



Научная статья

АНАЛИЗ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ В ШУ-ТАЛАССКОМ БАССЕЙНЕ (КАЗАХСТАН)

Жанар К. Наурызбаева*PhD , Гульсара Е. Монкаева , Макпал А. Жунисова ,
Еркебулан Е. Белдеубаев , Нурканат Е. Рахматулла , Жулдыз Х. Кенжина 

¹ АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru (ЖКН), gulsara.monkaeva@mail.ru (ГЕМ), makpal80@mail.ru (МАЖ), kenzhina03@mail.ru (ЖХК), nurkanat.rakhmatulla@mail.ru (НЕР)
Автор корреспонденции: Жанар К. Наурызбаева, naurozbaeva.zhanar@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Шу-Таласский бассейн,
ансамбль моделей
СМIP6,
сценарии климата SSP3-
7.0, SSP5-8.5,
температура воздуха,
атмосферные осадки

АБСТРАКТ

Проведен анализ ожидаемого изменения температуры воздуха и атмосферных осадков Шу-Таласского бассейна до конца XXI века по ансамблю климатических моделей СМIP6 на основе данных Интерактивного атласа МГЭИК. В казахстанской части Шу-Таласского бассейна в период 2021...2040 гг. ожидается что среднегодовая температура повысится на 1.4...1.7 °C, осадки увеличатся на 3...7 %. В среднесрочной перспективе (2041...2060 гг.) потепление составит 2.4...3.0 °C, а прирост осадков достигнет 6...12 % по сценарию SSP3-7.0. В долгосрочной перспективе 2081...2100 гг. при сценарии SSP3-7.0 температура вырастет на 4.5...5.0 °C, а при SSP5-8.5 до 6.0...6.5 °C, осадки могут возрасти на 15...23 %. Эти изменения будут способствовать росту межгодовой изменчивости и трансформации гидрологического режима региона. Научная значимость работы позволит расширить представление о региональных проявлениях глобального потепления в Центральной Азии, а практическая значимость позволит использовать результаты для адаптации от изменения климата в водохозяйственном и аграрном секторе.

По статье:

Получено: 24.09.2025
Пересмотрено: 06.10.2025
Принято: 07.10.2025
Опубликовано: 08.10.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Шу-Таласский бассейн, расположенный на территории Кыргызстана и Казахстана, представляет собой важный трансграничный водный объект. Его гидрологическое и климатическое состояние оказывает значительное влияние на водную безопасность региона, сельское хозяйство и экосистемы [1]. Шу-Таласский бассейн сформирован реками Шу, Талас и Аса, его площадь – 64,3 тыс. км² (часть территории находится в Кыр-гызстане). В казахстанской части на территории Жамбылской области проживают 980 тыс. человек [2].

Поверхностный сток Шу-Таласского бассейна составляет 6.11 км³, что в 3.6 раза меньше, чем в Арало-Сырдарьинском бассейне. Подземные сток составляет около 1.65 км³, это 27 % от общего объема, что также больше, чем в Арало-Сырдарьинском бассейне. Из поверхностных источников – 59 % приходится на реки, 8 % - на водохранилища, 6 % – на озёра. Около 73 % территории бассейна занимают пустыни и полупустыни, 14 % – горные отроги Тянь-Шаня, 13 % предгорные степи, которые считаются наиболее ценными для сельского хозяйства. В бассейне рек Шу и Талас насчитывается 204 малых рек (140 из них в бассейне Шу, 20 – Таласа, 64 – Асы), 35 озёр и 3 крупных водохранилища. На территории Кыргызстана расположены Орто-Токойское (0.42 км³) и Кировское (0.55 км³) водохранилища. Сток рек Шу, Талас и Асы полностью зарегулирован и используется преимущественно для ирригации [3].

Таким образом, Шу-Таласский бассейн характеризуется как бассейн который аккумулирует основную влагу в высокогорьях для засушливых предгорных равнин,

Для цитирования:

Наурызбаева Ж., Монкаева Г., Жунисова М., Бельдебубаев Е., Кенжина Ж., Рахматулла Н. Анализ будущих изменений температуры и осадков в Шу-Таласском бассейне (Казахстан)// Гидрометеорология и экология, 119 (4), 2025, 205-2020.

что определяет его водные ресурсы и их неравномерное распределение во времени и пространстве.

Исследование гидрометеорологических условий бассейна актуально в контексте изменения климата, роста антропогенной нагрузки и трансграничного водопользования [4]. Несмотря на то, что Шу-Таласский бассейн неоднократно становился объектом научных исследований, необходимость комплексного изучения влияния географических особенностей территории на формирование его водных ресурсов остаётся высокой. Шу-Таласский бассейн расположен на стыке горных и равнинных территорий, со сложной орографией и гидро-климатическими условиями [4]. Горные районы обеспечивают основное питание рек за счёт снега и ледников, в то время как равнинные территории испытывают дефицит влаги. Это создает сильную пространственную неоднородность распределения водных ресурсов, требующую детального анализа. На водный режим рек непосредственное влияние, из природно-естественных факторов, оказывают количество выпадающих атмосферных осадков, состояние снежного покрова и степень оледенения, испаряемость, а также характер почвенно-растительного покрова [5]. В условиях глобального потепления изменения в ледниковом питании, режимах снеготаяния и частоте экстремальных осадков особенно остро проявляются в бассейнах с выраженной орографией. Шу-Таласский бассейн – именно такой регион, где географические особенности делают систему крайне чувствительной к изменениям климата [6]. Кроме того, воды бассейна являются источником для орошения, энергетики и водоснабжения около 3 млн человек. Понимание факторов, влияющих на формирование стока необходимо для прогностической информации в целях водной безопасности региона, устойчивого развития и предотвращения конфликтов водodelения [7].

Таким образом, целью данного исследования является анализ современного климатического состояния Шу-Таласского бассейна и оценка изменения климата на перспективу на основе интерактивного атласа МГЭИК.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исходных данных были использованы сведения метеорологических станции применяемых для мониторинга наблюдений в РГП «Казгидромет», которые представлены в таблице 1. А также использовались климатические данные: 1) ряды суточных и месячных значений температуры воздуха и атмосферных осадков за период с 1961 по 2023 гг.[8], 2) сценарные данные были взяты по данным из портала МГЭИК [9].

Первые метеорологические станции на казахстанской территории Шу-Таласского бассейна открыты в основном в период с 1870 по 1950 годы. В настоящее время на его территории действует 11 метеорологических станций (таблица 1).

На рисунке 1 представлена карта расположения метеорологических станций Шу-Таласского бассейна на территории Казахстана. Шу-Таласский бассейн занимает большую часть Жамбылской области, на западе граничит с Туркестанской областью, а на востоке с Алматинской областью, на севере граничит с Карагандинской и Улытауской областью.

Метеостанции Шу-Таласского бассейна расположены в основном в равнинной местности, 6 станции из 11 расположены на высотах до 500 м н.у.м, 4 станции расположились на возвышенно- равнинной территории и лишь 1 станция Кордай в предгорной зоне (таблица 1).

При формировании базы данных проведены проверки на однородность суточных данных с помощью программы RHtestV4 [10], на примере двух станций Шу-Таласского бассейна (Кордай, Мойынкум) представлена проверка на однородность, а в последующем суточные данные собраны при помощи сводных таблиц в месячные ряды, согласно которым уже проведены статистические расчеты (коэффициент линейного тренда, коэффициент детерминации). В программе RHtestV4 для оценки

однородности эмпирических рядов метеорологических параметров используются критерии Стьюдента и Фишера [11].

Таблица 1

Основные сведения о метеорологических станциях Шу-Таласского бассейна

№	Название станции	Широта	Долгота	Период наблюдений	Высота, м
1	Кордай	43°19'17.08"	74°55'48.05"	1939...2023	1141
2	Кулан	42°55'09.61"	72°43'50.42"	1931...2023	682
3	Мойынкум	44°16'29.29"	72°56'50.93"	1929...2023	351
4	Саудакент	43°44'41.25"	69°55'54.85"	1936...2023	337
5	Тараз	42°52'03.57"	71°17'36.75"	1870...2023	651
6	Толе би	43°41'45.00"	73°44'51.45"	1950...2023	455
7	Уюк	43°46'38.23"	70°57'01.95"	1931...2023	373
8	Хантау	44°13'44.06"	73°48'26.43"	1960...2023	552
9	Шокпар	43°49'02.01"	74°22'16.47"	1931...2023	769
10	Тасты	44°47'60"	69°09'33"	1948...2023	192
11	Шолаккорган	43°45'15"	69°10'15"	1935...2023	480

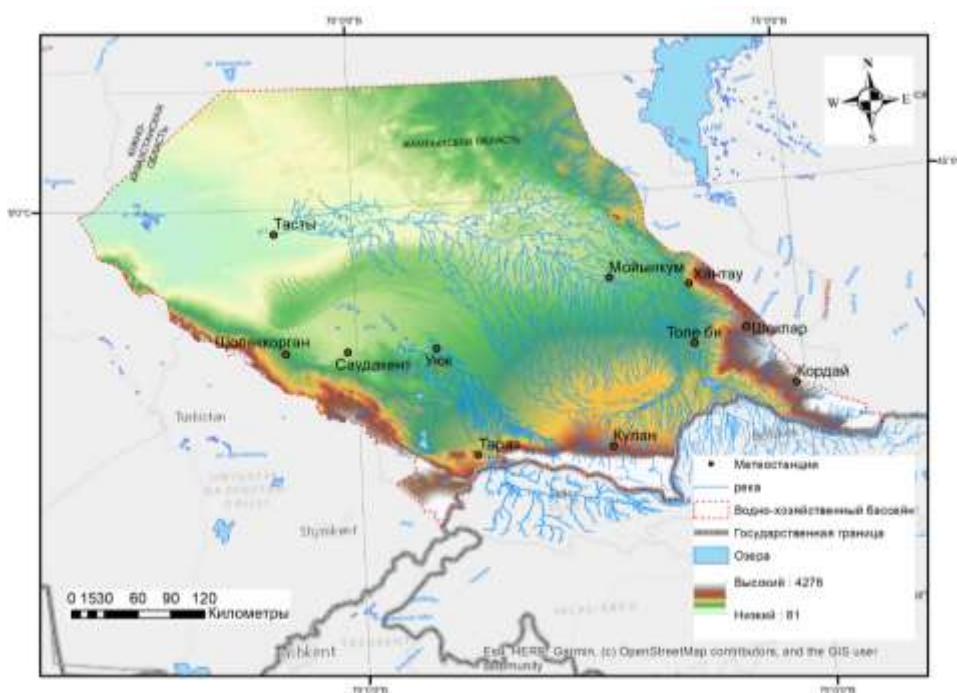


Рисунок 1. Карта расположения метеорологических станции казахстанской части Шу-Таласского бассейна

На рисунке 2 представлены результаты проверки на однородность месячных рядов максимальной температуры воздуха по станции Кордай в виде графиков временного хода. Станция Кордай представлена в качестве примера проверки на однородность рядов, в связи с тем, что это предгорная станция, а в горной местности в основном могут возникнуть условия не стационарности климатических условий. На рисунке 3 представлена проверка на однородность данных уже по равнинной станции Мойынкум.

а

б

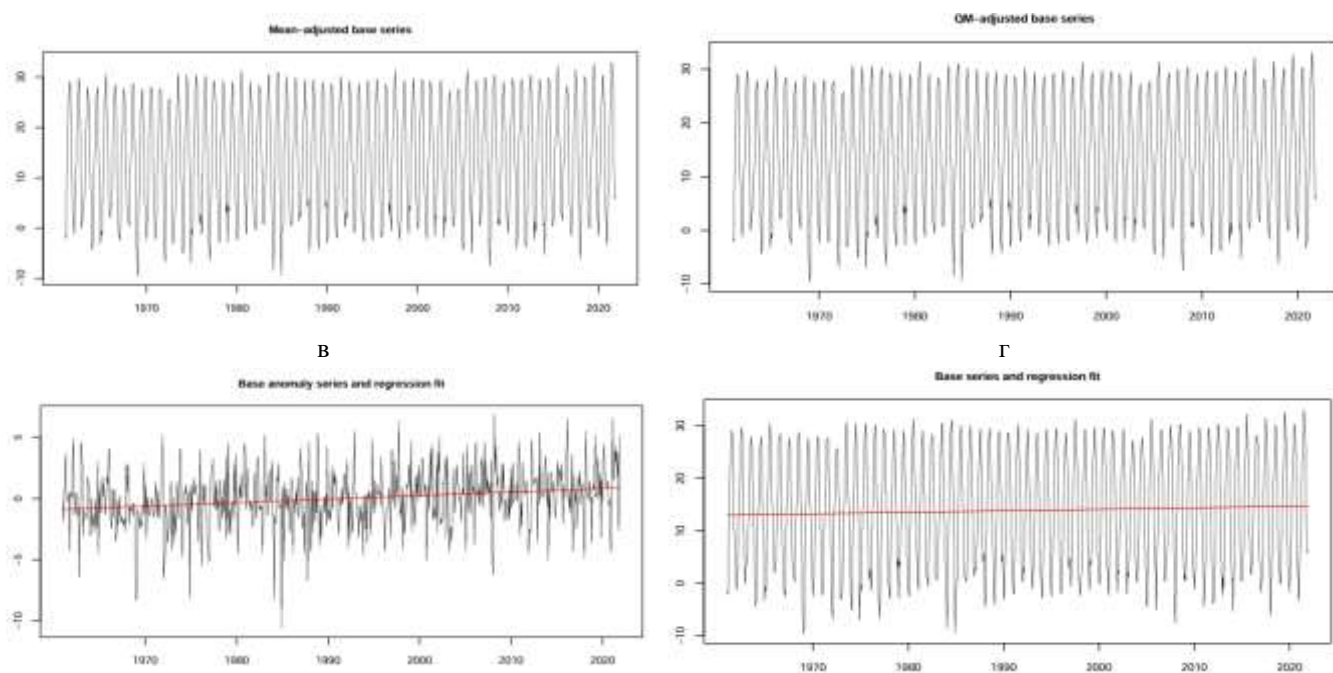


Рисунок 2. Графики временного хода месячных данных максимальной температуры воздуха по станции Кордай за период 1961 ...2023 годы, где а – ряды среднего значения максимальной температуры; б - ряд после применения корректировки квантильного соответствия (QM); в - исходный ряд аномалий T_{max} относительно среднего за 1961 ...1990 базовый период; г - временной ряд и регрессионная проверка

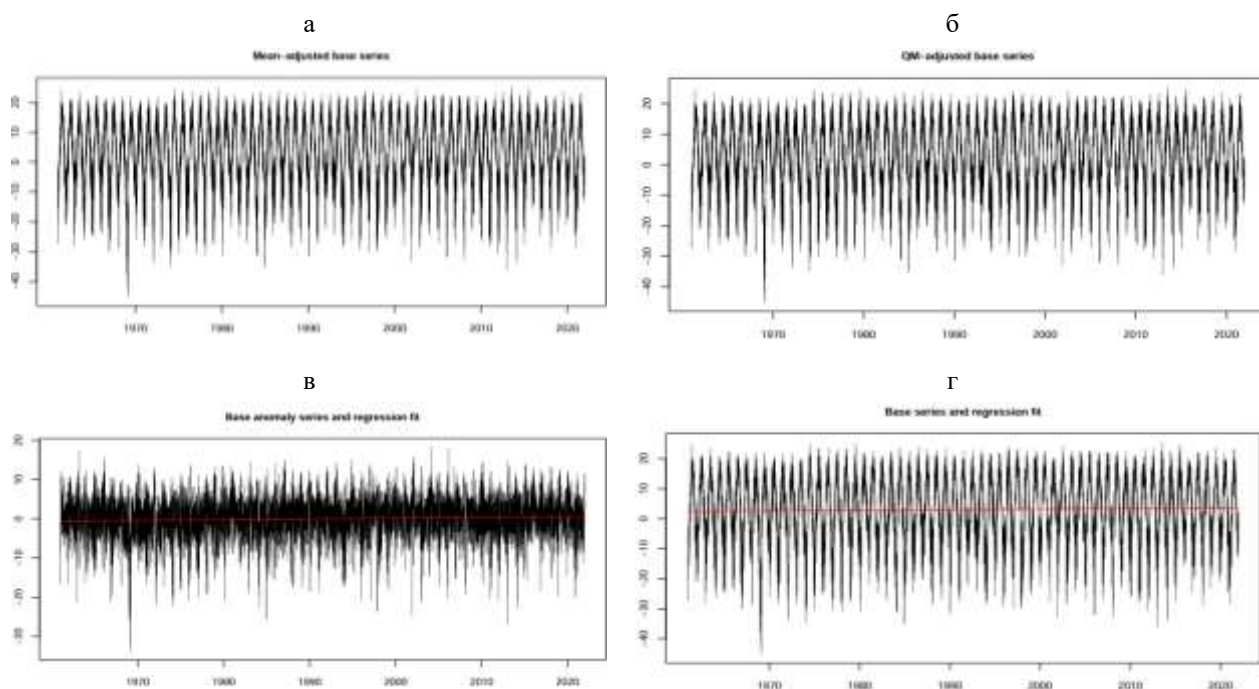


Рисунок 3. Графики временного хода месячных данных минимальной температуры воздуха по станции Мойынкум за период 1961 ...2023 годы, где а - базовый ряд, скорректированный по средней минимальной температуре ; б - ряд после применения корректировки квантильного соответствия (QM); в - исходный ряд аномалий T_{min} относительно среднего за 1961 ...1990 базовый период; г - временной ряд и ее регрессионная проверка

Аналогично представленным примерам, были проверены и все другие станции казахстанской части Шу-Таласского бассейна. В ходе проверки на однородность, можно сказать, что ряды суточных и месячных наблюдений станции Шу-Таласского

бассейна имеют однородный ряд, как таковых выраженных сдвигов в рядах температуры воздуха не обнаружено.

Согласно проведенной проверке на однородность (рисунок 2), можно сказать, что в месячных данных T_{max} отсутствуют структурные сдвиги в наблюдениях, видно, что с конца 1990-х годов наблюдается устойчивое повышение значений максимальной температуры, указывающее на потепление. Линия регрессии показывает положительный тренд, но без резких скачков, что указывает на относительную однородность временного ряда.

Согласно рисунку 3 видно, что наблюдается тенденция к повышению минимальных температур после 1990-х гг., а отдельные колебания связаны с природной межгодовой изменчивостью, но без резких скачков. Различия с исходным рядом минимальны, что подтверждает отсутствие системных ошибок или неоднородностей. В рядах отсутствуют статистически значимые разрывы, что указывает на однородность данных.

Для оценки будущих значений таких метеорологических элементов как температура и атмосферные осадки были использованы климатические модели, разработанные МГЭИК, то есть в работе применены данные ансамблей 34 моделей, список моделей представлен в таблице 2 [12]. По рекомендациям МГЭИК использовались периоды:

1) 2021...2040 годы, которые определяются как среднесрочный прогноз, он позволяет оценить ближайшие изменения климата;

2) 2041...2060 годы или долгосрочный прогноз, который подходит для анализа устойчивых трендов и для оценки будущих сценариев изменения климата;

3) период 2080...2100 или конец XXI века, который используется для стратегического планирования и оценки сценариев глобального потепления [9].
Общее количество моделей, которые использовались в CMIP6 более 30 [12].

Ансамблевый подход выбран потому, что он используется во множествах климатических моделях (например, CMIP6) для построения усреднённого и статистически устойчивого прогноза, ведь такой подход позволяет учесть неопределённости, связанные с физическими параметризациями, разрешением, сценариями эмиссий и локальными особенностями региона. Преимущества ансамблевого подхода в том, что использование ансамбля моделей позволяет компенсировать ошибки и смещения отдельных моделей. Среднее значение по ансамблю (ensemble mean) сглаживает экстремальные отклонения и даёт более устойчивую оценку тенденций изменения климата.

Ансамбль моделей позволяет определить не только «средний сценарий», но и диапазон возможных климатических изменений (например, минимальные и максимальные значения температуры и осадков), что особенно важно при разработке адаптационных стратегий для Казахстана, где климатические контрасты крайне выражены. Разные модели используют различные параметризации атмосферных и океанических процессов. Совокупное использование множества моделей даёт более полную физическую картину климата и позволяет выявить устойчивые закономерности, наблюдаемые в независимых моделях. При усреднении ансамбля исключается влияние специфических ошибок моделей, плохо воспроизводящих, например, влияние орографии Тянь-Шаня или континентальности климата, что делает прогнозы по Центральной Азии более реалистичными.

К примеру в 7-м Национальном сообщении, а также в 8-м Национальном сообщении РК и в 4-5-м Двухгодичных докладах Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата применены ансамблевые подходы оценки ожидаемого изменения климата для территорий Казахстана [13...14], но количество применяемых ансамблей в них было более 21 моделей. Верификация и проверки на погрешности моделей CMIP6 проведены во многих работах, в таких исследованиях

как [15...17], которые приводят, что ансамбль моделей CMIP6 в целом лучше воспроизводит оценку ожидаемых изменений чем предыдущие версии CMIP4 и CMIP5.

Таблица 2

Основные климатические модели CMIP6 и их ключевые характеристики

№	Название модели, страна	Описание климатической модели
1	ACCESS-CM2 (Australia)	Австралийская общая климатическая модель (усовершенствованная атмосфера и океан), применяется для региональных и глобальных сценариев.
2	ACCESS-ESM1-5 (Australia)	модель системы Earth System от CSIRO/BoM с биогеохимическими компонентами (углеродный цикл).
3	AWI-CM-1-1-MR (Germany)	модель Alfred Wegener Institute с высокой разрешающей способностью океана и атмосферы, ориентирована на океанические и полярные процессы.
4	BCC-CSM2-MR (China)	модель Beijing Climate Center с улучшенной атмосферной динамикой и средней пространственной детализацией.
5	CAMS-CSM1-0 (China)	модель Центра атмосферных и экологических исследований Китая; интегрирует атмосферную химию и климат.
6	CanESM5 (Canada)	модель Канадского центра климатических исследований с полной системой океан–атмосфера и биогеохимией.
7	CAS-ESM2-0 (China)	Earth System Model Китайской академии наук; включает углеродную и химическую схемы.
8	CESM2 (USA)	Community Earth System Model (NCAR), универсальная ESM с детальной биофизикой и химией атмосферы.
9	CESM2-WACCM (USA)	версия CESM2 с детализацией верхней атмосферы (Whole Atmosphere Community Climate Model).
10	CIesm	новая китайская модель, ориентированная на океанические процессы
11	CMCC-CM2-SR5 (Italy)	модель CMCC с усовершенствованным океанским компонентом и сезонным/среднесрочным разрешением (SR = seasonal/resolution).
12	CMCC-ESM2 (Italy)	модель Earth System от CMCC с биогеохимическими циклами.
13	E3SM-1-1 (USA)	Energy Exascale Earth System Model (US DOE) — фокус на процессах суши-океана и физике облаков.
14	E3SM-1-1-ECA (USA)	ветвь E3SM с улучшенной динамикой и параметризацией аэрозолей/облаков.
15	EC-Earth3 (Europe / consortium)	европейская модель (EC-Earth consortium) с переносом ECMWF/IFS компонент, ориентирована на многофункциональные климатические исследования.
16	EC-Earth3-Veg (Europe)	вариант EC-Earth с продвинутой биофизикой вегетационных условий для суши.
17	FGOALS-f3-L (China)	китайская модель FGOALS (лед/океан/атмосфера) с акцентом на океанскую компоненту.
18	FGOALS-g3 (China)	одна из конфигураций модели FGOALS с отличиями в океанической и морской ледовой модулях.
19	FIO-ESM-2-0 (China)	Earth System Model от First Institute of Oceanography (FIO), включает океанские процессы и биогеохимию.
20	GFDL-CM4 (USA)	климатическая модель Геофизической факультета прогнозов океана и атмосферы (GFDL), с модернизированной атмосферой/океаном.
21	GFDL-ESM4 (USA)	вариант GFDL с расширенной системой биогеохимических циклов (Earth System).
22	INM-CM4-8 (Russia)	модель Института атмосферной физики и климатологии (INM) с особенностями для регионального климата Евразии.
23	INM-CM5-0 (Russia)	следующая версия INM с улучшенной физикой атмосферы/океана.
24	IPSL-CM6A-LR (France)	модель IPSL (Institute Pierre-Simon Laplace), LR — низкое разрешение; сильна в химии атмосферы и океаники.

25	KACE-1-0-G (Korea)	модель Корейского метеоцентра (Korea Institute of Atmospheric Prediction Systems / KMA) с национальным развитием атмосферы/океана.
26	MIROC6 (Japan)	модель Университета Тохоку/Кёдо (MIROC) с балансом атмосфера-океан и хорошей региональной проработкой Азии.
27	MPI-ESM1-2-HR (Germany)	высокоразрешающая версия Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM).
28	MPI-ESM1-2-LR (Germany)	низкоразрешающая конфигурация MPI-ESM; широко используется в мульти-модельных ансамблях.
29	MRI-ESM2-0 (Japan)	модель Meteorological Research Institute (MRI) с акцентом на атмосферную физику и экстремы.
30	NESM3 (China / Korea consortium)	North-East model system (в инвентарях встречается как NESM3) — модель описывает региональные особенности для Северо-Восточной Азии.
31	NorESM2-LM (Norway)	Norwegian Earth System Model, LM — низкоразрешающая версия, сильна в океанских и полярных процессах.
32	NorESM2-MM (Norway)	версия с другим океаническим решением (multimodel / medium-resolution).
33	IPS L-CM5A2-INCA	новые ветви французской модели IPSL
34	TaiESM1 (Taiwan)	модель Тайваньского института

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Климатические условия бассейна контрастны: горные районы отличаются прохладным и влажным климатом с годовым количеством осадков до 800...1000 мм, тогда как равнинные и предгорные территории характеризуются засушливостью (200...300 мм осадков в год). Среднегодовые температуры изменяются от +6...+8 °С в предгорьях до –2...–4 °С в высокогорьях [18].

Лето в Шу-Таласском бассейне преимущественное жаркое, средняя температура июля в пределах от 21 до 25 °С, максимальные температуры достигали 45...48 °С. Средняя температура января составляет –8...–12 °С в северной части Шу-Таласского бассейна, а на южной части бассейна температуры января составляют –4...–7 °С. Зимой на южные части проникают арктические воздушные массы, которые и вызывают сильные морозы, достигающие редко до –45 или –50 °С (абсолютный минимум). Период, когда средняя суточная температура воздуха выше 0 °С довольно продолжителен, к примеру, на северной части бассейна он составляет 240...250 дней, в центральных районах 260...270 дней. В целом осадков в области выпадает мало, особенно на равнинной территории около 140...220 мм/год. Малое количество осадков – 135 мм/год отмечается на северо-востоке бассейна, в сторону побережья оз. Балхаш. В предгорных районах количество осадков увеличивается до 210...330 мм. В горных районах Кыргызского Алатау выпадает около 400...500 мм осадков. Распределение осадков по сезонам неравномерное, большая часть их приходится на зимне-весенний период. Направление ветра по всей территории бассейна преобладает восточное и северо-восточное, и только на юге преобладают ветры южного и юго-восточного направления, средняя скорость ветра в бассейне 2.5...3.5 м/с [18].

На рисунке 4 представлены временные ряды аномалии сезонных температур воздуха и атмосферных осадков осредненных по казахстанской части территории Шу-Таласского бассейна за период 1961...2023 гг., линейный тренд аномалий рассчитан относительно периода 1976...2023 гг., аномалии рассчитаны относительно базового периода 1991...2020 гг.

Зима

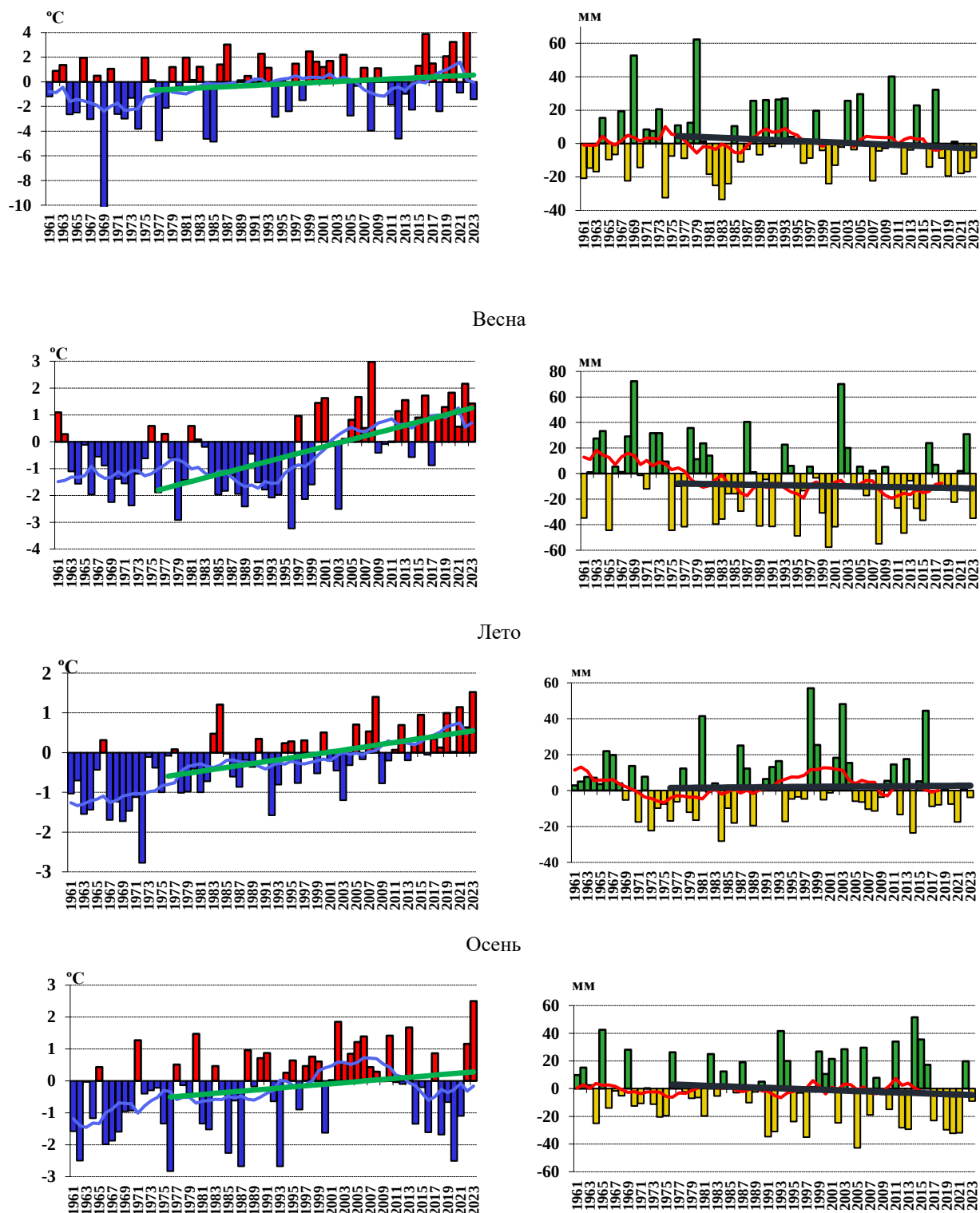


Рисунок 4. Временные ряды аномалий сезонной температуры и осадков в казахстанской части Шу-Таласского бассейна (1961...2023 гг.) с линейным трендом рассчитанным за 1976...2023 гг.

Во все сезоны наблюдается устойчивая положительная тенденция аномалий температуры. Тренд особенно заметен весной и осенью, более умеренный наблюдается зимой и летом.

Аномалии осадков показывают высокую межгодовую изменчивость и сезонно-различия, но в целом видна тенденция к уменьшению осадков в холодно-тёплый переходный период (весна) и частично - летом; зима и осадки остаются более

переменными (локальные положительные выбросы), но общий тренд осадков по результатам рисунка выглядит слабее выраженным, чем тренд температуры [19].

Зимой отрицательные аномалии наблюдались в период 1960...1980 гг., а рост положительных аномалий фиксируется в последние 30 лет, линейный тренд положительный. Потепление в зимний период связано с глобальными процессами в атмосфере, а также региональными изменениями циркуляции.

В последние годы наблюдаются ослабления влияния Сибирского антициклона, холодные арктические воздушные массы часто не доходят до южных регионов Казахстана - подобные изменения имеют существенное влияние на термический режим Шу-Таласского бассейна [20].

Весенний период отличается заметной положительной динамикой температуры: переход от преимущественно отрицательных аномалий в середине XX века к устойчиво положительным после ~1990...2000 гг. Кроме того, с начала текущего века увеличивается повторяемость раннего схода снежного покрова весной, даты перехода температуры воздуха через 0 °C, 10 °C весной смещаются на более ранние даты [21].

Летний период также отмечается положительным трендом, но в отличие от весеннего и осеннего периодов амплитуда аномалий меньше. Атмосферные осадки отмечаются небольшим трендом к уменьшению. Стоит отметить, что летний период характеризуется ярким проявлением увеличения температуры воздуха и снижении выпадения осадков на потенциальную испаряемость в регионе, так, даже при незначительном колебании этих параметров может наблюдаться усиление дефицита воды.

Осенью, как и весной, фиксируются положительные тренды в ходе термического режима, но осадки проявляют некоторое снижение.

В таблице 3 представлены характеристики линейного тренда температуры воздуха осредненных за период 1986...2023 гг., данный период взят потому, что он совпадает с современной климатической нормой и позволяет отразить последние 3...4 десятилетия, когда глобальное потепление усилилось. С середины 1980-х годов на региональном уровне фиксируется явный переход от преобладания отрицательных аномалий температуры (холодных лет) к устойчивому тренду положительных аномалий. Это подтверждается данными и по Центральной Азии, и по Казахстану в целом. А также период с конца 1980-х годов совпадает с резким ускорением глобальных выбросов CO₂ и других парниковых газов.

Согласно таблице 3, годовые тренды для всех станций показывают положительный рост температуры воздуха (0.2...0.5 °C/10 лет), что подтверждает устойчивое потепление в последние десятилетия. Наиболее значительный рост отмечен на станции Тасты (0.5 °C/10 лет), минимальный – на станции Хантау (0.2 °C/10 лет). Значения коэффициента детерминации (R²) от 15 до 40 % указывают на статистическую значимость тренда. Зимой тренды близки к нулю (0.0...0.3 °C/10 лет) с очень низким R². Весной регистрируется умеренный рост (0.6...1.1 °C/10 лет). Высокие R² (35...47 %) говорят о значимости весеннего тренда. Летом во всех пунктах фиксируется рост от 0.3 до 0.5 °C/10 лет с достаточно высокими коэффициентами детерминации, что указывает на вероятное увеличение продолжительности жаркого периода. Осенью незначительный рост – 0.0...0.2 °C/10 лет, в отдельных случаях отрицательные значения, как в Хантау –0.1 °C/10 лет. Осенний период наиболее нестабильный сезон.

Характеристики линейного тренда температуры воздуха осредненных по казахстанской территории Шу-Таласского бассейна за период 1986...2023 гг.

Станция	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	а	R ²	а	R ²	а	R ²	а	R ²	а	R ²
Кордай	0,4	38,52	0,0	0,01	1,0	47,23	0,5	41,84	0,1	0,42
Кулан	0,4	37,38	0,3	2,32	0,9	47,70	0,4	33,31	0,2	3,16
Мойынкум	0,3	22,81	0,0	0,00	0,9	41,36	0,3	28,56	0,1	0,72
Саудакент	0,3	14,37	0,0	0,00	0,9	40,79	0,2	10,69	0,0	0,04
Тараз	0,3	32,40	0,3	2,72	0,6	35,46	0,3	26,56	0,1	1,86
Толе би	0,3	0,30	0,0	0,00	0,8	0,80	0,4	0,40	0,0	0,00
Уюк	0,4	24,95	0,0	0,00	1,0	43,45	0,4	44,22	0,1	0,87
Хантау	0,2	9,05	-0,3	1,92	0,8	35,75	0,3	25,79	-0,1	0,98
Шокпар	0,3	22,47	-0,1	0,85	0,9	40,68	0,4	32,75	0,0	0,03
Тасты	0,5	30,95	0,3	1,33	1,1	41,57	0,4	30,31	0,2	2,27
Шолаккорган	0,4	25,59	0,1	0,04	1,0	44,35	0,4	32,08	0,1	0,70

Примечание: а – коэффициент линейного тренда, °C/10 лет, R² – коэффициент детерминации, %

В таблице 4 представлены характеристики линейного тренда атмосферных осадков осредненных по казахстанской территории Шу-Таласского бассейна за период 1986...2023 гг.

Таблица 4

Характеристики линейного тренда атмосферных осадков осредненных по казахстанской территории Шу-Таласского бассейна за период 1986...2023 гг.

Метеостанция	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	а	R ²	а	R ²	а	R ²	а	R ²	а	R ²
Кулан	-1,4	0	-1,2	0	4,9	1	-6,3	5	0,8	0
Кордай	-33,6	9	-3,2	1	-7,9	2	-12,7	10	-9,1	5
Мойынкум	-0,9	0	-0,9	0	0,2	0	0,3	0	-0,9	0
Уюк	-17,3	14	-6,4	13	-4,8	4	-1,7	2	-4,0	4
Жамбыл	-8,8	2	-3,8	1	2,7	0	-2,7	1	-4,5	2
Саудакент	-3,5	0	-1,2	0	0,4	0	-0,8	0	2,3	1
Шокпар	-17,2	7	-5,5	6	-0,6	0	-2,1	1	-5,7	4
Шолаккорган	-1,3	0	-3,3	4	2,9	1	-3,5	5	2,4	1
Тасты	6,9	3	-0,2	0	7,0	11	0	0	1,2	0
Жетысай	-16,9	6	-10,7	9	-2,9	0	-1,5	2	1,3	0
Кызылкум	-5,8	3	-3,4	5	-5,0	5	-0,9	1	2,6	4
Толе би	9,5	2	-0,1	0	7,1	6	-0,9	0	3,4	1
Хантау	3,8	0	-0,1	0	1,8	0	2,9	3	-0,3	0
Чиганак	6,7	3	0,7	0	1,6	1	2,1	2	2,0	2

Примечание: а – коэффициент линейного тренда, °C/10 лет, R² – коэффициент детерминации

Согласно таблице 4 на большинстве станций отмечается отрицательный годовой тренд (уменьшение осадков), особенно заметно в Кордай (-33.6 мм/10 лет), Уюк (-17.3 мм/10 лет), Шокпар (-17.2 мм/10 лет), Жетысай (-16.9 мм/10 лет). На отдельных пунктах фиксируются положительные значения (Тасты +6.9 мм/10 лет, Толе би +9.5 мм/10 лет, Чиганак +6.7 мм/10 лет), но они не являются

доминирующими. Зимой в ряде станций сокращение зимних осадков (например, Уюк -6.4 мм/10 лет, Жетысай -10.7 мм/10 лет), что может быть связано с изменением циркуляционных процессов. Весной отрицательные тренды на большинстве станций (Кордай -7.9 мм/10 лет, Кызылкум -5 мм/10 лет), что указывает на снижение весеннего увлажнения — критически важного для аграрного сектора. Летом часть станций показывает положительные тренды (Тасты $+7$ мм/10 лет, Толе би $+7.1$ мм/10 лет), но для большинства тенденции отрицательные или слабые. Осенью наблюдается сильное уменьшение осадков в Кордай (-9.1 мм/10 лет), Шокпар (-5.7 мм/10 лет), но есть и положительные значения (Кызылкум $+2.6$ мм/10 лет, Шолаккорган $+2.4$ мм/10 лет).

Таким образом, из вышеизложенного следует, что за период 1986...2023 гг. в Шу-Таласском бассейне чётко проявляется потепление приземного воздуха, которое наиболее выражено весной и летом ($+0.8...1.1$ °C/10 лет). Зимние и осенние тренды температуры слабо выражены и имеют низкую статистическую значимость.

Осадки, в свою очередь, демонстрируют преимущественно отрицательный тренд, особенно в зимне-весенний сезон ($-5...-15$ мм/10 лет в ряде станций). В целом фиксируется усиление аридизации климата бассейна: рост температуры в сочетании с сокращением весенних осадков создаёт угрозу дефицита воды для сельского хозяйства и водных ресурсов региона.

Для формирования научной основы по разработке мер адаптации к климатическим изменениям в будущем в водохозяйственном секторе и предотвращения дефицита водных ресурсов были использованы данные ансамблей указанных ранее климатических моделей (таблица 2) для выявления изменений среднегодовой температуры воздуха (°C) и годовых сумм осадков (%) для выбранного региона по трём временным промежуткам: 2021...2040, 2041...2060 и 2081...2100. В работе представлены результаты только двух сценариев климатического воздействия, которые наиболее вероятны в ближайшем будущем: SSP3-7.0 (умеренно-высокий) и SSP5-8.5 (высоко-эмиссионный). Рассматривать сценарий SSP1-2.6 и SSP2-4.5, является не актуальным, так как данные сценариев не являются приоритетными, поскольку они отражают маловероятные условия устойчивого мирового развития в будущем, не соответствующие текущим социально-экономическим тенденциям Казахстана и Центральной Азии. Их использование может привести к заниженной оценке будущих климатических рисков и ослаблению эффективности адаптационных мер.

Согласно данным таблицы 5, на всех станциях исследуемого региона ожидается рост среднегодовой температуры. По сценарию SSP5...8.5 отмечается ярко выраженный рост. Так, для станции Кордай увеличение температуры составляет: $+1.4$ °C (2021...2040), $+2.4$ °C (2041...2060), $+4.8$ °C (2081...2100) при SSP3-7.0 и $+1.7$; $+3.0$; $+6.2$ °C при SSP5-8.5 соответственно. Подобная динамика характерна для всех перечисленных станций (Кулан, Мойынкум, Саудакент, Тараз и др.).

Сценарий SSP3-7.0 показывает умеренное увеличение годовых сумм осадков в пределах $+2...+8$ % к концу XXI в., причём более крупные относительные приросты до $6...8$ % будут наблюдаться в некоторых пунктах уже в среднесрочной перспективе. SSP5-8.5 показывает существенно сильные изменения: на некоторых станциях к периоду 2081...2100 ожидаются увеличения, достигающие от 18 до 23 % (например, Хантау $+23.3$ %, Мойынкум $+22.6$ %). Для периода 2021...2040 гг. прирост осадков при SSP5-8.5 также выше, до $+5...7$ % по сравнению с SSP3-7.0. Ввиду небольшой территориальной площади региона и относительной близости расположения станций, наблюдается относительное сходство трендов: рост температуры происходит почти одинаково по всем точкам, а изменения осадков имеют те же направления (как правило — увеличение), но различаются по величине к концу 21 века, причём

максимальные проценты при SSP5-8.5 концентрируются в ряде пунктов (Мойынкум, Хантау, Шокпар и др.).

Таблица 5

Ожидаемое изменение среднегодовой температуры воздуха и сумм атмосферных осадков по сценариям SSP3-7.0, SSP5-8.5 рассчитанная относительно базового периода 1981...2010 гг. на перспективу за периоды: 1- 2021...2040, 2- 2041...2060 и 3- 2081...2100 гг.

Станция	Среднегодовая температура воздуха, °С			Среднегодовая сумма атмосферных осадков, %		
	2021...2040	2041...2060	2081...2100	2021...2040	2041...2060	2081...2100
сценарий SSP3-7.0						
Кордай	1.4	2.4	4.8	3.3	7.4	7.7
Кулан	1.4	2.4	4.8	3.0	5.9	5.9
Мойынкум	1.5	2.5	4.9	2.6	6.8	4.8
Саудакент	1.4	2.4	4.8	2.9	4.8	4.8
Тараз	1.4	2.4	4.8	2.5	4.7	3.9
Толе би	1.4	2.4	4.8	2.9	6.8	7.4
Уюк	1.4	2.4	4.7	2.8	4.8	4.8
Хантау	1.5	2.5	4.9	2.6	7.1	5.0
Шокпар	1.4	2.4	4.8	3.3	7.7	7.7
Тасты	1.5	2.5	4.9	2.1	4.8	4.8
Шолаккорган	1.4	2.4	4.8	2.9	4.8	4.8
сценарий SSP5-8.5						
Кордай	1.7	3.0	6.2	6.8	11.6	21.3
Кулан	1.7	3.0	6.3	6.0	10.7	18.1
Мойынкум	1.8	3.1	6.4	7.4	12.2	22.6
Саудакент	1.7	3.0	6.2	5.9	10.5	18.7
Тараз	1.7	3.0	6.2	5.7	10.9	17.4
Толе би	1.7	3.0	6.2	6.6	11.6	20.9
Уюк	1.8	3.0	6.2	6.4	11.0	19.4
Хантау	1.8	3.1	6.4	7.1	12.4	23.3
Шокпар	1.8	3.0	6.2	6.8	11.6	21.3
Тасты	1.8	3.1	6.4	5.7	10.0	18.6
Шолаккорган	1.7	3.0	6.2	5.9	10.5	18.7

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом в Шу–Таласском бассейне к концу XXI века прогнозируется устойчивое повышение температуры воздуха и рост атмосферных осадков, особенно при сценарии SSP5-8.5, а также можно сделать основные выводы согласно ожидаемым изменениям по обоим сценариям:

1. Потепление в казахстанской части Шу-Таласского бассейна наиболее интенсивно проявляется весной и летом согласно характеристикам линейного тренда, эти условия могут привести к сдвигу сроков снеготаяния и изменению водного баланса региона.

2. Наибольшие увеличения осадков наблюдаются в горных районах, где усиливаются конвективные процессы. Рост годовых осадков не всегда компенсирует потери ледникового питания, так как часть влаги выпадает в виде дождей или

смещается по сезонам. Это подтверждает необходимость комплексного подхода к прогнозированию гидрологических процессов с учётом сезонных сдвигов и пространственной неоднородности.

3. Климатические изменения приведут к перестройке гидрологического режима и увеличению межгодовой изменчивости стока. В краткосрочной перспективе это может вызывать рост весеннего стока, однако в долгосрочной – сокращение летнего питания рек вследствие деградации ледников.

4. Для региона необходима реализация адаптационных и митигационных мер, направленных на устойчивое водопользование и климатоориентированное планирование в сельском хозяйстве.

Полученные результаты имеют важное значение для водохозяйственного и аграрного секторов Казахстана. Рост температуры и изменчивость осадков требуют пересмотра стратегий управления водными ресурсами и разработки адаптационных мер к изменению климата.

Предлагаются следующие адаптационные рекомендации: 1) усилить мониторинг за снежным покровом/ледниками и сезонного стока; вести автоматизированные измерения стока и снега; 2) адаптировать режимы работы водохранилищ (запасы для летне-осеннего периода), развивать меры водосбережения в ирригации; 3) разработка системы раннего предупреждения по каналам связи для населения и бесплатная рассылка в виде смс по ожидаемым волнам тепла.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании, получены авторами из РГП «Казгидромет» МЭПР РК и из базы интерактивного атласа МГЭИК.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ЖКН; управление данными – МГЕ, методология – МАЖ; формальный анализ – МГЕ; программное обеспечение - РНЕ; визуализация – Б ЕЕ; написание исходного проекта - МГЕ, ЖКН; написание и редактирование обзора - ЖКН.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме: «Водная безопасность Республики Казахстан: трансграничный Шу-Таласский бассейн в условиях климатических изменений и хозяйственной деятельности на период до 2050 года» (ИРН: BR287006/0225).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Safina, A. River runoff resources of the Shu-Talas water management basin in the context of climate change / Engineering Journal of Satbayev University, (2023). - 145(3), p. 25–30. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.04>
- 2 Water resources of Kazakhstan. (n.d.). Retrieved from <https://paperzz.com/doc/7618350/water-resources-of-kazakhstan>
- 3 Электронный ресурс: https://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/docs/fiziko_geog_kharack_kazakhstan.html
- 4 Достай, Ж. Д., Кулебаев, К. М., & Камалиев, А. М. (2018). Гидрологический мониторинг на реках Шу-Таласского бассейна и его развитие. Гидрометеорология и экология, (1), с. 84–91.
- 5 Мусина, А. К., Шайбек, А. Д., Нарбаева, К. Т., & Әлімбай, А. М. (2021). Assessment of the intra-annual flow distribution of the Shu-Talas river basin over the past decade. Хабаршы. География сериясы 2, с. 8. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.08>
- 6 Kaliyeva, K., Punys, P., & Zhaparkulova, Y. (2021). The Impact of Climate Change on Hydrological Regime of the Transboundary River Shu Basin (Kazakhstan–Kyrgyzstan): Forecast for 2050. Water, 13(20), 2800. <https://doi.org/10.3390/w13202800>
- 7 Давлетгалиев С.К., Казакбаева Т.М. Восстановление годового стока рек бассейна Шу-Талас // Материалы XXIV международной научно-практической конференции: «Развитие науки в XXI веке» 3 часть. – Х.: научно информационный центр «Знание», 2017. – Б. 5-14.
- 8 База данных для открытого использования результатов наблюдений на метеорологических станциях РГП «Казгидромет»: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
- 9 <https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-information#>
- 10 Wang, X. L., & Feng, Y. (2013). RHtestsV4 User Manual: Manual for RHtestsV4, software for assessing the homogeneity of climate data series. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. Retrieved from <https://etccdi.pacificclimate.org/software.shtm>
- 11 Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: изд. РГТМУ. – 2008. – 408 с.
- 12 Eyring V., Bony S., Meehl G. A., et al. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development, 9, 1937–1958.

- 13 Seventh National Communication of the Republic of Kazakhstan under the United Nations Framework Convention on Climate Change (2017). [7-е национальное сообщение Республики Казахстан]. Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/08/NDMJeK-1.2017_compressed-1.pdf
- 14 United Nations Development Programme. (n.d.). Eighth National Communication and Fifth Biennial Update Report of the Republic of Kazakhstan under the United Nations Framework Convention on Climate Change [8-е национальное сообщение и 5-й двухгодичный доклад Республики Казахстан]. <https://www.undp.org/ru/kazakhstan/publications/8-e-nacionalnoe-soobschenie-i-5-y-dvukhgodichnyy-doklad-respubliki-kazakhstan-ramochnoy-konvencii-on-ob-izmenenii-klimata>
- 15 Boyles, R., Nikiel, K. A., Miller, B. W., Littell, J., Terando, A. J., Rangwala, I., Alder, J. R., Rosendahl, D. H., & Wootten, A. M. (2024). Approaches for using CMIP projections in climate model ensembles to address the “hot model” problem (Open-File Report 2024-1008). U.S. Geological Survey, in cooperation with the University of Colorado and the University of Oklahoma. <https://doi.org/10.3133/ofr20241008>
- 16 Kim, Y.-H., Min, S.-K., Zhang, X., Sillmann, J., & Sandstad, M. (2020). Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100269. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100269>
- 17 Gutiérrez, J. M., & Treguier, A.-M. (Eds.). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Annex II: Models. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- 18 Климат Казахстана по областям 2023. – Астана: РГП «Казгидромет» – С.1-2.
- 19 Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана 2023. – Астана: РГП «Казгидромет» – С.65.
- 20 Podnebesnykh, N. V., & Ippolitov, I. I. (2019). The relationship of climatic characteristics with anticyclonic activity in the winter period over Siberia in 1976–2011. *Optika Atmosfery i Okeana [Atmospheric and Oceanic Optics]*, 32(12). <https://doi.org/10.15372/AOO20191202>
- 21 Обзор об особенностях климата Казахстана на 2024 г. – Астана: РГП «Казгидромет» – С.17-24.

REFERENCES

- 1 Safina A. River runoff resources of the Shu–Talas water management basin in the context of climate change // *Engineering Journal of Satbayev University*. – 2023. – Vol. 145, No. 3. – P. 25–30. – DOI: 10.51301/ejsu.2023.i3.04.
- 2 Water resources of Kazakhstan. (n.d.). – URL: <https://paperzz.com/doc/7618350/water-resources-of-kazakhstan>.
- 3 Fiziko-geograficheskaya kharakteristika Kazakhstana. – URL: https://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/docs/fiziko_geog_kharack_kazakhstan.html.
- 4 Dostay Zh. D., Kulebaev K. M., Kamaliev A. M. Gidrologicheskiy monitoring na rekakh Shu–Talas skogo basseyna i ego razvitiye // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 2018. – No. 1. – P. 84–91. [in Russian]
- 5 Musina A. K., Shaibek A. D., Narbayeva K. T., Alimbai A. M. Assessment of the intra-annual flow distribution of the Shu–Talas river basin over the past decade // *Khabarshy. Geography Series*. – 2021. – No. 2(61). – P. 8. – DOI: 10.26577/JGEM.2021.v61.i2.08. [in Russian]
- 6 Kaliyeva K., Punys P., Zhaparkulova Y. The Impact of Climate Change on Hydrological Regime of the Transboundary River Shu Basin (Kazakhstan–Kyrgyzstan): Forecast for 2050 // *Water*. – 2021. – Vol. 13, No. 20. – Article 2800. – DOI: 10.3390/w13202800. [in Russian]
- 7 Davletgaliyev S. K., Kazakbayeva T. M. Vosstanovlenie godovogo stoka rek basseyna Shu–Talas // *Materialy XXIV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Razvitiye nauki v XXI veke”*. – Ch. 3. – Kharkov: Nauchno-informatsionnyy tsentr “Znanie”, 2017. – P. 5–14. [in Russian]
- 8 Baza dannykh dlya otkrytogo ispol'zovaniya rezultatov nablyudeniy na meteorologicheskikhstantsiyakh RGP “Kazgidromet”. – URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/. [in Russian]
- 9 IPCC Interactive Atlas. – URL: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-information#>. [in Russian]
- 10 Wang, X. L., & Feng, Y. (2013). *RHtestsV4 User Manual: Manual for RHtestsV4, software for assessing the homogeneity of climate data series*. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada.
- 11 Malinin V. N. *Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii*. – St. Petersburg: Izd. RGGMU, 2008. – 408 p. [in Russian]
- 12 Eyring V., Bony S., Meehl G. A., et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geoscientific Model Development*. – 2016. – Vol. 9. – P. 1937–1958.
- 13 Seventh National Communication of the Republic of Kazakhstan under the United Nations Framework Convention on Climate Change (2017). [7-е национальное сообщение Республики Казахстан]. Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/08/NDMJeK-1.2017_compressed-1.pdf
- 14 United Nations Development Programme. (n.d.). Eighth National Communication and Fifth Biennial Update Report of the Republic of Kazakhstan under the United Nations Framework Convention on Climate Change [8-е национальное сообщение и 5-й двухгодичный доклад Республики Казахстан]. <https://www.undp.org/ru/kazakhstan/publications/8-e-nacionalnoe-soobschenie-i-5-y-dvukhgodichnyy-doklad-respubliki-kazakhstan-ramochnoy-konvencii-on-ob-izmenenii-klimata>
- 15 Boyles, R., Nikiel, K. A., Miller, B. W., Littell, J., Terando, A. J., Rangwala, I., Alder, J. R., Rosendahl, D. H., & Wootten, A. M. (2024). Approaches for using CMIP projections in climate model ensembles to address the “hot model” problem (Open-File Report 2024-1008). U.S. Geological Survey, in cooperation with the University of Colorado and the University of Oklahoma. <https://doi.org/10.3133/ofr20241008>
- 16 Kim, Y.-H., Min, S.-K., Zhang, X., Sillmann, J., & Sandstad, M. (2020). Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100269. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100269>
- 17 Gutiérrez, J. M., & Treguier, A.-M. (Eds.). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Annex II: Models. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

18 Klimat Kazakhstana po oblastyam 2023. – Astana: RGP “Kazgidromet”, 2023. – P. 1–2. [in Russian]

19 Ezhegodnyy byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazakhstana 2023. – Astana: RGP “Kazgidromet”, 2023. – P. 65. [in Russian]

20 Podnebesnykh N. V., Ippolitov I. I. The relationship of climatic characteristics with anticyclonic activity in the winter period over Siberia in 1976–2011 // Optika Atmosfery i Okeana [Atmospheric and Oceanic Optics]. – 2019. – Vol. 32, No. 12. – DOI: 10.15372/AOO20191202.

21 Obzor ob osobennostyakh klimata Kazakhstana na 2024 g. – Astana: RGP “Kazgidromet”, 2024. – P. 17–24. [in Russian]

ШУ–ТАЛАС (ҚАЗАҚСТАН) БАССЕЙНІНДЕГІ АУА ТЕМПЕРАТУРА МЕН ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ БОЛАШАҚТАҒЫ ӨЗГЕРІСТЕРІН ТАЛДАУ

Жанар К. Наурызбаева*PhD, Гульсара Е. Монкаева, Макпал А. Жунисова, Еркебулан Е. Белдеубаев,
Нурканат Е. Рахматулла, Жұлдыз Х. Кенжина

«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru, gulsara.monkayeva@mail.ru,
makpal80@mail.ru, yerkebulanyerkebulan@gmail.com, nurkanat.rakhmatulla@mail.ru, kenzhina03@mail.ru

Автор корреспонденция: Жанар К. Наурызбаева, naurozbaeva.zhanar@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Шу-Талас бассейні,
CMIP6 ансамблі,
SSP3-7.0, SSP5-8.5 климаттық
сценарийлер,
ауа температурасы,
атмосфералық жауын-шашын

Мақала жайында:

Жіберілді: 24.09.2025
Қайта қаралды: 06.10.2025
Қабылданды: 07.10.2025
Жарияланды: 08.10.2025

АБСТРАКТ

CMIP6 климаттық модель ансамблі және IPCC интерактивті атлас деректерін пайдалана отырып, 21 ғасырдың соңына қарай Шу-Талас бассейніндегі ауа температурасы мен жауын-шашынның күтілетін өзгерістеріне талдау жүргізілді. Шу-Талас бассейнінің қазақстандық бөлігінде 2021...2040 жылдар аралығында орташа жылдық температура 1.4...1.7 °C және жауын-шашын мөлшері 3...7%-ға артуы күтілуде. Орта мерзімді перспективада (2041...2060 ж.) жылыну 2.4...3.0 °C және жауын-шашын мөлшері 2.4...3.0 °C және жауын-шашын мөлшері 2021...2040 жж. Ұзақ мерзімді перспективада (2081...2100 ж.), SSP3-7.0 сценарийі бойынша температура 4.5...5.0°C, ал SSP5-8.5 кезінде 6.0...6.5°C жоғарылайды, жауын-шашын ықтималдылығы 15...23% өседі. Бұл өзгерістер жыл аралық өзгермеліліктің артуына және аймақтың гидрологиялық режимінің өзгеруіне ықпал етеді. Бұл зерттеудің ғылыми маңыздылығы Орталық Азиядағы жаһандық жылынуудың аймақтық көріністері туралы түсінігімізді кеңейтеді, ал оның практикалық маңыздылығы нәтижелерді су шаруашылығы мен ауыл шаруашылығы секторларында климаттың өзгеруіне бейімделу үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Сондай-ақ зерттеуде Шу-Талас бассейнінің табиғи ресурстарын тұрақты басқару бойынша ұсыныстар берілген.

ANALYSIS OF FUTURE CHANGES IN TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN THE SHU-TALAS BASIN (KAZAKHSTAN)

Zhanar Naurozbayeva*PhD, Gulsara. Monkayeva, Makpal Zhunisova, Erkebulan Beldeubayev,
Nurkanat Rakhmatulla, Zhuldyz Kenzhina

JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; naurozbaeva.zhanar@mail.ru, gulsara.monkayeva@mail.ru,
makpal80@mail.ru, yerkebulanyerkebulan@gmail.com, nurkanat.rakhmatulla@mail.ru, kenzhina03@mail.ru

Corresponding author: Zhanar Naurozbayeva, naurozbaeva.zhanar@mail.ru

KEY WORDS

Shu-Talas basin,
CMIP6 model ensemble,
climate scenarios SSP3-7.0,
SSP5-8.5,
air temperature,
atmospheric precipitation

ABSTRACT

An analysis of expected changes in air temperature and precipitation in the Shu-Talas basin by the end of the 21st century was conducted using the CMIP6 climate model ensemble and data from the IPCC Interactive Atlas. In the Kazakh part of the Shu-Talas basin, the average annual temperature is expected to increase by 1.4...1.7 °C and precipitation by 3...7% between 2021 and 2040. In the medium

About article:

Received: 24.09.2025

Revised: 06.10.2025

Accepted: 07.10.2025

Published: 08.10.2025

term (2041...2060), warming is expected to be 2.4...3.0 °C and precipitation will increase by 6...12% under the SSP3-7.0 scenario. In the long term (2081...2100), Under the SSP3-7.0 scenario, temperatures will increase by 4.5...5.0°C, and under SSP5-8.5, by 6.0...6.5°C, with precipitation potentially increasing by 15...23%. These changes will contribute to increased interannual variability and transformation of the region's hydrological regime. The scientific significance of this study will expand our understanding of the regional manifestations of global warming in Central Asia, while its practical significance will allow the results to be used for adaptation to climate change in the water management and agricultural sectors. The study also provides recommendations for the sustainable management of the Shu-Talas basin's natural resources.

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).