

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-139-154.32>

МРНТИ 68.29.05

УДК 556.5

Г. Е. Монкаева

Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
gulsara.monkayeva@mail.ru)

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ИСПАРЕНИЕ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ИЛЕ-БАЛКАШСКОМ БАССЕЙНЕ

Аннотация. На примере Иле-Балкашского бассейна рассмотрены изменения испарения с водной поверхности за последние 40 лет, а также основных метеорологических элементов, которые влияют на испарение. Выполнена оценка изменений испарения с водной поверхности за 1996-2020 гг. по отношению к предшествующему периоду 1980-1995 гг. За последние 20 лет на многих равнинных станциях Иле-Балкашского бассейна отмечается незначительное увеличение испарения, и оно составляет примерно 1-10 %. А в горных районах и вблизи крупных акваторий, таких, как оз. Балкаш и оз. Улкен Алматы, наблюдается уменьшение испарения примерно на 2-9 %. Проведен анализ основных факторов, влияющих на изменение величин испарения с водной поверхности. Сделан вывод, что увеличение испарения с водной поверхности на равнинных станциях бассейна в основном связано с ростом температуры воздуха и некоторым повышением количества осадков, а сокращение испарения в горной местности и вблизи акватории вызвано падением средней скорости ветра и незначительным увеличением влажности воздуха. Исследование может помочь в поддержке принятия решений в отрасли сельского хозяйства и водных ресурсов, так как испарение с водной поверхности участвует во многих гидрологических, климатических и гидродинамических моделях. Полученные результаты могут быть использованы во многих научных расчетах.

Ключевые слова: изменения климата, испарение с водной поверхности, влияние метеорологических факторов, климатические индексы.

Введение. В результате изменения глобального климата происходят изменения в характеристиках регионального климата [1], поэтому изучение изменений в распределении водных ресурсов какого-либо региона или страны стало актуальной задачей. Для расчета водных ресурсов необходимо иметь не только данные поверхностного, подземного стока, но и величину испарения [2]. Испарение – процесс фазового перехода вещества из жидкого (или твердого) состояния в газообразное. Оно может происходить с разных видов поверхностей: океанов, морей и водоемов, с поверхности почвы (суши) и растений (транспирация), со снежного и ледового покровов и других поверхностей [3]. Таким образом, испарение участвует в процессе круговорота воды в природе. Вследствие климатических изменений и повышения глобальной температуры приземного воздуха [4] наблюдаются изменения и в скорости испарения [5], что может привести к определенным последствиям.

Испарение в Казахстане в основном определяется на станциях национальной гидрометеорологической службы Казгидромета с помощью испарительного прибора ГГИ-3000 с испарительной площадью 3000 см² и высотой 60 см [6]. Количество испарения с водной поверхности нужно для решения многих научных и практических вопросов, связанных с использованием водных ресурсов страны. Данные испарения применяются в различных гидрологических, гидродинамических и климатических моделях, поэтому изучение методов расчета испарения является одной из важных и нужных задач. В связи с осушением Аральского моря [7] и появившимися проблемами многие поднимают вопрос о том, что ожидает озеро Балкаш, поэтому исследование изменения испарения с водной поверхности в Иле-Балкашском бассейне в современных условиях очень актуально. Кроме того, исследуемый бассейн расположен в экономически важном регионе страны.

Цели и задачи исследования: изучение влияния основных климатических элементов на испарение с водной поверхности для выявления современных изменений в количестве испарения.

Объектом исследования является Иле-Балкашский бассейн (рисунок 1), который является экологически, экономически и стратегически значимой территорией для Казахстана. В бассейне располагается одно из самых крупных озер в стране – Балкаш, а также находятся семь основных рек (Иле, Каратал, Биен, Аксу, Лепси, Баскан, Сарканд), подпитывающие это озеро [8]. В регион исследования входят несколько областей Казахстана: Алматинская, Жетысуская, юго-восточная часть Карагандинской области и восточная часть Жамбылской области, а также г. Алматы, который является одним из культурных и финансово-экономических центров республики [9].



Рисунок 1 – Карта-схема Иле-Балкашского бассейна

Figure 1 – Map-scheme of the Ile-Balkash basin

Балкаш – второе по величине озеро после Каспийского моря на территории Казахстана [10]. Оно является на половину солоноватым и пресноводным, имеет флору и фауну, которые вследствие антропогенных и климатических воздействий за последние годы претерпевают изменения [11].

Иле-Балкашский бассейн является внутриконтинентальным, имеет значительные размеры, орографическая и климатическая неоднородность его обуславливает большое разнообразие природных условий [12].

Материалы и методы исследования. В Казахстане со времен Советского Союза располагались 53 станции по наблюдению за испарением с поверхности воды, режимные наблюдения которых охватывали период с 1960-х до 1996 годов и измеряли испарение в каждую декаду и месяц теплого периода, в холодное время наблюдения не велись. В работе применены данные наблюдений 12 метеорологических станций. В таблице 1 представлены основные сведения о метеорологических станциях (МС), оборудованных приборами ГГИ-3000. Многие наблюдения велись еще с 1961 года, но некоторые станции начали проводить наблюдения с 1970 г. В связи с тем, что в данных наблюдательной сети до 80-х годов были пропуски и неодинаковый период наблюдений, базовый период наблюдений был определен с 1980 по 1995 г., так как в эти годы данные наблюдений на многих станциях были наиболее полными, а последующий период оценки соответственно выбран с 1996 по 2020 г.

Таблица 1 – Основные сведения о метеорологических станциях с приборами ГГИ-3000 в Иле-Балкашском бассейне
 Table 1 – Basic information on meteorological stations with GHI-3000 instruments in the Ile-Balkash basin

№ п/п	Станция	Долгота	Широта	Высота	Период наблюдений
1	Капшагай	77°03'	43°51'	496	1980-2010
2	Озеро Улькен Алматы	76°59'	43°04'	2516	1980-1995
3	Шелек	78°18'	43°36'	606	1986-1996
4	Мынжылкы	77°05'	43°05'	3017	1980-1993
5	Карашоқы	78°00'	43°54'	492	1981-1997
6	Жаркент	80°03'	44°10'	643	1980-1995
7	Айдарлы	75°49'	44°11'	498	1980-1996
8	Уштобе	78°00'	45°16'	421	1980-2017
9	Сарканд	79°56'	45°25'	764	1980-2017
10	Актогай (бас. р. Аягоз)	79°40'	46°56'	364	1980-1995
11	Балкаш	75°03'	46°48'	350	1980-2017
12	Чиганак	73°54'	45°06'	349	1980-1995

Испарение с водной поверхности можно оценить с использованием многих методов. В работе применялись инструментальный (с испарительных установок ГГИ-3000) и эмпирические методы. В связи со спецификой методики наблюдения за испарением с водной поверхности (нет наблюдений в холодный период) многие ученые проводили исследования только за безледоставный период, что имеет некую неопределенность. Для расчета среднего многолетнего значения испарения необходимы ряды и в холодный период, поэтому нами осуществлялось восстановление испарения за холодный период и отдельно за теплый [13].

Следует отметить, что в работе используются фактические данные с испарителя ГГИ-3000, которые установлены в грунте, следовательно, наблюдаемые значения будут считаться испаряемостью с общей площади всего Иле-Балкашского бассейна.

Восстановление проводилось при помощи уравнения множественной регрессии, которое составлено на основе данных ГГИ-3000 за все годы с наиболее коррелируемыми элементами с испарением с водной поверхности: x_1 – температура воздуха и x_2 – относительная влажность воздуха с использованием данных за весь период наблюдений по всем станциям. Но, помимо этого, в ходе изучения различных методик по определению испарения были проведены расчеты пропусков наблюдений за испарением в теплом периоде такими методами, как уравнения Н. Н. Иванова и обобщенная формула ГГИ (Б. Д. Зайкова) [6]. Выявлены средние погрешности методов расчета испарения в сравнении с уравнением множественной регрессии, согласно которым уравнение Н. Н. Иванова незначительно завышает данные ГГИ-3000, а результаты по обобщенной формуле ГГИ сопоставимы с данными испарительного бассейна 20 м².

В связи с тем, что условия орографии оказывают влияние на многие метеорологические элементы, а температура воздуха – это основной элемент, от которого зависит испарение с водной поверхности, следовательно, зная, что в горной местности распределение температуры по высотам иначе, чем на равнинной местности, уравнения множественной регрессии на равнинной территории могут быть не применимы. Экспозиция склонов и атмосферное давление, а также скорости ветра оказывают влияние на испарение, поэтому горные станции восстанавливались уравнением Литовченко А. Ф., Мазур Л. П. [14], а не уравнением регрессии:

$$E_{0 \text{ мес}} = \frac{a \cdot 1,07^t}{0,001 \cdot P}, \quad (1)$$

где a – параметр, зависящий от экспозиции склона (принята средняя величина 39,2); t – средняя месячная температура воздуха, °C; P – атмосферное давление, мб.

Испарение в холодном периоде рассчитывалось (с отрицательными средними многолетними месячными температурами воздуха) по методу П. П. Кузьмина [15], который выбран согласно указаниям определения испарения с площади речных водосборов и с поверхности суши:

$$E_a = 0,34 \cdot n \cdot d, \quad (2)$$

где E_a – количество испарения за месяц, мм; 0,34 – коэффициент; n – число дней в месяце; d – средние суточные значения дефицита влажности воздуха для конкретного месяца, мб.

Коэффициент 0,34 является некоторым средним, на самом деле он варьирует по площади территории. Эта формула позволяла рассчитывать средние месячные значения испарения по среднемесячным значениям основных метеозлементов, от которых зависело испарение [16]. Проверить погрешности восстановления по формуле П. П. Кузьмина в холодный период невозможно в связи с отсутствием фактических данных измерений в холодный период. Необходимо отметить, что количество испарения в холодный период года (ноябрь-март) незначительное (не более 10 %) от годовой суммы испарения. В таблице 2 представлены формулы восстановления, погрешности метода и восстановленные пропуски.

Таблица 2 – Методы и погрешности восстановления данных за теплый и холодный периоды

Table 2 – Methods and errors of data recovery for warm and cold periods.

№ п/п	Станция	Холодный период				Теплый период			
		Метод восстановления	Формула восстановления	Погрешность метода, %	Восстановленные годы, месяцы	Метод восстановления	Формула восстановления	Погрешность метода, %	Восстановленные годы, месяцы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Капшагай	П. П. Кузьмина	$E_a = 0,34 \cdot n \cdot d$	5 – 10	1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Уравнение множественной регрессии	$7,42 \cdot x_1 - 1,048 \cdot x_2 + 68,43$	10	1980 (IV), 1984-1985 (IV), 1992-1995 (IV), 1999-2020 (IV-X)
2	Оз. Улкен Алматы				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Литовченко А.Ф., Мазур Л.П.	$E_{0 \text{ мес}} = \frac{a \cdot 1,07^t}{0,001 \cdot P}$	23	1980-1995 (IV, V), 1980-1989 (VI), 1992-1995 (VI), 1983 (VII-X), 1989 (X), 1991 (X), 1998-2020 (IV-X)
3	Шелек				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Уравнение множественной регрессии	$8,38 \cdot x_1 - 0,87 \cdot x_2 + 71,60$	14	1980-1986 (IV-VI), 1980-1985 (VII-X), 1990-1991 (X), 1997-2020 (IV-X)
4	Мынжылы				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Литовченко А.Ф., Мазур Л.П.	$E_{0 \text{ мес}} = \frac{35 \cdot 1,07^t}{0,001 \cdot P}$	14	1980-1995 (IV, V, X), 1980-1983 (VI), 1985 (VI), 1987-1989 (VI), 1992-1995 (VI), 1980 (VII), 1994-1995 (VII-X), 1980-1990 (IX), 1993 (IX), 1996-2020 (IV-X)
5	Карашоқы				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Уравнение множественной регрессии	$7,47 \cdot x_1 - 1,79 \cdot x_2 + 149,68$	11	1980 (IV-X), 1984-1985 (IV), 1988-1991 (IV), 1989-1991 (IV-X), 1984 (X), 1992-1995 (X), 1998-2020 (IV-X)

Окончание таблицы 2									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Жаркент	П. П. Кузьмина	$E_a = 0,34 \cdot n \cdot d$	5 – 10	1980-2020 (I, II, III, XI, XII)	Уравнение множественной регрессии	$8,64 \cdot x_1 - 1,83 \cdot x_2 + 117,4$	11	1987 (IV), 1984 (IX, X), 1992-1993 (IV-IX), 1992 (X), 1994-1995 (X), 1994 (IX), 1997-2020 (IV- X)
7	Айдарлы				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$9,30 \cdot x_1 - 2,12 \cdot x_2 + 132,2$	15	1988 (IV), 1993 (IV, X), 1997-2020 (IV- X)
8	Уштобе				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$3,44 \cdot x_1 - 2,32 \cdot x_2 + 186,61$	12	1986-1988 (IV), 1986 (X), 1997-2007 (IV- X), 1998 (IV- V), 2018-2020 (IV- X)
9	Сарканд				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$5,63 \cdot x_1 - 2,42 \cdot x_2 + 158,14$	16	1980-1982 (IV), 1984-1988 (IV), 1990(IV), 1993-1994 (IV), 1981 (V), 1984 (V), 1984 (IX), 1985 (X), 1990 (X), 1997-1999 (IV-X), 2004(IV- X), 2007 (IV- X), 2000-2003 (IV), 2005-2006(IV), 2008 (IV), 2010-2015 (IV), 2018-2020 (IV- X)
10	Актогай (бассейн р. Аягоз)				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$6,88 \cdot x_1 - 0,66 \cdot x_2 + 48,75$	15	1980-1995 (IV), 1981 (V), 1985-1987 (X), 1990-1992 (IV-X), 1995 (IV-X), 1993-1994 (X), 1995-2006 (IV- X), 2018-2020 (IV- X), 2007-2017 (IV, X)
11	Балкаш				1980-2020 (I, II, III, XI, XII)		$8,12 \cdot x_1 - 2,69 \cdot x_2 + 218,39$	10	1980-1986 (IV), 1988 (IV), 1993 (IV, V), 1986 (X), 1992 (X)
12	Чиганак				1980-1995 (I, II, III, XI, XII)		Не восстанавливалась	Не восстанавливалась	Не восстанавливалась

* x_1 – температура воздуха; x_2 – относительная влажность воздуха.

На многих станциях, где велись наблюдения за испарением в Казахстане еще со времен Советского Союза, из-за финансовых трудностей Казгидромет был вынужден сократить свои наблюдательные пункты. Начиная с 1996 г. по настоящее время из 12 МС в Иле-Балкашском бассейне наблюдение за испарением осталось только на 4 станциях: Уштобе, Сарканд, Карашоки, Капшагай. В связи с этим по многим станциям данные с 1996 по 2020 г. в теплый период восстанавливались по выявленным уравнениям множественной регрессии (см. таблицу 2).

Согласно работе [17] о наблюдении с испарителей ГГИ-3000 выявлено, что данные этих испарителей завышены относительно реальных значений испарения в природе. В связи с этим проведены сравнения данных наблюдений по двум приборам, установленных на станции Капшагай (рисунок 2), согласно которым данные ГГИ-3000 завышены относительно данных с испаромера 20 м².

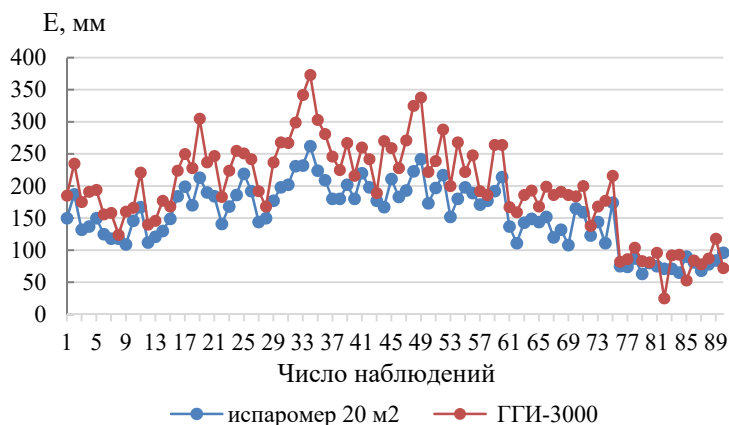


Рисунок 2 – Сравнение данных испарения с водной поверхности по прибору ГГИ-3000 с данными испарителя бассейна площадью 20 м²

Figure 2 – Comparison of evaporation data from the water surface using the GGI-3000 instrument with data from the evaporator of a 20 m² swimming pool

Так как считается что близкими к реальным значениям испарения с водной поверхности являются данные с испарительного бассейна площадью 20 м², проведен пересчет данных с ГГИ-3000 к испаромеру с бассейна площадью 20 м².

В связи с тем, что на многих станциях не велись параллельные наблюдения с двух испарителей, прибегли к данным российских ученых [18]. Согласно им средняя величина отношения E₂₀/E составила для континентальных станций 0,75, а для береговых и островных – 0,82. К сожалению, современных отношений E₂₀/E на территории Казахстана не имеется. В связи с редкой сетью испарительных приборов и малым количеством параллельных наблюдений эта проблема актуальна для многих стран СНГ.

Нужно иметь в виду, что использованные пересчетные коэффициенты могут не соответствовать территории Казахстана, так как они рассчитываются с учетом широты и рельефа местности, а также изменчивости метеорологических параметров.

В таблице 3 представлены результаты средних многолетних значений испарения с водной поверхности за период 1980-1995 гг., приведенные к данным испарительного бассейна 20 м². На исследуемой территории поправка 0,82 не применялась, так как крупных акваторий кроме озера Балкаш не имеется.

Таблица 3 – Среднее многолетнее годовое количество испарения с водной поверхности, приведенное к испарительному бассейну 20 м² за период 1980-1995 гг.

Table 3 – Mean multiyear annual evapotranspiration from the water surface applied to a 20 m² evaporation basin for the period 1980-1995

№ п/п	Метеорологическая станция	Испарение по ГГИ-3000, мм	Коэффициент поправки	Испарение с испарительного бассейна площадью 20 м ² , мм
1	Капшагай			1119
2	Озеро Улкен Алматы	608	0,75	456
3	Шелек	1412	0,75	1059
4	Мынжылкы	529	0,75	397
5	Карашоқы	1517	0,75	1138
6	Жаркент	1395	0,75	1046
7	Айдарлы	1471	0,75	1103
8	Уштобе	967	0,75	725
9	Сарканд	943	0,75	707
10	Актогай (бас. р. Аягоз)	989	0,75	742
11	Балкаш	1558	0,72	1122
12	Чиганак	1542	0,71	1095

Для МС Балкаш и Чиганак применялись поправки 0,71 и 0,72 согласно работе [19].

В таблице 4 приведены коэффициенты корреляции, полученные по этим данным, между E и некоторыми метеорологическими элементами (E – испарение с водной поверхности, t – температура воздуха, f – относительная влажность воздуха, r – атмосферные осадки, v – скорость ветра, p – атмосферное давление).

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции испарения с водной поверхности с метеорологическими элементами
Table 4 – Correlation coefficients of evaporation from water surface with meteorological elements

	t	f	r	v	p
E	0,8	0,6	0,5	0,4	0,8

Согласно корреляционным связям выявили связь испарения с другими метеорологическими элементами, и в регрессионном анализе применяли только два элемента: температуру и относительную влажность воздуха, у которых корреляционная связь выше 0,6. Атмосферное давление имеет высокий коэффициент корреляции, так как испарение взаимосвязано с давлением водяного пара в атмосфере. К сожалению, из-за недостаточности данных по давлению водяного пара в сравнении этот параметр не применялся.

Для выявления изменений в слое испарения изначально были рассмотрены климатические условия в Иле-Балкашском бассейне.

Известно, что испарение с водной поверхности зависит от многих метеорологических элементов. Но среди них особое место занимают температура и влажность воздуха. При прочих равных условиях испарение увеличивается при росте температуры воздуха и уменьшении влажности воздуха. В качестве примера на рисунке 3 представлена связь среднемесячных значений испарения с водной поверхности с температурой и влажностью воздуха за теплый период года на станции Жаркент.

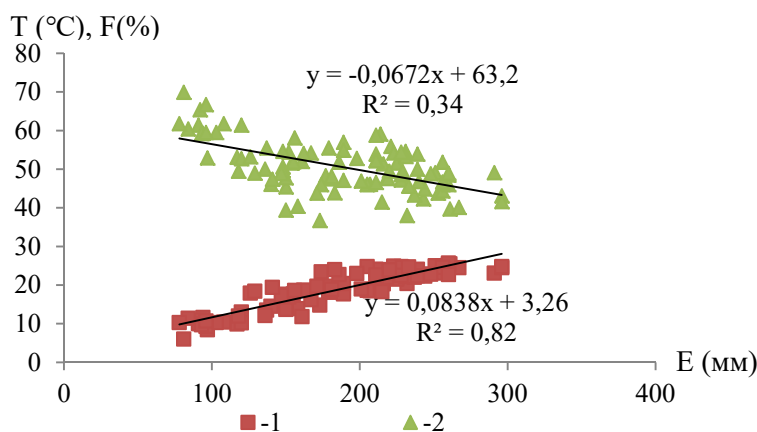


Рисунок 3 – Связь среднемесячных значений испарения с температурой (1) и влажностью (2) воздуха за теплый период года на МС Жаркент

Figure 3 – Correlation of monthly evaporation averages with air temperature (1) and humidity (2) for the warm period of the year at the MS Zharkent

Расчеты показали, что коэффициент детерминации среднемесячного испарения на МС Жаркент составляет 0,82, что показывает высокую долю (роль) температуры воздуха в испарении с водной поверхности. Доля влажности воздуха составляет 0,34. Итак, вначале рассмотрим связь испарения с температурой воздуха как ключевого фактора в процессе испарения. На рисунке 4 показана связь между среднегодовым значением испарения и средней температурой воздуха за теплый период года. Средняя температура за теплый период рассматривается не случайно, так как не менее 90 % испарения приходится на это время.

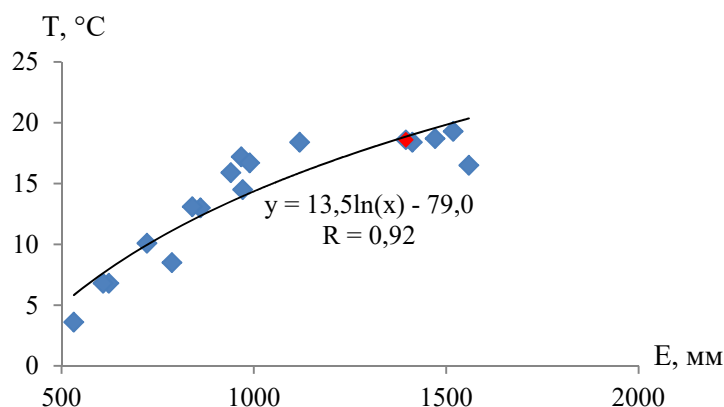


Рисунок 4 – Связь между испарением с водной поверхностью и температурой воздуха за теплый период года на МС Жаркент

Figure 4 – Relationship between evaporation from the water surface and air temperature for the warm period of the year at the Zharkent MS

Из рисунка 4 видно, что связь между испарением и температурой воздуха высокая, а коэффициент корреляции составляет 0,92. Кроме того, данные по испарению на МС Жаркент (на рисунке – красный ромб) вполне согласуются с термическими условиями местности и не противоречат полученным зависимостям по другим метеостанциям Казахстана, на которых проводились измерения испарения с помощью прибора ГГИ-3000.

Результаты и их обсуждение. Наиболее часто при объяснении изменения в климате используют характеристики линейного тренда и приводят изменения характеристик температуры воздуха с использованием коэффициентов линейного тренда и детерминации, которые дают важную информацию о долгосрочных изменениях температуры и степени их объяснимости. Коэффициент линейного тренда показывает скорость изменения температуры воздуха с течением времени. Это значение показывает, насколько средняя температура изменяется (повышается или понижается) за единицу времени (например, за год). Мера существенности тренда – коэффициент детерминации (D) характеризует вклад трендовой составляющей в полную дисперсию климатической переменной за рассматриваемый период времени (в процентах).

В таблице 5 представлены характеристики линейного тренда аномалии температуры приземного воздуха, осреднённые по Жетысу, Алматинской, Карагандинской, Жамбылской областям за 1976–2022 гг.

Таблица 5 – Характеристики линейного тренда аномалии температуры приземного воздуха, осреднённые по территории некоторых областей за период 1976–2022 гг. [20].

Table 5 – Characteristics of the linear trend of the surface air temperature anomaly averaged over the territory of some regions for the period 1976–2022 [20]

Регион / область	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	а	D	а	D	а	D	а	D	а	D
Алматинская	0,32	36	0,27	4	0,66	37	0,24	24	0,14	3
Жетысу	0,27	24	0,19	2	0,64	32	0,21	20	0,09	1
Жамбылская	0,31	29	0,32	4	0,65	34	0,22	20	0,11	1
Карагандинская	0,21	11	0,12	1	0,70	29	0,01	0	0,05	0

Примечания: а – коэффициент линейного тренда, °C/10 лет; D – коэффициент детерминации, %; «жирным» шрифтом выделены статистически значимые тенденции на 5 % уровне.

Положительный коэффициент указывает на увеличение температуры с течением времени, а отрицательный – на ее понижение. Например, коэффициент 0,32 в Алматинской области означает, что температура увеличивается на 0,32°C/10 лет. Коэффициент детерминации, который вносит вклад трендовой составляющей в полную дисперсию в характеристиках температуры, показывает,

что весной и летом среди рассматриваемых областей наблюдаются статистически значимое увеличение. Среди всех этих областей в годовых и сезонных величинах изменение температуры интенсивнее в Алматинской области.

В таблице 6 представлены характеристики линейного тренда аномалии сезонных и годовых сумм осадков, которые предоставляют важную информацию о долгосрочных изменениях в количестве осадков в Иле-Балкашском бассейне.

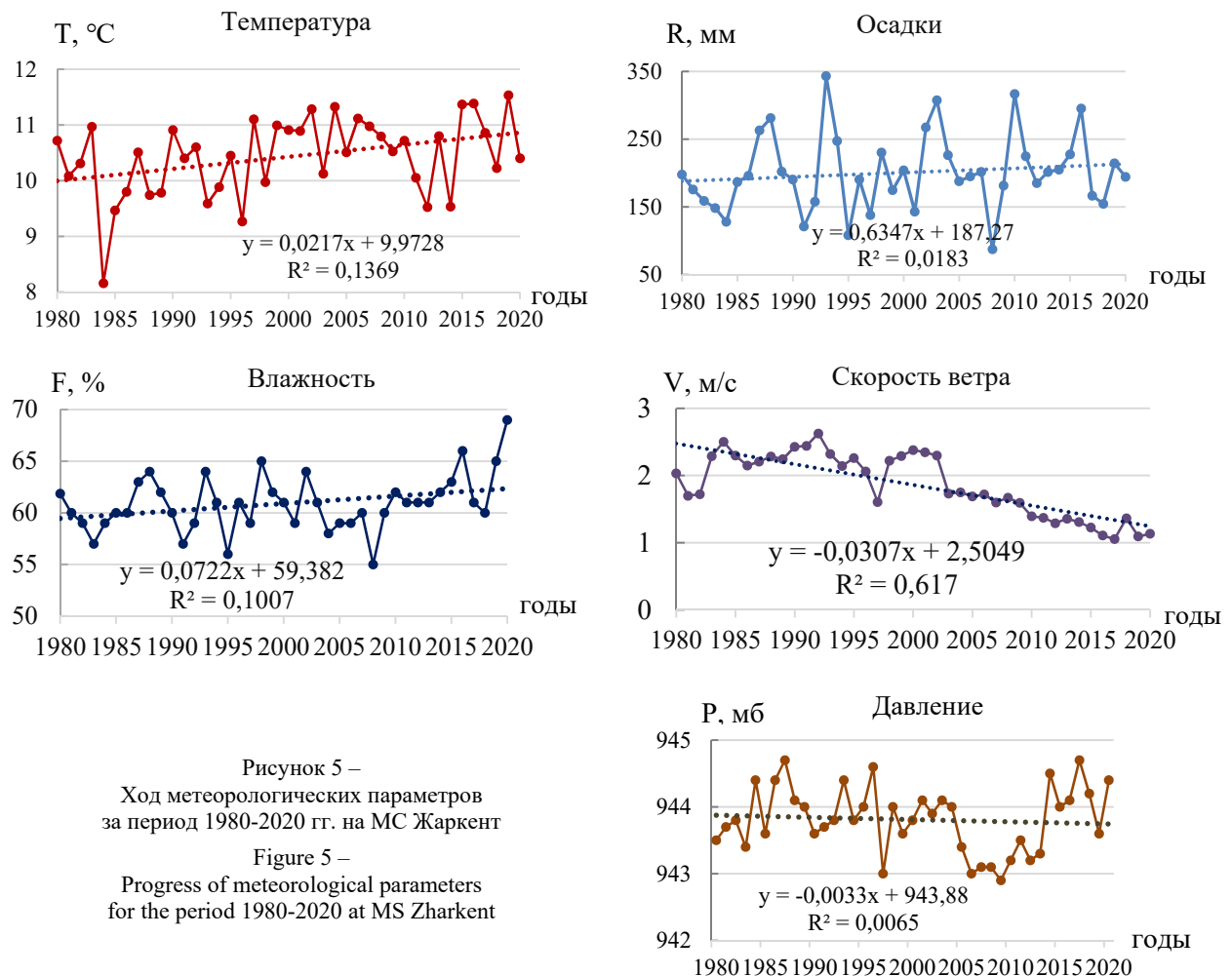
Таблица 6 – Характеристики линейного тренда аномалии сезонных и годовых сумм атмосферных осадков, осреднённых по территории некоторых областей за период 1976–2022 гг. [20]

Table 6 – Characteristics of the linear trend of the anomaly of seasonal and annual totals of atmospheric precipitation averaged over the territory of some regions for the period 1976–2022

Регион / область	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	a	D	a	D	a	D	a	D	a	D
Алматинская	0,5	0	2,6	1	0,9	0	-0,5	0	0,5	0
Жетысу	1,2	1	4,8	3	3,1	2	-0,3	1	-1,9	1
Жамбылская	-1,4	1	-0,8	0	-0,6	0	1,8	2	-3,7	2
Карагандинская	0,1	0	0,1	0	-0,7	0	4,2	4	-4,5	4

Примечания: a – коэффициент линейного тренда, нормы/10 лет; D – коэффициент детерминации, %.

Коэффициент линейного тренда для годовых сумм осадков в области Жетысу составляет 1,2 нормы/10лет.



В Жетысуской области для сезонных аномалий осадков в зимний и весенний сезоны коэффициенты линейного тренда составляют 4,8 и 3,1 нормы /10 лет соответственно. В эти сезоны наблюдается большее изменение, чем в другие. В Карагандинской области изменения отмечаются летом (4,2 нормы /10 лет) и осенью (-4,5 нормы /10 лет), что подтверждает коэффициент детерминации, который колеблется от 0 до 4 % нормы/10 лет.

На рисунке 5 в качестве примера представлены тенденции хода основных метеорологических параметров на станции Жаркент.

Из рисунка 5 можно заметить, что на МС Жаркент наблюдается увеличение температуры воздуха, уменьшение скорости ветра, осадки и давление не имеют четкой тенденции в росте, влажность незначительно повышается в последние десятилетия.

По другим равнинным станциям прослеживается схожая ситуация, лишь в горной местности уменьшается скорость ветра и отмечается выпадение осадков. Подробнее современные изменения в Иле-Балкашском бассейне по метеопараметрам представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Современные изменения в климатических параметрах Иле-Балкашского бассейна
Table 7 – Modern changes in climatic parameters of the Ile-Balkash basin

№ п/п	Станция	Температура, °С		Изменение, °С	Осадки, мм		Изменение, мм	Влажность, %		Изменение, %
		1961-1990	1991-2020		1961-1990	1991-2020		1961-1990	1991-2020	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Актогай	6	6,9	0,9	196	191	-5	54	56	2
2	Уштобе	7,4	8,3	1,0	267	287	21	62	62	-0,5
3	Балкаш	5,7	6,5	0,8	134	141	7	61	62	1,0
4	Сарканд	7,7	8,2	0,5	38	42	5	59	60	1,0
5	Айдарлы	9,5	10,4	0,9	229	245	16	56	58	2,0
6	Жаркент	9,6	10,6	1,0	183	203	20	60	61	0,6
7	Шелек	9,9	10,9	1,0	258	264	6	58	58	-0,2
8	Карашоқы	10,9	11,5	0,6	223	247	24	62	62	0,5
9	Капшагай	9,6	10,2	0,6	255	303	48	60	63	3
10	Оз. Улкен Алматы	1,4	2	0,6	650	665	15	58	60	2
11	Мынжылқы	-1,8	-1	0,8	873	870	-3	56	59	3

Окончание таблицы 7
And of table 7

№ п/п	Станция	Скорость ветра, м/с		Изменение, м/с	Атмосферное давление, гПа		Изменение, гПа
		1961-1990	1991-2020		1961-1990	1991-2020	
1	2	12	13	14	15	16	17
1	Актогай	2,2	2,2	0,0			
2	Уштобе	1,9	1,6	-0,3	968,6	968,3	-0,2
3	Балкаш	4,4	4,1	-0,3	978,3	978,2	-0,1
4	Сарканд	1,1	0,9	-0,2	930	930,4	0,4
5	Айдарлы	2,9	2,3	-0,6	960	960	0,0
6	Жаркент	2,2	1,5	-0,7	942,9	943,7	0,8
7	Шелек	2,4	1,3	-1,1	947,5	947,6	0,1
8	Карашоқы	4,9	4,4	-0,5	960,3	960,4	0,1
9	Капшагай	2,7	1,9	-0,8	960,3	960,7	0,4
10	Оз. Улкен Алматы	1,6	1,8	0,2	752,1	752,6	0,5
11	Мынжылқы	1,5	1,3	-0,2	706,4	706,9	0,5

Согласно таблице 7 наблюдаются повсеместное увеличение температуры на всех станциях бассейна, изменение во влажности и в давлении не отмечается, скорости ветра почти на всех станциях уменьшаются, осадки на многих равнинных станциях возросли, но их увеличение малозначительно. Лишь на станциях Актогай и Мынжылкы осадки имеют отрицательный знак, то есть наблюдается сокращение осадков на 5 и 3 мм соответственно.

В ходе работы рассчитаны некоторые отобранные климатические индексы, рекомендованные Глобальной рамочной основой климатического обслуживания (ГРОКО), которые могут влиять на испарение с водной поверхности и помочь в поддержке принятия решений в отрасли сельского хозяйства и водных ресурсов [20].

На рисунках 6-8 представлены карты-схемы пространственного распределения индексов: TXx (суточная максимальная температура воздуха), Rx1day (максимальная суточная сумма осадков), CDD (максимальная продолжительность бездождного периода).

На рисунке 6 показано пространственное распределение коэффициента линейного тренда суточной максимальной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), рассчитанного за период 1961-2020 гг.

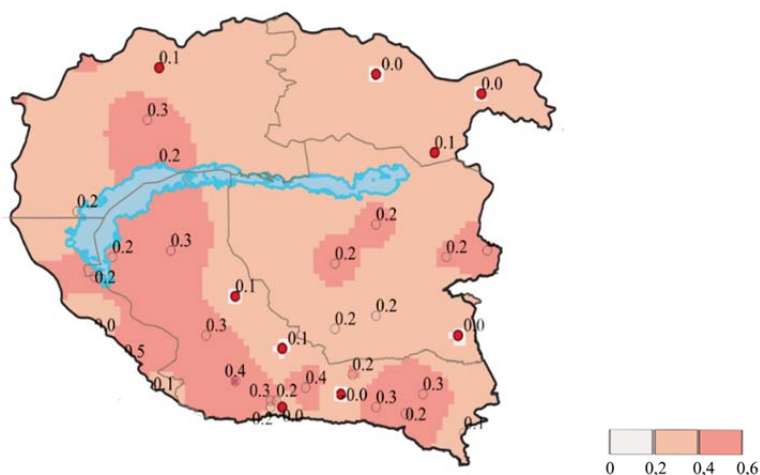


Рисунок 6 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда суточной максимальной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), рассчитанного за период 1961–2020 гг. (индекс TXx)

Figure 6 – Spatial distribution of the linear trend coefficient of daily maximum air temperature ($^{\circ}\text{C}/10$ years) calculated for the period 1961–2020 (TXx index)

Суточная максимальная температура воздуха оказывает значительное влияние на различные секторы экономики, к примеру на сельское хозяйство, водные ресурсы, энергетику и т.д. Высокие дневные температуры могут повлиять на рост растений, их урожайность и качество. Экстремальные температуры могут вызвать тепловой стресс у растений, снизить урожай и повысить потребность в воде для орошения. Повышенные температуры увеличивают испарение с водных поверхностей, что снижает запасы воды в реках, озерах и водохранилищах. Это особенно критично для регионов с ограниченными водными ресурсами и повышает затраты на водоснабжение [21].

Темпы изменения максимальной суточной температурой воздуха в Иле-Балкашском бассейне колеблются от 0,2 до 0,6 $^{\circ}\text{C}/10$ лет. В целом в основном выше 0,4 $^{\circ}\text{C}/10$ лет наблюдаются на станциях Алматинской и Карагандинской областей.

Следующий важный климатический индекс, который был рассчитан, это максимальная суточная сумма осадков (см. рисунок 7, а) за период 1961-2020 гг. Количество осадков напрямую влияет на увлажнение почвы, необходимое для роста сельскохозяйственных культур. Недостаток осадков может вызвать засуху, а избыточные осадки могут привести к затоплению и эрозии почвы. Осадки пополняют водные ресурсы, необходимые для водоснабжения населенных пунктов, промышленности и сельского хозяйства.

Максимальные суточные количества осадков в году за последние 60 лет в Иле-Балкашском бассейне не имеют значительных изменений, лишь на некоторых станциях эти изменения значимы. Таким образом, скорость изменения Rx1day колеблется от -1,5 до 1,5 мм/10 лет, статистически значимое увеличение на станциях выделено красным цветом.

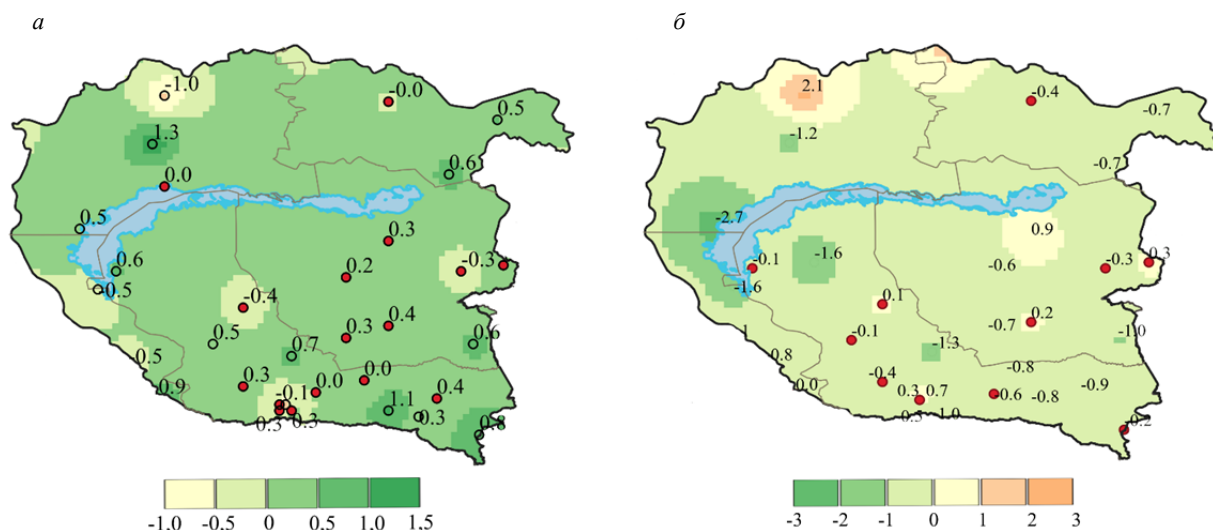


Рисунок 7 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда за период 1961-2020 гг.:

a – максимального суточного количества осадков (индекс Rx1day) в году; мм/10 лет;
b – максимальной продолжительности бездождного периода (индекс CDD); дни/10 лет

Figure 7 – Spatial distribution of the linear trend coefficient calculated for the period 1961-2020:

a – maximum values of daily precipitation per year (Rx1day index); mm/10 years;
b – maximum duration of the rain-free period (CDD index); days/10 years

Важным является индекс CDD (максимальная продолжительность бездождного периода, когда суточное количество осадков составляло менее 1 мм). На рисунке 7, *b* представлено пространственное распределение коэффициента линейного тренда максимальной продолжительности бездождного периода (дни/10 лет), рассчитанного за период 1961-2020 гг. Статистически значимое увеличение на 5%-м уровне на станциях выделено красным цветом.

Длительные сухие периоды могут привести к дефициту влаги в почве, что негативно сказывается на росте сельскохозяйственных культур, снижает урожайность и может привести к гибели растений. Продолжительные сухие периоды снижают уровни рек, озер и водохранилищ, что создает дефицит воды для питьевых нужд, сельского хозяйства и промышленности. Снижение уровня воды в водохранилищах и реках уменьшает возможности производства гидроэнергии. Продолжительные сухие периоды увеличивают риск лесных и степных пожаров, что наносит ущерб экосистемам и биоразнообразию. Водные ресурсы часто используются для охлаждения оборудования и чистки производственных линий. Дефицит воды может повысить издержки и снизить эффективность производства [21].

Согласно рисунку 7, *b* коэффициенты линейного тренда бездождного периода колеблются от -3 до 2 дней каждые 10 лет. В основном по всей исследуемой территории изменения не превышают 1-го дня. Лишь на станции Сарышаган наблюдается сокращение бездождного периода примерно на 3 дня и, наоборот, увеличение бездождного периода отмечается на станции Актогай Карагандинской области.

Для выявления современных изменений в количестве испарения с водной поверхности проведена оценка динамики испарения. На рисунке 8 представлены примеры по некоторым станциям за период 1980-2020 гг. В таблице 8 приведено сравнение средних многолетних значений испарения с водной поверхности за периоды 1996-2020 и 1980-1995 гг.

Согласно таблице 8 в слое испарения с водной поверхности в основном увеличиваются количество испарения на равнинных станциях Карашоқы, Айдарлы, Шелек, Капшагай, Сарканд, Актогай. В горной местности на станции Мынжылқы и вблизи акваторий, таких, как озера Балкаш и Улкен Алматы, наблюдаются незначительные уменьшения количества испарения с водной поверхности.

Среди 12 станций наблюдений за испарением МС Чиганак закрылась в 1996 г. В связи с этим данные наблюдений по этой станции по всем метеорологическим параметрам отсутствовали. Расчеты по этой станции были только до 1995 г., в связи с этим в таблицу 8 результаты этой станции не были включены.

Таблица 8 – Изменения в слое испарения с водной поверхности в Иле-Балкашском бассейне, мм
 Table 8 – Changes in evaporation layer from water surface in the Ile-Balkash basin, mm

№ п/п	Станция	1980-1995	1996-2020	Изменение, мм
1	Капшагай	1119	1161	42
2	Озеро Улкен Алматы	456	416	-40
3	Шелек	1059	1093	34
4	Мынжылкы	397	373	-24
5	Карашоқы	1138	1183	45
6	Жаркент	1046	1060	26
7	Айдарлы	1103	1218	115
8	Уштобе	725	733	8
9	Сарканд	707	744	37
10	Актогай (бассейн р. Аягыз)	742	787	45
11	Балкаш	1122	1100	-22

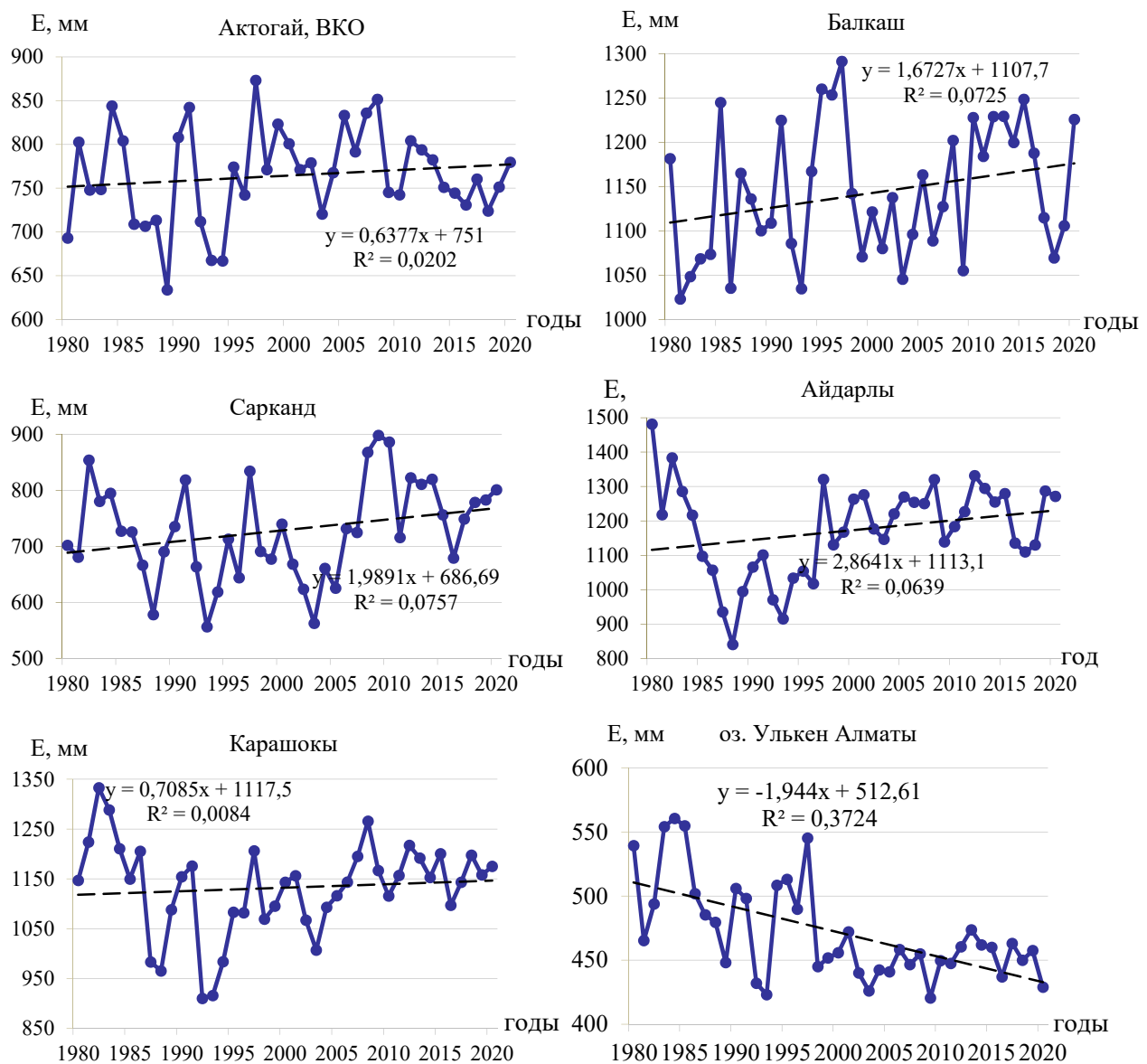


Рисунок 8 – Временной ход испарения с водной поверхности за 1980-2020 гг.

Figure 8 – Time course of evaporation from the water surface for 1980-2020

Из рисунка 8, следует, что тенденции в увеличении количества испарения наблюдаются в основном на равнинных станциях (Актогай, Карашоқы, Айдарлы, Шелек, Капшагай), а в предгорной местности на станциях (Уштобе, Сарканд, Жаркент) не прослеживается четкая тенденция роста испарения, на станциях Балкаш, Озеро Улькен Алматы и Мынжылки, наоборот, испарение снижается.

Выводы. За последние 40 лет (1980-2020 гг.) в Иле-Балкашском бассейне наблюдаются изменения в некоторых основных климатических параметрах:

- 1) повсеместное увеличение температуры на всех станциях от 0,5 до 1 °С;
- 2) повсеместное уменьшение скорости ветра почти на всех станциях от 0,2 до 1,1 м/с;
- 3) осадки на многих равнинных станциях возросли от 5 до 48 мм и лишь на станциях Актогай и Мынжылки они уменьшились на 5 и 3 мм соответственно;
- 4) изменения в атмосферном давлении не установлены;
- 5) изменения в относительной влажности воздуха не отмечаются.

Это еще раз доказывает, что такие метеорологические элементы, как атмосферное давление и относительная влажность воздуха, мало изменчивы год от году в связи с глобальными процессами круговорота влаги в атмосфере.

Установлено, что за последние 20 лет почти на многих равнинных станциях Иле-Балкашского бассейна отмечается незначительное увеличение испарения с водной поверхности, и оно составляет примерно 1-10 %, а в горных районах и вблизи акватории (станция Балкаш), испарение уменьшается примерно на 2-9 %. Можно сделать выводы, что незначительное увеличение испарения с водной поверхности на равнинных станциях в Иле-Балкашском бассейне в основном связано с ростом температуры воздуха и некоторым увеличением количества осадков, а уменьшение испарения в горной местности и вблизи акватории вызвано падением средней скорости ветра и незначительным повышением влажности воздуха.

Таким образом, необходимо осуществлять меры по адаптации к изменению климата в целях сокращения испарения с водной поверхности в Иле-Балкашском бассейне.

Благодарность. Автор выражает благодарность Региональному проекту USAID по водным ресурсам и окружающей среде за техническую и финансовую поддержку в рамках конкурса молодых ученых в странах Центральной Азии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.), 2023. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment, in: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
- [2] Hussien A. G., Hashim F. A., Qaddoura R., Abualigah L., Pop A. 2022. An enhanced evaporation rate water-cycle algorithm for global optimization. Processes 10, 2254.
- [3] Landau L. D., Akhiezer A. I., Lifshitz E. M., 1967. Chapter ix - phase transitions, in: Landau L.D., Akhiezer A.I., Lifshitz E.M. (Eds.), General Physics. Pergamon, Oxford, p. 197-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-009106-8.50012-1>
- [4] Brkić Ž., 2023. Increasing water temperature of the largest freshwater lake on the Mediterranean islands as an indicator of global warming. Heliyon 9, e19248. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19248>
- [5] Guan X., Liu C., Zhang J., Wang G., Bao Z., Jin J., 2022. On the attribution of changing water surface evaporation across China. Journal of Hydrology: Regional Studies 40, 100991. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100991>
- [6] Монкаева Г. Е. О методах расчета испарения с водной поверхности Иле-Балкашского водохозяйственного бассейна // Мат-лы Международной конференции «Мировые тенденции развития науки и техники: пути совершенствования». – М., 2022. – С. 313-317.
- [7] Bao A., Tao Y., Xu W., Lei J., Jiapaer G., Chen X., Komiljon T., Khabibullo S., Sagidullaevich X., Kamalatdin I., 2024. Ecological problems and ecological restoration zoning of the Aral Sea. Journal of Arid Land 16, p.1–16. <https://doi.org/10.1007/s40333-024-0055-6>
- [8] De Boer T., Paltan H., Sternberg T., Wheeler K., 2021. Evaluating Vulnerability of Central Asian Water Resources under Uncertain Climate and Development Conditions: The Case of the Ili-Balkhash Basin // Water 13. <https://doi.org/10.3390/w13050615>
- [9] Polikarpov D., Savelyev I., 2023. Socio-demographic situation in the city of Almaty: prospects and risks of development, p. 322-332
- [10] Sala R., Deom J. M., Aladin V., Plotnikov I., Nurtazin S., 2020. Geological History and Present Conditions of Lake Balkhash, p. 143-175. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42254-7_5
- [11] Tilekova Z., Oshakbaev M., Khaustov A., 2016. Assessing the geoecological state of ecosystems in the Balkhash region. Geography and Natural Resources 37, 79-86. <https://doi.org/10.1134/S187537281601011X>

- [12] Турсунова А. А., Мырзахметов А. Б. Водные ресурсы Иле-Балкашского бассейна с учетом международных принципов совместного использования // Руснаука/ География/3. 2012. https://www.rusnauka.com/14_ENXXI_2012/Geographia/3_110293.doc.htm
- [13] Кожухметов П. Ж., Монкаева Г. Е. Оценка испарения с водной поверхности на основе фактических данных измерений с помощью ГГИ-3000 (на примере Иле-Балкашского бассейна) // Гидрометеорология и экология. – 2017. – № 3(86). – С. 49-59.
- [14] Мазур Л. П., Маринович Т. В. Оценка гидроклиматических показателей в горных районах Илейского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2007. – Вып. 1. – С. 75-85.
- [15] Кузьмин П. П. К методике исследования и расчета испарения с поверхности снежного покрова // Труды ГГИ. – 1953. – Вып. 41(95). – С. 34-52.
- [16] Постников А. Н. Испарение с поверхности снежного покрова за период его возникновения на территории России // Ученые записки № 2. – СПб.: РГГМУ, 2016. – С. 55-63.
- [17] Вуглинский В. С., Албул И. П. Методика расчета испарения с водной поверхности по данным испарителя ГГИ-3000 // Вестник СПбГУ. Сер. 7. – 2016. – Вып. 3. – С. 118-128.
- [18] Кузнецов В.И. Методика расчета испарения с бассейнов площадью 20 м² по наблюдениям в испарителях ГГИ-3000 // Труды ГГИ. – 1970. – Вып. 181. – С. 3-32.
- [19] Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 65 с.
- [20] Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана. – Астана, 2022. <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>
- [21] Курманова М., Монкаева Г. Специализированное климатическое обслуживание в поддержку принятия решений в Казахстане // Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. – М., 2019. – С. 317-320.

REFERENCES

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.), 2023. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment, in: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
- [2] Hussien A.G., Hashim F.A., Qaddoura R., Abualigah L., Pop A. 2022. An enhanced evaporation rate water-cycle algorithm for global optimization. Processes 10, 2254.
- [3] Landau L.D., Akhiezer A.I., Lifshitz E.M., 1967. Chapter ix - phase transitions, in: Landau L.D., Akhiezer A.I., Lifshitz E.M. (Eds.), General Physics. Pergamon, Oxford, p. 197-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-009106-8.50012-1>
- [4] Brkić Ž., 2023. Increasing water temperature of the largest freshwater lake on the Mediterranean islands as an indicator of global warming. Heliyon 9, e19248. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19248>
- [5] Guan X., Liu C., Zhang J., Wang G., Bao Z., Jin J., 2022. On the attribution of changing water surface evaporation across China. Journal of Hydrology: Regional Studies 40, 100991. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100991>
- [6] Monkayeva G.E. About methods of calculation of evaporation from water surface of Ile-Balkash water basin // Mater. International Conference «World tendencies of science and technology development: ways of improvement». М., 2022. P. 313-317 (in Russ.).
- [7] Bao A., Tao Y., Xu W., Lei J., Jiapaer G., Chen X., Komiljon T., Khabibullo S., Sagidullaevich X., Kamalatdin I., 2024. Ecological problems and ecological restoration zoning of the Aral Sea. Journal of Arid Land 16, p. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s40333-024-0055-6>
- [8] De Boer T., Paltan H., Sternberg T., Wheeler K., 2021. Evaluating Vulnerability of Central Asian Water Resources under Uncertain Climate and Development Conditions: The Case of the Ili-Balkhash Basin // Water 13. <https://doi.org/10.3390/w13050615>
- [9] Polikarpov D., Savelyev I., 2023. Socio-demographic situation in the city of Almaty: prospects and risks of development, p. 322-332.
- [10] Sala R., Deom J. M., Aladin V., Plotnikov I., Nurtazin S., 2020. Geological History and Present Conditions of Lake Balkhash, p. 143-175. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42254-7_5
- [11] Tilekova Z., Oshakbaev M., Khaustov A., 2016. Assessing the geoecological state of ecosystems in the Balkhash region. Geography and Natural Resources 37, 79-86. <https://doi.org/10.1134/S187537281601011X>
- [12] Tursunova A. A., Myrzhakmetov A. B. Water resources of the Ile-Balkash basin taking into account international principles of joint use // Rusnauka/Geography/3. 2012. https://www.rusnauka.com/14_ENXXI_2012/Geographia/3_110293.doc.htm (in Russ.).
- [13] Kozhakhmetov P. J., Monkaeva G. E. Estimation of evaporation from the water surface based on actual measurement data using GGI-3000 (on the example of the Ile-Balkhash basin) // Hydrometeorology and Ecology. 2017. No. 3 (86). P. 49-59 (in Russ.).
- [14] Mazur L. P., Marinovich T. V. Assessment of hydroclimatic indicators in the mountainous areas of Ileyskiy Alatau // Hydrometeorology and Ecology. 2007. Issue 1. P. 75-85 (in Russ.).
- [15] Kuzmin P. P. To the methodology of investigation and calculation of evaporation from the snow cover surface (in Russian) // Proceedings of the State Hydrometeorological Institute. 1953. Issue 41(95). P. 34-52 (in Russ.).
- [16] Postnikov A. N. Evaporation from the surface of the snow cover for the period of its occurrence on the territory of Russia // Scientific Notes No. 2. SPb.: RSHMU, 2016. P. 55-63 (in Russ.).

[17] Vuglinsky V. S., Albul I. P. Methodology of calculation of evaporation from the water surface according to the data of the evaporator GGI-3000 // Vestnik of SPbSU. Ser. 7. 2016. Issue. 3. P. 118-128 (in Russ.).

[18] Kuznetsov V.I. Methodology of calculation of evaporation from 20 m² basins based on observations in evaporators GGI-3000 // Proc. of GGI. 1970. Issue. 181. P. 3-32 (in Russ.).

[19] Vuglinsky V.S. Water resources and water balance of large reservoirs of the USSR. L.: Gidrometeoizdat, 1991. 65 p. (in Russ.).

[20] Annual bulletin of monitoring the state and climate change of Kazakhstan. Astana, 2022. <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana> (in Russ.).

[21] Kurmanova M., Monkaeva G. Specialised climate services in decision support in Kazakhstan // International Youth School and Conference on Computational and Information Technologies for Environmental Sciences. M., 2019. P. 317-320 (in Russ.).

Г. Е. Монкаева

Докторант (әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан; gulsara.monkayeva@mail.ru)

ІЛЕ-БАЛҚАШ АЛАБЫ БҰЛАНУЫНА КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІНІҢ КӘЗІРГІ ӘСЕРІ

Аннотация. Іле-Балқаш бассейнінің мысалында соңғы қырық жылдағы су бетінен буланудың өзгеруі, сонымен қатар булануға әсер ететін кейбір метеорологиялық көрсеткіштердің өзгеруі қарастырылды. Жүргізілген жұмыс 1980-1995 жж. аралығында алдыңғы 1996- 2020 жж. кезеңге қатынаса отырып су бетінен булану өзгерістеріне баға берілді. Іле-Балқаш ойпатының жазықтық станциялар аумағында буланудың ұлғаюы және ол шамамен 1-10 % өсуі байқалған, ал таулы аймақтарда және су алабтарына жақын аймақтарда буланудың шамамен 2-9 % азаюы анықталған. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, өзен алабындағы жазықтық станцияларда су бетінен буланудың жоғарылауы температураның көтерілуіне және жауын-шашын мөлшерінің аздап көбеюіне байланысты қорытынды жасауға болады. Сонымен қатар Іле өз. - Балқаш көлі алабындағы таулы аймақтарда және су акваторияларына жақын аймақтарда буланудың азаюы желдің орташа жылдамдығының төмендеуімен және ауа ылғалдылығының аздап жоғарылауымен байланысты. Бұл зерттеу ауыл шаруашылығы және су ресурстары салаларында шешім қабылдауды көмектесуі мүмкін, өйткені су бетінен булану көптеген гидрологиялық, климаттық және гидродинамикалық модельдерге қатысады, сондықтан алынған нәтижелерді көптеген ғылыми есептеулерде қолдануға болады.

Түйін сөздер: климаттың өзгеруі, су беті булануы, метеорологиялық факторлардың әсері, климаттық индекстер.

G. Ye. Monkayeva

Doctoral student (al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; gulsara.monkayeva@mail.ru)

THE IMPACT OF MODERN CLIMATE CHANGE ON EVAPORATION FROM WATER SURFACE IN THE ILE-BALKASH BASIN

Abstract. Using the Ile-Balkash basin as an example, changes in evaporation from the water surface over the last 40 years, as well as changes in the main meteorological elements that affect evaporation, are considered. Within the framework of this work, the changes in evaporation from the water surface for 1996-2020 in relation to the previous period of 1980-1995 were assessed. It was established that over the last 20 years, there was a slight increase in evaporation at many lowland stations of the Ile-Balkash basin and it is about 1-10 %. In mountainous areas and near large water areas, such as Balkash and Ulken Almaty Lakes, there is a decrease in evaporation by about 2-9 %. The main factors influencing the change in evaporation values from the water surface were analyzed. It was concluded that the increase in evaporation from the water surface at the lowland stations in the Ile-Balkash basin is mainly due to the increase in air temperature and some increase in precipitation, and the decrease in evaporation in mountainous areas and near a water area is caused by the decrease of average wind speed and an insignificant increase in air humidity. This study can help support decision making in the agriculture and water resources sector, since evaporation from the water surface is involved in many hydrological, climatic and hydrodynamic models. Therefore, the obtained results can be used in many scientific calculations.

Keywords: climate change, evaporation from the water surface, the influence of meteorological factors, climate indices.