

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-82-90>

УДК 551.583:627.5(282.255)



ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ПРИРОДНЫХ ЗОН НА ВОДОСБОРАХ БАСЕЙНА РЕКИ АССА-ТАЛАС

Ж.С. Мустафаев¹, К.Б. Абдешев², Н.А. Турсынбаев¹

¹АО «Институт географии и водной безопасности»; г. Алматы, Медеуский р-н, ул. Пушкина, 99, Казахстан

²НАО «Казахский агротехнический университет имени С. Саифуллина», Астана, Казахстан

Аннотация. Цель исследований заключалась в том, чтобы на основе статистической оценки изменения климатических показателей природной системы речных бассейнов в условиях изменяющегося климата определить возможные изменения границ природно-географических зон. Объект исследований – водосбор бассейна реки Асса-Талас. На основе многолетних климатических данных создана база исследований по 8 метеорологическим станциям, расположенным в различных природно-географических зонах водосбора бассейна реки Асса-Талас, получена линейно-корреляционная модель климатических показателей. Они позволяют определить темп прироста сумм температур воздуха, радиационного баланса, испаряемости с открытой водной поверхности или с избыточно увлажненной почвы в биологически активный период года, годовых атмосферных осадков, коэффициента естественного увлажнения и гидротермический индекс сухости, выполняющих важные средообразующие и экологические функции. Результаты исследований показали, что в целом во всех природно-географических зонах водосбора бассейна реки Асса-Талас сумма температур воздуха, радиационный баланс, испаряемость и гидротермический индекс сухости имеют положительный темп прироста, а годовые атмосферные осадки и коэффициент естественного увлажнения – отрицательные, способствующие формированию положительного темпа прироста дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий и сдвига границ природных зон, что является сигналом безопасности сельскохозяйственной деятельности.

Ключевые слова: климатические данные, линейно-корреляционная модель, оценка, темп прироста, дефицит водопотребления, сдвиг границ, природно-географическая зона

Формат цитирования: Мустафаев Ж.С., Абдешев К.Б., Турсынбаев Н.А. Влияние изменения климата на формирование границ природных зон на водосборах бассейна реки Асса-Талас // Природообустройство. 2024. № 1. С. 82-90. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-82-90>

Original article

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE FORMATION OF THE BOUNDARIES OF NATURAL ZONES IN THE WATERSHEDS OF THE ASSA-TALAS RIVER BASIN

Zh.S. Mustafayev¹, K.B. Abdeshev², N.A. Tursynbayev²

¹JSC «Institute of Geography and Water Security»; Almaty, st. Pushkina, 99, Kazakhstan

²NJSC «Kazakh Agrotechnical University named after S. Saifullin», Astana, Kazakhstan

Abstract. Based long-term climate data, a research database has been created for eight meteorological stations located in various natural-geographical zones of the Assa-Talas river basin; a linear-correlation model of climate indicators has been obtained, allowing to determine the rate of increase in the sums of air temperatures, radiation balance, evaporation from the open water surface or from excessively moistened soil during the biologically active period of the year, annual precipitation, natural moisture coefficient and hydrothermal dryness index, which perform important environment-forming and ecological functions. The results of the study showed that in general, in all natural-geographical zones of the Assa-Talas river basin, the sum of air temperatures, radiation balance, evaporation and hydrothermal dryness index have a positive growth rate, and annual precipitation and the coefficient of natural moisture are negative, contributing to the formation of a positive rate an increase in the deficit of water consumption of agricultural land and a shift in the boundaries of natural zones, which is a signal of the safety of agricultural activities.

Keywords: climate data, linear correlation model, assessment, growth rate, water consumption deficit, boundary shift, natural geographic zone

Format of citation: Mustafayev Zh.S., Abdeshev K.B., Tursynbaev N.A. The Influence of Climate change on the formation of the boundaries of natural zones in the watersheds areas of the Assa-Talas River basin // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 82-90. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-82-90>

Введение. Закономерная смена природных условий является функциональной деятельностью климата, формирующегося вследствие неравномерного распределения тепла и влаги по широтам или по высотам, где проявляется неравномерность увлажнения поверхности Земли, в целом формирующегося симметрично экватору или высоте, соответствующих определенным значениям интегрального критерия, характеризующих границы природно-географических зон, обусловленных законом географической и вертикальной зональности.

В условиях глобального изменения климата существует гипотеза, основанная на системе знаний о природно-географических зонах и научном предположении, связанная с повышением среднегодовой температуры воздуха и снижением годовых атмосферных осадков. Уровень естественного увлажнения поверхности Земли снижается, что приводит к пространственно-временным смещениям границ зон, отражающих их средообразующую и экологическую функции [1-4].

Аспекты современной климатической парадигмы, оказывающие негативное воздействие на выполнение важных средообразующих и экологических функций природной системы, основываются на гипотезе пространственно-временного изменения границы природно-географических зон благодаря прямой связи показателя естественного увлажнения поверхности Земли и признания существования некоего однонаправленного тренда климатических показателей, требующих проверки их статической достоверности, что определяет их актуальность в условиях глобального изменения климата.

Цель исследований: на основе статистической оценки изменения климатических показателей природной системы речных бассейнов в условиях изменяющегося климата определить возможные изменения границ природно-географических зон.

Объект исследований – водосбор бассейна реки Асса-Талас, представленный горной, предгорной, предгорной равнинной и пустынной зонами, обусловленными законом вертикальной зональности, являющимися следствием фундаментального закона физической географии – закона географической зональности, который можно рассматривать как модель природных объектов

для изучения влияния климатических изменений на формирование границ природных зон.

Река Талас образуется от слияния рек Каракол и Уч-Кюшой, которые берут начало в ледниках Таласского Ала-Тоо, расположенных на высоте 3586 м над уровнем моря в Таласской области Кыргызской Республики, и исчезает в пустыне Мойынкум в Жамбылской области Республики Казахстан. Длина реки составляет 661,0 км, площадь речного бассейна – 52700 км², в том числе горной части – 9240 км² [5].

Река Асса образуется слиянием рек Терс, которая берет начало на юго-восточном склоне хребта Каратау Жамбылской области Республики Казахстан, и Куркуреу-Суу, формирующейся в ледниках пика Манас (4482 м над уровнем моря) и северном перевале Байдам-Тал и Чынгыз Таласского Ала-Тоо в Таласской области Кыргызской Республики, где ее общая длина составляет 253 км, площадь бассейна – 9210 км².

Материалы и методы исследований. Для оценки изменений климатических показателей природных систем водосборных территорий бассейна реки Асса-Талас, произошедших в результате глобального изменения климата, которые могут создать предпосылки изменений границ природно-географических зон, создана база исследования с использованием многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» [6] и «Кыргызгидромет» [7], Всемирной метеорологической организации (ВМО) [8] и справочно-информационного портала «Погода и климат» [9] по водосбору бассейна реки Асса-Талас и стационарных метеорологических станций Сусамыр, Талас, Кызыл-Арык, Нурлыкент, Тараз, Саудагент, Ойыки Уланбель (рис. 1).

Климатический мониторинг является основным методом исследования, предполагающим применение комплекса климатических индикаторов трех типов, позволяющих на базе системного подхода определить современное положение природных зон и прогнозировать их изменение:

- для создания базы информационно-аналитических материалов использованы среднемесячные температуры (t_i , °C) и относительная влажность (α_i) воздуха, годовые атмосферные осадки (O_{ci});

- для создания базы исследования использованы базисные интегральные индикаторы – такие, как сумма температур воздуха выше 10°C ($\sum t_{ci} \cdot C^\circ = \sum_{i=1}^n t_m \cdot N_i$; N_i – количество дней в месяце; n – количество месяцев), радиационный баланс деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы по Ю.Н. Никольскому и В.В. Шабанову ($R_i = 4,1868 \cdot [13,39 + 0,0079 \cdot \sum t_{ci} > 10^\circ\text{C}]$, кДж/см²); суммарная испаряемость в биологически активный период года Н.Н. Иванова ($E_{oci} = \sum_{i=1}^n E_{oi}$, где $E_{oi} = (t_i + 25)^2 (100 - \alpha_i)$ – месячная испаряемость, мм;

- для результативных индикаторов, характеризующих состояние природной среды и влияющих на трансформацию границ природных зон, использованы коэффициент естественного увлажнения Н.Н. Иванова ($K_{yi} = O_{ci} / E_{oci}$) и гидротермический «индекс сухости» М.И. Будыко ($\bar{R}_i = R_i / L \cdot O_{ci}$, где – скрытая теплота парообразования, численно равная 2,5 кДж/см²).

Вертикальная зональность на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас выявляется практически для всех климатических показателей, характеризующих энергетические ресурсы и естественную влагообеспеченность ландшафтов сельскохозяйственного использования (табл. 1).

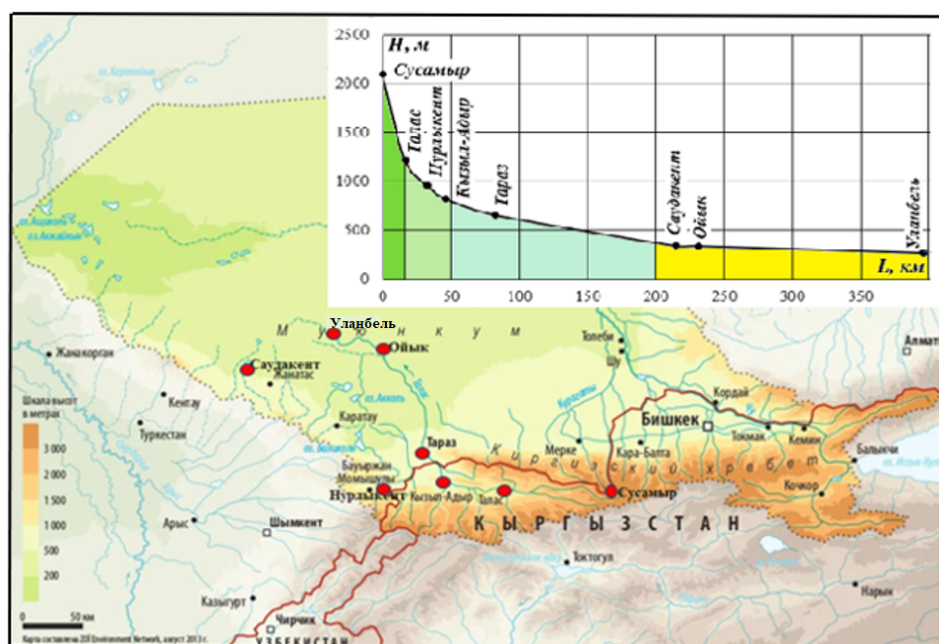


Рис. 1. Схема расположения метеорологических станции в бассейне реки Асса-Талас с выделением природных зон, обусловленных законом вертикальной зональности

Figure 1. Layout of meteorological stations in the Assa-Talas river basin, highlighting natural zones determined by the law of vertical zonation

Таблица 1. Природно-климатические зоны районирования водосбора бассейна реки Асса-Талас на основе геоморфологической схематизации

Table 1. Natural and climatic zones of zoning of the Assa-Talas river basin based on geomorphological schematization

Природно-климатические зоны / Natural and climatic zones		Метеорологическая станция Meteorological station	Абсолютная высота местности (м) Absolute terrain height (m)
класс ландшафтов landscape class	катенарная фация catenary facies		
Горный / Mountain	Элювиальная / Eluvial	Сусамыр / Susamyр	2092,0
Предгорный Foothill	Трансэлювиальная Transeluvial	Талас / Talas	1218,0
Предгорная равнина Foothill plain	Трансаккумулятивная Transaccumulative	Нурлыкент / Nurlykent	954,0
		Кызыл-Адыр / Kyzyl-Adyr	824,0
Южная пустыня Southern desert	Супераквальная Superaqualnaya	Тараз / Taraz	655,0
		Саудакент / Saudakent	338,0
		Ойык / Oyyk	336,0
		Уланбель / Ulanbel	266,0

Для уточнения картины изменения климатических показателей использованы уравнения линейного тренда:

$$Y = \alpha \cdot X + b; Y = -\alpha \cdot X + b; Y = \alpha \cdot X - b,$$

где Y – исследуемая переменная или зависимая переменная; X – число, определяющее позицию (второй, третий и т.д.) года в периоде прогнозирования, или независимая переменная; α – точка пересечения с осью Y на графике (минимальный уровень) при $X = 0$, является тангенсом угла наклона прямых или коэффициентом регрессии; b – свободный член линейных уравнений, на который увеличивается или уменьшается следующее значение временного ряда.

Математический знак перед свободными членами b является показателем, отражающим независимо от знака начальный уровень развития явления (климатических показателей) во времени, а реальная тенденция изменения климатических показателей отражается при $\alpha > 0$ или $\alpha < 0$, являющихся уровнем, на котором в зависимости от математического знака повышаются или понижаются исследуемые климатические показатели в следующий период времени.

Результаты и их обсуждение. Климатические показатели, выполняющие важную средообразующую и экологическую функции, являются индикаторами природных систем, которые могут создать предпосылки для возможных изменений границ природно-географических зон в условиях изменяющегося климата. Для выявления возможных изменений границ климатических характеристик ареалов водосборных территорий бассейна реки Асса-Талас,

произошедших в результате глобального изменения климата, с использованием стационарных метеорологических данных станций Сусамыр, Талас, Нурлыкент, Кызыл-Адыр, Тараз, Саудагент, Ойык и Уланбель, охватывающих период 1941-2020 гг., рассмотрены тенденции сумм температур воздуха выше 10°C ($\sum t_{ci}^\circ\text{C}$), радиационный баланс деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы (R_i , кДж/см²), суммарная испаряемость в биологически активный период года (E_{oci} , мм), коэффициент естественного увлажнения (K_{yi}) и гидротермический «индекс сухости» (\bar{R}_i). Все расчеты для определения климатических показателей выполнены на основе базы многолетних данных, включающих в себя среднемесячные температуры ($t_i, ^\circ\text{C}$) и относительную влажность (α_i) воздуха, годовые атмосферные осадки (O_{ci}) с использованием электронной таблицы Excel 2000 и построение графиков линейного тренда в программе Microsoft Excel, что позволило получить систему линейных уравнений для определения и прогнозирования тенденций этого изменения (табл. 2).

Линейно-корреляционная модель климатических показателей (табл. 2) возникла из логического предположения о возможности получения некоторых математических выражений для оценки темпа роста и прироста, которые рассчитываются как разность или отношения двух сравнительных периодов временного статистического ряда:

Таблица 2. Регрессионные климатические модели водосбора бассейна реки Асса-Талас
Table 2. Regression climate models for the Assa-Talas River basin watershed

Реперная метеостанция <i>Reference weather station</i>	Уравнение <i>Equation</i>	Индекс детерминация (R^2) <i>Determination index (R^2)</i>	Темп прироста климатических показателей <i>Growth rate of climatic indicators</i>
1	2	3	4
Сумма температур воздуха выше 10°C ($\sum t_{ci}^\circ\text{C}$) / Sum of air temperatures above 10°C ($\sum t_{ci}^\circ\text{C}$)			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 1,2382 \cdot X + 1330,1$	0,0978	1,2227
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 4,2817 \cdot X + 2797,6$	0,3819	4,2282
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 3,1052 \cdot X + 2852,7$	0,2423	3,0664
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 3,1521 \cdot X + 2999,5$	0,2564	3,1127
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 6,0853 \cdot X + 3327,6$	0,5262	6,0092
Саудагент / <i>Saudakent</i>	$Y = 3,7754 \cdot X + 3657,5$	0,2912	3,7282
Ойык / <i>Ouyk</i>	$Y = 6,1055 \cdot X + 3578,7$	0,4390	6,0292
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = 5,2284 \cdot X + 3569,9$	0,4463	5,1630
Годовые атмосферные осадки (O_{ci}, мм) / Annual precipitation (O_{ci}, mm)			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 0,3714 \cdot X + 417,02$	0,0976	0,3668
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 0,2550 \cdot X + 306,07$	0,0061	0,2518

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 1,1236 \cdot X + 405,24$	0,0658	1,1096
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 0,4437 \cdot X + 260,90$	0,0519	0,4382
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 0,7711 \cdot X + 300,63$	0,0444	0,7615
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = -0,3838 \cdot X + 205,56$	0,0188	-0,3790
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = -0,9792 \cdot X + 253,12$	0,1002	-0,9670
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = -0,2192 \cdot X + 162,81$	0,0143	-0,2165
Радиационный баланс деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы (R_p, кДж / см²) <i>Radiation balance of the active surface of the air and soil surface layer (R_p, kJ / cm²)</i>			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 0,0410 \cdot X + 102,04$	0,0981	0,0405
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 0,3416 \cdot X + 148,59$	0,3817	0,3373
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 0,1029 \cdot X + 150,41$	0,2429	0,1012
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 0,1045 \cdot X + 155,26$	0,2573	0,1032
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 0,2013 \cdot X + 166,33$	0,5256	0,1988
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = 0,1249 \cdot X + 177,04$	0,2910	0,1233
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = 0,2019 \cdot X + 174,44$	0,4388	0,1994
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = 0,1728 \cdot X + 174,13$	0,4459	0,1706
Суммарная испаряемость в биологически активный период года (E_{oc}, мм) <i>Total evaporation during the biologically active period of the year (E_{oc}, mm)</i>			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 0,3714 \cdot X + 417,02$	0,0918	0,3671
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 1,2845 \cdot X + 839,29$	0,3819	1,2680
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 0,9315 \cdot X + 855,20$	0,2422	0,9199
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 0,9455 \cdot X + 899,86$	0,2564	0,9337
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 1,8258 \cdot X + 998,33$	0,5262	1,8030
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = 1,1326 \cdot X + 1097,20$	0,2811	1,1184
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = 1,8621 \cdot X + 1091,50$	0,4390	1,8388
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = 1,5948 \cdot X + 1088,6$	0,4463	1,5749
Коэффициент естественного увлажнения (K_{yt}) / Natural moisture coefficient (K_{yt})			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = -0,0026 \cdot X + 0,9363$	0,0781	-0,0026
Талас / <i>Talas</i>	$Y = -0,0002 \cdot X + 0,3659$	0,0031	-0,0002
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = 0,0007 \cdot X + 0,4762$	0,0201	0,0007
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = 0,0002 \cdot X + 0,2905$	0,0008	0,0002
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = 0,0002 \cdot X + 0,3025$	0,0031	0,0002
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = 0,0005 \cdot X + 0,1881$	0,0807	0,0005
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = -0,0011 \cdot X + 0,2311$	0,3444	-0,0011
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = -0,0005 \cdot X + 0,1543$	0,0807	-0,0005
Гидротермический «индекс сухости» (\bar{R}_t) / Hydrothermal «dryness index» (\bar{R}_t)			
Сусамыр / <i>Susamyr</i>	$Y = 0,0039 \cdot X + 1,0899$	0,0692	0,0039
Талас / <i>Talas</i>	$Y = 0,0005 \cdot X + 2,0709$	0,0003	0,0094
Нурлыкент / <i>Nurlykent</i>	$Y = -0,0031 \cdot X + 1,5731$	0,0422	-0,0031
Кызыл-Адыр / <i>Kyzyl-Adyr</i>	$Y = -0,0017 \cdot X + 2,4019$	0,0177	-0,0017
Тараз / <i>Taraz</i>	$Y = -0,0039 \cdot X + 2,4103$	0,0195	-0,0039
Саудакент / <i>Saudakent</i>	$Y = 0,0161 \cdot X + 3,6732$	0,0515	0,0159
Ойык / <i>Oyyk</i>	$Y = 0,0348 \cdot X + 2,4210$	0,2339	0,3437
Уланбель / <i>Ulanbel</i>	$Y = 0,0204 \cdot X + 4,2298$	0,1000	0,0201

- абсолютный прирост характеризует увеличение или уменьшение климатических показателей за определенный промежуток времени ($\Delta \bar{Y}$), то есть показывает количественное значение любого климатического показателя (Y_i) в конце рассматриваемого периода (X_i) к его начальному значению (Y_o) в начале рассматриваемого периода (X_o), где $X_o = 1 = const$:

$$\begin{aligned}\Delta \bar{Y} &= Y_i - Y_o = [(\alpha \cdot X_i + b) - (\alpha \cdot X_o + b)] = \\ &= (\alpha \cdot X_i + b - \alpha \cdot X_o - b) = (\alpha \cdot X_i - \alpha \cdot X_o) = \\ &= \alpha \cdot (X_i - X_o) = \alpha \cdot (X_i - 1);\end{aligned}$$

- темп прироста показывает относительную величину абсолютного прироста климатических показателей (\bar{Y}) за промежуток рассматриваемого периода:

$$\bar{Y} = [\alpha \cdot (X_i - 1)] / X_i;$$

- коэффициент роста представляет собой отношение количественного значения любого климатического показателя (Y_i) в конце рассматриваемого периода (X_i) к его начальному значению (Y_o) в начале рассматриваемого периода (X_o):

$$\begin{aligned}K_p &= Y_i / Y_o = (\alpha \cdot X_i + b) / (\alpha \cdot X_o + b) = \\ &= (\alpha \cdot X_i + b) / (\alpha + b).\end{aligned}$$

На основе анализа структурного образования темпа прироста климатических показателей можно с большой достоверностью определить тенденцию изменения свойств компонентов природной среды в рамках закона вертикальной зональности водосбора речного бассейна.

Климатический показатель испаряемости растительного и почвенного покрова ($\bar{Y}E_o$), являющийся функцией сумм температуры воздуха ($\bar{Y}T$) и радиационного баланса ($\bar{Y}R$) дневной поверхности в биологически активный период года, как образующих энергетические ресурсы природной системы, имеет положительную тенденцию прироста и их компенсирующие атмосферные осадки ($\bar{Y}O_c$), выполняющие важные средообразующие и экологические функции. В зависимости от территориального образования природно-географической зоны влияние природных и антропогенных факторов имеет положительный и отрицательный темпы прироста, что способствует формированию коэффициента естественного увлажнения с отрицательными темпами прироста ($\bar{Y}K_y$) и положительными темпами прироста для гидротермического индекса сухости ($\bar{Y}R$).

Динамика климатических показателей водосбора бассейна реки Асса-Талас показала, что несмотря на значительную вариабельность

в пространственных масштабах, для всех природно-географических зон характерны общее закономерности, а именно их темп прироста имеет положительную тенденцию:

- в зоне горной степи, по данными метеорологической станции Сусамыр, отношение темп прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$) к годовым атмосферным осадкам ($\bar{Y}O_o$) равно $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_o = 0,3677 / 0,3668 = 1,0024$, то есть в определенной степени сохраняется природная устойчивость;

- в зоне предгорной степи отношение темпа прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$) к годовым атмосферным осадкам ($\bar{Y}O_c$), по данным метеорологической станции Талас, равно $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 1,268 / 0,2518 = 5,0357$; по данным станции Нурлыкент, $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 0,9190 / 1,1096 = 0,8282$; по данным станции Кызыл-Адыр, $-\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 0,9337 / 0,4382 = 2,1307$, то есть темп прироста годовых атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$) не может перекрывать темп прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$), в результате нарушается природное равновесие, обусловленное изменением климата, что приводит к образованию признаков засушливости;

- в зоне предгорной полупустыни, по данным метеорологической станции Тараз, отношение темпа прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$) к годовым атмосферным осадкам ($\bar{Y}O_o$) равно $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_o = 1,8030 / 0,7615 = 2,3677$, то есть в условиях изменения климата темп роста годовых атмосферных осадков не может обеспечить природное равновесие, и в результате наблюдаются умеренные природные процессы, направленные на усиление засушливости;

- в зоне южной пустыни отношение темпа прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$) к годовым атмосферным осадкам ($\bar{Y}O_c$), по данным метеорологической станции Саудагент, равно $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 1,1184 / (-0,3790) = -2,9509$; по данным станции Ойык, $\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 1,6386 / (-0,9670) = -1,6945$; по данным станции Уланбель, $-\bar{Y}E_o / \bar{Y}O_c = 1,5749 / (-0,2165) = -7,2744$, то есть в результате отрицательного темп прироста годовых атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$) не может перекрывать положительный темп прироста испаряемости ($\bar{Y}E_o$), который приводит к нарушению природного равновесия и способствует интенсивному усилению засушливости.

По результатам проведенных исследований можно констатировать, что в целом отрицательный темп прироста коэффициента естественного увлажнения ($\bar{Y}K_y$) и положительный темп гидротермического индекса сухости ($\bar{Y}R$), если не учитывать незначительный их темп прироста по метеорологическим станциям Нурлыкент, Кызыл-Адыр и Тараз соответственно от 0,0002

до 0,007 и от 0,0017 до 0,0039, находится в пределах статистической незначимости. Это обусловлено влиянием Кировского и Терс-Ащибулакского водохранилища, расположенных в бассейне рек Талас и Асса. Они обеспечивают локальный микроклимат, несмотря на повышение относительной влажности воздуха дневной поверхности, способствуют усилению засушливости в условиях изменяющегося климата на водосборных территориях бассейна реки Асса-Талас, которые могут создать предпосылки возможных изменений границ природно-географических зон.

В качестве климатических индикаторов, характеризующих границы природно-географических зон, традиционно используются коэффициент естественного увлажнения ($K_{yi} = O_{ci} / E_{oi}$) или гидротермический индекс сухости ($\bar{R} = R_i / L \cdot O_{ci} = E_{oi} / O_{ci}$), которые являются показателями соотношения тепла и влаги, где имеется определенная обратная зависимость: $\bar{R} = 1 / K_{yi}$.

Коэффициент естественного увлажнения (K_{yi}) в целом уменьшается от горных зон в сторону южных пустынь, а гидротермический индекс сухости (\bar{R}), наоборот, повышается, что может привести к смещению границ природно-географических зон. Это подтверждает выводы, полученные на основании положительных темпов прироста сумм температур воздуха, радиационного баланса и испаряемости с открытой

водной поверхности или с избыточно увлажненной почвы в биологически активный период года и отрицательного темпа прироста годовых атмосферных осадков.

Для оценки уровня воздействия изменений климата на устойчивость природно-географических зон в территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас в качестве климатических индикаторов использованы среднее значение коэффициента естественного увлажнения (K_{yi}) и гидротермический индекс сухости (\bar{R}) за период 1941-1960 и 2001-2020 гг. (рис. 2, 3).

В целом сравнительный анализ изменения коэффициента естественного увлажнения (K_{yi}) и гидротермического индекса сухости (\bar{R}) по 8 метеорологическим станциям, расположенным на различных природно-географических зонах, на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас за период 1941-1960 и 2001-2020 гг. показал (рис. 2, 3), что несмотря на некоторые различия, происходит сдвиг границ зоны пустыня южная на юг в сторону зоны предгорная полупустыня и на севере в сторону полупустыня от 25,0 до 75,0 км, что приведет к аридизации.

Результаты всесторонней оценки изменения климатических показателей показали, что за рассматриваемый период 1941-2020 гг. во всех природно-географических зонах на территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас наблюдаются положительная тенденция сумм температур

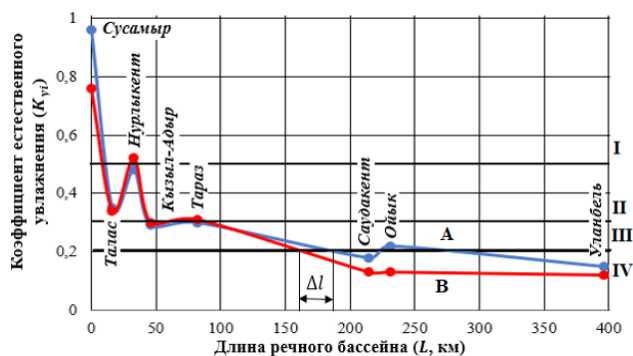


Рис. 2. Изменения коэффициента естественного увлажнения

в разрезе природно-географических зон на территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас за 1941-1960 (А) и 2001-2020 (В) гг.:

I – горные степи и леса; II – предгорная степь; III – предгорная полупустыня; IV – пустыня южная; Δl – длина смещения природно-географических зон

Fig. 2. Changes in the coefficient of natural moisture in the context of natural-geographic zones in the watershed areas of the Assa-Talas River basin for 1941-1960 (A) and 2001-2020 (B):

(I – mountain steppes and forests; II – foothill steppe; III – foothill semi-desert; IV – southern desert; Δl – displacement length of natural geographic zones)

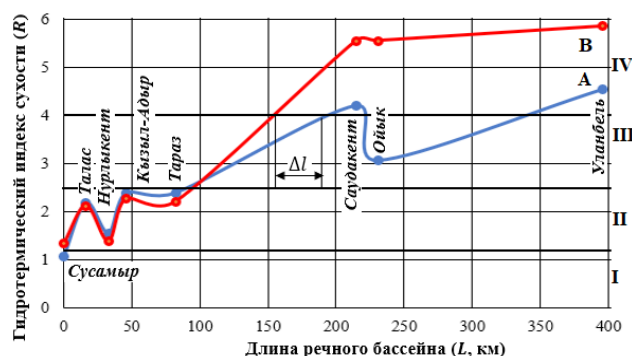


Рис. 3. Изменения гидротермического индекса сухости в разрезе

природно-географических зон на территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас за 1941-1960 (А) и 2001-2020 (В) гг.:

I – горные степи и леса; II – предгорная степь; III – предгорная полупустыня; IV – пустыня южная; Δl – длина смещения природно-географических зон

Fig. 3. Changes in the hydrothermal dryness index in the context of natural geographic zones in the catchment areas of the Assa-Talas River basin for 1941-1960 (A) and 2001-2020 (B):

(I – mountain steppes and forests; II – foothill steppe; III – foothill semi-desert; IV – southern desert; Δl – displacement length of natural geographic zones)

воздуха, радиационного баланса растительного и почвенного покрова и испаряемости водной поверхности и отрицательный тренд годовых атмосферных осадков, в совокупности выполняющих важные средообразующие функции, что может привести к различным экологическим последствиям:

- в зоне горных и предгорных степей, несмотря на положительный темп прироста испаряемости водной поверхности ($\bar{Y}E_o$) и атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$), последний не может компенсировать темп прироста испаряемости, который больше в 2-4 раза, что способствует умеренному темпу роста дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий ($\bar{Y}E_v = \bar{Y}E_o - \bar{Y}O_c$);

- в зоне предгорной полупустыни и пустыни южной наблюдаются положительный темп прироста испаряемости водной поверхности ($\bar{Y}E_o$) и отрицательный темп прироста атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$), что способствует интенсивному темпу прироста водопотребления сельскохозяйственных угодий ($\bar{Y}E_v = \bar{Y}E_o - (-\bar{Y}O_c)$);

- во всех природно-географических зонах отрицательный темп прироста коэффициента естественного увлажнения ($\bar{Y}K_{yi}$) и положительный темп прироста гидротермического индекса сухости ($\bar{Y}R$) обусловлены положительным темпом роста сумм температур воздуха ($\bar{Y}T$), радиационного баланса растительного и почвенного покрова ($\bar{Y}R$) и испаряемости водной поверхности ($\bar{Y}E_o$), и в целом – отрицательным темпом прироста годовых атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$), выполняющих важные средообразующие и экологические функции в водосборах речных бассейнов;

- отрицательный темп прироста коэффициента естественного увлажнения (K_{yi}) и положительный темп прироста гидротермического индекса сухости (\bar{R}) во всех природно-географических зонах, являющийся климатическими индикаторам, характеризующим границы природных зон, показал возможность сдвига границы (Δl) зоны пустыня южная на юг, в сторону зоны предгорная полупустыня, и на севере в сторону полупустыня – от 25,0 до 75,0 км, являясь тенденцией климатической составляющей процесса аридизации;

- положительный темп прироста испаряемости водной поверхности ($\bar{Y}E_o$) и отрицательный темп прироста атмосферных осадков ($\bar{Y}O_c$), выполняющих главную природную функцию речного бассейна – стокообразующую, – в определенной степени определяют характер темпа прироста объема годовых стоков ($\pm \bar{Y}W = \bar{Y}O_c - \bar{Y}E_o$);

- на основе закономерности энерго- и массообмена в природных ландшафтах можно

предположить, что их продуктивность является функцией климатических показателей [10]:

$$Y = 10 \cdot K_t \cdot K_{\text{ФАР}} \left[\exp \left(\pi \cdot \frac{k_o}{k_y} \right) \right]$$

$$\text{или } Y = 10 \cdot K_t \cdot K_{\text{ФАР}} \left[\exp (\pi \cdot k_o \cdot \bar{R}) \right],$$

где K_t – коэффициент теплообеспеченности, взвешенный коэффициентом $K_{\text{ФАР}}$; $K_t = T_o / 10946^\circ$; k_y – коэффициент увлажнения по Иванову; $k_o = O_c / E \cdot T_o$, здесь O_c – сумма осадков вегетационного периода, мм; T_o – сумма среднесуточных положительных температур (выше 0°); $E = 0,177$, $k_o = 1,0507$; 10 – перевод показателей тонн в центнеры; 10946° – максимальная климатическая сумма температур на земле, то есть при отрицательном темпе роста коэффициента естественного увлажнения ($\bar{Y}K_{yi}$) и положительном темпе прироста гидротермического индекса сухости ($\bar{Y}R$) пропорционально уменьшается продуктивность сельскохозяйственных угодий во всех природно-географических зонах водосборных территорий речного бассейна.

В целом изменение климатических характеристик территории водосбора бассейна реки Асса-Талас вызывает положительный темп роста испаряемости водной поверхности, являющейся функцией суммы температур воздуха и радиационного баланса дневной поверхности, и отрицательного темпа прироста годовых атмосферных осадков, способствующих положительному темпу прироста дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий, что можно рассматривать как сигнал для обеспечения безопасности сельскохозяйственной деятельности и создания банка климатических изменений с целью цифровизации агропроизводства.

Выводы

Результаты комплексного исследования базируются на системном анализе и климатическом обобщении проявления глобального изменения климата в природно-географических зонах на водосборных территориях бассейна реки Асса-Талас и его воздействия на темп прироста климатических показателей, выполняющих важные средообразующие и экологические функции.

На основе созданных баз исследований по многолетним информационно-аналитическим материалам за период 1941-2020 гг. по 8 стандартным метеорологическим станциям, расположенным в различных природно-географических зонах водосборных территории бассейна реки Асса-Талас, получена климатическая модель, позволяющая определить темп роста сумм температур воздуха, радиационного баланса растительного и почвенного покрова, испаряемости водной поверхности, годовых атмосферных осадков, коэффициента естественного увлажнения и гидротермический индекс сухости.

Прогнозные расчеты с использованием климатической модели показали, что во всех природно-географических зонах на территориях водосбора бассейна реки Асса-Талас сумма температур воздуха, радиационный баланс растительного и почвенного покрова, испаряемость водной поверхности и гидротермический индекс сухости имеют положительный темп

прироста, а годовые атмосферные осадки – отрицательный темп прироста. Это создает благоприятные условия для положительного темпа прироста дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий и сдвига границы зоны пустыня южная на юг в сторону зоны предгорная полупустыня и на север – в сторону зоны полупустыня.

Список использованных источников

1. **Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А.** Географические закономерности структуры и функционирования экосистем / Под ред. Ю.А. Исакова. М.: Наука, 1986. 297 с.
2. **Сергиенко В.Г.** Динамика границ лесорастительных зон России в условиях изменения климата // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2015. № 1. С. 5-19.
3. **Титкова Т.Б., Виноградова В.В.** Изменение климата в переходных природных зонах севера России и их проявление в спектральных характеристиках ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 5. С. 310-323. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-310>.
4. **Мустафаев Ж.С.** Влияние изменения климата водобеспеченности сельскохозяйственных угодий в зонах недостаточного увлажнения Казахстана // Природообустройство. 2022. № 5. С. 105-113. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-105-113.
5. **Мустафаев Ж.С., Турсынбаев Н.А., Кирейчева Л.В.** Обоснование экологических услуг речных бассейнов на примере реки Талас: Монография. Кишинев: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2022. 137 с.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 13 «Многолетние данные». Ч. 1-6. Вып. 18. КазССР. Кн. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 656 с.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 13 «Многолетние данные». Ч. 1-6. Вып. 32. Киргизская ССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 589 с.
8. Всемирная метеорологическая организация (WMO). <https://public.Wmo.int/ru>.
9. Справочно-информационный портал «Погода и климат». <https://www.pogodaklimat.ru>.
10. **Понько В.А.** Оценка и прогнозирование агроклиматических ресурсов. Новосибирск, 2012. 100 с.

Об авторах

- Жумахан Сулейменович Мустафаев**, д-р техн. наук, профессор, z-mustafa@rambler.ru
Куаныш Бакытжанович Абдешев, PhD, abdeshev.kuanysh@mail.ru
Нуржан Аманжолович Турсынбаев, PhD, nurANT_78@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of Authorship

Мустафаев Ж.С., Абдешев К.Б., Турсынбаев Н.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors have contributed equally to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 25.04.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.11.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 15.11.2023

References

1. **Bazilevich N.I., Grebenshchikov O.S., Tishkov A.A.** Geographical patterns of structure and functioning of ecosystems / ed. Isakov Yu.A. M.: Nauka, 1986. 297 p.
2. **Sergienko V.G.** Dynamics of the boundaries of forest growth zones in Russia under climate change // Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. 2015. № 1. P. 5-19.
3. **Titkova T.B., Vinogradova V.V.** Climate changes in transitional natural zones of the north of Russia and their manifestation in the spectral characteristics of landscapes // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2019. V. 16. No. 5. P. 310-323. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-310>
4. **Mustafaev Zh.S.** Impact of climate change on water supply of agricultural land in zones of insufficient moisture in Kazakhstan // Prirodoobustrojstvo. 2022. No. 5. P. 105-113.
5. **Mustafaev Zh.S., Tursynbaev N.A., Kireycheva L.V.** Justification of environmental services of river basins using the example of the Talas River. Monograph. – Kishinev: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2022. 137 p.
6. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 13: Long-term data. P. 1-6, iss. 18: Kazakh SSR. Book. 2. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1989. 656 p.
7. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 13: Long-term data. P. 1-6, iss. 32: Kirgiz SSR. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 589 p.
8. World Meteorological Organization (WMO), <https://public.Wmo.int/ru>
9. Reference-information portal «Weather and climate» // www.pogodaklimat.ru
10. **Ponko V.A.** Assessment and forecasting of agroclimatic resources. Novosibirsk: 2012. 100 p.

Author information

- Zhumakhan S. Mustafayev**, Doctor of Engineering, Sciences, Professor, z-mustafa@rambler.ru
Kuanysh B. Abdeshev, PhD, abdeshev.kuanysh@mail.ru
Nurzhan A. Tursynbayev, PhD, nurANT_78@mail.ru

Mustafayev Zh.S., Abdeshev K.B., Tursynbaev N.A. performed theoretical research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.