

УДК 556.16; 556.5.048; 556.5.06; 556.5(1/9)

Р.Г. Абдрахимов¹, А.С. Амиргалиева², К.Б. Даулетияров^{3,4}, А.М. Зияров^{5,6}

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ ИЛИ И ЕЕ КРУПНЫХ ПРИТОКОВ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Изменения климатических условий вносят существенные коррективы в водный режим поверхностного стока. В частности, в зоне формирования стока казахстанской территории бассейна реки Или, расположенной в пределах горных систем, вслед за современными трендами характеристик климата меняется сток рек. Анализ динамики величин средних годовых температур воздуха и годовых сумм осадков по данным метеорологических станций, находящихся на разных высотах, в целом позволяет выявить закономерности и тенденции изменений поверхностного стока на стокообразующих площадях водосбора. В работе приведены выводы о значимых изменениях метеорологических показателей и выявлены периоды относительно устойчивого состояния их средних многолетних значений-норм. Рассмотренные пространственно-временные колебания средних годовых температур воздуха и количества годовых сумм осадков позволили отметить, что, начиная с 1970-х гг., средняя годовая температура воздуха в регионе повысилась на 0,74°C. А норма ежегодных сумм осадков на большей части территории бассейна возросла в среднем на 34 мм за период с начала 1990-х гг. В аридных зонах годовой сток не имеет однозначных связей с количеством осадков, однако обусловлен временной и пространственной увлажненностью территорий и является результатом влияния теплосбалансовых и воднобалансовых факторов. По выделенным климатическим периодам и цикличности водного режима рек региона рассчитаны характеристики годового стока рек Или, Шарын и Шелек. Выбор расчетных периодов подтвержден результатами анализа однородности рассматриваемых рядов средних годовых расходов воды. Установлено, что на данной территории наблюдается достаточно значимый рост годовых сумм осадков в среднем с начала 1990-х гг., что вызвало интенсивное увеличение средних годовых расходов воды рассматриваемых рек. Так, норма годового стока р. Или возросла на 40 м³/с (9%), а ее значения для рек Шарын и Шелек увеличились, соответственно, на 21 и 18%. Обозначены возможные последствия и перспективы решения водных проблем и вопросов водной безопасности бассейна р. Или.

Ключевые слова: речной бассейн, гидрометеорологические характеристики, расчетный период, расход воды различной обеспеченности, динамика водности водотоков

Введение. Бассейн реки Или является уникальным природным и ресурсным комплексом Казахстана и играет огромную роль в жизнедеятельности республики. В регионе сосредоточены крупные промышленные, сельскохозяйственные и водохозяйственные комплексы и расположены многочисленные населенные пункты и города, а также мегаполис – город Алматы (Алма-Ата). Анализ и оценка состояния водных ресурсов, а также перспективы их количественных изменений, несомненно, важны и требуют внимания при планировании развития региона с учетом темпов роста населения и экономики. Так, с 1990-х гг. прошлого столетия население таких городов, как Алматы, Капчагай (Капчагай), Каскелен и Талгар, увеличилось в среднем в 1,5 раза [Демографический ежегодник..., 2011]. В настоящее время здесь проживают более двух миллионов человек.

Для социальных нужд, развития энергетики и сельского хозяйства в бассейне реки созданы ряд водохранилищ и ирригационных систем. В казахстанской части бассейна озера Балкаш (Балхаш) насчитывается примерно 35 водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования с суммарной емкостью около 16 км³ и общей площадью водного зеркала 1475 км² [Достай, 2009]. Наиболее крупные водохранилища созданы на реке Или – Капчагайское (Капчагайское) (1970), на реке Шарын – Бестюбинское (2011), на реке Шелек – Бартогайское (1984) и на реке Курты – Куртинское (1967). В верховьях реки Или в пределах КНР в 2002–2007 гг. возведена плотина водохранилища, которое также принято называть Капчагайским.

Наиболее значимыми ирригационными системами бассейна являются Большой Алматинский канал им. Д. Кунаева (БАК) и Акдалинский рисо-

¹ Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, кафедра гидрологии суши, профессор, канд. техн. н.; e-mail: gustem.abdrahimov@kaznu.kz

² Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, кафедра гидрологии суши, докторант PhD; e-mail: lunnyisvet@mail.ru

³ РГП «Казгидромет», филиал по Актобинской области, директор филиала; e-mail: ot.del.gidrologi@mail.ru

⁴ Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, кафедра гидрологии суши, магистрант.

⁵ РГП «Казгидромет», филиал по г. Алматы, инженер-гидролог отдела гидрологии; e-mail: alisherhydrolog@gmail.com

⁶ Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, кафедра гидрологии суши, магистрант.

вый массив орошения. Водозабор БАКа осуществляется из Бартогайского водохранилища, а далее он пересекает притоки р. Или в предгорьях Или Алатау (Заилийский Алатау) и заканчивается в бассейне реки Шамалган (Чемолган). Акдалинский рисовый массив орошения расположен в низовьях долины реки Или.

Таким образом, оценка водных ресурсов р. Или и ее крупных притоков в современных условиях в связи с изменением климата имеет важное значение при решении практических задач водопользования и перспектив дальнейшего развития региона.

Материалы и методы исследований. Основным объектом исследования является многолетний водный режим Или и особенности формирования стока на территории Казахстана. Долина реки делит две горные системы на Джунгарский (Жетысуйский) Алатау и восточную часть Северного Тянь-Шаня (Или Алатау) и протянулась на сотни километров от Синьцзяна (КНР) до озера Балхаш. Высотные отметки Илийской впадины в верховьях у границы с КНР составляют в среднем 600 м, в среднем течении у плотины ГЭС Капшагайского водохранилища – 500 м, а в низовьях – 340 м. Правобережные притоки реки Или – Коргас (Хоргос), Осек (Усек), Борохудзир, берущие начало в горах Жетысуйского Алатау, – маловодны. Наиболее значимы левобережные притоки реки, формирующиеся на склонах Или Алатау, а также отрогов Терской и Кунгей Алатау – Шелек и Шарын. Горы здесь достигают 4000 м и более, например пик Талгир имеют высоту 4951 м. Стокоформирующая часть бассейна расположена в КНР. На территории Казахстана формируется порядка 30% водных ресурсов р. Или. В русло реки попадает лишь часть из них. Сток горных рек используется на хозяйственные нужды, а также расходуется на фильтрацию и испарение [Проблемы..., 2003].

В работе анализируются данные 10 метеорологических станций (МС) и 5 гидрологических постов РГП «Казгидромет». В расчетах использовались значения средних годовых расходов воды по гидрологическим пунктам рек: Или – 164 км выше плотины Капшагайской ГЭС (1957–2018); Шарын – уроч. Сарытогай (1928–2018); Шелек – с. Малыбай (1929–2018); Или – уроч. Капшагай (1911–2018) [Многолетние данные..., 2001, 2006; Ежегодные данные..., 2020]. Соответственно количество лет данных рядов составляют от 90 до 108 лет. Пропуски в наблюдениях составляют для данных пунктов от двух до пяти лет.

Схема расположения расчетных пунктов наблюдений приведена на рис. 1 (ArcGIS, версия 10,6).

Высота местности и экспозиция склонов хребтов по отношению к влагонесущим воздушным массам определяют расходы воды в реках и обуславливают их водное питание. Доля снегового питания рек бассейна р. Или составляет 85% стока, дождевого – 7,5–23% и ледниковая составляющая стока доходит до 12–17,5% [Республика Казахстан..., 2006]. При этом изменения климатических характеристик последних десятилетий приводят к изменени-

ям воднобалансовых характеристик на значительных территориях и отдельных речных бассейнах.

Анализ метеорологических факторов стокообразования. В научной и справочной литературе отмечаются положительные аномалии средних годовых температур воздуха и количества осадков за последние десятилетия в районах Центральной Азии и Казахстана [WMO..., 2018; Седьмое национальное..., 2017; Manning et al., 2013; Asia..., 2007]. Оценка характеристик стока требует определения периодов, характеризующихся относительно установившимися климатическими условиями. Изменившиеся климатические показатели в различных высотных зонах водосборов рассматриваемых рек определяют процессы стокообразования.

Увеличение средних годовых температур воздуха отмечается и в бассейне реки Или (табл. 1).

Тенденция роста средних годовых температур воздуха отчетливо прослеживается по суммарным интегральным кривым данной характеристики (рис. 2).

На фоне глобального потепления средние годовые температуры воздуха в рассматриваемом регионе возросли с начала 1970-х гг. в среднем на 0,74°C. Рост температуры воздуха влечет за собой изменение теплостановых и воднобалансовых показателей. В бассейнах со значительной площадью оледенения интенсивное таяние ледников приводит к увеличению доли ледникового стока в водности рек. Как известно, за последние десятилетия площадь ледников Или Алатау сократилась вдвое, а процессы абляции регулируются высотой снеговой линии. Определить влияние исключительно ледникового стока на водность реки Или является сложной задачей. При этом сток малых горных рек с долей талых вод ледников практически и непосредственно в р. Или не попадает. Из-за потепления и более интенсивного таяния высокогорных снежников и ледников в годовом стоке реки Или и ее притоков значимых изменений не наблюдается. В среднем и нижнем течении р. Или, в зоне степных и полупустынных засушливых территорий бассейна, норма условно-естественного годового стока в пунктах реки Или – уроч. Капшагай за 59-летний период до 1970 г. составляла 472 м³/с, за 21 год до 1990 г. – 478 м³/с, за 26 лет (1990–2018) – 519 м³/с, а по посту р. Или (164 км выше плотины Капшагайской ГЭС) за те же периоды – 461, 441, 480 м³/с соответственно.

Ранее авторами оценены водные ресурсы наиболее значимых водотоков бассейна и рассчитаны их основные показатели годового стока за различные периоды с учетом хозяйственной деятельности [Abdrahimov et al., 2020]. Были выявлены основные антропогенные факторы, оказывающие влияние на естественные стоковые характеристики основных рек Или-Балхашского бассейна. При этом оценка водных ресурсов значительных территорий основана на использовании одинаковых приведенных периодов. Поэтому часть статистической информации длиннорядных постов наблюдения в расчетах не использовалась. Анализ же гидрометеорологичес-

Таблица 1

Средние годовые температуры воздуха за многолетние периоды ($t_{\text{ср}}$, °C)

Метеостанция	Высота, м абс. [Справочник..., 2004]	Период осреднения, годы	$t_{\text{ср}}$, °C	Повышение Δt , °C
Алматы	847	1920–1969 1970–2015	8,81 9,79	0,98
Когалы (Кугалы)	1410	1928–1969 1970–2015	4,44 5,21	0,77
Кыргызсай (Подгорное)	1273	1938–1969 1970–2015	13,1 13,7	0,60
Кеген	1845	1948–1969 1970–2015	2,19 3,36	1,17
Мынжилки	3017	1937–1969 1970–2015	–2,15 –1,32	0,83
Нарынкол	1806	1948–1969 1970–2015	10,2 10,9	0,70
Ассы	2216	1952–1969 1970–2015	0,00 0,32	0,32
Шелек (Чилик)	606	1934–1969 1970–2015	9,15 10,4	1,25
Каменское плато (Алматы)	1317	1961–1969 1970–2015	8,50 8,95	0,45
Жаланаш	1699	1960–1969 1970–2015	5,45 5,79	0,34
В среднем по бассейну				0,74

кой информации длинных рядов наблюдений позволяет оценить наиболее значимые колебания и изменения воднобалансовых соотношений при формировании поверхностного стока и предусмотреть дальнейшие тенденции развития водности рек.

Большой интерес представляет анализ динамики годовых сумм осадков в бассейне реки Или. Количество осадков, фиксируемых в конкретном пункте наблюдения, зависит от многих факторов. Это и общие циркуляционные процессы, интенсивность циклонической деятельности, рельеф местности, влияющий на направление перемещения влаги, и процессы осадкообразования. В связи с этим, в отличие от повышения температуры воздуха, которое отмеча-

ется повсеместно, количество осадков в многолетнем режиме изменяется неоднозначно. Как видно, исходя из тенденции изменения суммарных интегральных кривых годовых сумм осадков, на примере данных МС (Алматы, Когалы, Шелек), величина нормы данной характеристики в регионе, начиная с 1990-х гг., за последние годы возросла (рис. 3, табл. 2).

Средняя многолетняя величина годовых сумм осадков за последние 25 лет на большей площади зоны формирования стока бассейна на высотах ниже 1500 м в среднем возросла на 34 мм. Таким образом, повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков должны привести к увеличению водности рек.

Тенденция увеличения количества годовых осадков наблюдается не по всем рассматриваемым МС. Так, на высотах выше 2000 м (МС Ассы и Мынжилки) среднее многолетнее количество годовых осадков в настоящее время снизилось на 14 и 2%, соответственно. При этом уменьшение величины годовых сумм осадков отмечается начиная с 1990-х гг.

Как известно, в аридных зонах однозначных прямых связей средних годовых расходов и количества осадков нет. Например, для рассматриваемых рек – Или, Шарын, Шелек – коэффициенты парной корреляции (r) годового стока и годовых сумм осадков составляют 0,56, 0,43 и 0,47 соответственно. Сток рек региона обусловлен и степенью увлажненности почвогрунтов, глубиной залегания и запасом подземных вод. Повсеместный рост температуры воздуха не только способствует более интенсивному таянию снежников и ледников, но и влияет на процессы испарения и приводит в целом к истощению влагозапасов.

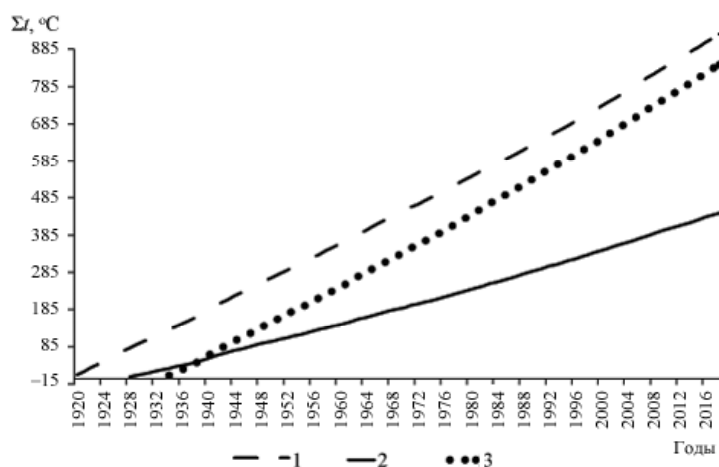


Рис. 2. Суммарные интегральные кривые средних годовых температур воздуха по метеостанциям Или Алатау: 1 – Алматы; 2 – Когалы; 3 – Шелек

Fig. 2. Total integral curves of average annual air temperature for meteorological stations of the Ili Alatau: 1 – Almaty; 2 – Kogaly; 3 – Shelek

Изменения же величин нормы годовых сумм осадков (X_{cp}) и стоковых характеристик основных рек Или-Балхашского бассейна, несомненно, характеризуют воднобалансовые изменения в регионе.

Результаты исследования и их обсуждение. Для анализа динамики водности водотоков региона рассматривались, как уже отмечалось, ряды годового стока рек Или, Шарын и Шелек. В пределах водосбора реки Шелек на высотах 3300–3500 м хребтов Или и Кунгей Алатау находятся ледники Жангырык, Богатырь и Корженевского. В бассейне реки Шарын оледенение отсутствует, а ее сток формируется за счет снегового, дождевого и грунтового питания.

Восстановление пропусков в наблюдениях за стоком рек влечет увеличение ошибки в зависимости от величины коэффициента корреляции, т. е. тесноты используемых связей. Тем более реконструкция рядов стоковых характеристик в условно-естественных условиях требует подходить к выбору пунктов-аналогов в достаточной степени осторожно и внимательно. При этом при анализе реконструированных рядов необходимо помнить, что расчетные характеристики данных рядов содержат примерные оценки, состоящие из ряда допущений. В случае рассматриваемых рядов годового стока рек пропуски в наблюдениях восстановлены по достаточно надежным зависимостям со стоком за период половодья в тех же пунктах наблюдения ($r = 0,90$). При получении связей стоковых характеристик для восстановления отсутствующих величин учитывалось и влияние хозяйственной деятельности, в первую очередь водохранилищ.

Анализ динамики сумм средних годовых расходов воды за многолетний период позволяет выявить следующие тенденции изменения средней многолетней водности водотоков.

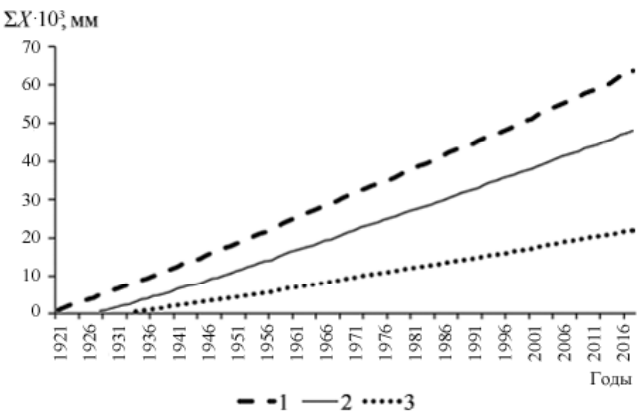


Рис. 3. Суммарные интегральные кривые количества годовых сумм осадков по МС Или Алатау: 1 – Алматы; 2 – Когалы; 3 – Шелек

Fig. 3. Total integral curves of annual precipitation for meteorological stations of the Ili Alatau: 1 – Almaty; 2 – Kogaly; 3 – Shelek

Ряды величин годового стока рек реконструированы исходя из условий условно-естественного состояния стока. Ряд средних годовых расходов воды реки Или в гидрологическом пункте урочище Капшагай имеет наиболее длительный период наблюдений и неоднороден вследствие антропогенных нагрузок и климатических изменений. Реконструкция ряда в условно-естественных условиях с 1971 г., года начала эксплуатации созданного Капшагайского водохранилища, осуществлена по связи со средними годовыми расходами воды, наблюдаемыми на гидрологическом посту 164 км выше плотины Капшагайской ГЭС с коэффициентом корреляции, равным 0,73 [Амиргалиева, 2017].

В многолетней динамике величин средних годовых расходов воды рассматриваемых рек на ос-

Таблица 2

Средние годовые суммы осадков за многолетние периоды (X_{cp} , мм)

Метеостанция	Период осреднения, годы	$X_{\text{ср}}$, мм	Увеличение	
			ΔX , мм	%
а) По данным МС, расположенным на высотах ниже 1500 м				
Алматы	1921–1989	632	50	8
	1990–2015	682		
Когалы (Кугалы)	1928–1989	509	44	8
	1990–2015	555		
Кыргызсай (Подгорное)	1936–1989	406	30	7
	1990–2015	436		
Шелек (Чилик)	1934–1989	252	13	5
	1990–2015	265		
Каменское плато (Алматы)	1961–1989	880	2	0,2
	1990–2015	882		
б) По данным МС, расположенным на высотах выше 1500 м				
Кеген	1948–1989	398	7	2
	1990–2015	405		
Нарынкол	1948–1989	393	6	2
	1990–2015	397		
Жаланаш	1960–1989	520	Уменьшение	
	1990–2015	516	4	0,7
Ассы	1952–1989	433	62	14
	1990–2015	371		
Мынжылки	1937–1989	885	19	2
	1990–2015	866		

нове анализа разностно-интегральных кривых и суммарных интегральных кривых данных значений прослеживаются длительные тенденции циклов водности, характеризующиеся однородным водным режимом. Так, в многолетнем водном режиме всех рассматриваемых рек наблюдается продолжительный, 40–50-летний маловодный период до середины 1980-х и 1990-х гг. (р. Или), который сменился многоводной фазой водности рек. С начала 1990-х гг. отмечается заметное интенсивное устойчивое увеличение годовых величин стока (рис. 4).

Таким образом, прослеживаются четкие изменения в режиме осадков и поверхностного стока рек в регионе в среднем с начала 1990-х гг.

Оценка однородности выбранных в соответствие с анализом периодов цикличности водности и суммарных интегральных кривых годового стока исследуемых рек выполнена с помощью рекомендованных и широко используемых в гидрологии параметрических критериев однородности двух выборок статистического ряда Стьюдента (St) и Фишера (F). В нашем случае гипотеза об однородности исследуемых выборок рядов годового стока по признаку нормы (St) и среднего квадратического отклонения (F) находит подтверждение лишь для средних годовых расходов воды реки Или у урочища Капшагай. Величины годового стока здесь подвержены наибольшему влиянию хозяйственного воздействия и были восстановлены, как отмечалось, с использованием аналогичных значений, наблюдаемых в створе в 164 км выше ГЭС. Остальные исследуемые расчетные ряды стока рек с относительно естественным водным режимом характеризуются неоднородностью выборок в соответствии с выделенными климатическими периодами.

Критерии однородности Стьюдента и Фишера рассчитаны по российской программе StockStat [Магрицкий, 2014]. Результаты анализа однородности выборок рядов в целом подтверждают вывод о

значимых изменениях в формировании водности рек региона в среднем с 1990-х гг.

Анализ тенденций изменения средних многолетних значений годового стока показывает, что норма стока рек Или, Шарын и Шелек, начиная с 1990-х гг., в среднем возросла по сравнению с предыдущими десятилетиями на 13%. Норма средних годовых расходов воды реки Или увеличилась на 7%, а рек Шарын и Шелек, соответственно, на 20 и 18%.

Расчетные характеристики средних многолетних значений годового стока, а также средние годовые расходы воды рек различной обеспеченности приведены в табл. 3.

Как видно, за последние 20 лет величина годового стока реки Или повторяемостью 1 раз в 20 и 100 лет возросла на 16 и 18% соответственно, а рек Шарын и Шелек на 25, 27% и на 21, 23% соответственно.

Выводы:

- климатические изменения характеристик водного и теплового баланса в бассейне реки Или вызывают увеличение годового стока, как показано на примере крупных рек региона – Или, Шарын и Шелек. Наиболее интенсивный рост значений средних годовых расходов воды наблюдается с начала 1990-х гг. со времени значительного увеличения годовых сумм осадков;

- влияние талых вод высокогорных зон на водность рек требует более детальных исследований, оценки и изменения их внутригодовых стоковых величин. При этом повышение средней годовой температуры воздуха и снижение количества осадков в высокогорных областях бассейна может привести к еще большему сокращению площади ледников, а возможно, к их полному исчезновению и изменению водного режима малых горных рек;

- в целом же рост годового стока с увеличением количества осадков несомненно благоприятно скажется на развитии данного региона. Потепление климата и увеличение количества осадков в регионе позволяют предполагать дальнейший рост водности рек. При этом уменьшение объемов ледникового стока, являющегося регулятором водности малых горных рек в многолетнем режиме, должно увеличить изменчивость их стока, т. е. вариацию средних годовых расходов воды, которая в большей степени будет определяться количеством осадков конкретного года. Однако возрастание временной вариации стока приведет к необходимости в хозяйственной деятельности предгорных, наиболее обжитых зон обращать больше внимания вопросам регулирования водного режима и возникновения опасных явлений (наводнений, засушливых периодов, селей и т. п.). Поэтому возможно уже сейчас, в условиях перспектив устойчивого развития и с учетом водной безопасности региона, возникает необходимость в проектировании и создании ряда водохранилищ, в первую очередь на реках с большей долей ледникового стока.

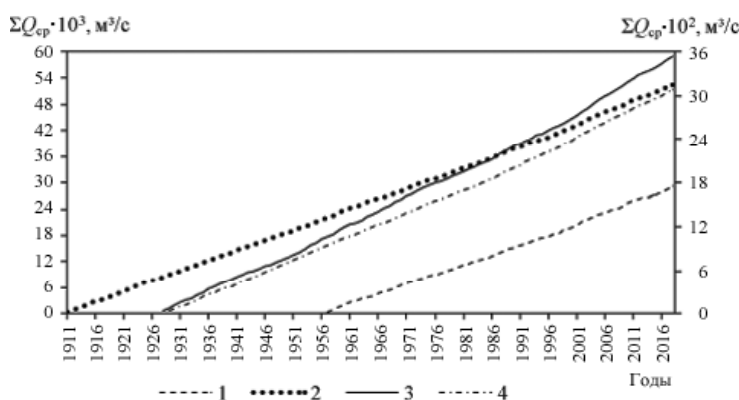


Рис. 4. Суммарные интегральные кривые годового стока р. Или и ее основных притоков на постах: 1 – 164 км; 2 – урочище Капшагай; 3 – р. Шарын; 4 – р. Шелек

Fig. 4. Total integral curves of annual flow of the Ile River and its main tributaries at the stream gauges: 1 – 164 km; 2 – Kapshagaj area; 3 – the Sharyn River; 4 – the Shelek River

Таблица 3

Характеристики средних годовых расходов воды рек в различные климатические периоды

№ п/п	Река – пункт	Расчетный период	$Q_{\text{ср}}, \text{ м}^3/\text{с}$	C_v	Расходы воды различной обеспеченности, %					
					1	5	10	50	75	95
1	Или – урочище Капшагай	1911–1989 (79 лет)	449	0,19	699	607	563	437	387	334
		1990–2018 (29 лет)	480	0,23	855	696	627	452	400	359
2	Или – 164 км выше ГЭС	1957–1989 (33 года)	450	0,20	687	608	567	443	386	314
		1990–2018 (29 лет)	491	0,24	815	703	645	479	406	320
3	Шелек – село Малыбай	1929–1989 (61 год)	32,2	0,11	42,8	38,8	37,0	31,6	30,0	27,5
		1990–2018 (30 лет)	37,9	0,13	53,3	48,0	45,1	37,6	35,0	31,8
4	Шарын – урочище Сарытогай	1928–1989 (62 года)	36,5	0,20	57,0	50,0	46,2	35,6	31,2	26,1
		1990–2018 (29 лет)	44,1	0,23	72,6	62,5	57,6	42,9	36,8	30,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Амиргалиева А.С. Реконструкция рядов годового стока рек Иле-Балкашского бассейна // Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные образовательные достижения и перспективы развития» (Санкт-Петербург, 19–20 дек. 2017 г.). СПб.: Аграф+, 2017. С. 57–61.

Демографический ежегодник Казахстана: статистический сборник / под ред. А. Смаилова. Астана, 2011. 592 с.

Достай Ж.Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балкаш. Алматы: Print-S, 2009. 236 с.

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2018. Вып. 7. Бассейны рек оз. Балкаш и оз. Алаколь. Нур-Султан, 2020. 352 с.

Магрицкий Д.В. Речной сток и гидрологические расчеты: практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ. М.: Триумф, 2014. 184 с.

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1981–1990, 1991–2000 гг. Вып. 4. Бассейны рек оз. Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. Алматы, 2001; 2006.

Проблемы гидрометеорологической устойчивости в бассейне озера Балхаш / под ред. А.Б. Самаковой. Алматы: Каганат, 2003. 153 с.

Республика Казахстан. Т. 1. Природные условия и ресурсы / под ред. Н.А. Исакова, А.Р. Медеу. Алматы, 2006. 506 с.

Седьмое национальное сообщение и третий двухгодичный доклад РК Рамочной конвенции ООН об изменении климата. ПРООН. Астана, 2017. 304 с.

Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные. Раздел 1. Температура воздуха. Вып. 14. Алматинская область. Алматы, 2004. 563 с.

Abdrahimov R.G., Amirgaliyeva A.S., Tastambek K., Zhumalipov A.R., Polyakova S.E. Annual river runoff of the Ile-Balkash basin and prospects of its assessment due to climatic changes and water economy activities, *International Journal of GEOMATE*, 2020, vol. 18, iss. 69, p. 230–239, DOI: 10.21660/2020.69.32068.

Asia. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, p. 469–506.

Mannig B., Müller M., Starke E., Merckenschlager Ch., Mao W., Zhi X., Podzun R., Jacob D., Paeth H. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia, *J. Global and Planetary Change*, vol. 110, pt. A, 2013, p. 26–39, DOI: 10.1016/j.gloplacha. 2013.05.008.

Электронный ресурс

WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017, 2018, no. 1212, 40 p., URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453 (дата обращения 10.02.2019).

Поступила в редакцию 18.02.2020

После доработки 16.10.2020

Принята к публикации 21.01.2021

R.G. Abdrahimov¹, A.S. Amirgaliyeva²,
K.B. Dauletiyarov^{3,4}, A.M. Ziyarov^{5,6}

CURRENT TRENDS IN THE ANNUAL FLOW OF THE ILE (IL) RIVER
AND ITS LARGE TRIBUTARIES UNDER CLIMATE WARMING

Changes in climatic conditions significantly adjust the regime of surface runoff. In particular, current trends in climatic indicators over the zone of runoff formation within the Kazakhstan part of the Ili River basin, located in the mountain systems, change the flow characteristics of rivers. Analysis of the dynamics of average air temperatures and annual precipitation totals using the data of meteorological stations at

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Meteorology and Hydrology, Acting Professor, PhD in Technical Sciences; e-mail: rustem.abdrahimov@kaznu.kz

² Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Meteorology and Hydrology, PhD student; e-mail: lunnyisvet@mail.ru

³ RSE "Kazhydromet", Aktobe Branch, Director; e-mail: otдел.gidrologi@mail.ru

⁴ Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Meteorology and Hydrology, master student.

⁵ RSE "Kazhydromet", Almaty Branch, Hydrology Department, Engineer; e-mail: alisherhydrolog@gmail.com

⁶ Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Meteorology and Hydrology, master student.

different heights above sea level, generally allows identifying patterns and trends in surface runoff within the drainage-forming catchment areas. The paper presents conclusions about significant changes in meteorological indicators and identified periods of relatively stable state of their average long-term values, i.e. norms. The considered space-time fluctuations of the average annual air temperatures and the amount of annual precipitation made it possible to reveal that since the 1970s the average annual air temperature in the region has increased by an average of 0,74°C. And the rate of annual precipitation has increased since the early 1990s by an average of 34 mm over most of the basin. The annual runoff is unclearly related to the amount of precipitation in arid zones; however, it depends on the temporal and spatial distribution of moisturizing and results from the influence of heat balance and water balance factors. Parameters of the annual river flow for Ili, Sharyn and Shelek rivers are calculated for the identified climatic periods and with due account of the cyclic water regime of rivers in the region. The choice of calculation periods is confirmed by the analysis of homogeneity of the series of average annual water flow rates under consideration. It was found that since the beginning of the 1990s there was a fairly significant increase in annual precipitation in the region, which caused an intensive increase of the average annual water discharge of the rivers in question. So, the rate of the annual runoff of the Ili River increased by 40 m³/s (9%), and its values for the Sharyn and Shelek rivers increased by 21 and 18%, respectively. Possible consequences and prospects of solving water problems and water security issues within the Ili River basin are indicated.

Key words: river basin, hydrometeorological parameters, calculation period, water discharges of various return periods, flow rate dynamics

REFERENCES

- Abdrahimov R.G., Amirgaliyeva A.S., Tastambek K., Zhumalipov A.R., Polyakova S.E. Annual river runoff of the Ile-Balkash basin and prospects of its assessment due to climatic changes and water economy activities, *International Journal of GEOMATE*, 2020, vol. 18, iss. 69, p. 230–239, DOI: <https://doi.org/10.21660/2020.69.32068>.
- Amirgaliyeva A.S. [Reconstruction of a series of annual runoff rivers of the Ile-Balkash basin], *Trudy Vserossiyskoy konferentsii "Gidrometeorologiya i ekologiya: nauchnye obrazovatel'nye dostizheniya i perspektivy razvitiya"* [Proc. of the All-Russian national conference "Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and perspectives"], St. Peterburg, Agraf+ Publ., 2017, p. 57–61. (In Russian)
- Asia. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, p. 469–506.
- Demograficheskiy ezhegodnik Kazakhstana. Statisticheskii sbornik [Kazakhstan demographic yearbook. Statistical compilation], A. Smailov (ed.), Astana, 2011, 592 p. (In Russian)
- Dostaj Zh.D. *Upravlenie gidroekosistemoi basseina ozera Balkash* [Management of the hydro-ecosystem of the Balkhash Lake], Almaty, Print-S Publ., 2009, 236 p. (In Russian)
- Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. [Annual data on the regime and resources of land surface water], 2018, vyp. 7. Basseiny rek oz. Balkash i oz. Alakol'. Nur-Sultan, 2020, 352 p. (In Russian)
- Magrickij D.V. *Rechnoi stok i gidrologicheskie raschety: prakticheskie raboty s vypolneniem pri pomoshchi komp'yuternykh programm* [River runoff and hydrological calculations: practical works accomplished with computer programs], Moscow, Triumph Publ., 2014, 184 p. (In Russian)
- Mannig B., Müller M., Starke E., Merckenschlager Ch., Mao W., Zhi X., Podzun R., Jacob D., Paeth H. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia, *J. Global and Planetary Change*, vol. 110, pt. A, 2013, p. 26–39, DOI: [10.1016/j.gloplacha.2013.05.008](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.05.008).
- Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. 1981–1990, 1991–2000 gg., vyp. 4. Basseiny rek oz. Balkhash i besstochnykh raionov Tsentral'nogo Kazakhstana [Long-term data on the regime and resources of land surface water. 1981–1990, 1991–2000 years, iss. 4, River basins of Lake Balkhash and closed areas of Central Kazakhstan], Almaty, 2001, 2006. (In Russian)
- Problemy gidrometeorologicheskoi ustoychivosti v basseine ozera Balkhash [Problems of hydrometeorological stability in the basin of the Balkhash Lake], A.B. Samakova (ed.), Almaty, Kaganat Publ., 2003, 153 p. (In Russian)
- Respublika Kazakhsta, T. 1, *Prirodnye usloviya i resursy* [Republic of Kazakhstan, vol. 1, Natural settings and Resources], N.A. Isakov, A.R. Medeu (eds.), Almaty, 2006, 506 p. (In Russian)
- Sed'moe natsional'noe soobshchenie i tretii dvukhgodichnyi doklad RK. Ramochnoi konventsii OON ob izmeneniyakh klimata [Seventh national communication and third biennial report of the Republic of Kazakhstan. United Nations framework Convention on climate change], PROON, Astana, 2017, 304 p. (In Russian)
- Spravochnik po klimatu Kazakhstana. Mnogoletnie dannye, razdel 1, Temperatura vozdukh, vyp. 14, Almatinskaya oblast' [Kazakhstan climate guide, section 1, iss. 14, Almaty's region], Almaty, 2004, 11 p. (In Russian)
- Web source
- WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017, 2018, no. 1212, 40 p., URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453 (access date 10.02.2019).

Received 18.02.2020

Revised 16.10.2020

Accepted 21.01.2021