

14. Pyroclastic flows modelling using cellular automata / M. V. Avolio, G. M. Crisci, S. Di Gregorio, R. Rongo, W. Spataro, D. D'Ambrosio // *Computers & Geosciences*. – 2006. – № 32. – P. 897–911.
15. Developing an effective 2-D urban flood inundation model for city emergency management based on cellular automata / L. Liu, Y. Liu, X. Wang, D. Yu, K. Liu, H. Huang, G. Hu // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2015. – № 15. – P. 381–391.
16. A Cellular Automata Fast Flood Evaluation (CA-ffé) Model / B. Jamali, P.M. Bach, L. Cunningham, A. Deletic // *Water Resources Research*. – 2019. – № 55. – P. 4936–4953.
17. Cirbus J. Cellular Automata for the Flow Simulations on the Earth Surface, Optimization Computation Process / J. Cirbus, M. Podhoranyi // *Appl. Math. Inf. Sci.* – 2013. – Vol. 7, № 16. – P. 2149–2158.
18. Application of cellular automata approach for fast flood simulation / B. Ghimire, A.S. Chen, S. Djordjević, D. A. Savić // *CCWI 2011: Computing and Control for the Water Industry*, Exeter, UK, September 5-7, 2011 / University of Exeter. – University of Exeter, 2011.
19. A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis / M. Guidolin, A. S. Chen, B. Ghimire, E. C. Keedwell, S. Djordjević, D. A. Savić // *Environmental Modelling & Software*. – 2016. – № 84. – P. 378 - 394.
20. A highly efficient 2D flood modelling with sub-element topography / S. R. Jameison, J. Lhomme, G. Wright, B. Gouldby // *Proceedings of the ICE - Water Management*. – 2012. – Vol. 165, № 10. – P. 581–595.
21. Система расчета и визуализация зоны затопления на основе клеточного автомата / Д. О. Петров, А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Н. Н. Шешко // *Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки в Респ. Беларусь : в 2 ч., Брест, 25 – 27 сент. 2017 г.* / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол. : А. К. Карабанов [и др.] ; науч. ред. А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров. – Брест: БрГУ, 2017. – Ч. 1. – С. 145–148.

УДК 626.81

ОЦЕНКА ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ НИЗОВИЙ СЫРДАРЬИ

Е. Саркынов¹, О. Мешик², Ж. Жакупова¹, А. Койчыкулова¹

¹ Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, sarkynov_e@mail.ru

² УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, omeshik@mail.ru

Аннотация

Статья выполнена на основе статистического и корреляционного анализов, собранных гидрологических данных по стоку по гидрометрическому посту г.

Казалинск р. Сырдарья, по статистическим данным государственных органов [1, 2, 3, 4, 5], научных и водохозяйственных организаций, опубликованных в статьях и монографиях, отчетах, проектах научных и проектных организаций. Определены расчетные значения годовых объемов стока в створе г. Казалинск при различной обеспеченности и требуемые годовые объемы воды на увлажнение дельты Сырдарьи.

Ключевые слова: бассейн реки Сырдарьи, среднемноголетний сток, прогноз, бассейн реки, Токтогульское водохранилище, средний расход.

ASSESSMENT OF WATER SUPPLY IN THE LOWER SYR DARYA

E. Sarkynov, O. Meshik, Zh. Zhakupova, A. Kojchykulova

Abstract

The article presents the design values of year runoff with different exceedance probability at Kazalinsk section and the amount of water necessary to supply the Syr Darya delta.

Keywords: Syr Darya catchment, averaged multiyear runoff, forecast, river basin, Toktogul Water Reservoir, average discharge.

Введение. Бассейн реки Сырдарьи расположен на территории 4 государств Центральной Азии и охватывает: в Кыргызской Республике 4 области, в Узбекистане 6 областей, в Таджикистане и Казахстане по 2 области. Общая площадь бассейна 485 тыс. км². Водный бассейн Сырдарьи включает регионы от пустынь Приаралья до высокогорных ледников Памира и Тянь-Шаня. Формирование естественного речного стока в разрезе государств бассейна неравномерно: Кыргызстан – 74,2 %, Узбекистан – 13,8 %, Казахстан – 9,3%, Таджикистан – 2,7 %.

Материалы и методы. Наиболее распространен в оценке воздействия хозяйственной деятельности водобалансовый метод. Однако для использования водобалансового метода для бассейна реки Сырдарьи требуется большой объем гидрологической и водохозяйственной информации, которая не всегда доступна. Для анализа воздействия водохозяйственных мероприятий в бассейне на сток реки (например, строительство водохранилища или изменения режима регулирования) был использован метод построения интегральных кривых стока за исследуемый период [10, 12].

Результаты и обсуждение. Располагаемые водные ресурсы по бассейну реки Сырдарьи за период 1980–2000 гг. приведены на рисунке 1. Среднемноголетний сток Сырдарьи – 37,2 км³/год; в крайне маловодный год (95%-ой обеспеченности) – 21,4 км³/год. На рисунке 1 приводятся данные прогноза НИЦ МКВК на 2020–2030 гг. при условии [6, 7]:

- выполнение рекомендаций по сокращению использования дренажно-сбросных вод, начиная с 15 км³ (1980 год) до 10 км³ в год (2030 год);
- снижение потерь пресных вод в оросительных системах, переустройство оросительных систем и повышение их КПД до 0,80.

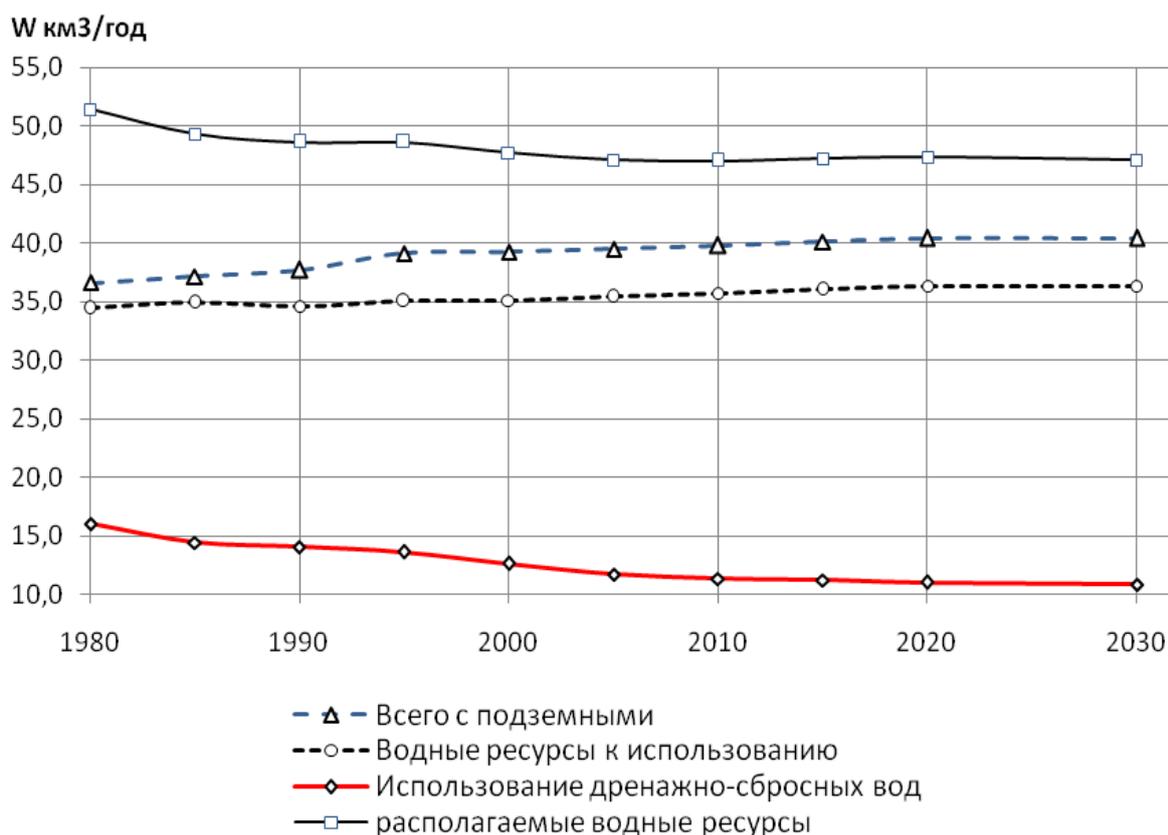


Рисунок 1 – Располагаемые водные ресурсы в бассейне р. Сырдарьи

Наибольшего значения общий водозабор производственно-хозяйственных систем (ПХС) был достигнут в конце 80-х годов и составил $51,4 \text{ км}^3/\text{год}$, в том числе на орошение – $45,4 \text{ км}^3/\text{год}$. При среднемноголетнем стоке Сырдарьи – $37,2 \text{ км}^3/\text{год}$, повторное использование возвратных вод достигло $14,2 \text{ км}^3/\text{год}$, что привело к резкому повышению минерализации поверхностных вод в среднем и особенно нижнем течении. В отдельные годы содержание солей в проточной воде (сухой остаток) превысил $2000 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

Фактическое же максимальное использование дренажных вод на орошение по бассейну было достигнуто в 1986 году и составило $15,9 \text{ км}^3/\text{год}$. Возвратные воды от орошения не снижались ниже $14,1 \text{ км}^3$ в последующие годы. Рекомендации НИЦ МКВК практически не были выполнены.

Площадь орошаемых земель с оросительной сетью в бассейне Сырдарьи достигла максимальных значений – $3,7 \text{ млн. га}$ в 1990 году.

Население бассейна к 1990 году оценивалось в пределах 23 млн. человек. Годовой объем пресной воды на 1 жителя бассейна составил $1617 \text{ м}^3/\text{год}$ и достиг критического значения по международным стандартам (менее $1600 \text{ м}^3/\text{год}$). В таблице 1 приведены данные по стоку реки Сырдарьи за период с 1986 по 2000 год [5].

Таблица 1 – Фактическое распределение поверхностных водных ресурсов (речных и возвратных) в бассейне

Показатели	Кыргызстан	Узбекистан	Таджикистан	Казахстан	Всего
Водные ресурсы					
км ³	4,1	26,2	3,4	17,6	51,3
%	8,0	51,1	6,6	34,3	100
Орошаемое земледелие					
млн. га	0,46	2,18	0,27	0,78	3,69
%	12,5	59,1	7,3	21,1	100,0

В целях гарантированного водообеспечения в бассейне действует мощный водно-энергетический комплекс в составе более 30 водохранилищ общей полезной емкостью 30,6 км³. Наиболее крупными, регулируемыми водохранилищами являются [8].

Многолетнего регулирования:

- Токтогульское (полезная емкость 14 км³);
- Андижанское (полезная емкость 1,6 км³);
- Чарвакское (полезная емкость 1,6 км³).

Сезонного регулирования:

- Кайраккумское (полезная емкость 2,6 км³);
- Шардаринское (полезная емкость 4,5 км³).

Коксарайский контррегулятор (полезная емкость 2,5 км³) сдан в эксплуатацию в 2010 году.

Токтогульское водохранилище до 1992 года работало в ирригационном режиме, осуществляло многолетнее и сезонное регулирование водного стока. Из общего водного стока р. Нарын три четверти стока или 9,5 км³ сбрасывалось в вегетационный период. На осенне-зимний период приходилось 2,5–3,0 км³ в маловодные годы.

С распадом Советского Союза указанный механизм совместного регулирования нарушился, противоречия обострились. Прежде всего, это коснулось режима работы Токтогульского водохранилища, который с 1993 года перешел на энергетический. Теперь с максимумом выработки электроэнергии ГЭС в зимний период пропуски воды соответственно составили (8,5–9,7 км³). Причем за период с 2002 по 2008 год был сброшен накопленный объем 7,3 км³. В вегетационный период соответственно пропуски из Токтогульского водохранилища сократились до 4,4–6,7 км³. Приток в зимний период в 2002–2004 гг. был более 12 км³ к приграничному створу Кокбулак, в 2 раза превысил регулируемую способность Шардаринского водохранилища и пропускную способность реки в нижнем течении, что вынудило осуществлять сбросы в Арнасайское понижение. За период 2003–2009 гг., до ввода в эксплуатацию Коксарайского контррегулятора, в Арнасайское понижение были сброшены значительные объемы воды – до 20 км³. В результате существенно сократилась водообеспеченность орошаемых земель.

Анализ водохозяйственной обстановки в бассейне реки Сырдарьи показывает, что в период с 1991 года 1992 год при средней водности Сырдарьи

экономика обеспечивалась водой в основном на уровне требований, ущемлялась лишь дельта реки.

В последнее десятилетие избежать более тяжёлых последствий и ущербов удалось только после ввода в 2010 году Коксарайского контррегулятора. Тем не менее, снижение расходов воды в вегетационный период до 30–35 % от годового стока, и увеличение зимнего притока явилось одной из причин вынужденных ежегодных сбросов в Арнасай больших объёмов водных ресурсов.

Интенсивное развитие орошаемого земледелия в бассейне Сырдарьи привело к полному исчерпанию водных ресурсов к восьмидесятым годам прошлого века (см. таблицу 1).

В маловодные годы дефицит водных ресурсов наблюдается ниже створа Тасбугет (г. Кызылорда). На большинстве орошаемых массивов нижнего течения Сырдарьи в связи с использованием коллекторно-дренажных вод минерализация поливной воды превышает 1,5–1,7 г/л и с 70-х годов наблюдается положительный солевой баланс на орошаемых землях.

В связи с этим приобретает особую остроту необходимость организации специальных солеприемников для уменьшения выноса солей в нижние зоны орошения с поливной водой.

Озерные системы дельты Сырдарьи являются основой устойчивого существования водных и околоводных экосистем Казахстанского Приаралья, базой рыбного промысла и кормопроизводства, необходимым условием жизнедеятельности шестидесятитысячного сельского населения Казалинского и Аральского районов Кызылординской области.

Приоритетной задачей в настоящее время является восстановление озерных систем, сенокосно-пастбищных угодий, обводнение территории дельты.

В настоящее время с переходом Токтогульской ГЭС на энергетический режим и пропуском максимальных расходов в зимний период в связи с недостаточностью регулируемой емкости Шардаринского водохранилища и Коксарайского контррегулятора высвобождаются до 3–5 км³ пресной воды в невегетационный период. В связи с этим возникает необходимость оценки добегания свободных объёмов для использования вод для промывки и заполнения дельтовых озёр и природно-хозяйственных комплексов.

Для предварительной оценки водообеспеченности Казахстанского Приаралья рассмотрен сложившийся водный баланс за последнее десятилетие в бассейне реки Сырдарьи. Переход Токтогульского водохранилища на энергетический режим регулирования коренным образом изменил внутригодовое распределение стока.

Для оценки водообеспеченности Казахстанского Приаралья проведен анализ фактических данных среднегодовых расходов по гидрометрическому посту г. Казалинск за период 1950–2019 гг.

Для продления рядов по гидрометрическому посту г. Казалинск имеющиеся наблюдения Казгидромета с 1950 по 2014 год [10] и данные наблюдений службы эксплуатации по гидрометрическому посту гидроузла Айтек за период 2006–2019 гг. были продлены методом гидрологической аналогии до 2019 года.

Нами использован модифицированный метод определения изъятия стока по интегрально-разностной кривой, ранее применяемый в гидрологической практике для качественного анализа [10].

По традиционному методу интегрально-разностная кривая строится по разности $K_i - 1$:

$$f(T) = \sum(K_i - 1), \quad (1)$$

где T – годы наблюдений, $K = Q_i / Q_{0N}$ – модуль среднегодового расхода, Q_i – среднегодовой расход i года, Q_{0N} – среднемноголетний годовой расход определяется по всему ряду N .

По модифицированному методу [12] начальный участок ряда до точки M , начала отклонения интегральной кривой от прямой, принимают за условный естественный сток и по нему определяют среднемноголетний расход (сток) Q_{0M} . По этому расходу вычисляют модули среднегодовых расходов $K = Q_i / Q_{0M}$, по которым по формуле (1) определяют функцию $f(T) = \sum(K_i - 1)$ и строят кривую (рисунок 2). Коэффициент наклона линии тренда на относительно прямолинейном участке определяет среднюю величину ΔK , тогда изменение расхода за период охватываемый линией тренда будет равен

$$\Delta K = \frac{\Delta Q}{Q_{0M}}; \quad \Delta Q = \Delta K Q_{0M}, = k Q_{0M}, \quad (2)$$

где k – коэффициент наклона линии тренда анализируемого периода.

Так, для гидропоста г. Казалинск за период с 1950 по 2019 год, среднемноголетний годовой расход равен $Q_{0N} = 240,0 \text{ м}^3/\text{с}$ (10062 млн м^3), а за период условного естественного стока 2009–2019 гг. – $Q_{0M} = 521,3 \text{ м}^3/\text{с}$ (16440,8 млн м^3).

Как видно из графика (рисунок 2), отклонение интегральной кривой от прямой происходит из точки, соответствующей 1961 году. Принимаем начальный ряд с 1950 по 1960 год за условный естественный ряд со средним расходом за этот период $Q_{0m} = 521,3 \text{ м}^3/\text{с}$ $m = 12$.

$$Q_{0m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Q_i = \quad (3)$$

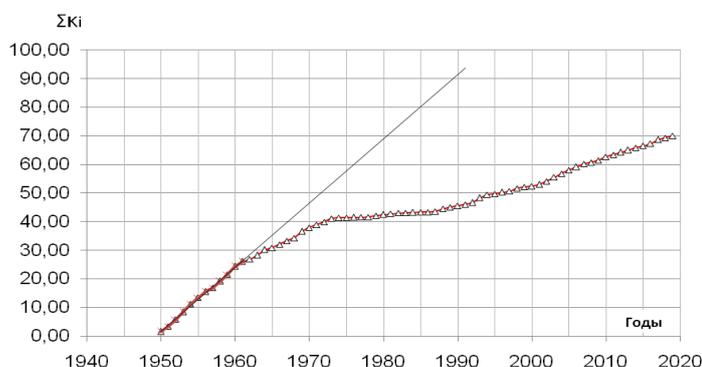


Рисунок 2 – Интегральная кривая для гидрометрического поста г. Казалинск р. Сырдарья по среднемноголетнему расходу за период 1950–2019 гг.

Затем строим интегральную разностную кривую $f = \sum(K_i - 1)$ по всему ряду длиной $N=70$. Уравнение линии тренда за период 2009–2019 гг. имеет вид

$$Y = -0,618 X + 1198. \quad (4)$$

Таким образом, средняя величина отъема расхода за период 1950–2019 гг. составила $\Delta Q = 0,618 * 521,3 \text{ м}^3/\text{с} = 319,1 \text{ м}^3/\text{с}$, а средние расходы, доступные к использованию, составляют $32,27 \text{ м}^3/\text{с}$, или 1019 млн м^3 в год.

По фактическим данным гидрологического ряда по гидрометрическому посту г. Казалинск за период 2009–2019 гг. (период регулирования стока Коксарайским контррегулятором) строим кривую обеспеченности стока в этом створе (см. рисунок 3).

Зависимость имеет вид

$$W = 22,63 (P\%)^{0,35} \quad (5)$$

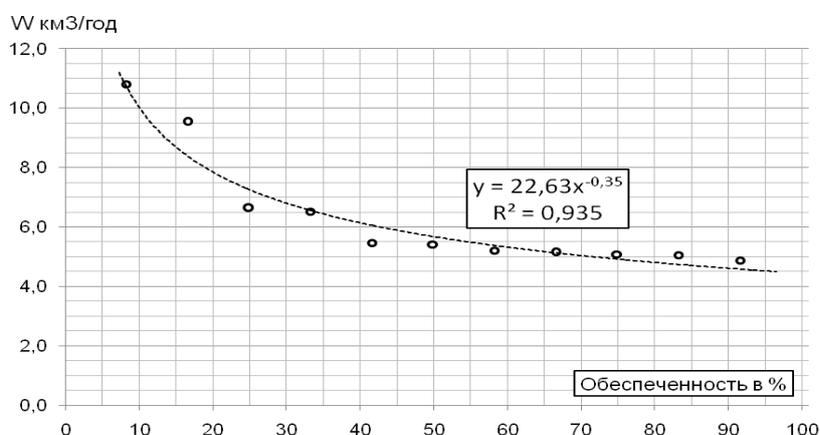


Рисунок 4 – Кривая обеспеченности притока к гидропосту г. Казалинск за период 2009–2019 гг.

Заключение. Расчетные значения годовых объемов стока в створе г. Казалинск при различной обеспеченности и требуемые годовые объемы воды на увлажнении дельты приведены ниже в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные значения годовых объемов стока в створе г. Казалинск

$P\%$	10	20	50	75	90	95
Приток $W \text{ км}^3/\text{год}$	10,11	7,93	5,75	4,99	4,68	4,60
Водопотребление Дельты, $\text{км}^3/\text{год}$	1,72	1,49	1,27	1,19	1,15	1,15
Свободные водные ресурсы $\text{км}^3/\text{год}$	8,39	6,44	4,48	3,80	3,53	3,45

Примечание. Водопотребление дельты установлено по данным полевых исследований института Географии РК [13].

Список использованных источников

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики поверхностных вод. Т. 14 – Средняя Азия. Вып. 4. Бассейн р. Сырдарьи. – Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 441 с.

2. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1985–1990 гг. и весь период наблюдений). – Алматы : Казгидромет, 1997. – Т. V. Вып 3. – С. 73–75.
3. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1991–2000 гг. и весь период наблюдений). – Алматы : Казгидромет, 2002. – Т. V. Вып. 3. – С. 57–59.
4. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод Республики Казахстан, их использование и качество за 2008 год. – Астана : Казгидромет, 2010. – 86 с.
5. Кеншимов, А. К. Использование водных ресурсов бассейна Аральского моря для орошения прошлое и настоящее / А. К. Кеншимов, М. Ж. Бурлибаев, Ж. Д. Достай // Гидрометеорология и экология. – 2002. – № 2. – С. 53–78.
6. Духовный, В. Интегрированное управление водными ресурсами в Центральной Азии / В. Духовный, В. Соколов, Д. Зиганшина // Глобальное водное партнерство. – Ташкент : НИЦ МКВК, 2014. – 59 с.
7. Ежегодник. Вода в Центральной Азии и мире / Раздел 2. Водохозяйственная обстановка в бассейне Аральского моря. – Ташкент : НИЦ МКВК, 2020. – С. 27–53.
8. Изучение гидрологического режима р. Сырдарьи и оценка влияния зарегулированности стока на экосистему низовий // Отчет НИР № гос. регистрации 0101РК0041. – Тараз : ДГП КазНИИВХ, 2001. – 48 с.
9. Использование водоземельных ресурсов в Кызылординской области // Отчеты РГП «Кызылордаводхоз» 2001–2005 гг.
10. Плешков, В. Ф. Регулирование речного стока / В. Ф. Плешков. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 507 с.
11. Гидроузел Айтек. Кызылорда, МЭГиПР РК РГП на ПХВ Кызылординский филиал, 2019. – 41 с.
12. Вагапова, А. Р. Влияние водного фактора на экосистему пойм рек / А. Р. Вагапова. – Тараз : ИЦ«Аква», 2012. – 120 с.
13. Мальковский, И. М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана / И. М. Мальковский. – Алматы, 2008. – 204 с.

УДК 620.9

NEW ENERGY RESOURCE

V. S. Severyanin

Brest State Technical University, Brest, Belarus, tg@bstu.by

Abstract

Present – day energy problems demand quest of new energy resources. One of those is known physical process – so called «osmos» (from Greek – «pressure»). This article for the first time proposes to use that for energy technics by some concrete examples.