

Климатология и метеорология

Климатология және метеорология

Climatology and meteorology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-109-124.11>

МРНТИ 39.23.15

УДК 551.583

Ж. К. Наурозбаева^{*1}, Г. Е. Монкаева², М. А. Жунисова³,
Н. Е. Рахматулла⁴, Г. А. Еркинова⁵

^{1*} PhD, руководитель лаборатории региональных климатических изменений

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

² Научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; gulsara.monkayeva@mail.ru)

³ Научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; makpal80@mail.ru)

⁴ Младший научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)

⁵ Ведущий инженер лаборатории региональных климатических изменений

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; yerkinova.gaukhar@mail.ru)

ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ ПО КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВСС-CSM1-2 ДЛЯ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРΙΑ

Аннотация. Проведен анализ режима температуры воздуха и осадков бассейна реки Сырдария за период с 1941 по 2021 г., выявлены тенденции их роста, увеличение выпадения осадков зимой и незначительные уменьшения летом. Превышение температуры воздуха за базовый период 1961-1990 гг. составило 2,2-2,6°C, а за современный период 1991-2020 гг. – более 1 °С, что больше в сравнении с другими регионами Казахстана. Также проведена аналитическая работа по отбору подходящих климатических моделей из ансамбля CMIP6 на основе детализации и адаптации к местным орографическим условиям. Наиболее подходящей оказалась китайская модель ВСС-CSM1-2. Согласно результатам модели определены ожидаемые изменения температуры и осадков до конца столетия. По сценарию SSP4.5 зимой средняя температура воздуха может достигнуть от – 2,8 до +1,5 °С, а летом – до 33,7 °С. Режим осадков также будет претерпевать изменения. В зимний период и марте ожидается наибольшее количество осадков в предгорной части, в частности будут преобладать жидкие осадки и значительное их уменьшение в теплое полугодие на равнинной территории.

Ключевые слова: бассейн реки Сырдария, изменение климата, климатические модели, температура воздуха, атмосферные осадки.

Введение. Территория Центральной Азии, к которой относится Казахстан, наиболее чувствительна к глобальному потеплению климата из-за географического положения. Средняя скорость роста температуры воздуха в странах Центральной Азии наибольшая в Туркменистане и составляет около 0,46 °С каждые 10 лет, а в Казахстане – 0,32 °С за каждые 10 лет, что имеет непосредственное влияние на различные сферы деятельности человека, водные ресурсы, экономику страны [1]. Также претерпевают изменения атмосферные осадки, особенно в летний период. Исследуемый регион относится к засушливому району, который уже в данный момент испытывает дефицит осадков [2].

Бассейн реки Сырдария является одним из наиболее уязвимых регионов Казахстана к изменению климата [3]. Река обеспечивает водой сельское хозяйство, промышленность региона и население, а также играет важную роль в поддержании экосистемы Северного Аральского моря [4]. В условиях глобального потепления возникает необходимость изучения возможных изменений температуры и осадков на перспективу, так как эти факторы напрямую влияют на водные ресурсы региона и его устойчивое развитие [5]. Актуальность и проблематика данного региона отражены в работах [6, 7], где показаны результаты изменения стока реки, его влияния на деятельность человека в регионе, а также проблемы Аральского моря.

Для выявления ожидаемых изменений температуры и осадков на перспективу была использована модель из ансамбля CMIP6 - BCC-CSM1-2, которая дает возможность спрогнозировать будущие изменения климата с учетом глобальных процессов [8].

При долгосрочном прогнозировании климатических параметров для Казахстана в рамках CMIP6 и IPCC наиболее часто используются периоды [9]:

2030–2050 гг. (среднесрочный прогноз) – позволяет оценить ближайшие изменения климата, имеющие практическую значимость для адаптации;

2050–2070 гг. (долгосрочный прогноз) – подходит для анализа устойчивых трендов и оценки сценариев изменения климата;

2070–2100 гг. (конец XXI века) – используется для стратегического планирования и оценки сценариев глобального потепления.

Выбор базового периода является ключевым этапом при проведении долгосрочных климатических прогнозов. Для территории Казахстана наиболее обоснованными периодами являются:

1961–1990 гг. – используется в ряде климатических исследований как исторический референтный период, но с учетом изменения климата этот интервал может устаревать;

1981–2010 гг. – стандартный период Всемирной метеорологической организации (ВМО) для климатического нормирования;

1991–2020 гг. – более актуальный период, предложенный ВМО, который отражает современные климатические изменения, но обладает меньшей статистической устойчивостью по сравнению с более длительными интервалами [10].

Этот выбор обеспечивает баланс между доступностью данных, актуальностью климатических изменений и необходимостью учитывать долгосрочные тренды.

Целью исследования являются проведение анализа и оценки основных климатических условий бассейна реки Сырдария, а также выявление ожидаемых изменений температуры и осадков с применением адаптированной климатической модели BCC-CSM1-2.

Материалы и методы исследования. Территория бассейна реки Сырдария по административному делению относится к Кызылординской и Туркестанской областям. Были использованы данные по температуре воздуха и атмосферным осадкам метеорологических станций, которые расположены в данных областях, гидрометеорологический мониторинг наблюдений проводит РГП «Казгидромет» [11]. Период исследования 1941–2021 гг. (рисунок 1, таблица 1).

Для формирования качественной базы данных по температуре воздуха и осадкам проведены статистические расчеты и критические проверки на однородность данных, которые приняты в климатической практике. При оценке однородности эмпирических рядов метеорологических параметров использованы критерии Стьюдента, Фишера, Калмыкова-Граббса. В соответствии с принятой международной практикой при проверке однородности метеорологических рядов наблюдений признано наиболее целесообразным использовать комбинированный статистический подход для оценки однородности рядов [12]. Для оценки будущих значений метеорологических параметров были использованы климатические модели, разработанные МГЭИК, взятые из базы данных Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [13].

Общее количество моделей, которые используются в CMIP6, более 30 [14]. Для Казахстана были отобраны наиболее подходящие, которые отличаются высокой детализацией, отражают и улавливают региональные климатические условия страны. Одной из таких моделей является модель Китайского метеорологического агентства BCC-CSM1-2 [8] с разрешением 100 км (1,1x1,1°), основанная на глобальной модели циркуляции атмосферы и океана, включающая данные спутниковых наблюдений, атмосферного давления, осадков и парниковых газов.

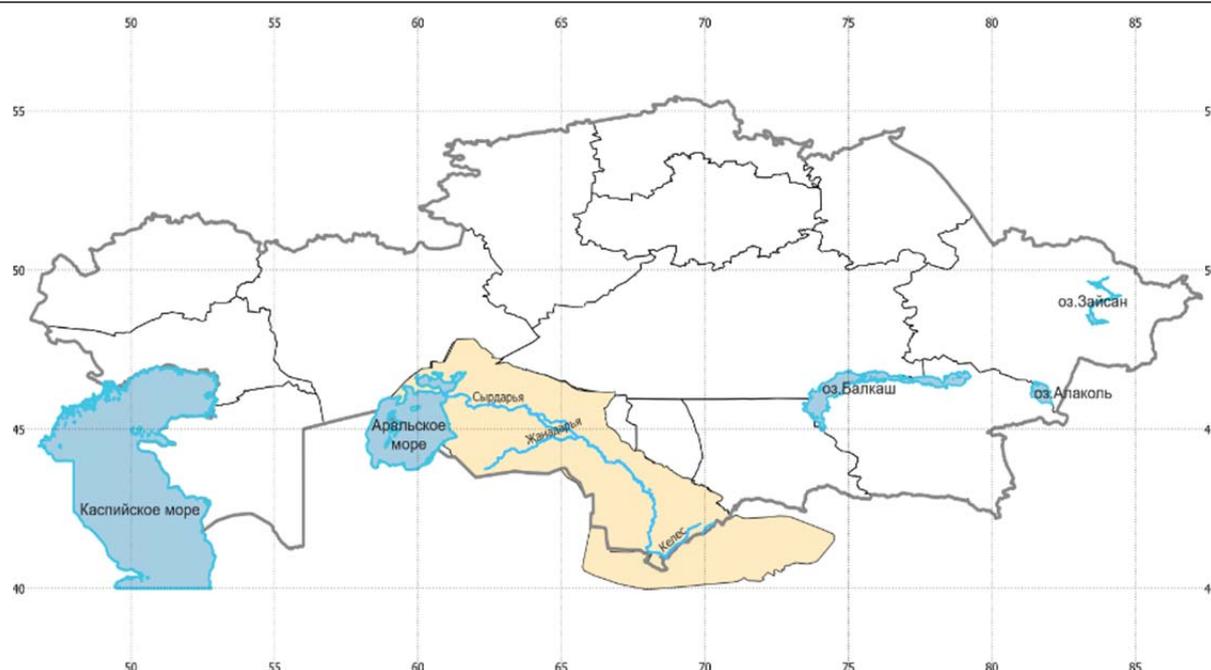


Рисунок 1 – Карта-схема бассейна реки Сырдария

Figure 1 – Map-scheme of the Syrdarya River basin

Таблица 1 – Перечень метеорологических станции бассейна реки Сырдария

Table 1 – List of meteorological stations in the Syrdarya River basin

№ п/п	Метеорологическая станция	Широта, град.мин	Долгота, град.мин	Высота над уровнем моря, м
1	Казалы	45.8	62.1	66
2	Жосалы	45.5	64.1	101
3	Кызылорда	44.8	65.5	128
4	Злиха	45.2	66.9	138
5	Карак	44.8	63.2	144
6	Шиели	44.2	66.8	152
7	Тасты	44.8	69.2	191
8	Шардара	41.4	68.0	271
9	Арыс	42.4	68.8	238
10	Казыгурт	41.7	69.4	575
11	Тасарык	42.2	70.2	1122

В ходе обработки данных выявлены систематические погрешности модели при сравнениях с фактическими наблюдаемыми данными по температуре воздуха и атмосферным осадкам, которые связаны с недоучетом аazonальных факторов. Вполне естественно, что эти погрешности будут проявляться и в сценарных оценках. Поэтому необходимо корректировать сценарные средние температуры воздуха и вводить как систематическую, так градиентную поправки, как было предложено и реализовано в работах [15, 16]. Градиентная поправка основывается на расчете среднего градиента между тремя сценарными нормами и сопоставлении его с градиентом норм последнего периода наблюдений и первого сценарного периода.

Средний сценарный градиент норм температуры (dT) вычисляется по формуле:

$$dT = (T_{н3} - T_{н1}) / 2, \quad (1)$$

где $T_{н1}$, $T_{н3}$ – нормы температур за периоды 2014-2040 и 2071-2100 гг., а градиент между наблюдаемыми и сценарными нормами (dT') рассчитывался как:

$$dT' = (T_{n1} - T_{n0}), \quad (2)$$

где T_{n0} – нормы температур за последний наблюдаемый период 1981-2010 гг.

И если $dT' - dT > 1^{\circ}\text{C}$, то сценарные нормы уменьшались на эту разность, а если $T_{n1} - T_{n0} < 0$, т.е. сценарные нормы были меньше наблюдаемых, то градиентная поправка определялась как $T_{n0} - T_{n1} + dT$ и соответственно на нее сценарные нормы увеличивались.

Результаты и их обсуждение. Термический режим. Климат рассматриваемой территории формируется под воздействием арктических полярных и тропических воздушных масс и отличается характерными чертами континентальности, особенно резко выраженной в его равнинной части. В холодное время года, с ноября по март, территория находится под влиянием западного отрога Сибирского антициклона. Зимний период времени года характерен не только воздействием Сибирского антициклона, но и частыми вторжениями с северо-запада, севера и северо-востока. Как правило, это холодные воздушные массы Арктики и умеренных широт. В теплое время года территория находится главным образом под воздействием вторгающегося теплого и влажного континентального воздуха умеренных широт, формирующегося в летние месяцы над Средней Азией и Ираном. Особенностью циркуляционного режима весеннего периода является неустойчивость погоды, что связано с северо-западными и западными циклонами, приносящими влажные воздушные массы. Летом, особенно в августе, в связи с проникновением с юга тропического воздуха над значительной территорией Южного Казахстана и Средней Азией формируется термическая депрессия, определяющая малооблачную сухую погоду. В осенний период учащаются холодные вторжения. Переход к зиме осуществляется в короткий период и сопровождается спадом температуры воздуха [17, 18].

В целях оценки основных климатических условий бассейна р. Сырдария рассмотрен временной ход аномалии среднегодовых температур воздуха, сумм осадков за зиму и лето и их тенденции, а также рассчитаны коэффициенты линейного тренда среднегодовой температуры воздуха за период 1976-2021 гг. Этот период был выбран с учетом изменений термического режима на всех станциях Казахстана [19] (рисунки 2, 3).

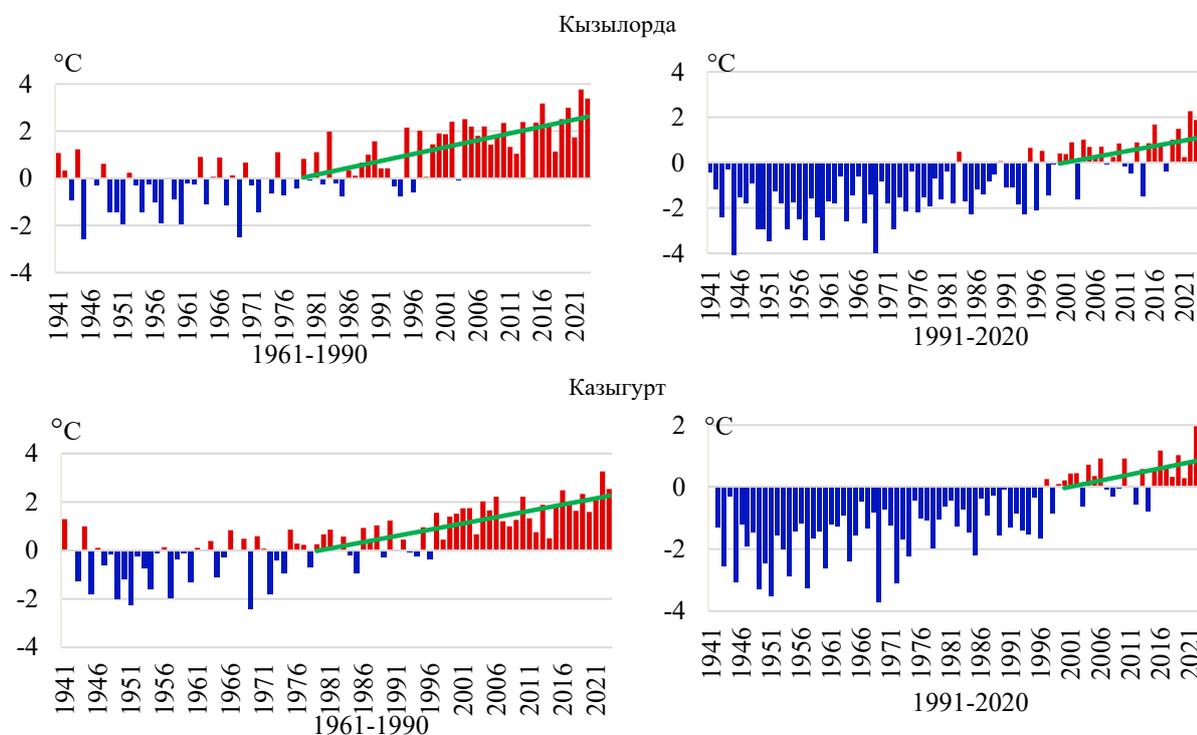


Рисунок 2 – Временной ход аномалий среднегодовой температуры воздуха, рассчитанных относительно периодов 1961-1990 и 1991-2020 гг.

Figure 2 – Time course of the anomaly of average annual air temperature, calculated relative to the periods 1961-1990 and 1991-2020

Южная часть Казахстана, где расположен бассейн реки Сырдария, которая в большей степени занята пустынными и полупустынными территориями, значительно подвержена прогреву, прирост составляет в среднем 1,3-1,6 °С.

Исходя из рисунка 2 аномалия температуры воздуха положительна в основном с 1976 г. и составляет 2,2-2,6 °С. Она рассчитана относительно 1961-1990 гг., что наиболее значимо по сравнению с другими регионами Казахстана. Аномалия за современный период 1991-2020 гг. составляет более 1 °С.

При рассмотрении холодного и теплого периодов отмечено, что особо холодные зимние периоды были в 1944-1945, 1953-1954, 1968-1969, 1995-1996, 2011-2012 гг. Также отмечаются два зимних периода с наиболее высокими температурами – это зима 2000-2001 и 2016-2017 гг. Из теплых полугодий отмечались холодные в конце 50-х годов, в 1993 году, а в остальные периоды температура была выше 20 °С.

Важно также рассмотреть коэффициенты линейного тренда по температуре воздуха, для того чтобы выявить, на сколько происходят изменения за каждые 10 лет. В таблице 2 представлены сезонные и годовые значения коэффициентов линейного тренда, осредненные по территории бассейна р. Сырдария за 1976-2021 гг.

Таблица 2 – Коэффициент линейного тренда среднегодовой температуры воздуха, °С/10 лет, рассчитанный за 1976-2021 гг.

Table 2 – Linear trend coefficient of average annual air temperature, °C/10 years, calculated for 1976-2021

Год	Зима	Весна	Лето	Осень
0,44	0,38	0,76	0,32	0,26

По результатам таблицы 2 коэффициент линейного тренда температуры воздуха за год составляет 0,44°С/10 лет. В сравнении с другими бассейнами Казахстана эти значения высокие, наибольший показатель в Жайык-Каспийском бассейне (0,51°С/10 лет) [19]. Максимальные скорости роста температуры воздуха по сезонам наблюдаются весной, скорость достигает 0,76 °С/10 лет, а летом и осенью минимальные скорости составляют 0,32 и 0,26 °С/10 лет соответственно. Зимой температура увеличивается на 0,38 °С/10 лет.

Атмосферные осадки. Особенности распределения осадков определяются расположением региона в глубине обширного материка, большим разнообразием и сложностью рельефа. Засушливостью отличается равнинная территория, где среднее годовое количество осадков составляет 360 мм. От равнины к предгорьям осадки возрастают. В горной юго-восточной части бассейна р. Сырдария может выпадать до 1000 мм осадков. Характер зависимости месячных сумм осадков от высоты местности определяется направлениями движения воздушных масс, которые приносят влагу. В зимнее время, когда преобладают северные вторжения, задерживаемые горными хребтами, линия зависимости в верхней части имеет нулевой или обратный градиент осадков. В теплый период года градиент осадков положителен на всех высотах, так как воздушные массы, принносимые с западными вторжениями, беспрепятственно проникают до больших высот [20].

Количество осадков увеличивается с высотой местности от 450 мм на высоте 575 м до 880 мм на высоте 1950 м. В гляциальной зоне выпадает до 1500 мм осадков и более. Максимум осадков приходится на март-май. В этот период выпадает 30–45 % их годовой суммы. Очень мало осадков с июля по сентябрь. Так, в зоне высот 575–1950 м на эти месяцы приходится всего от 12 до 60 мм. На значительной части территории преобладают жидкие осадки. Их повторяемость составляет около 60–70 % от общего числа суток с осадками. Однако в январе и феврале дожди в ряде лет бывают не ежегодно.

Такое распределение подтверждают и графики на рисунке 3, кроме того, представлены и тенденции изменения во временном ходе на примере двух станций.

Наблюдается увеличение зимних осадков, летом есть незначительное уменьшение, но не во все года. Есть отдельные годы с избытком увлажнения. В исследуемом регионе с 1941 по 2021 г. на большей части рассматриваемых станций сильно уменьшилось количество выпадающих осадков летнего периода – около 35-50 мм и менее за все лето.

Кызылорда

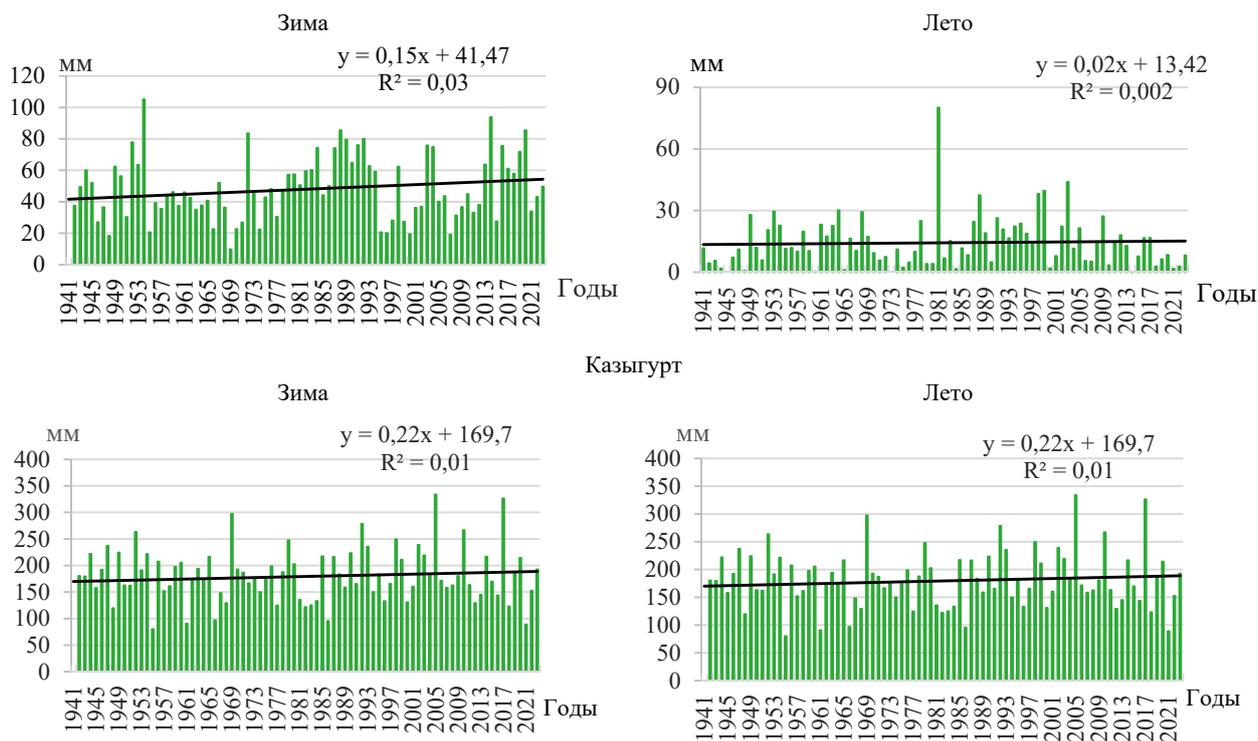


Рисунок 3 – Временной ход и тенденции атмосферных осадков зимой и летом

Figure 3 – Time course and trend of precipitation in winter and summer

Особое внимание привлекает 1981 г., когда превышение количества выпавших осадков было в несколько раз больше, чем среднеголетние значения. Так, в Шиели выпало около 100 мм за весенне-летний период. Такая ситуация была отмечена и на других станциях региона.

В Кызылординской области в год выпадает в среднем 130-140 мм осадков, в Туркестанской области – 240-280 мм, наибольшее количество осадков отмечается на МС Казыгурт – 485 мм.

Оценка изменения температуры воздуха и осадков в будущем. Стоит отметить, что для более точного оценивания на перспективу периоды были поделены по 20-летиям. Таким образом, получены 4 равных промежутка времени до конца века. Также разница базового и современного периодов несколько отличается на перспективу ввиду интенсивного роста температуры воздуха в XXI веке и увеличения среднего значения.

На рисунках 4 и 5 представлены примеры корректировки сценарных норм температур января и июля на метеостанциях Кызылорда и Казыгурт для сценария SSP4.5. Эти станции выбраны на разных высотах – 128 и 598 м над уровнем моря соответственно. На графиках отмечены данные исторического анализа как (HIST) и фактические наблюдаемые (FACT). При сравнении совокупности данных модели и фактически наблюдаемых практически не отмечается, что подтверждает обоснованность применения этой модели. Для ее выбора были проведены подобные расчеты по 10 моделям и отобраны те, где разница между историческими данными модели и фактическими была минимальная. Методика отбора приведена в работе [15, 16].

На рисунке 4 представлено изменение температуры воздуха за январь и июль на перспективу по модели, без внесения каких-либо корректировок как (прогноз 2) и изменения после корректировки, то есть с учетом погрешности представлено как (прогноз 1).

На станциях, расположенных на высотах 52-144 м над уровнем моря (Арал тенизи, Жосалы, Кызылорда, Карак, Казалы, Злиха), модель дает хорошие и близкие значения исторических данных в сравнении с фактическими наблюдаемыми. На примере МС Кызылорда в январе эта разница оценивалась в 0,1 °C за базовый и 0,3 °C за современный период. При расчете на перспективу, согласно SSP-4.5 температура воздуха будет возрастать к концу столетия и достигнет минус 2,2 °C относительно базового периода и минус 0,7 °C относительно современного. Относительно современного периода модель несколько занижает значения, примерно на 1,5 °C. В целом согласно обоим периодам температура уменьшится с – 7 до – 2 °C к концу века.

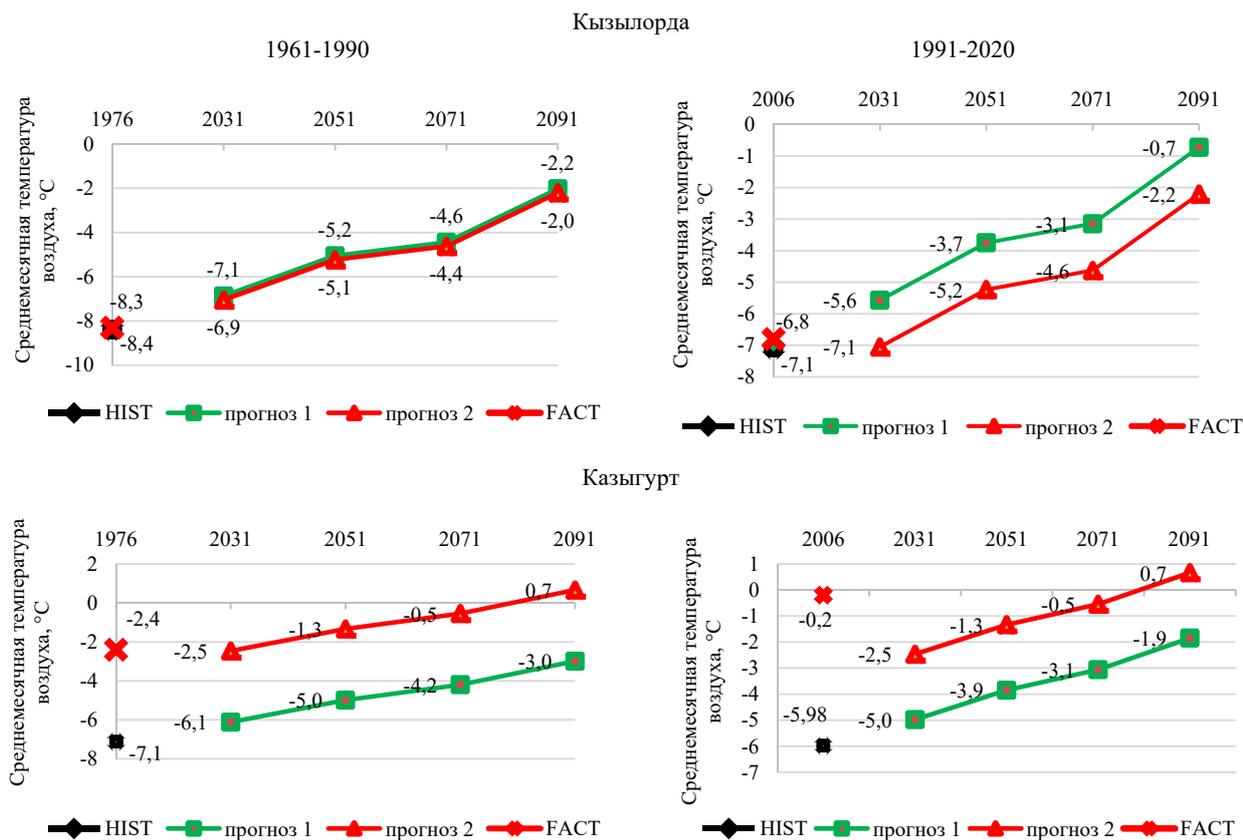


Рисунок 4 – Среднемесячная температура воздуха за январь на станциях Кызылорда и Казыгурт на перспективу по сценарию SSP-4.5 относительно базового и современного периодов по модели BCC-CSM1

Figure 4 – Average monthly air temperature for January at the Kyzylorda and Kazygurt stations for the future according to the SSP-4.5 scenario relative to the baseline and modern periods according to the BCC-CSM1 model

На станции Казыгурт также ожидается увеличение январской температуры воздуха до $-3,0$ °C в среднем за последнее двадцатилетие XXI века. Станция располагается на высоте 598 м над уровнем моря и в горной местности. Разница в исторических данных модели и фактических объясняется тем, что модель не учитывает местные особенности орографии. Таким образом, очевидна необходимость введения корректировки в прогностические значения, иначе разница ожидается в среднем 3-4 °C. Хотя при использовании других моделей, которые менее подходят для региона, эта разница может достигать 8-10 °C и более, что увеличивает ошибку на перспективу, в особенности в последнем двадцатилетии.

К концу столетия на станциях, расположенных в южных регионах Туркестанской области, ожидаются в среднем за 20 лет положительные температуры за январь, а на станциях, расположенных в пустынных регионах Кызылординской области, эти значения будут не ниже -3 °C. По жесткому сценарию фиксируется повышение температуры в период до 2080 года, а к концу столетия, наоборот, ожидается понижение.

Согласно рисунку 5, модель весьма неплохо показывает разницу между историческими и фактическими данными в предгорных и горных районах. Увеличение средней температуры воздуха за июль весьма ощутимо на равнине – до 33,7 °C, а в горных районах – до 29 °C. Третий период с 2060-2080 гг. будет характеризоваться более ощутимой скоростью увеличения температуры воздуха. Четвертый период примечателен меньшей скоростью нарастания значений, а на некоторых станциях отмечается их падение – в холодное полугодие в высокогорье.

В таблице 3 представлены сравнительные значения между историческими данными модели и фактическими наблюдаемыми, для простоты понимания станции расположены по мере возрастания над уровнем моря. Таблица позволяет выявить различия между фактическими наблюден-

ными значениями температуры воздуха и историческими значениями, основанными на модели циркуляции атмосферы и океана, атмосферного давления, осадков и парниковых газов, а также на использовании данных спутниковых наблюдений.

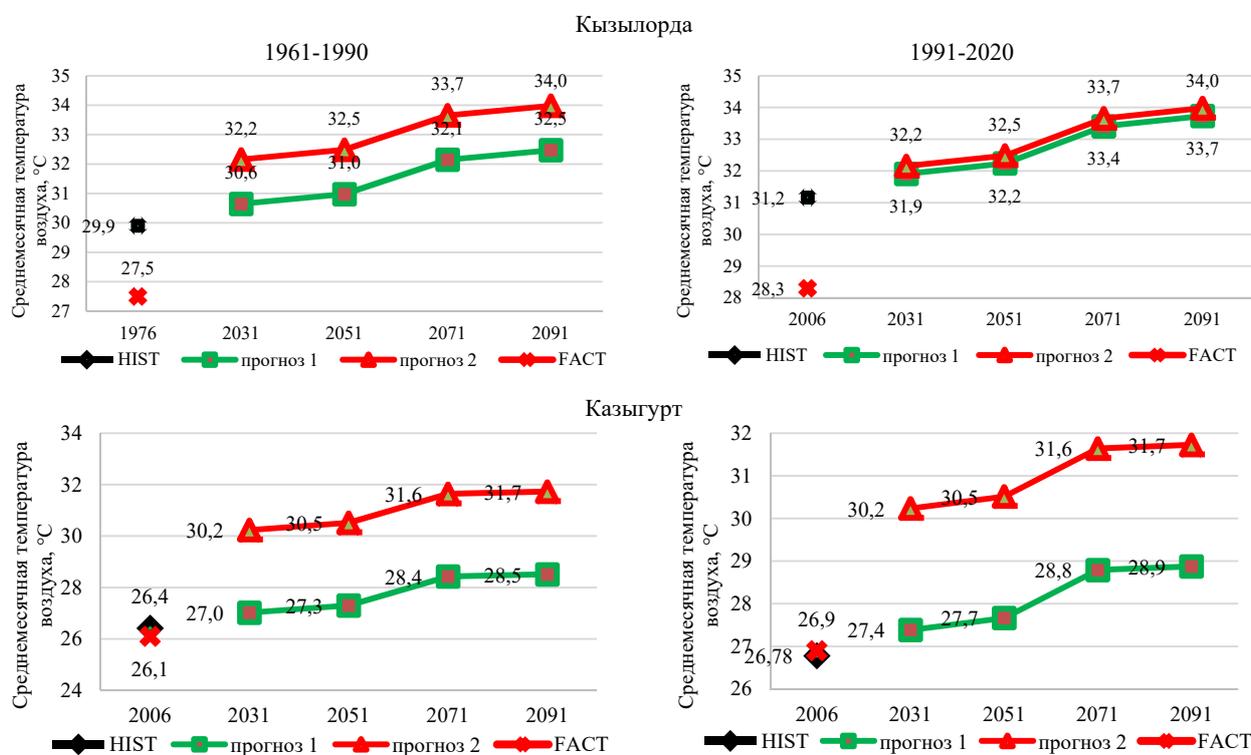


Рисунок 5 – Среднемесячная температура воздуха за июль на станциях Кызылорда и Казыгурт на перспективу по сценарию SSP4.5 относительно базового и современного периодов по модели BCC-CSM1

Figure 5 – Average monthly air temperature for July at the Kyzylorda and Kazygurt stations for the future according to the SSP4.5 scenario relative to the baseline and modern periods according to the BCC-CSM1 model

Таблица 3 – Сравнительные сведения исторических данных модели BCC-CSM1 и фактических наблюдаемых значений за период 1991-2020 гг. по основным среднесезонным месяцам

Table 3 – Comparative information of historical data of the BCC-CSM1 model and actual observed values for the period 1991-2020 for the main average seasonal months

Станция	Исторический период модели				Фактические наблюдаемые				T* (hist-fact)			
	01	04	07	10	01	04	07	10	01	04	07	10
Казалы	-8,5	11,1	30,7	7,6	-8,9	12,4	26,9	9,3	0,4	-1,3	3,8	-1,7
Жосалы	-7,2	12,6	30,2	9,1	-9,1	12,6	28,1	9,4	1,9	0,0	2,1	-0,3
Кызылорда	-7,1	13,0	31,2	9,1	-6,8	13,9	28,3	10,6	-0,3	-0,9	2,9	-1,5
Злиха	-8,4	12,9	27,4	9,3	-8,2	11,4	30,7	10,5	-0,2	1,5	-3,3	-1,2
Карак	-5,3	13,7	30,1	10,5	-7,8	13,2	28,3	9,8	2,5	0,5	1,8	0,7
Шиели	-5,0	13,6	29,0	9,5	-4,5	14,4	27,2	11,0	-0,5	-0,8	1,8	-1,5
Тасты	-8,2	12,9	28,7	9,6	-8,1	13,4	27,7	10,0	-0,1	-0,5	1,0	-0,4
Шардара	-5,0	11,3	27,1	9,4	-0,2	15,6	29,2	14,3	-4,8	-4,3	-2,1	-4,9
Арыс	-5,7	10,2	27,8	10,2	-2,1	15,0	29,3	12,9	-3,6	-4,8	-1,5	-2,7
Казыгурт	-6,0	12,6	26,8	10,2	-0,2	13,8	26,9	12,9	-5,8	-1,2	-0,1	-2,7
Тасарык	-5,6	11,1	25,6	8,3	-2,4	10,7	22,2	9,7	-3,2	0,4	3,4	-1,4

*T – разница между историческими данными модели и фактическими наблюдаемыми.

Из таблицы 3 можно заметить, что в колонке T' (hist-fact) представлена разница между значениями, красным жирным шрифтом показаны превышающие 2,5 град. разницы, хотя при сравнении со всеми моделями такая разница оценивается как хорошая и модель применима для региона. Тем не менее при подобном анализе особо отличаются станции, расположенные в горной местности, и для января наиболее значимы показатели. Также большими значениями отличаются переходные месяцы ввиду неустойчивости барико-циркуляционных процессов в эти периоды. Это отражается и в фактических данных.

Таблица 4 и рисунок 6 показывают результаты моделирования по климатическому сценарию SSP-4.5.

Рост температуры воздуха будет наблюдаться по всему региону, но скорость увеличения на станциях ниже и выше течения реки Сырдарии будет отлична в зависимости от орографии и времени года. При рассмотрении зимнего периода наибольшее повышение ожидается в горной местности, что приведет в будущем к более интенсивному таянию снежного покрова в высокогорье, среднемесячная температура воздуха превысит 0 °С за 20 лет.

Таблица 4 – Вероятное повышение средней температуры воздуха (°С) в соответствии со сценариями SSP-4.5 и SSP-8.5 до конца столетия по модели BCC-CSM1

Table 4 – Probable increase in average air temperature (°C) in accordance with the SSP-4.5 and SSP-8.5 scenarios by the end of the century according to the BCC-CSM1 model

МС	Месяцы / период															
	Январь				Апрель				Июль				Октябрь			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
	SSP-4.5															
Казалы	-7	-4,6	-4,3	-1,5	12,3	12,2	13,2	14,5	31,5	31,9	33	33,6	7,9	10,1	9,3	10,9
Жосалы	-5,7	-3,7	-3,2	-0,6	13,9	13,8	14,9	16,2	31	31,4	32,5	32,9	9,6	11,8	10,9	12,7
Кызылорда	-5,6	-3,8	-3,1	-0,7	14,2	14,1	15,4	16,7	31,9	32,2	33,4	33,7	9,6	11,8	11	12,8
Злиха	-6,8	-5,2	-4,5	-2,4	12,7	12,6	14,1	15,3	31,4	31,7	33	33,1	11,1	13,2	12,5	14,4
Карак	-3,7	-1,6	-1,1	1,5	14,8	14,7	15,8	17,1	30,9	31,3	32,3	32,9	10,9	13,1	12,2	13,9
Шиели	-3,7	-2,3	-1,6	0,3	14,9	14,8	16,2	17,3	29,7	30	31,2	31,4	10,1	12,1	11,4	13,3
Тасты	-6,9	-5,4	-4,5	-2,8	14,2	14,1	15,7	16,7	29,4	29,6	31	31	10,3	12,3	11,7	13,6
Шардара	-4	-3	-2,1	-0,9	12,3	12,5	14	14,5	27,7	28	29	29,2	10,2	11,6	10,9	13,1
Арыс	-4,7	-3,6	-2,8	-1,6	11,2	11,3	12,8	13,4	28,4	28,7	29,8	29,9	10,9	12,5	11,8	13,9
Казыгурт	-5	-3,9	-3,1	-1,9	13,7	13,7	15,2	15,8	27,4	27,7	28,8	28,9	10,9	12,5	11,8	13,9
Тасарык	-4,6	-3,4	-2,7	-1,5	12,1	12,2	13,7	14,2	26,2	26,4	27,5	27,6	9	10,5	9,9	12
	SSP-8,5															
Казалы	-7,7	-5	-4,1	-3,3	11,8	15	15,2	16,3	32,4	34	36,5	37,4	8,9	10,5	12,5	13,1
Жосалы	-6,5	-4	-3,3	-2,6	13,2	16,6	16,6	17,6	31,9	33,5	36	36,8	10,6	11,8	14,1	14,7
Кызылорда	-6,4	-3,9	-3,2	-2,5	13,5	16,9	16,9	17,9	32,9	34,5	37,1	37,9	10,6	11,7	14,1	14,7
Злиха	-7,6	-5,2	-4,6	-3,9	11,9	15	15,2	16,1	32,4	34,1	36,6	37,5	12,1	13	15,6	16,2
Карак	-4,6	-2	-1,3	-0,6	14,2	17,6	17,6	18,7	31,8	33,4	36	36,8	11,9	13,1	15,4	16
Шиели	-4,5	-2,3	-1,9	-1,4	14,3	17,3	17,4	18,5	30,7	32,3	34,7	35,6	11	11,9	14,4	15
Тасты	-7,6	-5,4	-4,9	-4,3	13,5	16,3	16,4	17,5	30,4	32,1	34,5	35,5	11,2	12	14,6	15,2
Шардара	-4,4	-2,9	-2,4	-1,7	12	14,7	14,6	16,1	28,8	30,4	32,6	33,6	11,1	11,5	14,2	15
Арыс	-5,2	-3,6	-3,2	-2,5	10,9	13,6	13,4	15	29,4	31	33,2	34,3	11,9	12,3	15	15,8
Казыгурт	-5,4	-3,9	-3,4	-2,7	13,3	16	15,9	17,4	28,4	30,1	32,2	33,3	11,9	12,3	15	15,7
Тасарык	-4,9	-3,5	-2,9	-2,2	11,8	14,4	14,3	15,8	27,2	28,8	30,9	32	10	10,3	13	13,8

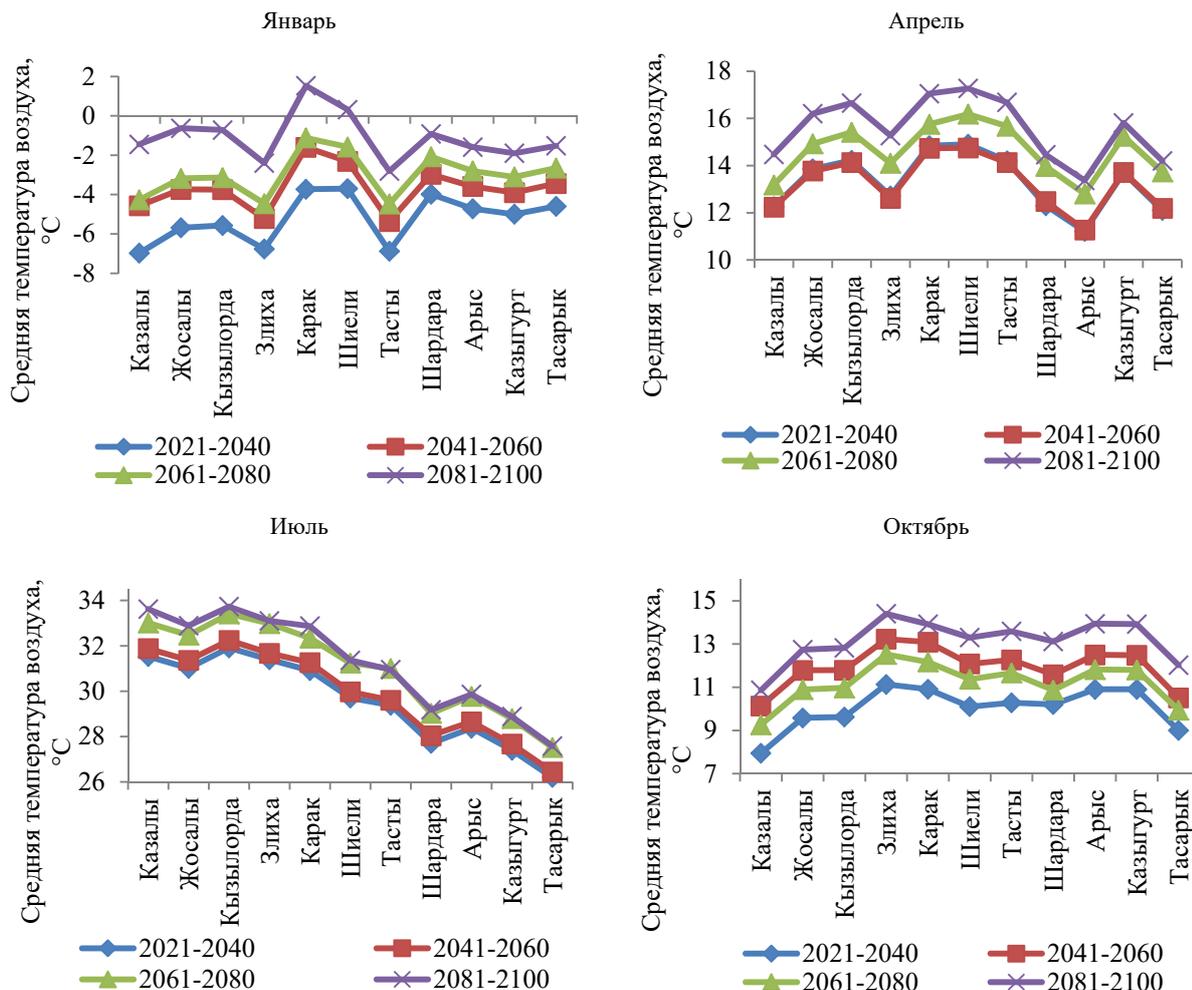


Рисунок 6 – Распределение среднемесячной температуры воздуха по сценарию SSP4.5 на исследуемых станциях до конца столетия

Figure 6 – Distribution of average monthly air temperature according to the SSP4.5 scenario at the studied stations until the end of the century

Все рисунки объединяют не только тенденция роста температуры воздуха, но и различные темпы: в первые два периода 2021-2040 и 2041-2060 гг. интенсивность повышения небольшая, но третий период отличается быстрым ростом. Так, в январе в период 2021-2040 гг. по SSP4.5 температуры воздуха составляют от -7 до $-3,7$ °C, а концу периода 2081-2100 гг. – от $-2,8$ до $+1,5$ °C. В июле также наблюдается увеличение средних показателей от $26,2-31,9$ до $27,6-33,7$ °C. По сценарию SSP8.5 температура воздуха в июле будет достигать $37,9$ °C в среднем (рисунок 7). В переходные сезоны превышение к концу века составит 2-3 °C. Стоит предположить, что в отдельные годы температура воздуха летом может быть намного больше средних за 20 лет и это может привести к усилению повторяемости засухи, ее интенсивности и, конечно, к увеличению повторяемости дней с температурой выше 35 °C.

При оценке вероятностного изменения по жесткому сценарию 8.5 необходимо сделать особый акцент на летних месяцах. Так, средние значения могут достигать 37 °C и выше, что крайне неблагоприятно для данного региона. Учитывая, что июль как самый жаркий месяц лета может иметь такие значения, следует упомянуть и об августе, который отличается не менее низкими значениями. Тенденция повторяемости засушливого периода и его увеличения по количеству дней особенно будет критична в третьем и четвертом десятилетии текущего века для всего летнего периода, в частности для пустынных и полупустынных регионов. Следует предположить, что с ростом летних температур будет наблюдаться интенсивный рост испаряемости с водной поверхности, что будет иметь значение при расчете водного баланса, стока и пр. [20].

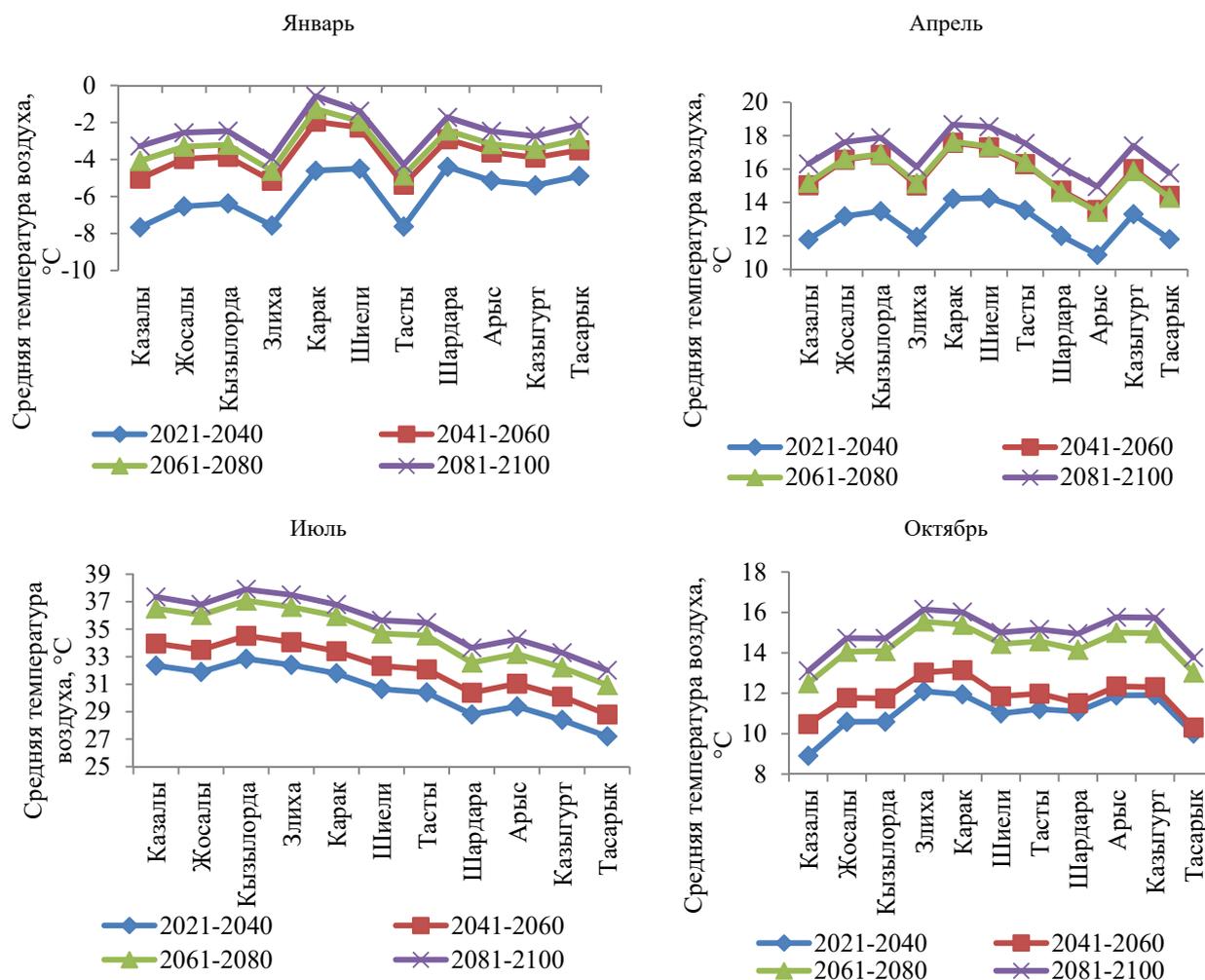


Рисунок 7 – Распределение среднемесячной температуры воздуха по сценарию SSP-8.5 на исследуемых станциях до конца столетия

Figure 7 – Distribution of average monthly air temperature according to the SSP-8.5 scenario at the studied stations until the end of the century

Возможное изменение сумм осадков по модели BCC-CSM1, рассчитанное относительно базового периода 1991-2020 гг. по сценариям SSP4.5, SSP8.5, представлено в таблице 5. Таким образом, изменения количества выпадения атмосферных осадков на перспективу в исследуемом регионе ожидается:

1. В годовом разрезе – уменьшение сумм осадков к концу столетия на станциях, расположенных в пустынных и полупустынных регионах и незначительное увеличение на станциях, расположенных в горных и предгорных районах. Анализ годового распределения осадков и тем более осредненных по 20-летиям, дает лишь определение общей тенденции изменения параметра в зависимости от региональной особенности орографии. Наиболее детальный анализ показателен будет в сезонном разрезе.

2. Зимний период отличается ростом выпадения осадков, за исключением станций Кызылорда, Казалы. Значимый вклад вносит февраль, когда выпадает больше осадков. Однако увеличение температуры воздуха способствует росту повторяемости выпадения осадков в жидком виде, что в целом приводит к увеличению количества осадков. Такая тенденция характерна для региона гор и предгорья. Данное заключение позволяет предположить, что выпадение жидких осадков зимой, рост температуры воздуха в среднем за данный период ускорят темпы таяния ледников, схода снежного покрова, вскрытия рек ото льда уже в феврале.

3. Весенний период 2041-2026 гг. отмечен некоторым ростом сумм осадков, вклад данного увеличения происходит за счет марта. К концу столетия тенденция уменьшения в пустынных регионах сохраняется.

Таблица 5 – Осредненная сумма осадков (мм) по сезонам и за год по модели BCC-CSM1, рассчитанная относительно базового периода 1991-2020 гг. по сценариям SSP-4.5, SSP-8.5

Table 5 – Average precipitation (mm) by season and per year according to the BCC-CSM1 model calculated relative to the base period 1991-2020 according to the SSP-4.5, SS-P8.5 scenarios

МС	Месяцы / период							
	Год				Зима			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
1	2	3	4	5	6	7	8	9
SSP-4.5								
Жосалы	112	154	151	136	42	45	52	49
Кызылорда	138	129	116	123	50	36	35	38
Шиели	149	144	177	152	50	60	69	66
Шардара	232	220	257	224	95	95	101	94
Арыс	316	323	330	310	118	124	126	125
Казыгурт	496	500	533	512	198	201	210	211
SSP-8.5								
Жосалы	92	45	23	-10	26	3	6	-22
Кызылорда	135	80	115	59	42	27	36	5
Шиели	280	284	290	257	115	118	126	113
Шардара	216	204	179	176	92	86	79	78
Арыс	279	269	268	240	115	125	121	122
Казыгурт	478	490	485	472	195	199	202	205

Продолжение таблицы 5

МС	Месяцы / период											
	Весна				Лето				Осень			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SSP-4.5												
Жосалы	44	53	47	56	9	19	16	8	18	37	36	22
Кызылорда	51	62	56	58	8	4	3	-2	29	27	21	29
Шиели	61	61	74	77	10	1	11	-10	27	22	24	19
Шардара	85	85	103	83	9	5	10	6	43	35	43	41
Арыс	127	138	136	123	16	10	19	8	55	52	50	54
Казыгурт	169	173	180	173	28	27	37	28	88	86	91	92
SSP-8.5												
Жосалы	30	8	7	-16	12	8	3	4	24	26	7	24
Кызылорда	59	36	61	46	7	2	-2	-6	27	15	20	13
Шиели	99	104	113	91	13	8	6	0	53	53	45	53
Шардара	83	73	66	67	4	5	-1	-4	37	41	34	35
Арыс	100	83	96	71	13	9	4	0	51	53	47	47
Казыгурт	176	178	179	169	23	23	21	14	83	89	83	85

4. Лето. Практически на всех станциях исследуемого региона наблюдается снижение общего количества осадков, в особенности в засушливых регионах, достигая отрицательных значений. Учитывая, что в мае уже наблюдается спад количества осадков с дальнейшим развитием в летние месяцы, стоит предположить, что засушливый период в данном регионе будет наблюдаться с мая по август. Такая ситуация благоприятна для засухи, в настоящее время период засушливости в южных регионах растёт, в будущем стоит ожидать еще большего роста.

5. Осень – ярко выраженной тенденции увеличения или уменьшения не будет наблюдаться.

По жесткому сценарию SSP-8.5 выпадение осадков заметно снижается в годовом разрезе, практически в 2 раза меньше в пустынных районах. Летний период будет крайне засушлив, даже в горных районах.

Заключение. В условиях изменяющегося климата и нарастающей антропогенной нагрузки на природные ресурсы систематическое изучение факторов, влияющих на гидрологический режим реки Сырдария, на устойчивое развитие региона в целом, приобретает критическое значение. Анализ климатических характеристик позволяет не только понимать современную ситуацию, но и прогнозировать их динамику. С использованием общепринятых методов и подходов, на основе наиболее полных и однородных рядов метеорологических наблюдений оценены современные условия и тенденции изменения основных элементов климата, влияющие на формирование ресурсов тепла и влаги, как основные причинно-следственные факторы формирования водных ресурсов на исследуемой территории.

При оценке текущего состояния и изменения климата получены следующие выводы:

1. На протяжении последних десятилетий наблюдается устойчивая тенденция к росту температуры воздуха, даже в горных и предгорных районах. Наибольшая интенсивность отмечается в пустынных и полупустынных районах.

2. В количестве атмосферных осадков отмечаются разнонаправленные линейные тренды. Скорость роста и уменьшения осадков различается в зависимости от местности и сезонов года. В целом в бассейне количество осадков уменьшается в среднем на 2,1 мм каждые 10 лет. Рост осадков наблюдается в зимние месяцы и в марте, в предгорном районе.

3. Среднегодовые и среднемесячные температуры воздуха увеличиваются согласно адаптированной модели ансамбля CMIP6 BCC-CSM1, скорость изменения различна в зависимости от района и времени года. Так, в январе 2021-2040 гг. по SSP-4.5 температура воздуха будет от -7 до $-3,7$ °C, а концу периода 2081-2100 гг. – от $-2,8$ до $+1,5$ °C. В июле также наблюдаются увеличения средних показателей – от 26,2 до 31,9 и от 27,6 до 33,7 °C. По сценарию SSP-8.5 температура воздуха в июле будет достигать 37,9 °C в среднем. В переходные сезоны превышение к концу века составит 2-3 °C.

4. В годовом разрезе отмечается уменьшение сумм осадков к концу столетия на станциях, расположенных в пустынных и полупустынных регионах. Зимний период обусловлен ростом сумм осадков, за исключением станций Кызылорда, Казалы. Такая тенденция характерна для гор и предгорья. Летом практически на всех станциях наблюдается снижение общего количества осадков, в особенности в засушливых регионах, достигая отрицательных значений. Учитывая, что в мае уже наблюдается спад значений с дальнейшим развитием в летние месяцы, стоит предположить, что засушливый период будет наблюдаться с мая по август. Такая ситуация благоприятна для засухи. Если в настоящее время период засушливости в южных регионах растёт, то в будущем стоит ожидать еще большего роста. По жесткому сценарию SSP8.5 выпадение осадков заметно уменьшается в годовом разрезе, практически в 2 раза меньше в пустынных районах. Летний период будет крайне засушлив, даже в горных районах.

Полученные выводы являются основой для оценок воздействий изменения климата на климатозависимые отрасли экономики региона и позволяют выработать эффективные меры их адаптации. Это является первостепенной задачей для обеспечения водной и продовольственной безопасности Арало-Сырдаринского бассейна.

Финансирование. Исследование проводилось в рамках программы BR23791322 НТП «Научно-техническое обеспечение сохранения, воспроизводства и эффективного распределения водных ресурсов для обеспечения водной безопасности РК» по теме «Оценка и прогноз наличия ежегодно возобновляемых поверхностных водных ресурсов по годам различной водообеспеченности по всем водохозяйственным бассейнам Республики Казахстан».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Национальная стратегия Республики Туркменистан об изменении климата https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/tm/undp-tm-NCCS_RUS.pdf
- [2] Национальное сообщение Туркменистана по Рамочной конвенции по изменению климата ООН (2012–2015 гг.) https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-01/NDC_Turkmenistan_12-05-2022_approv.%20by%20Decree_Rus.pdf
- [3] Bissenbayeva S., Abuduwaili J., Shokparova D., Saparova A. Variation in Runoff of the Arys River and Keles River Watersheds (Kazakhstan), as Influenced by Climate Variation and Human Activity/ Sustainability 2019, 11, 4788; doi:10.3390/su11174788
- [4] Сапарова А. А., Алимкулов С. К. Современное состояние водных ресурсов Арало-Сырдаринского водохозяйственного бассейна и его антропогенное изменение // Вопросы географии и геоэкологии. – 2020. – Вып. 3. – С. 24-25.
- [5] Долгих С. А., Белдеубаев Е. Е., Турумова Г. Е. Ожидаемые изменения в режиме температуры в бассейне реки Амудария по данным модели СМIP6 к середине текущего столетия // География и водные ресурсы. – 2024. – Вып. 3. – С. 125-138.
- [6] Бурлибаев М.Ж., Сапарова А.А. Особенности минерализации казахстанской части реки Сырдария // Гидрометеорология и экология. – 2022. – Вып. 1. – С. 115-128. DOI:10.54668/2789-6323-2022-104-1-115-128
- [7] Достай Ж.Д., Алимкулов С.К., Сапарова А.А. Оценка водных ресурсов на современном этапе развития Арало-Сырдаринского природно-хозяйственного комплекса // Гидрометеорология и экология. – 2016. – Вып. 1. – С. 95-96.
- [8] Wu T., Song L., Li W., Wang Z., Zhang H., Xin X., ... Liu Y. (2014). An overview of BCC climate system model development and application for climate change studies // Journal of Meteorological Research, 28(1), 34-56.
- [9] 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, pp. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
- [10] Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Wilbanks T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment // Nature, 463(7282), 747-756.
- [11] База данных для открытого использования результатов наблюдений на метеорологических станциях РГП «Казгидромет»: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
- [12] Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
- [13] Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). (n.d.) // Copernicus Climate Data Store (CDS). – Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu>
- [14] Eyring V., Bony S., Meehl G. A., Senior C. A., Stevens B., Stouffer R. J., Taylor K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // Geoscientific Model Development, 9(5), 1937-1958.
- [15] Лобанов В. А., Наурызбаева Ж. К. О возможных изменениях толщины морского льда в Каспийском море в текущем столетии // Гидрометеорология и экология. Ученые записки РГГМУ. – 2021. – № 62. – С. 75-95. DOI:10.33933/2074-2762-2021-62-75-95
- [16] Zhanar Naurozbayeva, Aziza Baubekova, Anastasia Kvasha, Vladimir Lobanov, Bjorn Kløve, Ali Torabi Haghghi (2023) Determining factors for changes in the ice regime of the Caspian Sea // International Journal of Water Resources Development. DOI: 10.1080/07900627.2023.2231099 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2023.2231099?tab=permissions&scroll=top&role=tab>
- [17] Лобанов В. А. Лекции по климатологии. Ч. 2. Динамика климата. Кн. 1. В 2 кн.: учебник. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 332 с.
- [18] Климат Казахстана / Под ред. А. С. Утешева. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 366 с.
- [19] Ежегодный бюллетень мониторинга изменения климата Казахстана 2023. – Астана: РГП «Казгидромет». – 65 с.
- [20] Наурызбаева Ж.К. Климатические характеристики осадков и температуры воздуха на территории Южного и Юго-Восточного Казахстана в тёплый период // Гидрометеорология и экология. – 2011. – Вып. 3. – С. 95-102.
- [21] 8-е Национальное сообщение и 5-й Двухгодичный доклад Республики Казахстан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. <https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2023/09/NDMJeK-1.2022.pdf>

REFERENCES

- [1] National Strategy of the Republic of Turkmenistan on Climate Change https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/tm/undp-tm-NCCS_RUS.pdf (in Russ.).
- [2] National Communication of Turkmenistan on the UN Framework Convention on Climate Change (2012-2015) https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-01/NDC_Turkmenistan_12-05-2022_approv.%20by%20Decree_Rus.pdf (in Russ.).
- [3] Bissenbayeva S., Abuduwaili J., Shokparova D., Saparova A. Variation in Runoff of the Arys River and Keles River Watersheds (Kazakhstan), as Influenced by Climate Variation and Human Activity/Sustainability 2019, 11, 4788; doi:10.3390/su11174788
- [4] Saparova A. A., Alimkulov S. K. The current state of water resources of the Aral-Syrdarya water basin and its anthropogenic change // Voprosy geografii i geoekologii. 2020. Issue 3. P. 24-25 (in Russ.).
- [5] Dolgikh S. A., Beldeubaev E. E., Turumova G. E. Expected changes in the temperature regime in the Amudarya river basin according to the CMIP6 model data by the middle of the current century // Geography and Water Resources. 2024. Issue 3. P. 125-138 (in Russ.).

- [6] Burlibayev M.J., Saparova A.A. Features of mineralisation of the Kazakh part of the Syrdarya River // Hydrometeorology and Ecology. 2022. Issue 1. P. 115-128. DOI:10.54668/2789-6323-2022-104-1-115-128 (in Russ.).
- [7] Dostay J.D., Alimkulov S.K., Saparova A.A. Assessment of water resources at the current stage of development of the Aral-Syrdarya natural-economic complex // Hydrometeorology and Ecology. 2016. Issue 1. P. 95-96 (in Russ.).
- [8] Wu T., Song L., Li W., Wang Z., Zhang H., Xin X., ... Liu Y. (2014). An overview of BCC climate system model development and application for climate change studies // Journal of Meteorological Research, 28(1), 34-56.
- [9] 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, pp. 1767-1926. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>.
- [10] Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Wilbanks T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment // Nature, 463(7282), 747-756.
- [11] Database for open use of the results of observations at meteorological stations of RSE 'Kazhydromet': https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/ (in Russ.).
- [12] Zaks L. Statistical estimation. Moscow: Statistics, 1976. 598 c. (in Russ.).
- [13] European Centre for Medium-Term Weather Forecasts (ECMWF). (n.d.). Copernicus Climate Data Store (CDS). Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu>
- [14] Eyring V., Bony S., Meehl G. A., Senior C. A., Stevens B., Stouffer R. J., Taylor K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organisation // Geoscientific Model Development, 9(5), 1937-1958.
- [15] Lobanov V. A., Naurozbayeva Zh. K. On possible changes in sea ice thickness in the Caspian Sea in the current century // Hydrometeorology and Ecology. Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2021. No. 62. P. 75-95. DOI:10.33933/2074-2762-2021-62-75-95 (in Russ.).
- [16] Zhanar Naurozbayeva, Aziza Baubekova, Anastasia Kvasha, Vladimir Lobanov, Bjorn Kløve, Ali Torabi Haghighi (2023) Determining factors for changes in the ice regime of the Caspian Sea // International Journal of Water Resources Development. DOI: 10.1080/07900627.2023.2231099?tab=permissions&scroll=top&role=tab <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2023.2231099?tab=permissions&scroll=top&role=tab>
- [17] Lobanov V. A. Lectures on climatology. Ch. 2. Climate dynamics. Book 1. In 2 books: textbook. SPb.: RSHMU, 2016. 332 c. (in Russ.).
- [18] Climate of Kazakhstan / Edited by A. S. Uteshev. L.: Gidrometeoizdat. 1959. 366 c. (in Russ.).
- [19] Annual bulletin of climate change monitoring of Kazakhstan 2023. Astana: RGP 'Kazhydromet'. 65 c. (in Russ.).
- [20] Naurozbayeva J.K. Climatic characteristics of precipitation and air temperature on the territory of southern and southeastern Kazakhstan in the warm period // Hydrometeorology and ecology. 2011. Issue 3. P. 95-102 (in Russ.).
- [21] 8th National Communication and 5th Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the UN Framework Convention on Climate Change. <https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2023/09/NDMJek-1.2022.pdf>

**Ж. К. Наурызбаева*¹, Г. Е. Монкаева², М. А. Жунисова³,
Н. Е. Рахматулла⁴, Г. А. Еркінова⁵**

- ¹ *PhD, Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының меңгерушісі
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)
- ² Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; gulsara.monkayeva@mail.ru)
- ³ Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; makpal80@mail.ru)
- ⁴ Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының кіші ғылыми қызметкері,
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)
- ⁵ Өңірлік климаттық өзгерістер зертханасының жетекші инженері,
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; yerkinova.gaukhar@mail.ru)

СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІНІҢ БАССЕЙІНІ БОЙЫНША ВСС-CSM1-2 КЛИМАТТЫҚ МОДЕЛІ АРҚЫЛЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ МЕН ЖАУЫН-ШАШЫН ӨЗГЕРІСІНІҢ БОЛЖАМЫ

Аннотация. Сырдария өзені алабындағы ауа температурасы мен жауын-шашын режиміне 1941 жылдан 2021 жылға дейінгі кезеңге талдау жүргізілді, онда олардың өсу тенденциялары, қыста жауын-шашынның көбеюі және жазда аздап азаюы анықталды. 1961-1990 жж. базалық кезеңдегі ауа температурасының асып кетуі. 2,2 - 2,6°C болды, ал қазіргі кезең үшін 1991-2020 жж. 1 °C-тан жоғары, бұл Қазақстанның басқа аймақтарымен салыстырғанда жоғары. Сондай-ақ, жергілікті орографиялық жағдайларға егжей-тегжейлі және бейімделу негізінде CMIP6 ансамблінен қолайлы климаттық модельдерді таңдау бойынша аналитикалық жұмыстар жүргізілді. Зерттелетін аймақ үшін ең қолайлы модель қытайлық ВСС-CSM1-2 моделі болды. Модельдік нәтижелер бойынша ғасырдың соңына дейін температура мен жауын-шашынның күтілетін

өзгерістері анықталды. SSP-4.5 сценарийі бойынша қыста ауаның орташа температурасы $-2,8$ -ден $+1,5$ °C-қа дейін, ал жазда $33,7$ °C-қа дейін жетуі мүмкін. Жауын-шашын режимі де өзгереді, әсіресе қыста және наурызда жауын-шашынның ең көп мөлшері тау етегінде күтіледі, атап айтқанда сұйық жауын-шашын басым болады және жазық аймақта жылдың жылы жартысында айтарлықтай азаяды.

Түйін сөздер: Сырдария өзені алабы, климаттың өзгеруі, климаттық модельдер, ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері

**Zh. K. Naurozbaeva^{*1}, G. E. Monkayeva², M. A. Zhunissova³,
N. E. Rakhmatulla⁴, G. A. Yerkinova⁵**

¹ PhD, Head of the Regional Climate Change Laboratory

(JSC Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

² Researcher of the Regional Climate Change Laboratory

(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan; gulsara.monkayeva@mail.ru)

³ Research Associate, Regional Climate Change Laboratory

(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan; makpal80@mail.ru)

⁴ Junior Researcher, Regional Climate Change Laboratory,

(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan, nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)

⁵ Lead Engineer, Regional Climate Change Laboratory,

(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan; yerkinova.gaukhar@mail.ru)

EXPECTED CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION FROM THE BCC-CSM1-2 CLIMATE MODEL FOR THE SYRDARYA RIVER BASIN

Abstract. The air temperature and precipitation regime of the Syrdarya River basin for the period from 1941 to 2021 has been analysed, revealing increasing trends, and increasing precipitation in winter and insignificant decreases in summer. The excess of air temperature for the baseline period 1961-1990 was $2.2 - 2.6$ °C, and for the modern period 1991-2020 more than 1 °C, which is more in comparison with other regions of Kazakhstan. Also, the analytical work on selection of suitable climatic models from the CMIP6 ensemble was carried out based on detailing and adaptation to local orographic conditions. The Chinese model BCC-CSM1-2 turned out to be the most suitable model for the studied region. According to the model results, the expected temperature and precipitation changes until the end of the century are determined. According to the SSP-4.5 scenario, the average air temperature in winter may reach from 2.8 to $+1.5$ °C, and in summer up to 33.7 °C. The precipitation regime will also undergo changes, especially in winter and in March, the highest precipitation is expected in the foothills, with liquid precipitation predominating and a significant decrease in the warm half of the year in the plain area.

Keywords: Syrdarya river basin, climate change, climate models, air temperature, precipitation.