половины лета положительный, что говорит о росте сезонных осадков: весной – на 5,2 мм, в первую половину лета – на 7,7 мм, а во вторую половину лета (рис.4) – на 10,4 мм за каждые 10 лет. Коэффициенты корреляции для весны (0,50), первой половины лета (0,47) и второй половины лета (0,51) значимы для 5%-ого уровня значимости и больше критического (0,29). Коэффициенты детерминации для полиномиального тренда также значимы и имеют более высокие значения. Аналогичный анализ был проделан для всех

рассмотренных станций во все сезоны теплого периода. Анализ трендов показал, что на всех рассмотренных станциях отмечается увеличение сезонных осадков почти во все рассматриваемые синоптические сезоны, за исключением станции Бахты, расположенной в северо-восточной части пустынно-равнинного района Алакольской впадины. Здесь увеличение незначимое. Также незначимый рост наблюдается в Аягузе в первую половину лета.

Для осредненных по площади Восточного Казахстана сезонных осадков также была проведена аппроксимация временного хода с по-

мощью выше указанных трендов. Например, для весны подробный анализ показывает, что коэффициент регрессии в уравнении линейного тренда является положительным, т.е. отмечается рост сезонных осадков весной на 3,9 мм за каждые 10 лет. Коэффициент корреляции ( $R = 0,48$ ) больше критического (0,29) и значим для 5%-ого уровня значимости. Коэффициент корреляции для полиномиального тренда также значимый и имеет более высокое, чем для линейного тренда, значение ( $R = 0,77$ ). Внутри полиномиального тренда можно заметить уменьшение осадков с 1972 по 1994 годы, затем -рост до 2010 года, а далее снова отмечалось уменьшение сезонных осадков весной. Первый максимум весенней суммы осредненных по территории осадков наблюдался в 2010 году (51,7 мм), второй – в 2006 году (49,2 мм), а минимум сезонных осадков отмечался в 1997г. (9,0 мм).

Дальнейший анализ с помощью линейных и полиномиальных трендов позволил сделать вывод о том, что для осредненных по территории Восточного Казахстана сезонных осадков весной, в первую и вторую половины лета отмечается значимый рост. Для весны, как уже было указано ранее, этот рост составил 3,9 мм, для первой половины лета – 5,8 мм, а для второй половины лета – 11,8 мм за каждые 10 лет. Коэффициенты детерминации для полиномиальных трендов имели еще более высокое значение и также были значимы для пятипроцентного уровня значимости.

## Выводы

Таким образом, из проведенного анализа были получены следующие выводы:

- на всех станциях Восточного Казахстана в 1970-2015 гг. максимальное количество осадков выпадало во вторую половину лета;

- значения средних сезонных сумм осадков в первую и вторую половину лета больше, чем весной на всех станциях востока республики;

- на всех станциях Восточного Казахстана в рассматриваемые сезоны среднее многолетнее за 1970 по 2015 гг. больше, чем за 1891-2000 гг., за исключением первой половины лета на станции Бахты; следовательно, на фоне роста температуры на территории Восточного Казахстана отмечается рост средних сезонных осадков;

- в сезоны с максимальным количеством осадков отмечались и максимальные значения среднего квадратического отклонения;

- во вторую половину лета среднее квадратическое отклонение превысило норму в Катон-Карагае и на станции Бахты; на этих станциях коэффициент вариации был больше 1 и рассеяние превышало норму;

- на всех станциях во все сезоны асимметрия положительная и значимая (за исключением Аягуза и Бахты весной), а эксцесс имеет как положительные, так и отрицательные значения; при разработке физико-статистических моделей прогноза ряды осадков, распределения которых отличаются от нормального распределения, следует подвергнуть нормализации;

- гистограммы указывают на тот факт, что наиболее часто встречаются осадки небольших градаций;

- анализ трендов осредненных по территории сезонных осадков показал, что в 1970-2015 гг. наблюдается явное увеличение средних сезонных осадков весной, в первую и вторую половину лета, хотя для отдельных станций (Бахты, Аягуз) в отдельные сезоны года оно может быть незначимым.

## Литература

- 1 Боголюбова Е.В. Прогноз месячной суммы осадков в весенне-летний период по сельскохозяйственным районам Казахстана. // Автореферат канд. диссертации. – 1985. – 16 с.
- 2 Боголюбова Е.В., Балтабаева Д.Б. Анализ статистических характеристик климатических параметров в Центральном Казахстане в Акмолинской области. // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2012. – №1(34) – С. 78 – 89.
- 3 Боголюбова Е.В., Бегалиева А.Б. Особенности статистической структуры осредненных по площади месячных сумм осадков на севере и юге Казахстана. // Гидрометеорология и экология. – 2013. – №1 – С.52 – 65.
- 4 Боголюбова Е.В., Игнатенко О.С. Пространственно-временная статистическая структура поля месячных сумм осадков на территории Казахстана летом. // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2003. – № 4. – С. 43-50.
- 5 Боголюбова Е.В., Кусаинова М.Т. Статистические характеристики и классификация осадков на востоке Казахстана. // Гидрометеорология и экология. – 2003. – № 2(29). – С.35 – 47.
- 6 Ефремова Н.И. Месячные количества атмосферных осадков для районов Европейской территории СССР и Северного Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 112 с.
- 7 Климат Казахстана // Под. ред. Утешева А.С. – М.: Гидрометеиздат, 1960. – 260 с.

- 8 Леднева К.В., Мещерская А.В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов СССР (ежегодные данные). – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 158 с.
- 9 Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Долгих С.А. Особенности пространственно-временного распределения осадков в Казахстане. // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2009. – №2 (29). С. 70–77.
- 10 Справочник по климату Казахстана. – Алматы: Гидрометеиздат, 2004. – 67 с.
- 11 Browning K.A. Conceptual models of precipitation systems // *Met. Mag.* 1985. N.114. P.293 – 319.
- 12 Browning K.A., Harrold T.W. Air motion and precipitation growth in a wave depression // *Q.J. Roy. Met. Soc.* 1969. v.95. No.404. P.288 – 309.
- 13 Eliassen A. On the vertical circulation in frontal zones // *Geophys. Publ.* 1962. V.24. No.4. P.147 -160.
- 14 Emmanuel K.A. Atmospheric convection. Oxford Univ. Press, 1994, 580 p.
- 15 Hoskins B.J., Bretherton F.P. Atmospheric frontogenesis models: mathematical formulation and solutions // *J. Atmos. Sci.* 1972. V. 29. No.1. P. 11-37.

#### References

- 1 Bogoljubova E.V. (1985) Prognoz mesjachnoj summy osadkov v vesenne-letnij period po sel'skohozjajstvennym rajonom Kazahstana [The forecast of the monthly sum of rainfall during the spring and summer period on the agricultural regions of Kazakhstan] // pp.16.
- 2 Bogoljubova E.V., Baltabaeva D.B. (2012) Analiz statisticheskikh karakteristik klimaticheskikh parametrov v Central'nom Kazahstane v Akmolinskoj oblasti [The analysis of statistical characteristics of climatic parameters in the Central Kazakhstan in the Akmola region] // *Bulletin KazNU*, vol.1(34), pp. 78 – 89.
- 3 Bogoljubova E.V., Begaliev A.B. (2013). Osobennosti statisticheskoy struktury osrednennykh po ploshhadi mesjachnykh summ osadkov na severe i juge Kazahstana [Features of statistical structure of the monthly sums of rainfall, average on the area, in the North and the South of Kazakhstan] // *Gidrometeorologija i jekologija*. vol. №1, pp.52 – 65.
- 4 Bogoljubova E.V., Ignatenko O.S. (2003.) Prostranstvenno-vremennaja statisticheskaja struktura polja mesjachnykh summ osadkov na territorii Kazahstana letom [Existential statistical structure of the field of the monthly sums of rainfall in the territory of Kazakhstan in the summer]. *Bulletin KazNU* .vol № 4, pp. 43-50.
- 5 Bogoljubova E.V., Kusainova M.T. (2003.) Statisticheskije karakteristiki i klassifikacija osadkov na vostoке Kazahstana [Statistical characteristics and classification of rainfall in the east of Kazakhstan.] // *Hydrometeorology and ecology*, vol. 2(29), pp.35 – 47.
- 6 Efremova N.I. Mesjachnye kolichestva atmosferynykh osadkov dlja rajonov Evropejskoj territorii SSSR i Severnogo Kazahstana (1976). [Monthly quantities of an atmospheric precipitation for areas of the European territory of the USSR and Northern Kazakhstan] L.: Gidrometeoizdat, pp.112
- 7 *Klimat Kazahstana* (1960) [Climate of Kazakhstan] M.: Gidrometeoizdat, pp. 260 .
- 8 Леднева К.В., Мещерская А.В. Многолетние ряды месячных сумм осадков, осредненных по площади, для основных сельскохозяйственных районов СССР (1977). [Long-term ranks of the monthly sums of rainfall, average on the area, for the main agricultural regions of the USSR]. L.: Gidrometeoizdat, pp.158.
- 9 Sal'nikov V.G., Turulina G.K., Poljakova S.E., Dolgih S.A. Osobennosti prostranstvenno-vremennogo raspredelenija osadkov v Kazahstane. (2009) [Long S.A. Features of existential distribution of rainfall in Kazakhstan] *Bulletin KazNU*, vol №2 (29), pp. 70–77.
- 10 *Spravochnik po klimatu Kazahstana* (2004) [Reference book on climate of Kazakhstan.]. Алматы: Gidrometeoizdat, pp. 67 s.
- 11 Browning K.A. Conceptual models of precipitation systems // *Met. Mag.* 1985. N.114. P.293 – 319.
- 12 Browning K.A., Harrold T.W. Air motion and precipitation growth in a wave depression // *Q.J. Roy. Met. Soc.* 1969. v.95. No.404. P.288 – 309.
- 13 Eliassen A. (1962) On the vertical circulation in frontal zones. *Publ.* vol.24, no.4. pp.147 -160.
- 14 Emmanuel K.A. (1994) Atmospheric convection. Oxford Univ. Press, 580 p.
- 15 Hoskins B.J., Bretherton F.P. (1972) Atmospheric frontogenesis models: mathematical formulation and solutions. *J. Atmos. Sci.* vol. 29, no.1, pp. 11-37.