

УДК 556.164.048

Канд. геогр. наук
PhD
Канд. геогр. наук
Канд. геогр. наук

Н.И. Ивкина¹
А.В. Галаева¹
С.Б. Саиров¹
С.А. Долгих¹
Е.Ю. Смирнова¹

ОЦЕНКА ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ ЖАЙЫК (УРАЛ) В СТВОРЕ У С. КУШУМ НА ПЕРСПЕКТИВУ ДО 2050 Г. С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ключевые слова: бытовой сток, естественный восстановленный сток, изменение климата, трансграничная река, оценка изменения стока

В статье приводится оценка стока, поступающего на территорию Республики Казахстан по р. Жайык (Урал) в современный период, а также оценка стока реки Жайык на перспективу до 2050 года под влиянием изменения климата. Кроме того, представлены результаты исследований многолетних и сезонных изменений наблюдаемого стока реки Жайык. Проведен анализ современных климатических изменений, и обоснован выбор сценариев изменения климата до 2050 года.

Введение. Река Жайык (Урал) является основной рекой Прикаспийского региона в Республике Казахстан. Она берет свое начало в отрогах Уральских гор на территории Башкортостана (Российская Федерация) и имеет общую протяженность 2428 км, уступая в Европе по своей длине только Волге и Дунаю. Водосборный бассейн реки составляет 231 тыс. км², а вместе с бессточным бассейном Урало-Эмбинского междуречья – почти 400 тыс. км². Она является второй по значимости рекой, определяющей приток воды в Каспийское море [24, 8]. Река играет особо важную роль для засушливых регионов Атырауской области, поскольку 70 % потребляемой населением воды обеспечивается из реки. В связи с этим было важно исследовать, как изменился гидрологический режим, и как следст-

¹РГП "Казгидромет", г. Алматы, Казахстан

вие, приток воды в море в результате антропогенного влияния и климатических изменений.

В рамках предыдущих исследований было проведено определение годового стока р. Жайык (Урал) на перспективу до 2035 г. [7, 15]. Для этого были использованы сценарные прогнозы количества осадков, полученные по ансамблю из 9 моделей глобального климата с использованием программного комплекса MAGICC/SCENGEN (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change / SCENarioGENerator, version 5.3.v2). Будущие изменения количества осадков были рассчитаны для временного периода 2006...2035 гг. относительно базового периода 1980...1999 гг. в соответствии с двумя сценариями выбросов парниковых газов SRES (“Special report on emission scenarios” – Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов): A2 и B1 [31].

Сток р. Жайык (Урал) за период 2006...2035 гг. был также оценен по двум вариантам с использованием двух различных сценариев смоделированных осадков. Кроме того, были восстановлены характеристики стока для естественных условий, а также с учетом влияния антропогенной деятельности. Учитывая, что данные исследования выполнялись почти 10 лет назад, то целью нашей работы было проведение дополнительных исследований и расчетов стока р. Жайык (Урал) на перспективу до 2050 г. с учетом обновленных сценарных прогнозов климата. За основу был взят ряд наблюдений с 1921 года на посту р. Жайык (Урал) – с. Кушум, находящемся на границе между зоной формирования и зоной транзита стока, и ниже устья последнего притока – р. Шаган. Необходимо отметить, что основная зона формирования стока реки находится на территории Российской Федерации и частично на территории Актыубинской области Казахстана (зоны формирования стока основных притоков р. Орь, р. Илек, р. Шаган) [21, 23, 24].

Используемые данные и методы. Сток реки Жайык (Урал) характеризуется значительной межгодовой и сезонной изменчивостью. На речном гидростворе р. Жайык – пос. Кушум, расположенном в 1 км к юго-востоку от села, и ниже перегороженного плотиной устья протоки Шаган, средний многолетний годовой расход воды за период 1921...2019 гг., составил $295 \text{ м}^3/\text{с}$, изменяясь от $800 \text{ м}^3/\text{с}$ в многоводные годы, до $89,1 \text{ м}^3/\text{с}$ – в маловодные. Этот гидроствор замыкает площадь водосбора, равную 190000 км^2 . Сток р. Жайык на территории России зарегулирован каскадом водохранилищ, сооруженных как на самой реке Жайык, так и на ее прито-

ках. Наиболее крупные из них: Верхнеуральское – объем 601 млн. м³, Магнитогорское – объем 189 млн. м³, Ириклинское – объем 3257 млн. м³. Водохранилища на притоках: Кумакское, Домбаровское, Красночабанское, Сакмарское, Черновское (Россия), Актюбинское, Карагалинское (Казахстан) [2, 21, 27].

За основу был взят ряд наблюдений на посту р. Жайык (Урал) – с. Кушум, из которого было выделено 3 периода: 1921...1957 гг. – условно-естественный, характеризующий гидрологический режим до введения в строй Ириклинского водохранилища; 1958...1990 гг. – с нарушенным режимом стока в результате антропогенного воздействия, но в естественных климатических условиях; 1991...2019 гг. – с нарушенным режимом стока в результате антропогенного воздействия и климатических изменений [17, 21...24].

В целях анализа изменчивости водных ресурсов данной реки в многолетнем разрезе для выявления многоводных и маловодных фаз осуществлен анализ многолетних данных среднегодовых расходов воды по разностно-интегральным кривым [14, б].

Для определения пространственно-временных характеристик годового стока р. Урал (Жайык) за различные периоды применялся статистический метод с использованием асимметричной кривой обеспеченности или кривой распределения Пирсона III типа [14].

Для оценки современного климата и его изменений на территории исследуемого бассейна были выбраны метеостанции (МС) с относительно полными и качественными рядами наблюдений. В качестве оценок изменений характеристики климата за определенный интервал времени использовались коэффициенты линейных трендов, определяемые по методу наименьших квадратов. Мерой существенности тренда является коэффициент детерминации (R^2), характеризующий вклад трендовой составляющей в полную дисперсию климатической переменной за рассматриваемый период времени (в процентах). Кроме того, для оценки статистической значимости тренда (достоверности) использовались тест Фишера (F-test) и тест Стьюдента (t-test) при уровне значимости 5 % [29].

В результате для оценки современного климата и его изменений на территории бассейна р. Жайык (Урал) были выбраны 18 МС с относительно полными и качественными рядами наблюдений.

Многолетние и сезонные изменения стока. Анализ разностно-интегральной кривой (рис. 1) показал, что при наличии явного проявления

циклических колебаний с выделением многоводных и маловодных фаз, обнаруживается уменьшение расходов воды в реке, особенно четко это прослеживается за последние 20 лет. Это связано с климатическими факторами [1...4].

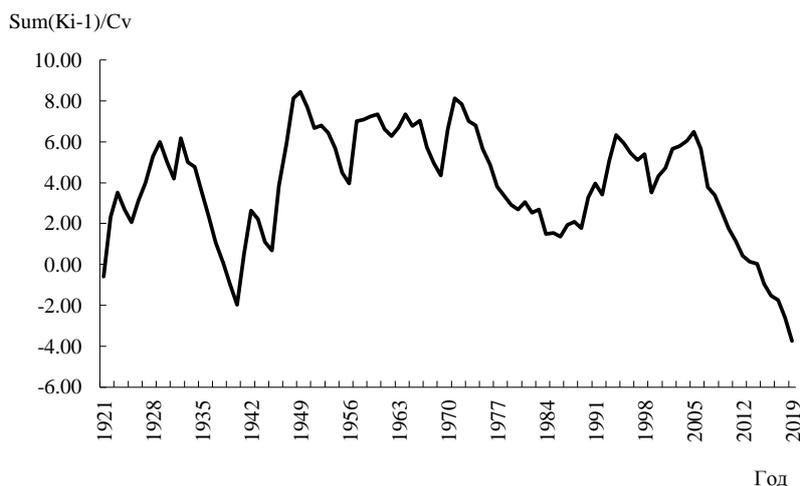


Рис. 1. Разностно-интегральная кривая среднегодовых расходов воды р. Урал (Жайык) – с. Кушум за период 1921...2019 гг.

Сопоставление кривых обеспеченности среднегодовых расходов воды показало, что изменилась величина расхода воды редкой повторяемости, характеризующая многоводные годы. В третьем периоде она практически в 2 раза меньше, а в условно-естественный период многоводный год сток реки был в 8 раз больше, чем в маловодный. В период с нарушенным режимом стока в результате антропогенного воздействия, но в естественных климатических условиях в 7 раз, а в период с нарушенным режимом стока в результате антропогенного воздействия и климатических изменений только в 4 раза [11]. Таким образом, четко прослеживается тенденция к снижению стока реки и изменение амплитуды колебаний стока в годы с различной водностью.

Для реки характерно высокое половодье и устойчивая межень до конца года. Весеннее половодье (апрель-июнь) является основной фазой режима стока р. Урал (Жайык), во время которого проходит 60...80 % годового стока. Несмотря на то, что доля половодья в годовом стоке по-прежнему высока, его объемы и доля в годовом стоке снизилась на 17 % по отношению к условно-естественному периоду. Следует отметить увеличение доли межени стока, особенно зимнего, его доля за последние

двадцать пять лет составляет примерно 15 %, что на 10 % больше, чем в условно-естественный период [11].

Таким образом, анализируя многолетний ход объемов годового стока р. Жайык (Урал), можно сделать вывод, что наблюдается тенденция уменьшения стока и уменьшение амплитуды колебаний годовых объемов стока, особенно в последнее десятилетие.

Оценка изменения современного климата и на перспективу до 2050 года в бассейне р. Жайык (Урал). В настоящее время глобальное потепление является неоспоримым фактом, так как повышение приземной температуры отмечается практически во всем мире [12, 10]. В Пятом докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) приводятся новые свидетельства изменения климата, полученные в результате множества независимых исследований, основанных на наблюдениях за климатической системой, палеоклиматических данных, теоретических исследованиях климатических процессов и использовании климатических моделей [12]. Наблюдаемые тенденции в глобальном климате диктуют необходимость получения научно-обоснованных оценок и выводов об изменении регионального климата, которые, в свою очередь, будут основой для углубленных оценок изменений в других природных ресурсах региона и выработки эффективных мер по обеспечению водной безопасности в регионе.

На территории исследуемого региона наблюдается устойчивый рост температуры приземного воздуха [19, 25]. Так, с конца прошлого столетия наблюдаются практически только положительные аномалии средней годовой температуры воздуха, причем часто очень значительные, превышающие 1 °С (рис. 2). Тенденции в средней годовой температуре воздуха статистически устойчивые – трендовая составляющая, характеризуемая коэффициентом детерминации R^2 , объясняет около 30 % общей изменчивости, при этом температура повышается на 0,42 и 0,50 °С каждые 10 лет в Атырауской и Западно-Казахстанской области, соответственно.

Температура повышается во все сезоны года. Весной, летом и осенью тенденции статистически устойчивые и составляют 0,42...0,57 °С/10 лет. Зимой скорость повышения температуры в абсолютном выражении также существенная (0,32 и 0,40 °С/10 лет), но в силу высокой изменчивости температуры зимнего сезона, тренд зимней

температуры статистически незначим, коэффициент детерминации R^2 составляет всего 3...4 %.

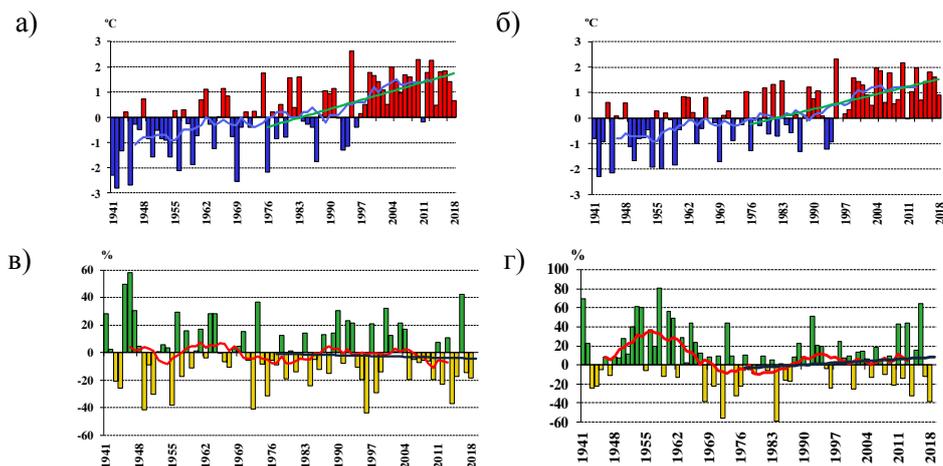


Рис. 2. Временные ряды аномалий годовой температуры воздуха (а и б) и количества осадков (в и г) за период 1941...2018 гг., осредненных по территории Западно-Казахстанской (а и в) и Атырауской (б и г) областей Казахстана. Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1961...1990 гг. Линейный тренд за период 1976...2018 гг. выделен зеленым цветом. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением.

За период 1976...2018 гг. тренд годового количества осадков, осредненного по территории Атырауской области, положительный, но статистически незначим, по территории Западно-Казахстанской области – отрицателен и тоже незначим.

В Атырауской области зимой и весной количество осадков постепенно увеличивалось – на 9 и 15 % каждые 10 лет, соответственно (тренды статистически значимые). Летом и осенью количество осадков несколько уменьшалось, но тенденции не значимы.

В Западно-Казахстанской области зимой, летом и осенью количество осадков уменьшалось, причем, зимой и летом эти отрицательные тенденции статистически значимые, осадки уменьшались на 4 и 7 % каждые 10 лет, соответственно. Весной, напротив, условия увлажнения улучшались, так как наблюдался положительный значимый тренд – более чем на 11 % каждые 10 лет.

Перспективная оценка климата на несколько десятилетий вперед – это научная задача, точное решение которой не предвидится в ближайшие десятилетия в силу сложности физико-математического описания всех

спектров взаимодействия различных составляющих климатической системы. Кроме того, в качестве внешнего фактора в моделях глобального климата используются сценарии концентрации парниковых газов в атмосфере, рассчитанные на основе различных предположений об экономическом развитии мировой экономики, включая распространение «зеленых технологий». Поэтому вместо термина «прогноз климата» чаще в научной литературе можно встретить такие термины как «сценарий климата» или «проекция климата», в последнем отчете МГЭИК об оценках введен термин «перспективная оценка климата» [12].

Исходя из того, что постоянно совершенствуется и расширяется система инструментальных наблюдений за различными компонентами климатической системы и внешними факторами воздействия на саму климатическую систему, растет научное понимание происходящих в ней физических и химических процессов, быстро прогрессируют вычислительные возможности и прочее. Задача перспективной оценки климата решается на все более и более научно-обоснованном уровне. Таким образом, существует необходимость периодического обновления перспективных оценок климата с учетом современных научно-технических достижений.

Задачу получения представлений о наиболее вероятном изменении климата в конкретном регионе и в конкретный временной интервал можно свести к решению двух крупных подзадач:

- определение внешних факторов, вызывающих изменение климата на заданном временном отрезке;

- выбор инструмента, способного в наиболее полной мере спроецировать влияние этого фактора на климат, и как следствие, дать картину пространственно-временного распределения отклика климатической системы на воздействие внешнего фактора.

К внешним факторам относятся астрономические и геофизические факторы [13, 26]. На временном отрезке в несколько столетий, изменения в степени влияния астрономических внешних факторов на климатическую систему можно считать малосущественными [26, 31]. На основе сотен исследований, проанализированных в оценочных докладах МГЭИК [16, 33], антропогенные изменения именно в составе атмосферы (внешний геофизический фактор) являются основной причиной быстрого изменения глобального климата в последние десятилетия. Количественным показателем изменения энергетических потоков, вызванного изменением этих факторов, например, к современному периоду по сравнению с 1750 г.

(доиндустриальным периодом), является радиационное воздействие (РВ). Положительное значение РВ ведет к повышению температуры поверхности, а отрицательное – к ее понижению.

Климатическая система может быть представлена с помощью моделей различной сложности – от простых двумерных или одномерных климатических моделей до сложных трехмерных, сопряженных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). МОЦАО – сложные и на настоящий момент физически наиболее полные модели глобального климата, включающие взаимодействующие друг с другом модели атмосферы, океана, деятельного слоя суши, криосферы и биосферы – основных компонентов климатической системы [34, 9].

В данном исследовании в качестве основного инструмента для оценки изменения регионального климата определены МОЦАО, что обусловлено несколькими причинами. Первая, и, пожалуй, основная, связана с тем, что в рамках подготовки Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата [33] была организована уже 5-ая фаза Международного проекта сравнения новых версий сопряженных моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP5 (Coupled Models Intercomparison Project) [34...36]. На результаты именно этих моделей, протестированных на успешность воспроизведения прошлого климата в рамках CMIP5, опираются основные выводы о причинах и последствиях изменения глобального климата, сделанные в Пятом оценочном докладе МГЭИК. Основу CMIP5 составили расчеты климата 20-го века при заданных в соответствии с наблюдаемыми концентрациями парниковых газов и аэрозолей, а также расчеты климата 21-го века с учетом новой группы сценариев антропогенных выбросов – так называемых репрезентативных траекторий концентраций (РТК, или на английском языке Representative Concentration Pathways (RCP)). Всего в проекте приняли участие более пяти десятков версий моделей глобального климата, разработанных в разных исследовательских центрах мира [14, 34]. Вторая причина – необходимость получить оценку изменения климата с более хорошим пространственным разрешением с тем, чтобы при оценке воздействий климатических изменений на окружающую среду учесть региональные географические особенности, связанные с рельефом местности, водными объектами, характером подстилающей поверхности и др.

В рамках СМIP5 все центры, участвовавшие в СМIP5, выполнили унифицированные модельные расчеты с использованием единых репрезентативных траекторий концентраций. РТК описывают разные траектории выбросов и концентраций в атмосфере парниковых газов (ПГ) в 21-м веке. Для Пятого доклада МГЭИК научным сообществом был определен набор из четырех новых сценариев, именуемых репрезентативными траекториями концентраций (РТК). Они определяются суммарной величиной радиационного воздействия в 2100 г. по сравнению с 1750 г.: 2,6 Вт/м² для РТК2.6; 4,5 Вт/м² для РТК4.5; 6,0 Вт/м² для РТК6.0 и 8,5 Вт/м² для РТК8.5. Эти четыре РТК [30] включают один сценарий сокращения выбросов, который предполагает весьма низкий уровень воздействия (РТК2.6); два сценария стабилизации (РТК4.5 и РТК6.0) и один сценарий с весьма высокими уровнями выбросов парниковых газов (РТК8.5). Большинство расчетов по моделям, участвовавшим в СМIP5, выполнялись с заданными уровнями концентраций парниковых газов согласно РТК4.5 и РТК8.5, так как считается, что сценарий РТК2.6 практически не правдоподобный из-за предполагаемого малого количества выбросов, РТК6.0 – промежуточный между РТК4.5 и РТК8.5. Таким образом, в данной работе для оценки изменения регионального климата были выбраны 2 сценария – РТК4.5 и РТК8.5, что позволило получить диапазон характеристик изменения регионального климата [30].

Для получения более детальной пространственной информации о климате используются различные методы «downscaling», т.е. разукрупнения, или регионализации результатов моделей глобального климата. Можно выделить два основных подхода к регионализации: динамический метод, когда результаты глобальных моделей используются в качестве граничных условий в моделях климата для определенного региона (модели регионального климата); и различные статистические методы, учитывающие пространственные связи и закономерности распределения различных характеристик климата. Оба подхода имеют как положительные, так и отрицательные стороны, признаны мировым сообществом равноправными и оба широко применяются на практике. В данном исследовании для улучшения масштаба (регионализации) выходных данных МОЦАО использованы результаты статистического метода [28], представленные на платформе NASA NEX (National Aeronautics and Space Administration, NASA Earth Exchange, <https://cds.nccs.nasa.gov>), предназначенной для сотрудничества мирового

научного сообщества, обмена знаниями и исследованиями. Регионализация результатов каждой из моделей глобального климата была выполнена в узлы координатной сетки $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (или примерно 25×25 км). Это значительно улучшает пространственную детализацию климатических данных и их использование в задачах оценки воздействия изменений климата, в том числе на гидрологические процессы.

Необходимо отметить, что все результаты расчетов по каждой модели на платформе NASA NEX уже содержат корректировку на систематическую ошибку в моделях [32, 35]. Алгоритм сравнивает результаты МОЦАО с соответствующими климатическими наблюдениями за общий период и использует информацию, полученную из сравнения, для корректировки климатических прогнозов с тем, чтоб они более соответствовали историческим климатическим данным для исследуемого региона.

Один из источников неопределённости результатов моделирования связан с формулировкой самих моделей (их структурой, используемыми численными методами, параметризациями, параметрами). Для уменьшения неопределённости этого типа применяется ансамблевый подход, когда обобщаются результаты различных моделей. Применение ансамбля моделей дает возможность получить более достоверные распределения основных характеристик регионального климата. Это связано с тем, что систематические ошибки, присущие каждой модели в отдельности часто являются случайными по отношению к ансамблю моделей и при составлении ансамбля взаимно компенсируются [34, 28].

В мировой практике используется множество алгоритмов построения ансамблевых средних, в частности, используется алгоритм осреднения, в котором сначала из ансамбля исключаются модели, недостаточно хорошо воспроизводящие характеристики климата, с последующим осреднением оставшихся моделей с равными между собой весами [32]. Этот метод был применен для составления мультимодельного ансамбля для территории Казахстана, включая исследуемую территорию бассейна трансграничной реки.

В результате для получения проекций климата на будущее на территории бассейна р. Жайык (Урал) был сформирован ансамбль из 21 модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), участвовавших в CMIP5. Характеристики будущего климата и их изменения рассчитаны как средние по ансамблю МОЦАО для двух сценариев РТК – РТК4.5 и РТК8.5;

и для двух периодов – 2020...2039 гг. (или к 2030 г.) и 2040...2059 гг. (или к 2050 г.). Изменения климата оценивались относительно базового периода 1980...1999 гг. Изменения температуры рассчитаны как разность между средними многолетними ожидаемыми значениями и средними многолетними значениями за базовый период, для осадков – как отношение (в процентах) средних многолетних сумм осадков, смоделированных на будущее, к уровню количества осадков в базовый период.

Получено, что вероятное изменение средней годовой температуры воздуха по территории Жайык-Каспийского бассейна будет находиться в диапазоне 1,6...2,3 °С к 2030 г., к середине века (2050 г.) – 1,8...2,9 °С.

Повышение зимних температур ожидается в пределах 1,6...2,2 °С к 2030 г. и 1,8...2,8 °С к 2050 г.; весенних – на 1,5...2,4 °С к 2030 г., и на 1,7...2,9 °С к 2050 г.; летних – на 1,8...2,5 °С к 2030 г. и на 1,9...3,2 °С к 2050 г.; осенних – на 1,5...2,1 °С к 2030 г. и на 1,8...2,9 °С к 2050 г.

На территории Жайык-Каспийского бассейна ожидается небольшое увеличение осадков в зимний период – на 7,4...10,1 % к 2030 г. и на 9,9...12,4 % к 2050 г., и в весенний период – на 3,8...7,4 % к 2030 г. и на 5,7...9,0 % к 2050 г. Прогноз осадков летнего и осеннего периодов имеет большую неопределенность даже в знаке изменения. В летний период вероятно слабая тенденция увеличения осадков по сценарию RCP4.5, а по сценарию RCP8.5 к середине этого века ожидается уменьшение осадков. В результате диапазон возможных изменений в количестве летних осадков следующий: 4,2...9,0 % к 2030 г., минус 2,2...6,0 % к 2050 г., а количества осенних осадков – минус 1,1...2,2 % к 2030 г. и минус 2,0...6,7 к 2050 г.

Оценка стока, поступающего на территорию Казахстана по р. Жайык (Урал). Гидрографическая сеть бассейна р. Жайык насчитывает около 1150 больших и малых рек протяженностью 10 км и более. Из них 29 рек имеют длину свыше 100 км. Густота речной сети в бассейне крайне неравномерна [2, 7].

В нижней части г. Оренбург р. Жайык (Урал) принимает один из своих крупнейших притоков р. Сакмара (длина 790 км, площадь бассейна – 30200 км²). До места впадения р. Сакмара сток р. Жайык определяется в гидрометрическом створе г. Оренбург. Сток р. Сакмара измеряется в створах: с. Акьюлово, с. Сакмара и с. Каргала. Ниже по течению р. Жайык пересекает границу между Российской Федерацией и Республикой Казахстан. До 2007 г. наблюдения за стоком вблизи границы между Российской Федерацией и Республикой Казахстан не производились. Начиная с

2007 г., на реке Жайык у села Январцево были организованы наблюдения за уровнем воды, а с 2009 г. – наблюдения за стоком воды.

Измерение стока, формирующегося в верхней части бассейна р. Жайык, осуществляется в створе с. Кушум.

В последние десятилетия, при определении естественного стока р. Жайык и его притоков имеются значительные трудности, обусловленные влиянием на его величину хозяйственной деятельности человека. Поэтому восстановление естественного стока р. Жайык на границе с Российской Федерацией представляет для Республики Казахстан важнейшее значение при решении вопросов совместного использования водных ресурсов рассматриваемой трансграничной реки.

В рамках данной работы было произведено восстановление естественного стока р. Урал в створе г. Оренбург, р. Сакмара у с. Каргала, р. Жайык (Урал) – с. Кушум.

На рис. 3 приведена совмещенная разностная интегральная кривая восстановленного естественного и наблюдаемого (бытового) стока р. Урал – с. Кушум за период 1927...2019 гг., основные характеристики стока (C_v , $Q_{ср.}$, Σ) приняты за естественный период.

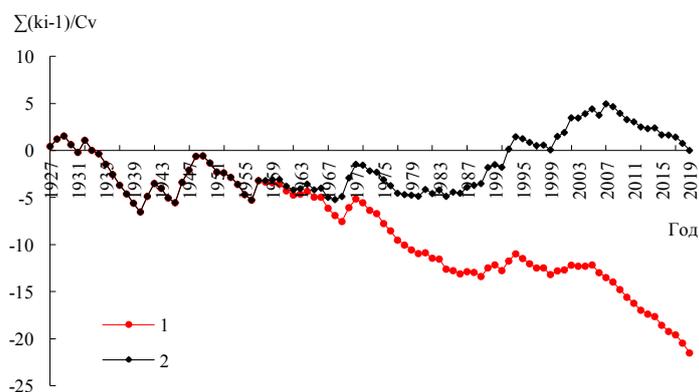


Рис. 3. Совмещенная разностная интегральная кривая восстановленного естественного и наблюдаемого (бытового) стока р. Урал – с. Кушум. 1 – р. Урал – с. Кушум (наблюденный сток); 2 – р. Урал – с. Кушум (восстановленный естественный сток).

В табл. 1 приведены основные статистические характеристики естественного стока и расходы воды различной обеспеченности реки Урал в створах с. Январцево (площадь водосбора 175000 км²) и с. Кушум (площадь водосбора 190000 км²). Использование характеристик, приведенных в табл. 1, позволяет производить оценку обеспеченности бытового стока,

поступающего по р. Жайык (Урал) в Республику Казахстан из Российской Федерации.

Таблица 1

Основные статистические характеристики естественного стока и расходы воды различной обеспеченности реки Жайык, м³/с

Период	Обеспеченность стока, %						
	5	10	25	50	75	80	95
1921...1957	Q ₀ =327 м ³ /с Cv=0,68 Cs=0,80						
	732	621	454	298	169	96	16,0
1980...2009	Q ₀ =401 м ³ /с Cv=0,39 Cs=0,66						
	686	610	494	383	288	267	180
1991...2019	Q ₀ =352 м ³ /с Cv=0,47 Cs=1,5						
	770	653	491	357	263	240	187

Определение годового стока р. Жайык (Урал) на перспективу до 2050 г. Для оценки стока на перспективу рассматривались сценарии RCP4.5 и RCP8.5, которые охватывают диапазон вероятного изменения регионального климата, полученного по результатам моделей глобального климата в соответствии со сценариями антропогенных выбросов парниковых газов. Сценарий RCP4.5 – умеренного и достаточно вероятного сценария роста концентрации парниковых газов. Сценарий RCP8.5 – самый «жесткий» сценарий роста концентрации парниковых газов, сценарий при котором радиационная составляющая теплового потока подстилающей поверхности достигает 8.5 Вт/м², а рост концентрации парниковых газов не останавливается на всем протяжении 21 века.

Возможное изменение стока реки Жайык (Урал) на перспективу до 2050 года оценивалось с помощью гидрологического метода – процедуры нормирования стока.

Имея значение смоделированных осадков за период 2021...2050 гг., а также коэффициент стока, рассчитанный за период 1990...2019 гг. и равный 0,17, был восстановлен средний естественный сток р. Жайык (Урал) за период 2021...2050 гг. (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики водного баланса р. Урал – с. Кушум (F= 190000 км²)

Период/сценарий	Средние годовые осадки, мм	Средний сток р. Урал – с. Кушум	
		м ³ /с	мм
1990...2019	357	364	60,5
2021...2050	RCP4.5	366	62,0
	RCP8.5	352	59,6

Далее определяем ежегодный сток р. Жайык (Урал), начиная с 2021 г. по 2050 г. по формуле:

$$Q_i = Q_{cp} + \alpha \cdot \sigma, \quad (1)$$

где α – параметр нормирования, равен:

$$\alpha = (Q_i - Q_{cp}) / \sigma, \quad (2)$$

где Q_i – расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$) за каждый год; Q_{cp} – среднее многолетние расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$), σ – среднеквадратическое отклонение.

Сток р. Жайык за период 2021...2050 гг. был восстановлен по двум вариантам, для этого были использованы два различных сценария смоделированных осадков. Кроме того, сток был восстановлен для естественных условий, а также с учетом влияния антропогенной деятельности (табл. 3).

Бытовой сток на перспективу до 2050 г. восстанавливался как разность естественного восстановленного стока и средней величины водопотребления в бассейне, равной $84,6 \text{ м}^3/\text{с}$ или $2,67 \text{ км}^3$. Средняя величина водопотребления в бассейне рассчитывалась как разность восстановленного естественного стока и бытового наблюдаемого стока реки Жайык в створе с. Кушум.

Таблица 3

Характеристики естественного и бытового стока р. Жайык на перспективу до 2050 г. с учетом климатических сценариев RCP4.5 и RCP8.5

Сценарий климата	Средние многолетние осадки, год, мм	W, восст. еств., км ³	W, восст. бытовой, км ³
RCP4.5	366	11,8	9,11
RCP8.5	352	11,3	8,65

Таким образом, получено, что в соответствии с проекциями изменения регионального климата, полученными по результатам моделей глобального климата, естественный сток р. Урал в зоне его формирования уменьшится в среднем на 7,24...10,8 %, а бытовой сток – на 6,6...11,3 %. Это тревожные показатели, так как в казахстанской части бассейна река Жайык (Урал) и ее притоки являются основными водными артериями для Атырауской, Актюбинской и Западно-Казахстанской областей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. Алматы, 2004.– 40 с.
2. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. IX: Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балкаш, Каспий):

- кн. 1: Оценка современной и прогнозной динамики гидрологического режима озера Балкаш, Каспийского и Аральского морей / Шиварёва С.П., Ли В.И., Ивкина Н.И. – Алматы. – 2012 г. – 456 с.
3. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Фролов А.В. и др. (ред.), Т. П. Последствия изменения климата. 2014. – М.: Росгидромет. – 1004 с.
 4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: И.П. Пермяков С.А., 2014. – 1009 с.
 5. Георгиевский В.Ю., Цыценко К.В., Шалыгин А.Л. Оценка притока поверхностных вод в Каспийское море. В кн.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – С. 217-229.
 6. Голубцов В.В. Об использовании модели формирования стока для оценки влияния антропогенных изменений климата на ресурсы поверхностных вод // Гидрометеорология и экология. – 1996. – № 4. – С. 132-137.
 7. Голубцов В.В., Линейцева А.В. О поступлении стока в Республику Казахстан по реке Жайык (Урал) // Гидрометеорология и экология. – 2010. – №1. – С. 84-88.
 8. Давлетгалиев С.К. Оценка водных ресурсов Жайык-Каспийского бассейна по водохозяйственным участкам // Гидрометеорология и экология. – 2015. – №4. – С. 73-80.
 9. Долгих С.А., Смирнова Е.Ю., Сабитаева А.У. К вопросу о построении сценариев изменения климата Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2006. – С. 7-20.
 10. Заявления ВМО о состоянии глобального климата [Электр. ресурс] URL: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate#bootstrap-panel--2>, <https://public.wmo.int/en/media>.
 11. Ивкина Н.И. Изменение притока воды в Каспийское море в результате антропогенного воздействия и изменения климата на примере р. Жайык (Урал) // Гидрометеорология и экология. – 2016. – № 3. – С. 50-55.
 12. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер / МГЭИК. – Женева, Швейцария, 2014. – 163 с.
 13. Кароль И.Л. Введение в динамику климата Земли. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 215 с.

14. Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 460 с.
15. Линейцева А.В. Поступление стока в Республику Казахстан по реке Урал на перспективу до 2035 года // Гидрометеорология и экология. – 2010. – № 2. – С. 64-68.
16. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В. М., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке. Часть 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности оценки его расчета // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 6. – С. 5-19.
17. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1991...2000 гг. Вып 2. Части 1 и 2. Бассейны рек Урал (среднее и нижнее течение) и Эмба. Алматы: 2009. – 209 с.
18. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. / Бедрицкий А.И. и др. (ред.), в 2-х томах, 2008.– М.: Росгидромет. – 298 с.
19. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Казахстана. РГП «Казгидромет», г. Астана. – Астана, 2014. – 55 с.
20. Предварительные результаты исследований по р. Жайык (Урал) / Отчет проекта ЕС «Оказание помощи Казахстану по переходу к модели «зеленой» экономики». – 2017. – 96 с.
21. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан, – Т. 12, Вып. II. Урало-Эмбинский район. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 512 с.
22. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан, – Т.12, Вып. II. Урало-Эмбинский район. Приложение. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 151 с.
23. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963...1970 гг. и весь период наблюдений). Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. – Т.12, Вып. II. Урало-Эмбинский район. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 323 с.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. – Т. 12, Вып. 2. Урало-Эмбинский район / Под ред. З.Г. Марковой – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 152 с.
25. Седьмое национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенций ООН об изменении климата. – Астана, 2017. – 303 с.

26. Сергин В.Я., Сергин С.Я. Системный анализ проблемы больших колебаний климата и оледенение Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 279 с.
27. Чибилев А.А. Бассейн Урала: история, география, экология – Екатеринбург: Изд-во «СВ-96». – 2008. – 310 с.
28. Hawkins E., Sutton R. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* – 2009. – V. 90. – P. 1095-1107.
29. Homogenization and Quality Control // WMO-TD. – Женева. – 2008. – N 1576. - 127 p.
30. Meinshausen M. et al. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300 // *Climate Change*. – 2011. – Vol.109. – № 1-2. – P. 213-241.
31. Nakicenovic N., Alcamo J., Davis G., de Vries B., Fenhann J., Gaffin S., Gregory K., Grubler A., Jung T.Y., Kram T., La Rovere E. L., Michaelis L., Mori S., Morita T., Pepper W., Pitcher H., Price L., Raihi K., Roehrl A., Rogner H.-H., Sankovski A., Schlesinger M., Shukla P., Smith S., Swart R., van Rooijen S., Victor N., Dadi Z. IPCC Special Report on Emission Scenarios // United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2000.
32. Reichler T., Kim J. How well do coupled models simulate today's climate? // *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, – 2008. – V. 89. – P. 303-311.
33. Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M. (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1535 pp.
34. Taylor Karl E., Ronald J. Stouffer, Gerald A. Meehl. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull // Amer. Meteor. Soc.* – 2012. - № 93.- Pp. 485-498.
35. Thrasher B., Maurer E. P., McKellar C., Duffy P. B. Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping // *Hydrology and Earth System Sciences*, –2012. – № 16(9). – Pp. 3309-3314.
36. Wood A.W., L.R. Leung, V. Sridhar, D.P. Lettenmaier. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs // *Climatic Change*,15. – 2004. – Pp. 189-216.

Поступила 17.09.2020

Географ. ғылымд. канд.	Н.И. Ивкина
PhD	А.В. Галаева
Географ. ғылымд. канд.	С.Б. Саиров
Географ. ғылымд. канд.	С.А. Долгих
	Е.Ю. Смирнова

**КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, 2050 ЖЫЛҒА
ДЕЙІНГІ ПЕРСПЕКТИВАДА КӨШІМ АУЫЛЫНЫҢ
ТҮСТАМАСЫНДАҒЫ ЖАЙЫҚ (ОРАЛ) ӨЗЕНІНІҢ ЖЫЛДЫҚ
АҒЫНЫН БАҒАЛАУ**

Түйін сөздер: тұрмыстық ағын, табиғи қалпына келтірілген ағын, климаттың өзгеруі, трансшекаралық өзен, ағынның өзгеруін бағалау

Мақалада қазіргі кезеңде Жайық (Орал) өзені бойынша Қазақстан Республикасының аумағына келіп түсетін ағындарды бағалау, сондай-ақ климаттың өзгеруінің әсерінен 2050 жылға дейінгі перспективада Жайық өзенінің ағынын бағалау келтіріледі. Бұдан басқа, Жайық өзенінің байқалған ағысының көпжылдық және маусымдық өзгерістерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Қазіргі заманғы климаттық өзгерістерге талдау жүргізілді, сондай-ақ 2050 жылға дейін климаттың өзгеру сценарийлерін таңдау негізделді.

N.I. Ivkina, A.V. Galaeva, S.B. Sairov, S.A. Dolgikh, E.Yu. Smirnova

**ASSESSMENT OF THE ANNUAL RUNOFF OF THE ZHAIYK (URAL)
RIVER – VII. KUSHUM FOR THE FUTURE UNTIL 2050 WITH
CLIMATE CHANGE**

Keywords: domestic runoff, natural restored runoff, climate change, transboundary river, assessment of runoff change

The article provides an assessment of the Zhaiyk River (Ural) runoff entering to the Republic of Kazakhstan territory during modern period, as well as an assessment of the Ural River flow until 2050 under the influence of climate change. In addition, the results of studies of long-term and seasonal changes in the observed Ural River flow are presented. The analysis of modern climate changes is carried out, as well as the choice of climate change scenarios up to 2050 is justified.