

Ж.С. Мустафаев^{1*}, А.Т. Козыкеева², К.Б. Абдешев³, Н.А. Турсынбаев⁴

¹Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан;

³Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;

⁴Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

*Автор для корреспонденции: z-mustafa@rambler.ru

Тенденции изменения климата и их проявления на водосборе бассейна реки Асса-Талас

Для прогноза современных изменений климата и их проявления на водосборе бассейна реки Асса-Талас создана база исследований, собранная из многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» и «Кыргызгидромет», Всемирной метеорологической организации и справочно-информационного портала «Погода и климат», позволяющих изучить тенденции в пространственно-временном масштабе. На основе созданной базы исследования по метеорологическим станциям Сусамыр, Талас, Кызыл-Адыр, Нурлыкент, Тараз, Саудагент и Ойык, расположенных на водосборных территориях бассейна реки Асса-Талас, с использованием программы Microsoft Excel построены графики временного ряда среднегодовых температур воздуха и годовых атмосферных осадков и получены уравнения их линейного тренда, которые позволили разработать математическую модель темпа прироста климатических и гидрологических показателей, имеющих достаточно высокий физический и математический смысл, базирующегося на законе природы. Анализ темпа роста климатических показателей на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас показывает, что их количественные значения по всем метеорологическим станциям не совпадают, то есть в современных условиях темп прироста среднегодовых температур воздуха в сравнении темпа роста годовых атмосферных осадков в два раза больше, который способствует повышению дефицита водопотребления естественных и культурных сельскохозяйственных угодий до 25 % и уменьшению поверхностного гидрологического стока до 15 %, сравнительно к середине XX века, обеспечивающих водную безопасность региона.

Ключевые слова: климат, прогноз, изменение, температура воздуха, атмосферные осадки, линейный тренд, темп прироста, модель, закон.

Введение

Особенности формирования поверхностного стока, почвенного и растительного покрова водосборов речных бассейнов в основном определяются климатическим фактором, то есть среднегодовыми температурами воздуха и годовыми атмосферными осадками, характеризующими их тепло- и влагообеспеченность, выполняющих функции средообразования. В связи с этим комплексная оценка изменения климата водосборных территорий речных бассейнов в пространственно-временном масштабе, характеризующих деятельность природной системы, является основным вопросом водообеспеченности и тенденции развития этого процесса. При этом необходимость изучения современного климатического изменения обусловлена недостаточной изученностью их водосборных территорий бассейна реки Асса-Талас и практическими потребностями в достоверной информации о состоянии температурно-влажностного режима в пространственно-временном масштабе, влияющего на эволюцию природных условий формирования продуктивности ландшафтных экосистем.

Цель исследования — изучить тенденцию изменения климата водосборных территорий речных бассейнов в пространственно-временном масштабе для формирования базы исследования, для природно-климатической ориентации, средообразующей их деятельность.

Объект исследований — водосбор бассейна реки Асса-Талас расположен на северо-западе Кыргызской Республики и юго-западе Республики Казахстан. Река Талас образуется при слиянии рек Каракол и Учкошой, формирующихся на стыке Киргизского и Таласского хребтов, в нижнем течении теряется в песках Муюнкум. Длина реки Талас — 661 км, площадь водосборного бассейна — 52 700 км². Река Асса берет начало из слияния рек Куркуреу-Суу, берущих начало на северном склоне Таласского Ала-Тоо и Терс, образующихся на юго-восточном склоне Аса Каратау, длина которых 253 км и площадь водосбора 6670 км², является левым притоком реки Талас и впадает в пустынный водоприемник в песках Муюнкум [1].

Материалы и методика исследования

Для формирования базы исследования использованы многолетние информационно-аналитические материалы РГП «Казгидромет» и «Кыргызгидромет», Всемирной метеорологической организации и справочно-информационного портала «Погода и климат», расположенных на водосборах бассейна реки Асса-Талас метеорологических станций Сусамыр, Талас, Кызыл-Адыр, Нурлыкент, Тараз, Саудагент и Ойык, которые составляют более 81 лет и включают годы с различной природно-климатической обстановкой [2–5].

Оценка и определение всех статистических параметров временного ряда климатических показателей выполнены по электронной таблице 2000, и построение их графиков с использованием линейного тренда были произведены в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования

Климат, как многолетний режим погодных факторов, присущий географическим зонам Планеты, выполняющих особые функции — стокообразования, продуцирование биомассы, почвообразования и среды обитания человека, обладает прямыми и обратными связями в природных процессах, требующих анализа и оценки в пространственно-временном масштабе. Эта функциональная деятельность климата определяет научную и практическую целесообразность изучения тенденции изменения климата для выявления их благоприятных и отрицательных воздействий, учитывающих интересы природообустройства и природопользования.

В настоящее время природная система перешла в активную стадию «сукцессии», то есть последовательная закономерная смена одного биологического сообщества другим в связи с глобальным изменением климата, в рамках которых открывается возможность оценки изменения климата в водосборах речных бассейнов, являющихся пространственными базисами природопользования, требует необходимости определить их благоприятные или отрицательные воздействия на уровне водной и продовольственной безопасности и безопасности жизнедеятельности общества.

Для анализа и оценки тенденции изменения климата использованы среднегодовые температуры воздуха (t , °C), характеризующие энергетические ресурсы ($\sum t > 10^\circ C = f(t)$) и являющиеся функцией, испаряющей ($E_o = f(t)$) способности природной системы и годовые атмосферные осадки (O_c), являющиеся приходной частью водного баланса дневной поверхности Земли, а также метод линейного тренда, который записывается в виде уравнения линейной регрессии с двумя свободными численными показателями:

$$y(n) = a_o + a_i \cdot n,$$

где $y(n)$ — расчетное значение показателя наблюдений; n — порядковый номер наблюдаемой величины; a_o и a_i — регрессионные коэффициенты, или свободный численный показатель.

В зависимости от многолетнего режима климатических показателей, то есть среднегодовых температур воздуха (t , °C) и годовых атмосферных осадков (O_c), в природе встречаются в виде роста или спада линейного тренда, характеризующего тенденцию изменения климатических показателей:

– положительный $-t_i = a_i \cdot n_i + a_o$ и $O_{ci} = a_i \cdot n_i + a_o$;

– отрицательный $-t_i = -a_i \cdot n_i + a_o$ и $O_{ci} = -a_i \cdot n_i + a_o$ или $-t_i = a_i \cdot n_i - a_o$ и $O_{ci} = a_i \cdot n_i - a_o$.

Изучение тенденции изменения климата на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас как модели речных бассейнов с разнообразными природно-климатическими ареалами выполнено на основе геоморфологической схематизации, характеризующей катенарные закономерности (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Природно-климатические зоны районирования водосбора бассейна реки Асса-Талас
на основе геоморфологической схематизации**

Природно-климатические зоны		Метеорологическая станция	Абсолютная высота местности, м
класс ландшафтов	катенарная фация		
Горный	Элювиальная	Сусамыр	2092,0
Предгорный	Трансэлювиальная	Талас	1218,0
Предгорная равнина	Трансаккумулятивная	Нурлыкент	954,0
		Кызыл-Адыр	824,0
		Тараз	655,0
Южная пустыня	Супераквальная	Саудакент	338,0
		Ойык	336,0

На основе созданной базы исследования по метеорологическим станциям Сусамыр, Талас, Кызыл-Адыр, Нурлыкент, Тараз, Саудакент и Ойык (табл. 1), расположенных на водосборной территории бассейна реки Асса-Талас с использованием программы Microsoft Excel, построены графики временного ряда среднегодовых температур воздуха и годовых атмосферных осадков и получены уравнения их линейного тренда (табл. 2, рис. 1).

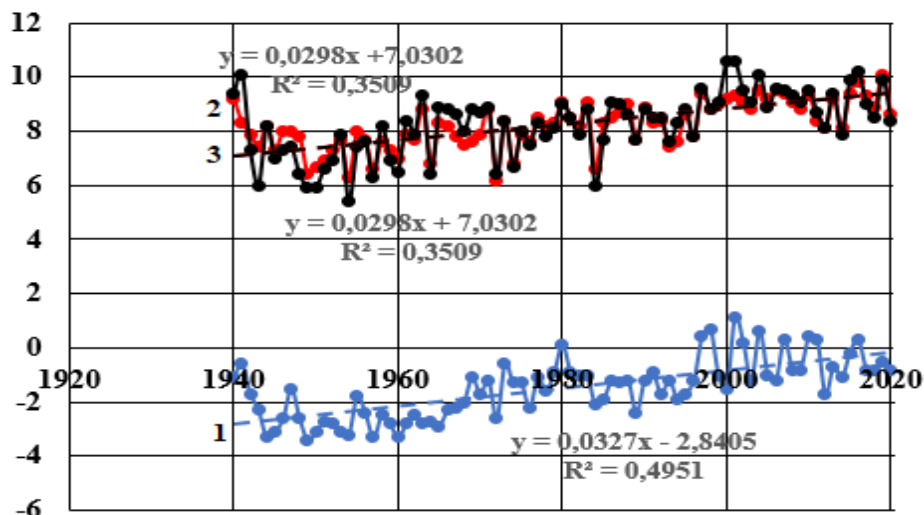
Т а б л и ц а 2

**Регрессионные модели изменения климата в разрезе природно-климатических зон
на территории водосбора бассейне реки Асса-Талас**

Метеостанция	Показатели	Уравнение линейных трендов	Изменение показателей	Темп роста
Сусамыр	$t_i, ^\circ\text{C}$	$t_i = 0,0327 \cdot n_i - 2,8405$	2,6180	136,80
	$O_{ci}, \text{мм}$	$O_{ci} = -0,453 \cdot n_i + 380,81$	-36,2640	-27,98
Талас	$t_i, ^\circ\text{C}$	$t_i = 0,0298 \cdot n_i + 7,0302$	2,3840	24,35
	$O_{ci}, \text{мм}$	$O_{ci} = 0,2550 \cdot n_i + 306,07$	24,4000	6,24
Нурлыкент	$t_i, ^\circ\text{C}$	$t_i = 0,0218 \cdot n_i + 6,7621$	1,7440	20,45
	$O_{ci}, \text{мм}$	$O_{ci} = 1,1236 \cdot n_i + 405,24$	89,8880	18,11
Кызыл-Адыр	$t_i, ^\circ\text{C}$	$t_i = 0,0298 \cdot n_i + 7,0302$	2,3840	24,35
	$O_{ci}, \text{мм}$	$O_{ci} = 0,4437 \cdot n_i + 260,90$	35,4960	11,96
Тараз	$t_i, ^\circ\text{C}$	$t_i = 0,0348 \cdot n_i + 8,8887$	2,7840	23,78
	$O_{ci}, \text{мм}$	$O_{ci} = 0,7711 \cdot n_i + 300,63$	61,6880	16,99
Саудакент	$t_i, ^\circ\text{C}$	$t_i = 0,0236 \cdot n_i + 9,5270$	1,8880	16,50
	$O_{ci}, \text{мм}$	$O_{ci} = -0,384 \cdot n_i + 205,56$	-30,704	-17,60
Ойык	$t_i, ^\circ\text{C}$	$t_i = 0,0364 \cdot T_i + 8,7960$	2,9120	24,70
	$O_{ci}, \text{мм}$	$O_{ci} = -0,909 \cdot n_i + 253,12$	-72,7360	-40,59

Анализ многолетнего хода изменения климатических показателей по метеорологической станции Сусамыр, расположенной в горной зоне (элювиальная фация) бассейна реки Асса-Талас, и ее климатическая модель свидетельствуют, что за рассматриваемый период 1940–2020 гг. изменение среднегодовых температур воздуха (табл. 2, рис. 1) за 81 лет составляет 2,6180 °C с интенсивностью 0,032 °C/год и годовых атмосферных осадков (табл. 2, рис. 2) уменьшается на 36,2640 мм с 0,45 мм/год.

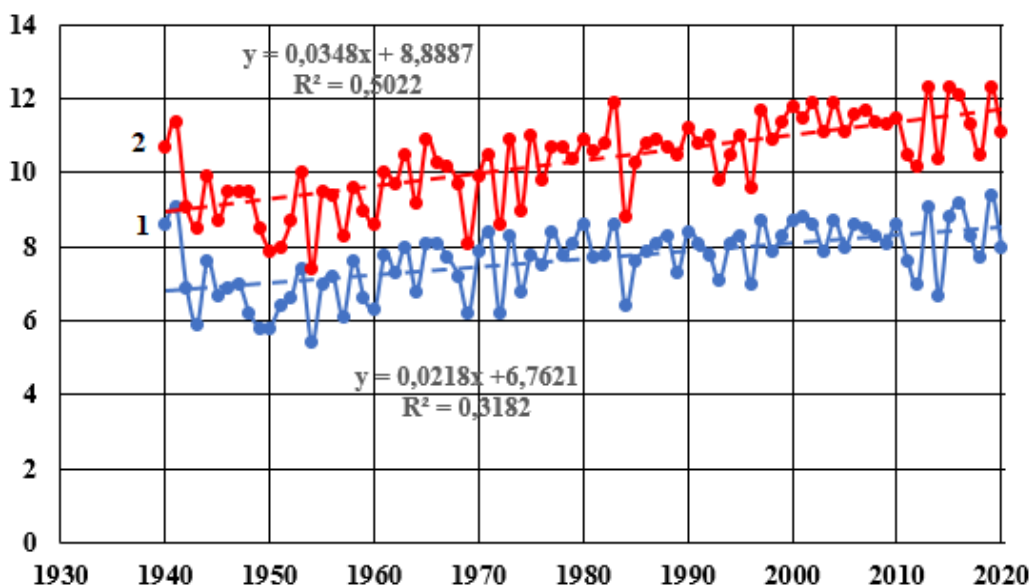
Анализ динамики климатических показателей по метеорологической станции Талас (табл. 2, рис. 1), расположенной в предгорной зоне (трансэлювиальная фация) бассейна реки Асса-Талас, и ее климатическая модель показали, что в районе исследования за рассматриваемый период 1940–2020 гг. изменения среднегодовых температур воздуха (табл. 2, рис. 1) за 81 лет показали ее повышение на 2,3840 °C с интенсивностью 0,029 °C/год и годовых атмосферных осадков на 24,400 мм с 0,30 мм/год.



Ордината — среднегодовая температура воздуха; абсцисса — годы

Рисунок 1. График изменения среднегодовых температур воздуха горной (1 — элювиальная фация — метеорологическая станция Сусамыр), предгорной (2 — трансэлювиальная фация — метеорологическая станция Талас) и предгорной равнинной (3 — трансаккумулятивная фация — метеорологическая станция Кызыл-Адыр) зоны за 1940–2020 годы и их линейный тренд

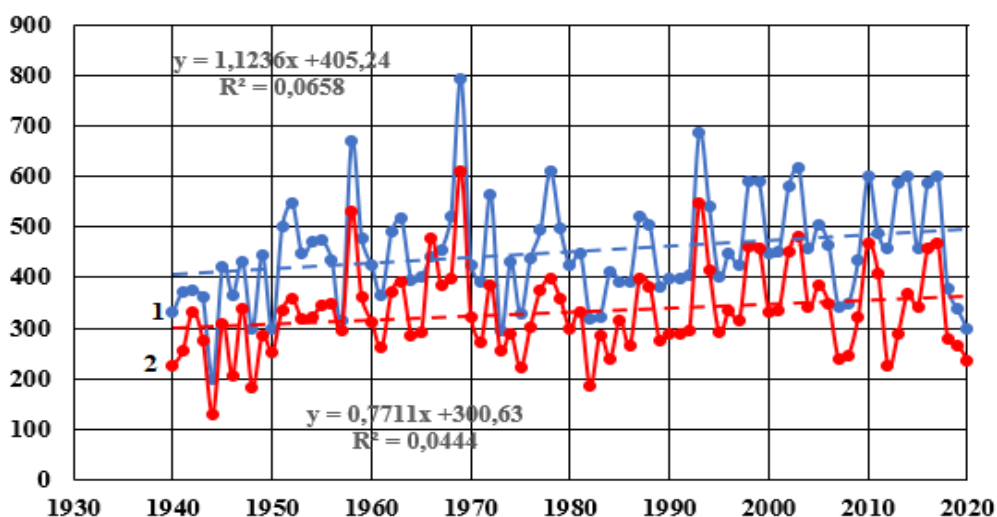
Тренд климатических показателей по данным метеорологических станций Нурлыкент, Кызыл-Арык и Тараз, расположенных в предгорной равнинной зоне (трансаккумулятивная фация) бассейна реки Асса-Талас, и их климатическая модель (рис. 1) показали, что все линейные уравнения, характеризующие тенденции их изменения, различаются между собой по набору переменных. При этом метеорологические станции Нурлыкент, Кызыл-Адыр и Тараз за рассматриваемый период 1940–2020 годы (табл. 2) соответственно показали изменение среднегодовых температур воздуха за 81 лет и составили 1,7440 °С с интенсивностью 0,022 °С/год, 2,3840 °С с интенсивностью 0,029 °С/год и 2,7840 °С с интенсивностью 0,034 °С/год, а также повышение годовых атмосферных осадков (рис. 2, 3) соответственно на 89,88 мм с 1,110 мм/год, 35,4960 мм с 0,438 мм/год и 61,6880 мм с 0,762 мм/год.



Ордината — среднегодовая температура воздуха; абсцисса — годы;

1 — метеорологическая станция Нурлыкент; 2 — метеорологическая станция Тараз

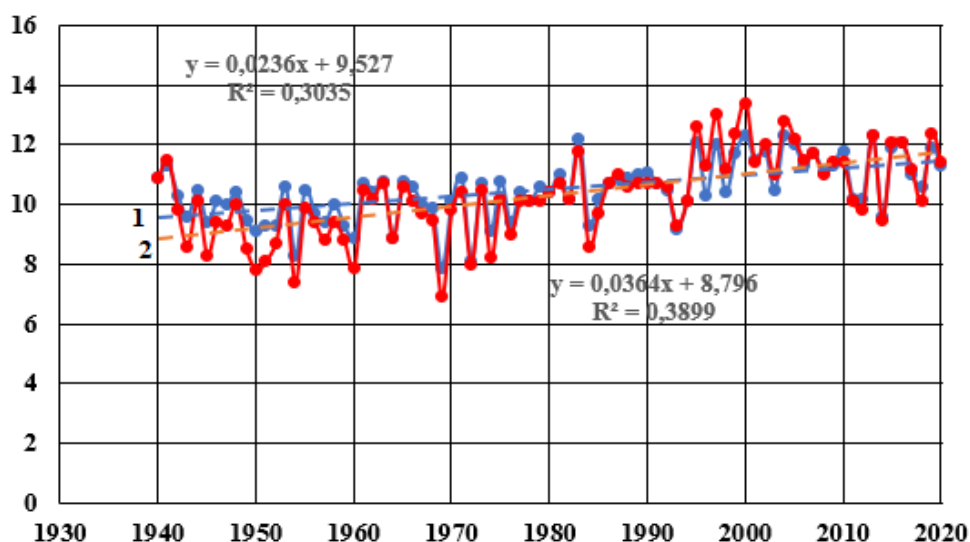
Рисунок 2. График изменения среднегодовых температур воздуха предгорной равнинной зоны (трансаккумулятивная фация) водосбора бассейна реки Асса-Талас за 1940–2020 годы и их линейный тренд



Ордината — среднегодовая температура воздуха; абсцисса — годы;
1 — метеорологическая станция Нурлыкент; 2 — метеорологическая станция Тараз

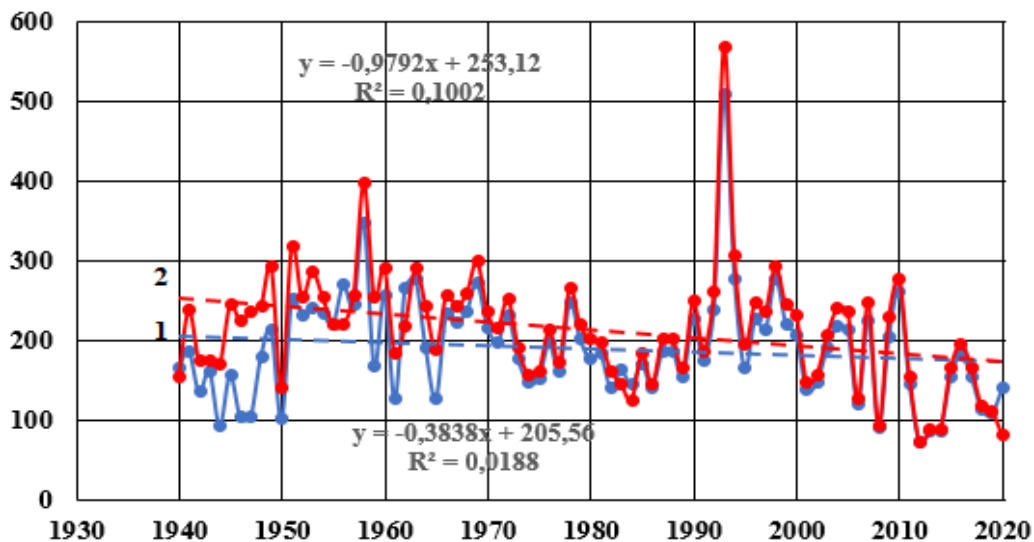
Рисунок 3. График изменения годовых атмосферных осадков предгорной равнинной зоны (трансаккумулятивная фация) водосбора бассейна реки Асса-Талас за 1940–2020 годы и их линейный тренд

Исследования, проведенные метеорологическими станциями Саудакент и Ойык, расположенных в южной пустыне водосборной территории бассейна реки Аса-Талас, являющихся зоной magazинирования гидрологического стока, показали, что, несмотря на значительную вариабельность по годам, характерны общие закономерности изменения климатических показателей, то есть за рассматриваемый период 1940–2020 годов (табл. 2, рис. 4, 5), соответственно, изменение среднегодовых температур воздуха за 81 лет составляет 1,880 °C с интенсивностью 0,023 °C/год и 2,9120 °C с интенсивностью 0,036 °C/год, а также уменьшение годовых атмосферных осадков (табл. 2) соответственно на 30,740 мм с 0,379 мм/год и 72,7360 мм с 0,898 мм/ год.



Ордината — среднегодовая температура воздуха; абсцисса — годы;
1 — метеорологическая станция Саудакент; 2 — метеорологическая станция Ойык

Рисунок 4. График изменения среднегодовой температуры воздуха предгорной равнинной зоны (супераккумулятивная фация) водосбора бассейна реки Асса-Талас за 1940–2020 годы и их линейный тренд



Ордината — среднегодовая температура воздуха; абсцисса — годы;
 1 — метеорологическая станция Саудакент; 2 — метеорологическая станция Ойык

Рисунок 5. График изменения годовых атмосферных осадков предгорной равнинной зоны (супераквальная фация) водосбора бассейна реки Асса-Талас за 1940–2020 годы и их линейный тренд

Следовательно, резко континентальный, засушливый характер климата в целом для водосборной территории бассейна реки Асса-Талас объясняется увеличением атмосферных осадков за счет высокогорного рельефа, определяется ее расположением в Киргизском и Таласском хребтах, а также близким расположением естественных и искусственных водоемов и повышением температур воздуха, которые связаны с близким соседством пустыни Мойынкум.

Изменение климата — это широкомасштабное проявление природных процессов, выходящих за рамки исторического сбалансированного состояния природы, присущее отдельным природно-географическим зонам, которые зависят от темпа прироста климатических показателей.

Оценка темпа прироста климатических показателей проводится на основе уравнения линейных трендов временного ряда, характеризующих среднегодовые температуры воздуха и годовых атмосферных осадков, позволяющих определить их текущее и базовое значения в рамках рассматриваемого их временного ряда (табл. 2). При этом темп прироста климатических показателей определяется как отношение разницы текущих и базовых значений климатических показателей к текущему значению временного ряда выраженных в процентах по следующим формулам:

$$\Delta T_t = [(t_m - t_v) / t_v] \cdot 100;$$

$$\Delta T_{Oc} = [(O_{cm} - O_{cv}) / O_{cv}] \cdot 100,$$

где ΔT_t — темп прироста среднегодовых температур воздуха; ΔT_{Oc} — темп прироста среднегодовых температур воздуха; t_m — текущее значение среднегодовых температур воздуха; O_{cm} — текущее значение годовых атмосферных осадков; t_v — базовое значение среднегодовых температур воздуха; O_{cv} — базовое значение годовых атмосферных осадков.

Испаряющая способность дневной поверхности (почвенного и растительного покрова) природной системы зависит от энергетических ресурсов (температуры и дефицита влажности воздуха, радиационного баланса), то есть можно представить его как математическую функцию, имеющую следующий вид: $E_o = f(t, d, R)$. На основе физической сущности испаряющей способности дневной поверхности (почвенного и растительного покрова) природной системы их темп прироста можно представить в следующем виде:

$$\Delta T_{Eo} = \Delta T_{Eo}; [(t_m - t_v) / t_v] \cdot 100 = [(E_{om} - E_{ov}) / E_{ov}] \cdot 100,$$

где ΔT_{Eo} — темп прироста испарения дневной поверхности; E_{om} — текущее значение испарения дневной поверхности; E_{ov} — базовое значение испарения дневной поверхности.

На основе теории водного баланса водосбора речных бассейнов, предложенная А.И. Воейковым [6], включающая трехчленное уравнение (слои атмосферных осадков, речного стока, суммарного испарения), характеризующее формирование среднегодового слоя стока в водосборах речных бассейнов в зависимости от слоя атмосферных осадков за год совместно с генетической теории стока, согласно А.Н. Бефани [7], можно представить в следующем виде: $V_c = O_c - E_o$, где E_o — слой испарения, мм; V_c — слой поверхностного стока, мм; O_c — слой атмосферных осадков, мм.

При этом можно представить водный баланс водосбора речных бассейнов уравнением прямой линии с коэффициентом корреляционной регрессии меньше единицы в виде $Y = k \cdot X + b$ (где k — коэффициент регрессии; b — свободный член уравнения) или $V_c = k \cdot O_c - E_o$, что позволяет на основе темпа прироста годовых атмосферных осадков (ΔT_{Oc}) определить темп прироста поверхностного стока водосбора речных (ΔT_{Qc}), который имеет между собой функциональную прямолинейную зависимости в виде $\Delta T_{Qc} = f(\Delta T_{Oc})$:

$$\Delta T_{Qc} = \Delta T_{Oc} \cdot [(O_{cm} - O_{cv}) / O_{cv}] \cdot 100 = [(Q_{cm} - Q_{cv}) / Q_{cv}] \cdot 100,$$

где ΔT_{Qc} — темп прироста поверхностного стока водосбора речных бассейнов; Q_{cm} — текущее значение поверхностного стока водосбора речных бассейнов; Q_{cv} — базовое значение поверхностного стока водосбора речных бассейнов.

При этом система уравнения линейных трендов не только характеризует математический смысл многолетних природных процессов, но и является индикатором физических процессов водосбора речных бассейнов, характеризующих темп прироста климатических и гидрологических показателей.

Полученные системы уравнения линейных трендов при изучении изменения климата в пространственно-временном масштабе территории водосбора бассейна реки Асса-Талас, с использованием многолетних информационно-аналитических материалов метеорологических станций Сусамыр, Талас, Кызыл-Адыр, Нурлыкент, Тараз, Саудагент и Ойык, различающихся климатическими условиями позволяют констатировать, что предложенная на основе их математическая модель темпа прироста климатических и гидрологических показателей имеет достаточно высокий физический и математический смысл, базирующийся на законе природы.

Анализ темпа роста климатических показателей на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас показывает, что их количественные значения по всем метеорологическим станциям не совпадают, то есть в современных условиях темп прироста среднегодовых температур воздуха в сравнении темпа роста годовых атмосферных осадков в два раза больше (табл. 2), который способствует повышению дефицита водопотребления естественных и культурных сельскохозяйственных угодий до 25 % и уменьшению поверхностного гидрологического стока до 15 % в сравнении середине XX века, обеспечивающих водную безопасность региона.

Заключение

Изучение изменения климатических показателей на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас показало, что по метеорологическим станциям Сусамыр, Талас, Кызыл-Адыр, Нурлыкент, Тараз, Саудагент и Ойык, выявленные тренды среднегодовых температур воздуха и годовых атмосферных осадков различаются как по знаку, так и по величине. На основе их можно констатировать, что темп прироста среднегодовых температур воздуха в сравнении темпа роста годовых атмосферных осадков два раза больше, что способствует повышению испаряющей способности почвенного и растительного покрова природной системы, то есть водопотребление сельскохозяйственных угодий может стать основным фактором, определяющим условия формирования речного стока, обеспечивающих водную и продовольственную безопасность региона.

Список литературы

- 1 Мустафаев Ж.С. Обоснование экологических услуг речных бассейнов на примере реки Талас / Ж.С. Мустафаев, Н.А. Турсынбаев, Л.В. Кирейчева. — LAP LAMBERN Academic Publishing, 2022. — 140 с.
- 2 Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 13: Многолетние данные. — Ч. 1–6. Вып. 18: КазССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — Кн. 2. — 514 с.

- 3 Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 13: Многолетние данные. — Ч. 1–6. Вып.32: Киргизская ССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — 450 с.
- 4 Справочно-информационный портал «Погода и климат». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.pogodaklimat.ru
- 5 Всемирная метеорологическая организация. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://public.wmo.int/ru>
- 6 Воейков А.И. Климаты земного шара / А.И. Воейков. — М.: Книга по требованию, 2021. — 686 с.
- 7 Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока / А.Н. Бефани // Научный ежегодник Омск. гос. ун-та. — 1957. — С. 17–23.

Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, К.Б. Абдешев, Н.А. Турсынбаев

Асы-Талас өзенінің су жинау алабындағы климаттың өзгеру бағыты және оның аймақтағы көріністері

Асы-Талас өзенінің су жинау алабында климаттың қазіргі заманғы өзгерістерін және олардың көріністерін болжау үшін «Қазгидромет» және «Қырғызгидромет» РМК, Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым мен «Ауа-райы және климат» анықтамалық-ақпараттық порталының көпжылдық ақпараттық-талдамалық материалдарынан жиналған, кеңістіктік-уақыттық масштабтағы үрдістерді зерделеуге мүмкіндік беретін зерттеулер базасы құрылды. Асы-Талас өзені бассейнінің су жинау аумақтарында орналасқан Сусамыр, Талас, Қызыладыр, Нұрлыкент, Тараз, Саудақент және Ойық метеорологиялық станциялары бойынша құрылған зерттеу базасының негізінде Microsoft Excel бағдарламасын пайдалана отырып, ауаның орташа жылдық температурасы мен жылдық атмосфералық жауын-шашынның уақытша қатарының графиктері құрылды және олардың сызықтық трендінің теңдеулері алынды, олар табиғат заңына негізделген физикалық және математикалық мағынасы өте жоғары климаттық және гидрологиялық көрсеткіштердің өсу қарқынының математикалық моделін жасауға мүмкіндік берді. Асы-Талас өзенінің су жинау алабының аймағындағы климаттық көрсеткіштердің өсу қарқынына жүргізілген талдау көрсеткендей, қарастырылып отырылған барлық метеорологиялық бекеттерде олардың сандық мәні бірдей емес, яғни қазіргі жағдайда жылдық атмосфералық жауын-шашынның өсу қарқынымен салыстырғанда ауаның орташа жылдық температурасының өсу қарқыны екі есе көп екенін көрсетеді, бұл табиғи және ауылшаруашылығы дақылдық жерлерінің су тапшылығын 25%-ға дейін арттыруға және XX ғасырдың ортасымен салыстырғанда, аймақтың су қауіпсіздігін қамтамасыз ететін жерүсті гидрологиялық ағынын 15%-ға дейін төмендетуге ықпал етті.

Кілт сөздер: климат, ауа-райы, өзгеру, ауа температурасы, атмосфералық жауын-шашын, сызықтық тренд, өсу қарқыны, модель, заңдылық.

Zh.S. Mustafayev, A.T. Kozykeyeva, K.B. Abdeshev, N.A. Tursynbaev

Trends in climate change and their manifestations in the watershed of the Assa-Talas river basin

To predict current climate changes and their manifestations in the watershed of the Assa-Talas river basin, a research base has been created based on many years of information and analytical materials from RSE “Kazhydromet” and “Kyrgyzhydromet”, the World Meteorological Organization (WMO) and the reference and information portal “Weather and Climate”, allowing to study trends on a spatio-temporal scale. Based on the created research base for the meteorological stations Susamyr, Talas, Kyzyl-Adyr, Nurlykent, Taraz, Saudakent and Oyik, located in the watershed areas of the Assa-Talas river basin, graphs of the time series of average annual air temperatures and annual precipitation were plotted using Microsoft Excel and the equations of their linear trend were obtained, which made it possible to develop a mathematical model for the growth rate of climatic and hydrological indicators that have a sufficiently high physical and mathematical meaning, based on the law of nature. An analysis of the growth rate of climatic indicators in the catchment area of the Assa-Talas River basin shows that their quantitative values for all meteorological stations do not coincide, that is, in modern conditions, the growth rate of average annual air temperatures in comparison with the growth rate of annual precipitation is twice as high, which contributes to increasing the shortage of water consumption of natural and cultivated agricultural and up to 25 % and reducing the surface hydrological run off up to 15 % in comparison with the middle of the twentieth century, ensuring the water security of the region.

Keywords: climate, forecast, change, air temperature, precipitation, linear trend, growth rate, model, law.

References

- 1 Mustafaev, Zh.S., Tursynbaev, N.A. & Kireycheva, L.V. (2022). *Obosnovanie ekologicheskikh uslug rechnykh basseinov na primere reki Talas [Justification of ecological services of river basins on the example of the Talas River]*. LAP LAMBERN Academic Publishing [in Russian].
- 2 (1989). *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 13: Mnogoletnie dannye. [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 13: Long-term data]*. KazSSR. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
- 3 (1989). *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 13: Mnogoletnie dannye. Chast 1–6. Vypusk 32: Kirgizskaia SSR [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 13: Long-term data. Ch.1–6, issue 32: Kirghiz SSR]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
- 4 Spravochno-informatsionnyi portal «Pogoda i klimat» [Reference and information portal “Weather and climate”]. Retrieved from www.pogodaklimat.ru [in Russian].
- 5 Vsemirnaia meteorologicheskaiia organizatsiia [World Meteorological Organization]. Retrieved from <https://public.wmo.int/ru> [in Russian].
- 6 Voeikov, A.I. (2021). *Klimaty zemnogo shara [Climates of the world]*. Moscow: Kniga po trebovaniuu [in Russian].
- 7 Befani, A.N. (1957). Puti geneticheskogo opredeleniia normy stoka [Ways of genetic determination of the runoff rate]. *Nauchnyi ezhegodnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta — Proceedings of Omsk State University*, 17–23 [in Russian].

Information about the authors

Mustafayev Zhumakhan Suleimenovich — Doctor of technical sciences, Professor, Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; e-mail: z-mustafa@rambler.ru;

Kozykeeva Aliya Tobazhanovna — Doctor of technical sciences, Associate Professor; Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: aliya.kt@yandex.ru;

Abdeshev Kuanysh Bakytzhanovich — PhD; Taraz Regional University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan; e-mail: abdeshev.kuanysh@mail.ru;

Tursynbayev Nurzhan Amanzhiljvich — PhD; Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan; e-mail: nurANT_78@mail.ru.