

УДК 556.166.34(582.227)

АНАЛИЗ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА РЕКИ СЫРДАРЬЯ

Ж. С. ХАМРОКУЛОВ^{1*}, З. Х. ЭРГАШЕВА^{2**}, Н. К. СУЛТОНОВ^{1***},
Л. М. МАХМУДОВА^{1****}

¹ *Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства, Национальный исследовательский
университет, Ташкент, Узбекистан*

² *Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем,
Ташкент, Узбекистан*

Рассмотрены особенности внутригодового распределения стока реки Сырдарья в условиях трансформации водохозяйственного режима. На основе анализа гидрологических наблюдений на участке от кишлака Каль до нижнего бьефа Чардаринского водохранилища установлены изменения сезонной структуры стока в многоводные, средние и маловодные годы. После перехода водохранилищ бассейна Нарына на энергетический режим с 1991 г. зафиксировано смещение пиковых расходов на зимне-осенний период и сокращение летнего стока, что осложнило ирригационное водоснабжение. По данным за периоды 1980–1990 и 2011–2021 гг. выполнено сопоставление сезонного распределения стока. Обоснована необходимость строительства регулирующих водохранилищ в Узбекистане и Казахстане для стабилизации водообеспечения.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.2.129>

Keywords: Syrdarya River, intra-annual flow distribution, hydrological conditions, energy regime, irrigation, reservoirs, water resources, Central Asia.

Введение. Рациональное управление водными ресурсами в условиях аридного климата Средней Азии требует глубокого понимания пространственно-временной динамики речного стока. Особую актуальность приобретают исследования внутригодового распределения стока крупных трансграничных рек, таких как Сырдарья, играющих ключевую роль в обеспечении водоснабжения сельского хозяйства, энергетики и экосистем региона [1].

До 1990-х гг. режим стока р. Сырдарья формировался преимущественно под воздействием естественных климатических и геоморфологических факторов, а водохранилища использовались преимущественно в ирригационных целях [2]. Однако после распада Советского Союза и перехода водохранилищ на территории Кыргызстана на энергетический режим эксплуатации, структура

* E-mail: hamroqulov1993@mail.ru

** E-mail: z.baxronova@tiame.uz

*** E-mail: nodirbeksultonov2@icloud.com

**** E-mail: maxmudovalaylo874@gmail.com

сезонного распределения стока существенно изменилась [3]. Основные объемы воды начали сбрасываться в зимне-осенний период, что привело к дефициту водных ресурсов в вегетационный сезон на территории Узбекистана и Казахстана [4].

Изучение формирования и внутригодового распределения стока рек считается одной из основных проблем гидрологии. Внутригодовое распределение стока и водный режим рек являются важными характеристиками с точки зрения использования водных ресурсов [5, 6]. Изменения внутригодового распределения стока оказывают прямое влияние на водоснабжение орошаемых земель, планирование сельскохозяйственного производства и работу водохозяйственных систем [7]. В связи с этим возникает необходимость количественного анализа изменений сезонной структуры стока за различные гидрологические периоды, а также обоснования мер по восстановлению баланса между энергетическим и ирригационным водопользованием [8].

Цель настоящего исследования – анализ внутригодового распределения стока р. Сырдарья на участке от кишлака Каль до нижнего бьефа Чардаринского водохранилища в разные по водности годы, выявление тенденций сезонных изменений до и после 1990 г., а также формулировка рекомендаций по управлению стоком с учетом интересов стран региона.

Материалы и методы исследования. Сырдарья – одна из крупнейших рек Центральной Азии протяженностью около 2200 км. Истоки реки находятся в горах Тянь-Шаня, она протекает через территории Казахстана, Узбекистана и Туркменистана, впадая в Северную часть Аральского моря (рис. 1). Сырдарья играет важную роль в орошении сельскохозяйственных земель региона и является ключевым водным ресурсом для экономики и экологии Центральной Азии. Ее гидрологический режим зависит от сезонных осадков и таяния снежников [9].



Рис. 1. Гидрографическая карта р. Сырдарья и прилегающего бассейна [10].

В качестве исходных данных использовались материалы многолетних гидрологических наблюдений за расходами воды на гидропостах (ГП) р. Сырдарья на участке от кишлака Каль до нижнего бьефа Чардаринского водохранилища. Анализ охватывает характерные по водности следующие годы: многоводный 1969 г., средневодный 1942 г. и маловодный 1978 г., а также два многолетних периода: 1980–1990 гг. (до перехода на энергетический режим) и 2011–2021 гг. (после перехода).

Для оценки внутригодового распределения стока использовались данные среднемесячных расходов воды, на основе которых были построены графики сезонной изменчивости стока по ГП. Дополнительно выполнен расчет относительной доли сезонного стока (в процентах от годового объема) по кварталам: зимний (декабрь–февраль), весенний (март–май), летний (июнь–август), осенний (сентябрь–ноябрь). Сравнительный анализ выполнен с использованием статистических методов обработки временных рядов, определены среднегодовые и среднемесячные расходы, амплитуды колебаний, а также выделены тенденции изменения сезонной структуры стока. Визуализация результатов представлена в виде графиков (рис. 2–6), отражающих динамику распределения стока по месяцам и сезонам.

Для обоснования предложений по регулированию стока и водохозяйственному планированию использован принцип предоставления региональных общественных благ, применимый к управлению трансграничной водной инфраструктурой. Рассмотрены потенциальные меры по строительству и модернизации регулирующих водохранилищ в пределах Узбекистана и Казахстана.

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ внутригодового распределения стока по ГП Сырдарьи за характерные по водности годы позволил выявить особенности сезонной изменчивости стока (рис. 2). На ГП Каль в многоводном 1969 г. среднемесячные расходы воды варьировали от $238 \text{ м}^3/\text{с}$ в январе до $2460 \text{ м}^3/\text{с}$ в июне при среднем годовом расходе $963 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальные значения расходов приходились на май–июнь, минимальные – на зимние месяцы (январь–февраль), что соответствует снежно-ледниковому типу питания реки. В средневодный 1942 г. отмечен более выраженный весенне-летний максимум: среднемесячные расходы изменялись от $200 \text{ м}^3/\text{с}$ в октябре до $2049 \text{ м}^3/\text{с}$ в июне, при среднем годовом значении $452 \text{ м}^3/\text{с}$. Наибольшие расходы фиксировались в мае–июне, а наименьшие – в январе, феврале и октябре. В маловодном 1978 г. наблюдался более сглаженный режим стока: среднемесячные значения колебались от $130 \text{ м}^3/\text{с}$ (сентябрь) до $414 \text{ м}^3/\text{с}$ (июнь), среднегодовой расход составил $229 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальные расходы регистрировались в апреле–июле, а минимальные – в феврале, марте и сентябре.

Такие колебания отражают влияние снегово-ледникового режима питания в условиях пониженного водообеспечения. Подобная структура внутригодового распределения сохранялась вплоть до начала 1990-х гг., когда произошли значительные изменения в водохозяйственном регулировании стока.

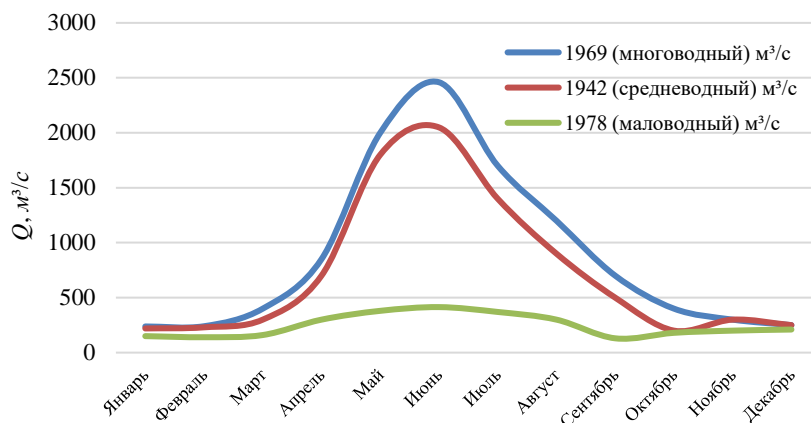
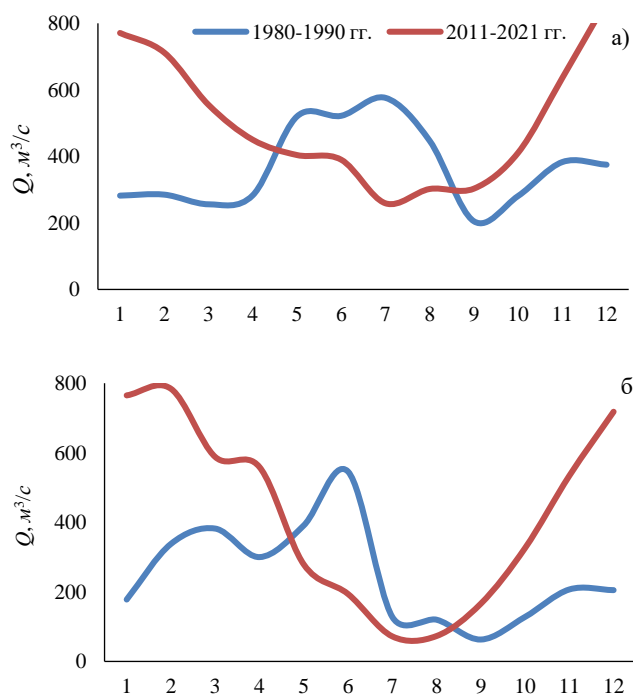


Рис. 2. Внутригодовое распределение среднемесячного стока р. Сырдарья по ГП Каль в характерные по водности годы.

Начиная с 1991 г., водохранилища на р. Нарын перешли с ирригационного на энергетический режим эксплуатации в целях обеспечения потребностей народного хозяйства Кыргызстана. Данная смена режима привела к увеличению объемов сброса воды в зимне-осенний период и значительному снижению летних расходов. Эти изменения четко отражены на графиках внутригодового распределения стока по ГП (рис. 3, а–г).



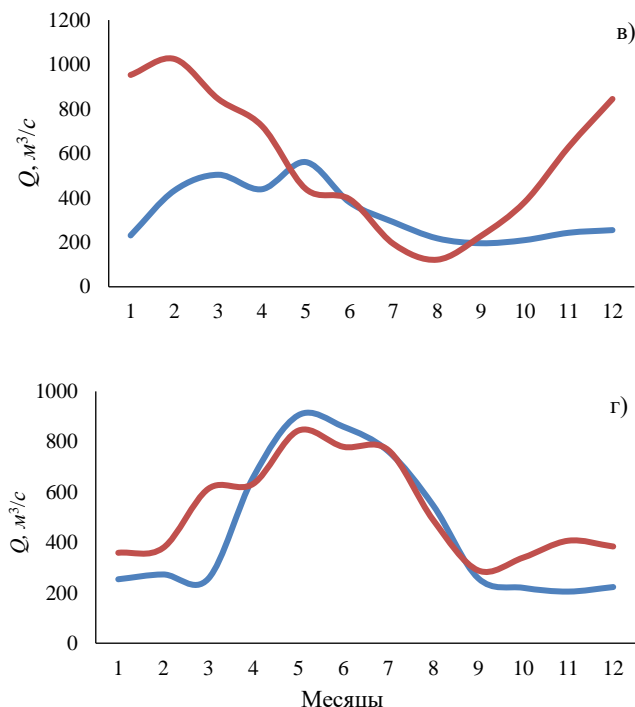


Рис. 3. Внутригодовое распределение стока (m^3/c) р. Сырдарья–ГП Каль (а), р. Сырдарья–ГП Надеждинский (б), р. Сырдарья–ГП Чиназ (в) и р. Сырдарья–ГП ниже Чардарьинского вдхр. (г) за периоды 1980–1990 и 2011–2021 гг.

В результате смены режима эксплуатации наблюдается перераспределение годового стока, что влияет на гидрологический режим реки и требует адаптации водохозяйственного планирования. Повышение объемов сброса в холодный период способствует стабилизации выработки электроэнергии, однако снижение летних расходов может отрицательно сказаться на водоснабжении сельскохозяйственных нужд и экосистемах, зависимых от летнего стока. Эти изменения подчеркивают важность комплексного подхода к управлению водными ресурсами с учетом сезонных и хозяйственных особенностей региона.

Анализ внутригодового распределения стока р. Сырдарья–ГП Каль за периоды 1980–1990 и 2011–2021 гг. выявил тенденцию к увеличению расходов воды во втором периоде с отдельными колебаниями (рис. 3, а). Максимальные значения выросли более чем в два раза (с 282 до 771 m^3/c), в то время как в некоторых случаях отмечено снижение (с 576 до 259 m^3/c). Изменения обусловлены природно-климатическими и антропогенными факторами.

Анализ внутригодового распределения стока р. Сырдарья–ГП Надеждинский за периоды 1980–1990 и 2011–2021 гг. (рис. 3, б) показал значительные изменения. Во втором периоде отмечается рост зимне-весенних расходов (до 765–784 m^3/c) и снижение летних расходов (до 194–279 m^3/c). Такие сдвиги связаны с изменениями климатических условий и режимом эксплуатации водохранилищ.

Анализ внутригодового распределения стока р. Сырдарья–ГП Чиназ за периоды 1980–1990 и 2011–2021 гг. (рис. 3, в) выявил значительное увеличение зимне-весенних расходов (до 953–1025 $\text{м}^3/\text{с}$) и снижение летних (до 440–193 $\text{м}^3/\text{с}$). Изменения связаны с режимом эксплуатации водохранилищ и климатическими факторами.

Анализ внутригодового распределения стока Сырдарьи по ГП ниже Чардарьинского водохранилища за периоды 1980–1990 и 2011–2021 гг. (рис. 3, г.) показывает устойчивое перераспределение стока по сезонам. Во втором периоде отмечается рост расходов в весенне-летние месяцы (например, апрель – с 659 до 633 $\text{м}^3/\text{с}$, май – с 905 до 844 $\text{м}^3/\text{с}$, июнь – с 860 до 780 $\text{м}^3/\text{с}$), а также увеличение осенне-зимних расходов (декабрь – с 223 до 384 $\text{м}^3/\text{с}$, ноябрь – с 205 до 407 $\text{м}^3/\text{с}$). При этом летний максимум стал более сглаженным, а зимний сток – более выраженным. Такие изменения свидетельствуют о влиянии энергетического режима работы водохранилищ и климатических факторов, способствующих смещению стока в холодный период года.

Сравнительная оценка сезонного распределения стока Сырдарьи по данным ГП Каль и Надеждинский позволяет выявить существенные изменения водного режима, произошедшие за последние десятилетия. Анализ выполнен в процентном соотношении к годовому объему стока для двух временных интервалов – до 1990 г. и после 2000 г. Полученные результаты отражают перераспределение стока по сезонам, связанное с трансформацией режима водохранилищ, изменением климатических условий и ростом водохозяйственного воздействия. На рис. 4 представлены сезонные изменения стока, характерные для указанных гидрологических створов.

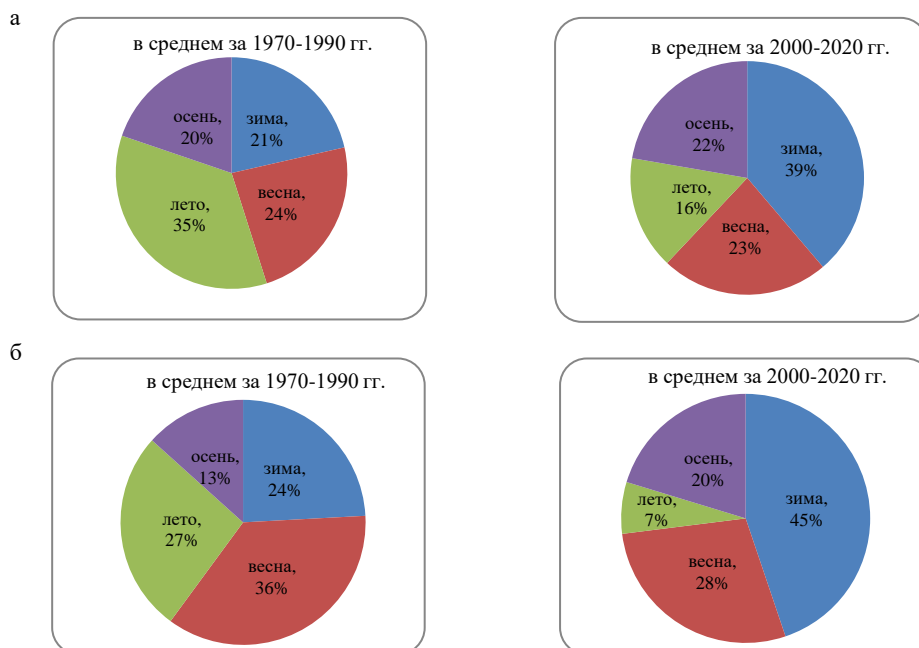


Рис. 4. Сезонное распределение стока р. Сырдарья в створе ГП Каль (а) и Надеждинский (б) за разные периоды.

Оценка внутригодового распределения стока по сезонам, выполненная для многолетних периодов до 1990 г. и за последние десять лет, проведена в процентах от годового объема стока. Так, на верхнем ГП Каль в 1980–1990 гг. зимний сток составлял 21% от годового объема, тогда как в 2002–2011 гг. его доля увеличилась до 39%. Объем летнего стока за период 1980–1989 гг. достигал 35%, а после 2000 г. сократился до 16%.

В створе Надеждинский в период 1980–1990 гг. объем летнего стока составлял 27% от годового объема, тогда как в 2002–2011 гг. он снизился до 7%. Зимний сток в эти периоды соответственно увеличился с 24 до 45%, что связано с попусками воды для выработки электроэнергии.

Гидроэнергетическое регулирование стока Сырдарьи вызвало сезонный дисбаланс, снизив летние расходы и осложнив ирригацию. Для стабилизации водоснабжения необходимы регулирующие водохранилища в среднем течении реки.

Заключение. Из полученных данных анализа внутригодового распределения стока р. Сырдарья следует, что за последние десятилетия произошли существенные изменения сезонного режима водного стока:

- проведенный анализ внутригодового распределения стока реки Сырдарья на отрезке от кишлака Каль до нижнего бьефа Чардарьинского водохранилища показал наличие значительных изменений в сезонной динамике стока за последние десятилетия.

- До 1990 г. зимний сток на ГП Каль составлял около 21% от годового объема, а летний – 35%. После 2000 г. доля зимнего стока увеличилась до 39%, а летнего – сократилась до 16%.

- На ГП Надеждинский летний сток уменьшился с 2% (1980–1990 гг.) до 7% (2002–2011 гг.), тогда как зимний сток вырос с 24 до 45%. Эти изменения связаны с переходом водохранилищ на энергетический режим эксплуатации.

- В характерные по водности годы среднемесячные расходы воды значительно варьируются: например, в многоводный 1969 г. на ГП Каль расход достигал максимума 2460 м³/с в июне, тогда как в маловодный 1978 г. максимальные значения не превышали 414 м³/с.

- Смена режима водохранилищ увеличила осенне-зимний и сократила летний сток, что ухудшает водоснабжение сельского хозяйства в вегетацию.

- Для восстановления водохозяйственного баланса рекомендуется строительство и модернизация регулирующих водохранилищ в среднем течении реки, что позволит сглаживать сезонные колебания и обеспечить устойчивое водоснабжение в регионе.

- Таким образом, количественный анализ внутригодового распределения стока р. Сырдарья подтверждает необходимость комплексного подхода к управлению водными ресурсами с учетом интересов всех стран бассейна и современных климатических условий.

Поступила 26.01.2025

Получена с рецензии 14.03.2025

Утверждена 15.08.2025

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролова Н.Л. *Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока* (учеб. пособие для вузов, 2-е изд.). Москва, Юрайт (2024), 115.
2. Шелутко В.А. *Методы обработки и анализа гидрологической информации* (учебно-метод. пособие). СПб., изд-во СПбГУ (2007), 192.
3. Сикан А.В. *Вероятностные распределения в гидрологии. Специальные главы теории и практики гидрологических расчетов* (учебник). СПб., РГГМУ (2020), 286.
4. Fatxulloyev A., Hamroqulov J., Gafarova A. The Discounting Water Influence Estimation on the Results of the Annual Concentration Calculation and Runoff Volume of the Pskem River Biogenous Substances. *E3S Web of Conferences* **264** (2021), 03062.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403062>
5. Маргарян В.Г., Варданян Т.Г. Методика долгосрочного прогнозирования речного стока бассейна озера Севан. *Ученые записки ЕГУ. Геология и география* **44** (2010), 31–39.
<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2010.44.1.031>
6. Маргарян В.Г., Варданян Т.Г. Особенности формирования речного стока и внутригодового распределения бассейна озера Севан. Научно-практический потенциал географии и его практическое применение. Материалы научн. конф., посв. 80-летию рождения и 55-летию научно-педагогической деятельности Л.А. Валесяна. Ереван, Изд-во ЕГУ (2011), 211–223.
7. Fatxulloyev A., Gafarova A., Hamroqulov J. Improvement of Water Accounting for Irrigation Systems. *IOP Conference Series: Mater. Sci. and Engineer.* **1030** (2021).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012145>
8. Чуб В.Е. *Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан*. Ташкент, САНИГМИ (2000), 252.
9. Иванов С.П., Петрова М.В. Современные методы анализа гидрологических данных. *Вестник гидрометеорологии* **4** (2018), 45–53.
10. Кузнецов В.И., Смирнов А.Н. *Водные ресурсы Центральной Азии: проблемы и перспективы управления*. Алматы, Изд-во КазНЦ (2019), 198.

Ժ. Ս. ԽԱՄՐՈՂՈՒԼՈՎ, Չ. Խ. ԷՐԳԱՇԵՎԱ, Ն. Բ. ՍՈՒՆՏՈՆՈՎ, Լ. Մ. ՄԱԽՄՈՒՂՈՎԱ

ՍԻՐԴԱՐՅԱ ԳԵՏԻ ՀՈՍԲԻ ՆԵՐՏԱՐԵԿԱՆ ԲԱՇԽՄԱՆ
ՎԵՐԼՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում քննարկվել են Սիրդարյա գետի հոսքի ներտարեկան բաշխման առանձնահատկությունները ջրօգտագործման ռեժիմի փոփոխության պայմաններում: Հիդրոլոգիական դիտարկումների վերլուծության հիման վրա, Կալից մինչև Չարդարա ջրամբարի ստորին բիեֆ, ջրառատ, միջին և սակավաջուր տարիներին նկատվում են սեզոնային հոսքի փոփոխություններ: 1991 թ.-ից հետո, Նարին գետի ավազանի ջրամբարների էներգետիկ ռեժիմի անցումից հետո, գրանցվել է ջրի ծախսերի պիկերի տեղաշարժ դեպի ձմեռաշուն շրջան և ամառային հոսքի կրճատում, ինչը դժվարացրել է ոռոգման ջրամատակարարումը:

1980–1990 և 2011–2021 թվականների տվյալների հիման վրա կատարվել է սեզոնային հոսքի բաշխման համեմատական վերլուծություն: Հիմնավորվել է Ուզբեկստանում և Ղազախստանում կարգավորող ջրամբարներ կառուցելու անհրաժեշտությունը ջրամատակարարման կայունացման համար:

J. S. KHAMROKULOV, Z. Kh. ERGASHEVA, N. K. SULTONOV, L. M. MAKHMUDOVA

ANALYSIS OF THE INTRA-ANNUAL FLOW DISTRIBUTION
OF THE SYRDARYA RIVER UNDER DIFFERENT
HYDROLOGICAL CONDITIONS

Summary

The study examines the characteristics of the intra-annual distribution of the Syrdarya River runoff under conditions of water management regime transformation. Based on the analysis of hydrological observations from the section between the village of Kal and the downstream of the Chardara Reservoir, changes in the seasonal runoff structure during wet, average, and dry years have been identified. Following the transition of the Naryn basin reservoirs to an energy-oriented regime since 1991, peak discharges have shifted to the autumn-winter period, accompanied by a reduction in summer runoff, which has complicated irrigation water supply. A comparative assessment of seasonal runoff distribution was carried out for the periods 1980–1990 and 2011–2021. The necessity of constructing regulatory reservoirs in Uzbekistan and Kazakhstan to stabilize water availability has been substantiated.