

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

М.А.Саттаров¹, И.Э.Эшмирзоев², Ф.Рахимов³,

¹Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15

²Министерство мелиорации и водного хозяйства Таджикистана, 734064, Душанбе, ул. Шамс 5/1

³Таджикский аграрный университет, 734017, Душанбе, пр. Рудаки, 146

ВВЕДЕНИЕ

Территория Таджикистана – зона формирования речного стока бассейна Аральского моря. Она занимает около 45% площади горной зоны бассейна и даёт более 50% (>57 км³/год) поверхностного стока Средней Азии. Качество стока рек в настоящее время относится к I классу чистоты: величина минерализации находится в пределах 0.1 – 0.4 г/л, а запасы подземных вод с минерализацией менее 1 г/л составляют около 18, 7 км³/год. Статические водные запасы вековых ледников, горных озёр, крупных водохранилищ и подземных водоносных пластов оцениваются 540 км³ [2;3]. Гидрографическая сеть Таджикистана представлена более 25 тыс. водотоков с общей протяжённостью 69,2 тыс. км, 96% которых составляют водотоки длиной менее 10 км с общей протяжённостью более 46 тыс. км. В высокогорной зоне насчитывается более 1900 озёр, с суммарной площадью зеркала 709 км². Из общей площади оледенения Средней Азии около 17000 км², т.е. более 50% находится в Таджикистане [2;3;5]. В весенне-летний период, чаще всего в апреле-июне, частые ливни и продолжительные дожди на общем фоне талого половодья формируют разрушительные наводнения, паводки, селевые потоки. Ежегодные атмосферные осадки в горах и многовековые ледники – основной источник питания рек в жаркие засушливые летние месяцы, когда потребность в пресной воде для народного хозяйства региона максимальна, что связано с орошением земель (табл.1).

Таблица 1. Развитие орошаемого земледелия в Средней Азии за 90 лет, тыс.га [1].

	1913	1940	1950	1960	1965	1970	1975	2003
Узбекистан	1339	1974	2053	2377	2575	2751	3006	4020
Таджикистан	211	297	300	391	468	518	567	720
Туркменистан	307	373	352	435	514	643	819	1185
Киргизстан	435	794	797	889	861	883	911	1020
Всего	2292	3438	3502	4092	4418	4795	5303	6945

Анализ гидрометеорологических материалов (1930-1990) показывает, что за период 1960-1990 гг. объём среднего годового стока, формирующегося на территории республики, уменьшился с 57.01 км³/год до 53.6 км³/год, т.е. в среднем на 0.2% в год. Наибольшее сокращение стока наблюдалось на р.р. Зеравшан, Вахш и Пяндж – 7%. В меньшей степени сокращение стока наблюдалось на реке Кафирниган – 3%. На восточном Памире сток рек сократился лишь на 0.3%, что является локальным явлением, т.к. аналогичный сравнительный анализ рек Закавказья и Украины показал увеличение стока рек в своих регионах на 5-6% [2;4]. Ослабление роли ледников, как регуляторов речного стока и изменения внутригодового режима рек Средней Азии, диктует необходимость реализации адаптационных мер [2].

ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

Известная методика стационарного расчета стока рек по гидропостам, как правило, точна и эффективна для рек с равномерным течением. Однако основная часть

водных ресурсов бассейна Аральского моря формируется в высокогорных районах Кыргызстана и Таджикистана, и в начале течет по руслам горных рек Вахш, Нарын, Пяндж, Кафирниган, Зерафшан и их многочисленных притоков. Как правило, основные ресурсы этих рек формируются в период половодья (более 60-70%), расчет которых требует применения нестандартных методов, ибо стационарный метод измерения не может точно фиксировать тот объем скоротечного бурного паводкового или селевого потока, погрешности измерений которого могут составлять 15-20% и более. Отличительной особенностью площадей водосбора горных рек является резкое расчленение рельефа и обусловленная им дренированность, благодаря чему впитавшаяся в грунт влага почти целиком поступает в речную сеть своего водосбора, а жидкие атмосферные осадки быстро стекают вниз в равнину. В связи с этим, для оценки динамических водных ресурсов горных рек наряду с классическим методом замера по постам предлагается балансовый метод расчета, суть которого отражена в следующем уравнении [6]:

$$Q = S \times A(1 - k),$$

где $k = E/A + F/(SA) \ll 1$, т.е. суммарная величина испарения влаги в атмосферу и инфильтрация в грунт в условиях высокогорья значительно меньше, чем величина жидких осадков, которые успевают стечь вниз в виде стока в равнину. Q – средний многолетний или годовой сток бассейна горной реки, S – площадь водосбора (км^2), A – среднемноголетняя (годовая) величина атмосферных осадков, поступивших на единицу площади водосбора реки (в км), E – средняя (многолетняя и годовая) величина испарения влаги с единицы площади водосбора (в км), F – средняя многолетняя (годовая) величина подземного оттока воды за пределы площади водосбора (км^2). Действительно, учитывая, что среднемноголетние данные атмосферных осадков горной части Центральной Азии ($S=32,4$ млн. га) не превышают 750-800 мм в год, а в условиях высокогорья в подавляющих случаях не более 1/3 части осадков успевает испариться, этим методом выполнен расчет динамики водных ресурсов площадей водосбора основных рек Таджикистана и ЦА региона в целом. В частности, из табл.2 видно, что полученные балансовым методом оценки с большой точностью совпадают с известными данными исследователей, расчет которых выполнен другими методами.

Таблица 2. Расчет стока и расхода рек Таджикистана методом водного баланса

Река	Площадь водосбора тыс.км ²	Ср.величина осадков м ³ /га	Знач. Коэф k	Ср. вел. стока, км ³ /год	Средн. Расход м ³ /с	Данные литературы [3, 5]	
						Км ³ /год	м ³ /с
Вахш	39,1	7750	1/3	20,15	640	21,2	670
Кафирниган	11,7	7750	1/3	6,04	191	5,7	170
Зерафшан	11,0	7750	1/3	5,68	180	5,2	165
Бассейны рек Аральск. Моря	324,0	7750	1/3	167,4	5305	170,0	5387

О ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ.

Экстенсивное земледелие при отсутствии опыта оросительной мелиорации в новых слабо изученных предгорных долинах и степях привело к засолению и снижению плодородия земель, а в ряде случаев к выходу земель из севооборота. Такая ситуация наблюдается не только в межгорных долинах Таджикистана, но и в орошаемых степях Узбекистана, и в Туркменистане в зоне большого Каракумского канала. Такое заключение, в частности, имеется и в отчете Научно-Консультативного Совета

ЮНЕСКО по бассейну Аральского моря (SABAS ([8], с.152). При этом Совет отмечает: «Несмотря на нынешний экономический кризис, Таджикистан имеет значительный потенциал для развития. Население страны хорошо образовано, земли плодородны и могут обеспечить производство продукции конкурентоспособной на внешнем рынке» (Там же, с. 174). В табл.3 приведены данные ученых SABAS'a о состоянии аграрной отрасли республики на 1990 г. и на прогнозируемый 2025 год. Очевидно, реализация предлагаемых рекомендаций SABAS'a и других, требует коренного пересмотра установившихся в течение десятилетий традиций и способов орошаемого земледелия.

Защита орошаемых земель от засоления и заболачивания, зависит от многих факторов, среди которых определяющим является качество проектных разработок по расчету конструктивных элементов канала, обеспечивающих его максимальную пропускную способность при минимуме потери воды на фильтрацию, как из крупных и малых каналов, так и при подаче воды непосредственно в поле.

Таблица 3. Водохозяйственная статистика Таджикистана [6] на 1990 и 2025 гг.

№	Объекты водопотребления и их параметры	1990 г.	2025 г.
1	Использование воды для полива, м ³ /га расход воды: тыс.м ³ на тонну: зерна, риса, хлопка	>16000 >2,51; 10; 6	<8000 ≤1,1; 4,0; 2,6
2	Потери воды в каналах/потери воды в поле, %	>30/15	<15/10
3	Засоление орошаемых земель, в % от общего	>30-45	<10
4	Посевная площадь, тыс. га	809	2000
5	Орошаемая пашня, тыс. га •эффекты применения воды на поле, в %	720 ≤40	1500 >75
6	Обеспеченность питьевой водой: город/село, %	<40-60/20-40	≥80/60
7	Структура посева и урожайность, тыс.га/ц/га • зерновые (пшеница, кукуруза, рис и др.) • технические культуры (хлопок и др.) • картофель, овощи, бахча • многолетние насаждения, сады, пл. винограда • кормовые	419/11;11;17 236/14 47,9/100;144;67 102,9/ ----- 107,6/17,8кормЕ	>500/20;40;40 ≥600/30 >125/300; 170 >300/оптимальн 300/до 35 кормЕ

Известно, что при проектировании канала его уклон предопределяется рельефом и степенью размываемости грунтовых толщ района. Канал будет гидравлически наивыгоднейшим, если он при данном уклоне и допускаемой максимальной скорости обладает наибольшей пропускной способностью и устойчивостью своего русла. Например, если заданы геометрические параметры канала и его уклон, то задаваясь глубиной наполнения H , вычисляют площадь живого сечения ω , смоченный периметр χ , гидравлический радиус $R = \omega/\chi$ потока, скоростной множитель – коэффициент C , и затем определяют расход Q и скорость $U = Q/\omega$ течения в канале по формуле Шези [7]:

$$Q = C\omega \sqrt{RI} \equiv K\sqrt{I}; \quad (K = C\omega \sqrt{R}) \quad (1)$$

Из множества возможных вариантов сечений наибольшей пропускной способностью обладает тот канал, который имеет наименьший смоченный периметр χ и наибольший гидравлический радиус и по Шези будет иметь наибольшую расходную характеристику K . В рамках теории гидравлического радиуса задача о наивыгоднейшем сечении канала сводится к определению соотношения между

размерами ширины канала B по дну и H – глубины наполнения канала водой. В естественных условиях, когда русла рек и каналов проходят через сыпучие и легко размываемые грунтовые отложения (песок, супесь, лесс и др.), поток в зависимости от уклона местности формирует свой наивыгоднейший профиль, который, отличается от трапеции или полукруга.

Известно [7], что канал будет наивыгоднейшим, если его геометрические параметры удовлетворяют следующим соотношениям (R , χ , ω – гидравлический радиус, смоченный периметр, площадь поперечного сечения каналов):

► для канала с полуэллипсоидальным поперечным сечением:

$$x^2/B^2 + y^2/H^2 = 1; 2B = 18H, R = 0,75H, \chi = 2\pi B/3, \omega_{el} = \pi BH/2 \equiv 9\pi H^2/2, \quad (2)$$

► для канала с параболическим поперечным сечением:

$$2B = 2,191H, p = 0,6H, R = 0.5447H, \chi = 1.38B = 1.512H, \quad (3)$$

► для канала трапецеидальной формы сечения:

$$\omega = 0,5H(B + b) = [b + 0,5H(ctg\beta_1 + ctg\beta_2)]H; \chi = b + H(\sin\beta_1 + \sin\beta_2)/\sin\beta_1\sin\beta_2, \quad (4)$$

где b и B – соответственно ширина канала по дну и по водной поверхности, H – глубина потока, $a_1, a_2, \beta_1 > 0, \beta_2 > 0$ – величины заложения и углы наклона левого и правого откосов канала. Трапецеидальный канал с радиусом $R = H/2$ обладает наибольшей пропускной способностью, при соотношении:

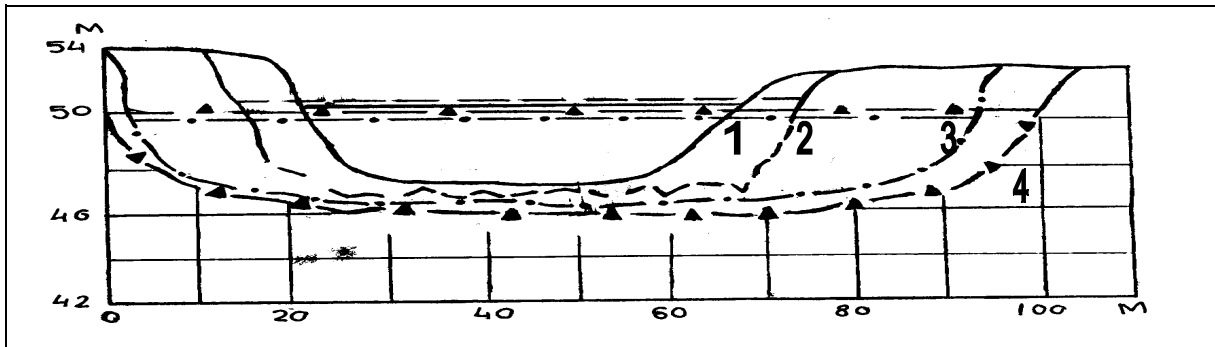
$$b/H = (1 - ctg\beta_1)/\sin\beta_2 + (1 - ctg\beta_2)/\sin\beta_1. \quad (5)$$

Оно является обобщенным индикатором выбора оптимальных геометрических параметров сечения канала трапецеидальной формы. При этом суммарная величина углов наклона может принимать значения лишь в отрезке $90^\circ \leq \beta_1 + \beta_2 \leq 180^\circ$, т. к. при $\beta_1 + \beta_2 < 90^\circ$ в рамках теории гидравлического радиуса принцип максимума гидравлического радиуса и оптимальности сечения потеряет свой смысл. Из (5) следует весьма важный для практики вывод о том, что оптимальная относительная ширина трапецеидального канала по дну зависит только от углов наклона откосов канала к горизонту. Например, при $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$ получается $b = 2H$ и канал превращается в канал с параллельными стенками, а в случае $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$ трапеция трансформируется в треугольник, и максимальная пропускная способность канала имеет место при:

$$tg[(\beta_1 + \beta_2)/2] = 1. \quad (6)$$

Формула (6) представляет особый интерес, т.к. при любом сочетании углов откоса независимо от наполнения канала его пропускная способность определяется характером этих углов. Например, при $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$ поперечное сечение канала примет вид прямоугольного треугольника с шириной $2H$ по водной поверхности и глубиной H . При этом площадь сечения канала минимальна и равна $\omega = H^2$. На рисунке показано изменение поперечного сечения Каракумского канала в створе 0.7 км от р. Амударьи. Видно, что с течением времени проектный трапецеидальный профиль, меняясь, стремится к наивыгоднейшему полуэллипсоидальному, который, кстати, является самым наивыгоднейшим и для судоходства, т.к. $B_k = 18H$.

В долинах с связными грунтами (лесс, суглинок, глина и т.д.) наивыгоднейшим профилем канала будет криволинейная трапеция, состоящая из сочетания прямых линий с полуциркульными кривыми (парабола, полуэллипс, гипербола и др). При бороздковых поливах, в гидроагротехническом отношении эффективной является борозда в виде равнобедренного треугольника с углами заложения 45° .



1-1960г., 2-1965г., 3-1970г., 4-1974г.

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЕСНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ.

Подземные пресные воды (около $6,65 \text{ км}^3/\text{год}$) Таджикистана подвижны, т.к. они сосредоточены в песчаных отложениях межгорных долин и конусах выноса горных рек и являются крупными хранилищами - "магазинами" природных вод. Такие «магазины» с объемом воды 300 км^3 и более образовались в зоне влияния Каракумского канала за последние 50 лет. Это позволяет поставить и решить ряд практических задач теорий поливов и мелиоративной гидрогеологии в бассейнах горных рек Таджикистана, а также в песчаном бассейне Большого Каракумского канала Туркменистана. При решении проблемы оросительной мелиорации по борьбе с явлением засоления почвы необходимо реконструировать оросительную и проектировать дренажную систему таким образом, чтобы уровень грунтовых вод поддерживался на критической глубине ($>2-3 \text{ м}$). Для решения этой задачи как в конусах выноса горных рек, так и на трассах оросительных каналов равнинных долин необходимо установить оросительные нормы таким образом, чтобы на $Q_p \text{ м}^3$ подаваемой воды, поступающей из канала, подавалось $Q_n \text{ м}^3$ подземной воды. На основе уравнения баланса для решения этой задачи получено соотношение [6]:

$$Q_{ck} = nbQ_p/ma + e/a.$$

Здесь n и m – коэффициенты водоотдачи пласта и недостатка насыщения почвогрунтов в зоне аэрации ($n < m$), a – часть дебита Q_n скважины, идущая на питание растений с последующей ее транспирацией, b – доля потери воды из канала в поле, e – доля питания грунтовых вод за счет атмосферных осадков. В условиях Южного Таджикистана установлено, что $b=0,5$, $a=0,75$, $n=0,95m$, $e=0,075$. Тогда имеем следующие значения для дебита скважины, соответственно: $Q_{ckw}=0,505Q_p$ и $Q_{ckw}=0,728Q_p$ или в долях имеем – 505:1000 и 728:1000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимов Ф. Модельные исследования гидравлических характеристик оросительных каналов. Автореф. канд. дис., 2004, Душанбе, 23 с
2. Саттаров М.А. и др. Водные ресурсы и водное хозяйство Таджикистана. Отчёт об уязвимости водных ресурсов и водного хозяйства при изменении климата. Управление гидрометеостанции Таджикистана, Душанбе, 2002, 52 с.
3. Таджикистан. Природа и природные ресурсы. Душанбе, «Дониш», 1982, 602с
4. Шикломанов И.А. Водные ресурсы мира в начале 21 века. ЮНЕСКО, (1998)
5. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Гидрометеиздат, Л, 1965.
6. Эшмирзоев И.Э. Водные ресурсы и особенности оросительной мелиорации в межгорных впадинах Таджикистана. Автореф. канд. дисс., 2000, Душанбе, 23 с.
7. Яблонский В.С. Краткий курс технической гидромеханики. Москва: Госиздат. физ.-мат. литературы, 1961, 355 с.
8. Water Related Vision for the Aral Sea Basin. UNESCO, Paris, 2000, 237p.