

**ВЕСЕННИЙ ПРИТОК ВОДЫ В ВЕРХНЕТОБОЛЬСКИЕ
ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ**

Канд. геогр. наук И.И.Скоцеляс

Приведены величины общего и с отдельных частей водосбора весеннего притока воды в каскад Верхнетобольских водохранилищ. Впервые определен ежегодный приток с непосредственно прилегающей к каскаду территории. Дана оценка влияния на весенний сток искусственных водоемов, распаханности земель, водозаборов воды на производственные и бытовые нужды.

Каскад Верхнетобольских водохранилищ расположен на р.Тобол выше г.Костанай, а замыкаемый им бассейн реки находится на стыке холмисто-увалистого Зауральского плато, столово-останцевого Торгайского плато и Костанайской плоскохолмистой равнины, являющейся юго-западной окраиной обширной Западно-Сибирской низменности.

Поверхность бассейна р.Тобол в указанных пределах характеризуется преимущественно небольшими уклонами, слабым развитием русловой сети, кроме приводораздельных участков Зауральского плато, множеством бессточных понижений, особенно на территории, примыкающей к каскаду водохранилищ. Климат здесь резко континентальный, засушливый. В почвенно-растительном покрове основной фон создают засушливые степи и сельскохозяйственные угодья на черноземных и темно-каштановых почвах, нередко солонцеватых и содержащих примеси карбонатов. В естественной растительности преобладают ковыль красный и тырса. Из сельскохозяйственных культур наибольшее распространение получили зерновые, большей частью пшеница. В настоящее время распаханно около 60 % территории.

Основной объем стока р.Тобол приходится на весеннее половодье, формирующееся, главным образом, талыми снеговыми водами. Роль жидких осадков в период половодья существенна лишь в отдельные

годы. Грунтовый сток, дренируемый речной сетью, вообще незначительный. По оценке Государственного гидрологического института (ГГИ), на р.Тобол у с.Гришенка он равен всего 2 % от годового [5].

В каскад водохранилищ поверхностные воды поступают в основном по р.Тобол и ее притоку Аят. Из-за неблагоприятных условий формирования стока большая его часть теряется. Часто потери весеннего стока превышают 80 %, а иногда достигают 99 % от суммарного поступления талых и дождевых вод на поверхность водосборов. Даже в самые многоводные годы относительные потери составляют порядка 35-45 %.

Некоторое представление об объемах и слоях весеннего стока с территории, замыкаемой каскадом Верхнетобольских водохранилищ, можно получить по соответствующим данным для створов р.Тобол у с.Гришенка и р.Аят у с.Варваринка, приведенным в работах [2,12]. Однако эти данные относятся в основном к периоду, когда хозяйственная деятельность в бассейнах Тобола и Аята была развита еще слабо по сравнению с современным уровнем. О стоке же с прилегающей к каскаду водохранилищ территории ежегодных сведений вообще не имеется. В то же время для нормальной эксплуатации каскада водохранилищ необходимо знать сток со всего водосбора. Определенный научный и практический интерес представляет также оценка изменений притока, происшедших под влиянием антропогенных факторов. Методика и результаты такой оценки с учетом продолжительности весеннего половодья приводятся ниже.

Весеннее половодье на реках Тобол и Аят в среднем длится около месяца. В ранние весны оно начинается в третьей декаде марта, в поздние - в середине апреля. Окончание его чаще всего приходится на конец апреля - начало мая, но в отдельные годы переход к межени наступал и в конце первой декады апреля, и в третьей декаде мая.

Объем весеннего притока воды в каскад водохранилищ определялся как сумма объемов стока, поступивших за период половодья с частных площадей, ограниченных створами р.Тобол с.Гришенка и р.Аят-с.Варваринка, а также с нижерасположенной

территории, тяготеющей к водохранилищам. Слой стока со всего водосбора принимался средневзвешенным из его величин для перечисленных частных площадей. При этом для более достоверной оценки многолетних колебаний притока использовались имеющиеся данные о стоке не только за период существования каскада водохранилищ, но и за предшествующие годы.

Для р.Тобол у с.Гришенка и р.Аят у с.Варваринка ежегодные объемы и слой стока рассчитывались по известным формулам

$$W = 0,0864 Q T, \quad (1)$$

$$Y = \frac{W}{F} \cdot 10^3, \quad (2)$$

где W - объем стока за период половодья, млн m^3 ; Q - средний расход воды за время половодья, m^3/c ; T - продолжительность половодья, сут; Y - слой стока за половодье, мм; F - площадь водосбора, $км^2$.

При наличии пропусков в наблюдениях, если они имели место до 1959 года включительно, для расчета объемов весеннего стока р.Тобол у с.Гришенка и р.Аят у с.Варваринка использовались следующие выражения:

$$W_{ТГ} = 0,55 W_{ТК} - 40, \quad (3)$$

$$W_c = 0,90 W_{ТК} - 15, \quad (4)$$

$$W_{ав} = W_c - W_{ТГ}, \quad (5)$$

где $W_{ТГ}$ - объем стока р.Тобол у с.Гришенка за период весеннего половодья, млн m^3 ; $W_{ТК}$ - то же для р.Тобол у г.Костанай; W_c - суммарный объем стока р.Тобол у с.Гришенка и р.Аят у с.Варваринка за время половодья, млн m^3 ; $W_{ав}$ - объем стока р.Аят у с.Варваринка за тот же период, млн m^3 .

Упомянутое ограничение по времени использования выражений (3) - (5) связано с тем, что (3)

и (4) получены на основе связей, установленных по данным с незарегулированным стоком р.Тобол у г.Костанай, т.е. за предшествующее началу создания каскада время. Поэтому за ряд лет, относящихся к периоду 60-80-х годов с нарушенным режимом стока, пропуски в наблюдениях не были восстановлены.

По (3) восстановлены объемы стока р.Тобол у с.Гришенка за 1943 и 1945 годы, по (4) и (5) - р.Аят у с.Варваринка за 1939-1951, 1955, 1956, 1959 годы. Несмотря на наличие данных о ежедневных расходах воды, помещенных в Гидрологическом ежегоднике, по выражению (3) определен также объем стока р.Тобол у с.Гришенка за 1941 год. Это связано с недостаточной точностью подсчета стока по кривой расходов воды, в результате чего объем половодья по данным Гидрологического ежегодника является значительно завышенным.

Оценка стока за период половодья с прикаскадной части бассейна производилась по выражению

$$W_{Пч} = W_{Тк} - W_c = 0,11 W_c + 16,7, \quad (6)$$

полученному с учетом (4). Она показала, что в многоводные годы его доля равна около 12 % от суммарного стока р.Тобол у с.Гришенка и р.Аят у с.Варваринка, а в маловодные годы может увеличиваться вдвое, иногда и больше.

Для оценки влияния хозяйственной деятельности на весенний сток выше каскада Верхнетобольских водохранилищ использованы сведения об искусственных водоемах, распаханности земель, водозаборах на производственные и бытовые нужды.

Самыми крупными искусственными водоемами являются Желкуарское и Брединское водохранилища. Желкуарское водохранилище, расположенное на р.Желкуар, введено в эксплуатацию в 1965 году и имеет площадь водного зеркала 7,7 км². Его полная емкость равна 34, полезная - 30 млн м³. Брединское водохранилище создано на р.Синташты в 1978 году у поселка городского типа (пгт) Бреды. Площадь этого водохранилища по проекту составляет 12 км², полный объем - 45,5, полезный - 42,8 млн м³.

Остальные водоемы по размерам и особенно по объемам наполнения значительно уступают Желкуарскому и Брединскому водохранилищам, однако их достаточно много. Это пруды, копани, прудо-копани, водохранилища на малых реках и балках. Массовое строительство таких водоемов началось в середине 60-х годов и связано с развитием орошаемого земледелия, отгонного животноводства, разработками асбестовых, железнорудных и других месторождений, ростом водоснабжения населенных пунктов.

Детальная оценка влияния на сток искусственных водоемов, включающая расчеты дополнительного испарения с затопленных ими территорий, аккумуляции воды в их чашах, пополнения запасов подземных вод, водозаборов на хозяйственно-производственные нужды, производилась по данным, собранным для Желкуарского, Брединского и Верхнешортандинского водохранилищ. По остальным водоемам имеющейся информации (площадь зеркала, полный или реже полезный объем) для этой цели недостаточно. Поэтому для таких водоемов определялась лишь суммарная аккумуляция воды.

Дополнительное испарение рассчитывалось отдельно для каждого из трех упомянутых водохранилищ по формуле

$$W_e = \Delta E \cdot F_3 \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

где W_e - объем дополнительного испарения, млн м³; ΔE - разность слоев испарения с водной поверхности и суши, мм; F_3 - площадь зоны затопления, км². Для определения испарения с водной поверхности использовалась формула А.П.Браславского [3], основанная на законе Дальтона и учитывающая взаимодействие свободной и вынужденной конвекции водяного пара. Испарение с суши, затопленной водохранилищами, рассчитывалось комплексным методом [7,11]. Размеры затопленных зон находились по разности площадей водной поверхности водохранилищ и русел рек в естественных условиях.

Площади водного зеркала Желкуарского и Брединского водохранилищ определялись по координатам зависимостей площади от уровня воды, исходя из

ежегодного наполнения водоемов в период половодья. Для Верхнешортандинского водохранилища из-за отсутствия такой зависимости площадь зеркала принималась постоянной, равной $1,7 \text{ км}^2$. Однако, учитывая относительно небольшие размеры этого водохранилища, на точности расчетов испарения с его поверхности сделанное допущение существенно не отразилось.

Площади русел рек в пределах зон затопления вычислялись как произведения длин водохранилищ и средних ширин речных русел на оказавшихся под водой участках суши. Длины Желкуарского, Брединского и Верхнешортандинского водохранилищ соответственно равны 16,5, 7,6, 3,6 км. Ширина каждой реки на верхней и нижней границах затопленных участков рассчитывалась по формуле

$$B = \frac{B_{\max}}{1 + a Q^n}, \quad (8)$$

где B - ширина реки при расходе воды Q , м; B_{\max} - максимальная ширина реки, м; a и n - параметры, значения которых приведены в табл.1. В случаях отсутствия данных о расходах воды использовались установленные связи $B = f(B_{\text{см}})$, где $B_{\text{см}}$ - ширина р.Синташты у с.Мариинское.

Таблица 1

Значения параметров формулы (8)

Река	Пункт	Параметр		
		B_{\max}	a	n
Синташты	пгт Бреды	55	2,34	-0,81
Синташты	с.Мариинское	85	4,10	-0,86
Синташты	с.Забеловка	115	6,69	-0,80
Шортанды	г.Джетыгара	65	3,32	-0,66

Расчеты испарения с водной поверхности и суши производились по месячным интервалам времени.

Для периода половодья испарение вычислялось как средневзвешенное из месячных слоев с учетом количества суток в половодье, приходящихся на тот или иной месяц.

Дополнительное испарение с территорий, затопленных Желкуарским, Брединским и Верхнешортандинским водохранилищами, за период половодья оказалось небольшим. В среднем его суммарная величина составила 0,23 млн м³. В отдельные годы она приближалась к 0,50 млн м³.

Аккумуляция воды в Желкуарском, Брединском и Верхнешортандинском водохранилищах при наличии данных наблюдений над уровнем воды определялась по разности объемов наполнения этих водоемов после окончания весеннего половодья и до его начала с использованием кривых объемов. При отсутствии измеренных уровней воды расчет аккумуляции производился по нижеприведенным схемам, разработанным на основе данных о речном стоке, максимальном наполнении водохранилищ и их последующей сработке до начала половодья в следующем году.

Расчетная схема для Желкуарского водохранилища состоит из выражений, используемых в такой последовательности:

$$W_p = 1,33 W_{\text{кам}} ; \quad (9)$$

если $W_p < 7$ млн м³, то

$$W_A = W_p ; \quad (10)$$

если $W_p > 7$ млн м, то

$$W_A = \frac{13,3 W_p^{0,14}}{\text{Exp} [0,18 \text{Exp} (0,14 W_H^*)]} ; \quad (11)$$

$$W_C^* = \frac{W_p \text{Exp} (3,84 + 0,06 W_K^*)}{(\text{Ln} W_p + 1)^{4,76}} ; \quad (12)$$

$$W_H^* = W_K^* - W_C^* . \quad (13)$$

Здесь W_p - весенний речной сток на входе в водохранилище, млн m^3 ; $W_{кам}$ - сток р. Камыстыаят у с. Маслаковцы (к/х Свердлов) за половодный период, млн m^3 ; W_A - аккумуляция воды в водохранилище, млн m^3 ; W_C^* - сработка водохранилища до начала половодья в следующем году, млн m^3 ; W_H^* , W_K^* - соответственно объемы воды в водохранилище перед началом и после окончания половодья, млн m^3 .

Расчетная схема для Брединского водохранилища состоит из следующих выражений:

$$W_p = 0,24 W_{кам} , \quad (14)$$

$$W_A = \frac{6,2 W_p^{0,75}}{\text{Exp} (0,18 W_H^*)} , \quad (15)$$

$$W_C^* = 1,35 \text{Exp} [0,67 [\text{Exp} (0,041 W_K^*)]] , \quad (16)$$

$$W_H^* = W_K^* - W_C^* . \quad (17)$$

С помощью приведенных схем определялась аккумуляция в Желкуарском и Брединском водохранилищах соответственно в 1965-1970 и 1978-1979 годах. При этом в случае необходимости с целью соблюдения условия $W_K^* < W_{Kпг}$ и достаточно удовлетворительного совпадения рассчитанных и фактических объемов воды в водохранилищах в конце расчетных периодов производилась корректировка результатов расчетов. В указанном условии $W_{Kпг}$ - объем воды в водохранилище при катастрофическом подпертом горизонте.

Аккумуляция воды в Верхнешортландинском водохранилище из-за отсутствия кривой объемов рассчитывалась приближенно как

$$W_A = 0,44 (H - 255,86) , \quad (18)$$

где H - абсолютная отметка уровня воды в водохранилище, м.

Выражение (18) получено по объемам воды в водохранилище при нормальном подпертом горизонте и при отметке уровня в начале 1981 года. Эти

объемы соответственно равны 3,6 и 1,3 млн м³. Величины аккумуляции воды, рассчитанные таким способом, по-видимому, завышены, однако они значительно меньше (в среднем 0,62 млн м³), чем для Желкуарского (13 млн м³) и Брединского (8,63 млн м³) водохранилищ. Поэтому можно полагать, что погрешности их расчетов не должны существенно повлиять на общую оценку аккумуляции в трех рассматриваемых водохранилищах. То же самое можно сказать и об ежегодной аккумуляции воды в Верхнешортландинском водохранилище в 1968-1972 годах, принятой в связи с отсутствием данных об уровне воды равной средней ее величине за последующий период, т.е. 0,62 млн м³.

Начиная с ввода в эксплуатацию Желкуарского водохранилища (1965 год), суммарная аккумуляция воды в трех рассматриваемых водоемах в среднем составила 17,7 млн м³, а за период их совместного существования - 23,8 млн м³. В 1978, 1985, 1987, 1988 годах она достигала 30-50 млн м³. Наоборот, в 1971, 1973, 1977, 1984 годах ее величина находилась в пределах 3,8-8,8 млн м³. При этом аккумуляция воды в Желкуарском водохранилище изменялась от 3,4 до 27,3 млн м³, в Брединском - от 3,7 до 21,7 млн м³, в Верхнешортландинском - ориентировочно от 0,04 до 1,12 млн м³.

Пополнение запасов подземных вод из водохранилищ ($W_{ЛВ}$) состоит в основном из насыщения водой зоны аэрации ложа и берегов. Для его оценки использованы формулы, приведенные в работе [15]. Эти формулы имеют вид:

$$W_{ЛВ} = F_3 H_л \mu_л , \quad (19)$$

$$W_{БВ} = 0,5 K_H W_{Общ} \mu_б H_б \cdot 10^3 , \quad (20)$$

$$W_{ЛВ} = W_{ЛВ} + W_{БВ} , \quad (21)$$

где $W_{ЛВ}$ - насыщение водой ложа водохранилища, млн м³; F_3 - площадь затопления территории водохранилищем, км²; $H_л$ - средняя мощность зоны аэрации ложа водохранилища до его создания, м; $\mu_л$ - недостаток насыщения грунтов (коэффициент водоот-

дачи) зоны аэрации; $W_{6В}$ - поступление воды в берега водохранилища, млн m^3 ; K_H - коэффициент наполнения водохранилища; $W_{06ц}$ - полный объем водохранилища, млн m^3 ; μ_6 , H_6 - соответственно коэффициент водоотдачи грунтов и средняя глубина залегания уровня грунтовых вод (в метрах) на прилегающих к водохранилищу территориях.

При расчетах по формулам (19) - (21) было принято, что $H_d = 4$ м, $H_6 = 8$ м, $\mu_d = \mu_6 = 0,10$ [4], а также, что для Желкуарского водохранилища $K_H = 1$, для Брединского $K_H = 0,45$ и для Верхнешортандинского $K_H = 0,51$.

Согласно выполненным таким способом расчетам, на формирование купола подземных вод из Желкуарского водохранилища затрачено 7,79 млн m^3 воды, из них 1,87 млн m^3 израсходовано на насыщение ложа и 5,92 млн m^3 на фильтрацию в берега. В Брединском водохранилище потери на пополнение подземных вод составили 5,81 млн m^3 ($W_{ЛВ} = 2,25$, $W_{6В} = 3,56$), в Верхнешортандинском - 0,96 млн m^3 ($W_{ЛВ} = 0,64$, $W_{6В} = 0,32$).

Как показали исследования И.А.Шикломанова [15], зона аэрации ложа водохранилища насыщается водой в течение 10 - 20 суток после начала заполнения чаши водоема, а поступление воды в берега происходит на протяжении 8 лет. В первый год в берега фильтруется 30 % воды от всего расходуемого объема $W_{6В}$, в последующие годы - соответственно 20, 15, 10, 8, 6, 5, 4 %. В связи с этим можно полагать, что в первый год существования Желкуарского водохранилища запасы подземных вод пополнились на 3,65 млн m^3 . Из Брединского водохранилища в первый год терялось 3,32, из Верхнешортандинского - 0,74 млн m^3 . В остальные годы потери были значительно меньше. По времени они совпадали лишь в Желкуарском и Верхнешортандинском водохранилищах (1968-1972 гг.), причем наибольшая их суммарная величина составляла всего 1,33 млн m^3 .

Суммарный водозабор из Желкуарского, Брединского и Верхнешортандинского водохранилищ на производственно-бытовые нужды за период половодья в среднем равен около 0,83 млн m^3 , в том числе из Желкуарского - 0,67, из Брединского - 0,11, из

Верхнешортландинского - 0,05 млн м³. В остальные годы из водохранилищ изымалось 0,90-1,12 млн м³ воды.

Сравнительно небольшим за период весеннего половодья является также водопотребление непосредственно из рек, хотя за год, по данным органов водохозяйственного контроля, в бассейне р.Тобол до с.Гришенка оно достигало 22 млн м³, а в бассейне р.Аят до устья - 27 млн м³. Это связано как с кратковременностью половодья, так и с тем, что основные изъятия речных вод производятся с мая по август, т.е. преимущественно в меженный период.

Влияние прудов и других малых искусственных водоемов на поверхностный сток в бассейне Верхнего Тобола в период весеннего половодья оценивалось по суммарному объему их наполнения [9]

$$W_{\text{д}} = K \sum W_{\text{полн}} \quad (22)$$

где $W_{\text{д}}$ - уменьшение стока искусственными водоемами, млн м³; K - коэффициент сработки водоемов; $\sum W_{\text{полн}}$ - суммарный полный объем всех водоемов, млн м³. При этом коэффициент K на основе данных Южуралгипроводхоза о суммарных полном и полезном объемах прудов и малых водохранилищ в бассейне р.Синташты был принят равным 0,94.

Расчеты по выражению (22) показали, что в бассейне Верхнего Тобола во второй половине 80-х годов уменьшение стока прудами и другими малыми искусственными водоемами в период весеннего половодья достигало 68,6 - 69,0 млн м³. Это в 4,3 раза больше, чем в начале 60-х годов. В том числе в бассейне р.Тобол до с.Гришенка в таких водоемах задерживалось 23,6 млн м³ воды, в бассейне р.Аят до с.Варваринка - от 41,1 до 41,5 млн м³, в прикаспадной части - 3,88 млн м³. В маловодные 1973, 1975, 1977 годы в бассейне р.Тобол до с.Гришенка задержание воды в прудах, копанях, прудо-копанях и малых водохранилищах даже превышало объем половодья, рассчитанный по данным наблюдений. Аналогичные случаи отмечались и в бассейне р.Аят до с.Варваринка - в 1975, 1977, 1986 годах.

Для оценки влияния распаханности водосборов

на сток в период весеннего половодья использован способ, разработанный В.Е.Водогрецким [6]. В основу способа положены обобщения изменений сезонного и годового стока под воздействием агротехнических мероприятий в различных физико-географических зонах бывшего СССР с учетом уклонов склонов водосборов, положения уровня грунтовых вод и преобладающих почвогрунтов. В результате этого обобщения для определения изменения сезонного стока В.Е.Водогрецкий получил следующие формулы:

$$\Delta Y_{В, л-о-з} = (\Delta Y)_{В, л-о-з} \cdot f_{п} , \quad (23)$$

$$\Delta W_{В, л-о-з} = (W_{Г} + \Delta W_{Г}) \frac{Y_{В, л-о-з}}{100} , \quad (24)$$

где $\Delta Y_{В, л-о-з}$ - возможное изменение стока реки в весенний или летне-осенне-зимний период под влиянием агротехнических мероприятий, выраженное в процентах от годового стока; $(\Delta Y)_{В, л-о-з}$ - то же при полной распашке водосбора на глубину 0,25 м и более; $f_{п}$ - фактическая площадь под сельскохозяйственными полями в долях от площади водосбора, принятой за единицу; $\Delta W_{В, л-о-з}$ - абсолютная величина изменения сезонного стока под влиянием агротехнических мероприятий, мм; $W_{Г}$ - средний годовой сток, мм; $\Delta W_{Г}$ - изменение годового стока под влиянием агротехнических мероприятий, определяемое в соответствии с Рекомендациями [8], мм.

Динамика распаханности земель в бассейне Верхнего Тобола при оценке ее влияния на сток за период весеннего половодья учитывалась отдельно на территориях, ограниченных створами р.Тобол - с.Гришенка, р.Аят - с.Варваринка, и на прикаскадной части. Глубина залегания грунтовых вод определялась по карте, приведенной в Атласе Северного Казахстана [1]. При этом для бассейнов рек Тобол до с.Гришенка и Аят до с.Варваринка она принималась равной 8 м, а для прикаскадной части - 13 м. Уклоны склонов, занятых сельскохозяйственными полями, были заданы равными средним уклонам рассматриваемых частных водосборов.

Кроме того, при оценке влияния на сток распаханности в прикаскадной части для определения годового стока с этой территории после 1958 года использовалась эмпирическая формула

$$W_{\text{пч}} = 0,19 W_{\text{с}} + 37, \quad (25)$$

где $W_{\text{пч}}$ - годовой объем стока с прикаскадной части, млн м^3 ; $W_{\text{с}}$ - суммарный годовой объем стока р.Тобол у с.Гришенка и р.Аят у с.Варваринка, млн м^3 .

Формула (25) получена по данным наблюдений за стоком в указанных двух створах и на р.Тобол у г.Костанай за период, предшествующий созданию каскада Верхнетобольских водохранилищ. При этом объем стока с прикаскадной части рассчитывался как

$$W_{\text{пч}} = W_{\text{тк}} - W_{\text{с}}, \quad (26)$$

где $W_{\text{тк}}$ - годовой объем стока р.Тобол у г.Костанай, млн м^3 .

Изменения весеннего стока в бассейне Верхнего Тобола, обусловленные распаханностью земель, достаточно существенные. В многоводные годы во всем бассейне он уменьшается на 100 - 150 млн м^3 , в маловодные - на 10-30 млн м^3 . В бассейне р.Тобол до с.Гришенка уменьшение стока достигает 60-90 млн м^3 , в бассейне р.Аят до с.Варваринка - 45-70 млн м^3 , в прикаскадной части - 10-15 млн м^3 .

В относительном выражении наиболее значительные изменения стока под влиянием распаханности произошли в период освоения целинных и залежных земель (1953-1955 гг.). Если до начала этого периода они составляли по всему бассейну около 5 %, то в конце его возросли до 10-14 % от естественного стока, а в некоторые последующие годы даже несколько больше.

В табл.2 приведены результаты оценки суммарных антропогенных изменений стока в период весеннего половодья. По этим данным, хозяйственная деятельность в бассейне Верхнего Тобола обусловила уменьшение стока в среднем на 95,1 млн м^3 (27 %),

в том числе на 43,6 млн м³ (32 %) в бассейне р.Тобол до с.Гришенка, на 42,0 млн м³ (30,7 %) в бассейне р.Аят до с.Варваринка и на 9,54 млн м³ (18 %) в прикаскадной части. В отдельные годы (1978,1988) изменения стока даже несколько превышали 200 млн м³, причем около 92 % их приходилось на основную зону формирования стока (49-59 % в бассейне р.Тобол до с.Гришенка и 33-43 % в бассейне р.Аят до с.Варваринка).

Таблица 2

Суммарное антропогенное изменение стока за период весеннего половодья в бассейне Верхнего Тобола и отдельных его частях

Год	Изменение стока							
	Р.Тобол - с.Гришенка		Р.Аят - с.Варварин- ка		Прикаскад- ная часть		Итого	
	млн м ³	%	млн м ³	%	млн м ³	%	млн м ³	%
1953	9,68	4,2	20,8	6,5	2,22	2,9	32,7	5,2
1954	5,08	6,6	6,25	11,4	3,66	11,7	15,0	9,2
1955	10,3	12,0	7,04	16,4	1,90	6,2	19,2	12,1
1956	16,2	12,6	7,78	16,3	2,60	7,2	26,6	12,5
1957	90,0	11,0	51,4	13,6	11,4	7,7	153	11,4
1958	12,0	12,3	12,6	17,5	3,98	11,2	28,6	14,0
1959	19,4	11,7	39,2	14,6	6,40	9,9	65,0	13,0
1960	30,6	13,5	57,9	18,3	11,3	14,8	99,6	16,1
1961	11,7	18,1	33,5	26,8	8,72	23,2	53,9	23,7
1962	29,3	14	27,0	27	9,7	19	66,0	18
1963	13,0	17	37,1	23	9,5	22	59,6	21
1967	24,9	61	31,3	34	8,2	27	64,4	39
1968	32,9	36	29,7	31	8,9	24	71,5	32
1969	46,0	25	64,9	20	14,0	19	125	22
1970	82,0	21	80,8	18	16,8	15	180	19
1971	97,9	16	63,7	25	17,5	16	177	18
1972	45,0	36	42,9	28	9,5	20	97,4	30
1973	22,6	67	30,0	40	7,5	26	60,1	44

Продолжение табл.2

Год	Изменение стока							
	Р.Тобол - с.Гришенка		Р.Аят - с.Варварин- ка		Прикаскад- ная часть		Итого	
	млн м ³	%	млн м ³	%	млн м ³	%	млн м ³	%
1974	25,6	51	50,8	33	8,9	23	85,3	35
1975	27,7	89	33,0	63	7,1	27	67,8	62
1976	38,0	61	34,7	58	7,9	26	80,6	53
1977	28,3	84	32,4	59	7,4	28	68,1	59
1978	123	24	67,9	33	17,5	18	208	25
1979	52,9	58	65,5	43	9,9	23	128	44
1983	100	21	59,3	10	16,4	12	176	15
1986	69,5	46	47,9	59	10,3	14	128	46
1988	98,7	29	87,0	23	16,5	19	202	28
1989	59,1	32	53,4	46	10,8	22	123	35
Сред.	43,6	32	42,0	31	9,54	18	95,1	27

Наибольшие относительные изменения стока, в процентах от естественного, происходили в маловодные годы. Так, в 1975 и 1977 годах во всем бассейне они составляли 50-60 %, а в бассейне р.Тобол до с.Гришенка достигали 83-89 %. В средние по водности годы сток уменьшался на 15-30 %, в многоводные - на 10-15 %. При этом влияние хозяйственной деятельности на сток возрастало по мере ее развития.

В табл.3 приведены объемы и слои стока за период весеннего половодья в нарушенных хозяйственной деятельностью и естественных условиях. Естественный сток определялся с учетом установленных его антропогенных изменений, происходивших в период освоения целинных и залежных земель и последующие годы. В величины стока более ранних лет, полученные на основе данных наблюдений, поправки на влияние хозяйственной деятельности не

Вводились, поскольку последнее было сравнительно слабым.

Таблица 3

Сток за период половодья к территории, занимаемой Верхнегобольскими водохранилищами, в естественных (1) и нарушенных (2) хозяйственной деятельностью условиях

Год	Объем стока, млн м ³		Слой стока, мм	
	1	2	1	2
1939	41,6		0,9	
1940	127		2,8	
1941	1640		78,5	
1942	1903		42,7	
1943	451		10,1	
1944	98,2		2,2	
1945	242		5,4	
1946	908		20,4	
1947	1669		37,4	
1948	1172		26,3	
1949	154		3,4	
1950	457		10,2	
1951	100		2,2	
1952	387		8,7	
1953	630	597	14,1	13,4
1954	163	148	3,6	3,3
1955	159	140	3,6	3,1
1956	213	186	4,8	4,2
1957	1343	1191	30,1	26,7
1958	205	177	4,6	4,0
1959	500	435	11,2	9,8
1960	619	519	13,9	11,6
1961	227	175	5,1	3,9
1962	365	298	8,2	6,7
1963	280	220	6,3	4,9
1967	165	101	3,7	2,3
1968	223	151	5,0	3,4
1969	576	451	12,9	10,1
1970	951	771	21,3	17,3

Продолжение табл. 3

Год	Объем стока, млн м ³		Слой стока, мм	
	1	2	1	2
1971	992	812	22,2	18,2
1972	322	225	7,2	5,0
1973	137	76,9	3,1	1,7
1974	242	156	5,4	3,5
1975	110	41,9	2,5	0,9
1976	153	72,1	3,4	1,6
1977	116	47,6	2,6	1,1
1978	828	620	18,6	13,9
1979	288	159	6,5	3,6
1983	1186	1011	26,6	22,7
1986	275	148	6,2	3,3
1988	727	525	16,3	11,8
1989	350	226	7,8	5,1
Среднее	517	453	11,6	10,2

По данным табл.3, за время существования каскада Верхнетобольских водохранилищ (с 1971 года) весенний сток со всего водосбора (приток воды) находился в пределах 41,9 - 1011 млн м³. Однако в будущем эти пределы, особенно верхний, могут значительно измениться. Об этом свидетельствуют величины стока, рассчитанные за годы, предшествующие созданию каскада водохранилищ.

За все годы весенний сток изменялся от 41,6 до 1903 млн м³. В среднем для естественных условий его величина получена равной 517 млн м³ (слой стока 11,6 мм). Вследствие влияния хозяйственной деятельности сток за период весеннего половодья уменьшился до 453 млн м³ (10,2 мм). Коэффициент вариации естественного стока $C_v = 0,92$, а при наличии антропогенных изменений $C_v = 1,04$.

В среднем за многолетний период преобладал сток с бассейна р.Тобол до с.Гришенка (табл.4).

Таблица 4

Объем весеннего стока с различных частей бассейна Верхнего Тобола в естественных и изменившихся под влиянием хозяйственной деятельности условиях,

млн м³

Год	Естественные условия			Изменившиеся условия		
	р.Тобол с.Три- шенка	р.Аят с.Вар- варин- ка	прика- скад- ная часть	р.Тобол с.Три- шенка	р.Аят с.Вар- варин- ка	прика- скад- ная часть
1939	11,1	11,3	19,2			
1940	24,6	74,7	27,6			
1941	863	599	178			
1942	955	744	204			
1943	208	183	59,7			
1944	12,5	60,9	24,8			
1945	93,1	110	39,0			
1946	460	343	105			
1947	862	627	180			
1948	669	372	131			
1949	46,9	77,1	30,3			
1950	213	184	60,4			
1951	14,0	61,0	25,0			
1952	201	133	53,4			
1953	231	322	77,5	221	301	75,3
1954	77,1	55,0	31,2	72,0	48,8	27,5
1955	85,5	42,8	30,8	75,2	35,8	28,9
1956	129	47,8	36,1	113	40,0	33,5
1957	816	379	148	726	328	137
1958	97,7	72,1	35,4	85,7	59,5	31,4
1959	166	269	64,6	147	230	58,2
1960	227	316	76,4	196	258	65,1
1961	64,6	125	37,6	54,9	91,4	28,9
1962	214	99,7	51,2	185	72,7	41,5
1963	75,0	162	42,8	62,0	125	33,3
1964	382			323		
1965		60,4			36,8	
1966	234			178		
1967	40,7	93,3	31,4	15,8	62,0	23,2

Продолжение табл. 4

Год	Естественные условия			Изменившиеся условия		
	р.Тобол с.Гри- шенка	р.Аят с.Вар- варин- ка	прика- скад- ная часть	р.Тобол с.Гри- шенка	р.Аят с.Вар- варин- ка	прика- скад- ная часть
1968	90,1	95,7	37,1	57,2	66,0	28,2
1969	182	322	72,1	136	257	58,1
1970	393	449	109	311	368	92,2
1971	621	258	113	523	194	95,5
1972	124	151	47,0	78,6	108	38,1
1973	33,9	74,5	28,6	11,3	44,5	21,1
1974	49,8	153	39,0	24,2	102	30,1
1975	31,1	52,7	25,9	3,4	19,7	18,8
1976	62,5	60,0	30,2	24,5	25,3	22,3
1977	33,9	55,3	26,5	5,6	22,9	19,1
1978	523	208	97,1	400	140	79,6
1979	91,1	153	43,6	38,2	87,1	33,7
1983	467	586	133	367	527	117
1986	151	81,7	42,3	81,9	33,8	32,0
1988	338	302	87,1	239	215	70,6
1989	184	116	49,7	125	62,5	38,9
Сред.	244	207	66,2	215	178	60,0

В отдельные годы на его долю приходилось 60-65 % от общего стока. Водность года при этом существенной роли не играла, хотя вероятность повышенного стока именно с данной части бассейна Верхнего Тобола, по-видимому, наибольшая в многоводные годы. Средний многолетний сток здесь с учетом влияния хозяйственной деятельности составил 215 млн м³ или 16,0 мм, $C_v=1,25$. Для естественных условий его величина получена равной 244 млн м³ (18,2 мм), $C_v=1,07$.

В маловодные и средние по водности годы нередко преобладал сток с бассейна р.Аят до с.Варваринка, причем доля этого стока также достигала 60-65 %. Для естественных условий в среднем рас-

четная величина объема весеннего стока составила 207 млн м³ (20,1 мм), $C_v=0,86$. В результате хозяйственной деятельности объем среднего стока уменьшился до 178 млн м³ (17,3 мм), коэффициент вариации увеличился до 0,99.

Параметры весеннего стока для прикаскадной части бассейна р.Тобол, полученные по данным табл.4, оказались следующими: среднее значение для естественных условий составило 66,2 млн м³ или 3,17 мм, $C_v=0,71$; для нарушенных хозяйственной деятельностью условий средний объем стока равен 60,0 млн м³ (2,87 мм), $C_v=0,78$.

Приведенные в табл.3 и 4 ряды весеннего стока в бассейне Верхнего Тобола проверялись на случайность и однородность при 5 %-м уровне значимости. При этом принадлежность рядов к случайным выборкам выяснялась с помощью критерия Неймана. Для оценки однородности использовались Z-критерий, критерии Вилькоксона и Фишера [14], а ряды разделялись на две части - до и после начала эксплуатации Желкуарского водохранилища (1965 г.), отличающиеся существенно разной степенью влияния на сток хозяйственной деятельности. На основании полученных результатов расчетов можно отметить, что как при нарушенных хозяйственной деятельностью, так и при естественных условиях выборки весеннего стока нельзя отнести к статистически случайным совокупностям. Они обладают внутрирядной корреляцией, которая характеризуется коэффициентами корреляции между смежными членами рядов, находящимися в пределах 0,25-0,39, при средних квадратических погрешностях 0,14-0,15. В изменившихся под влиянием хозяйственной деятельности условиях не может быть принята и гипотеза однородности рядов: по средним значениям она выполняется, но отвергается по средним квадратическим отклонениям (критерием Фишера). Наоборот, для естественных условий гипотеза однородности в основном подтвердилась всеми использованными критериями.

Следует отметить еще, что при наличии внутрирядной корреляции для проверки однородности выборок из генеральных совокупностей в [10,13] ре-

комендуется применять обобщения критериев Стьюдента и Фишера. В рассматриваемых здесь случаях такая оценка несомненно представляла бы наибольший интерес для рядов с естественным стоком, поскольку именно для них гипотеза однородности без учета внутрирядной корреляции подтвердилась. Однако прежде всего для этих рядов коэффициенты корреляции смежных членов оказались недостаточно значимыми. т.е. они меньше удвоенной их средней квадратической погрешности. Поэтому оценка однородности с использованием обобщений Стьюдента и Фишера, приведенных в работах [9,13], не может быть достоверной.

Приведенный анализ весеннего притока воды к каскаду Верхнетобольских водохранилищ позволяет отметить, что для бассейна Верхнего Тобола характерна большая изменчивость весеннего стока, обусловленная естественными и антропогенными факторами. При этом за период существования каскада Верхнетобольских водохранилищ в связи с относительно малой его продолжительностью сток колебался в значительно меньших пределах, чем за все годы наблюдений. Хозяйственная деятельность в бассейне Верхнего Тобола достигла такого уровня развития, при котором возможно не только уменьшение объема стока на десятки и даже сотни миллионов кубических метров, но и существенно изменились параметры распределения последнего. Из антропогенных факторов наиболее значительное влияние на весенний сток оказывают его русловое регулирование искусственными водоемами и распаханность земель. Роль дополнительного испарения с затопленных территорий, пополнения запасов подземных вод из водохранилищ, расположенных выше каскада, изъятий стока на хозяйственно-производственные потребности в период весеннего половодья невелика. Большая часть притока воды в каскад Верхнетобольских водохранилищ в среднем многолетнем приходится на бассейн Тобола до с.Гришенка. Однако в отдельные маловодные и средние по водности годы преобладает сток с бассейна р.Аят до с.Варваринка. Впервые определенный сток с прикаскадной части бассейна в среднем составляет около 13 % от

общего поступления поверхностных вод в каскад водохранилищ за период половодья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Северного Казахстана. - М: ГУГК, 1970. - 208 с.
2. Беркалиев З.Т. Гидрологический режим рек Центрального, Северного и Западного Казахстана. - Алма-Ата: Изд. АН КазССР, 1959. - 278 с.
3. Браславский А.П. Усовершенствованная формула для расчета испарения с поверхности водных объектов // Тр. V Всесоюзного гидрологического съезда. - 1990. - Т.8. - С.174-183.
4. Веретенникова Г.М., Колмогоров В.П. Оценка влияния каскада водохранилищ на годовой сток реки Тобол // Тр. ГГИ. - 1986. - Вып.315. - С.41-48.
5. Водный баланс Кустанайской области / Под ред. проф. д-ра техн. наук А.И.Чеботарева. - Л: Гидрометеиздат, 1966. - 212 с.
6. Водогрецкий В.Е. Оценка влияния агротехнических мероприятий на сезонный сток рек // Тр. ГГИ. - 1981. - Вып.273. - С.3-8.
7. Константинов А.Р., Астахова Н.И., Левенко А.А. Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей. - Л: Гидрометеиздат, 1971. - 126 с.
8. Методические рекомендации по оценке и учету влияния агролесомелиоративных мероприятий на годовой сток в гидрологических расчетах. - Л: Гидрометеиздат, 1976. - 88 с.
9. Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования. - Л: Гидрометеиздат, 1986. - 167 с.
10. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. - Л: Гидрометеиздат, 1984. - 247 с.
11. Методы изучения и расчета водного баланса / Под ред. В.С.Вуглинского, Г.С.Клейн, И.Н.Образцова, Г.А.Плиткина и др. - Л: Гидрометеиздат, 1981. - 397 с.

12. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель /Под ред. В.А.Урываева. - Вып.2. Кустанайская область Казахской ССР. - Л: Гидрометеиздат, 1959.- 711 с.
13. Рождественский А.В., Сахарук А.В. Обобщение критериев однородности Стьюдента и Фишера на случай коррелированных во времени и пространстве гидрологических характеристик // Тр. ГГИ. - 1981. - Вып.282. - С.51-71.
14. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 424 с.
15. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. - Л: Гидрометеиздат, 1989. - 334 с.

Казахский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт

ЖОҒАРҒЫ ТОБЫЛ СУ ҚОЙМАСЫ АҢҒАРЫНДАҒЫ КӨКТЕМГІ СУ ЖИЫНТЫҒЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ АНТРОПОГЕНДІК ӨЗГЕРІСТЕРІ

Геогр. ф. канд. И.И. СКОЦЕЛЯС

Жоғарғы Тобыл су қоймасы аңғарындағы көктемгі су жиынтығының жалпылай және жекелеген тоспа бөліктеріндегі өлшем бірлігі қарастырылады. Алғаш рет жайылма аймағындағы судың жылдық ағыс мөлшері анықталып отыр. Көктемге су екпініне қолдан жасалған бөгендердің, жыртылған жерлердің, өндірістік және тұрмыстық қажеттілікке байланысты тоспаланған судың тигізер әсеріне баға беріледі.