

Оригинальная статья

УДК 502/504:551.583:631.1

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-105-113

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В ЗОНАХ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ КАЗАХСТАНА

МУСТАФАЕВ ЖУМАХАН СУЛЕЙМЕНОВИЧ, д-р техн. наук, профессор

z-mustsfa@rambler.ru

АО «Институт географии и водной безопасности: г. Алматы, Медеуский р-н, ул. Пушкина, 99, Республика Казахстан

На основе многолетних информационно-аналитических материалов справочно-информационного портала «Погода и климат», Всемирной метеорологической организации (ВМО) и РГП «Казгидромет» за 1940-2020 гг. по 17 метеорологическим станциям Алматинской и Жетысуской области, расположенным на территории Балхаш-Алакольского водохозяйственного бассейна Республики Казахстан, построены графики изменения среднегодовой температуры воздуха, годовых атмосферных осадков и их линейные тренды с использованием программы Microsoft Excel. Получены системы линейных уравнений, позволяющих создать банк климатических изменений с целью выявления региональных особенностей и тенденции изменения климата, разработки программного обеспечения для оценки территориальных различий энергетических ресурсов и нормы водопотребности сельскохозяйственных угодий. Для решения проблемы водной безопасности в условиях дефицита водных ресурсов с глобальным изменением климата доказана необходимость разработки нормативных показателей в целях долгосрочного прогнозирования и планирования деятельности в сфере водопользования в рамках нормирования суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур и сельскохозяйственных угодий на основе современных мировоззренческих взглядов и естественнонаучного представления об эколого-экономических механизмах использования водных ресурсов.

Ключевые слова: *изменение климата, температура воздуха, атмосферные осадки, анализ, оценка, энергетические ресурсы, теплообеспеченность, водообеспеченность, нормирование водопотребности*

Формат цитирования: *Мустафаев Ж.С. Влияние изменения климата водообеспеченности сельскохозяйственных угодий в зонах недостаточного увлажнения Казахстана // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 105-113. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-105-113.*

© Мустафаев Ж.С., 2022

Original article

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON WATER SUPPLY OF AGRICULTURAL LAND IN ZONES OF INSUFFICIENT MOISTURE IN KAZAKHSTAN

MUSTAFAEV ZHUMAKHAN SULEYMENOVICH, Doctor of Technical Sciences, Professor

z-mustsfa@rambler.ru

JSC "Institute of Geography and Water Safety: Almaty, Medeuskydistrict, Pushkin st., 99, Republic of Kazakhstan

Based on long-term information and analytical materials of the reference and information portal «Weather and Climate», the World Meteorological Organization (WMO) and RSE «Kazhydromet» for 1940-2020 for 17 meteorological stations of the Almatinsky and Zhetysussky regions located on the territory of the Balkhash-Alakol water management basin of the Republic of Kazakhstan graphs of changes in the average annual air temperature and annual precipitation and their linear trends were built using the Microsoft program Excel and received a system of linear equations, allowing the creation of a bank of climate changes in order to identify regional features and trends in climate change, develop software to assess territorial differences in energy resources and the norms of water demand for agricultural land. To solve the problem of water security in the context of water scarcity with

global climate change, the need to develop standard indicators for long-term forecasting and planning of activities in the field of water use within the framework of rationing the total water consumption of agricultural crops and agricultural land based on modern worldviews and the natural scientific understanding of the environmental economic mechanisms for the use of water resources.

Keywords: *climate change, air temperature, precipitation, analysis, assessment, energy resources, heat supply, water supply, water demand regulation*

Format of citation: *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. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-105-113.*

Введение. В настоящее время система природопользования в области сельского хозяйства перешла в активную стадию сукцессии в связи с глобальным изменением климата, так как последовательное закономерное повышение средней годовой температуры воздуха и снижение годовых атмосферных осадков стало не только научной гипотезой, но и аксиомой, ведущей к снижению водообеспеченности сельскохозяйственных угодий в зонах недостаточного увлажнения.

В условиях постоянного повышения температуры воздуха возрастает норма суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий, а снижение годовых атмосферных осадков приводит к увеличению дефицита нормы суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий. В результате их совместного воздействия уменьшается среднегодовой сток речных бассейнов, являющийся пространственным базисом народонаселения, промышленности и сельского хозяйства.

Для обеспечения водной безопасности сельскохозяйственных угодий в зонах недостаточного увлажнения и нивелирования отрицательного действия изменения климата возникает необходимость изучения их в пространственно-временном масштабе с целью выявления тенденции направленности и интенсивности изменения водообеспеченности сельскохозяйственных угодий в зонах недостаточного увлажнения.

Целью исследований явилось изучение климатических изменений в пространственно-временном масштабе в Балхаш-Алакольском водохозяйственном бассейне, охватывающем территории Алматинской и Жетысуской областей, ина их основе – прогноз суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий с целью создания банка данных для оценки водной безопасности с учетом территориальных различий по водообеспеченности.

Объектом исследований стала природная система Алматинской и Жетысуской областей, расположенных на территории Балхаш-Алакольского водохозяйственного бассейна и охватывающих 4 агроклиматические зоны

Республики Казахстан, то есть горную, предгорную, предгорно-полупустынную и южную пустыню, как модель природной системы для изучения современных тенденций изменения суммарной водопотребности сельскохозяйственных угодий под влиянием глобального изменения климата.

Материалы и методы исследований. На сегодняшний день главной задачей климатического обслуживания агропромышленного комплекса в Республике Казахстан является создание научно обоснованной информационно-аналитической базы климатических показателей для обеспечения безопасности сельскохозяйственной деятельности. Для создания информационно-аналитической базы исследований с климатическими показателями использованы информационно-аналитические материалы справочно-информационного портала «Погода и климат», Всемирной метеорологической организации (ВМО) и РГП «Казгидромет», где основным критерием при выборе 29 метеорологических станций, расположенных на территории Алматинской и Жетысуской областей, является длительность ряда наблюдений за климатическими показателями. Эти наблюдения составляют более 80 лет и включают в себя годы с различной гидролого-климатической обстановкой [1-3].

Для определения закономерности изменения среднегодовой температуры воздуха и годовых атмосферных осадков во времени был использован метод линейного тренда, то есть метод статистической математики, широко применяемой для оценки тенденции роста, который записывается в виде уравнения линейной регрессии:

$$y(T) = a_0 + a_i \cdot T,$$

где $y(T)$ – расчетное значение показателя наблюдений; T – порядковый номер наблюдаемой величины; a_0 и a_i – регрессионные коэффициенты.

Результаты и их обсуждение. На основе многолетних информационно-аналитических материалов справочно-информационного портала «Погода и климат», Всемирной метеорологической организации (ВМО)

и РГП «Казгидромет» по 17 метеорологическим станциям, расположенным на территории Балхаш-Алакольского водохозяйственного бассейна Республики Казахстан, построены графики изменения среднегодовой температуры воздуха и годовых атмосферных осадков за 1940-2020 гг.

и их линейные тренды с использованием программы Microsoft Excel. Получены следующие системы линейных уравнений (табл. 1):

$$\bar{Q} = a_0 + a_i \cdot t_i \quad \text{и} \quad O_{ci} = a_0 + a_i \cdot t_i,$$

где t_i – среднегодовая температура воздуха, °C; O_{ci} – годовое количество атмосферных осадков, мм.

Таблица 1

Регрессионные метеорологические модели изменения климата в пространственно-временном масштабе Балхаш-Алакольского водохозяйственного бассейна Республики Казахстан

Table 1

Regression meteorological models of climate change in the spatio-temporal scale of the Balkhash-Alakol water management basin of the Republic of Kazakhstan

Административный район <i>Administrative region</i>	Метеостанция <i>Weather station</i>	Уравнение линейных трендов <i>Linear trend equation</i>	Изменение показателей <i>Change of indicators</i>
Алматинская область / Almaty area			
Балхашский <i>Balkhashsky</i>	Баканас <i>Bakanas</i>	$t_i = 0,0298 \cdot T_i + 7,3196$	2,44
		$O_{ci} = 0,2005 \cdot T_i + 176,81$	16,0
Енбекшиказахский <i>Enbekshikazakhsky</i>	Есик <i>Esik</i>	$t_i = 0,0166 \cdot T_i + 8,0447$	1,36
		$O_{ci} = -2,753 \cdot T_i + 699,41$	-221,0
Жамбылский <i>Zhambylsky</i>	Узынагаш <i>Uzynarash</i>	$t_i = 0,0211 \cdot T_i + 6,8127$	1,69
		$O_{ci} = 0,5289 \cdot T_i + 398,66$	42,0
Илийский <i>Ili</i>	Конаев <i>Konayev</i>	$t_i = 0,0192 \cdot T_i + 8,7318$	1,53
		$O_{ci} = 0,4477 \cdot T_i + 214,26$	36,0
Карасайский <i>Karaisky</i>	Алматы <i>Almaty</i>	$t_i = 0,0292 \cdot T_i + 8,3554$	2,3
		$O_{ci} = 1,1748 \cdot T_i + 598,30$	10,0
Кегенский <i>Kegensky</i>	Кеген <i>Kegen</i>	$t_i = 0,0338 \cdot T_i + 1,6564$	2,70
		$O_{ci} = 0,2071 \cdot T_i + 367,16$	17,0
Райымбекский <i>Rajymbeksky</i>	Нарынкол <i>Narynkol</i>	$t_i = 0,0252 \cdot T_i + 2,3308$	2,0
		$O_{ci} = 0,3147 \cdot T_i + 378,69$	25,0
Талгарский <i>Talgarsky</i>	Ассы <i>Assy</i>	$t_i = 0,0124 \cdot T_i - 0,1575$	0,70
		$O_{ci} = -1,0846 \cdot T_i + 456,8$	-86,7
Уйгурский <i>Ujgursky</i>	Кыргызсай <i>Kyrgyzsan</i>	$t_i = 0,0157 \cdot T_i + 7,6525$	1,25
		$O_{ci} = 0,3336 \cdot T_i + 338,16$	27,0
Жетысуская область / Zhetysusk area			
Аксуский <i>Aksusky</i>	Матай <i>Mataj</i>	$t_i = 0,0274 \cdot T_i + 6,6063$	2,19
		$O_{ci} = 0,5524 \cdot T_i + 218,28$	44,0
Алакольский <i>Alakolsky</i>	Учарал <i>Ucharal</i>	$t_i = 0,0241 \cdot T_i + 6,1982$	1,93
		$O_{ci} = -0,2528 \cdot T_i + 315,4$	-20,0
Ескельдинский <i>Eskeldinsky</i>	Текели <i>Takeli</i>	$t_i = 0,0349 \cdot T_i + 4,4685$	2,79
		$O_{ci} = -0,6196 \cdot T_i + 791,1$	-16,0
Каратальский <i>Karatalsky</i>	Уштобе <i>Ush Tobe</i>	$t_i = 0,0247 \cdot T_i + 6,4193$	1,98
		$O_{ci} = -0,0088 \cdot T_i + 263,1$	-0,71
Кербулакский <i>Kerbulaksky</i>	Сарыозек <i>Saryozek</i>	$t_i = -0,0060 \cdot T_i + 8,0193$	0,49
		$O_{ci} = 0,2390 \cdot T_i + 299,18$	19,0
Коксуский <i>Koksusky</i>	Талдыкурган <i>Taldykurgan</i>	$t_i = 0,0316 \cdot T_i + 9,9489$	2,53
		$O_{ci} = 0,7014 \cdot T_i + 350,96$	57,0
Панфиловский <i>Panfilovsky</i>	Жаркент <i>Zharkent</i>	$t_i = 0,0138 \cdot T_i + 8,4313$	2,4
		$O_{ci} = 0,5818 \cdot T_i + 167,34$	47,0
Саркандский <i>Sarkandeksky</i>	Сарканд <i>Sarkand</i>	$t_i = 0,0064 \cdot T_i + 7,6045$	0,51
		$O_{ci} = -0,1037 \cdot T_i + 480,5$	-8,0

Оценка изменения климатических показателей Алматинской и Жетысуской областей в рамках природно-климатических зон проводилась по многолетним данным 17 метеорологических станций (табл. 1). В соответствии с этими данными изменение среднемноголетнего значения годовой температуры воздуха за рассматриваемый период 1940-2020 гг., то есть за 81 год, составляет 0,49-2,79°C, а изменения среднемноголетнего значения годовых атмосферных осадков – от –221,0 до 47,0 мм.

Таким образом, наблюдаемая положительная тенденция изменения температуры воздуха и незначительная отрицательная тенденция изменения годовых атмосферных осадков в отдельных метеорологических станциях, по всей вероятности, будут оказывать влияние на природно-ресурсный потенциал Алматинской и Жетысуской областей в ближайшей перспективе.

Для оценки природно-ресурсного потенциала Алматинской и Жетысуской областей использованы сумма биологически активных температур воздуха ($\sum t, ^\circ\text{C}$), фотосинтетически активная радиация (R_i), испаряемость (E_{oi}) и сумма атмосферных осадков (O_{ci}).

Географическая особенность радиационного баланса (R_i) деятельной поверхности приземного слоя воздуха и почвы характеризуется суммой активных температур воздуха ($\sum t > 10^\circ\text{C}$). Для их определения использована формула Ю.Н. Никольского и В.В. Шабанова [4]:

$$R_i = 13.39 + 0.0079 \cdot \sum t > 10^\circ\text{C}.$$

Испаряемость с водной поверхности является функцией средней месячной температуры воздуха ($t, ^\circ\text{C}$) и относительной влажности воздуха (α), %. Для определения их месячного значения используется формула Н.Н. Иванова [5]:

$$A_i = 0.0018 \cdot (25 + t)^2 (100 - \alpha),$$

где E_o – месячная испаряемость, мм; t – средняя месячная температура воздуха, $^\circ\text{C}$; α – средняя месячная относительная влажность воздуха, %.*

В рамках исследований был проведен анализ изменения суммы биологически активных температур воздуха ($\sum t, ^\circ\text{C}$), фотосинтетически активной радиации (R_i), испаряемости (E_{oi}) и годовых атмосферных осадков (O_{ci}), характеризующих природно-ресурсный потенциал территории Алматинской и Жетысуской областей. Оценка проводилась на основе сравнительного анализа в интервале 1941-1960 гг. (базовая), 1961-1980, 1981-2000, 2001-2020 гг. (фрагмент представлен в таблице 2).

Оценка природно-ресурсного потенциала территории Алматинской и Жетысуской областей показала, что энергетические показатели

за рассматриваемый период в сравнении с 1941-1960 (базовая) по 2001-2020 гг. (прогнозная) повышаются в разрезе природно-климатических зон:

* В предгорной степной зоне, где расположены Райымбекский и Кегенский административные районы, по данным метеорологических станций Нарынкол и Кеген, за рассматриваемый период 1941-2020 гг. сумма биологически активных температур воздуха ($\sum t, ^\circ\text{C}$) увеличивается от 138,6 до 784,1 $^\circ\text{C}$, фотосинтетически активная радиация (R_i) – от 4,5 до 26,0 кДж/см², испаряемость (E_{oi}) – от 45,0 до 235,0 мм; годовые атмосферные осадки (O_{ci}) изменились от –1,0 до 3,0 мм.

* В предгорной полупустынной зоне, где расположены Талгарский, Енбекшиказахский, Карасайский, Уйгурский, Ескельдинский, Кербулакский, Коксуский и Панфиловский административные районы, по данным метеорологических станций Ассы, Есик, Алматы, Кыргызсай, Текели, Сарыозек, Талдыкурган и Жаркентза, за рассматриваемый период 1941-2020 гг. сумма биологически активных температур воздуха ($\sum t, ^\circ\text{C}$) увеличивается от 69,9 до 1118,8 $^\circ\text{C}$, фотосинтетически активная радиация (R_i) – от 2,3 до 37,0 кДж/см², испаряемость (E_{oi}) – от 21,0 до 335,0 мм; годовые атмосферные осадки (O_{ci}) изменились от –143,0 до 71,0 мм.

* В южной пустынной зоне, где расположены Балхашский, Жамбылский, Илийский, Аксуский, Алакольский, Караталский и Саркандский административные районы, по данным метеорологических станций Баканас, Узынагаш, Конаев, Учарал, Уштобе и Сарканд, за рассматриваемый период 1941-2020 гг. сумма биологически активных температур воздуха ($\sum t, ^\circ\text{C}$) увеличивается от 84,3 до 263,3 $^\circ\text{C}$, фотосинтетически активная радиация (R_i) – от 2,8 до 8,7 кДж/см², испаряемость (E_o) – от 25,0 до 79,0 мм; годовые атмосферные осадки (O_{ci}) изменились от –14,0 до 42,0 мм.

При этом повышение суммы биологически активных температур воздуха ($\sum t, ^\circ\text{C}$) и фотосинтетически активной радиации (R_i , кДж/см²) как энергетических ресурсов природных систем способствует повышению теплообеспеченности и снижению влагообеспеченности сельскохозяйственных угодий. Использование показателя влагообеспеченности обосновывается тем, что он включает в себя основную составляющую водного (сумму атмосферных осадков) и теплового (испаряемость) балансов, которые связаны определенными функциональными зависимостями с другими элементами водного и теплового балансов почвенного и растительного покровов ландшафтов [6].

Таблица 2

Изменение природно-ресурсного потенциала Алматинской и Жетысуской областей в Балхаш-Алакольском водохозяйственном бассейне

Table 2

Changes in the natural – resource potential of Almaty and Zhetysusk regions in the Balkhash-Alakol water management basin

Метеостанция Weather station	Период прогнозирования Period of forecasting	Показатели природно-ресурсного потенциала Indicators of the natural-resource potential			
		$\Sigma t, C$	$R_i, \text{ КДЖ см}^2$	$\dot{A}_{ii}, \text{ мм}$	$O_{ei}, \text{ мм}$
Алматинская область / Almaty area					
Предгорная степная зона / Foothillsteppezone					
Нарынкол Narynkol	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	1966,0	121,2	590,0	407,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	2183,5	128,4	655,0	410,0
	Разница средних / Average difference	217,5	7,2	65,0	3,0
Кеген Kegen	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	1259,3	97,7	378,0	356,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	2043,4	123,7	613,0	355,0
	Разница средних / Average difference	784,1	26,0	235,0	-1,0
Предгорная полупустынная зона / Foothillsemi-desertzone					
Ассы Assy	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	964,5	88,0	289,0	430,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	1034,4	90,3	310,0	364,0
	Разница средних / Average difference	69,9	2,3	21,0	-66,0
Есик Esik	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3133,7	159,8	940,0	638,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3351,9	167,1	1006,0	495,0
	Разница средних / Average difference	218,7	7,3	66,0	-143,0
Алматы Almaty	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3392,3	168,4	1018,0	625,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3635,9	176,5	1091,0	696,0
	Разница средних / Average difference	243,6	7,4	73,0	71,0
Кыргызсай Kyrgyzsai	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3047,7	157,0	914,0	383,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3217,5	162,6	965,0	387,0
	Разница средних / Average difference	169,8	5,6	51,0	4,0
Южная пустынная зона / Southern desert zone					
Баканас Bakanas	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3573,5	174,4	1072,0	188,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3770,6	180,9	1131,0	200,0
	Разница средних / Average difference	197,1	6,5	59,0	12,0
Узынагаш Uzynagash	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3127,6	159,6	938,0	405,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3315,8	165,9	995,0	444,0
	Разница средних / Average difference	188,2	6,3	57,0	39,0
Конаев Konaev	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3495,0	171,8	1049,0	220,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3724,8	179,4	1117,0	257,0
	Разница средних / Average difference	229,8	7,6	68,0	37,0
Жетысуская область / Zhetysusk area					
Предгорная полупустынная зона / Foothillsemi-desertzone					
Текели Tekeli	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	1878,8	118,3	564,0	775,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	2997,6	155,3	899,0	748,0
	Разница средних / Average difference	1118,8	37,0	335,0	-27,0
Сарыозек Saryozek	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3005,1	155,6	902,0	307,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3254,7	163,8	986,0	327,0
	Разница средних / Average difference	249,6	9,0	92,0	36,0
Талдыкурган Taldykurgan	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3264,3	164,2	979,0	378,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3581,8	174,7	1075,0	417,0
	Разница средних / Average difference	317,5	10,5	96,0	39,0
Жаркент Zharkent	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3563,4	174,1	1069,0	185,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3745,2	180,1	1124,0	208,0
	Разница средних / Average difference	181,8	6,0	55,0	23,0
Южная пустынная зона / Southern desert zone					
Учарал Ucharal	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3356,5	167,2	1007,0	324,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3523,3	172,7	1057,0	310,0
	Разница средних / Average difference	166,8	5,5	50,0	-14,0
Уштобе Ushtobe	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3376,8	167,9	1013,0	270,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3538,4	173,2	1061,0	270,0
	Разница средних / Average difference	161,6	5,3	48,0	0,0
Сарканд Sarkand	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	3199,9	162,0	960,0	481,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	3284,4	164,8	985,0	484,0
	Разница средних / Average difference	84,5	2,8	25,0	3,0

В общем виде коэффициент увлажнения (K_{yi}), позволяющий одновременно учитывать и оценивать тепло- и влагообеспеченность ландшафтов, представляет собой отношение суммы осадков (O_{ci}) к сумме испаряемости (E_{oi}), который определяется в основном среднемесячной температурой (t , °C) и влажностью (α , %) воздуха, то есть [5]

$$K_{yi} = O_{ci} / E_{oi}.$$

В природной системе, как любой физический процесс изменений и превращений, процесс теплообмена в конкретной точке пространства за известный промежуток времени характеризуется балансом прихода и расхода энергии, то есть законом сохранения энергии, когда для их математического описания используется комплексный гидротермический показатель (\bar{R}_i) [7], представляющий собой отношение радиационного баланса (R_i) к затратам тепла на испарение выпавших осадков ($L \cdot O_{ci}$):

$$\bar{R}_i = R_i / L \cdot O_{ci},$$

где L – удельная теплота парообразования, принятая постоянной и равная 2,5 кДж/см².

При этом суммарное испарение сельскохозяйственных угодий (мм) вычисляется согласно уравнению [8]:

$$ET_i = 4,0 \cdot R_i \cdot L^{-1}.$$

Для определения дефицита испаряемости и суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий проведем некоторые преобразования:

$$\Delta E_{oi} = [0,0018 \cdot (25 + t)^2 (100 - \alpha)] - O_{ci};$$

$$\Delta ET_i = [4,0 \cdot (R_i / \bar{R}_i) \cdot L] - O_{ci}.$$

При этом предельно допустимый дефицит суммарного водопотребления (дефицит нормы водопотребления) сельскохозяйственных угодий определяется с учетом геоэкологических ограничений, то есть при ($\bar{R}_i = 0,9 - 1,0$), когда в природной среде наблюдаются благоприятные условия формирования почвообразовательного процесса [9].

На основе интегральных климатических и энергетических показателей определена естественная тепло- и влагообеспеченность территории Алматинской и Жетысуской областей Балхаш-Алакольского водохозяйственного бассейна (табл. 3), что позволяет установить влияние глобального изменения климата на дефицит испаряемости и суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий в пространственно-временном масштабе.

Таблица 3

Изменение естественной тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных угодий Алматинской и Жетысуской областей в Балхаш-Алакольском водохозяйственном бассейне по сравнению с базовым периодом

Table 3

Changes in the natural heat and moisture supply of agricultural lands of Almaty and Zhetysusk regions in the Balkhash-Alakol water basin compared to the base period

Метеостанция <i>Weather station</i>	Периодпрогнозирования <i>Period of forecasting</i>	Показатели тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных угодий <i>Indicators of heat and moisture supply of agricultural lands</i>				
		K_{yi}	\bar{R}_i	ΔE_{oi}	ET_i	ΔET_i
1	2	3	4	5	6	7
Алматинская область / Almaty area						
Предгорная степная зона / Foothillsteppezone						
Нарынкол <i>Narynkol</i>	Среднее 1941-1960 (база) / <i>Average 1941-1960 (base)</i>	0,69	1,19	183,0	485,0	78,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / <i>Average for 2001-2020 gg.</i>	0,63	1,25	245,0	514,0	104,0
	Разница средних / <i>Average difference</i>	-0,06	0,06	62,0	29,0	26,0
Кеген <i>Kegen</i>	Среднее 1941-1960 (база) / <i>Average 1941-1960 (base)</i>	0,94	1,10	22,0	391,0	35,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / <i>Average for 2001-2020 gg.</i>	0,58	1,39	258,0	495,0	40,0
	Разница средних / <i>Average difference</i>	-0,36	0,29	236,0	104,0	5,0
Предгорная полупустынная зона / Foothillsemi-desertzone						
Ассы <i>Assy</i>	Среднее 1941-1960 (база) / <i>Average 1941-1960 (base)</i>	1,49	0,82	-141,0	352,0	-78,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / <i>Average for 2001-2020 gg.</i>	1,17	0,99	-54,0	361,0	-3,0
	Разница средних / <i>Average difference</i>	-0,32	0,17	87,0	9,0	75,0
Есик <i>Esik</i>	Среднее 1941-1960 (база) / <i>Average 1941-1960 (base)</i>	0,68	1,00	302,0	639,0	1,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / <i>Average for 2001-2020 gg.</i>	0,49	1,36	511,0	668,0	173,0
	Разница средних / <i>Average difference</i>	-0,19	0,36	209,0	29,0	172,0
Алматы <i>Almaty</i>	Среднее 1941-1960 (база) / <i>Average 1941-1960 (base)</i>	0,61	1,08	393,0	674,0	49,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / <i>Average for 2001-2020 gg.</i>	0,64	1,01	395,0	706,0	10,0
	Разница средних / <i>Average difference</i>	0,01	-0,07	2,0	31,0	-39,0

1	2	3	4	5	6	7
Кыргызсай <i>Kyrgyzsai</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,42	1,64	531,0	628,0	245,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,40	1,68	578,0	650,0	263,0
	Разница средних / Average difference	-0,02	0,04	47,0	22,0	18,0
Южная пустынная зона / Southern desert zone						
Баканас <i>Bakanas</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,18	3,71	884,0	698,0	510,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,18	3,62	931,0	724,0	504,0
	Разница средних / Average difference	0,00	-0,09	47,0	26,0	-6,0
Узынагаш <i>Uzynagash</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,43	1,57	533,0	638,0	233,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,45	1,49	551,0	644,0	220,0
	Разница средних / Average difference	0,02	-0,08	18,0	26,0	-13,0
Конаев <i>Konaev</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,21	3,12	829,0	687,0	467,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,23	2,79	860,0	718,0	461,0
	Разница средних / Average difference	0,02	-0,33	31,0	31,0	-6,0
Жетысуская область / Zhetysusk area						
Предгорная полупустынная зона / Foothillsemi-desertzone						
Текели <i>Tekeli</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	1,37	0,61	-221,0	473,0	-302,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,83	0,83	151,0	621,0	-127,0
	Разница средних / Average difference	-0,54	0,21	372,0	148,0	-175,0
Сарыозек <i>Saryozek</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,34	2,03	595,0	622,0	313,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,33	2,00	659,0	655,0	328,0
	Разница средних / Average difference	-0,01	-0,03	64,0	33,0	15,0
Талдыкур-ган <i>Taldykur-gan</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,37	1,73	301,0	657,0	279,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,39	1,67	658,0	699,0	282,0
	Разница средних / Average difference	0,02	-0,06	357,0	42,0	3,0
Жаркент <i>Zharkent</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,17	3,76	884,0	696,0	511,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,19	3,46	916,0	711,0	512,0
	Разница средних / Average difference	0,02	-0,30	32,0	15,0	1,0
Южная пустынная зона / Southern desert zone						
Учарал <i>Ucharal</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,32	2,07	683,0	669,0	345,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,29	2,23	747,0	691,0	381,0
	Разница средних / Average difference	-0,03	0,16	64,0	22,0	36,0
Уштобе <i>Ushrobe</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,27	2,49	743,0	672,0	402,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,25	2,57	791,0	693,0	423,0
	Разница средних / Average difference	-0,02	0,08	48,0	21,0	13,0
Остров Алгазы <i>Island Algazy</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,14	4,80	805,0	639,0	505,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,13	5,22	884,0	652,0	527,0
	Разница средних / Average difference	-0,01	0,42	79,0	13,0	22,0
Сарканд <i>Sarkand</i>	Среднее 1941-1960 (база) / Average 1941-1960 (base)	0,53	1,35	479,0	648,0	167,0
	Среднее за 2001-2020 гг. / Average for 2001-2020 gg.	0,49	1,36	501,0	659,0	175,0
	Разница средних / Average difference	-0,04	0,01	32,0	11,0	8,0

При этом повышение среднегодовой температуры воздуха в пространственно-временном масштабе на территории Балхаш-Алакольского водохозяйственного бассейна (табл. 1) как энергетического ресурса природной системы способствует повышению испаряющей способности природной системы (табл. 2) в сравнении с базовым периодом (1941-1960 гг.). За прогнозируемый период 2001-2020 гг. это привело к значительному снижению водообеспеченности (K_{yi}) (от 0,06 до 0,54) и повышению теплообеспеченности (\bar{R}_i) (от 0,06 до 0,29) естественных ландшафтов, к росту дефицита испаряемости (ΔE_{oi}) от 2,0 до 372,0 мм, суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий (ΔET_i) – от 1,0 до 104,0 мм (табл. 3).

Таким образом, современная тенденция изменения климата на территории Балхаш-Алакольского водохозяйственного бассейна показывает, что среднегодовая температура воздуха, испаряемость и суммарное водопотребление сельскохозяйственных угодий постепенно повышаются. При этом годовые атмосферные осадки повышаются незначительно, что приводит к повышению дефицита испаряемости и суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий, которые способствовали усилению аридизации климата и изменению границы природно-климатических зон.

Схематическая карта коэффициента увлажнения за апрель-сентябрь на территории Казахстана была разработана в 1969 г.

Н.В. Данильченко и А.П. Попыкиным [10]. В настоящее время она используется в Казахском научно-исследовательском институте водного хозяйства при районировании режима орошения сельскохозяйственных культур в Казахстане. Карта устарела и не характеризует современное состояние природной системы и глобальное изменение климата. Также оросительные нормы сельскохозяйственных культур в Казахстане, разработанные Казахским научно-исследовательским институтом водного хозяйства [11, 12], и нормы водопотребности сельскохозяйственных угодий государств Центральной Азии, рекомендованные Научно-информационным центром Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии (МКВК) [13], соответствующие классификации выдающего физика Льва Ландау, противоестественные законам природы и принципам природопользования [14], не могут быть использованы в качестве нормативных показателей, так как их количественные значения являются гораздо большими, чем потенциальная испаряющая способность природной системы.

Теоретическое обоснование нормы водопотребности сельскохозяйственных культур или угодий осуществляется на основе законов сохранения энергии природной системы, так как рассмотрение процесса влагообмена между дневной и дневной поверхностями связано с процессом теплообмена. Как любой физический процесс изменений и превращений, процесс теплообмена в конкретной точке пространства за известный промежуток времени характеризуется балансом прихода и расхода энергии, то есть законом сохранения энергии. В связи с этим нормы водопотребности сельскохозяйственных культур или угодий не могут быть больше испаряющей способности природной системы, а незнание законов природы привело к изменению понятий, ценностей и критериев, связанных с мелиорацией сельскохозяйственных земель.

Для решения водохозяйственных проблем в условиях дефицита водных ресурсов с глобальным изменением климата необходимо прежде всего теоретическое обоснование нормативных показателей в целях долгосрочного прогнозирования и планирования деятельности в сфере природопользования:

– суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур (\bar{A}_{vi}) или дефицит суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур ($\Delta\bar{A}_{vi}$) – количество воды, требуемое для пополнения физического испарения с поверхности почвы и транспирации с листовой поверхности культуры, являющихся функцией климатических показателей природной системы и биологических особенностей сельскохозяйственных культур, необходимо для

оптимизации состава и структуры адаптивно-ландшафтных систем земледелия с учетом геоэкологических ограничений при территориальном планировании оросительных мелиораций. Иными словами, средневзвешенный дефицит водопотребления сельскохозяйственных культур в структуре гидроагроландшафтов не должен быть больше, чем дефицит водопотребления сельскохозяйственных угодий [9]:

$$\Delta E_{\text{вср}} = \sum_{i=1}^n \Delta E_{vi} \cdot \alpha_i \leq \Delta ET_{\text{вср}},$$

где ΔE_{vi} – дефицит водопотребления -той сельскохозяйственной культуры в гидроагроландшафте, м³/га; i – количество сельскохозяйственных культур, входящих в структуру гидроагроландшафта; α_i – доля сельскохозяйственных культур в структуре гидроагроландшафта; $\Delta ET_{\text{вср}}$ – дефицит водопотребления сельскохозяйственных угодий, м³/га; $\Delta E_{\text{вср}}$ – средневзвешенный дефицит водопотребления сельскохозяйственных культур в структуре гидроагроландшафта.

– Суммарное водопотребление сельскохозяйственных угодий ($ET_{\text{вср}}$) или дефицит суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий ($\Delta ET_{\text{вср}}$) – количество воды, требуемое для пополнения физического испарения с поверхности почвенного покрова и транспирации с поверхности растительного покрова, являющихся функцией климатических показателей природной системы и затраты энергии на почвообразование, необходимо для нормирования забора воды из природных источников ($W_{\text{звб}}$), водоподачи для сельскохозяйственных угодий ($W_{\text{бср}}$) и мощности водохозяйственных систем ($F_{\text{ласз}}$).

Объем водоподачи для сельскохозяйственных угодий ($W_{\text{бср}}$) можно представить как функцию дефицита суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий ($\Delta ET_{\text{вср}}$), мощности адаптивно-ландшафтных систем земледелия ($F_{\text{ласз}}$) и надежности техники и технологии водоподачи ($K_{\text{нтв}}$), то есть $W_{\text{бср}} = f(\Delta ET_{\text{вср}}, F_{\text{ласз}}, K_{\text{нтв}})$. Объем забора воды из природных источников является в свою очередь технологической функцией объема водоподачи для сельскохозяйственных угодий ($W_{\text{бср}}$) и надежности водохозяйственных систем ($K_{\text{нвс}}$), то есть $W_{\text{звб}} = f(W_{\text{бср}}, K_{\text{нвс}})$ [9].

Выводы

В целом глобальное изменение климата привело к постоянному повышению среднегогодового значения годовой температуры воздуха и к незначительному снижению годовых атмосферных осадков, как продуктов взаимосвязанных природных процессов и выполняющих особые средообразующие функции которые могут способствовать увеличению дефицита водопотребления сельскохозяйственных угодий или культур, выполняющих экономическую и экологическую функции жизнедеятельности человека. В рамках обеспечения водной безопасности они требуют

ориентирования естественнонаучных представлений об экологическом нормировании водопотребности сельскохозяйственных угодий и регламен-

таций безотходных ресурсосберегающих технологий орошения для предотвращения бесполезных затрат располагаемых водных ресурсов.

Библиографический список

1. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 13: Многолетние данные. Ч. 1-6, вып. 18: КазССР. Кн. 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 656 с.
2. Справочно-информационный портал «Погода и климат» <https://www.pogodaklimat.ru>
3. Всемирная Метеорологическая Организация (WMO), <https://public.Wmo.int/ru>
4. **Никольский Ю.Н., Шабанов В.В.** Расчет проектной урожайности в зависимости от водного режима мелиорируемых земель // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 9. – С. 52-56.
5. **Иванов Н.Н.** Зоны увлажнения земного шара // Известия АН СССР, серия география и геофизика. – 1941. – № 3. – С. 15-32.
6. **Mustafayev Zh.S., Kozykeyeva A.T., Kamaliyev A.M.** Climatic changes in the basin of the transboundary Shu river // News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of agricultural sciences. – 2019. – Vol. 5, N53. – P. 104-112.
7. **Будыко М.И.** Испарение в естественных условиях. – Л.: Гидрометеиздат, 1948. – 136 с.
8. **Сенчуков Г.А., Новикова И.В.** Суммарное водопотребление и урожайность сельскохозяйственных культур // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 4(20). – С. 108-119
9. **Мустафаев Ж.С., Рябцев А.Д.** Адаптивно-ландшафтные мелиорации земель в Казахстане. – Тараз: 2012. – 528 с.
10. **Данильченко Н.В., Попыкин А.П.** Методические указания по расчету режима орошения сельскохозяйственных культур в Казахстане // Вестник научно-технической и производственной информации. – Алма-Ата, 1969. – № 5 (9). – 78 с.
11. Оросительные нормы сельскохозяйственных культур в Казахстане (рекомендации). – Дзямбул: КазНИИИВХ, 1981. – 80 с.
12. **Ибатуллин С.Р., Кван Р.А., Парамонов А.И., Балгабаев Н.Н.** Нормирование орошения в водохозяйственных бассейнах Казахстана. – Тараз, 2008. – 122 с.
13. **Рузиев М.Т., Приходко В.Г.** Оценка перспектив устойчивого развития государств бассейна Аральского моря с помощью модельных расчетов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 1. – С. 54-56.
14. **Мустафаев Ж.С.** Экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель. – LAPLAMBERN, AcademicPublishing, 2016. – 378 с.

Критерии авторства

Мустафаев Ж.С. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись. Имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 15.08.2022

Одобрена после рецензирования 18.10.2022

Принята к публикации 25.10.2022

References

1. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 13: Mnogoletnie dannye. Ch. 1-6, vyp. 18: KazSSR. Kn. 2. – L.: Gidrometeizdat, 1989. – 656 s.
2. Spravochno-informatsionnyj portal «Pogoda i klimat» // www.pogodaklimat.ru
3. Vsemirnaya Meteorologicheskaya Organizaciya (WMO), <https://public.Wmo.int/ru>
4. **Nikolsky Yu.N., Shabanov V.V.** Raschet proektnoj urozhajnosti v zavisimosti ot vodnogo rezhima melioriruemyh zemel // Gidrotehnika i melioratsiya. – 1986. – № 9. – S. 52-56.
5. **Ivanov N.N.** Zony uvlazhneniya zemnogo shara // Izvestiya AN SSSR, seriya geografiya i geofizika. – 1941. – № 3. – S. 15-32.
6. **Mustafayev Zh.S., Kozykeyeva A.T., Kamaliyev A.M.** Climatic changes in the basin of the transboundary Shu river // News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of agricultural sciences. – 2019. – Vol. 5, No. 53. – P. 104-112.
7. **Budyko M.I.** Isparenie v estestvennyh usloviyah. – L.: Gidrometeizdat, 1948. – 136 s.
8. **Senchukov G.A., Novikova I.V.** Summarnoe vodopotreblenie i urozhajnost selskohozyajstvennyh kultur // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii. – 2015. – № 4(20). – S. 108-119
9. **Mustafayev Zh.S., Ryabtsev A.D.** Adaptivno-landshaftnye melioratsii zemel v Kazakhstane. – Taraz: 2012. – 528 s.
10. **Danilchenko N.V., Popykin A.P.** Metodicheskie ukazaniya po raschetu rezhima orosheniya selskohozyajstvennyh kultur v Kazakhstane // Vestnik nauchno-tehnicheskoy i proizvodstvennoj informatsii. – Alma-Ata, 1969. – № 5 (9). – 78 s.
11. Orositelnye normy selskohozyajstvennyh kultur v Kazakhstane (rekomentatsii). – Dzhambul: KazNIIVH, 1981. – 80 s.
12. **Ibatullin S.R., Kvan R.A., Paramonov A.I., Balgabaev N.N.** Normirovanie orosheniya v vodohozaystvennyh bassejnah Kazakhstana. – Taraz, 2008. – 122 s.
13. **Ruziev M.T., Prikhodko V.G.** Otsenka perspektiv ustojchivogo razvitiya gosudarstv bassejna Aral'skogo morya s pomoshchyu modelnyh raschetov // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 2002. – № 1. – S. 54-56.
14. **Mustafayev Zh.S.** E'kologicheskoe obosnovanie melioratsii selskohozyajstvennyh zemel. – LAPLAMBERN, Academic Publishing, 2016. – 378 s.

Criteria of Authorship

Mustafayev Zh.S. performed theoretical and experimental research, on the basis of which he conducted a generalization and wrote the manuscript.

The article was submitted to the editorial office 15.08.2022

Approved after reviewing 18.10.2022

Accepted for publication 25.10.2022