

УДК 556.166.06:551.483.7(571.52)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ
НА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕКИ АМУДАРЬЯ
И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Ж. С. ХАМРОКУЛОВ^{1*}, В. А. ШЕЛУТКО^{2**}, А. И. Н. МХАННА^{2***}

¹ Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства, НИУ, Ташкент, Узбекистан

² Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Россия

Данная работа посвящена исследованию влияния антропогенных факторов на трансформацию стока реки Амударья во второй половине XX–начале XXI века. На основе детального анализа гидрологических данных выполнены расчеты для шести ключевых временных периодов, определенных с учетом годов ввода в эксплуатацию гидротехнических сооружений. Проведенное исследование позволило выявить тенденции изменения речного стока под воздействием человеческой деятельности, а также выделить основные этапы наиболее интенсивных изменений. Полученные результаты играют важную роль в понимании процессов изменения водных ресурсов в регионе и разработке научно обоснованных подходов к их эффективному управлению.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2024.58.3.211>

Keywords: Amu Darya River, anthropogenic impacts, water resource management, hydrological monitoring, river discharge, agricultural irrigation, hydrological dynamics.

Введение. Река Амударья представляет собой ключевой источник жизни для миллионов людей, проживающих в ее бассейне. Ее водные ресурсы играют критически важную роль в обеспечении различных сфер деятельности, включая сельское хозяйство, выработку электроэнергии, промышленное производство, бытовые нужды и обеспечение питьевой водой.

Сельское хозяйство занимает важное место в экономическом развитии многих стран региона [1]. В Афганистане, например, около 80% населения зависит от этой отрасли, при этом ее вклад в ВВП составляет почти половину [2]. В странах Центральной Азии сельское хозяйство обеспечивает занятость для 20–30% трудоспособного населения и формирует 20–35% общего объема

* E-mail: hamroqulov1993@mail.ru

** E-mail: shelutko@rshu.ru

*** E-mail: aaedmohanna2001@mail.ru

производства. Кроме того, эта отрасль является крупнейшим потребителем водных ресурсов региона, особенно в таких странах, как Узбекистан и Туркменистан, где на сельскохозяйственные нужды приходится до 40% всей доступной воды [3].

В последние десятилетия климатические изменения и антропогенная деятельность оказывают значительное влияние на гидрологический режим реки Амударья. Изучение воздействия антропогенных факторов на изменение стока этой реки имеет ключевое значение для разработки эффективных подходов к управлению водными ресурсами региона [4].

Со второй половины XX века в бассейне Амударьи наблюдается значительное усиление влияния человеческой деятельности на водные потоки [5]. В этот период активно осуществлялось освоение новых земель, строительство гидротехнических сооружений, включая водохранилища и каналы. Эти вмешательства привели к полной зависимости реки от регулирования человеком, что вызвало существенное сокращение объема стока, особенно в нижнем течении [6]. Для минимизации негативных последствий таких изменений одной из приоритетных задач современности является количественная оценка водных ресурсов и их рациональное использование в интересах социально-экономического развития региона [7].

Материалы и методы исследования. Бассейн р. Амударья, общей площадью 1017,8 тыс. км², расположен в замкнутом бессточном регионе, не связанном с океанами, и относится к бассейну Аральского моря. С административной точки зрения бассейн охватывает всю территорию Туркменистана, а также части территорий Таджикистана, Узбекистана, Кыргызстана и Афганистана.

Амударья является крупнейшей рекой Центральной Азии как по площади водосбора, так и по объему водных ресурсов. Она формируется при слиянии рек Пяндж и Вахш [8]. Общая длина реки составляет 2574 км от истока Пянджа до Аральского моря, из которых 1415 км приходятся на участок от слияния с рекой Вахш [9] (рис. 1).



Рис. 1. Карта бассейна реки Амударья и ее притоков [10].

Практические исследования, направленные на оценку изменений стока реки Амударья вдоль ее течения, начались во второй половине XX века. Значительный вклад в эту область внесли такие ученые, как В.Е. Чуб, Ю.Н. Иванов, Ф.Е. Рубинова, Е.К. Курбанбаев, И.Б. Рузиев, А.Р. Расулов, Ф.Х. Хикматов, И.А. Шикломанов, М.Р. Икрамова, А.М. Фатхуллоев, Ф.А. Гаппаров и другие [10]. Несмотря на достигнутые результаты, вопросы, связанные с влиянием антропогенных факторов на гидрологический режим реки Амударья, остаются недостаточно изученными.

В связи с этим основная цель данного исследования заключается в оценке изменений объема стока реки Амударья на участках между гидрологическими станциями Туямуюн, Саманбай и Кизилжар с использованием современных гидрометеорологических данных.

Для решения поставленных задач использовались материалы стандартных гидрометеорологических наблюдений, предоставленных Узгидрометом и Министерством водного хозяйства Республики Узбекистан. Эти данные включают информацию о стоке воды в р. Амударья и крупных ирригационных каналах. Также были задействованы результаты научных исследований, опубликованных в специализированной литературе. Основное внимание уделено данным, полученным в ходе наблюдений за крупными ирригационными каналами, которые играют ключевую роль в распределении воды из р. Амударья.

Результаты исследований. Анализ собранных данных позволил изучить динамику изменения стока р. Амударья по всей ее длине, разделенной на шесть учетных периодов. Для каждого из них были рассчитаны средние значения объемов водного потока. На основе проведенных расчетов был построен график, отражающий изменения стока р. Амударья во временной перспективе (рис. 2).

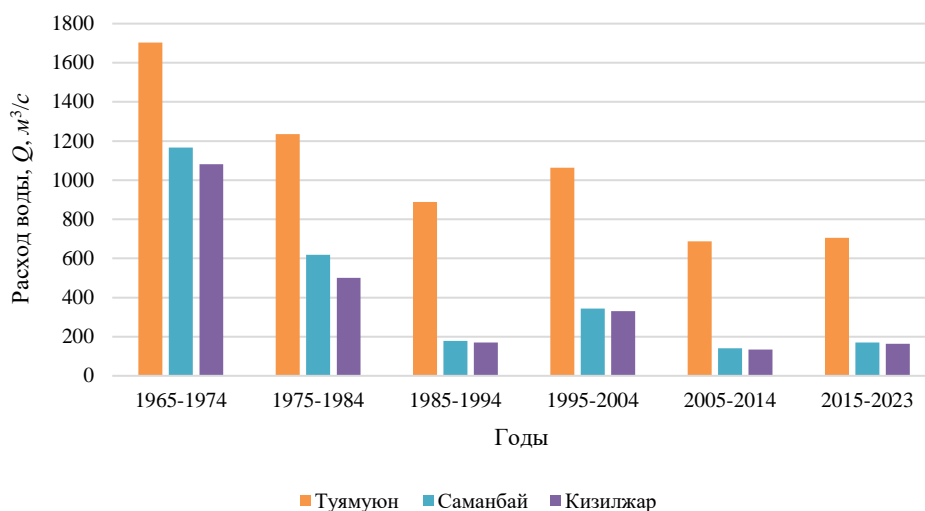


Рис. 2. Изменение стока реки Амударья ($Q, \text{м}^3/\text{с}$) во времени.

Как видно из графика, в период с 1965 по 1974 гг. величина стока на Туямуюнской гидрологической станции р. Амударья составила $1704 \text{ м}^3/\text{с}$, что эквивалентно ($63,7 \text{ км}^3$). На Саманбае этот показатель был равен $1167 \text{ м}^3/\text{с}$

(36,8 км³), а на Кизилжаре – 1081 м³/с (34,0 км³). В этот период изменение объема стока между Туямуном и Кизилжаром по протяженности реки составило 623 м³/с (19,6 км³).

Во второй расчетный период (1975–1984 гг.) по сравнению с первым наблюдается увеличение стока на Туямунонской гидрологической станции на 469 м³/с (14,8 км³), на Саманбае – на 623 м³/с (19,6 км³), в то время как на Кизилжаре объем стока уменьшился на 581 м³/с (18,3 км³).

В следующие годы, особенно в период с 2005 по 2014 гг., наблюдается резкое снижение стока, что связано с двумя годами маловодья – 2005 и 2006 гг. За этот расчетный период объем стока на Туямунонской гидрологической станции сократился на 1016 м³/с, что составляет 60%, а на Саманбае – на 1016 м³/с, или 90%. Дальнейшие расчеты сосредоточены на анализе изменения расхода воды (ΔQ) между гидрологическими станциями Туямунон и Саманбай.

Таблица 1

Расход воды между гидрологическими станциями Туямунон (Q_T) и Саманбай (Q_C), изменения за 1965–2023 годы

Года	Q_T , м ³ /с	Q_C , м ³ /с	$\Delta Q = Q_T - Q_C$, м ³ /с	$Q_C/Q_T \cdot 100$, %
1965	1770	1330	440	75,1
1970	1310	805	505	61,5
1975	1470	1030	440	75,1
1980	1197	360	837	30,1
1985	1060	294	766	27,7
1990	931	70,5	860	7,6
1995	943	217	726	23,0
2000	674	103	571	15,3
2005	362	41,7	320	11,5
2010	1270	424	846	33,4
2015	1191	528	663	44,3
2020	765	196	569	25,6

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что в период с 1965 по 1973 гг. в среднем 75% объема стока р. Амударья приходилось на участок между Туямунонской и Саманбайской гидрологическими станциями.

После 1975 г. ситуация значительно изменилась, что связано с вводом в эксплуатацию Тахиаташской гидроэлектростанции в 1974 г. в долине Амударьи, вблизи села Чатли. Это привело к снижению доли стока, поступающего на Саманбайскую гидрологическую станцию от Туямунонской, с 44,3% до 7,6% (табл. 1). В некоторые годы с низким уровнем водности, например, в 2006 году, объем воды, поступающей на Саманбайскую гидрологическую станцию, не превышал 1%.

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что в результате значительного антропогенного воздействия объем потребляемой воды р. Амударья между Туямунонской и Саманбайской гидрологическими станциями увеличился с 32% до 77,4%.

Для дальнейшего анализа изменения стока р. Амударья, длина реки и временные интервалы были разделены на отдельные пятилетние расчетные

периоды. При этом изменения объема стока по всей протяженности реки выражались в процентах относительно данных, полученных на Туямуюнской гидрологической станции.

Изменения величины стока во времени представлены в процентах относительно первого расчетного периода (1965–1969 гг.), что позволяет более точно отследить динамику изменений на разных этапах. Результаты этих расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение расхода воды за пятилетние отчетные периоды

Отчетные периоды	Туямуюн			Саманбай		
	Q , $\text{м}^3/\text{с}$	изменение расхода, %		Q , $\text{м}^3/\text{с}$	изменение расхода, %	
		по длине	по времени		по длине	по времени
1965–1969	1596	100	100	1094	68,5	100
1970–1974	1812	100	114	1239	68,4	99,8
1975–1979	1261	100	79,0	811	64,3	93,8
1980–1984	1209	100	75,8	426	35,2	51,4
1985–1989	917	100	57,5	170	18,5	27,0
1990–1994	859	100	47,4	188	21,9	31,9
1995–1999	1251	100	99,2	479	38,3	55,9
2000–2004	875	100	72,4	209	23,9	34,8
2005–2009	640	100	69,8	111	17,3	25,3
2010–2014	696	100	81,0	124	17,8	26,0
2015–2023	719	100	57,5	174	24,2	35,3

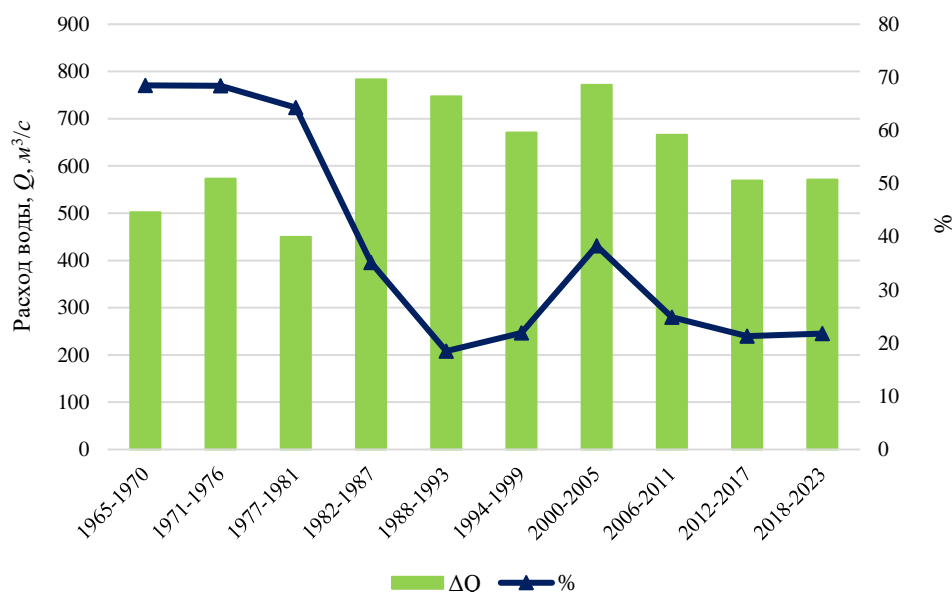


Рис. 3. Процентное изменение разницы в расходе воды между Туямуюнским и Саманбайским гидропостами за шестилетние расчетные периоды.

Такая методология позволяет выявить ключевые тенденции изменения водного потока в зависимости от временных интервалов и антропогенных воздействий, а также оценить, насколько эти изменения влияли на гидрологический режим реки в различных периодах.

На основе данных, представленных в табл. 2, был построен график, отражающий динамику процентного изменения разницы в водопотреблении между Туямуюнским и Саманбайским гидропостами за шестилетние учетные периоды (рис. 3).

На основании представленных данных можно отметить, что среднее изменение расхода воды р. Амударья между учетными периодами на участке от Туямуюнского до Саманбайского гидропостов составляет более 50%. В начальном периоде (1931–1935 гг.) данное значение достигало 79,2%, тогда как в текущем периоде (2018–2023 гг.) оно снизилось до 21,8%.

Анализ показывает, что изменение речного стока на указанном участке до 1985 г. находилось в пределах нормы, однако в последующие годы наблюдается значительное снижение, что свидетельствует об изменении гидрологических характеристик реки.

Сравнительный анализ изменения речного стока во времени демонстрирует, что в период 2010–2014 гг. по сравнению с 1931–1935 гг. сток в Туямуюнском гидропосту уменьшился на 66,3%, а в Саманбайском гидропосту – на 90,9%. В среднем снижение составило 28% для Туямуюнского гидропоста и 47% для Саманбайского гидропоста. Эти данные указывают на существенные изменения в водопотреблении и распределении водных ресурсов реки Амударья за последние десятилетия.

На основании проведенного анализа изменения расхода воды в р. Амударья был выполнен расчет расхода воды различной обеспеченности (рис. 4.) Это необходимо для оценки доступности водных ресурсов при разных гидрологических условиях. Данный расчет позволяет спрогнозировать, какие объемы воды могут быть доступны в засушливые, средние и водообильные годы.

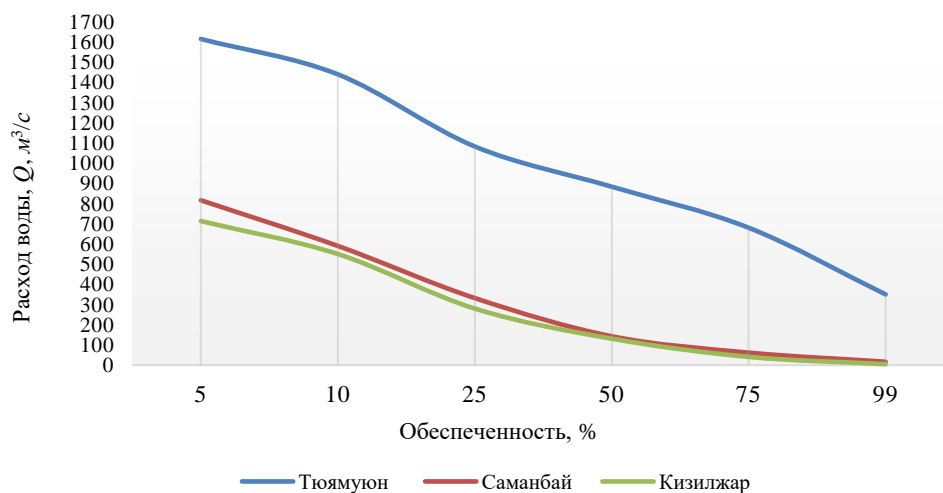


Рис. 4. Расход воды различной обеспеченности, река Амударья.

Расход воды с высокой обеспеченностью значительно снизился за последние десятилетия, что связано с увеличением антропогенной нагрузки, снижением речного стока и изменением климатических условий. Средние и максимальные значения расходов воды также уменьшились, особенно на участке от Тюямуонского до Саманбайского гидропостов. Это свидетельствует о серьезных изменениях в гидрологических характеристиках реки Амударья. Наибольшее снижение расходов наблюдается на Саманбайском гидропосту, где уменьшение речного стока составляет до 90,9% по сравнению с начальным периодом наблюдений.

Заключение. В ходе проведенного исследования было выявлено значительное воздействие антропогенных факторов на динамику стока реки Амударья во второй половине XX века. Расчёты, выполненные на основе обширного набора гидрологических данных за шесть расчетных периодов, позволили выявить основные тенденции изменения стока на различных временных отрезках.

Особое внимание уделено годам ввода в эксплуатацию гидротехнических сооружений, что позволило более точно оценить влияние человеческой деятельности на водный режим реки.

На основе результатов исследования можно выделить следующие ключевые выводы:

- освоение новых орошаемых земель, строительство крупных ирригационных каналов и инфраструктурное развитие в бассейне реки Амударья привели к существенным изменениям в распределении стока как во времени, так и вдоль речного русла;
- эти мероприятия вызвали значительные изменения в гидрологическом режиме реки, что, в свою очередь, отразилось на водных ресурсах региона;
- выявленные изменения подчеркивают необходимость проведения дальнейших комплексных исследований гидрологического режима низовьев реки Амударья для обеспечения устойчивого водоснабжения региона Приаралья;
- расчеты показали существенные изменения в обеспеченности водных ресурсов реки Амударья. Это указывает на необходимость оптимизации водопользования и внедрения современных методов управления водными ресурсами.

Данные выводы имеют важное значение для оценки последствий антропогенной деятельности в отношении водных ресурсов региона. Перспективы дальнейших исследований могут включать анализ экологических последствий этих изменений, оценку их воздействия на биоразнообразие и устойчивость экосистем Амударьи, а также разработку стратегий по смягчению отрицательных последствий и улучшению управления водными ресурсами с учетом выявленных изменений.

Поступила 17.10.2024

Получена с рецензии 23.11.2024

Утверждена 24.12.2024

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролова Н.Л. *Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока* (учеб. пособие для вузов, 2-ое 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. Бабушкин Л.Н. *Особенности климата низовьев Амударьи*. В кн.: Материалы по производительным силам Узбекистана. Вып. 10: Природные условия и ресурсы низовьев Амударьи. Ташкент (1959), 128–148.
4. Лопатин Г.В. Материалы по гидрологии дельты Амударьи. *Тр. лабор. озероведения* **4** (1957), 192–268.
5. Сикан А.В. *Вероятностные распределения в гидрологии. Специальные главы теории и практики гидрологических расчетов* (учебник). СПб., РГГМУ (2020), 286.
6. Фатхуллоев А.М., Назаралиев Д.В., Хамрокулов Ж.С. и др. *Эксплуатационная гидрометрия* (учебник). Ташкент, BookoHolia (2023), 240.
7. 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>
8. Kurbanov A., Nazaraliyev D., et al. Establishment of Volume of Channel Silting and Organization of Treatment Works in the Conditions of Amu Darya River. *E3S Web of Conferences* **365** (2023), 03046.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336503046>
9. 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>
10. Чуб В.Е. *Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан*. Ташкент, САНИГМИ (2000), 252.

Ջ. Ս. ԽԱՍՐՈԿՈՒԼՈՎ, Վ. Ա. ՇԵԼՈՒՏԿՈ, Ա. Ի. Ն. ՄԵԼՆԻԿ

ԱՆՀԱՏԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ ԱՄՈՒԴԱՐՅԱ ԳԵՏԻ ՀԻԴՐՈԼՈԳԻԱԿԱՆ
ՌԵԺԻՄԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ՀԵՏԵՎԱՆՔՆԵՐԸ
ՋՐԱՅԻՆ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ամփոփում

Այս ուսումնասիրությունը նվիրված է Ամուդարյա գետի հոսքի փոփոխության վրա մարդկային գործոնների ազդեցությունը ուսումնասիրելուն 20-րդ դարի երկրորդ կեսում և 21-րդ դարի սկզբում: Հիդրոլոգիական տվյալների մանրամասն վերլուծության հիման վրա կատարվել են հաշվարկներ վեց հիմնական ժամանակահատվածների համար, որոնք սահմանվել են հիդրատեխնիկական կառույցների շահագործման մեկնարկի տարիների հիման վրա: Ստացված հետազոտությունը թույլ է տվել բացահայտել գետային հոսքի փոփոխության միտումները՝ մարդու գործունեության ազդեցության ներքո, ինչպես նաև առանձնացնել առավել ինտենսիվ փոփոխությունների հիմնական փուլերը: Ստացված արդյունքները կարևոր դեր ունեն տարածաշրջանի ջրային ռեսուրսների փոփոխության գործընթացների հասկացողության մեջ և դրանց արդյունավետ կառավարման գիտականորեն հիմնավորված մոտեցումների մշակման մեջ:

J. S. KHAMROKULOV, V. A. SHELUTKO, A. I. N. MKHANNA

STUDY ON THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC FACTORS
ON THE CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME
OF THE AMU DARYA RIVER AND ITS CONSEQUENCES
FOR WATER RESOURCES

Summary

This study is dedicated to investigating the impact of anthropogenic factors on the transformation of the Amu Darya River's flow in the second half of the 20th century and the early 21st century. Based on a detailed analysis of hydrological data, calculations were performed for six key time periods, taking into account the years when hydraulic structures were put into operation. The conducted research allowed for the identification of trends in river flow changes under the influence of human activity, as well as the distinction of the main stages of the most intense changes. The results obtained play an important role in understanding the processes of water resource changes in the region and in developing scientifically grounded approaches to their effective management.