

УДК 551.577.3(551.524)

Р.М. Илякова¹**КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЕРТИССКОГО
БАССЕЙНА**

Ключевые слова: атмосферные осадки, аномалия, климатическая норма, внутригодовой ход, коэффициент линейного тренда, коэффициент детерминации, стандартное отклонение, высотная зависимость, тенденция, климатические индексы, экстремумы

В статье приведены результаты оценки современного режима осадков и его изменений на территории Ертысского бассейна, за период 1976...2019 гг., где отмечается более ускоренное изменение глобального климата и климата Казахстана. Как известно, атмосферные осадки являются первоисточником поступления влаги на земную поверхность и во многом формируют водообеспеченность конкретной территории, поэтому знание об их пространственных и временных характеристиках играет одну из ключевых ролей при планировании устойчивого социально-экономического развития региона.

Объект исследования. Бассейн реки Ертыс занимает всю северо-восточную и восточную часть Республики Казахстан (Восточно-Казахстанская и Павлодарская области). Территория бассейна характеризуется большим разнообразием физико-географических условий. Верхняя часть бассейна расположена в горной стране Алтая, с отчётливо выраженной вертикальной зональностью. Большая часть бассейна расположена в степной и лесостепной зонах, и лишь сравнительно небольшая нижняя часть бассейна лежит в лесной зоне. Верхняя часть Ертысского бассейна расположена в Китае (КНР), средняя часть бассейна площадью около 200 тыс. км² (с длиной по р. Ертыс 1637 км) находится на территории Казахстана, и нижняя часть бассейна площадью 1340 тыс. км² располагается на территории России. [5, 6].

¹РГП "Казгидромет", г. Алматы, Казахстан
122

Исходные данные и методы исследования. В работе использовались данные Республиканского гидрометеорологического фонда РГП "Казгидромет" по 34-м метеорологическим станциям:

1) ряды среднемесячных и годовых значений количества осадков за период 1976...2019 гг.; климатические нормы рассчитаны за период 1981...2010 гг.

2) ряды суточных значений количества осадков за период 1976...2019 гг. для расчета тенденций в экстремумах количества атмосферных осадков.

Метеорологические станции на территории Ертисского бассейна открывались поэтапно, первые станции были открыты в период 1876...1907 гг., следующие этапы быстрого развития метеорологической сети пришлось на 30-е и 50-е годы прошлого века, затем сеть постоянно увеличивалась, достигнув пика в 80-е годы 20 века. Все выбранные для анализа метеостанции имеют достаточно полные ряды наблюдений и проверены на качество и однородность наблюдений в соответствии с руководством ВМО, с помощью принятых в метеорологии статистических тестов, с применением программного продукта RhtestsV3 [10], разработанного Канадским Департаментом Климатических Исследований (Директорат Технических и Атмосферных наук, Торонто, Онтарио, Канада) в рамках Всемирной программы исследований климата ВМО. Пакет RhtestsV3 позволяет учитывать не только периодическую составляющую (например, сезонный цикл) и автокорреляцию ряда данных (с единичным лагом), но также выявлять климатическую неоднородность метеорологических рядов в условиях меняющегося климата, так как учитывает наличие линейного тренда. В RhtestsV3 используются тесты Стьюдента и Фишера (t-тест и F-тест), с помощью которых выявляются точки резкого изменения в средних значениях и в характеристиках изменчивости исследуемых величин.

При проверке на однородность был выбран 5 %-й уровень значимости. В результате, для оценки современного режима количества атмосферных осадков на территории Ертисского бассейна были выбраны метеостанции с относительно полными и качественными рядами наблюдений.

В качестве научного подхода в работе приняты рекомендации и руководства Всемирной метеорологической организации (ВМО) и разра-

ботки Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [1], направленные на выявление и масштабирование тенденций во временных рядах. Для анализа временных рядов количества атмосферных осадков также применялся традиционный аппарат математической статистики [2, 4 7].

В соответствии с рекомендациями ВМО под «нормой» в работе понимается среднегодовое значение рассматриваемой климатической переменной за период 1981...2010 гг. Аномалии количества осадков принято рассматривать как отклонения от нормы (аналогично температуре воздуха, или выраженных в процентах нормы), так и в процентах от нормы, то есть как процентное отношение количества выпавших осадков к значению нормы [8].

В качестве оценок изменений характеристики климата за определенный интервал времени используются коэффициенты линейных трендов, определяемые по методу наименьших квадратов. Мерой существенности тренда является коэффициент детерминации (R^2), характеризующий вклад трендовой составляющей в полную дисперсию климатической переменной за рассматриваемый период времени (в %). Кроме того, для оценки статистической значимости тренда (достоверности) используются тест Фишера (F-test) и тест Стьюдента (t-test) при уровне значимости 5 % [10].

Для характеристики изменчивости количества атмосферных осадков было рассчитано среднеквадратическое отклонение, которое показывает меру отклонения наблюдений относительно среднего. Среднеквадратическое отклонение вычисляется как в абсолютной мере (°С, мм), так и в относительной (%) к среднему значению [2, 4, 7].

По высотным зонам количество метеостанций уменьшается с увеличением высоты места (табл. 1). Наибольшее количество метеостанций расположено на низменно-равнинной территории.

Таблица 1

Количественное распределение метеостанций Ертисского бассейна по высотным зонам

Высота, м / количество метеостанций					
50...200	201...400	401...600	601...800	801...1000	1001...1500
15	7	5	3	2	2

Для расчетов все выбранные метеостанции были объединены в три основные группы:

- равнинная территория (0...500 м),
- среднегорье (500...1500 м),
- высокогорье (> 1500 м).

Анализ состояния современного изменения климата. Ертисский бассейн расположен в центральной части Евразии, ее значительная удаленность от океанов обусловила формирование здесь континентального климата (резкие контрасты температуры воздуха зимы и лета, дня и ночи, засушливый характер). В зимний период Ертисский бассейн попадает под воздействие западного отрога Сибирского антициклона. Летом, в связи с прогреванием подстилающей поверхности на территории формируется термическая депрессия. Большую изменчивость погоды, особенно в переходные сезоны, обуславливают выходы южных циклонов, а также северные и северо-западные вторжения. Равнинный характер большей части исследуемой территории определяет здесь широтную географическую зональность ее климатов. В горных районах формируются климаты предгорных равнин и гор с вертикальной географической поясностью [5, 6].

Режим осадков на территории Ертисского бассейна. Как известно, на распределение количества осадков влияют главным образом циркуляционные процессы и рельеф. Так, количество и распределение атмосферных осадков на территории Ертисского бассейна определяется особенностями общей циркуляции атмосферы, в частности фронтальной деятельностью северо-западных и юго-западных циклонов.

В бассейне р. Ертис отмечается неравномерное распределение осадков, связанное с разнообразием климатических и орографических условий. Большая часть площади бассейна реки занимает равнинная и низменно-равнинная территории степей с годовыми суммами осадков от 200 до 400 мм, на территории Жайсанской впадины пустынная зона с осадками менее 200 мм. С приближением к горным хребтам, под воздействием которых активизируются фронты, количество осадков возрастает. В предгорных долинах на высотах более 300 м и выше количество осадков увеличивается до 500...600 мм. На высотах 600 м и более количество осадков резко увеличивается до 800 мм, в связи с обострением атмосферных фронтов. Таким образом, изогеты на карте сгущаются и как бы очерчивают горные хребты. При этом, максимум осадков приходится на

высокогорные районы Алтайской горной системы: хребтов Коксуский и Ульби (более 1200 мм), хребта Листвяга (более 1000 мм), хребта Нарын (более 800 мм). Еще один максимум, менее значительный, более 800 мм, наблюдается в высокогорных районах северного склона хребта Тарбагатай. В бассейне р. Ертис максимум осадков приходится на летний сезон (119,2 мм), минимум – на зимний (52,9 мм). По данным метеостанций, наименьшее количество осадков на территории Ертисского бассейна выпадает на крайнем юго-востоке Кулундинской степи (МС Семиярка – 211 мм), а наибольшее – на западных склонах Коксуйского и Ульбинского хребтов (634 мм) [3, 5, 6].

Не менее важной климатической особенностью, наряду с количеством осадков, является их режим – распределение по сезонам года. По территории всего Ертисского бассейна наблюдается преобладание летних осадков, с максимальным количеством осадков в июле (49,8 мм). Количество атмосферных осадков в летний сезон на равнинной территории составляет 66,0...136,2 мм и 83,0...224,0 мм в среднегорье. В зимний период сумма осадков варьирует от 29,3 мм до 100,3 мм на равнине и от 20,8 мм до 110,1 мм в среднегорье. Весной и осенью атмосферных осадков выпадает примерно одинаковое количество: от 45,3...117,9 мм на равнине до 48,1...173,7 мм в среднегорье. Таким образом, на территории Ертисского бассейна большая доля осадков приходится на теплое время года, т.е. на весну и лето, меньшая – на зиму. Атмосферные осадки распределяются также неравномерно по территории бассейна, постепенно увеличиваясь с северо-запада на юго-восток во все сезоны [3].

На рис. 1 представлены графики внутригодового хода количества осадков и среднего квадратического отклонения месячных сумм осадков за период 1981...2010 гг. по некоторым метеостанциям Ертисского бассейна.

Временная изменчивость атмосферных осадков, которая характеризуется средним квадратическим отклонением, имеет хорошо выраженный ход и повторяет внутригодовые изменения самих многолетних сумм атмосферных осадков, т.е. годовой ход среднего квадратического отклонения аналогичен ходу месячных сумм осадков. Наибольшая изменчивость количества осадков наблюдается в теплые месяцы практически на всех представленных ниже метеостанциях и вносит наибольший вклад в изменчивость годового количества осадков. Кроме этого, прослеживается увеличение количества осадков с высотой (рис. 1).

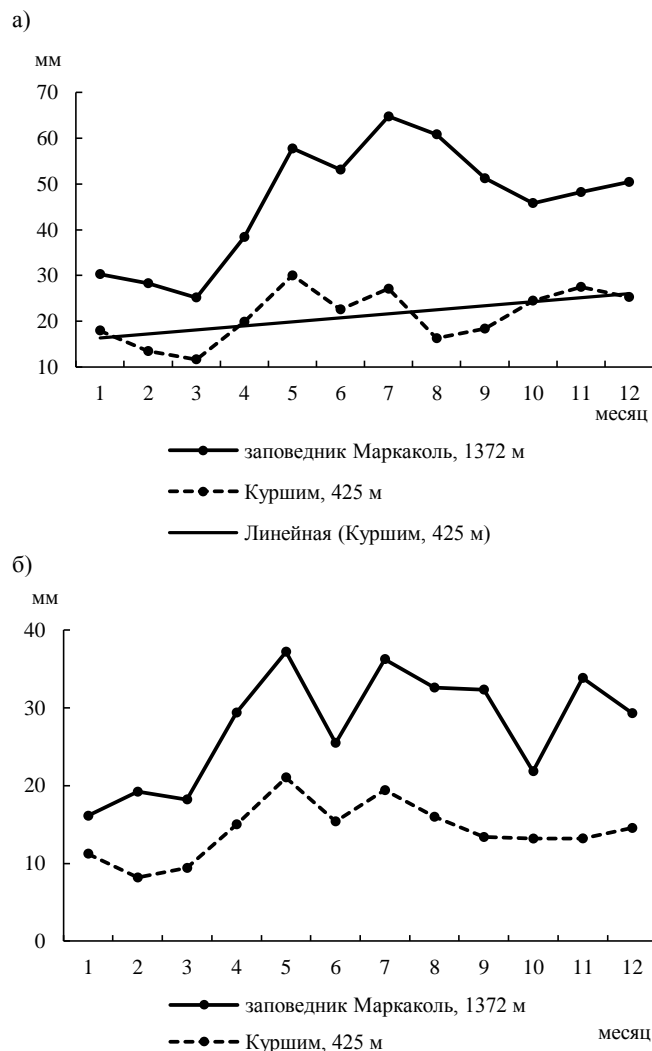


Рис. 1. Годовой ход месячных сумм осадков (а) и среднего квадратического отклонения количества осадков (б) за период 1981...2010 гг. по станциям Ертисского бассейна.

Наблюдаемые изменения количества атмосферных осадков на территории Ертисского бассейна. Временные ряды аномалий годовых и сезонных сумм осадков за период 1976...2019 гг., рассчитанные относительно базового периода 1981...2010 гг. и пространственно осреднённые по территории Ертисского бассейна дают общее представление о характере современных изменений режима атмосферных осадков (рис. 2). За последние десятилетия прослеживается чередование

коротких периодов с положительными и отрицательными аномалиями количества осадков [3].

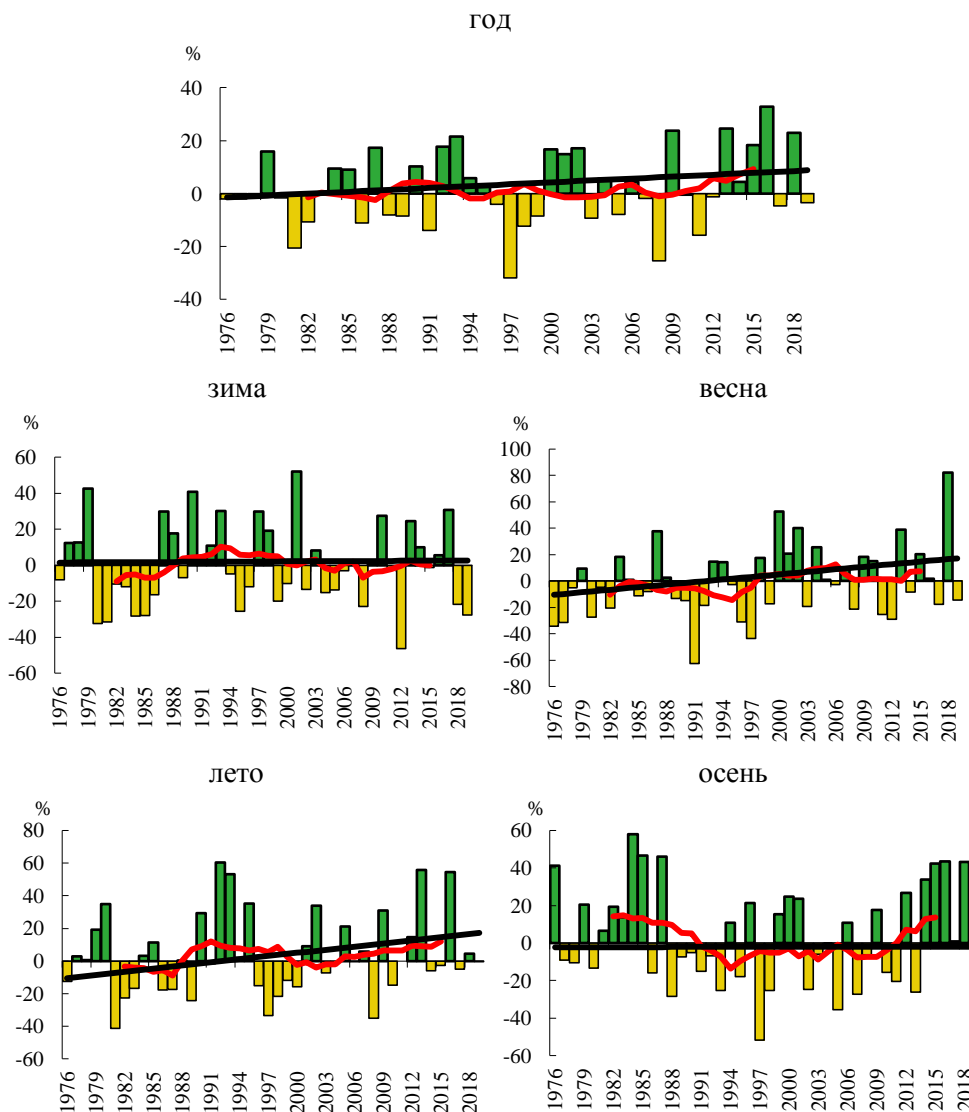


Рис. 2. Временные ряды аномалий годовых и сезонных сумм осадков (%), пространственно осредненных по территории Ертысского бассейна за период 1976...2019 гг. Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1981...2010 гг. Линейный тренд за период 1976...2017 гг. выделен черным цветом. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением.

Таблица 2

Характеристики линейного тренда (мм/10 лет, %/10 лет) аномалий сезонных и годовых сумм атмосферных осадков, осредненных по территории Ертисского бассейна за период 1976...2019 гг. Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1981...2010 гг.

Регион/область	Ед. изм	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
		a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²
в целом по бассейну	мм	6,8		-0,3	0	4,0		3,2		0,0	
	%	2,2	4	-0,2		5,9	7*	2,9	2	0,0	0
равнина	мм	7,3		-0,5	0	4,0		3,7		0,1	
	%	2,6	4	-0,4		6,8	8*	3,3	2	0,3	0
среднегорье	мм	5,7		0,4	0	4,1		2,0		-0,3	
	%	1,4		0,5		3,6	4	2,3	1	-0,9	0

Примечание: a – коэффициент линейного тренда, %/10лет, мм/10 лет; R² – коэффициент детерминации,%; * - выделены статистически значимые тенденции.

В среднем по Ертисскому бассейну за период 1976...2019 гг. тенденция увеличения годового количества атмосферных осадков составила 6,8 мм/10 лет (табл. 2). На равнинной территории и среднегорье атмосферные осадки увеличиваются на 7,3 и 5,7 мм/10 лет, соответственно. Весной и летом наблюдается рост количества осадков в целом за год и на различных высотах. Зимой неустойчивая тенденция к уменьшению количества осадков составляет 0,3...0,05 мм/10 лет в целом по бассейну и на равнине, а также осенью на территории бассейна выше 500 м.

Более детальную информацию о характере изменения режима атмосферных осадков по исследуемой территории дает пространственное распределение значений коэффициента линейного тренда для годовых, сезонных и месячных сумм осадков (%/10 лет), рассчитанных за период 1976...2019 гг. [3].

Тренды годового количества осадков на большей части Ертисского бассейна в основном положительны, но статистически незначимы. Статистически достоверное увеличение количества осадков прослеживается в предгорных и горных районах хребта Тарбагатай (6...7 %/10 лет).

Зимой устойчивый положительный тренд наблюдается на некоторых станциях Ертисского бассейна (10...14 %/10 лет). Статистически значимое уменьшение количества осадков наблюдается на МС Шемонаиха (11 %/10лет).

Весной скорость уменьшения количества осадков наблюдается к юго-востоку. Тренды, в основном, незначимы. Лишь на МС Ертис и МС Михайловка статистически значимое увеличение количества осадков составляет 9...10 %/10 лет.

Летом тренды в основном положительны (2...10 %/10 лет), но статистически незначимые.

Осенью незначительное уменьшение скорости количества осадков (1...6 %/10 лет) прослеживается по всей территории Ертисского бассейна. Все полученные тренды осеннего периода недостоверны.

Для характеристики годового хода атмосферных осадков были взяты средние многолетние месячные значения количества осадков по Ертисскому бассейну за период 2001...2019 гг. и за базовый период 1981...2010 гг. В годовом ходе средних многолетних месячных сумм осадков по территории бассейна за оба периода наблюдается рост количества осадков к лету и их уменьшение к зиме (рис. 3).

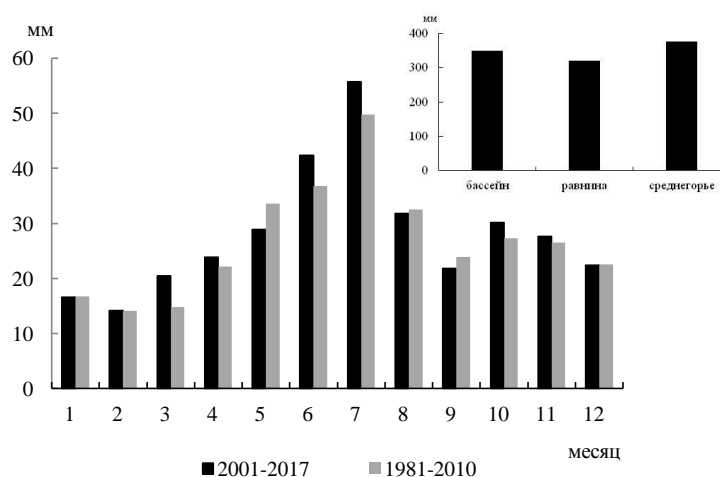


Рис. 3. Средние многолетние месячные суммы осадков (мм) в среднем по Ертисскому бассейну за период 2001...2019 гг. и базовый период 1981...2010 гг. Вставка: средние многолетние годовые суммы осадков по высотным зонам бассейнов за период 2001...2019 гг.

За период 2001...2019гг. максимум количества осадков приходится на июль, минимум за февраль. В марте, мае, апреле, июне, июле, октябре и ноябре количество осадков превысило норму на 5...40 %, в остальные месяцы недостаток влаги составил 1...5 %. Количество осадков в среднем

по территории бассейна составило 338 мм, на равнинной территории и среднегорье – 322 и 376 мм, соответственно (рис. 3).

Далее на рис. 4 представлены графики изменения количества осадков по Ертисскому бассейну за последние десятилетия. Максимальное количество атмосферных осадков наблюдалось за последнее десятилетие (2010...2019 гг.) в целом по бассейну, на равнинной территории и среднегорье – 346, 328 и 393 мм, соответственно.

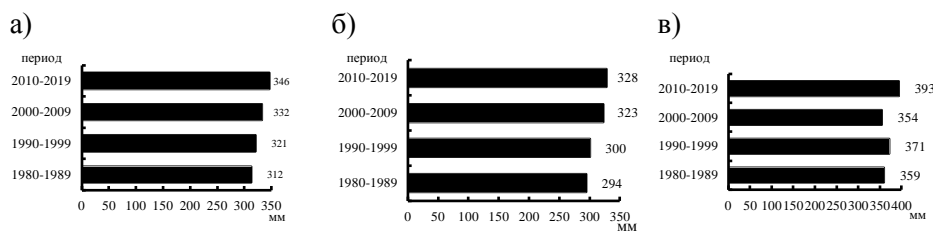


Рис. 4. Среднее по десятилетиям количество атмосферных осадков (мм): а – в среднем по Ертисскому бассейну, б – на равнине, в – в среднегорье.

Положительная тенденция количества осадков на территории Ертисского бассейна за период 1976...2019 гг. также прослеживается на рис. 5. Характер изменения месячного количества осадков отличается в зависимости от высотной зоны. Все полученные тренды статистически недостоверны, за исключением марта, когда устойчивый положительный тренд (2,91...3,09 мм/10 лет) наблюдался в целом по бассейну и его высотным зонам.

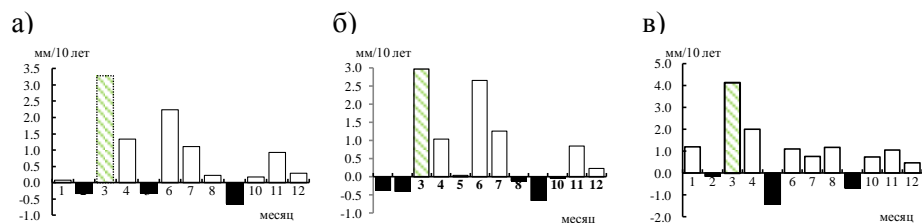


Рис. 5. Изменение средних месячных сумм осадков (мм/10 лет): а – в среднем по Ертисскому бассейну, б – на равнине, в – в среднегорье, в период 1976...2017 гг.

Тенденции в экстремумах атмосферных осадков на территории Ертисского бассейна. Для оценки тенденций в экстремумах количества осадков за период 1976...2019 гг. использовались индексы изменения климата, предложенные ВМО.

Незначительные тенденции от 0,02 до 2,3 мм/10 лет, как в сторону уменьшения, так и увеличения максимального суточного количества осадков наблюдались практически по всей территории Ертисского бассейна. Все полученные тренды статистически незначимы.

Анализ тренда доли экстремального количества осадков в годовой сумме осадков показал, что, в целом по территории Ертисского бассейна, наблюдались незначительные статистически незначимые положительные и отрицательные тенденции (0,1...3,4 %/10 лет). Увеличение экстремального количества осадков в летний период приводит к повышению риска возникновения эрозионных процессов, а в горных районах – селей дождевого генезиса.

На большей части территории Ертисского бассейна наметилась тенденция сокращения максимальной продолжительности периода без осадков (1...4 дня/10 лет). Все полученные тренды статистически недостоверны, за исключением МС Ертис, где устойчивое сокращение максимальной продолжительности периода без осадков составило 2 дня/10 лет.

Выводы. В период 1976...2019 гг. наблюдались следующие изменения количества осадков по территории Ертисского бассейна:

1. Увеличение годового количества осадков в среднем по Ертисскому бассейну на 6,8 мм/10 лет (2,2 %/10 лет). Слабая тенденция к уменьшению количества атмосферных осадков наблюдалась зимой в целом по бассейну и на равнинной территории на 0,3...0,5 мм/10 лет, и на 0,3 мм/10 лет осенью на высотах от 500 до 1500 м. Тенденции, в основном, статистически незначимы.
2. Тренды годового количества осадков на большей части Ертисского бассейна в основном положительные, но незначимые.
3. Осадки зимнего сезона уменьшаются с северо-запада на юго-восток. Наибольшая значимая скорость увеличения количества осадков зимнего сезона составляет 10...14 %/10 лет.
4. Весной отмечено уменьшение количества осадков к юго-востоку. Устойчивое увеличение количества осадков наблюдается на МС Ертис и Михайловка (9...10 %/10 лет).
5. Все полученные тренды летнего сезона положительны, но статистически незначимы (1...6 %/10 лет), за исключением МС Баршатас, где устойчивый положительный тренд составил 15 %/10 лет.

6. Осенью незначительная скорость уменьшения количества осадков (1...5 %/10 лет) прослеживается по всей территории Ертисского бассейна. Все полученные тренды осеннего периода статистически незначимые.

7. На МС Ертис за период 1976...2019 гг. наблюдается устойчивое сокращение максимальной продолжительности периода без осадков (2 дня/10 лет).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. VII Национальное Сообщение и третий двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной конвенций ООН об изменении климата. – Астана, 2017. – 302 с.
2. Дроздов Л.А. Методы климатологической обработки метеорологических наблюдений. – Л: Гидрометеиздат, 1957. – 493 с.
3. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата: 2019 год – Нурсултан: РГП «Казгидромет», 2020 – 43 с.
4. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации.– Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 295 с.
5. Природные условия и естественные ресурсы Восточного Казахстана. /АН Каз. ССР/. – Алма-Ата: Наука, 1978. – 190 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Вып. 1, 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 320 с.
7. Руководство по климатологической практике // ВМО. – Женева – 2014. – № 100. - 1015 с.
8. Руководящее указание ВМО по расчету климатических норм. // ВМО. – Женева. – № 1203 – 2017. – 21 с.
9. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation // WMO-TD. – Geneva. – 2009. – № 1500. – 89 p.
10. Wang, X.L., Yang F. RHtestsV4 User Manual. – WMO, 2010. [Электр. ресурс] – URL: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml/>

Поступила 30.11.2020

Р.М. Илякова

**ЕРТІС БАССЕЙНІ АУМАҒЫНДАҒЫ ҚАЗІРГІ АТМОСФЕРАЛЫҚ
ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ ҚЫСҚАША СИПАТТАМАСЫ**

Түйін сөздер: жауын-шашын, аномалия, климаттық норма, жылдық өзгеру, сызықтық тенденция коэффициенті, детерминация коэффициенті, стандартты ауытқу, биіктіктен тәуелділік, тенденция, климаттық индекстер, экстрема

Мақалада қазіргі жаһандық климат пен Қазақстанның климатының жеделдетілген өзгеруі байқалатын 1976...2019 жылдар кезеңіндегі Ертіс бассейнінің аумағындағы жауын-шашын режимін және оның өзгеруін бағалау нәтижелері келтірілген. Өздеріңіз білетіндей, жауын-шашын жер бетіндегі ылғалмен қамтамасыз етудің бастапқы көзі болып табылады және белгілі бір аумақтың сумен қамтамасыз етілуін көбіне қалыптастырады, сондықтан олардың кеңістіктік және уақыттық сипаттамаларын білу аймақтың тұрақты әлеуметтік-экономикалық дамуын жоспарлауда шешуші рөлдердің бірін атқарады.

R.M. Ilyakova

BRIEF CHARACTERISTICS OF MODERN ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS ON THE ERTIS BASIN TERRITORY

Key words: precipitation, anomaly, climatic norm, intra-annual variation, coefficient of linear trend, coefficient of determination, standard deviation, altitude dependence, trend, climatic indices, extrema

The article presents the results of assessing the current precipitation regime and its changes in the territory of the Ertis basin for the period 1976...2019, when a more accelerated change in the global climate and climate of Kazakhstan is noted. As you know, precipitation is the primary source of moisture supply to the earth's surface and largely forms the water availability of a particular territory, therefore, knowledge of their spatial and temporal characteristics plays one of the key roles in planning sustainable socio-economic development of the region.