issn0130–4887

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ВАЗИРЛАР МАҲКАМАСИ
ҲУЗУРИДАГИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
БОШ БОШҚАРМАСИ
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ПРИ КАБИНЕТЕ МИНИСТРОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

В. А. БУГАЕВ НОМИДАГИ ЎРТА ОСИЁ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИНСТИТУТИНИНГ
ИЛМИЙ ТЎПЛАМИ
ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
имени В. А. БУГАЕВА

Выпуск 153(234) нашр

Ўрта осиёда гидрологик тадқиқотлар

Гидрологические исследования в Средней Азии

Ташкент—2000

Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси
ҳузуридаги гидрометеорология Бош бошқармаси
Главное управление по гидрометеорологии
при Кабинете Министров Республики Узбекистан

В.А. Бугаев номидаги Ўрта Осиё илмий - тадқиқот
гидрометеорология институтининг
илмий тўплами

Труды
Среднеазиатского научно - исследовательского
гидрометеорологического института
им. В.А. Бугаева

Выпуск 153 (234) нашр

ЎРТА ОСИЁДА ГИДРОЛОГИК ТАДҚИҚОТЛАР

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В СРЕДНЕЙ АЗИИ

Под редакцией
кандидата географических наук Ю.Н. Иванова

Ташкент 2000

УДК 556.133

Рецензент доктор геогр. наук Г. Е. Глазырин

Сборник содержит работы по гидрометрии, расчетам и прогнозам стока воды, изменению стоковых характеристик рек, вызванных хозяйственной деятельностью и, в частности, созданием водохранилищ в регионе Средней Азии, а также гляциологии.

Для специалистов в области гидрологии, гляциологии, охране природной среды.

Тўплам гидрометрия, сув оқимини ҳисоблаш ва башорат қилиш, инсоннинг хўжалик фаолияти,шу жумладан, Ўрта Осиё регионида сув омборларининг барпо этилиши туфайли, дарёларнинг оқим тавсифларининг ўзгариши, ҳамда гляциология бўйича ишлардан иборат.

Гидрология, гляциология, табиий муҳитни муҳофаза қилиш соҳасидаги мутахассисларга мўлжалланган.

The collection contains of work on the gidrometeorology and the calculations and the forecasts of water flow and changes of the flow characteristics of rivers, which is occasioned by the economic activity and creation of reservoirs in Central Asia. in particular , and also of the glacoilogy.

For specialists in hydrology, glaciology, environmental of pollution.

© Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт им. В. А. Бугаева (САНИГМИ), 2000 г.

СОКРАЩЕННЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ

АИС ГВК - автоматизированная информационная система государственного водного кадастра
АРМ - автоматизированное рабочее место
АФС - аэрофотосъемка
БДЛ - банк данных "Ледники"
ВБС - водно-балансовая станция
ВВР - вторичные водные ресурсы
вдкч - водокачка
ГВ - грунтовые воды
ГМК - горно-металлургический комбинат
ДДТ - дихлордифенилтрихлорэтан
ЕРВ - ежедневные расходы воды
ИГАН - Институт географии Академии наук Российской Федерации
КРВ - кривая расходов воды
КЛ - каталог ледников
КФС - космофотосъемка
МД - магнитный диск
МГГ - Международный геофизический год
МЛВР - межотраслевая лаборатория водных ресурсов
НПУ - нормальный подпорный уровень в водохранилище
ПДК - предельно допустимая концентрация какого-либо вещества в среде его нахождения
ПО - производственное объединение
ПУ - производственный участок
САНИИРИ - Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации
СУБД - система управления банком данных

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Ю. М. Д е н и с о в, А. С. Н и к у л и н, В. Р. К о м а р о в а. О возможности использования гидравлических формул для вычисления расходов и стока воды на реках с интенсивно деформируемыми руслами 5

А. С. Н и к у л и н. Оценка точности гидрометрического учета речного стока с использованием кривых расходов 11

В. Р. К о м а р о в а. К вопросу о возможных систематических погрешностях измерения расходов воды на среднеазиатских реках 17

С. Л. П е т р о в, Б. К. Ц а р е в. Электронный справочник по морфометрии бассейнов горных рек. 33

Ю. Н. И в а н о в. Результаты сравнения вычислений расходов воды программными комплексами CADAS-2 и HYDATA . . 38

Ю. Н. И в а н о в, И. А. Ч у л п а н о в а. Водные ресурсы бассейна р. Ахангаран 57

Ю. М. Д е н и с о в, А. И. С е р г е е в, Т. Л. И б р а г и м о в а. Новый подход к разработке метода долгосрочного прогноза стока горных рек 89

Ф. Э. Р у б и н о в а. Закономерности антропогенных изменений стока рек Средней Азии. 95

Ф. Э. Р у б и н о в а. Трансформация годового стока и качества воды Амударьи под влиянием водных мелиораций в ее бассейне 102

Ф. Э. Р у б и н о в а, С. И. Д о р о н и н а. Влияние водохранилищ на водные ресурсы рек Сырдарья и Амударья. . . 118

Ф. Э. Р у б и н о в а, Л. М. К у р о п а т к а. Влияние русловых водохранилищ на гидрохимический режим рек Средней Азии 131

Ф. Э. Р у б и н о в а. Влияние водохранилищ на термический режим рек Средней Азии 141

В. М. Д у б и н с к и й, М. А. Л е б е д е в а, А. А. А з и з о в. Метод оценки вторичных водных ресурсов для водоснабжения в Алмалык-Ахангаранском агропромрайоне Ташкентской области 158

А. С. Щ е т и н н и к о в, А. В. Я к о в л е в. Состав и функциональные возможности банка данных "ледники" на ПЭВМ 167

Г. Е. Г л а з ы р и н, Е. Л. Г л а з ы р и н а, Г. Н. Т р о ф и м о в. Возможность существования оледенения на северных склонах хребта Каратепе в позднем плейстоцене и голоцене 179

Ф. А. М у м и н о в, В. О. У с м а н о в, Э. Д. Ч о л п а н к у л о в. К вопросу организации водно-балансовых станций и экспериментальных гидрометеорологических баз на территории Среднеазиатского региона 187

Ю. М. Денисов, А. С. Никулин,
В. Р. Комарова

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ РАСХОДОВ И СТОКА ВОДЫ НА РЕКАХ С ИНТЕНСИВНО ДЕФОРМИРУЕМЫМИ РУСЛАМИ

Определение стока рек по территории Центральной Азии, относящейся к аридной зоне земного шара, является весьма актуальной задачей наших дней. Однако точное его определение крайне затруднено из-за деформации русел подавляющего числа рек региона. Кроме отсутствия устойчивой связи расходов воды с уровнями в реке - $Q = f(H)$ дополнительную трудность вносят значительные временные затраты на определение скорости течения при измерении расхода воды. Особенно это сказывается на точности измерения на гидрологических постах нижнего течения Амударьи, когда часто при измерениях наблюдается плавноизменяющееся неустановившееся движение воды. Для более надежного измерения расходов воды и учета стока необходимо привлекать дополнительные гидравлические характеристики потока.

С этой целью нами предложено использовать гидравлические зависимости речного потока [1].

Рассмотрим участок потока и силы, действующие на него. Первой из них, действующей вдоль выбранного нами участка длиной dS, является составляющая силы тяжести:

$$\rho\omega dSg\sin\alpha,$$

где ρ - плотность воды, ω - площадь поперечного сечения потока, g - ускорение свободного падения, α - угол наклона речного потока к поверхности земли, который можно выразить как падение высотных отметок поверхности воды по длине - dz_n/dS.

Второй действующей силой является сила турбулентного трения:

$$-k_T\rho\chi dS|u|u, \qquad (1)$$

где $k_т$ - коэффициент трения, χ - смоченный периметр, u - скорость движения воды.

Третьей действующей силой является торцевая [2], с которой действует на участок реки сам поток, растягивая или сжимая его:

$$\omega\beta(d^2u/dS^2)dS,$$

где β - динамический коэффициент турбулентной вязкости.

Четвертой действующей силой будет сила инерции:

$$-\rho\omega dS(du/dt),$$

где du/dt - полная производная потока во времени.

Используя принцип д'Аламбера, приравняем все вышеперечисленные силы к нулю и получим следующее уравнение:

$$-\rho\omega dSg(dz_n/dS)-k_т\rho\chi dSu^2+\beta\omega(d^2u/dS^2)dS-\rho\omega dS(du/dt) = 0. \quad (2)$$

Разделим каждый член уравнения (2) на $\rho\omega dS$ и перенесем инерционный член вправо:

$$-g(dz_n/dS)-k_т(1/R)u^2+(\beta/\rho)(d^2u/dS^2) = du/dt, \quad (3)$$

где $\omega/\chi = R$ - гидравлический радиус, β/ρ - кинематический коэффициент турбулентной вязкости.

Представим изменение скорости потока во времени в частных производных. Тогда уравнение (3) примет следующий вид:

$$du/dt+u(du/dS) = -g(dz_n/dS)-(k_т/R)u^2+(\beta/\rho)(d^2u/dS^2).$$

Теперь рассмотрим уравнение неразрывности потока:

$$u\omega-[u\omega+(du\omega/dS)dS]-i_ф\chi dS-EBdS+a_xBdS = (d\omega/dt)dS. \quad (4)$$

В данном уравнении: $u\omega$ - расход воды в начале гидрометри-

ческого участка; $u\omega+(du\omega/dS)dS$ - расход воды в конце гидрометрического участка; $i_\Phi \chi dS$ - фильтрация воды на участке потока (i_Φ - фильтрационный параметр); $EBdS$ - испарение воды на участке потока (E - слой испарения, B - ширина потока); $a_x BdS$ - количество осадков, поступающих на участок потока (a_x - слой осадков); $(d\omega/dt)dS$ - изменение объёма воды на вышеуказанном участке.

В уравнении (4) раскроем скобки, перегруппируем его члены и поделим каждый член уравнения на dS:

$$d\omega/dt+du\omega/dS = B(a_x-E-\chi i_\Phi/B).$$

После некоторых преобразований получим следующее выражение:

$$d\omega/dt+u(d\omega/dS)+\omega(du/dS) = B(a_x-E-i_\Phi\chi/B).$$

из которого следует:

$$du/dS = 1/\omega[B(a_x-E-i_\Phi\chi/B)-ud\omega/dS-d\omega/dt]. \qquad (5)$$

Из уравнений движения (1) и неразрывности (5) составим систему уравнений:

$$\begin{cases} du/dt+udu/dS = -gdz_n/dS-u^2k/R+\beta/\rho d^2u/dS^2. \\ du/dS = 1/\omega[B(a_x-E-i_\Phi\chi/B)-ud\omega/dS-d\omega/dt]. \end{cases}$$

Измерение расхода воды производится за относительно непродолжительный отрезок времени, когда можно считать движение в реке квазиустановившимся. Тогда мы можем пренебречь изменением скорости и площади сечения потока во времени, а также изменением объема воды на участке за счет фильтрации, испарения и осадков. Торцевые силы будем считать незначительными и приравняем их нулю. Система будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} udu/dS = -gdz_n/dS-u^2k_T/R, & (6) \\ du/dS = -1/\omega ud\omega/dS. & (7) \end{cases}$$

Объединим уравнения (6) и (7) в одно и проведем ряд математических преобразований:

$$-u^2 1/\omega d/\omega S = -g dz_n/dS - u^2 k_T/R,$$

$$u^2 (k_T/R - 1/\omega d\omega/dS) = -g dz_n/dS,$$

$$u^2 k_T/R (1 - 1/k_T R/\omega d\omega/dS) = -g dz_n/dS.$$

Тогда

$$u^2 = \frac{-gR dz_n/dS}{k_T (1 - 1/k_T R/\omega d\omega/dS)},$$

$$u = \sqrt{\frac{-gR dz_n/dS}{k_T (1 - 1/k_T R/\omega d\omega/dS)}}.$$

$$u = \sqrt{\frac{g}{k_T}} \sqrt{\frac{-R dz_n/dS}{1 - 1/k_T R/\omega * d\omega/dS}}. \qquad (8)$$

Так как первый множитель $(g/k_T)^{1/2}$ есть коэффициент Шези, проведем следующие математические преобразования:

$$(g/k_T)^{1/2} = R^y/n,$$

$$g/k_T = R^{2y}/n^2,$$

$$k_T = (n^2/R^{2y}) g .$$

Теперь представим уравнение (8) в следующем виде:

$$u = \frac{R^y}{n} \sqrt{\frac{R(-dz_n/dS)}{1 - (R^y/n)^2 R/g\omega d\omega/dS}}. \qquad (9)$$

Таким образом, мы получили уравнение, по которому можем рассчитать скорость воды в реке при установившемся неравномер-

ном движении потока. Для её вычисления нужно знать уклон водной поверхности $-dz_п/dS$, изменение площади водного сечения на участке $d\omega/dS$, площадь водного сечения ω, гидравлический радиус R и коэффициент Шези.

Наибольшую сложность в определении значений исходных параметров представляют уклон свободной водной поверхности и коэффициент Шези.

Сложность определения уклона заключается не столько в технических средствах измерения, сколько в физическом истолковании самой величины. Традиционно уклон определяется как разность отметок в верхнем и нижнем створах на единицу длины. Иными словами, вычисляется тангенс угла наклона линии падения отметок уровня к линии на земной поверхности. В действительности, в самом термине "уклон свободной водной поверхности" звучит слово "поверхность". То есть необходимо вычислять синус угла наклона плоскости зеркала водной поверхности реки к горизонтальной плоскости. Ввиду вышеизложенного уклон водной поверхности находился между горизонтальной плоскостью и водной. Последняя определялась через аппроксимацию шести одновременных значений уровня воды на участке методом наименьших квадратов. Минимизация отклонений уровней от расчетной плоскости снижает погрешности измерения и дополнительно увеличивает точность определения уклона свободной водной поверхности.

Для определения коэффициента Шези [3] рассмотрим уравнение:

$$u = R^y/n(RI)^{1/2}. \qquad (10)$$

Проведем преобразования и прологарифмируем уравнение (10):

$$\lg u = (y+0,5)\lg R+\lg I^{1/2}n. \qquad (11)$$

Выражение (11) представляет собой линейное уравнение, описывающее связь логарифмов скорости потока и его глубины.

Данные, полученные при проведении экспериментальной проверки предлагаемого метода, показывают возможность применения гид-

равлических формул при определении расхода и стока воды на реках с интенсивно деформируемыми руслами. Наиболее перспективно его применение на гидрологических постах, производящих вододеление между независимыми государствами Центральной Азии, за счет сокращения времени производства работ по измерению расхода воды.

Для оценки точности предлагаемого метода на посту р. Келес - устье были проведены параллельные вычисления расходов воды предлагаемым методом и измерения обычным вертушечным способом.

Средняя квадратическая погрешность расхода воды, рассчитанного с помощью гидравлической формулы (11), составила 9,7%, при случайной погрешности измерения расхода традиционным методом по данному посту 6,7%. Погрешность учета стока предлагаемым методом составляет по сравнению с данными "Гидрологического ежегодника" за данный год 8,8%, а оперативный учет стока имеет погрешность 15,5% по сравнению с "Ежегодником".

Список литературы

1. Денисов Ю. М., Загиров Э. Г. О скоростном коэффициенте Шези и о возможности его применения в условиях неравномерного движения //Тр. САНИГМИ. - 1975. - Вып. 26 (107). - С. 133-138.

2. Денисов Ю. М., Зияходжаев М. З. О движении воды в руслах рек (каналах) с учетом динамических возмущений // Изв. АН Узбекистана, сер. техн. наук, - 1977. - N 6. - С. 72-74.

3. Денисов В. М. О средней скорости равномерного движения безнапорных турбулентных водотоков //Тр. САНИИ. - 1982. - Вып. 94 (175).- С. 66-74.

А. С. Никулин

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО УЧЕТА РЕЧНОГО СТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИВЫХ РАСХОДОВ

В настоящее время существует несколько официальных документов по оценке точности гидрометрического учета речного стока [3-5]. "Наставление" [5] позволяет априорно определить погрешность учета стока в зависимости от метода и условий его учета, но не рассматривает ее для каждого конкретного поста на основе имеющихся наблюдений. "Методические указания" [3] и "Методические рекомендации" [4] погрешность учета стока оценивают на основе гидравлико-статистической обработки измеренных расходов воды, но не учитывают применяемый метод восстановления гидрографа и дают среднее значение погрешности за рассматриваемый период.

В [3, 4] не учитывается профессионализм исполнителей. Как показали Т. И. Васильева, Ю. Н. Иванов и В. Р. Комарова [1], разница значений подсчитанных ежедневных расходов воды различными специалистами может достигать в отдельные периоды 45%.

Кроме того, необходимо определить не только погрешность гидрометрического учета речного стока в среднем за год, но и ее изменение по сезонам или месяцам года. В связи с этим рассмотрим возможные погрешности методов восстановления гидрографа с учетом погрешности измерения как расхода, так и уровня воды.

Методы гидрометрического учета речного стока можно разделить на две группы: методы, использующие зависимость расходов воды от уровней (КРВ), и различные интерполяционные методы. В данной работе мы рассмотрим погрешности гидрометрического учета речного стока по зависимости расходов от уровней воды, обладающей большим субъективизмом. Оценка точности учета стока интерполяционными методами на данный момент тщательно изучена и описана в соответствующих работах [3, 4, 6].

Рассмотрим погрешности при однозначной зависимости $Q=f(H)$. Так как КРВ осредняет поле точек $Q=f(H)$, средняя случайная погрешность ЕРВ, по У. Херши [6], значительно меньше погрешности от-

дельных измеренных расходов $б_к$:

$$б_о = б_к / \sqrt{n},$$

где $б_о$ и $б_к$ - соответственно, погрешности ЕРВ и рассеяние измеренных расходов от КРВ, n - число измерений.

Однако, как правильно заметил И. Ф. Карасев [2], этот эффект достигается лишь при сравнительно большом количестве измерений, равномерно распределенных по амплитуде колебания уровня воды.

Практически это требование трудно соблюсти. В связи с этим построенные или аппроксимированные КРВ отклоняются от действительного положения за счет отсутствия достаточного числа измерений. При достаточно равномерном распределении измерений по фазам режима ($n_ф$) для определения случайной погрешности ЕРВ предлагается уравнение [2]

$$б_о = б_к \sqrt{n_ф / n}.$$

При отсутствии равномерного распределения наблюдений погрешность определения ЕРВ по устойчивой кривой [4-6] может быть оценена соотношением

$$б_о \approx б_к \approx б_и.$$

где $б_и$ - погрешность измерения расхода воды.

При неоднозначной зависимости Q = f(H), если временные кривые обоснованы большим количеством измерений (не менее 15-20), каждая из них рассматривается как однозначная кривая, и тогда оценка точности подсчета стока может быть проведена как для устойчивой КРВ.

Перед тем, как рассмотреть погрешность восстановления гидрографа методом временных кривых расходов воды (ВКРВ), попытаемся понять, что же представляют собой ВКРВ? Несомненно, ВКРВ есть графическая иллюстрация связи между расходами и уровнями воды. Эта аппроксимация, выполненная "на глаз", не основывается на математических вычислениях. Кроме того, измеренные расходы воды часто не могут охватить всю амплитуду колебания уровня во-

ды. В связи с этим погрешность графической интерполяции корректней представлять средним квадратическим рассеиванием от данной кривой

$$б_к = \sqrt{\frac{\Sigma(Q_{и1} - Q_{к1})2}{n - 1}}, \qquad (1)$$

где $Q_{и1}$ - измеренный расход воды, $Q_{к1}$ - расход воды, снятый с ВКРВ, n - количество расходов воды, участвующих в построении ВКРВ.

При нахождении временной зависимости Q=f(H) специалист, проводящий учет стока, определяет время её существования не на основе статистической значимости связи, а путем анализа всего комплекса информации. Поэтому число измеренных расходов воды при построении достоверной ВКРВ может быть меньше, чем необходимо при статистической оценке процесса, но не менее пяти [3], и может быть вполне достаточным для использования уравнения (1).

Точность определения ЕРВ по ВКРВ также зависит от точности определения ежедневного уровня воды. Используя неверное значение уровня, мы неверно снимаем значение расхода по кривой. Иными словами, погрешность ЕРВ за счет погрешности уровня $б_н$ равна $dQ_к$, которая определяется как $dQ_к = f(dH_{ср})$. Отсюда

$$б_н = f(dH_{ср}).$$

где $dH_{ср}$ - погрешность определения среднесуточного уровня воды.

Значение $б_н$ можно определить по $dH_{ср}$, используя таблицу координат Q = f(H), составленную при обработке данных по стоку воды.

При наличии систематических ошибок в определении расходов или уровней воды будет происходить сдвиг кривой расходов. Так, при систематическом завышении расходов воды КРВ поднимется вверх, при занижении - опустится вниз. При систематическом завышении уровней КРВ сдвинется вправо, при занижении - влево. Следует отметить, что систематическая погрешность определения

среднего суточного уровня воды не будет оказывать никакого влияния на точность учета стока, т. к. проекция КРВ на ось расходов воды перемещаться не будет. В случае систематической погрешности измерения расхода воды $б_{Qс}$ погрешность учета стока за счет данного фактора $б_{Sс}$ будет равна самой систематической погрешности измерения $б_{Qс}$. Однако это действительно лишь для случаев постоянной систематической погрешности определения уровня во времени. Следовательно, мы можем вывести формулу, по которой может оцениваться погрешность определения ЕРВ при использовании КРВ. Она будет состоять из меры рассеивания точек от кривой расходов $б_к$, погрешностей за счет неправильности определения среднесуточного уровня $б_н$ и наличия систематической погрешности уровенных наблюдений $б_{Sс}$. Погрешности $б_к$, $б_{нс}$ и $б_н$ взаимно некоррелируемые. Поэтому погрешность определения ЕРВ по ВКРВ можно определить методом частных погрешностей

$$б_о = \sqrt{б_к^2 + б_н^2 + б_{Sс}^2} \quad . \qquad (2)$$

Следует повторить, что $б_н$ существует только при использовании водомерной рейки для измерения уровня воды. При использовании самописца уровня воды $б_н$ отсутствует.

На основе большого количества натурных исследований на гидрометрических постах Центральной Азии в разнообразных природных и гидрологических условиях (начиная с горных потоков Памира и кончая низовьями Амударьи), проведены анализ и систематизация суммарной случайной погрешности определения уровня воды в зависимости от гидравлических условий потока. Погрешности систематизированы согласно классификации гидрометрических постов Средней Азии, разработанной в отделе гидрологических исследований САНИГМИ (табл. 1).

При использовании самописца исключаются погрешности дискретизации наблюдений и отсчета.

Погрешность определения ЕРВ зависит также от правильности перехода от одной кривой расходов к следующей, от правильности отнесения конкретного измерения расхода к определенной ВКРВ.

Таблица 1

Суммарная случайная погрешность определения среднего суточного уровня воды по водомерной рейке, см.

Гидрологический режим	Наполнение русла		
	малое	среднее	высокое
Естественный	0,5	2,1	3,5
На большом удалении от гидросооружения	0,5	0,7	1,2
Ниже гидросооружения	0,5	2,2	4,3
Выше гидросооружения	0,5	0,7	1,0

Для повышения объективности этого процесса предлагается критерий $r(\tau)$.

Изменение пропускной способности русла в результате деформации, подпора, зарастания, ледовых образований приводит к нарушению связанности расходов воды как элементов, составляющих реализацию случайного процесса $Q(t)$.

Характеристикой пропускной способности русла является временной ряд отклонений измеренных расходов воды от стандартной (осредненной) кривой расходов воды (dQ_1). При действии одной конкретной ВКРВ этот временной ряд будет считаться реализацией случайного квазистационарного процесса. Таким образом, если отношение отклонений между двумя последовательно измеренными расходами воды будет ниже, чем значение их среднего коэффициента корреляции, то произойдет изменение в пропускной способности русла, и последний расход воды нужно отнести к другой ВКРВ или применять другие методы интерполяции [2].

В виде неравенства это можно записать так:

$$q_м / q_б < r(\tau), \qquad (3)$$

где $q_м$ и $q_б$ - два сравниваемых расхода ($q_м$ меньше по величине.

чем $q_б$). $r(\tau)$ – автокорреляционная функция временного ряда измеренных расходов воды, τ – шаг корреляции, равный промежутку времени между измерениями $q_м$ и $q_б$.

В заключение подведем итоги. Точность учета стока при однозначной зависимости Q = f(H) будет равна мере рассеивания точек данной зависимости. При неоднозначной зависимости погрешность ЕРВ будет соответствовать погрешности метода учета стока и рассчитываться при методе ВКРВ по формуле (2). При переходе с одного метода на другой дополнительно применяется неравенство (3).

Список литературы

1. Васильева Т. И., Иванов Ю. Н., Комарова В. Р. Некоторые результаты сравнения методов вычисления ежедневных расходов воды. // Тр. САНИГМИ. 1977. - Вып. 52. - С. 95-112.

2. Карасев И. Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 312 с.

3. Методические указания республиканским и территориальным управлениям по гидрометеорологии и контролю природной среды, N 90 - Составление русловых водных балансов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1977. - 104 с.

4. Методические рекомендации по оценке точности и гидрологическому контролю данных государственного учета вод и их использование. - Л.: Гидрометеоиздат, 1977. - 100 с.

5. Наблюдения на гидрометеорологической сети. Определение понятий гидрометеорологических элементов и оценка точности наблюдений /Под ред. О.А.Городецкого. - Л.: Гидрометеоиздат, 1970. - 90 с.

6. Herschy R. W. The magnitude of errors of flow measurements stations hydrometry. Proc. Koblenz Symp., UNESCO-WMO-IAHS. -1973. vol. 2. - p. 109-131.

В. Р. Комарова

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНЫХ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ НА СРЕДНЕАЗИАТСКИХ РЕКАХ

В настоящее время в Средней Азии практически не осталось ни одного водотока с естественным режимом питания. В условиях развитого орошения правильное распределение водных ресурсов, особенно при их ограниченности, невозможно без наличия надежных данных о стоке.

Учет стока на среднеазиатских реках производится в сложных условиях протекания потока: высокие скорости, деформируемые русла, неустановившийся режим, переменный подпор и др. Информация об уровнях и расходах воды не всегда обладает достаточной точностью, что выявляется при увязке стока по длине рек и в гидрографических узлах. Для многих постов фактические погрешности измерения гидрологических элементов не устанавливались или оценивались без учета факторов, влияющих на точность результатов.

В связи с этим в последнее десятилетие в САНИГМИ велись работы по выбору метода оценки точности измерений и проведению опытных аттестаций методик измерений на гидрологических постах. Для этого использованы материалы экспедиций ГГИ на горных реках и на Амударье, а также материалы по увязке стока в отдельных гидрографических узлах.

Как известно, любой процесс измерения, в том числе и расходов воды, содержит ошибки, которые подразделяются на систематические, случайные и промахи измерений.

Случайные погрешности характеризуют точность измерений, то есть их качество, они являются неопределенными по своей природе и в их появлении не наблюдается закономерности. В процессе вычисления расхода воды случайные ошибки, допущенные при измерении глубин и скоростей в отдельных точках, в значительной мере компенсируются. Влияние случайных погрешностей на подсчет

стока в некоторой степени исключается и в тех случаях, когда для вычисления используются кривые и графики, осредняющие результаты разовых определений расходов воды. Результаты проведенных исследований показали, что случайные погрешности измерения зависят от морфометрических и гидравлических характеристик русла, а также от типа и состояния измерительного комплекса. В среднем эта величина составляет 4-6 %, а наибольшие величины погрешностей наблюдаются при измерениях в валунно-галечниковом и песчано-илистом руслах и могут достигать 10-15 %.

Следует отметить, что даже при благоприятных условиях измерения расход воды может быть ошибочным вследствие возникновения систематических погрешностей. В ряде случаев их величина может превышать по величине случайные погрешности и достигать 10-20 % и более. В отличие от случайных, они остаются постоянными или изменяются закономерно, сохраняя связь с вызывающими их факторами.

Промахи измерений возникают из-за недостаточного внимания специалистов, производящих измерения. При анализе полевого материала эти расходы "вылетают" из общего направления кривой расходов. Такие расходы исключаются из общего ряда наблюдений.

Зачастую о наличии систематических ошибок можно судить только в процессе составления водного баланса рек и водохранилищ при получении больших невязок стока. Априорно определить источник систематических погрешностей невозможно. Только выезд на место работ позволяет выявить их и устранить. При отсутствии ежедневной оперативной информации по стоку рек систематические погрешности могут быть обнаружены лишь в процессе обработки и анализа данных за прошедший год. Однако подобные ошибки не всегда могут быть исключены из-за неясности причин их обуславливающих.

Несмотря на актуальность вопроса для практической гидрометрии по территории бывшего СССР, очень мало работ, посвященных этой проблеме [1-4, 7-8].

В настоящей статье на основании большого опыта работ по выявлению причин невязок стока на гидрографических узлах и водохранилищах, методических работ, опытной аттестации гидрологи-

ческих постов определены основные источники систематических ошибок и их значения при измерении скорости и площади водного сечения потока.

Следует подчеркнуть, что возникновение систематических погрешностей индивидуально для каждого конкретного поста. Для гидростворов, где отсутствует возможность составления руслового водного баланса, вполне реальна возможность существования невыявленных систематических погрешностей, которые могут наблюдаться только в отдельные периоды. Проводимые станциями или отделом гидрологии Узглавгидромета инспекции постов один или два раза в год, не всегда в состоянии обнаружить не только величины, но и даже наличие таких ошибок, так как на момент инспекции они могут отсутствовать.

Рассмотрим основные причины, обусловливающие возникновение систематических погрешностей измерения каждого из элементов расхода воды. В регистрации уровня воды систематические погрешности могут возникать при многорукавном русле из-за нерепрезентативности места установки рейки. На сильно деформируемых реках сток может осуществляться по нескольким рукавам. В отдельные годы их число может быть значительным. Высотное положение русел при этом может быть неодинаковым, а уровенные наблюдения, проводимые в одном русле, не всегда отражают реальную картину изменения водности реки. Так, например, длительные экспедиционные исследования, проведенные на р. Карадарья показали, что одной из основных причин систематических погрешностей (в месячном значении доходящих до 40 %) является нерепрезентативность уровенных наблюдений при плановых деформациях русла, когда систематическая ошибка их в отдельные периоды достигала 40 см.

Как известно, процесс измерения расхода воды состоит из ряда прямых измерений площади и скорости. В свою очередь, определение площади состоит из двух этапов: измерения расстояния между вертикалями и глубины на них.

В измерении расстояний между вертикалями для створов с жестким закреплением вертикалей (на канате или перилах мостика) систематические погрешности могут возникать при неправильной первоначальной разбивке вертикалей. В русловом водном балан-

се при этом будут наблюдаться постоянные невязки в течение длительного времени.

Значительно возрастает возможность появления систематических погрешностей при определении местоположения вертикалей методом засечек. Небрежная, неквалифицированная работа с мензулой вызывает ошибки, которые могут достигать 10 % (р. Амударья) [8].

При измерениях глубин штангой (наметкой) возможно появление систематических ошибок на створах с мягким грунтом, типа песчано-илистого, илистого, супесчаного и т.п. При работе штангой без ограничительного поддона происходит завышение глубин на 3-10 см из-за погружения ее в глубь грунта. Относительная погрешность при этом становится более значимой для створов с малыми глубинами (до 20 %). По мере роста глубин относительное завышение становится меньше и при глубинах 2,5 м составляет около 2 %. Для исключения систематического завышения глубин при измерениях их штангой или наметкой при мягких грунтах следует применять поддон. При работе штангой на жестких руслах (бетонированных) может возникать систематическое занижение глубины из-за дополнительного учета величины наконечника штанги (3 см), который не углубляется в грунт. При малых глубинах (0,15-0,20 см) занижение достигает 15 %, при 2,5 м - 1 %. Во избежание систематического занижения глубин при жестких руслах величину наконечника следует прибавлять к измеренному значению глубины.

Систематические погрешности в измерении глубины грузом могут возникать в трех случаях: 1) при неисправности счетчика; 2) при недостаточности веса груза; 3) при наматывании каната во второй ряд на барабан лебедки.

В первом случае ошибки в зависимости от конкретной поломки счетчика могут быть как положительными, так и отрицательными. Для ликвидации систематических ошибок, связанных с показаниями счетчика, один раз в год необходима упрощенная поверка счетчика в полевых условиях.

Возникает систематическое занижение глубин при наматывании каната на барабан во второй ряд. Занижение глубины зависит от количества витков, намотанных во второй ряд, и типа лебедки.

Например, при диаметре каната 3 мм занижение глубины на каждый оборот барабана для лебедки "Луга" составляет 6,3 %, для ГР-36 - 12,5 %, для ГР-65 - 15.0 %. Во избежание указанных систематических погрешностей работа на лебедке должна производиться только при исправном канатоукладчике.

При опускании груза в поток незначительные отклонения каната от вертикали наблюдаются практически всегда. При величине отклонения 5-10° поправками на относ каната можно пренебречь ввиду их незначительности. При больших значениях угла необходимо вводить поправки, так как величина погружения груза оказывается меньше, чем длина вытравленного каната.

Относ каната может наблюдаться как в течение всего года, так и только в периоды с повышенной водностью. Для ликвидации систематических ошибок, связанных с относом каната, существует несколько путей: 1) увеличение веса груза, 2) учет величины относа каната, 3) применение оттяжного каната.

На реках, имеющих большие скорости течения, при возникновении относа каната груз меняют на другой с большим весом (50 или 100 кг) до прекращения относа. При использовании 100-килограммового груза на створах, оборудованных паромами, катерами, и отклонении его более, чем на 10°, вводится поправка на относ каната с обязательным введением ее на надводную часть, так как при больших углах относа величина этой поправки соизмерима, а иногда и выше, чем поправка на подводную часть. Величина систематического завышения расхода воды при отсутствии регистрации относа каната (до 25° при среднем 14°) составляет 2-3 %.

На горных водотоках, оборудованных люлечными переправами со средним и высоким подвесом (5-10 м над водной поверхностью в межень), при скоростях течения 3-4 м/с грузы весом 100 кг не всегда могут обеспечить работу без отклонения каната. Проведенные расчеты показали, что ликвидация относа каната для подобных створов возможна при применении груза в 300 кг. Для работы со столь тяжелым грузом необходимо создание электрифицированной системы поднятия и опускания груза, а также передвижения люльки. Разработка указанной системы связана с финансовыми и техническими трудностями.

На горных водотоках, оборудованных люлечными переправами с высоким подвесом над поверхностью воды, отсутствие измерения угла относа каната приводит к очень значительному завышению глубин. Систематическое завышение площади водного сечения при среднем угле относа каната в 24° может достигать 20 %. Для устранения систематического завышения площади водного сечения следует измерять угол относа каната, начиная с 5°, при этом введение поправок на надводную часть его обязательно, ввиду их значительного превышения (в 2-5 раз) поправок на подводную часть [3].

Величина завышения площади водного сечения может быть оценена на основе регрессионного анализа. Для этой цели использовались экспериментальные данные по постам Средней Азии, имеющие разные условия измерения. Для 100-килограммового груза получено следующее уравнение:

$$\Delta F_{отк} = 8.98\ V_{ср} + 0.46\ h_{ср} - 18.6,$$

где $\Delta F_{отк}$ - завышение площади водного сечения при неучете угла относа каната, %; $V_{ср}$ - средняя скорость потока, м/с; $h_{ср}$ - средняя глубина потока, м.

Здесь же следует остановиться на вопросе погружения груза с вертушкой на заданную глубину. Наиболее обстоятельно он рассмотрен в работе Г. В. Железнякова [5], где описана методика введения поправок к подводной части каната для погружения гидрометрических приборов на заданные глубины. Однако на практике при измерении расходов воды вертушка опускается на заданную глубину, исходя из измеренной глубины, без учета угла относа каната. При этом допускается систематическая погрешность из-за неправильного определения глубины погружения вертушки. Нами проведены методические работы по оценке систематической погрешности в измерении площади водного сечения и скорости потока при различном отклонении каната на створах с различными условиями измерения. Краткие сведения об условиях измерительных комплексов: р. Сырдарья - кишл. Кзылкишлак - измерения с парома, длина надводной части каната 1.5 м; р. Чирчик - г. Газалкент - с люльки, с высотой подвеса 3.3 м; р. Чаткал - устье р. Худайдотсай - с люльки, высота подвеса 7.8 м.

Обработка полевого материала показала, что существует зависимость угла относа каната у дна от угла относа на поверхности потока. Определялась необходимая глубина опускания вертушки, и по расчетной эпюре для каждой вертикали вычислялась скорость в измеряемой точке.

Анализ полученного материала показал, что систематические погрешности за счет неправильного опускания вертушки на заданную глубину отсутствуют на створах, оборудованных паромами, а также люльками со средним подвесом ее, и очень незначительны при измерениях с люлек с высоким подвесом. Основные систематические погрешности возникают при неучете угла относа каната (табл. 1).

Таким образом, принятая на гидрометрических постах методика опускания вертушки на заданную глубину из расчета полной глубины не вносит систематических погрешностей в измерение скорости.

При средних и высоких подвесах люльки и больших скоростях течения применяется метод оттяжек. При этом может возникать несколько ситуаций в положении груза в потоке: 1) оттяжной канат устраняет отклонение измерительного каната вдоль потока и уменьшает маятниковое раскачивание груза поперек потока; 2) оттяжной канат не устраняет отклонение измерительного каната вдоль потока, но уменьшает раскачивание груза; 3) оттяжной канат подтягивают до тех пор, пока измерительный канат не примет вертикального положения в воздухе.

В течение года на посту могут появляться все вышеописанные ситуации. В первой из них систематические ошибки отсутствуют, а существуют только случайные ошибки.

Во второй ситуации возникают систематические погрешности, характерные для створов при отклонении каната без применения оттяжек.

Большие систематические ошибки возникают в третьем случае, то есть при подтягивании груза оттяжным канатом до тех пор, пока надводная часть измерительного каната не примет вертикального положения. Считается, что при незначительном отклонении надводной части измерительного каната от вертикали различием между

Таблица 1

Площади водного сечения и расходы воды при различных методиках измерения и систематические погрешности их определения

Элементы измерений и расчета	р. Сырдарья - кишл. Кзылкишлак		р. Чирчик - г. Газалкент		р. Чаткал - устье р. Худайдотсай	
	Величина	Р %	Величина	Р %	Измерения	Р %
Наибольший угол относа каната при измерении, градусы	20		13		26	
Площадь водного сечения:						
с полным учетом угла относа каната F, $м^2$	707		267		137	
с учетом относа только подводной части каната F_1, $м^2$	711	0,6	273	2,2	137	12,4
без учета угла относа каната F_2, $м^2$	718	1,6	275	2,6	159	16,1
Расход воды при различной площади F и скорости v, $м^3/с$:						
F и v наблюденные	1064	0,0	797	0,9	407	0,5
F и v с учетом отклонения каната	1064	0,0	797	0,0	405	0,0
F_1 и v наблюденная	1072	0,6	809	1,5	463	14,3
F_1 и v с учетом отклонения каната	1072	0,6	809	1,5	472	16,5
F_2 и v наблюденная	1085	1,6	812	1,9	477	17,7
F_2 и v с учетом отклонения каната	1085	1,6	812	1,9	488	20,5

Примечание. Р % - величина систематических погрешностей, проценты от измеренных значений.

глубиной погружения прибора и длиной смоченной части каната можно пренебречь. На практике картина несколько иная. При данном способе промеров глубин зачастую теряется "ощущение" дна, что происходит из-за скольжения груза по дну при подтягивании его вперед. Только при многократном опускании и поднятии гру-

за и вертикальной раскачке люльки чувствуются удары груза о камни. Корректно решить гидродинамическую задачу с грузом и оттяжным канатом не удалось из-за трудности определения входных параметров. Решение ее графическим путем дает завышение площади водного сечения до 10 %.

Экспериментальные лабораторные исследования показали, что завышение глубины при использовании оттяжки и скорости потока <3 м/с составляет 5 %, при скоростях ⩾4 м/с - 7 %. Экспериментальных работ в поле не проводилось.

Следует отметить, что величина завышения глубин, а, следовательно, и площади водного сечения в значительной степени определяется субъективностью выполнения промерных работ наблюдателем. Во избежание возникновения систематических завышений глубин неопределенной величины указанный способ оттяжки (подтягивания груза вперед до вертикального положения измерительного каната) не следует применять.

Большое влияние на точность измерения площади водного сечения имеет погрешность дискретизации, зависящая от количества промерных вертикалей. При слабо деформируемом русле для достижения погрешности в 2 % при измерении площади водного сечения достаточно 20 промерных вертикалей. При средней и сильной деформации русла - 25 вертикалей, а при сильно деформируемом песчано-илистом русле (р. Амударья) количество вертикалей должно быть не менее 35. При недостаточном количестве вертикалей погрешность измерения площади водного сечения возрастает, и на отдельных постах, имеющих правильную параболическую форму, становится источником систематического занижения площади (на 3-5 %) вследствие замены дуг хордами.

Рассмотрим, какие систематические погрешности могут возникать при регистрации скорости потока. Во многом эти погрешности обуславливаются применяемым оборудованием. Наибольшие систематические погрешности возникают при применении груза ГИ-1, при работе с которым с люлечных переправ правильный выбор стабильного горизонтального его положения в потоке возможен только при наблюдении с берега. При небольшом погружении груза в поток, видимом с люльки, вертушка располагается в горизонтальной плос-

кости. При дальнейшем погружении груза поплавок несколько всплывает, в то же время передняя часть груза наклоняется вниз, тем самым ось вертушки наклоняется под углом к оси потока $\beta_к$. Возникает два рода систематических ошибок: 1) угол в вертикальной плоскости $\beta_к$; 2) занижение фактической глубины измерения скоростей по сравнению с расчетной. Как первый вид ошибок, так и второй вызывают небольшое систематическое занижение скорости из-за вертикальной косоструйности. Величина систематического занижения составляет 6,6 - 9,5 %.

Следует отметить, что изменение положения груза в глубине потока не может быть зафиксировано с люльки. Поэтому во избежании подобного рода систематических ошибок балансировку груза ПИ-I при измерении с люлечных переправ необходимо проводить только с берега, фиксируя положение груза на глубине 20 см и более.

Подобные ошибки могут возникать и при измерении с парома, хотя систематическая погрешность существенно меньше (до 2 %).

Большое систематическое занижение скорости течения может возникать при нарушении формы груза, в частности, при наваривании на его корпус дополнительных конструкций для отбора проб воды. В период паводка происходит наматывание мусора на наваренной решетке в передней части груза, вследствие чего она опускается с одновременным поднятием хвостовой части, в результате чего скорость систематически занижается на величину от 2 до 15%. Подобные ошибки обычно выявляются при расчете водного баланса, а в некоторых случаях - при смене груза. Для исключения этих ошибок категорически запрещено изменение конструкции гидрометрического груза.

На возникновение систематических ошибок скорости влияет схема крепления гидрометрической вертушки. При работе грузами с креплением вертушки на вертлюге возникают систематические погрешности при относе каната. Это связано с тем, что вертлюг, являясь продолжением каната, смещает ось вертушки в вертикальной плоскости на угол, близкий к углу сноса каната $\beta_к$. Вертушка оказывается заглубленной не на расчетную величину, а ниже нее. При относе измерительного каната на 12° неучтенное заглубление

вертушки ГР-21М составляет 4 см, при 25° - 8 см. Возникающие нарушения положения вертушки в потоке способствуют занижению скорости из-за угла косоструйности в вертикальной плоскости и вследствие более низкого расположения вертушки по сравнению с расчетной глубиной. Как показали методические работы, при подобной ситуации систематические ошибки, возникающие вследствие заглубления вертушки, превалируют, и измеренная скорость при этом систематически занижена. Таким образом, чем больше угол относа каната, тем на большую величину будет занижена скорость. В то же время при неучете угла относа каната возникает систематическое завышение площади водного сечения.

Около 90 % среднеазиатских рек обладают деформируемым руслом, многие из которых разбиваются на рукава. Наблюдается нарушение горизонтальности водной поверхности на створе, даже в пределах одного русла. Возможно перетекание воды из одного русла в другое, причем при весьма значительной глубине в месте перетекания. Эти причины способствуют образованию косоструйности. При наличии косоструйности появление систематических ошибок в измерении скорости зависит от способа ее регистрации. При жестком креплении компонентной вертушки на штанге перпендикулярно к створу регистрируется нормальная составляющая даже при косине потока около 40°. Погрешность измерения при этом составляет не более 5 %.

Регистрация скорости вертушками, установленными на кронштейне-выносе груза или на вертлюге, а также при установке вертушки с хвостовым оперением, свободно вращающейся на штанге, не исключает возникновения систематической погрешности при косоструйности.

В общем случае свободного подвеса вертушки проекция скорости на нормаль к створу (V_h) определяется из векторной диаграммы

$$V_h = V \cos \alpha_k \cos \beta_k,$$

где α_k - косоструйность в горизонтальной плоскости; β_k - косоструйность в вертикальной плоскости; V - измеренная скорость.

При размещении вертушки на грузе с использованием вертлю-

га, в отличие от установки на штанге, возможно возникновение угла $\beta_к$ при измерении больших скоростей, как было показано выше.

Отсутствие регистрации угла кососструйности вызывает завышение расхода воды на 2-50 %.

На основании исследовательских работ, проведенных на реках в Средней Азии, появилась возможность сгруппировать систематические ошибки по условиям измерения, измерительному комплексу, морфологическим характеристикам русла (табл.2).

Таблица 2

Возможные источники систематических погрешностей измерения расхода воды

Характеристика грунта русла	Оборудование гидростворa	Прибор	Источники систематических погрешностей	Систематические погрешности и их величина, %
Средняя и сильная деформация	Люлька, мостик, катер, паром, лодка	Рейка	Нерепрезентативность места установки водомерной рейки при разбиении русла на рукава	Занижение или завышение месячного стока до 40 %
При всех руслах	То же	Груз ГИ-I	При балансировке груза на поверхности потока возможно зарывание носа груза в глубине потока	Занижение скоростей на 2-10 %
То же	То же	Все виды груза	Наматывание мусора на груз и опускание носа груза при наваривании дополнительной конструкции на него	Занижение скоростей на 15 %
То же	То же	То же	При наличии относа каната и отсутствии его регистрации	Завышение площади водного сечения на 2-20 %

Продолжение таблицы 2

Характеристика грунта русла	Оборудование гидростворa	Прибор	Источники систематических погрешностей	Систематические погрешности и их величина, %
Валунно-галечниковый	Люлька с высоким и средним подвесом	Груз с оттяжкой	При сильном подтягивании груза до вертикального положения надводной части измерительного каната	Завышение площади водного сечения на 10%
То же	То же	То же	При относе измерительного каната те же погрешности, что и в п. 4	Завышение площади водного сечения на 2-20 %
Русла параболической формы	При всех измерительных комплексах	Все измерительные комплексы	Недостаточное количество промерных вертикалей	Занижение площади водного сечения на 2-5 %
При всех руслах	Люлька, мостик, паром, катер, лодка	Груз с вертушкой на вертлюге	Опускание носа вертушки при наличии относа каната	Занижение скорости на 2-10 %
Деформируемые русла	То же	Груз, штанга с вертушкой на свободном подвесе	При отсутствии регистрации угла косоструйности более 10°	Завышение скорости на 2-50 %
Валунно-галечниковый	Люлька, мостик	Штанга с жестким креплением вертушки	При косоструйности течения более 40°	Занижение скорости на 5-10 %
При всех руслах	При всех измерительных комплексах	Жесткое закрепление скоростных и промерных вертикалей	Неправильная первоначальная разбивка скоростных и промерных вертикалей	Систематическая ошибка в течение длительного времени

Продолжение таблицы 2

Характеристика грунта русла	Оборудование гидроствора	Прибор	Источники систематических погрешностей	Систематические погрешности и их величина, %
Песчано-илистый	Катер, лодка	Наметка, груз	Неквалифицированная работа с мензулой	Завышение или занижение расходов до 10%
При всех грунтах	Люлька, мостик, паром, катер, лодка	Груз	Неисправность счетчика лебедки	Систематическая ошибка в течение длительного времени
При всех грунтах	Люлька, мостик, паром, катер, лодка	Груз	Наматывание каната во второй ряд на барабан лебедки	Занижение площади до 3-6%
При всех грунтах	При всех измерительных комплексах	Все измерительные комплексы	Небрежная эксплуатация гидрометрических вертушек; применение нестандартных масел; заржавленность подшипников; деформация лопастных винтов	Занижение скорости до 25%
Песчано-илистый, илистый, супесчаный	Люлька, мостик, катер, паром, лодка	Штанга без поддона	Погружение штанги в мягкий грунт	Завышение площади на 2-10%
Бетонированное русло	Люлька, мостик	Штанга	Неучет длины наконечника штанги при жестком русле	Занижение площади на 0,4-15%

Выводы

Систематические погрешности измерений могут достигать тех

же значений, что и случайные, а в ряде случаев превышать их. Величина систематической погрешности может достигать 50 %.

Контролем качества наблюдений за стоком служит оперативный и режимный водный баланс участков рек, гидрографических узлов и водохранилищ.

Возникновение систематических погрешностей индивидуально для каждого поста и зависит от условий измерения морфометрических характеристик русла, оборудования, применяемых средств измерения и методики производства работ. Возможные систематические погрешности приведены в табл. 2.

Список литературы

1. Б и р и ц к и й М. И. Тенденция развития теории гидрометрической вертушки //Тр. V Всесоюзного гидрологического съезда. -1989. -Т. 3.- С. 380-384.

2. Б у р ц е в П. Н., С л о б с д я н Н. И. К вопросу о рациональном использовании схем установки гидрометрических вертушек при определении расхода воды // Тр. ГГИ. - 1971. - Вып. 189. - С. 73-78.

3. Б у р ц е в П. Н. Влияние турбулентности потока на показания гидрометрической вертушки // Тр. IV Всесоюзного гидрологического съезда. - 1976. - Т. II. - С. 156-162.

4. Ж е л е з н я к о в Г. В., Д а н и л е в и ч Б. Е. Точность гидрологических измерений и расчетов.- Л.: Гидрометеоиздат, 1966. - 240 с.

5. З а в ь я л о в К. Д., Б у р ц е в П. Н., Б ы с т р о в а Е. С. Результаты испытаний гидрометрических грузов в условиях горных рек // Тр.ГГИ. -1963. - Вып. 106. С. 123-130.

6. К а р а с е в И. Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 310 с.

7. Н а с т а в л е н и е гидрометрическим станциям и постам. Вып. 6, ч. I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978. - 384 с.

8. Раткович Д. Я. Исследование гидрометрических приборов в открытом потоке // Тр. Гидропроекта. - 1960. - Сборник 4. - С. 183-255.

9. Чельцов А. В., Печкурова Т. В., Кокоулина Е. С. Исследования межповерочных интервалов гидрометрических вертушек // Тр. V Всесоюзного гидрологического съезда. - 1989.-Т. 3.- С. 450-457.

Петров С.Л., Царев Б.К.

ЭЛЕКТРОННЫЙ СПРАВОЧНИК ПО МОРФОМЕТРИИ БАССЕЙНОВ ГОРНЫХ РЕК

При изучении природных ресурсов горных районов используется морфометрическая информация о бассейнах горных рек, прежде всего о площадях бассейнов, распределении их по высотным зонам выше замыкающих створов, средней взвешенной высоте бассейна. Исторически эти морфометрические характеристики были получены обработкой крупномасштабных карт для отдельных бассейнов и частично опубликованы [1]. Однако, до настоящего времени справочника или достаточно полного сборника с систематизированными данными не имеется. В связи с этим возникла необходимость в создании гибкой компьютерной системы, позволяющей расширять информационную базу морфометрических показателей данными для других бассейнов или горных районов, осуществлять быстрый доступ к нужной информации и ее вывод по запросу пользователя.

Для достижения указанной цели был собран имеющийся к настоящему времени материал по морфометрии бассейнов и разработана структура информационной базы, в которой ключевую роль играет так называемый условный номер территории (УНТ). УНТ сформирован как семизначный позиционный код, общее обозначение которого SORGBBU. Здесь S - номер горного региона (Средняя Азия S = 3), O - номер горной области в пределах региона (в нашем случае - Амударья, Сырдарья, Нарын и Чу, Талас, оз.Иссык-Куль), R - номер горного района в пределах области, G - номер группы бассейнов, BB - двузначный номер бассейна горной реки в пределах выделенной группы, U - номер локального участка в пределах рассматриваемого бассейна. Таким образом, УНТ служит для быстрой идентификации рассматриваемой горной территории с учетом ее принадлежности к соответствующему иерархическому уровню деления горного региона (табл.1) [2].

В информационную базу включен также набор графических файлов (типа UNT.pcx) для отображения гипсографических кривых бассейнов.

Таблица 1

Иерархические уровни деления горного региона Средней Азии и количество рабочих территорий

Номер уровня	УНТ S0RGBBU	Наименование	Число рабочих территорий
1	S000000	РЕГИОН	1
2	S000000	ОБЛАСТЬ	5
3	S0R0000	РАЙОН	14
4	S0RG000	ГРУППА БАССЕЙНОВ	26
5	S0RGBB0	БАССЕЙН РЕКИ	185
6	S0RGBBU	УЧАСТОК БАССЕЙНА	78

Основное программное обеспечение справочника - сервисная программа MRFSPRAV (рис. 1) - структурно состоит из основного и вспомогательного меню. В основном меню представлен список территорий с указанием УНТ и названия.

Вспомогательное меню позволяет осуществить следующие функциональные возможности:

а) получить помощь в виде обширной подсказки, в которой содержится подробная инструкция по правилам пользования и возможностям электронного справочника;

б) добавить морфометрические данные для новых территорий;

в) просматривать и редактировать данные, представленные в удобной табличной форме;

г) показать график гипсографической кривой (рис. 2);

д) искать необходимую информацию в списке по ключу (УНТ или названию территории);

е) вывести данные в виде таблицы на печать или создать текстовый файл с информацией по заданному УНТ;

ж) удалить объект из списка;

з) запустить диалоговую программу PH-Basin, не прекращая пользоваться справочником.

В диалоговой программе, предназначенной для расчета доли площади бассейна по заданной высоте и высотного уровня по заданной доле площади, применен алгоритм кусочной аппроксимации с помощью квадратичной параболы по трем ближайшим узловым точкам.

Координаты узловых точек заданы в виде пары значений (z, q), где z - высота местности, q - процент площади (0,10,20... 100%).



Рис 1. Функциональные возможности справочника (Структура меню сервисной программы)

В основе алгоритма работы сервисной программы лежит:

а) преобразование текстовой информации, упорядоченной в виде таблицы, в специальный тип данных (структурный файл), работа с которым позволяет увеличить скорость обработки информации и облегчает процесс программирования;

б) создание диалоговой системы передачи информации между компьютером и пользователем с целью осуществления указанных функциональных возможностей;

в) создание необходимых структур для реализации функций этой диалоговой системы;

г) обратное преобразование специального типа данных (структурного файла) в текстовую информацию, упорядоченную в

виде таблицы, с целью сохранения и возможного использования совместно с другими программными средствами (редакторы и др.).

Программа написана на языке программирования Турбо Паскаль 7.0 для ПЭВМ типа IBM PC.

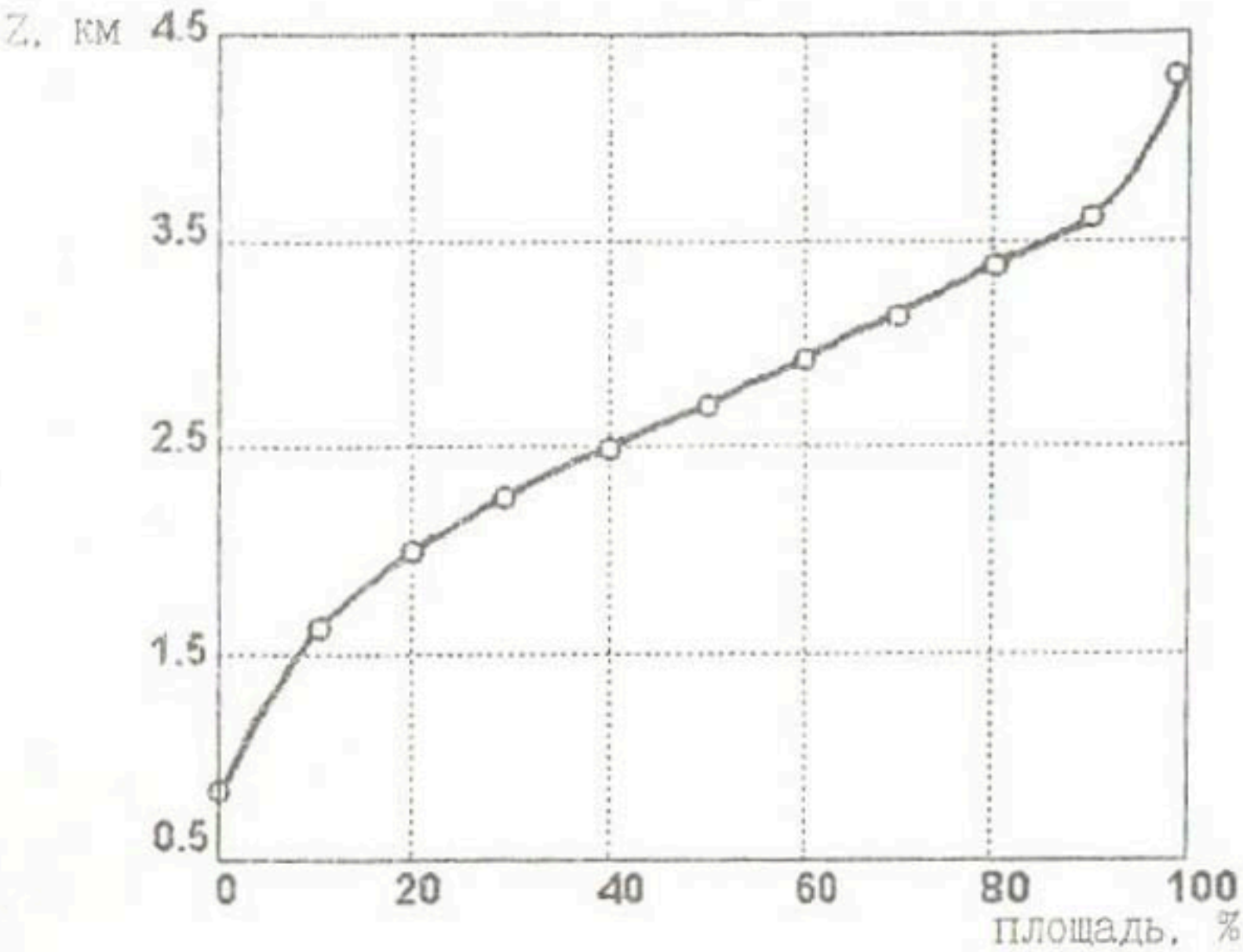


Рис. 2. Гипсографическая кривая бассйна р. Пскем

От пользователя требуются минимальные знания в области использования ПЭВМ, а именно: умение запустить исполняемый файл (программу) с помощью средств ДОС или операционной системы типа НОРТОН, а также умение скопировать с дискеты файлы на жесткий диск компьютера.

Настоящая версия справочника, предназначенная для широкого круга пользователей, содержится на дискете и может быть запущена непосредственно с нее, но для увеличения быстродействия электронного справочника рекомендуется все содержимое дискеты скопировать на жесткий диск и с него запускать программу. Требуемый объем свободной памяти на жестком диске около 1 Мб.

Таким образом, разработано автономное и динамичное программное средство, которое позволяет получить морфометрические данные, обновлять и использовать их.

На основе вышеизложенных принципов возможна разработка электронных справочников и по другим объектам исследований.

Список литературы

1. Р е с у р с ы поверхностных вод. Том 14. Средняя Азия. Вып.3. Бассейн реки Амударьи. /Под. ред. Ю. Н. Иванова. - Л.: Гидрометеоиздат, 1971. -472 с.

2. Ц а р е в Б. К. Мониторинг снежного покрова горных территорий. - Ташкент, 1996. - 226 с.

Ю. Н. Иванов

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРОГРАММНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ CADAS-2 И HYDATA

В декабре 1995 года Британский гидрологический институт передал в распоряжение гидрометов республик Центральной Азии вычислительный комплекс HYDATA для ведения баз гидрологических данных и вычисления ежедневных расходов воды с целью составления гидрологических ежегодников. При этом был проведен семинар по обучению работе с указанным программным комплексом, на котором специалисты отделов водного кадастра и гидрологии гидрометов Центральной Азии выполнили вычисления расходов воды по трем постам в каждом гидромете. Одновременно были проведены расчеты стока по этим же постам по программному комплексу CADAS-2, разработанному в САНИГМИ. Таким образом, представилась хорошая возможность сопоставить два различных программных средства и сравнить полученные результаты, поскольку все вычисления производились по постам, для которых ежедневные расходы воды уже были вычислены специалистами-гидрологами и приняты в качестве официальных данных для публикации в гидрологических ежегодниках.

Список пунктов, по которым выполнены расчеты, приведен в табл. 1.

Для расчетов были выбраны посты, ограничивающие бассейны с площадями от 230 до 309000 км^2, расположенные в различных условиях и имеющие характер как горных (Малый Нарын, Туюк, Тентяксай, Шерабад), так и равнинных (Келес, Мургаб, Сырдарья, Амударья) рек с самыми различными расходами воды. Практически все реки имеют деформируемые русла, на части из них наблюдаются различные ледовые образования (Малый Нарын, Туюк, Сырдарья).

Для суждения о достоинствах и недостатках сравниваемых вычислительных систем приведем краткие характеристики HYDATA и CADAS-2.

Программный комплекс HYDATA выполняет расчеты кривых рас-

Таблица 1

Список постов, по которым проводились вычисления ежеденевных расходов воды программами HYDATA и CADAS-2

NN	Река - пост	Площадь бассейна, км^2	Высота нуля поста, м	Дата открытия
	Туркменгидромет			
1	Амударья - г. Керки	309000	237.67	27.07.1919
2	" - вдкч. ст. Дарганата	-	142.02	12.05.1956
3	Мургаб - пгт Тахтабазар	34700	330.40	26.02.1934
	Кыргызгидромет			
4	Тентяксай - кишл. Чабрак	1300	989.84	1.05.1914
5	Малый Нарын - устье	3870	2258.00	9.05.1932
6	Тюк - устье	230	1269.50	12.08.1933
	Казгидромет			
7	Сырдарья - ниже устья р. Келес	-	-	7.05.1976
8	Сырдарья - ж.-д. ст. Тюмень-Арык	219000	154.00	25.10.1913
9	Аксу - с. Подгорное	462	812.20	5.06.1927
	Узглавгидромет			
10	Сырдарья - г. Чиназ	167000	249.00	7.05.1976
11	Амударья - теснина Тюямуюн	-	108.08	16.07.1914
12	Шерабад - кишл. Дербент	949	-	1.12.1956

ходов воды, ежедневных расходов и работает с базами гидрологических данных, имеет прекрасное разветвленное меню, неплохую графику для визуализации результатов вычислений.

К его недостаткам необходимо отнести то, что расчет кривой расходов воды и вычисление стока за годовой период требуют высокой квалификации оператора-гидрометра, хорошо знающего режим реки.

Программы HYDATA не позволяют считать сток при ледовых образованиях на реке, зарастании русла водной растительностью, переменном подпоре, а также при петлеобразных КРВ и при отсутствии временных кривых расходов воды в случае деформаций русла.

Кривая расходов воды (Q) рассчитывается по параболе Глушкова

$$Q = a\,(H - H_0)^{\,b}. \qquad (1)$$

где H - уровень воды, H_0 - уровень нулевого расхода.

Однако расчет кривой расходов воды выполняется полуавтоматическим методом путем последовательного подбора параметров на экране ПЭВМ и требует большого опыта специалиста-гидролога; расчет временных кривых расходов выполняется также путем интуитивного подбора периодов их действия и требует знания режима реки и опыта специалиста.

При наличии на посту сложной однозначной кривой, когда выразить ее единым уравнением не удается, HYDATA строит так называемую составную кривую, то есть несколько ветвей ее (до 6), являющихся продолжением одна другой. Однако плавного перехода одной кривой в другую может не происходить, и тогда она представляется как ряд парабол, соединяющихся друг с другом под углом, что противоречит природе кривой расходов воды. Для придания соответствующей гладкости кривой расходов необходим очень большой опыт оператора-гидролога. Оператор сам подбирает, какие расходы к какой кривой относить.

Обобщенная оценка расчета КРВ программой не производится, то есть оператор судит " на глазок", насколько хороша КРВ.

Оператор сам решает вопрос, есть ли на посту однозначная КРВ или нет, и если нет, то какие временные КРВ строить. Оценок достоверности этих кривых не производится.

В периоды отсутствия кривых расходов воды выполняется так называемая логарифмическая интерполяция данных, что не дает плавного хода суточных расходов воды и требует вмешательства оператора в процесс интерполяции.

Данные для расчетов вводятся либо автоматизированно, либо вручную через клавиатуру и экран ПЭВМ. В этом случае никакого контроля данных, кроме визуального обзора их, нет. Из всех наблюдаемых элементов режима реки вводятся лишь срочные наблюденные уровни воды без данных о температуре воды и ледовых образованиях, как это принято в системе гидрометеослужб стран СНГ, даты измерения расходов воды, уровни при расходах, величина из-

меренного расхода и средняя скорость течения без остальных элементов измеренного расхода, что лишает возможности выполнения оценок погрешностей измерений расходов воды. Из-за весьма разветвленного меню для выполнения непосредственно рабочих операций за клавиатурой ПЭВМ приходится выполнять большое количество вспомогательных операций по поиску информации для расчетов и вводу дополнительных сведений о пункте наблюдений при первоначальном вводе его данных.

В целом автоматизация процесса вычислений в названном комплексе по сравнению с аналогичными разработками в бывшем СССР и странах СНГ мала.

Программный комплекс CADAS-2 выполняет все необходимые вычисления и составление таблиц для создания гидрологического ежегодника практически в автоматическом режиме.

Программы комплекса выполняют расчет КРВ по параболе Глушкова с автоматической ее корректировкой по амплитуде уровней воды. Это аналогично построению так называемой составной кривой в методе HYDATA с тем отличием, что программа сама, без вмешательства оператора, выбирает уровни, при которых происходит переход с одной КРВ на другую, и сама производит увязку кривых, чтобы итоговая КРВ была гладкой и вогнутой. Все параметры КРВ рассчитываются полностью автоматически.

Далее программа оценивает наличие расходов, имеющих недопустимо большое отклонение от КРВ, и выполняет проверку их достоверности по критериям математической статистики [2, 5, 6]. При установлении факта, что расход недостоверен, он бракуется и КРВ рассчитывается заново. В результатате проведенных вычислений создаются таблицы оценок КРВ и ее координат.

В случае невыполнения критериев однозначности КРВ программа автоматически переходит на анализ возможности расчета временных КРВ на створе. Для этого в годовом ходе уровней воды на посту выделяются фазы подъема и спада и рассчитываются ВКРВ с выдачей таблиц оценок.

Временные кривые расходов воды рассчитываются при наличии деформаций дна в створе измерений. Последняя, в свою очередь, определяется по связям наибольших глубин с уровнями воды, изме-

нению местоположения наибольшей глубины и связи площади водного сечения с уровнями.

Все это делается полностью автоматически без вмешательства оператора, равно как и выбор методики вычисления ежедневных расходов и их расчет, который выполняется в случае наличия кривых расходов воды на посту в период свободного русла. При отсутствии ВКРВ в эти периоды вычисление стока производится по различным методам интерполяции, методу Стаута. При наличии водной растительности на посту, ледовых образований различного вида и длительности, переменного подпора, пересыхании и перемерзании реки расчет стока выполняется по КРВ и соответствующим коэффициентам подпора, зарастания или "зимним". В результате автоматически формируются таблицы ежедневных уровней и расходов воды по форме гидрологического ежегодника, принятой в странах СНГ, с выделением экстремумов и сравнением их с многолетним рядом наблюдений на посту.

Программный комплекс имеет развернутую систему каталогов, позволяющих постоянно следить за состоянием и объемом обработки данных, выполнять одновременно их обработку за несколько лет и по нескольким гидрометам. Блок программ графического режима комплекса дает возможность воспроизводить на экране монитора хронологические графики уровней воды, гидрографы стока, хронологические графики мутности воды и расходов взвешенных наносов, выделять их фрагменты, определить освещенность графика уровней и расходов измерениями расходов, рассматривать КРВ и корректировать их при необходимости.

Из этого краткого описания сравниваемых комплексов видно, что программная система CADAS-2 имеет бóльшую степень автоматизации, чем HYDATA, и должна давать более объективные данные по сравнению с HYDATA.

Задача оценки достоверности величин расходов воды, полученных при вычислениях как вручную специалистами, так и автоматизированными методами, в настоящее время окончательно не решена. Предлагаемая И. Ф. Карасевым [4] методика, исходящая лишь из количества измеренных расходов за месяц и характера режима реки, оцениваемого качественно, а не количественно, не вполне

объективна. Предложенная нами [3] методика сравнения расчетных данных путем сопоставления с данными гидрологических ежегодников тоже не лишена недостатков, так как сами эти данные тоже могут иметь грубые ошибки. Примером их могут служить приводимые ниже в приложениях 1-2 величины средних месячных расходов воды по постам Сырдарья - ж.-д. ст. Тюмень-Арык за январь 1993 г. В этом случае в ежегоднике расходы воды вычислены без учета ледовых явлений, хотя на протяжении почти всего января на реке наблюдался шугоход. За месяц измерен лишь один расход воды 28 января, равный 493 $м^3/с$. Расход воды за 1 января, вычисленный специалистами при составлении ежегодника, равнялся 327 $м^3/с$. В течение месяца уровень плавно рос. Следовательно, средние суточные расходы воды должны были колебаться в указанных пределах. В ежегоднике же расходы к 28 января возросли до 876 $м^3/с$, и средний расход за месяц оказался равным 673 $м^3/с$.

Программа CADAS-2 вычислила его равным 408 $м^3/с$, что, надо полагать, ближе к истине.

Тем не менее, в настоящее время все же целесообразно проводить оценку погрешности вычислений стока тем или иным программным комплексом путем сравнения с данными гидрологических ежегодников. Это тем более полезно, что при вычислении стока воды вручную специалисты обычно неплохо знают особенности режима реки, анализируют каждый случай значительных отклонений измеренных расходов от КРВ, тщательно выясняют причины появления временных КРВ. В любом машинном методе такой анализ невозможен, если он не превращается по сути дела в ручной.

В тех случаях, когда разница расходов, вычисленных в ежегоднике и по программе, слишком велика, необходимо искать причины этого.

Результаты вычислений стока воды по постам, приведенным в табл. 1, даны в приложениях 1-2. Из их сравнения видно, что по программам CADAS-2 средние месячные расходы воды, а следовательно, и средние суточные, вычислены во всех 144 случаях, в то время как по программам HYDATA за 10 месяцев сток подсчитать не удалось из-за наличия ледовых образований на постах.

Случаев отклонения за 10% от данных ежегодника при расчете

по программам CADAS-2 всего семь, в то время как при расчетах по программам HYDATA - 26. Причем из шести случаев значительных отклонений у CADAS-2 один - по причине неверного вычисления стока в ежегоднике, о чем говорилось выше, два приходятся на случаи наличия ледовых образований на реке Малый Нарын, когда сама по себе точность вычислений невелика. Анализ материалов вычисления стока в ежегоднике заставляет предполагать, что расход воды, измеренный 30 апреля, специалистами забракован, но об этом ничего не сказано в пояснениях к вычислениям стока. Иначе неясно, почему при вычислении расходов воды по интерполяции между измерениями расходов в этот период расход воды, вычисленный за 30 апреля, равен 85,3 , а измеренный - 94,4 $м^3/с$.

Если измерение 30 апреля забраковать при расчетах по программам CADAS-2, то сходимость стока в ежегоднике и при расчетах по CADAS-2 станет идеальной.

Аналогичная ситуация и в декабре 1993 года на этом посту. Если расход 15.12.1993 забракован, то сток по этим двум методам практически совпадет.

Программа HYDATA в апреле не могла вычислить расходы из-за наличия ледовых образований, а в декабре почему-то вычислила их при тех же условиях.

Совершенно не объяснимы случаи громадных расхождений в стоке по посту Тентяк-Сай - кишл. Чабрак за октябрь-декабрь 1993 года, когда программа HYDATA завысила расходы против данных ежегодника практически в три раза.

В этом случае мы имеем дело с вычислениями по данному посту, когда оператор не знал особенностей режима реки.

Здесь предварительно необходимо пояснить, что при расчетах стока практически по всем постам на стороне комплекса HYDATA по сравнению с CADAS-2 было небольшое преимущество, заключавшееся в том, что сток по постам рассчитывали фактически те же специалисты, которые проводили эту работу при вычислениях для составления гидрологического ежегодника спустя лишь не более полугода. Естественно, они, зная режим реки, строили кривые расходов воды, по-существу, такие же, как и при составлении ежегодника.

В случае же с постом Малый Нарын сток рассчитывал специа-

лист-гидролог, но из другой страны, совершенно не знающий режима стока данной реки. Результат получился неблестящий.

При расчетах по программам CADAS-2 специалисты, зная или не зная режим реки, не могли повлиять на расчет кривых расходов и выбор методики вычисления средних суточных расходов воды.

Таблица 2

Распределение по величине отклонений средних месячных расходов воды, вычисленных по программе САНИГМИ на ПЭВМ, от приведенных в гидрологическом ежегоднике

Градации отклонений, %	Количество отклонений		Градации отклонений, %	Количество отклонений	
	случаев	%		случаев	%
1,0 - (-1,0)	40	27,79			
< -1,0 - (-3,0)	28	19,45	> 1,0 - 3,0	28	19,45
< -3,0 - (-5,0)	10	6,94	> 3,0 - 5,0	9	6,26
< -5,0 - (-10,0)	12	8,33	> 5,0 - 10,0	10	6,94
<-10,0 - (-15,0)	2	1,39	>10,0 - 15,0	1	0,69
<-15,0 - (-20,0)	-	-	>15,0 - 20,0	1	0,69
<-20,0 - (-25,0)	-	-	>20,0 - 25,0	1	0,69
<-25,0 - (-30,0)	-	-	>25,0 - 30,0	1	1,69
<-30,0 - (-35,0)	1	0,69	>30,0 - 35,0	-	-
<-35,0 - (-40,0)	-	-	>35,0 - 40,0	-	-
<-40,0	-	-	>40,0	-	-
Всего	93	64,59		51	35,41

По результатам проведенных вычислений составлены табл. 2 и 3, из которых видно, что данные программы CADAS-2 имеют лучшие совпадения с данными ежегодника, выражающиеся в том, что они распределяются более равномерно как в сторону занижения, так и в сторону завышения от данных ежегодника, имеют меньший разброс. В самом деле, отклонений более 35% от данных ежегодника нет.

Программа HYDATA в 4,5% случаев дает отклонения более 35%. При этом необходимо учитывать, что в 10 случаях (а это 6,9% всех случаев вычислений) HYDATA не могла рассчитать сток.

Лучшее соответствие результатов расчетов по программе CADAS-2 данным ежегодника хорошо иллюстрируется рис. 1.

Наглядно лучшее соответствие данных ежегодника и CADAS-2 видно и из рис. 2.

Таблица 3

Распределение по величине отклонений средних месячных расходов воды, вычисленных по программе HYDATA на ПЭВМ, от приведенных в гидрологическом ежегоднике

Градации отклонений, %	Количество отклонений		Градации отклонений, %	Количество отклонений	
	случаев	%		случаев	%
1.0 - (-1.0)	33	24.63			
< -1.0 - (-3.0)	20	14.92	> 1.0 - 3.0	19	14.18
< -3.0 - (-5.0)	10	7.46	> 3.0 - 5.0	10	7.46
< -5.0 - (-10.0)	4	2.98	> 5.0 - 10.0	16	11.94
<-10.0 - (-15.0)	3	2.24	>10.0 - 15.0	6	4.48
<-15.0 - (-20.0)	3	2.24	>15.0 - 20.0	-	-
<-20.0 - (-25.0)	1	0.75	>20.0 - 25.0	2	1.49
<-25.0 - (-30.0)	-	-	>25.0 - 30.0	1	0.75
<-30.0 - (-35.0)			>30.0 - 35.0	-	-
<-35.0 - (-40.0)	-	-	>35.0 - 40.0	1	0.75
<-40.0			>40.0	5	3.73
Всего	74	55.22		60	44.78

Помимо большего, по сравнению с данными CADAS-2, разброса точек от прямой линии на графике связи данных ежегодника и HYDATA при больших расходах (более 800 $м^3/с$) наблюдается занижение расходов, рассчитанных HYDATA, в то время, как на графике связи данных ежегодника и CADAS-2 точки расходов распределены равномерно по обе стороны от линии, проходящей под углом в 45° к осям графика во всем диапазоне расходов воды.

В табл. 4 приведены осредненные данные сопоставления расчетов по машинным программам с ежегодниками для месячных, декадных и средних суточных расходов воды. Здесь особенно наглядно видно преимущество программы CADAS-2 над HYDATA.

Так, в 82% случаев средние месячные расходы, рассчитанные по программе CADAS-2, отклоняются от данных ежегодника не более, чем на ±5%.

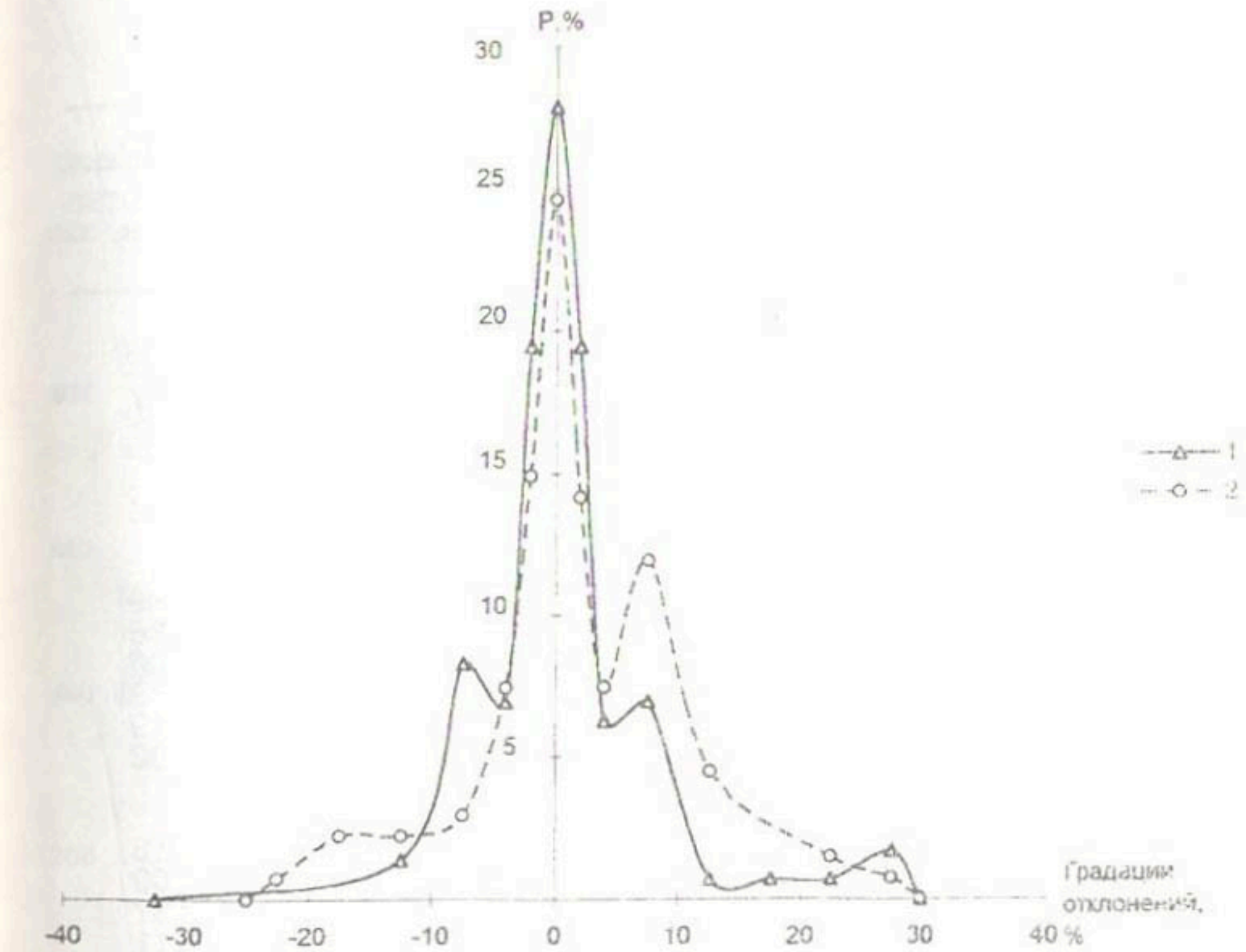


Рис. 1. Кривые распределения отклонений средних месячных расходов воды, рассчитанных по программам CADAS-2 (1) и HYDATA (2), от данных гидрологических ежегодников.

В то же время в программе HYDATA таких случаев 67,5%. Для декадных значений имеем, соответственно, 72 и 63%, и для суточных - 67,5 и 62%.

Интересно сопоставить полученные данные с результатами расчетов, выполненных в свое время по нашей методике программами, аналогичными CADAS-2, на машинах ЕС ЭВМ [1]. Приведенные в табл. 32 указанной монографии результаты сопоставимы с полученными в настоящее время.

Таблица 4

Обобщенные данные по результатам сравнения расчетов расходов воды различными методами с данными гидрологических ежегодников

Общее количество случаев расчета	Градации отклонений от эталона, %	Программа САНИГМИ		Программа HYDATA	
		Количество случаев, абс.	Количество случаев, %	Количество случаев, абс.	Количество случаев, %
		Средние месячные расходы			
144	-3 - 3	96	66.66	75	52.08
	-5 - 5	118	81.94	97	67.37
	-10 - 10	138	95.83	108	75.00
	-15 - 15	142	98.61	118	81.25
	<-15 ->15	2	1.39	16	11.11
	без расчета	0	0	10	7.64
		Средние декадные расходы			
432	-3 - 3	243	56.26	219	50.69
	-5 - 5	311	72.00	272	62.96
	-10 - 10	380	87.98	326	75.46
	-15 - 15	411	95.14	349	80.79
	<-15 ->15	21	4.86	57	13.19
	без расчета	0	0	26	6.02
		Средние суточные расходы			
4380	-3 - 3	2413	55.09	2166	50.13
	-5 - 5	2964	67.67	2690	62.09
	-10 - 10	3741	85.41	3272	75.37
	-15 - 15	4061	92.72	3509	80.11
	<-15 ->15	319	7.28	617	14.09
	без расчета	0	0	254	5.80

Всего расчеты выполнены для 139 месяцев по различным рекам. Отклонения от данных ежегодника в пределах ±5% составили 75% всех случаев. Для декадных данных (525 случаев) эти отклонения дали 72% и для суточных (4161 случай) - 67%.

Как видно, для месячных данных в настоящее время получены даже несколько лучшие результаты, а для декадных и суточных наблюдается практически полное соответствие результатов.

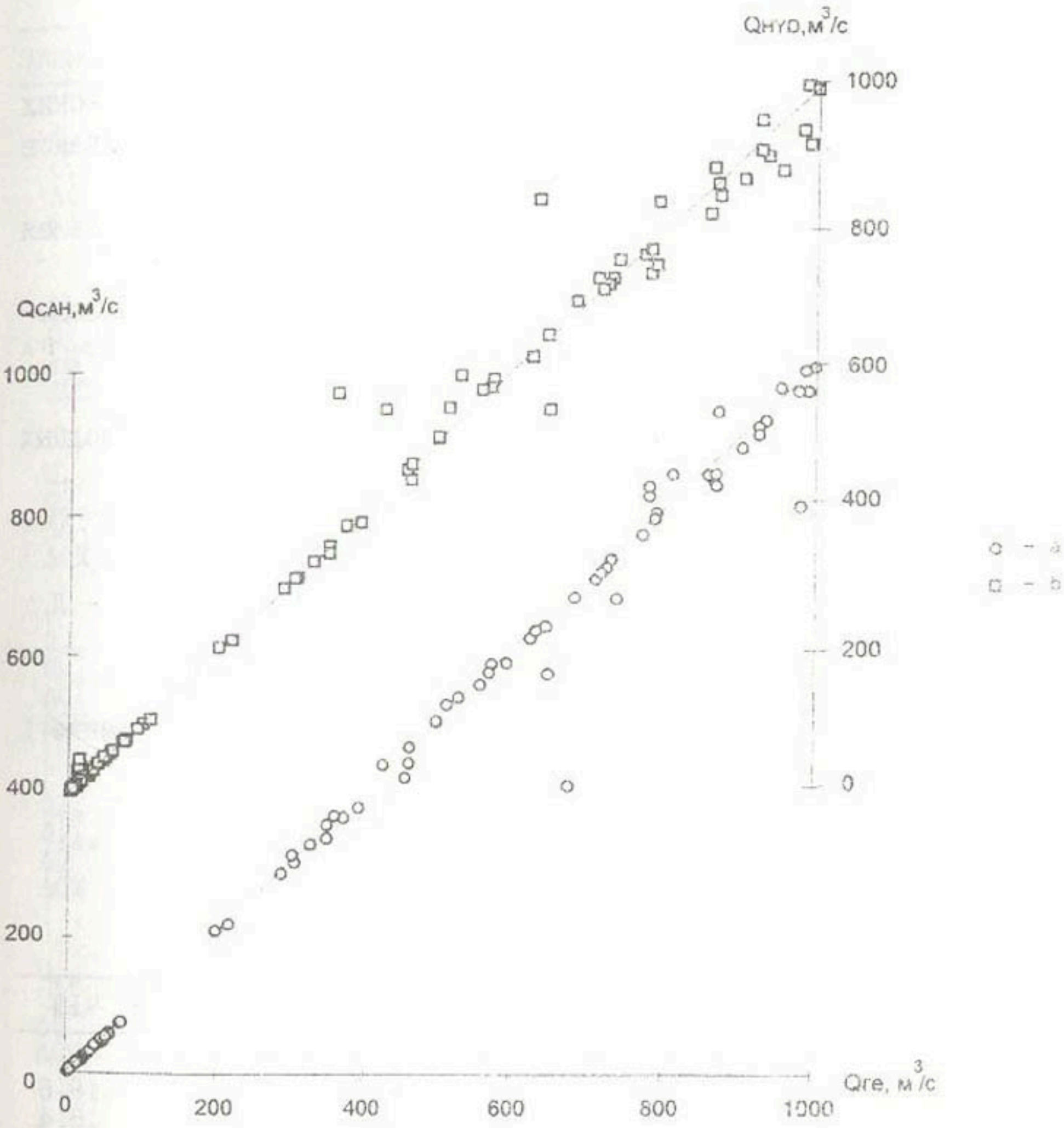


Рис 2. График связи средних месячных расходов воды, рассчитанных по программам CADAS-2 (а) и HYDATA (б), с данными гидрологических ежегодников ($Q_{г\varepsilon}$).

Следовательно, можно сделать некоторые практические выводы. Программа CADAS-2, обладая значительно большей степенью автоматизации вычислений ежедневных расходов воды по сравнению с программой HYDATA, в то же время дает результаты расчетов более близкие к действительности.

Список литературы

1. Автоматизация обработки гидрологических данных по режиму рек /В. А. Семенов, Ф. Ф. Иванов, Ю. Н. Иванов и др. - М.: Гидрометеоиздат, 1988. - 212 с.

2. Гаскаров Д. В., Шаповалов В. И. Малая выборка. - М.: Статистика, 1978. - 248 с.

3. Иванов Ю. Н. Методика оценки результатов вычисления стока воды на ЭВМ // Тр. САНИГМИ. - 1983.- Вып. 96 (177). - С. 27 - 39.

4. Карасев И. Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 312 с.

5. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдений. - М.: Наука, 1970. - 104 с.

6. Свешников А. А. Основы теории ошибок. - Л.: Изд. ЛГУ, 1972. - 126 с.

Приложение 1

Сравнение средних месячных расходов воды, вычисленных программой САНИГМИ CADAS-2, с данными гидрологических ежегодников по постам Центральной Азии

Элемент	I	II	III	IV	V	VI	VII
р. Шерабад - кишл. Дербент, 1993 г.							
Q_{re}	3.94	4.01	5.37	12.8	25.7	22.7	16.6
$Q_{сан}$	3.83	3.99	6.73	12.4	26.8	23.7	16.4
ΔQ	-0.11	-0.02	1.36	-0.40	1.10	1.00	-0.20
$\Delta Q\%$	-2.79	-0.50	25.3	-3.12	4.28	4.41	-1.20
р. Сырдарья - г. Чиназ, 1993 г.							
Q_{re}	460	708	984	572	1100	1110	369
$Q_{сан}$	440	701	995	581	1130	1090	363
ΔQ	-20.0	-7.00	11.0	9.00	30.0	-20.0	-6.00
$\Delta Q\%$	-4,35	-0,99	1,12	1,57	2,73	-1,80	-1,63
р. Амударья - тесн. Тюямуюн, 1993 г.							
Q_{re}	512	728	1130	646	1710	3080	3250
$Q_{сан}$	524	729	1160	567	1760	3070	3220
ΔQ	12.0	1.00	30.0	-79.0	50.0	-10.0	-30.0
$\Delta Q\%$	2,34	0,14	2,6	-12,2	2,92	-0,32	-0,92

Элемент	I	II	III	IV	V	VI	VII
			р. Тентяксай – пос. Чабрак, 1993 г.				
$Q_{гс}$	7,52	8,01	8,81	54,9	97,6	90,7	57,6
$Q_{сан}$	7,62	8,43	8,95	50,8	98,7	93,0	62,3
ΔQ	0,10	0,42	0,14	-4,10	1,10	2,30	4,70
$\Delta Q\%$	1,33	5,24	8,59	-7,47	1,13	2,54	8,16
			р. Малый Нарын – устье, 1993 г.				
$Q_{гс}$	13,7	8,06	11,5	38,0	55,3	76,9	108
$Q_{сан}$	13,5	7,94	11,6	47,2	55,3	77,0	106
ΔQ	-0,20	-0,12	0,10	9,20	0	0,10	-2,00
$\Delta Q\%$	-1,46	-1,49	0,87	24,3	0	0,21	-1,86
			р. Туюк – устье, 1993 г.				
$Q_{гс}$	1,32	1,30	1,32	1,45	2,01	4,42	7,79
$Q_{сан}$	1,37	1,37	1,46	1,41	1,80	4,81	7,84
ΔQ	0,05	0,07	0,14	-0,04	-0,21	0,39	0,05
$\Delta Q\%$	3,79	5,39	10,6	-2,76	-10,4	8,32	0,65
			р. Мургаб – пгт. Тахтабазар, 1994 г.				
$Q_{гс}$	49,9	45,1	71,6	73,5	73,4	57,0	38,9
$Q_{сан}$	49,9	46,9	72,6	73,0	73,0	58,1	39,3
ΔQ	0	1,80	1,00	-0,50	-0,40	1,10	0,40
$\Delta Q\%$	0	3,99	1,38	-0,68	-0,55	1,90	1,02
			р. Амударья – г. Керки, 1994 г.				
$Q_{гс}$	861	988	902	934	2500	3520	4810
$Q_{сан}$	843	965	885	924	2450	3520	4770
ΔQ	-16,0	-33,0	-17,0	-10,0	-50,0	0	-40,0
$\Delta Q\%$	-1,86	-3,34	-1,88	-1,07	-2,00	0	-0,83
			р. Амударья – вдкч. ст. Дарганата, 1994 г.				
$Q_{гс}$	809	777	869	976	1820	2950	4990
$Q_{сан}$	848	817	936	965	1850	2930	4920
ΔQ	47,0	40,0	67,0	-11,0	30,0	-20,0	-70,0
$\Delta Q\%$	5,81	5,15	7,71	-1,13	1,65	-0,68	-1,40
			р. Сырдарья – ниже устья р. Келес, 1993 г.				
$Q_{гс}$	498	787	1080	736	1220	1080	390
$Q_{сан}$	499	794	1050	673	1120	1070	377
ΔQ	1,00	7,00	-30,0	-63,0	-1,00	-10,0	-13,0
$\Delta Q\%$	0,20	0,89	-2,78	-8,56	-8,20	-0,93	-3,85
			р. Сырдарья – ж.-д. ст. Тюмень-Арык, 1993 г.				
$Q_{гс}$	673	455	569	624	769	924	722
$Q_{сан}$	408	420	569	617	764	915	717
ΔQ	-265	-35,0	0	-7,00	-5,00	-9,00	-5,00
$\Delta Q\%$	-39,4	-7,69	0	-1,12	-0,65	-0,97	-0,69
			р. Аксу – с. Подгорное, 1993 г.				
$Q_{гс}$	3,98	4,31	4,47	12,8	24,6	45,4	32,7
$Q_{сан}$	3,78	4,20	4,49	12,8	24,1	43,4	32,5
ΔQ	-0,20	-0,11	0,02	0	-0,50	-2,00	-0,20
$\Delta Q\%$	-5,05	-2,55	0,45	0	-2,07	-4,40	-0,61

Элемент	VIII	IX	X	XI	XII	Год	$P_{ср}$%
р. Шерабад - кишл. Дербент, 1993 г.							
$Q_{гс}$	10.3	5.32	3.77	4.05	3.49	9.84	
$Q_{сан}$	10.4	4.66	3.66	3.77	3.32	10.0	
ΔQ	0.10	-0.66	-0.11	-0.28	-0.17	0.16	
ΔQ%	0.97	-12.4	-2.92	-6.91	-4.87	1.62	5.8
р. Сырдарья - г. Чиназ, 1993 г.							
$Q_{гс}$	199	286	304	557	924	631	
$Q_{сан}$	204	284	300	552	904	628	
ΔQ	5.00	-2.00	-4.00	-5.00	-20.0	-3.00	
ΔQ%	2.51	-0.70	-2.63	-0.90	-2.16	-0.48	1.92
р. Амударья - тесн. Тюямуюн, 1993 г.							
$Q_{гс}$	1610	867	424	301	528	1230	
$Q_{сан}$	1590	832	438	310	534	1230	
ΔQ	-20.0	-35.0	14.0	9.00	6.00	0	
ΔQ%	-1.24	-4.04	3.30	2.99	1.14	0	2.76
р. Тентяксай - пос. Чабрак, 1993 г.							
$Q_{гс}$	44.5	24.3	11.0	13.5	12.9	35.9	
$Q_{сан}$	46.5	24.1	10.8	13.9	12.8	36.6	
ΔQ	2.00	-0.20	-0.20	0.40	-0.10	0.70	
ΔQ%	4.49	-0.82	-1.82	2.94.	-0,78	1.95	3.19
р. Малый Нарын - устье, 1993 г.							
$Q_{гс}$	56.9	49.3	27.7	20.5	13.6	39.9	
$Q_{сан}$	56.7	45.7	27.5	18.5	16.1	40.5	
ΔQ	-0.20	-3.60	-0.20	-2,00	2.50	0.60	
ΔQ%	-0.36	-7.30	-0.72	-9.76	18.4	1.50	5.56
р. Туюк - устье, 1993 г.							
$Q_{гс}$	7.65	6.51	4.31	2.92	2.16	3.60	
$Q_{сан}$	8.38	6.21	4.18	2.98	2.17	3.68	
ΔQ	0.73	-0.30	-0.13	0.06	0.01	0.08	
ΔQ%	9.54	-4.60	-3.08	2.05	0.46	2.22	5.18
р. Мургаб - пгт. Тахтабазар, 1994 г.							
$Q_{гс}$	31.9	38.3	46.7	46.8	58.3	53.2	
$Q_{сан}$	31.5	39.8	49.2	49.3	55.6	52.6	
ΔQ	-0.40	1.50	2.50	2.50	-2.70	-0.60	
ΔQ%	-1.27	3.77	5.08	5.07	-4.86	-1.13	2.45
р. Амударья - г. Керки, 1994 г.							
$Q_{гс}$	3470	1750	856	777	953	1840	
$Q_{сан}$	3530	1710	847	831	970	1850	
ΔQ	40.0	-40.0	-9.00	46.0	17.0	10.0	
ΔQ%	1.15	-2.29	-1.05	5.92	1.78	0.54	1.93
р. Амударья - вдкч. ст. Дарганата, 1994 г.							
$Q_{гс}$	3010	1860	866	785	979	1720	
$Q_{сан}$	3140	1840	849	786	803.	1730	
ΔQ	130	-20.0	17.0	1.00	-176	10.0	
ΔQ%	4.42	-1.08	1.96	0.13	-7.76	0.58	3.24

Элемент	VIII	IX	X	XI	XII	Год	$P_{ср}$%
			р. Сырдарья – ниже устья р. Келес, 1993 г.				
$Q_{гe}$	216	325	346	643	997	680	
$Q_{сан}$	213	325	353	634	1000	675	
ΔQ	-3,00	0	7,00	-9,00	3,00	-5,00	
ΔQ%	-1,39	0	2,03	-1,40	0,30	-0,74	2,54
			р. Сырдарья – ж.-д. ст. Тюмень-Арык, 1993 г.				
$Q_{гe}$	715	498	461	346	357	593	
$Q_{сан}$	710	501	463	334	365	583	
ΔQ	-5,00	3,60	2,00	-12,0	8,00	-10,0	
ΔQ%	-0,70	0,60	0,43	-3,47	2,25	-1,69	1,84
			р. Аксу – с. Подгорное, 1993 г.				
$Q_{гe}$	16.1	9,94	6,26	5,49	4,62	14.2	
$Q_{сан}$	16.5	10,2	6,37	5,68	4,65	14.1	
ΔQ	0,40	0,26	0,11	0,19	0,03	-0,10	
ΔQ%	2,48	2,62	1,76	3,46	0,64	-0,70	2,17

Примечание: $Q_{гe}$ – расходы воды, приведенные в гидрологических ежегодниках и вычисленные вручную специалистами;
$Q_{сан}$ – расходы воды, вычисленные по программе САНИГМИ;
ΔQ – разность расходов $Q_{сан} - Q_{гe}$; $\Delta Q\% = 100(Q_{сан} - Q_{гe})/Q_{гe}$;
$P_{ср}$% – среднее из средних месячных отклонений.

Приложение 2

Сравнение средних месячных расходов воды, вычисленных программой HYDATA, с данными гидрологических ежегодников по постам Центральной Азии

Элемент	I	II	III	IV	V	VI	VII
			р. Шерабад – кишл. Дербент, 1993 г.				
$Q_{гe}$	3,94	4,01	5,37	12,8	25,7	22,7	16,6
Q_{hyd}	3,80	4,07	6,04	12,6	22,1	24,7	17,4
ΔQ	-0,14	0,06	0,67	-0,20	-3,60	2,00	1,80
ΔQ%	-3,55	1,50	12,5	-1,56	-1,40	8,81	10,8
			р. Сырдарья – г. Чиназ, 1993 г.				
$Q_{гe}$	460	708	984	572	1100	1110	369
Q_{hyd}	441	726	998	583	1110	1110	376
ΔQ	-19,0	18,0	14,0	11,0	10,0	0	7,00
ΔQ%	-4,13	2,54	1,42	1,92	0,9	0	1,90

Элемент	I	II	III	IV	V	VI	VII
р. Амударья - тесн. Тюямуюн, 1993 г.							
Q_{re}	512	728	1190	546	1710	3080	3250
Q_{hyd}	542	726	1170	539	1690	3090	3260
ΔQ	30.0	-2.00	-20.0	-7.00	-20.0	10.0	10.0
$\Delta Q\%$	5.86	-0.27	-1.68	-1.28	-1.17	0.26	0.31
р. Тентяксай - пос. Чабрак, 1993 г.							
Q_{re}	7.52	8.00	8.80	54.9	98.0	90.7	57.9
Q_{hyd}	-	8.56	10.1	54.0	96.7	89.7	57.9
ΔQ	-	0.56	1.30	-9.00	1.30	1.00	0
$\Delta Q\%$	-	7.00	14.8	-1.64	1.33	1.10	0
р. Малый Нарын - устье, 1993 г.							
Q_{re}	13.7	8.06	11.5	38.0	55.3	76.9	108
Q_{hy}	-	-	-	-	54.4	74.5	103
ΔQ	-	-	-	-	-1.10	-2.40	-5.00
$\Delta Q\%$	-	-	-	-	-1.99	-3.12	-4.63
р. Туюк - устье, 1993 г.							
Q_{re}	1.32	1.30	1.32	1.45	2.01	4.42	7.79
Q_{hyd}	-	1.10	1.15	1.55	2.89	5.17	8.71
ΔQ	-	-0.20	-0.17	-0.10	0.88	0.75	0.92
$\Delta Q\%$	-	-15.4	-12.8	-6.90	43.8	17.0	45.7
р. Мургаб - пгт. Тахтабазар, 1994 г.							
Q_{re}	49.9	45.1	71.6	73.5	73.4	57.0	38.9
Q_{hyd}	-	45.3	70.6	72.4	72.8	58.4	39.5
ΔQ	-	0.20	-1.00	-1.10	-0.60	1.40	0.60
$\Delta Q\%$	-	0.44	-1.40	-1.50	-0.82	2.46	1.54
р. Амударья - г. Керки, 1994 г.							
Q_{re}	861	988	902	934	2500	3520	4810
Q_{hy}	883	915	867	899	2370	3680	4710
ΔQ	22.0	-73.0	-35.0	-35.0	-130	-160	-100
$\Delta Q\%$	2.56	-7.39	-3.88	-3.75	-5.20	-4.55	-2.08
р. Амударья - вдкч. ст. Дарганата, 1994 г.							
Q_{re}	809	777	869	976	1820	2950	4990
Q_{hyd}	-	733	843	1020	1560	2990	4960
ΔQ	-	44.0	-26.0	44.0	-260	40.0	-30.0
$\Delta Q\%$	-	5.66	-2.99	4.50	-14.3	1.33	-0.60
р. Сырдарья - ниже устья р. Келес, 1994 г.							
Q_{re}	498	787	1080	736	1220	1080	390
Q_{hyd}	499	835	1100	752	1130	1090	381
ΔQ	1.00	48.0	20.0	16.0	90.0	10.0	-9.00
$\Delta Q\%$	0.20	6.10	1.85	2.17	7.38	0.92	-2.31
р. Сырдарья - ж.-д. ст. Тюмень-Арык, 1993 г.							
Q_{re}	673	455	569	624	769	924	722
Q_{hyd}	-	455	571	615	760	907	717
ΔQ	-	0	2.00	-9.00	-9.00	-17.0	-5.00
$\Delta Q\%$	-	0	0.35	-1.44	-1.17	-1.84	-0.69

Элемент	I	II	III	IV	V	VI	VII
р. Аксу - с. Подгорное, 1993 г.							
Q_{re}	3.98	4.31	4.47	12.8	24.6	45.4	32.7
Q_{hyd}	-	4.27	4.55	12.6	24.2	43.9	31.1
ΔQ	-	-0.04	0.08	-0.20	-0.40	-1.50	-1.60
$\Delta Q\%$	-	-0.93	1.79	-1.56	-1.63	-3.30	-4.89

Элемент	VIII	IX	X	XI	XII	Год	$P_{ср}\%$
р. Шерабад - кишл. Дербент, 1993 г.							
Q_{re}	10.3	5.32	3.77	4.05	3.49	9.94	
Q_{hyd}	6.81	4.40	4.60	4.24	4.35	9.36	
ΔQ	-3.49	-0.82	0.83	0.19	0.86	-0.21	
$\Delta Q\%$	-33.9	-15.4	22.0	4.69	24.6	-2.13	12.8
р. Сырдарья - г. Чиназ, 1993 г.							
Q_{re}	199	286	304	557	924	631	
Q_{hyd}	205	288	304	568	949	638	
ΔQ	6.00	2.00	0	11.0	25.0	7.00	
$\Delta Q\%$	3.02	0.70	0	1.97	2.71	1.11	1.77
р. Амударья - тесн. Тюямуюн, 1993 г.							
Q_{re}	1610	867	426	301	528	1230	
Q_{hyd}	1590	1080	539	302	588	1270	
ΔQ	-20.0	113	113	1.00	60.0	40.0	
$\Delta Q\%$	-1.24	13.0	26.5	0.33	11.4	3.25	6.55
р. Тентяксай - пос. Чабрак, 1993 г.							
Q_{re}	44.7	24.4	11.0	13.6	12.9	35.9	
Q_{hyd}	44.4	33.6	30.1	36.7	35.1	-	
ΔQ	-0.30	9.20	19.1	23.1	22.2	-	
$\Delta Q\%$	-0.67	37.7	173	170	172	-	52.6
р. Малый Нарын - устье, 1993 г.							
Q_{re}	56.9	49.2	27.7	20.5	13.6	39.9	
Q_{hyd}	56.5	49.3	27.8	21.3	46.1	-	
ΔQ	-0.40	0.10	0.10	0.80	32.5	-	
$\Delta Q\%$	-0.70	0.20	0.36	3.90	239	-	2.13
р. Туюк - устье, 1993 г.							
Q_{re}	7.65	6.51	4.31	2.92	2.16	3.60	
Q_{hyd}	7.59	6.81	4.81	3.06	2.11	-	
ΔQ	-0.06	0.30	0.50	0.14	-0.05	-	
$\Delta Q\%$	-0.78	4.60	11.6	4.79	-2.32	-	11.5
р. Мургаб - пгт. Тахтабазар, 1994 г.							
Q_{re}	31.9	38.3	46.7	46.8	58.3	52.6	
Q_{hyd}	31.2	40.0	49.6	49.7	58.1	-	
ΔQ	-0.70	1.70	2.90	2.90	-0.20	-	
$\Delta Q\%$	-2.19	4.44	6.21	6.20	-0.34	-	2.69

Элемент	VIII	IX	X	XI	XII	Год	$P_{ср}$%
			р. Амударья – г. Керки, 1994 г.				
Q_{re}	3470	1750	856	777	953	1840	
Q_{hyd}	3340	1880	818	768	879	1850	
ΔQ	-130	130	-38,0	-9,00	-74,0	10,0	
ΔQ%	-3,75	7,43	-4,44	-1,16	-7,76	0,54	4,84
			р. Амударья – вдкч. ст. Дарганата, 1994 г.				
Q_{re}	3010	1860	866	785	979	1720	
Q_{hyd}	3050	1790	861	745	935	-	
ΔQ	40,0	-70,0	-5,00	-40,0	-44,0	-	
ΔQ%	1,33	-3,76	-0,58	-5,10	-4,49	-	4,12
			р. Сырдарья – ниже устья р. Келес, 1994 г.				
Q_{re}	216	325	346	643	997	680	
Q_{hyd}	215	326	348	646	992	694	
ΔQ	-1,00	1,00	2,00	3,00	-5,00	14,0	
ΔQ%	-0,46	0,31	0,58	0,47	-0,51	2,06	1,92
			р. Сырдарья – ж.-д. ст. Тюмень-Арык, 1993 г.				
Q_{re}	715	498	461	346	357	593	
Q_{hyd}	710	501	463	338	562	-	
ΔQ	-5,00	3,00	2,00	-8,00	205	-	
ΔQ%	-0,70	0,60	0,43	-2,31	57,4	-	6,05
			р. Аксу – с. Подгорное, 1993 г.				
Q_{re}	16,1	9,94	6,26	5,49	4,62	14,2	
Q_{hyd}	15,7	10,2	6,35	5,53	4,62	-	
ΔQ	-0,40	0,26	0,09	0,04	0	-	
ΔQ%	-2,48	2,62	1,44	0,73	0	-	

Примечание: Q_{re} – расходы воды, приведенные в гидрологических ежегодниках и вычисленные вручную специалистами; Q_{hyd} – расходы воды, вычисленные по программе HYDATA; ΔQ – разность расходов $Q_{hyd} - Q_{re}$; $\Delta Q\% - 100*(Q_{hyd} - Q_{re}) / Q_{re}$; $P_{ср}$% – среднее из средних месячных отклонений.

Ю. Н. Иванов, И. А. Чулпанова

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БАССЕЙНА РЕКИ АХАНГАРАН

Введение

Оценка водных ресурсов бассейна р. Ахангаран производилась неоднократно различными исследователями. Впервые эта оценка выполнена В. Л. Шульцем в 1936 году [8]. Однако это были предварительные данные, основанные на весьма скромном материале наблюдений по сути дела одного поста в бассейне. В дальнейшем В. Л. Шульцем проводились исследования водных ресурсов бассейна в различных работах [7, 9, 10].

Помимо В. Л. Шульца, расчеты водных ресурсов бассейна и построения карт модулей стока для бассейна Ахангарана выполнялись различными исследователями, в частности, М. Н. Большаковым, которым было предложено перейти от карт средних модулей стока к картам зональных модулей стока [1, 7].

Так что, казалось бы, изученность бассейна в части расчета стока вполне достаточна. Однако, после выхода в свет последней работы, в которой приводится расчет стока по бассейну р. Ахангаран наряду с другими реками Тянь-Шаня [1], прошло более 20 лет, а данные, приведенные М. Н. Большаковым в [1], по которым произведены все расчеты, заканчивались 1962 годом. За это время в бассейне было открыто значительное количество новых стоковых постов, удлинились ряды наблюдений на существовавших постах, было проведено большое гидротехническое строительство, в том числе, каналов, водохранилищ, реконструкция старых оросительных сооружений, осуществлены переброски стока из бассейна Чирчика.

По этой причине крайне интересно рассмотреть, насколько это все отразилось на оценке водных ресурсов бассейна. В связи с этим целью работы явилось уточнение величин собственных средних многолетних водных ресурсов бассейна с учетом всего имеющегося гидрометрического материала.

I. Физико-географическая характеристика бассейна

Бассейн р. Ахангаран располагается между Чаткальским и Кураминским хребтами Тянь-Шаньской горной системы и простирается с северо-востока на юго-запад. С запада бассейн открыт, и его границей служит долина Сырдарьи. Верхняя часть бассейна представляет собой высокое нагорье, известное под названием Ангренского плато, сильно изрезанное глубокими и узкими скалистыми ущельями реки и ее многочисленных притоков. Здесь находится основной водосбор реки.

Горные хребты в бассейне р. Ахангаран сложены преимущественно изверженными породами палеозойского возраста и имеют сравнительно незначительную высоту, нигде не поднимаясь выше 4500 м. Это обстоятельство не благоприятствует широкому развитию вечных снегов. Оледенение незначительно, так как высота снеговой линии в бассейне колеблется в пределах 3300-4000 м.

Несмотря на очень малое оледенение водосбора реки, в нем широко развиты снежники, преимущественно сезонные, которые играют весьма существенную роль в питании реки.

Истоками Ахангарана являются небольшие речки, стекающие со склонов Чаткальского и Кураминского хребтов. Ахангаран принимает большое количество притоков, из которых крупнейшими являются Арасан, Ташсай, Иерташ, Дукантсай, Карабаусай, Акчасай, Шавазсай, Низбашсай и Гушсай. Все притоки Ахангарана ниже г. Ангрен (последние шесть из перечисленных выше), за исключением Дукантсая и Карабаусая, разбираются на орошение и теряют воду на своих конусах выноса. В течение продолжительного периода времени они пересыхают и до р. Ахангаран не доходят, питая однако многочисленные карасу. Расходы Дукантсая и Карабаусая во второй половине лета исчисляются литрами.

Общая водосборная площадь Ахангарана 7710 км^2, из них около 50% приходится на горную область.

Довольно подробные характеристики всех природных условий бассейна приведены в работах [6, 10], поэтому нет необходимости останавливаться на них.

2. Гидрологическая изученность бассейна

Наблюдения за стоком в бассейне Ахангарана были начаты в 1925 году (р. Ахангаран - с. Самарское). Пост расположен на равнинной территории на расстоянии 12 км от места впадения реки в Сырдарью. Несколькими годами позже был открыт еще один пост на Ахангаране у с. Турк, где наблюдения велись с 1928 года. Пост находится в среднегорной зоне, на высоте 1000 м, в 152 км от устья. Длительное время эти два поста были единственными в бассейне реки.

Положение изменилось в начале 50-х годов, когда назрела необходимость в развитии сети пунктов наблюдений за гидрологическим режимом реки и, в частности, за стоком воды. В связи с этим в 1950-1960 годах в бассейне было открыто 15 постов.

Наибольшее количество постов введено в действие в начале 60-х и вплоть до середины 70-х годов. К уже действовавшим присоединилось еще 16. И, наконец, за период 1974-1981 годы открыты дополнительно 5 пунктов наблюдений за стоком [5].

Всего в бассейне реки Ахангаран в различное время функционировало 38 пунктов наблюдений за стоком воды (табл. 1). Площади бассейнов колеблются в пределах от 3,3 км^2 до 5220 км^2. 18 створов из общего числа относятся к водосборам с площадью менее 100 км^2. Таким образом, на один пост в среднем приходится 203 км^2 площади бассейна.

Общая суммарная продолжительность наблюдений в бассейне за стоком воды достигает 672 года, из них полных 602, что составляет 90,2% от общей продолжительности наблюдений.

Схема размещения пунктов наблюдений приведена на рис. 2. Она достаточно наглядно свидетельствует о крайне неравномерной гидрологической изученности бассейна. Наибольшее количество постов сосредоточено в среднегорной и предгорной зонах бассейна (23 поста из 38). Наряду с этим, недостаточному изучению подвергалась высокогорная область бассейна, где наблюдения за стоком велись только в небольшом бассейне р. Кызылча, площадь которого 51,6 км^2. Ранее, в высокогорной зоне, на высоте около 2000 м существовал единственный пост (р. Ахангаран - устье

Таблица 1

Список гидрологических постов бассейна р. Ахангаран

Река - пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км²	Средняя высота водосбора, км	Период действия	N
1. Ахангаран - устье р. Якаарча	183	638	2,76	1949-1968	18
2. Ахангаран - устье р. Иерташ	167	1110	2,50	1971-1990	20
3. Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины	152	1290	2,37	1927-1944, 1946-1974	42
4. Ахангаран - ниже Ахангаранской плотины	143	1490	2,31	1974-1990	17
5. Ахангаран - с. Теляу	106	3150	1,89	1930-1938, 1953-1956	2
6. Ахангаран - Сартамгалинский N 14	95,0	3610	1,81	1950-1958	7
7. Ахангаран - дюкера Ташкентского канала	71,0	4570	-	1965-1990	21
8. Ахангаран - с. Тюя-Бугуз	60,0	4620	1,59	1950-1953	1
9. Ахангаран - нижний бьеф Туюбугузского водохранилища	57,0	4630	-	1965-1990	26
10. Ахангаран - с. Солдатское	19,0	5090	1,52	1953-1990	36
11. Ахангаран - с. Самарское	12,0	5220	1,48	1925-1953	29
12. Кызылча - верховье	-	24,6	-	1966-1970	4
13. Кызылча - кишл. Иерташ	2,1	51,6	2,34	1951-1990	40
14. Головная - устье	-	10,3	2,37	1959-1970	12
15. Давансай - устье	-	10,6	2,93	1959-1970	11
16. Давансай - п. Славянка	-	14,4	-	1964-1965	0
17. Безымянная - устье	-	3,30	2,41	1959-1970	11
18. Кутырбулак - устье	-	8,80	2,07	1959-1964	6
19. Четыксай - устье	-	8,70	1,88	1959-1969	10
20. Джиблан - кишл. Жиблан	0,3	19,0	-	1981-1990	10
21. Таганбашисай - 5,8 км выше устья	5,8	16,8	2,31	1954-1959	4
22. Таганбашисай - 4,5 км выше устья	4,5	17,7	2,26	1959-1975	15
23. Таганбашисай - с. Турк	-	21,0	2,14	1975-1986	10
24. Наугарзан - 5,0 км выше устья	4,5	84,4	1,89	1954-1965	8

Продолжение табл. 1

Река - пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км²	Средняя высота водосбора км	Период действия	N
25. Наугарзан - с. Турк	0.2	92.8	1.85	1960-1970	10
26. Нишбаш - кишл. Нишбаш	8.0	141	2.05	1951-1990	39
27. Дукантсай - г. Янги-абад	-	69.8	-	1967-1970	2
28. Дукантсай - п. Дукант	10.0	201	2.21	1971-1990	20
29. Каттасай - г. Янги-абад	-	107	-	1967-1970	2
30. Карабау - с. Самарчук	12.0	166	2.03	1948-1990	41
31. Гушсай - кишл. Коч-булак	-	128	-	1979-1987	8
32. Абджазсай - кишл. Абджаз	12.0	70.5	1.59	1978-1990	12
33. Акча - кишл. Акча	3.9	125	1.56	1951-1980	28
34. Шаугаз - уроч. Кара-таш	8.8	65.8	1.66	1951-1990	37
35. Шавазсай - кишл .Каракия	19.0	137	1.72	1950-1954	4
36. Шавазсай - кишл. Джувасхана	13.0	161	1.62	1954-1965	10
37. Алмалыксай - кишл. Карамазар	12.0	56.5	1.45	1951-1959	8
38. Бургалик - кишл .Бургалик	6.6	-	-	1965-1990	25

Примечание: N - количество полных лет наблюдений.

р. Якаарча, площадь водосбора которого 638 км²). закрытый в 1968 году, вследствие чего естественный сток учитывается только на посту р. Ахангаран - устье р. Иерташ.

На равнинной территории сток полностью зарегулирован Тюябугузским водохранилищем и каналами [3, 4].

Наиболее продолжительные периоды наблюдений имеют посты: р. Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины (42 года), р. Кызылча - устье р. Иерташ (40 лет), р. Карабау - с. Самарчук р. Нишбаш - кишл .Нишбаш (39 лет). Таким образом, 13 постов в бассейне имеют по 20 и более лет круглогодичных наблюдений за стоком.

3. Получение однородных рядов стока

Поскольку, как видно, из табл. 1 и приложения 1, периоды наблюдений за стоком по различным постам часто не совпадают, имеют перерывы, появляется необходимость привести их к единому периоду для получения однородных данных. С этой целью проведено удлинение рядов и восстановление пропусков в них методом гидрологической аналогии.

Восстановление годовых и среднего многолетнего значения стока производилось, в основном, по уравнениям регрессии с двумя переменными.

Корреляционная матрица средних годовых расходов воды, рассчитанная для всех рядов с начала наблюдений по 1990 год включительно, показала очень высокую скоррелированность стока рек бассейна, что вполне естественно, учитывая его природные условия. По этой причине для восстановления стока использованы только те ряды, коэффициент корреляции между которыми превышал 0,85. Для получения количественных характеристик стока, кроме аналитического метода, использован также и графический прием.

К сожалению, в расчетах пришлось учесть и те ряды, для которых период совместных наблюдений составлял всего 10-15 лет, так как на ряде рек наблюдения за стоком велись в течение короткого времени. Однако при высокой скорелированности стока рек бассейна, ряды, полученные в этом случае, не должны иметь больших погрешностей.

Восстановление стока удалось осуществить по 16 постам в общей сложности за 796 лет. По семи постам восстановление стока расчетного створа производилось по двум аналогам, коэффициенты корреляции которых превышали 0,85. Это позволило получить более достоверные данные о рядах стока.

С использованием двух аналогов сток восстанавливался на постах: р. Ахангаран - устье р. Иерташ, р. Головная - устье, р. Давансай - устье, р. Безымянная - устье, р. Четыксай - устье, р. Таганбашисай - 4,5 км выше устья, р. Наугарзан - с. Турк.

Уравнения связей средних годовых расходов приведены в табл. 2.

Из-за недостаточности совместных лет наблюдений в двух случаях для получения однородных рядов использованы связи среднемесячных расходов воды. В частности, такой график связи построен для расчетного створа р. Ахангаран - устье р. Иерташ, где за аналог принят створ р. Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины.за период V.1971-VI.1974 годов. Анализ графика средних месячных расходов по этим постам показал, что связь тесная и среднемесячные расходы воды относительно хорошо укладываются на прямую:

$$Q_p = 1,090Q_a + 0,10.$$

Аналогично, восстановление стока производилось по посту р. Наугарзан - 5,0 км выше устья. За аналог принят створ р. Наугарзан - с. Турк, за период - 1961-1965 годы. Уравнение связи имеет вид:

$$Q_p = 0,8500Q_a - 0,08.$$

Таблица 2

Уравнения для восстановления средних годовых расходов воды по постам бассейна р. Ахангаран

Название расчетного створа	Название поста - аналога	Уравнение прямой связи
Ахангаран - устье р. Якаарча	Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины	$Q_p = 0,562Q_a + 0,620$
Ахангаран - устье р. Якаарча	Карабау - с.Самарчук	$Q_p = 4,1600_a + 2,26$
Ахангаран - с.Турк и в 3 км выше плотины	Ахангаран - устье р. Иерташ	$Q_p = 0,9200_a - 0,140$
Ахангаран - ниже Ахангаранской плотины	Кызылча - кишл. Иерташ	$Q_p = 0,0420_a + 0,020$
Головная - устье	Ахангаран - с.Турк и в 3 км выше плотины	$Q_p = 0,0089Q_a$
Головная - устье	Кызылча - кишл.Иерташ	$Q_p = 0,2080_a + 0,004$

Продолжение табл. 2

Название расчетного створа	Название поста - аналога	Уравнение прямой связи
Давансай - устье	р. Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины	$Q_p = 0,0095Q_a + 0,060$
Давансай - устье	Кызылча - кишл. Иерташ	$Q_p = 0,253Q_a + 0,033$
Безымянная - устье	Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины	$Q_p = 0,003Q_a - 0,008$
Безымянная - устье	Кызылча - кишл. Иерташ	$Q_p = 0,070Q_a - 0,004$
Четыксай - устье	Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины	$Q_p = 0,0053Q_a - 0,05$
Четыксай - устье	Кызылча - кишл. Иерташ	$Q_p = 0,129Q_a - 0,039$
Таганбашисай - 4.5 км выше устья	Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины	$Q_p = 0,017Q_a - 0,142$
Таганбашисай - 4.5 км выше устья	Кызылча - кишл. Иерташ	$Q_p = 0,409Q_a - 0,113$
Таганбашисай - с. Турк	Нишбаш - кишл. Нишбаш	$Q_p = 0,110Q_a - 0,060$
Наугарзан - с. Турк	Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины	$Q_p = 0,063Q_a - 0,531$
Наугарзан - с. Турк	Кызылча - кишл. Иерташ	$Q_p = 1,920Q_a - 0,590$
Нишбаш - кишл. Нишбаш	Ахангаран - с. Турк и в 3 км выше плотины	$Q_p = 0,159Q_a - 1,30$
Карабау - с. Самарчук и в 3 км выше плотины	Ахангаран - с. Турк	$Q_p = 0,157Q_a - 0,780$
Абджазсай - кишл. Абджаз	Шаугаз - уроч. Карташ	$Q_p = 0,101Q_a + 0,042$
Шавазсай - кишл. Каракия	Акча - кишл. Акча	$Q_p = 1,15Q_a + 0,070$

4. Районирование бассейна р. Ахангаран

Согласно принципам гидрологического районирования Средней Азии, предложенным В.Л.Шульцем [10], на рассматриваемой территории бассейна выделяется две гидрологические области - область формирования и область транзита стока.

К области формирования стока относятся собственно горные поднятия и склоны горных хребтов, характеризующиеся в общем положительной направленностью водного баланса.

Область транзита стока располагается непосредственно ниже области его формирования, опоясывая подножие горных образований и занимая территорию среднегорного шлейфа.

Значительное влияние на гидрологические процессы в горной области оказывает рельеф бассейна, что проявляется в первую очередь в высотной поясности водного баланса и процессов стока.

Средний многолетний сток рек, определяющий общую их водоносность, зависит, как известно, главным образом, от климатических факторов - осадков и испарения. Влияние других физико-географических факторов (рельефа, почвенно-геологических условий, растительности и пр.) проявляется косвенно, посредством их воздействия на климатические условия. Влияние рельефа на величину осадков и испарение выражается, главным образом, в изменении их величины с высотой местности: осадков, как правило, с высотой становится больше, а температура воздуха, как и величина испарения, понижается. По этой причине средний сток с горных водосборов с повышением местности увеличивается, причем это происходит до определенной высоты [8].

Влияние рельефа на сток проявляется, однако, не только в высотной поясности гидрологических процессов: оно более многогранно, так как его особенности, в частности, сочетание направления горных хребтов и их конфигурация, в той или иной степени определяют доступность речных бассейнов влажным воздушным массам и условия увлажнения отдельных долин и элементов горной территории атмосферными осадками [10].

В данной работе районирование бассейна р. Ахангаран проводилось по принципу однородности связей модуля стока с высотой бассейна, то есть в пределах горной области формирования стока были выделены районы, которые по своим природным и, в первую очередь, климатическим условиям создают более или менее однотипный фон, определяющий средние условия образования и режима стока.

На основании анализа нормы годового стока, вычисленной по

данным многолетних наблюдений по 21 посту, представилось возможным при современной изученности территории бассейна выявить зависимости $M_0 = f(H_{ср})$ для трех районов (рис. 1).

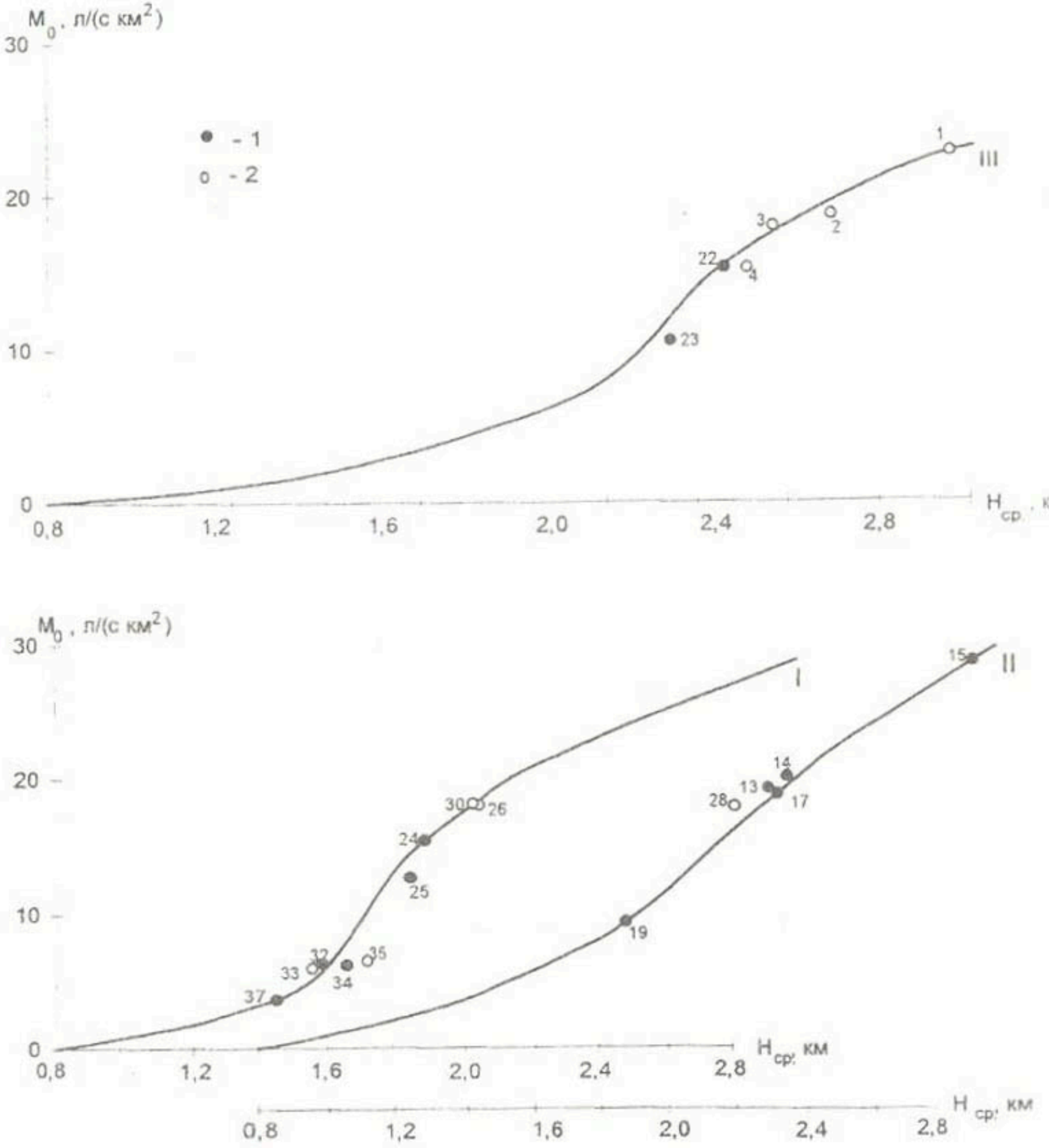


Рис. 1. Зависимости модуля стока (M_0) от средней взвешенной высоты бассейна ($H_{ср}$) для рек бассейна р. Ахангаран.

В высокогорной области формирования стока выделяются два района - правобережный и левобережный. Первый характеризуется высотами в пределах 1000-4000 м с преобладанием небольших саев. Этот район находится зимой под ослабленным влиянием Сибирского антициклона и воздействием циклонов с юго-запада. Это обусловливает достаточную увлажненность горных склонов осадками, достигающими в высокогорной части 1500 мм и более, причем выпадают они преимущественно в холодный период года. Этим определяется питание рек (саев) преимущественно талыми водами сезонных снегов, широко развитых в высокогорной области бассейна.

Второй район - верховье реки и левобережье р. Ахангаран, граница которого приближенно проходит через створ ниже Ахангаранской плотины. Он по своим климатическим и другим природным условиям близок к выше описанному району.

Наибольшую территорию занимает район, выделяемый в юго-западной части бассейна. К нему приурочена практически вся среднегорная область. По сравнению с высокогорной частью бассейна в этом районе в большинстве случаев происходит перераспределение осадков между сезонами. Наибольшие месячные суммы осадков отмечаются в марте - апреле, иногда в мае. Минимум приходится преимущественно на август - сентябрь.

Необходимо отметить еще одну особенность, имеющую большое значение для понимания распределения водоносности рек на территории Средней Азии, которая заключается в том, что в ее климатических условиях основным источником питания рек являются твердые осадки, так как сток дождевых вод в общем ничтожен и даже сильные обложные дожди образуют только отдельные пики, накладывающиеся на половодье [10].

Пределы значений $H_{ср}$ по бассейну, для которых применимы зависимости модулей стока от высоты бассейна, составили 0.8 - 4.0 км. Однако, вследствие неравномерной изученности территории зависимости имеют в своей основе недостаточное число точек, и поэтому их надо рассматривать как ориентировочные.

Учитывая диапазон значений $H_{ср}$, по которым построены эмпирические зависимости $M_0 = f(H_{ср})$, можно увидеть, что значения этих высот, как правило, соответствуют средней высотной

зоне склонов горных хребтов, в пределах которых формируются реки. Верхняя и нижняя высотные зоны не охватываются значениями $H_{ср}$, вычисленными для водосборов рек, замыкаемых гидрологическими постами.

Указанная неравномерная изученность области формирования стока объясняется тем, что гидрологические посты в данном случае размещаются на реках в створах при выходе рек из гор или у подошвы горных хребтов. Однако, рассматривая бассейн р. Кызылча (район 1), можно отметить, что здесь посты находятся в пределах горных склонов и на притоках рек.

Необходимо отметить, что выявленные зависимости характеризуют распределение удельной водоносности в выделенных нами районах бассейна с неодинаковой степенью надежности.

Например, отсутствие достаточных исходных стоковых данных вынудило включить в район 3 всю обширную среднюю часть бассейна, образованную системой горных хребтов и долин, различно ориентированных по отношению к направлению движения воздушных масс. Зависимость $M_0 = f(H_{ср})$ для этого района лишь схематично отображает действительную картину распределения нормы годового стока по высоте.

Норма годового стока неизученных рек этого района с естественным режимом определялась непосредственно путем экстраполяции графика зависимости $M_0 = f(H_{ср})$, приведенного на рис. 1.

Интересно отметить, что все три районные зависимости оказались общими как для рек с площадями водосборов более 100 км^2, так и для рек с водосборами менее 100 км^2, вплоть до постов, имеющих водосборную площадь 10 км^2. Это противоречит утверждению В. Л. Шульца, что лишь для водосборов с площадями более 100 км^2 проявляются районные зависимости [10], и свидетельствует скорее не о том, что В. Л. Шульц не прав, а о том, что условия образования стока в бассейне Ахангарана в части геологических, геоморфологических и почвенных условий довольно однородны, и лишь при очень малых площадях ($F < 10$ км^2) эта однородность нарушается.

Некоторое значение, надо думать, имеет и повышение изученности территории бассейна в отношении стока, за счет чего

уменьшилась вероятность того, что точки на графиках связи модулей стока с высотой бассейнов являются не отдельными случайными значениями стока в каком-то районе, а образуют совокупности данных по районам. Иными словами, район представлен не одной случайной точкой, а целым их рядом, по которому возможно провести кривые зависимости $M_0 = f(H)$. Подтверждением служит тот известный факт, что с увеличением изученности территории по любому природному фактору увеличивается количество районов.

Полученные районные зависимости модуля стока M_0 от средней высоты водосбора по рекам бассейна явились основой для построения карты изолиний среднего стока на территории области его формирования и транзита (рис. 2).

5. Карта модулей многолетнего стока

Построение схемы изолиний средних многолетних модулей стока произведено на основе фактических данных и выявленных зависимостей модулей стока от средних высот бассейнов.

Существующие методики построения карт норм стока основываются на закономерности широтной зональности климатических и других природных факторов и на предположении плавного изменения модуля (слоя) стока по территории.

Так, например, в 1946 году Б. Д. Зайков [2] предложил относить значения модулей стока к горизонтали с отметкой, равной средней взвешенной высоте водосбора. Этот способ в дальнейшем получил широкое распространение, однако он не лишен недостатков. При его использовании происходит отождествление высоты пункта и высоты водосбора, что может иметь место только при площадях водосборов, стремящихся к нулю.

При недостаточности наблюдений распределение стока в горах может быть охарактеризовано на основе определения зональных модулей нормы годового стока **m**, рассчитываемых по методике, предложенной М. Н. Большаковым, и путем построения зависимостей вида $\mathbf{m} = f(H)$ [1].

Отмечая несомненные достоинства метода зональных модулей стока, необходимо все же предостеречь от его слишком широкого применения для сложных в орографическом отношении районов.

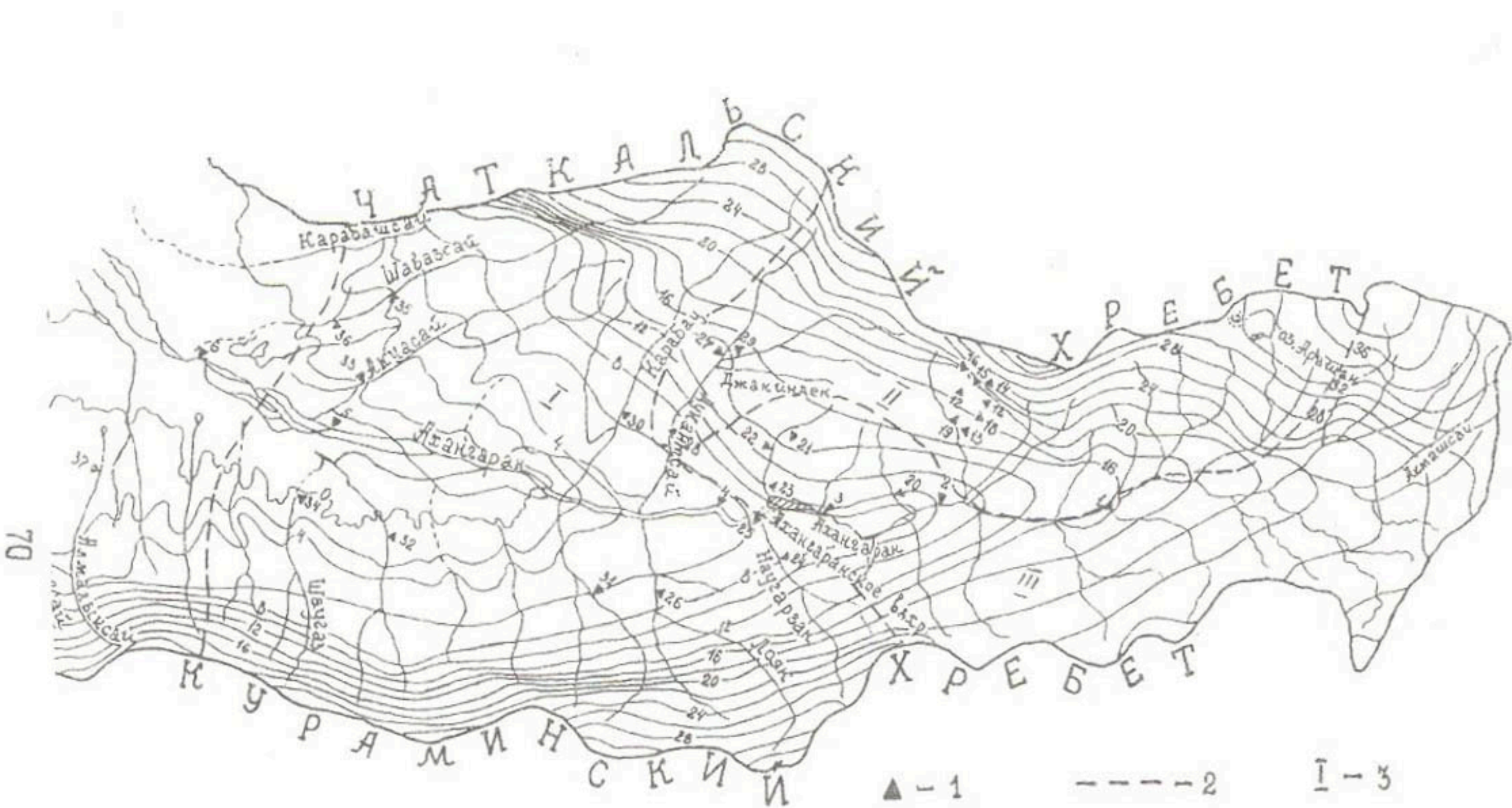


Рис. 2. Схематическая карта средних многолетних модулей стока водосбора р. Аханагаран. 1 – гидрологические посты, 2 – границы гидрологических районов, 3 – номера гидрологических районов

В самом деле, чем сложнее строение рельефа в бассейне, тем больше вероятность, что выделенная высотная зона будет иметь в различных частях бассейна различную ориентацию склонов по отношению к странам света, то есть различную доступность для влагонесущих воздушных масс, различную крутизну, различный характер почв и растительности, а, следовательно, и различные условия снегонакопления, испарения и таяния снежного покрова, и, как следствие всего этого, различный сток. В таком случае теряется смысл самих зональных модулей, и могут получиться результаты, далекие от действительности.

Впервые распространился и применяется до настоящего времени метод составления карт изолиний среднего стока горных территорий, основанный на принципе географической интерполяции значений интегрального модуля M_0. Применение этого метода и лежит в основе построения схематической карты средних многолетних модулей годового стока бассейна р. Ахангаран.

Для получения дополнительных точек использовались зависимости $M_0 = f(H_{ср})$, которые для верхней и нижней зон визуально экстраполируются. Вычисленные значения M_0 относятся к центрам тяжести соответствующих бассейнов и затем, на основе линейной интерполяции, проводятся через заданный " шаг " изолинии нормы годового стока. Такой метод применен В. Л. Шульцем при построении карты изолиний нормы годового стока для большей части горной территории Средней Азии [7].

Необходимо отметить, что использованный метод имеет следующие условности:

1) отнесение значений M_0 к геометрическим центрам тяжести площадей бассейнов рек, являющихся в известной мере условным, нельзя считать допустимым для горных речных бассейнов, так как при больших градиентах увеличения модулей стока с высотой центр тяжести водности бассейна расположен значительно выше геометрического центра тяжести бассейна реки;

2) при проведении изолиний по интерполяции между точками с вычисленными значениями M_0 неизбежно пересечение ими второстепенных водоразделов, что в большинстве случаев вступает в противоречие с понятием высотной поясности;

3) при практическом отсутствии данных по стоку для высоких и низких значений M_0 проведение изолиний для высокогорной и низкогорной зон неизбежно требует более или менее субъективной экстраполяции зависимостей $M_0 = f(H_{ср})$ и последующей трудоемкой увязки стока.

Общий характер распределения среднего стока в области его формирования на территории бассейна р. Ахангаран, в основном, соответствует распределению годовых сумм осадков. Соответственно, реки с повышенной водоносностью формируются, как правило, на наиболее увлажненных склонах периферийных горных хребтов, расположенных на пути движения влагоносных воздушных масс и благоприятно ориентированных к направлению этого движения. Наоборот, бассейны рек внутренней части горной страны, куда затруднено проникновение влажных воздушных масс, имеют относительно низкую удельную водоносность.

Отмеченные особенности распределения удельной водоносности хорошо иллюстрируются картой изолиний нормы годового стока (рис. 2), построенной на основе районных зависимостей модулей стока от средней высоты бассейнов (рис. 1).

Ниже дается более подробная характеристика распределения нормы годового стока на территории бассейна по величине интегрального модуля M_0 в л/(с км^2).

При анализе карты изолиний среднего многолетнего стока достаточно хорошо видно, что наибольшую водоносность имеют водосборы северной части наиболее высокогорной области бассейна. Здесь изолинии слоя нормы годового стока изменяются в пределах 22,0 - 39,6 л/(с км^2) при средних высотах водосборов 2,5 км. Это объясняется доступностью горных склонов проникновению влажных воздушных масс, и развитием по этой причине снежников преимущественно сезонных.

Сравнительно высокими значениями нормы годового стока характеризуются также реки правобережья высокогорной части бассейна юго-западных склонов Чаткальского хребта. Здесь модуль стока достигает 28,5 л/(с км^2) при $H_{ср}$ = 2,9 км.

Повышенная удельная водоносность наблюдается также в среднегорной части бассейна. При средних высотах, равных 2,0 км,

модуль стока этих рек равен 18 л/(с·км^2), достигая 28 - 30 л/(с·км^2) для водосборов с $H_{ср}$ > 2.0 км.

Распределение среднего стока в бассейнах рек, как уже отмечалось, зависит от доступности горных склонов проникновению влажных воздушных масс. Так, водосборы левых притоков Ахангарана области формирования стока, стекающих с Кураминского хребта, открыты для влажных воздушных масс, поэтому удельная водоносность этих рек достаточно высокая - M_0 = 18 л/(с·км^2) при $H_{ср}$ = 2,05 км.

Меньшие значения модулей стока отмечаются у большинства рек области транзита стока предгорной части бассейна. Наибольшие модули стока [(более 15 л/(с·км^2)] здесь соответствуют высотам 2,05 - 2,26 км.

Сравнительно низкая удельная водоносность рек обширного района области транзита стока, опоясывающего подножие горных образований объячняется тем, что влажные воздушные массы, проходящиеи над нею, не достигают уровня конденсации. Модули стока этих рек наименьшие в бассейне: при $H_{ср}$ = 0.86 км они не превышают 0.2 л/(с·км^2), увеличиваясь до 7 л/(с·км^2) у водосборов со средней высотой 1,65 км и более.

В целом изолинии модулей стока почти повторяют ход горизонталей в бассейне, отражая влияние рельефа на сток рек. Оказалось, что отметка местности в 800 м над уровнем моря соответствует нулевой изолинии модуля стока, то есть ниже этих отметок в бассейне сток практически не формируется.

6. Водные ресурсы бассейна

Зависимости модулей стока от высоты бассейнов позволили подсчитать средний многолетний годовой сток по высотным зонам как в пределах районов, для которых были построены упомянутые зависимости, так и для всей территории бассейна. При этом представилась возможность охватить этими подсчетами не только изученную (замыкаемую гидрологическими постами) часть области формирования стока, но и с достаточной точностью подсчитать сток с гидрологически неизученной площади водосборов, к которой относятся, в основном, стокообразующие площади нижнего пояса гор.

Результаты расчетов сведены в табл. 3, в которой они представлены по зонам (изученная и неизученная) всех трех районов.

Общий многолетний сток области формирования стока определен в 1217,5 млн. $м^3$ в год, из которых 1110,3 млн. $м^3$ приходится на изученную зону бассейна. Сток с гидрологически неизученной площади области формирования равен 107,2 млн. $м^3$ и составляет - 8,80 % общего стока.

Следует отметить, что замыкающим створом, учитывающим сток с высокогорной части бассейна изученной зоны (куда входят районы 2 и 3), является пост N 4 - ниже Ахангаранской плотины.

Известно, что р. Ахангаран относится к типу рек снего-во-дождевого питания. В бассейне почти отсутствует оледенение, но здесь в высокогорной зоне хорошо развиты снежники, преимущественно сезонные, располагающиеся на высотах 3300-4000 м над уровнем моря. Атмосферные осадки в этой зоне весьма обильны, выпадают преимущественно в твердом виде и потери влаги минимальны. Исходя из этого, можно считать, что наиболее активной зоной образования стока этой реки является высокогорная зона бассейна, входящая в районы 2 и 3 изученной территории и характеризующаяся оптимальным для формирования стока балансом прихода тепла и влаги. Это определяет значения модулей стока в этой зоне.

Средний многолетний модуль стока района 2 составил 18,2 $л/(с \cdot км^2)$, района 3 - 16,0 $л/(с \cdot км^2)$. Тем не менее, анализ таблицы показывает, что в зависимости от доступности отдельных орогидрографических элементов влажным воздушным массам, дифференциация удельной водоносности на рассматриваемой территории, даже без учета вертикальной поясности, достигает весьма широких пределов.

Среднегорная часть бассейна, входящая в район 1, характеризуется несколько меньшими значениями модуля стока в связи с нарастанием потерь влаги при уменьшении высоты. Средний многолетний модуль стока этого района составляет 12,0 $л/(с \cdot км^2)$. Однако, и здесь можно наблюдать большой диапазон изменений модуля стока.

Из-за слабой гидрометеорологической изученности бассейна в области формирования стока для неизученной зоны получены приближенные характеристики стока.

Бассейны рек этой зоны отличаются сравнительно низкой удельной водоносностью. Так, средний многолетний модуль стока неизученной зоны определен в 4.79 л/с с 1 км^2.

Следует отметить, что для оценки водных ресурсов по неизученной зоне необходимо улучшение гидрометеорологической изученности как для данной зоны, так и всего бассейна в целом.

На основании вышесказанного, можно сделать вывод, что основное формирование стока происходит в районах 2 и 3 изученной территории бассейна р. Ахангаран.

Приведенные в табл. 3 данные о поверхностном стоке горной области его формирования и транзита представляют собой среднюю многолетнюю величину постоянно возобновляемых ресурсов поверхностных вод.

Представляет интерес сравнение данных табл. 3 с опубликованными ранее суммарными значениями среднего многолетнего годового стока с горной области рассматриваемой территории. В одной из последних работ В. Л. Шульца [10] сток с водосбора р. Ахангаран определяется им в 43.0 м^3/с среднегодового расхода, что несколько выше наших данных (38.5 м^3/с). Это разница объясняется тем, что в нашем случае для расчета среднего сноголетнего стока использовался период наблюдений за 1928-1990 годы, в то время как В. Л. Шульц имел возможность пользоваться данными лишь по 1960 год, а также тем, что за этот период были открыты новые посты, что также повлияло на получение более достоверных данных. В основном, уменьшение подсчитанных водных ресурсов произошло за счет уточнения стока притоков Ахангарана. Так, если сток самой основной реки практически не изменился (22,8 м^3/с у Шульца и 22.5 у нас), то сток изученных притоков уменьшился с 17,7 до 12,6 м^3/с . Сток неизученных притоков, по которым В. Л. Шульц не имел возможности рассчитать сток и оценил его в 2-2,5 м^3/с, составил, по нашим расчетам, 3,40 м^3/с.

Таблица 3

Средний многолетний годовой сток области формирования и транзита стока рек бассейна р. Ахангаран

Река - пост	Площадь водосбора, км²	Средняя высота водосбора, км	Сток		Модуль стока л/с с 1 км²	Слой стока, мм
			млн. м³	м³/с		
1. Изученная зона						
Ахангаран - ниже Ахангаранской плотины	1397	2.31	713	22.5	16.0	479
Нишбаш - кишл. Нишбаш	141	2.05	80.1	2.54	18.0	568
Дукантсай - пос. Дукант	201	2.21	113	3.58	17.8	562
Карабау - с. Самарчук	161	2.03	95.0	3.01	18.1	572
Абджазсай - кишл. Абджаз	70.5	1.59	14.2	0.45	6.38	201
Акча - кишл. Акча	125	1.56	23.7	0.75	6.00	190
Шаугаз - уроч. Карагаш	65.8	1.66	12.9	0.41	6.23	196
Шавазсай - кишл. Джувасхана	161	1.62	34.1	1.08	6.71	212
Алмалыксай - кишл. Карамазар	56.5	1.45	24.3	0.77	3.70	430
Итого	2378.8		1110.3	35.09	14.75	467
2. Неизученная зона						
Гошсай - устье	38.0	1.55	6.24	0.198	5.20	164
Гушсай - устье	121	1.88	58.0	1.84	15.2	479
Сегенек - устье	45.0	1.44	4.83	0.153	3.40	107
Кандыр - устье	87.2	1.52	12.1	0.384	4.40	139
Ургаз - устье	64.0	1.51	8.48	0.269	4.20	133
Безымянный I - устье	32.0	1.40	3.22	0.102	3.20	101
Безымянный II - устье	70.0	1.36	6.18	0.196	2.80	88.3
Каракыясай - устье	140	1.21	7.47	0.237	1.70	53.4
Карабашсай - устье	113	0.864	0.73	0.023	0.20	6.4
Итого	710.2		107.2	3.40	4.79	151
Всего по бассейну	3089.2		1217.5	38.49	12.54	394

7. Изменчивость стока во времени в бассейне р. Ахангаран

Установлено, что колебания годового стока по характеру хронологической последовательности его отклонений от нормы и по

величине этих отклонений зависят от типа питания рек, определяемого относительным участием в стоке половодья талых вод, приближенно характеризуемым показателем внутригодового распределения стока δ [10].

Диапазон изменений параметра δ (табл. 4) находится в пределах 0,005- 0,46. На основании этого можно сделать вывод, что реки верховья бассейна, где показатель δ составляет 0,19-0,46, приближаются к рекам снегового питания. Реки более низкогорной

Таблица 4

Характеристики изменчивости стока рек бассейна Ахангарана

Река - пост	Площадь водосбора, км²	Средняя высота водосбора, км	Период наблюдений	Параметр внутригодового распределения	Коэффициент вариации C_v
Ахангаран - устье р. Якаарча	638	2,76	18	0,13	0,284
Ахангаран - устье р. Иерташ	1110	2,50	20	0,14	0,380
Ахангаран - с.Турк и в 3 км выше плотины	1290	2,37	42	0,17	0,339
Ахангаран - ниже Ахангаранской плотины	1490	2,31	17	0,41	0,370
Кызылча - кишл. Иерташ	51,6	2,34	40	0,46	0,386
Головная - устье	10,3	2,37	12	0,32	0,359
Давансай - устье	10,6	2,93	11	0,45	0,387
Безымянная - устье	3,3	2,41	11	0,20	0,452
Четыксай - устье	8,7	1,88	10	0,07	0,714
Джиблан - кишл. Жиблан	19,0	-	10	-	0,365
Нишбаш - кишл. Нишбаш	141	2,05	39	0,14	0,485
Дукантсай - п. Дукант	201	-	20	0,14	0,485
Карабау - с. Самарчук	166	2,03	41	0,14	0,382
Абджазсай - кишл. Абжаз	70,5	-	12	0,19	0,321
Шаугаз - уроч. Карагаш	65,8	1,66	37	0,19	0,487
Шавазсай - кишл. Джувасхана	161	1,62	10	0,13	0,433

части бассейна, где параметр δ находится в пределах 0.005-0.17, относятся к рекам снегово-дождевого питания. Следовательно, коэффициенты вариации годового стока рек бассейна должны иметь широкий диапазон значений. В самом деле вычисленные по 16 пунктам коэффициенты вариации изменяютя от 0.284 для поста р. Ахангаран - устье р. Якаарча до 0.714 для поста Четыксай - устье.

К сожалению, необходимо признать, что для надежного определения изменчивости годового стока бассейн Ахангарана, как впрочем и все бассейны рек Средней Азии, изучен явно недостаточно, что хорошо подтверждает рис. 3 зависимости коэффициентов вариации C_v годового стока от средних взвешенных высот бассейнов. На рисунке виден очень большой разброс точек, говорящий о значительном влиянии местных факторов на величину изменчивости стока в бассейнах малых рек. Так, например, реки Абджазсай, Шаугаз имеют очень малые коэффициенты вариации, хотя и расположены в западной низкогорной области бассейна.

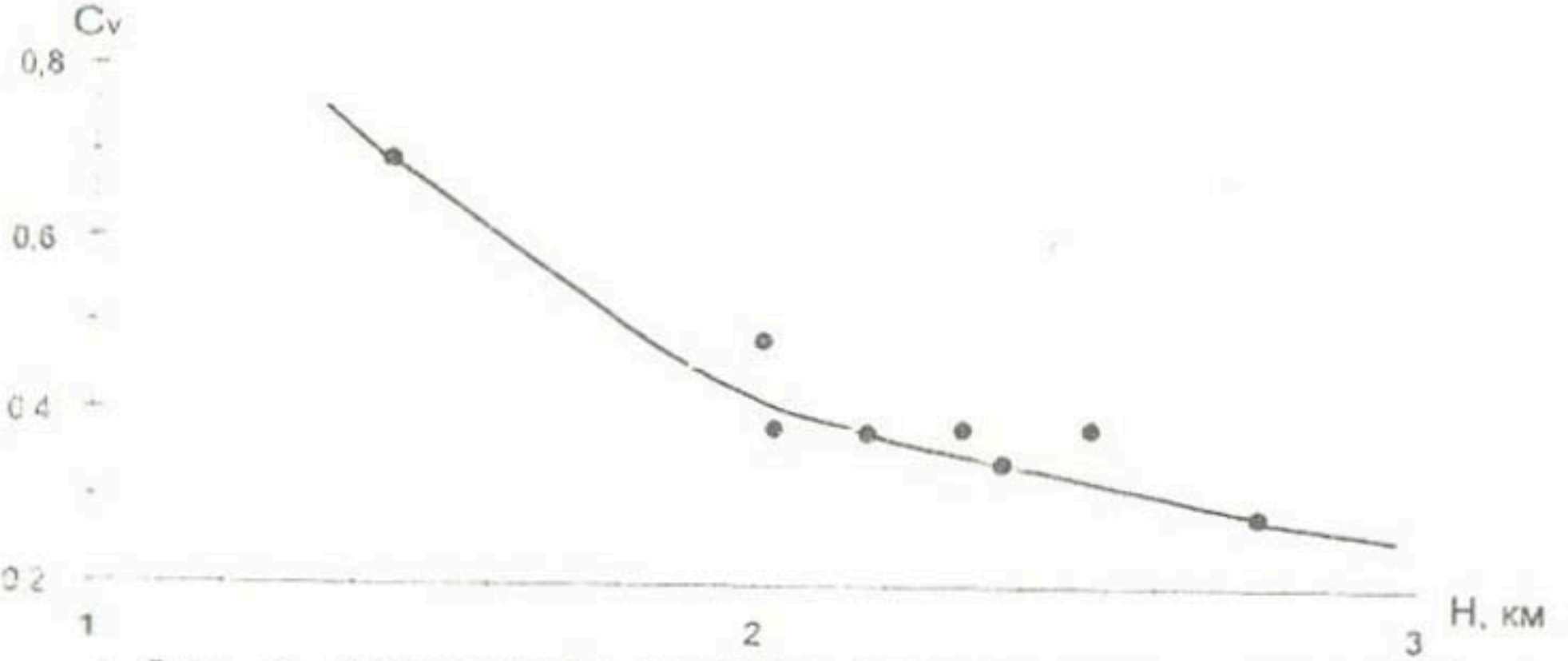


Рис. 3. Зависимость коэффициентов вариации стока (C_v) от средних взвешенных высот бассейнов (H).

Для рек с площадью бассейна более 100 км^2 прослеживается четкая зависимость коэффициентов вариации годового стока от средних взвешенных высот бассейнов, которая может быть выражена уравнением

$$C_v = 1,19 / H_{ср}^{1.425}$$

Получить аналогичную общую для всего бассейна зависимость для рек с меньшими площадями бассейнов не удалось. Намечаются лишь отдельные ее районные ветви.

Заключение

При выполнении работы получены следующие результаты:

осуществлено удлинение и восстановление рядов стока по 16 постам;

на основе исходных и вычисленных стоковых данных произведено районирование бассейна по принципу однородности связи модуля стока с высотой бассейна. При этом получены три районные зависимости в отличие от предыдущих авторов, получавших одну зависмимость;

на основе районных зависимостей модуля стока от средней высоты водосбора по рекам бассейна р. Ахангаран и фактических данных построена карта изолиний среднего стока на территории области формирования и транзита стока;

вычислен средний многолетний годовой сток с использованием районных зависимостей модулей среднего годового стока от высоты местности и данных по норме годового стока по постам, что позволило дать оценку водных ресурсов бассейна;

охарактеризована изменчивость стока во времени в бассейне, исходя из вычисленных коэффициентов вариации годового стока и полученной зависимости их от средней взвешенной высоты бассейна.

Это позволило впервые произвести расчет стоковых характеристик целого ряда рек и саев в различных частях бассейна (Приложение 2).

Список литературы

1. Большаков М. Н. Водные ресурсы рек Тянь-Шаня и методы их расчета. - Фрунзе: Илим, 1974. - 308 с.

2. Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории Кавказа. /Тр. НИУ ГУГМС, серия IV, - Вып. 40, 1946. - 101 с.

3. Ирригация Узбекистана. Т II. Ташкент: ФАН-1975. - 360 с.

4. Никитин А. М. Водохранилища Средней Азии. /Под ред. Ю. Н. Иванова. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 166 с.

5. Основные гидрологические характеристики Т. 14. вып.1, Бассейн р.Сыр-Дарьи. - Л.: Гидрометеоиздат, 1967.- 480 с.

6. Ресурсы поверхностных вод. Т. 14, вып. 1, Бассейн р.Сыр-Дарьи. - Л.: Гидрометеоиздат, 1969. - 440 с.

7. Указания к производству расчетов речного стока в условиях Средней Азии. - Ташкент: Изд. АН Узбекистана, 1959.- 92 с.

8. Шульц В. Л., Тимофеев Е. М., Наде-жин А. М. Основные черты гидрологии Средней Азии (жидкий сток). - Ташкент: Изд. Комитета Наук Узбекистана, -1936. -106 с.

9. Шульц В. Л. Приближенное определение основных характеристик жидкого стока рек Средней Азии (в пределах горной области) - Изв. АН Узбекистана N 6, 1947. - С. 39-53.

10. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. - 692 с.

Приложение 1

Средние годовые расходы воды по постам бассейна р. Ахангаран с учетом восстановленных лет

Год	1	2	3	4	13	14	15
1928	15,3*	23,9*	26,2			0,230*	0,300*
1929	13,9*	21,5*	23,6			0,210*	0,280*
1930	11,7*	18,0*	19,7			0,180*	0,240*
1931	13,5*	20,9*	22,9			0,200*	0,270*
1932	8,00*	10,9*	13,0			0,120*	0,180*
1933	10,3*	15,5*	17,2			0,150*	0,220*
1934	19,8*	31,1*	34,2			0,310*	0,380*
1935	12,9*	20,0*	21,9			0,190*	0,260*
1936	12,1*	18,5*	20,4			0,180*	0,250*
1937	–	–	–		–	–	–
1938	8,90*	12,3*	14,7			0,130*	0,190*
1939	10,6*	16,0*	17,6			0,160*	0,220*
1940	9,30*	12,8*	15,3		–	0,180*	0,200*
1941	15,3*	23,9*	26,2			0,230*	0,300*
1942	16,9*	26,4*	29,1			0,260*	0,330*
1943	–	–	–		–	–	–
1944	–	–	–		–	–	–
1945							
1946	13,8*	21,4*	23,4			0,210*	0,280*
1947	11,2*	17,0*	18,8			0,170*	0,230*
1948	16,9*	26,4*	29,1			0,260*	0,330*
1949	20,7*	32,7*	35,8			0,320*	0,390*
1950	9,70	14,5*	16,0			0,140*	0,210*
1951	11,8*	18,1*	19,8	27,8*	1,18	0,215*	0,285*
1952	18,8	30,0*	33,0	41,6*	1,75	0,330*	0,425*
1953	14,2*	22,0*	24,1	31,0*	1,31	0,245*	0,325*
1954	17,9	25,4*	27,7	28,8*	1,22	0,255*	0,330*
1955	11,4	16,5*	18,3	17,1*	0,73	0,160*	0,225*
1956	12,3	18,3*	20,3	21,2*	0,900	0,185*	0,255*
1957	6,64	9,70*	11,6	15,4*	0,660	0,125*	0,185*
1958	19,1	31,0*	34,1	25,0*	1,06	0,265*	0,340*
1959	17,3	27,0*	29,7	39,9*	1,68	0,290	0,405*
1960	20,9*	33,0*	36,2	38,2*	1,61	0,350	0,380
1961	8,57	13,2*	15,8	16,8*	0,720	0,220	0,230
1962	9,86	14,1*	16,9	17,8*	0,760	0,140	0,240
1963	16,0	24,0*	26,4	25,0*	1,06	0,230	0,310
1964	14,4	23,5*	25,5	23,4*	0,990	0,220	0,280
1965	9,25	12,0*	14,4	12,4*	0,530	0,120	0,170
1966	18,2	29,5*	32,4	25,9*	1,10	0,240	0,300
1967	10,6	16,3*	18,0	15,6*	0,670	0,180	0,220
1968	15,8*	24,8*	27,0	22,4*	0,950	0,200	0,270
1969	31,6*	51,0*	55,6	48,2*	2,04	0,420	0,610
1970	13,1*	20,0*	22,1	23,2*	0,980	0,210	0,390
1971	11,8*	18,5	19,8	16,2*	0,690	0,165*	0,225*
1972	14,8*	23,3	25,3	21,6*	0,920	0,210*	0,280*
1973	13,9*	20,0	23,7	20,4*	0,870	0,200*	0,270*

Год	1	2	3	4	13	14	15
1974	9,90*	9,05	10,8*	8,80*	0,380	0,085*	0,130*
1975	15,5*	14,1	16,9*	14,2*	0,610	0,130*	0,190*
1976	18,6*	18,8	20,7*	17,0*	0,730	0,160*	0,220*
1977	13,0*	15,2	17,0*	15,0*	0,640	0,140*	0,200*
1978	12,9*	21,7	23,7*	24,6*	1,04	0,220*	0,300*
1979	19,0*	30,2	33,0*	30,4*	1,29	0,270*	1,36*
1980	14,2*	20,6	22,5*	21,9*	0,930	0,200*	0,270*
1981	13,7*	17,9	19,8*	9,20*	0,400	0,090*	0,140*
1982	12,1*	10,7	12,8*	13,8*	0,590	0,130*	0,190*
1983	11,1*	12,1	14,5*	15,3*	0,650	0,140*	0,200*
1984	11,5*	17,5	19,3*	20,7*	0,880	0,190*	0,260*
1985	15,6*	20,4	22,4*	25,2*	1,07	0,230*	0,310*
1986	9,10*	11,7	14,0*	12,8*	0,550	0,120*	0,180*
1987	20,4*	26,2	28,8*	34,6*	1,46	0,310*	0,400*
1988	11,3*	22,3	24,3*	25,0*	1,06	0,230*	0,300*
1989	11,9*	15,2	17,0*	12,5*	0,620	0,130*	0,190*
1990	16,4*	24,8	27,2*	29,5*	1,25	0,270*	0,350*
$n_{мн}$	59	59	59			59	59
$Q_{ср}$	14,0	20,6	22,8			0,204	0,292
n_{51}	40	40	40	40	40	40	40
$Q_{ср51}$	14,4	20,7	23,1	22,6	0,963	0,206	0,303
F. км²	638	1110	1290	1490	51,6	10,3	10,6
$H_{ср.вз}$ км	2,76	2,50	2,37	2,31	2,34	2,37	2,93
M_o л/с с 1км²	22,6	18,6	17,9	15,2	18,7	20,0	28,5

Год	17	19	22	23	24	25	26
1928	0,069*	0,089*	0,290*			1,25*	2,80*
1929	0,065*	0,076*	0,245*			1,08*	2,40*
1930	0,050*	0,056*	0,186*			0,800*	1,80*
1931	0,060*	0,072*	0,245*			1,03*	2,30*
1932	0,030*	0,020*	0,075*			0,340*	0,750*
1933	0,043*	0,140*			0,630*	1,40*	
1934	0,093*	0,133*	0,420*			1,81*	4,05*
1935	0,067*	0,068*	0,220*			0,760*	2,15*
1936	0,052*	0,060*	0,195*			0,850*	1,90*
1937	-	-	-			-	-
1938	0,036*	0,030*	0,100*			0,460*	1,00*
1939	0,044*	0,046*	0,150*			0,670*	1,44*
1940	0,038*	0,032*	0,110*			0,500*	1,08*
1941	0,069*	0,090*	0,290*			1,25*	2,80*
1942	0,078*	0,106*	0,340*			1,45*	3,25*
1943	-	-	-			-	-
1944	-	-	-			-	-
1945							
1946	0,062*	0,075*	0,243*			1,06*	2,38*
1947	0,047*	0,051*	0,170*			0,740*	1,63*
1948	0,078*	0,104*	0,340*			1,45*	3,25*

Год	17	19	22	23	24	25	26
1949	0.098*	0.140*	0.450*			1.90*	4.30*
1950	0.040*	0.038*	0.120*			0.550*	1.21*
1951	0.065*	0.084*	0.186*			1.25*	2.06
1952	0.100*	0.156*	0.430*			2.24*	3.44
1953	0.076*	0.105*	0.256*			1.51*	3.08
1954	0.078*	0.109*	0.340*			1.54*	2.78
1955	0.047*	0.051*	0.290*		0.750	0.760*	1.58
1956	0.056*	0.068*	0.330*		1.05	0.990*	2.07
1957	0.035*	0.029*	0.220*		0.580	0.465*	1.09
1958	0.082*	0.114*	0.580*		1.94	1.62*	3.56
1959	0.105*	0.144*	0.345*		2.50	2.07*	3.25*
1960	0.120	0.150	0.510	0.320*	2.70	2.22*	3.39
1961	0.065	0.051	0.180	0.162*	0.700	0.520	2.02
1962	0.045	0.037	0.120	0.120*	0.640	0.390	1.60
1963	0.063	0.091	0.290	0.230*	1.48	1.19	2.60
1964	0.062	0.085	0.290	0.295*	1.22	1.25	3.22
1965	0.039	0.042	0.130	0.105*	0.700	0.530	1.48
1966	0.070	0.098	0.280	0.215*		1.69	2.49
1967	0.043	0.046	0.180	0.115*		0.790	1.56
1968	0.060	0.085	0.270	0.230*		1.29	2.60
1969	0.140	0.260	0.790	0.825*		3.60	8.06
1970	0.063	0.077*	0.320	0.165*		1.01	2.03
1971	0.048*	0.053*	0.140	0.120*		0.775*	1.63
1972	0.064*	0.082*	0.180	0.250*		1.19*	2.78
1973	0.061*	0.075*	0.230	0.265*		1.08*	2.90
1974	0.024*	0.010*	0.068	0.055*		0.160*	1.00
1975	0.040*	0.038*	0.140*	0.118*		0.590*	1.58
1976	0.048*	0.054*	0.190*	0.160*		0.800*	1.97
1977	0.042*	0.042*	0.150*	0.100*		0.640*	1.44
1978	0.069*	0.094*	0.310*	0.320*		1.40*	3.42
1979	0.087*	0.129*	0.420*	0.365*		1.88*	3.85
1980	0.062*	0.080*	0.270*	0.245*		1.20*	2.74
1981	0.025*	0.012*	0.050*	0.210*		0.200*	2.43
1982	0.038*	0.036*	0.130*	0.165*		0.560*	1.93
1983	0.042*	0.044*	0.150*	0.160*		0.660*	1.99
1984	0.059*	0.074*	0.250*	0.190*		1.10*	2.25
1985	0.072*	0.098*	0.330*	0.255*		1.46*	2.84
1986	0.035*	0.030*	0.110*	0.085*		0.480*	1.29
1987	0.098*	0.150*	0.480*	0.170*		2.22*	4.83
1988	0.071*	0.096*	0.320*	0.220*		1.44*	2.52
1989	0.040*	0.140*	0.090*		0.600*	1.34	2.65
1990	0.084*	0.122*	0.400*	0.270*		1.80*	2.92
$n_{мн}$	59	59	59	31	11	59	59
$Q_{ср}$	0.062	0.077	0.256	0.22	1.3	1.11	2.43
n_{51}	40	40	40			40	40
$Q_{ср51}$	0.063	0.081	0.270			1.18	2.54
F, км²	3.3	8.7	17.7	21.0	84.4	92.8	141
$H_{ср.вз}$, км	2.41	1.88	2.26	2.14	1.89	1.85	2.05
M_o л/(с·км²)	19.1	9.31	15.3	10.5	15.4	12.7	18.0

Год	28	30	32	33	34	35
1930		2.29*				
1931		2.80*				
1932		1.25*				
1933		1.90*				
1934		4.60*				
1935		2.65*				
1936		2.40*				
1937		-				
1938		1.53*				
1939		1.97*				
1940		1.60*				
1941		3.33*				
1942		3.81*				
1943		-				
1944		..				
1945						
1946		2.90*				
1947		2.15*				
1948		3.80*				
1949		4.36				
1950		1.72*			0.590	
1951		2.24	0.275*	0.520	0.230	1.09
1952		4.21	0.570*	1.58	0.520	1.75
1953		3.37	0.650*	1.18	0.600	2.04
1954		3.68	0.640*	1.65	0.590	1.85*
1955		1.99	0.305*	0.530	0.260	0.680*
1956		2.67	0.345*	0.670	0.300	0.840*
1957		1.43	0.185*	0.110	0.140	0.200*
1958		4.17	0.660*	1.45	0.610	1.62*
1959		3.40	-	-	-	-
1960		4.56	0.670*	1.57	0.620	1.79*
1961		1.73	0.325*	0.410	0.280	0.520*
1962		1.86	0.185*	0.093	0.140	0.180*
1963		3.03	0.405*	0.860	0.360	1.06*
1964		3.12	-	1.80	-	-
1965		1.58	0.195*	0.230	0.150	0.340*
1966		3.24	0.255*	0.820	0.190	1.02*
1967		2.17	0.285*	0.410	0.240	0.540*
1968		3.35	0.730*	0.930	0.680	1.14*
1969		8.12	0.850*	-	0.800	-
1970		2.73	0.586*	0.240	0.540	0.340*
1971	2.81	2.66	0.365*	0.230	0.320	0.340*
1972	4.22	3.56	0.900*	0.420	0.850	0.550*
1973	3.44	3.46	..	0.680	-	0.850*
1974	1.65	1.82	0.305*	0.064	0.260	0.150*
1975	2.67	3.16	0.325*	0.230	0.280	0.340*
1976	3.81	3.89	0.450*	0.430	0.400	0.570*
1977	2.81	2.58	0.235*	0.200	0.190	0.300*
1978	4.00	3.56	0.550*	1.61	0.500	1.80*
1979	5.19	4.02	0.730	1.56	0.900	1.75*
1980	3.46	2.85	0.450	0.530	0.300	0.680*
1981	3.50	2.74	0.490		0.430	

Год	28	30	32	33	34	35
1982	2.43	2.35	0.300		0.260	
1983	2.49	2.11	0.470		0.480	
1984	3.16	2.20	0.300		0.250	
1985	4.57	3.14	0.450		0.400	
1986	2.20	1.60	0.210		0.300	
1987	6.65	4.34	0.640		0.660	
1988	3.68	2.15	0.590		0.420	
1989	2.65	2.31	0.410		0.280	
1990	6.18	3.38	0.510		0.460	
$n_{мн}$	20	59	37	28	37	28
$Q_{ср}$	3.58	2.91	0.450	0.750	0.410	0.890
n_{51}		40	37	28	37	27
$Q_{ср51}$	3.01	0.450	0.750	0.410	0.900	
F.	201	166	70.5	125	65.8	137
$H_{ср.вз}$	2.21	2.03	1,59	1,56	1.66	1.72
M_0	17.8	18.1	6.38	6.00	6.23	6.57

Примечания: 1. $n_{мн}$ - общее количество лет с подсчитанным стоком воды. $Q_{ср}$ - средний расход воды за период $n_{мн}$. n_{51} - количество лет с подсчитанным стоком воды до 1951 г. включительно. $Q_{ср51}$ - средний расход воды за период n_{51}.
F. - площадь бассейна реки, км^2. $H_{ср.вз}$ - средняя взвешенная высота бассейна реки, км. M_0 л/(с км^2) - модуль стока реки.
2. Номера постов приведены в соответствии с табл. 1.

Характеристики средних многолетних величин стока рек бассейна р. Ахангаран

Водоток	Створ	Площадь бассейна, км^2	Средняя взвешенная высота бассейна, км	Средний многолетний модуль стока, л/с с 1 км^2	Средний многолетний расход воды м^3/с	Коэффициент вариации годового стока
Ахангаран	устье р. Якаарча	638	2,76	22,6	14,0	0,333
Ахангаран	кишл. Ахматабад	1095	2,53	18,7	20,5	0,345
Ахангаран	кишл. Маккурья	1104	2,51	18,6	20,5	0,348
Ахангаран	устье р. Йерташ	1110	2,50	18,6	20,6	0,350
Ахангаран	кишл Коксарай	1144	2,44	18,4	21,0	0,360
Ахангаран	кишл. Сойена	1188	2,43	18,2	21,6	0,365
Ахангаран	0,6 км выше устья р. Йерташ	1199	2,42	18,0	21,6	0,368
Ахангаран	кишл Айри	1225	2,41	17,9	21,9	0,369
"	турбаза	1232	2,40	17,7	21,9	0,370
Ахангаран	3 км выше плотины	1290	2,37	17,7	22,8	0,378
Куинды	устье	66,70	2,29	15,6	1,04	0,350
Кайки	"	34,17	2,45	19,0	0,649	0,315
Улуглисай	"	29,88	2,79	23,2	0,693	0,275
Акташсай	"	54,60	2,94	20,0	1,09	0,254
Кенкуль	"	54,47	2,56	20,2	1,10	0,308
Каракамышсай	устье	61,84	2,89	24,2	1,47	0,250
Орталыксай	устье	129,8	2,96	25,0	3,24	0,254
Шербулаксай	устье	28,92	2,58	23,2	0,671	0,302
Арашан	"	114,1	2,71	25,3	2,90	0,290
Учсай	"	49,10	3,05	29,6	1,45	0,250
Келимчек	"	31,13	2,84	28,0	0,872	0,270
Турасай	"	92,37	2,50	23,2	2,14	0,300
Джакиндек	"	23,53	2,54	21,8	0,513	0,305
Алатаньга	"	32,84	2,25	21,6	0,709	0,362
Галлысай	"	28,03	2,33	17,0	0,476	0,350
Турвушун	"	41,99	1,80	5,00	0,210	0,570
Кумкол	"	51,41	1,94	6,80	0,363	0,490
Иерташ	кишл. Иерташ верхний	61,6	2,45	21,1	1,30	0,350
Иерташ	кишл Иерташ ОТФ	87,6	2,19	15,4	1,35	0,400

Водоток	Створ	Площадь бассейна, км ^{2}	Средняя взвешенная высота бассейна, км	Средний многолетний модуль стока, л/с с 1 км^2	Средний многолетний расход воды, м^3/с	Коэффициент вариации годового стока
Иерташ	кишл. Иерташ нижний	97.2	2.14	14.3	1.39	0.415
Таганбаши-сай	кошара	19.6	2.18	13.4	0.263	0.405
Кокенду	кошара	16.5	2.07	9.40	0.155	0.435
Наугарзан	санаторий	85.0	1.89	15.4	1.31	0.490
"	кишл. Улугбек	88.0	1.87	14.0	1.23	0.500
Наугарзан	кишл. Турк	92.8	1.85	12.7	1.11	0.971
Кокенду	кишл. Четсу	17.9	2.37	17.3	0.310	0.365
Нишбаш	кишл. Лашкерак верхний	22.3	2.26	22.0	0.490	0.390
Нишбаш	кишл. Лашкерак нижний	29.7	2.06	19.8	0.577	0.440
Нишбаш	кишл. Нишбаш верхний	141	2.05	18.0	2.54	0.485
Нишбаш	дома кишл. Нишбаш	161.5	1.97	17.8	2.72	0.450
Нишбаш	кишл. Нишбаш нижний	170.9	1.96	17.5	2.98	0.460
Лашкерек	устье	29.2	2.06	18.8	0.548	0.425
Лояк	лагерь	107.0	1.92	16.0	1.71	0.480
Гушсай	кишл. Андарджал	24.8	2.16	20.2	0.501	0.410
Гушсай	кишл. Кочбулак	73.4	1.72	10.2	0.749	0.515
Гушсай	устье	121.0	1.88	15.2	1.84	0.500
Каттасай	турбаза Янгиабад	80.9	2.48	21.2	1.72	0.345
Каттасай	кишл. Янгиабад	180.0	2.21	16.0	2.88	0.440
Карабау	лесничество	102.2	2.31	21.2	2.17	0.250
Карабау	лагерь	144.8	2.14	19.2	2.78	0.320
"	створ 1	159.0	2.07	18.0	2.86	0.345
"	с. Самарчук	166.0	2.03	18.1	3.05	0.392
"	створ 2	175.6	2.00	18.0	3.16	0.383
Ургаз	зимовка	49.0	1.75	11.5	0.564	0.505
"	кишл. Ургаз	63.4	1.66	5.70	0.615	0.540
Карабашисай	кишл. Карабаш	25.8	1.23	2.00	0.052	0.825
Карабашисай	кошара	45.9	1.09	1.50	0.055	1.000
Алмалыксай	кишл. Яйловча	13.9	1.80	13.2	0.183	0.525

Водоток	Створ	Площадь бассейна, км ^{2}	Средняя взвешенная высота бассейна, км	Средний многолетний модуль стока, л/с с 1 км^2	Средний многолетний расход воды, м^3/с	Коэффициент вариации годового стока
Алмалыксай	летовки	43.2	1.55	5.60	0.242	0.590
"	кишл. Карамазар	56.5	1.45	3.70	0.770	0.693
Шавазсай	дом	96.3	1.64	7.30	0.666	0.550
"	кишл. Джарташ	115.5	1.64	7.30	0.738	0.550
Шавазсай	дома	130.9	1.72	10.6	1.39	0.515
"	зимовка	137.3	1.72	10.6	1.44	0.515
"	кишл. Каракия	141.3	1.72	10.6	1.50	0.515
Савукбулак	кошара	31.4	1.32	2.60	0.034	0.755
"	кишл. Чинар	35.4	1.31	2.20	0.078	0.785
"	кишл. Карабулак	41.0	1.24	2.00	0.083	0.815
Каиндырсай	дома	15.8	1.60	6.30	0.100	0.565
"	кишл. Кошрават	42.1	1.50	4.30	0.181	0.625
Абдусазсай	створ 1	10.6	2.00	17.6	0.187	0.430
"	" 2	16.4	1.95	16.6	0.272	0.470
"	" 3	23.6	1.89	15.3	0.361	0.790
"	" 4	33.0	1.80	13.0	0.430	0.525
"	" 5	42.8	1.81	13.1	0.429	0.520
"	" 6	73.2	1.61	6.40	0.468	0.565
"	" 7	81.0	1.60	5.80	0.469	0.267
"	" 8	85.6	1.60	5.80	0.496	0.587
Кызата	кишл. Низбайсай	37.42	1.40	3.20	0.118	0.850
Сегенек	кошара	25.8	1.25	2.00	0.052	0.805
"	разв. МТФ	28.4	1.23	1.98	0.056	0.825
"	кишл. Каракалпак	34.4	1.18	1.96	0.067	0.860
Каракыясай	амбар	61.4	1.30	2.40	0.147	0.770
"	кишл. Каракишлак	109.8	1.27	2.04	0.224	0.900
Каракыясай	г. Алмалык	122.0	1.22	1.90	0.232	0.830
"	устье	147.8	1.21	1.80	0.266	0.845

Ю. М. Денисов, А. И. Сергеев,
Т. Л. Ибрагимова

НОВЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СТОКА ГОРНЫХ РЕК

Практические запросы народного хозяйства нередко приводят к необходимости знать состояние некоторых объектов или систем, в том числе и природных, на будущие моменты времени, то есть иметь прогноз их динамики на различные сроки заблаговременности.

При разработке методов прогноза исследователи сталкиваются с тремя основными - стратегическими вопросами: какие параметры принять за аргументы (предикторы), в каких местах пространства и в какие моменты времени определять их. Общего формализованного алгоритма, отвечающего на все эти вопросы, пока не существует, и успешность метода прогноза во многом еще зависит от таких неформализованных понятий как интуиция, озарение, удача и пр. [1 - 4].

Здесь мы рассмотрим прогноз среднегодовых расходов воды или годовой приточности в водохранилища с заблаговременностью от одного до нескольких лет.

Исходя из наших знаний о формировании стока рек, за предикторы примем среднегодовые расходы воды Q в створе, для которого составляется прогноз, годовые суммы осадков в бассейне на некоторой высоте (X) и среднегодовую температуру воздуха в бассейне θ на этой же высоте. Прогноз будем давать с использованием метода множественной регрессии, но, в отличие от существующего подхода, основной проблемой для нас будет определение предшествующих прогнозу моментов времени (лет), в которые следует брать значения предикторов.

Обозначим через t_g год, в который выдается прогноз, и через p - число лет заблаговременности прогноза для каждого года составления прогноза, то есть если p=1, то прогнозируется расход на момент времени t_g+1, если p=2, то прогноз дается на момент времени t_g+2 и т.д. Тогда можно записать:

$$\left.\begin{aligned} Q_p^* = {} & a_{p1}Q(t_g - \alpha_{p1}) + a_{p2}Q(t_g - \alpha_{p2}) + a_{p3}Q(t_g - \alpha_{p3}) + \dots \\ & b_{p1}X(t_g - \beta_{p1}) + b_{p2}X(t_g - \beta_{p2}) + b_{p3}X(t_g - \beta_{p3}) + \dots \\ & c_{p1}\theta(t_g - \zeta_{p1}) + c_{p2}\theta(t_g - \zeta_{p2}) + c_{p3}\theta(t_g - \zeta_{p3}) + \dots \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Здесь α_{pi}, β_{pj} и ζ_{pk} - время в годах от года выдачи прогноза для предикторов Q, X и θ, соответственно, и Q_p - спрогнозированный расход.

Равенство (1) можно записать более компактно:

$$Q_p^* = \sum_{i=1}^{n_1} a_{pi}Q(t_g - \alpha_{pi}) + \sum_{j=1}^{n_j} b_{pj}X(t_g - \beta_{pj}) + \sum_{k=1}^{n_k} c_{pk}\theta(t_g - \zeta_{pk}). \quad (2)$$

где n_i, n_j, n_k - число предикторов расходов, осадков и температуры воздуха, соответственно.

Обозначим через λ_m наибольшее расстояние по времени от t_g для определения α_{pi}, β_{pj} и ζ_{pk}. Пусть также N - число лет совместных наблюдений за расходами воды, осадками и температурой воздуха, и t_o - год начала совместного наблюдения за ними.

Образуем следующую сумму S

$$S = \sum_{t_g=t_o+\lambda_m}^{N-(\lambda_m+p)} (Q_p - Q_p^*)^2 = \sum_{t_g=t_o+\lambda_m}^{N-(\lambda_m+p)} [\, Q_p\,(t_g + p) - \sum_{i=1}^{n_1} a_{pi}Q(t_g - \alpha_{pi}) - \sum_{j=1}^{n_j} b_{pj}X(t_g - \beta_{pj}) - \sum_{k=1}^{n_k} c_{pk}\theta(t_g - \zeta_{pk})]^2, \quad (3)$$

где Q_p - фактический расход.

Сумма S зависит от неизвестных a_{pi}, b_{pj}, c_{pk}, α_{pi}, β_{pj} и ζ_{pk}, то есть от $2(n_i + n_j + n_k)$ величин. Очевидно, они должны иметь такие значения, при которых значения S достигали бы минимума.

Параметры $a_{p\,i}$, $b_{p\,j}$ и $c_{p\,k}$ являются действительными величинами, а $\alpha_{p\,i}$, $\beta_{p\,j}$ и $\zeta_{p\,k}$ - целыми числами, могущими принимать значение 0. Тогда для минимума S необходимо, чтобы

$$\frac{\partial S}{\partial a_{p\,i}} = 0 . \qquad (4)$$

$$\begin{cases} S(\alpha_{p\,i}) < S(\alpha_{p\,i} - 1) \\ S(\alpha_{p\,i}) < S(\alpha_{p\,i} + 1) \end{cases}, \quad 1 < i < n_i ; \qquad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b_{p\,j}} = 0 , \qquad (6)$$

$$\begin{cases} S(\beta_{p\,j}) < S(\beta_{p\,j} - 1) \\ S(\beta_{p\,j}) < S(\beta_{p\,j} + 1) \end{cases}, \quad 1 < j < n_j ; \qquad (7)$$

$$\frac{\partial S}{\partial c_{p\,k}} = 0 . \qquad (8)$$

$$\begin{cases} S(\zeta_{p\,k}) < S(\zeta_{p\,k} - 1) \\ S(\zeta_{p\,k}) < S(\zeta_{p\,k} + 1) \end{cases}, \quad 1 < k < n_k . \qquad (9)$$

Условия (4)-(9) дают $2(n_1 + n_j + n_k)$ соотношений и однозначно определяют искомые величины.

Вид функции S относительно параметров $a_{p\,i}$, $b_{p\,j}$ и $c_{p\,k}$, как это следует из (3), является известным, и производные S по этим параметрам легко могут быть найдены. Система уравнений (4), (6) и (8) относительно $a_{p\,i}$, $b_{p\,j}$ и $c_{p\,k}$ оказывается линейной. Получив из нее эти параметры, подставим их значения в равенство (3), и величина S при этом становится только функцией $\alpha_{p\,i}$, $\beta_{p\,j}$ и $\zeta_{p\,k}$. Однако, для последующего аналитического решения из-за отсутствия аналитических выражений для функций $Q(t_g - \alpha_{p\,i})$, $X(t_g - \beta_{p\,j})$, $\Theta(t_g - \zeta_{p\,k})$ равенствами (5),(7),(9) воспользоваться не удается. Минимум функции S находится путем перебора всех значений переменных $\alpha_{p\,i}$, $\beta_{p\,j}$ и $\zeta_{p\,k}$. Нас может несколько утешить следующее обстоятельство. Чтобы значения выбранных параметров не повторяли друг друга, мы должны принять условия:

$$0 < \alpha_{p1} < \alpha_{p2} < \alpha_{p3} \ldots < \alpha_{pn-1} < \alpha_{pn} . \quad (10)$$

$$(i-1) < \alpha_{pi} < \lambda_m - (n_i - i) , \quad (11)$$

$$0 < \beta_{p1} < \beta_{p2} < \beta_{p3} \ldots < \beta_{pn-1} < \beta_{pn} , \quad (12)$$

$$(j-1) < \beta_{pj} < \lambda_m - (n_j - j) , \quad (13)$$

$$0 < \zeta_{p1} < \zeta_{p2} < \zeta_{p3} \ldots < \zeta_{pn-1} < \zeta_{pn} , \quad (14)$$

$$(k-1) < \zeta_{pk} < \lambda_m - (n_k - k) . \quad (15)$$

Ограничения (10)-(15) существенно уменьшают область поиска оптимальных параметров. Вместе с тем решение данной задачи требует ПЭВМ с большим быстродействием.

В прогностические уравнения (1) и (2) входят такие метеорологические характеристики, как осадки X и температура воздуха θ. Будем понимать под ними средний слой осадков и среднюю температуру воздуха на некотором уровне Z_a в рассматриваемом бассейне. Если Z_i - высота 1-ой метеорологической станции, X_i и θ_i - слой осадков и температура воздуха на этой станции, то

$$X = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} X_i \left[1 + k_1 (Z_a - Z_i) + k_2 (Z_a - Z_i)^2 \right] . \quad (16)$$

$$\theta = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} \left[\theta_i - \Gamma (Z_a - Z_i) \right] , \quad (17)$$

где N_c - числс метеорологических станций ; k_1 и k_2 - эмпирические параметры, Γ - вертикальный температурный градиент.

Изложенный подход к сверхдолгосрочному прогнозу средних годовых расходов воды апробирован для прогноза величины среднего годового притока воды в Чарвакское водохранилище. Для этого были использованы многолетние ряды средних годовых расходов воды, средних годовых значений температуры воздуха и годовых сумм осадков по метеорологическим станциям, расположенным в бассейне р. Чирчик. На рис. 1 показано сопоставление прогнозных значений притока с данными измерений по зависимой и независимой выборкам. Статистические оценки следующие: отношение условной дисперсии к безусловной s/σ - 0.67, сводный коэффициент корреля-

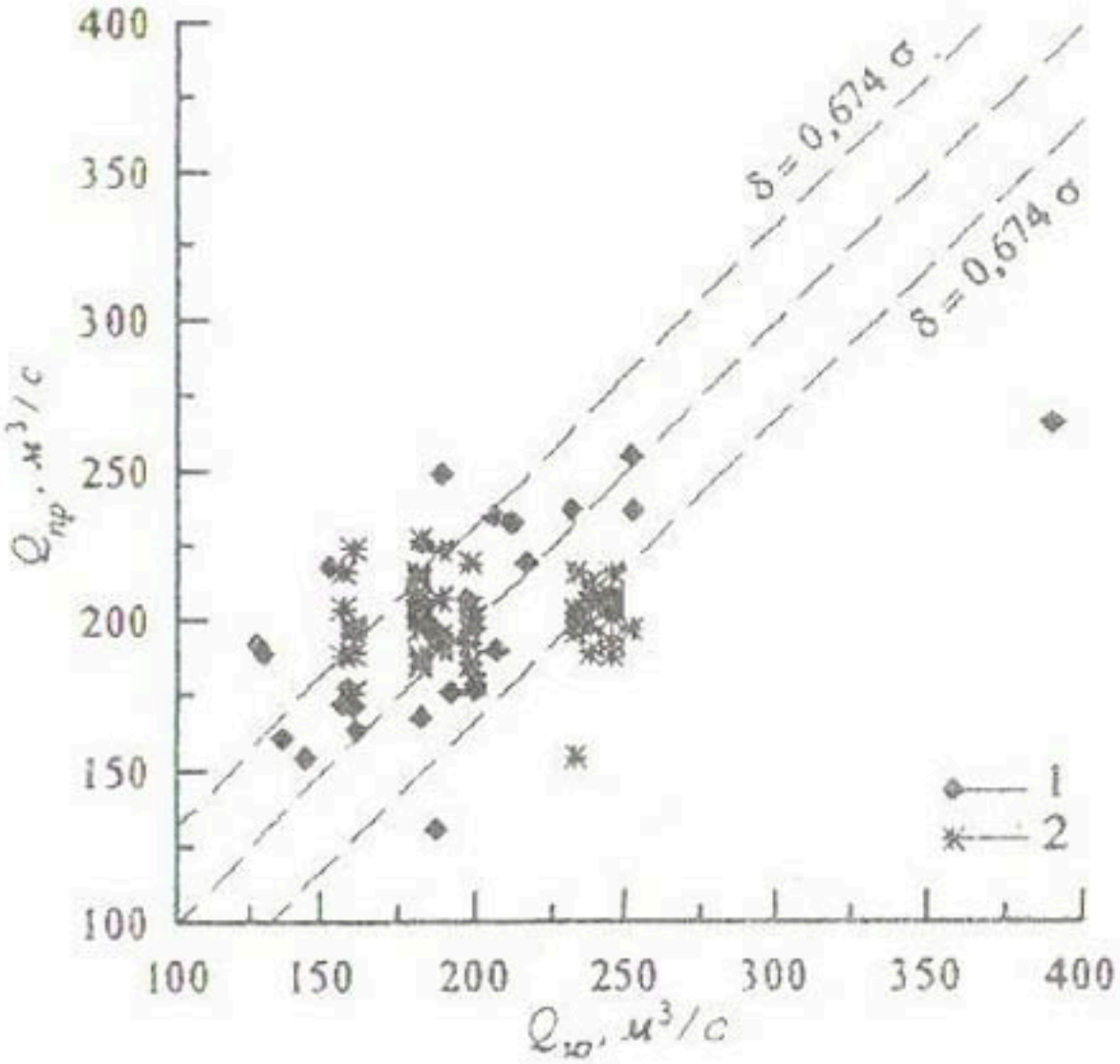


Рис. 1. Сопоставление прогнозных величин притока воды в Чарвакское водохранилище с измеренными значениями.

1 — зависимая, 2 — независимая выборка.

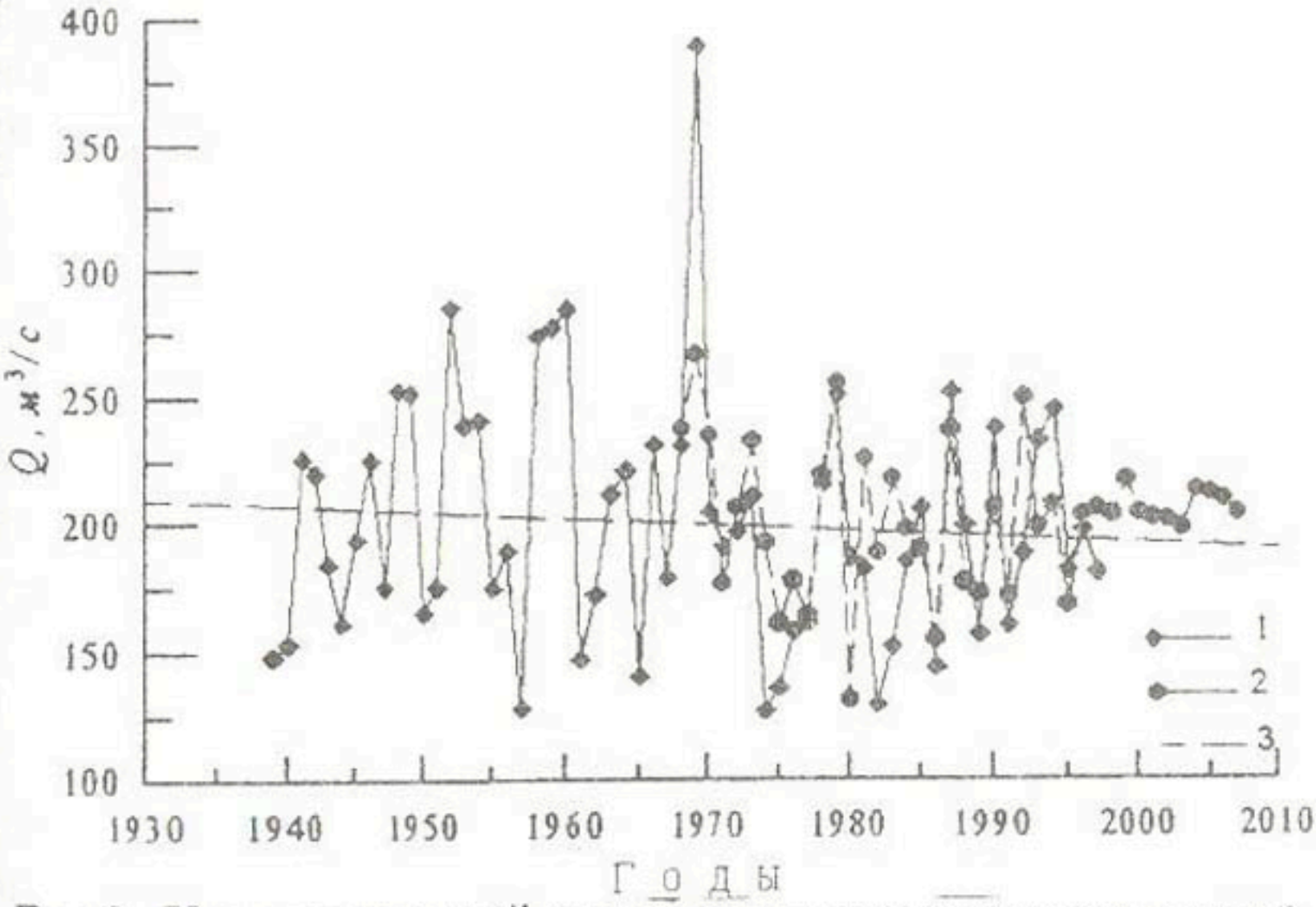


Рис.2. Хронологический ход среднегодового притока воды в Чарвакское водохранилище и его прогноз.

1 — измеренные величины, 2 — прогнозные значения, 3 — тренд годовых величин.

ции R_n - 0.74; обеспеченность прогноза на зависимой выборке P_1 - 61%, на независимой (1990 - 1995 годы) - 81%.

На рис. 2 представлен хронологический ход среднего годового притока воды в Чарвакское водохранилище и прогноз до 2003 года.

Список литературы

1. А л е х и н Ю. М. Проблема причинности в гидрометеорологических прогнозах большой заблаговременности // Тр. ЛГМИ. - 1969.- Вып. 35. - С. 39-45.

2. А н и с к и н а Н. А. Синоптические условия формирования годового стока рек Северо-Запада и возможность его прогноза //Тр. ГГИ. - 1965. - Вып. 118. - С. 10-19.

3. Д р у ж и н и н И. П., Х а м ь я н о в а Н. В., Л о б а н о в с к а я Ю. А. Прогноз гидрометеорологических элементов. - Новосибирск: Наука. 1997. -163 с.

4. Ч е р н о в И. М. Метод сверхдолгосрочного прогноза годового притока воды в водохранилища Верхне- и Средне-Енисейских ГЭС на основе терминальной информации о зимних атмосферных макропроцессах // Тр. ЗапСибНИИ. - 1985. - Вып. 72. - С.73-78.

Ф. З. Рубинова

ЗАКОНОМЕРНОСТИ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА РЕК СРЕДНЕЙ АЗИИ

Из всех аспектов трансформации речного стока в пределах зоны потребления в данной статье рассматриваются антропогенные изменения его во времени и по территории.

В связи с задачей исследования в качестве основного метода оценки антропогенных изменений стока принят метод, основанный на анализе стоковых рядов в створах, замыкающих территорию, на которой осуществляются водные мелиорации [1].

Суммарный эффект воздействия антропогенных факторов на сток оценивается этим методом либо за конкретный сезон (год), с последующим осреднением за расчетный период (табл. 1), по разности между восстановленными и наблюденными значениями стока

$$\Delta У = У_{восст} - У_{факт}. \qquad (1)$$

либо в среднем между двумя расчетными уровнями (табл. 2) по выражению

$$\Delta У = У_{01} - У_{02}. \qquad (2)$$

В выражениях (1)-(2) $\Delta У$ - антропогенные изменения стока за расчетный период в $м^3/с$ или в процентах относительно стока в исследуемом створе на исходном уровне; $У_{01}$ и $У_{02}$ - сток в исследуемом створе на двух уровнях водохозяйственного строительства, полученный по связи с притоком из зоны формирования $У_0 = f(У_п)$; $У_{восст}$ - сток, восстановленный по уравнению $У_0 = f(У_п)$ для "условно-естественного" периода; $У_{факт}$ - сток, фактически зарегистрированный в исследуемом створе, $У_п$ - приток из зоны формирования.

Выбор "условно-естественного" периода основан на анализе хозяйственной деятельности в бассейне реки [1].

Таблица 1

Средние за расчетный период
антропогенные изменения стока рек Сырдарьи и Амударьи
в % относительно принятого исходного уровня

Река, створ	Δy в среднем за период					
	I		II		III	
	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV
Сырдарья:						
кишл. Каль	-11	-4	-24	-14	-43	-23
г. Бекабад	- 8	9	-25	6	-36	13
кишл. Кокбулак	-13	12	-40	7	-55	-22
ж.-д. ст. Тюменьарык	-16	-	-43	-	-51	-
г. Казалинск	- 9	-	-50	-	-83	-
Амударья:						
г. Керки выше водозабора в Каракумский и Каршинский каналы	0	0	- 2	1	- 1	0
г. Керки	- 8	-11	-17	-26	-17	-28
кишл. Саманбай	-13	-25	-41	-70	-54	-74

П р и м е ч а н и я: 1. I, II, III - этапы водохозяйственного строительства, отличающиеся по степени антропогенной нагрузки на речной сток: соответствуют: в бассейне Сырдарьи 1939/40- 1957/58, 1958/59-1974/75 и 1970/71-1981/82 годы; в бассейне Амударьи 1955/56-1966/67, 1967/68-1976/77 и 1970/71-1979/80 годы. 2. Прочерки означают отсутствие данных.

Коренные изменения в водохозяйственном строительстве произошли в бассейне Сырдарьи на грани 30-х и 40-х годов XX века, а в бассейне Амударьи - в середине 50-х. В связи с этим конец "условно -естественного" периода в первом бассейне приурочен к 1939 году, во втором - к 1955 году, а начало совпадает с установлением регулярных гидрометрических работ в бассейнах рек.

Последующий период интенсивного водохозяйственного строительства разбит на этапы (табл. 2), отличающиеся по степени антропогенной нагрузки на речной сток, индексом которой служит коэффициент изъятия стока [1] (табл. 3).

Таблица 2

Антропогенные изменения речного стока на разных уровнях водохозяйственного строительства и в годы различной водности (по притоку из зоны формирования), %

Река, створ	Этапы водохозяйственного строительства	Δу при обеспеченности притока с гор, %					
		май - октябрь			ноябрь-апрель		
		10	50	95	10	50	95
Сырдарья: кишл. Каль	I	-2	-13	-30	2	-5	-21
	II	-12	-25	-52	-10	-17	-31
	III	-29	-37	-51	-26	-25	-24
г. Бекабад	I	-7	-8	-11	11	9	7
	II	-22	-27	-42	7	6	5
	III	-28	-24	-12	6	-12	-31
кишл. Кокбулак	I	-10	-13	-26	10	12	14
	II	-32	-40	-73	15	8	-1
	III	-46	-50	-66	18	-10	-16
ж.-д. ст. Тюменьарык	I	-8	-16	-40	-	-	-
	II	-32	-43	-72	0	- 3	-16
	III	-42	-46	-78	-44	-60	-100
г. Казалинск	I	6	-9	-36	-	-	-
	II	-29	-52	-94	-3	-4	-4
	III	-56	-72	-100	-	-	-
Амударья: Керки (выше водозабора в Каракумский и Каршинский каналы)	I	-3	-1	5	- 2	0	2
	II	-6	-4	2	- 7	1	4
	III	-4	-2	4	- 2	0	4
г. Керки	I	-8	-8	-8	2	-11	-22
	II	-16	-17	-19	-23	-26	-29
	III	-16	-16	-17	-30	-28	-27
теснина Тюямуюн	II	-18	-19	-22	-	-	-
	III	-25	-26	-29	-	-	-
кишл. Саманбай	I	- 8	-11	-26	-15	-25	-34
	II	-22	-32	-67	-	-	-
	III	-30	-40	-76	-	-	-

Примечания: 1. I, II, III - то же, что в табл. 1.
2. Прочерки означают отсутствие данных.

Анализ антропогенных изменений стока рек бассейна Аральского моря позволил установить некоторые общие для региона закономерности и особенности проявления этого процесса в разных природно-хозяйственных зонах.

В пределах всего региона убыль стока во времени и по длине потока определяется соотношением затрат стока на территории ирригационных районов и влияния факторов, компенсирующих эти затраты. Соотношение это меняется во времени и по территории, и в связи с этим можно выделить несколько стадий изменения стока, различающихся по степени влияния на него антропогенных нагрузок.

Таблица 3

Коэффициенты изъятия стока в бассейнах Сырдарьи и Амударьи в среднем за расчетные периоды

Река, створ	Коэффициент изъятия стока за период					
	I *		II		III	
	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV
Сырдарья:						
до створа кишл. Каль	0.40	0.43	0.62	0.76	0.80	1.06
г. Бекабад	0.49	0.49	0.70	0.73	0.86	0.95
кишл. Кокбулак	0.62	0.46	0.91	0.75	1.14	1.05
ж.-д. ст. Тюменьарык	0.64	0.46	0.98	0.76	1.27	1.08
г. Казалинск	0.72	0.52	1.10	0.81	1.42	1.14
Амударья:						
до створа г. Керки выше водозабора в Каракумский и Каршинский каналы	0.18	0.16	0.21	0.18	0.23	0.18
г. Керки	0.21	0.30	0.35	0.44	0.41	0.48
кишл. Саманбай	0.42	0.54	0.68	0.87	0.82	0.99

Примечание. * - сведения о коэффициентах изъятия стока с 1950 года.

Первая, начальная стадия (I), характеризуется тем, что увеличение затрат стока, связанное с расширением орошаемых площадей, компенсируется снижением непроизводительных потерь стока на испарение. В результате сток реки в створе, замыкающем зону его потребления, практически не меняется, хотя и наблюдается тенденция к снижению стока в многоводные годы и увеличению его в маловодные (табл. 1, Амударья - г. Керки выше водозабора в Каракумский и Каршинский каналы).

В стадии (II) антропогенные нагрузки на речной сток увеличиваются, но влияние компенсационных факторов все еще велико. На этом этапе годовой сток в створах, замыкающих области его использования, практически не меняется, однако, наблюдается существенное его перераспределение во времени и по длине потока: сток, забранный из реки в вегетацию, возвращается ниже по течению в невегетационный период (табл. 1-2, Сырдарья - г. Бекабад, первый этап водохозяйственного строительства). На этой стадии убыль стока в нижнем течении реки меньше (табл. 1), чем в верхнем, по той причине, что увеличение водозабора на вышележащих участках реки компенсируется уменьшением естественных потерь с площадей разливов в поймах нижнего течения.

В стадии (III) антропогенные нагрузки на сток возрастают еще более существенно. Компенсационные возможности бассейна в этот период уже в значительной мере исчерпаны, и затраты стока превышают поступление возвратных вод в русла рек. В результате наблюдается уменьшение как вегетационного, так и невегетационного стока в створах, замыкающих область его использования (табл. 1-2). Вместе с тем перераспределение стока во времени и по длине имеет место и на этом этапе.

Продолжительность каждого из перечисленных этапов определяется интенсивностью нарастания антропогенных нагрузок и компенсационными возможностями бассейна или части его.

Развитие орошения в верхних частях бассейнов рек, где компенсационные возможности, как правило, велики, долгое время может происходить без уменьшения стока в замыкающем створе [1, 2].

Увеличение изъятия стока в среднем течении реки, связанное

с перебросками стока на большие расстояния от реки, а также с затратами на заполнение емкости почвогрунтов в условиях плохой естественной дренированности приводит к существенной убыли стока в замыкающем створе уже в самом начале освоения территории [1, 2].

И, наконец, увеличение затрат стока на расширение орошаемых площадей в нижнем течении рек также некоторое время может компенсироваться уменьшением естественных потерь в пойме.

При современных антропогенных нагрузках на речной сток (табл. 3) первая стадия взаимодействия затрат и компенсационных факторов стока наблюдается лишь в верхней части бассейна Амударьи, замыкаемой створом г. Керки выше водозабора в Каршинский и Каракумский каналы.

Вместе с тем, отдельные части этой территории, где антропогенные нагрузки велики (бассейны Сурхандарьи, Шерабадларьи и частично Кафирнигана), находятся уже в третьей стадии.

Большая часть бассейна Аральского моря и, особенно бассейна Сырдарьи, находится в третьей стадии антропогенного воздействия на речной сток, когда компенсационные возможности бассейна практически исчерпаны и рост водопотребления сопровождается уменьшением речного стока во времени и по длине потока.

Эта общая для региона закономерность выражается уравнениями регрессии, которые в наблюденном интервале коэффициентов изъятия стока линейны, т е. $\Delta y = -A + B$, где Δy- убыль стока, в процентах относительно принятого исходного уровня, A - параметр, определяющий интенсивность прироста убыли стока в разных природных зонах, а B - первоначальный уровень искажения стока, то есть его антропогенные изменения в "условно-естественном" периоде по сравнению с естественным.

Параметр B возрастает по длине потока по мере увеличения степени изъятия стока. Поскольку антропогенные нагрузки на принятом условном уровне в бассейне Сырдарьи были выше, чем в бассейне Амударьи (табл. 3), то и величина первоначального искажения стока B в первом бассейне больше, чем во втором (табл. 4).

Коэффициент A количественно выражает выявленную ранее закономерность: в процессе водных мелиораций одновременно с

убылью стока происходит перераспределение его во времени и по длине потока. За счет этого интенсивность убыли стока уменьшается по длине потока и в невегетационный период (при равных А) по сравнению с вегетационными.

В силу меньшего влияния компенсирующих факторов (прежде всего стока возвратных вод в русло реки) сток Амударьи уменьшается по мере изъятия стока более интенсивно , чем в бассейне Сырдарьи (табл. 4).

Таблица 4

Параметры уравнений регрессии $\Delta y = f(A)$

Река, створ	май - октябрь			ноябрь - апрель		
	A	B	r	A	B	r
Сырдарья:						
кишл. Каль	- 96	31.7	-0.98	- 32	5.2	-0.81
г. Бекабад	- 99	41.8	-0.92	- 85	54.0	-0.85
кишл. Кокбулак	- 80	34.8	-0.97	- 96	70.2	-0.92
г. Казалинск	-102	68.2	-0.89	-108	55.0	-0.83
Амударья:						
г. Керки	- 78	11.1	-0.94	-109	29.5	-0.89
тесн. Тюямуюн	- 91	16.2	-0.94	- 70	18.1	-0.83
кишл. Самансай	-118	38.6	-0.96	-158	76.6	-0.98

Примечание. r - коффициент корреляции в уравнении $\Delta y = -A + B$

Список литературы

1. Рубинова Ф. Э. Изменение стока р. Сырдарьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне //Тр. САРНИГМИ. -1979. -Вып. 58(139). -136 с.

2. Рубинова Ф. Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек бассейна Аральского моря //Тр. САНИИ. -1987. -Вып. 124(205). -160 с.

Ф. Э. Рубинова

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОДОВОГО СТОКА И КАЧЕСТВА ВОДЫ АМУДАРЬИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В ЕЕ БАССЕЙНЕ

Повышение антропогенных нагрузок на речной бассейн приводит к количественному истощению водных ресурсов и ухудшению качества воды.

Рассмотрим этот процесс на примере Амударьи за 1960-1990 годы, оценивая изменение стока по руслу реки по выражению

$$K = (У_о / У_п) 100\%,$$

где К- коэффицент трансформации стока; $У_о$- сток в створе, замыкающем область его использования; $У_п$- приток воды из зоны формирования в зону его использования. Коэффицент К характеризует ту часть речного стока, которая доходит до соответствующего створа на реке.

Приток воды из зоны формирования принят условно по створу Верхнеамударьинский. В нем в 1966, 1967, 1970 и 1971 годах сток рассчитан по фактическим измерениям, а в остальные годы - по сумме стоков р. Пяндж - пост Нижний Пяндж и р. Вахш - пост Тигровая балка.

Сток в последнем створе в 1981, 1982 и 1984-1990 годах принят по гидрометрическим наблюдениям, а в остальные годы восстановлен по связи со стоком в этом створе, рассчитанным методом руслового водного баланса по выражению

$$У_о = У_п - У_{вод} + У_{сбр},$$

где $У_о$- сток в устье Вахша; $У_п$- сток Вахша в створе Туткаул или приведенный к нему; $У_{вод}$ и $У_{сбр}$ - водозабор и сброс коллекторных вод на участке Туткаул - устье.

Сток воды в створе "Верховье" (ниже устья р. Кафирниган) на Амударье получен расчетным путем по сумме стоков на постах

Верхнеамударьинский, Кафирниган - устье и Кундуз - Аскархона. При этом сток Кафирнигана в устье также рассчитан методом руслового баланса. Аналогично получен сток Амударьи в створах Келиф (ниже устья р. Шерабад) и г. Чарджоу.

Во всех оставшихся створах сток Амударьи фиксируется гидрометрически.

Створ Келиф замыкает верхнюю зону бассейна Амударьи. Ниже река не принимает притоков.

Все расположенные ниже створы в русле Амударьи замыкают участки реки, в большей или меньшей степени подверженные антропогенным нагрузкам. Индикатором последних служат водозабор из реки и сброс в нее коллекторных вод.

С 1960 года по 1990 год суммарный водозабор в бассейне реки увеличился (без бассейна р. Пяндж) с 22 до 58-64 км^3/год (табл. 1). В годы средней водности (1960 и 1985) степень изъятия стока возросла с 33 до 102 %.

Основной прирост водозабора приходится на среднее и нижнее течения реки, соответственно, в 5 и 1,8 раза.

На участке Келиф - Тюямуюн, где берут начало трансмагистральные каналы Каракумский, Каршинский и Амубухарский, водозабор за расчетный период вырос с 5,6 до 28-30 км^3/год.

В нижнем течении реки водозабор также увеличился (табл. 1). Некоторое уменьшение его в последние годы связано с переносом водозабора в два канала в верхний бьеф Тюямуюнского водохранилища.

Относительно суммарного водозабора в бассейне изъятие стока в среднем течении (Келиф - Тюямуюн) возросло с 25 до 48%, а в нижнем уменьшилось с 43 до 30%. Водозабор в Каракумский, Каршинский и Амубухарский каналы за исследуемый период утроился (табл. 1) и составил 17-35% от суммарного изъятия в бассейне и 68-75% от водозабора на участке Келиф - Тюямуюн. При этом доля Каракумского канала составляет 17-20% от суммарного изъятия стока в бассейне. Резкое увеличение водозабора из реки сопровождалось интенсивным истощением речного стока (табл. 2).

Если в створе, замыкающем верхнюю зону (Келиф), сток реки практически не меняется, то ниже по течению наблюдается ярко

Таблица 1

Водозабор в бассейне Амударьи, км^3/год

Элемент расчета	Годы						
	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
Суммарный водозабор до кишл. Кзылджар.	22,4	28,4	40,3	47,2	59,5	63,5	58,0
То же, % от притока.	33,0	52,0	58,0	80,0	94,0	102,0	71,0
Водозабор на участке Келиф - Тюямуюн.	5,6	8,1	12,7	18,8	25,3	30,1	27,8
То же, % от суммарного водозабора.	25,0	28,5	31,5	39,8	42,5	47,4	47,9
Водозабор на участке Тюямуюн - Нукус.	9,6	11,1	14,1	17,5	23,0	21,6	17,7
То же, % от суммарного водозабора.	42,9	39,1	35,0	37,1	38,7	34,0	30,5
Водозабор в Каракумский, Каршинский и Амубухарский каналы	3,8	6,4	8,8	15,1	19,3	22,6	20,9
То же, % от суммарного водозабора.	17,0	22,5	21,8	32,0	32,4	35,6	36,0
То же, % от суммарного водозабора на участке Келиф-Тюямуюн.	67,0	79,0	69,3	80,3	76,3	75,1	75,2
Водозабор в Каракумский канал.	3,8	5,5	7,4	9,6	11,0	12,2	11,6
То же, % от суммарного водозабора.	17,0	19,4	18,4	20,3	18,5	19,2	20,0
То же, % от суммарного водозабора на участке Келиф-Тюямуюн.	67,9	67,9	58,3	51,1	43,5	40,5	41,7

П р и м е ч а н и е: Водозабор без бассейна р. Пяндж.

выраженный отрицательный тренд (рис. 1). Так, в годы средней водности (1960 и 1980) сток воды у Нукуса сократился с 79% от притока из зоны формирования до 19% (табл. 2).

При практически равном притоке из зоны формирования в 1980 и 1985 годах сток в Тюямуюне уменьшился с 86 до 59%, а в Парла-

тау с 18 до 2% относительно притока из зоны формирования. В 80-е годы за пределы зоны потребления стока (Парлатау) уходило лишь 1-2% от притока воды из зоны формирования (табл. 2).

Таблица 2

Сток Амударьи в створах, замыкающих области его использования, % от притока

Расчетные створы	Годы						
	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
Приток из зоны формирования, $м^3/с$	2140	1742	2190	1880	2007	1968	2579
Сток в створах, (%)							
Келиф (расчетный)	117	114	113	112	118	113	113
Керки	111	104	98	92	98	93	65
Чарджоу (расчетный)				82	99	93	54
Дарганата					86	58	55
Тюямуюн		96	84	76	86	59	49
Нукус	79	58	60	26	19	7	9
Кзылджар	81	64	54	23	18	7	8
Парлатау		57	56	22	18	2	1

Интенсивное истощение стока Амударьи в пределах среднего и нижнего течения связано, прежде всего, с ростом водозабора (рис. 1).

Вместе с тем процесс усугубляется и спецификой построения коллекторной сети в этом районе - лишь некоторая часть возвратных вод поступает в русло реки (табл. 3).

Если в верхнем течении (створ Келиф) в русло возвращается около четверти изъятого стока, то в среднем - лишь 10-17% (табл. 3).

Некоторое увеличение стока коллекторных вод имеет место на участке Чарджоу - Тюямуюн за счет двух магистральных коллекторов (Главного Левобережного и Главного Бухарского). В нижнем течении реки (ниже Тюямуюна) сброс коллекторных вод в русло невелик, и к створу г. Нукус в реку возвращается лишь 10-11% стока, изъятого выше (табл. 3).

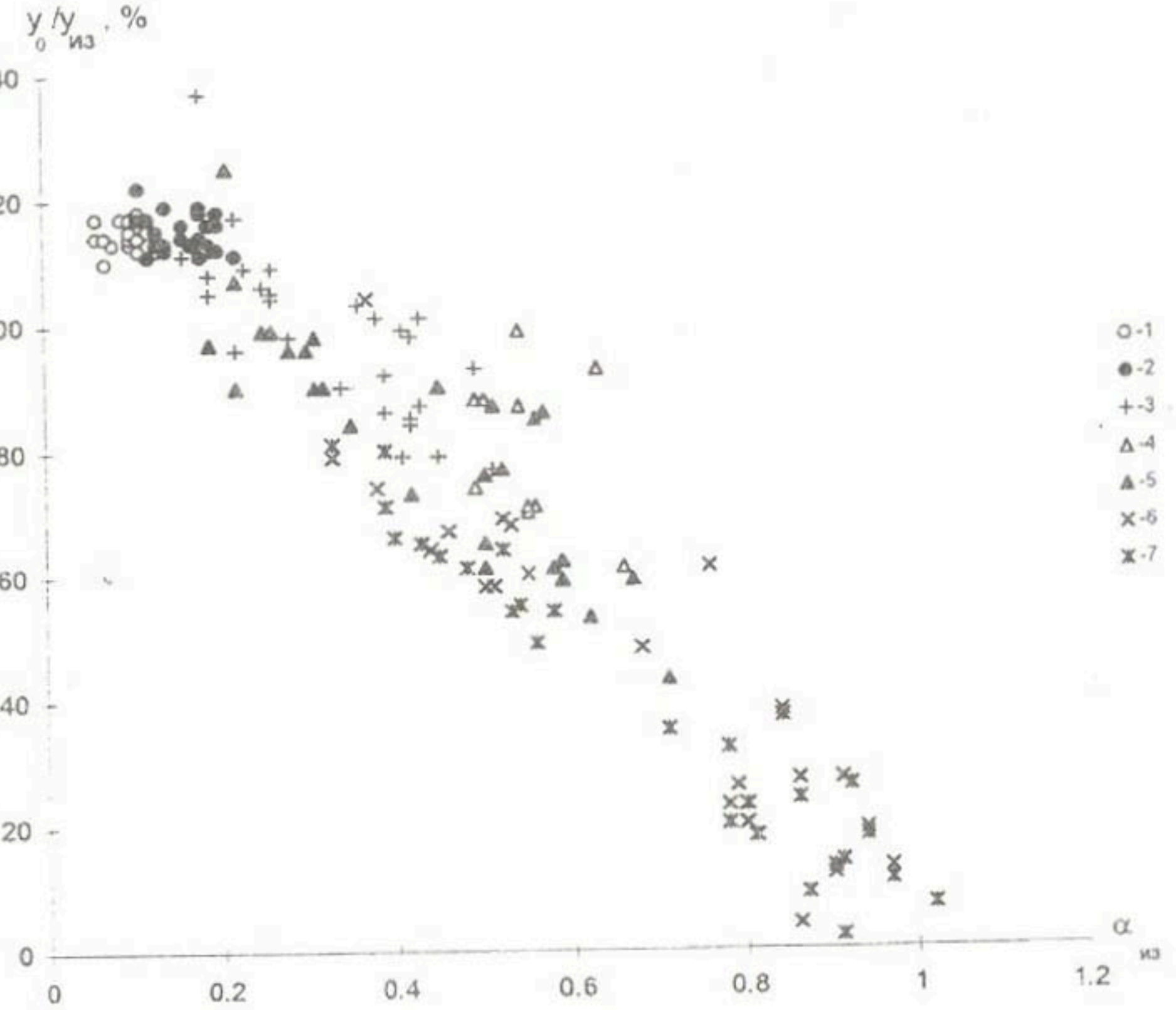


Рис. 1. Зависимость изменения стока р. Амударьи ($У_о/У_{из}$, % относительно притока из зоны формирования) от степени его изъятия ($\alpha_{из}$) 1 - Верховье, 2 - Келиф, 3 - Керки, 4 - Чарджоу, 5 - Тюямуюн, 6 - Нукус, 7 - Кзылджар.

Заметим, что коллекторные воды являются лишь частью возвратных вод. Их русловая составляющая уменьшается по мере удаления орошаемых массивов от русла реки и практически равна нулю для массивов, аналогичных зонам орошения Каракумского, Каршинского и Амубухарского каналов.

Уменьшение компенсирующей способности возвратных вод вниз по течению реки иллюстрирует рис. 1: при равном изъятии стока его убыль увеличивается вниз по течению реки. Аналогичная картина наблюдается в других реках региона [1].

Трансформация водного стока вниз по течению Амударьи сопровождалась увеличением его минерализации.

Таблица 3

Сток коллекторно-дренажных вод в русло Амударьи и ее составляющих (без р. Пяндж), км^3/год и % от величины водозабора

Замыкающий створ	Единицы измерения	Годы						
		1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
Келиф	км^3	0,67	1,20	2,72	2,71	3,40	3,10	2,91
	%	9,4	14,0	23,8	25,5	30,7	26,9	23,6
Чарджоу	км^3			3,09	4,10	3,84	3,31	
	%			10,9	12,1	9,9	8,8	
Тюямуюн	км^3	3,84	4,35	5,98	6,27	5,61		
	%	15,9	14,8	16,4	15,1	14,0		
Нукус	км^3	4,03	4,57	6,17	6,77	6,27		
	%	10,5	9,7	10,4	10,7	10,8		

Изменение средней годовой минерализации во времени и по длине потока исследовалось по выражению

$$K_1 = (\Sigma U_1 / \Sigma U_\Phi) 100\%,$$

где K_1 - коэффицент трансформации минерализации в i-м замыкающем створе; ΣU_1 - средняя годовая минерализация в i-м замыкающем створе; ΣU_Φ - то же в зоне формирования.

Коэффицент K_1 показывает изменение минерализации (в %) в створе, замыкающем область использования стока, относительно ее значений в зоне формирования.

Поскольку естественный фон минерализации воды Амударьи определяется ее значениями в реках Пяндж и Вахш, величина ΣU_Φ рассчитана по уравнению смешения вод этих двух рек

$$\Sigma U_\Phi = (\Sigma U_b * Q_b + \Sigma U_n * Q_n) / (Q_b + Q_n), \qquad (4)$$

где ΣU_b и ΣU_n- средняя годовая минерализация воды в створах Вахш - Сарыгузар и Пяндж - пгт Нижний Пяндж; Q_b и Q_n- средние годовые расходы воды в тех же створах.

Минерализация воды Амударьи в створах Верхнеамударьинский и Верховье рассчитана по уравнению смешения вод с учетом качества воды в створах Пяндж - пгт Нижний Пяндж, Вахш - Тигровая балка и Кафирниган - кишл. Тартки.

В других створах (табл. 4) средние годовые значения минерализации получены с учетом ее измеренных значений по методике САНИГМИ [1].

Таблица 4

Прирост минерализации вниз по течению Амударьи, в % от ее значений в зоне формирования

Расчетные единицы	Периоды расчета			
	1960-1969	1970-1976	1977-1982	1983-1990
Створы:				
Верхнеамударьинский		15	18	18
Верховье		12	14	15
Келиф		32	31	18
Керки	12	30	63	48
Чарджоу			76	94
Ильчик	26	34	67	97
Тюямуюн		84	99	127
Нукус	31	53	107	169
Кзылджар	20	91	106	190
Участки:				
Вехнеамударьинский - Верховье		-5	-4	-3
Верховье - Келиф		20	17	3
Келиф - Керки		-2	32	30
Керки - Чарджоу			13	46
Чарджоу - Ильчик			-9	3
Ильчик - Тюямуюн		50	32	30
Тюямуюн - Нукус		-31	8	42
Нукус - Кзылджар	-11	38	-1	21
Керки - Ильчик	14	4	4	49
Келиф - Кзылджар		59	75	172
Керки - Кзылджар	8	61	43	142

Результаты расчетов, представленные в табл. 4, показывают следующее.

В створах Верхнеамударьинский и Верховье минерализация воды возрастает незначительно - не более, чем на 18%.

Доля возвратных вод в створе Амударья - Верховье не превышает 8%, и это определяет стабильность минерализации (рис. 2).

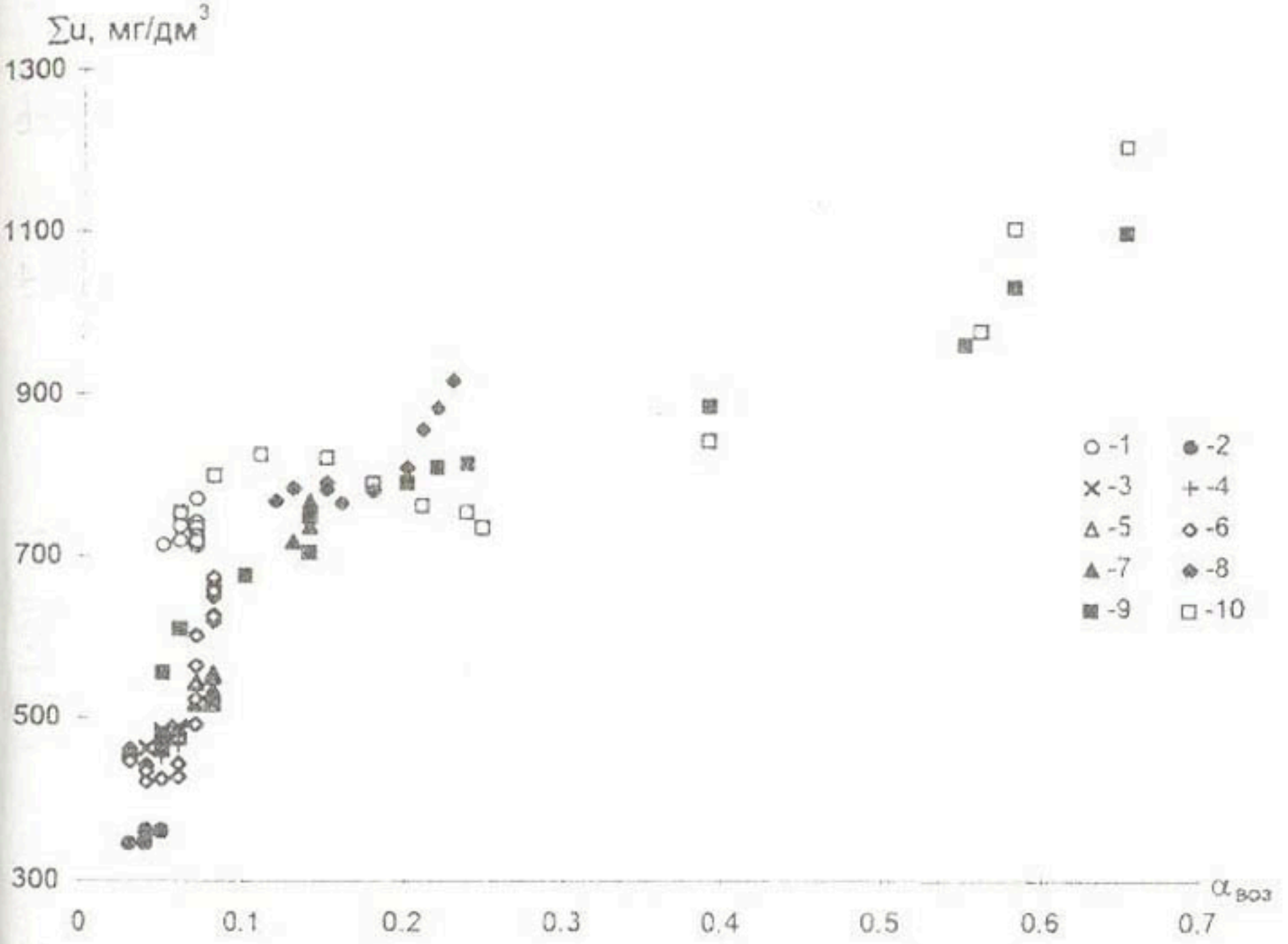


Рис 2. Зависимость средней годовой минерализации воды (Σu) Амударьи от доли возвратных вод ($\alpha_{воз}$) (среднее за 5 лет).
1 - Вахш - устье, 2 - Пяндж - Нижний Пяндж, 3 - Верховье, 4 - Верхнеамударьинская, 5 - Келиф, 6 - Керки, 7 - Чарджоу, 8 - Тюямуюн, 9 - Нукус, 10 - Кзылджар.

На участке Верховье - Келиф наблюдается некоторый рост минерализации, связанный с увеличением доли возвратных вод в стоке реки. Однако, поскольку последняя невелика, а степень изъятия стока не превышает 20% (рис. 3), то и прирост минерализации в среднем за многолетие меняется слабо.

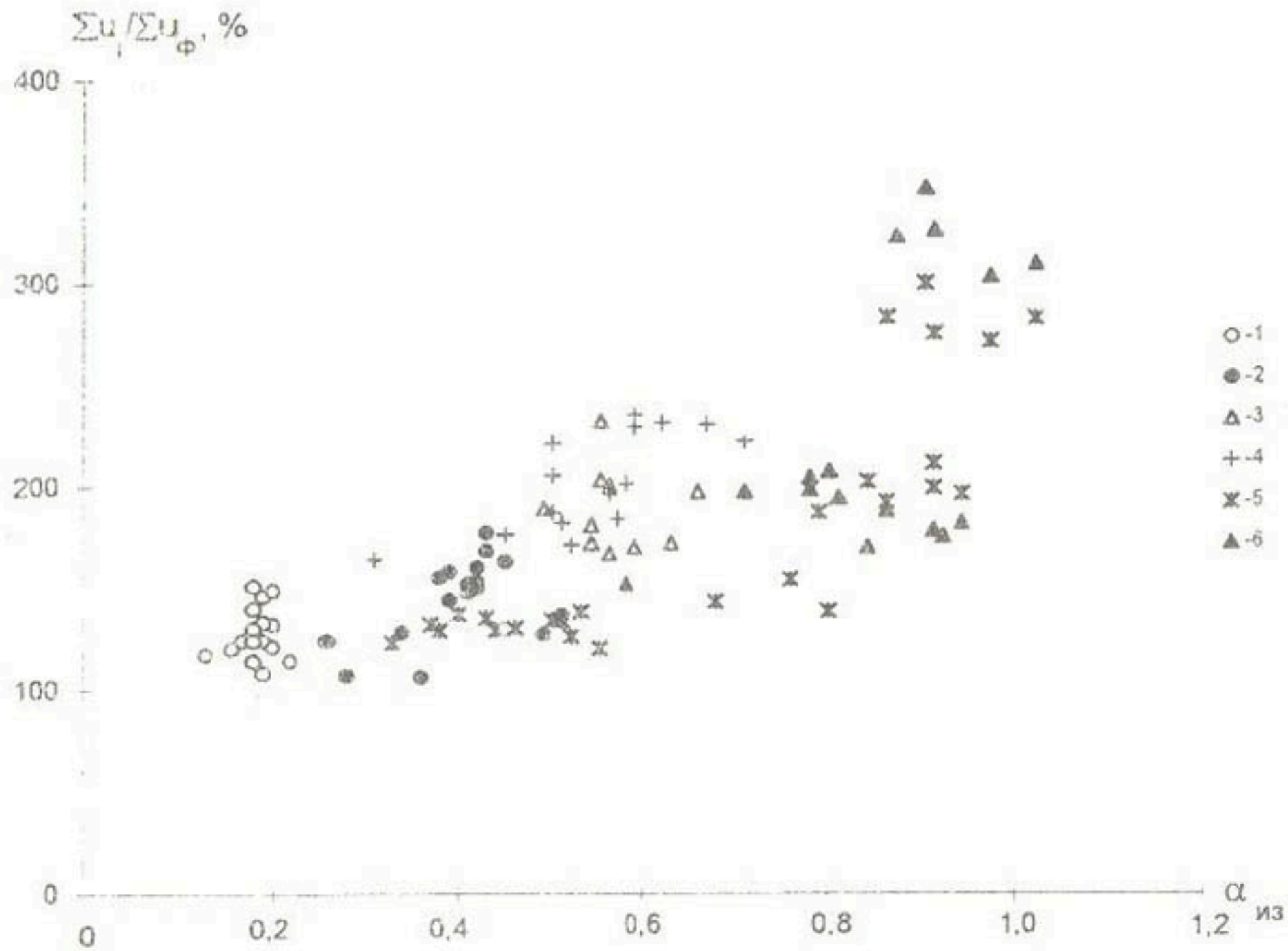


Рис. 3. Зависимость изменения средней годовой минерализации воды Амударьи ($\Sigma u_c / \Sigma u_ф$) от степени изъятия стока ($\alpha_{из}$) (в % относительно значений в зоне формирования).
1 - Келиф, 2 - Керки, 3 - Чарджоу, 4 - Тюямуюн, 5 - Нукус, 6 - Кзылджар.

На участке Келиф - Керки в начале 70-х годов минерализация воды практически не менялась (табл. 4). В последующие годы она увеличивалась по мере роста доли возвратных вод (рис. 2) и увеличения изъятия стока (рис. 3).

На участке Керки - Чарджоу интенсивный рост минерализации наблюдается в последние годы, что может быть связано со строительством Султандагского сброса из Каршинской степи.

На участке Чарджоу - Ильчик минерализация практически не меняется (табл. 4), а до створа Тюямуюна возрастает по мере роста доли возвратных вод и степени изъятия стока (табл. 2, 3).

В целом по зоне интенсивного потребления стока (Келиф – Кзылджар) в 80-е годы минерализация в среднем возросла на 172% (относительно минерализации в зоне формирования стока) по сравнению с 59% в начале 70-х годов (табл. 4). В отдельные годы прирост минерализации может достигать 300% (рис. 3). Рост минерализации определяется увеличением изъятия стока из реки (рис. 3) и доли возвратных вод (рис. 2).

Ионный состав речных вод закономерно связан с ростом минерализации.

По мере роста антропогенных нагрузок концентрация всех основных шести ионов увеличивается во времени и по длине потока (табл. 5). Однако, темпы роста концентрации отдельных ионов различны.

Таблица 5

Изменение ионного состава воды Амударьи в фазу спада половодья, в % от значений в зоне формирования (Пяндж – Нижний Пяндж)

Створ	Расчетный период, годы	Ионы				
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
г. Керки	1959-1965	124	92	104	151	89
	1966-1975	147	135	94	238	112
	1976-1988	139	235	131	282	174
кишл. Ильчик	1959-1965	132	88	109	149	94
	1966-1975	156	136	102	248	106
	1976-1988	157	286	127	378	185
ст. Дарганата	1975-1988	181	320	148	465	258
теснина Тюямуюн	1959-1975	145	195	119	206	108
	1976-1989	200	330	103	438	228
г. Нукус	1959-1965	127	128	101	164	100
	1966-1975	153	153	107	232	132
	1976-1988	198	322	113	448	225
кишл. Кзылджар	1966-1975	166	182	116	285	160
	1976-1988	242	420	120	625	334

Так, например, концентрация ионов кальция в створе кишл. Кзылджар возросла в 1976-1988 годах по сравнению с зоной формирования в 2,4, а магния - в 4,2 раза. Концентрация гидрокарбонатов возросла в 1,2 раза, а сульфатов - в 6,2 раза (табл. 5).

В результате различной интенсивности увеличения отдельных ионов с ростом минерализации меняется соотношение ионов (табл. 6).

Таблица 6

Соотношение ионов в воде Амударьи на спаде половодья в % экв.

Створ	Расчетный период. годы	Ионы					
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}
г. Керки	1959-1965	18	19	13	25	7	18
	1966-1975	12	24	14	22	8	20
	1976-1988	13	21	16	16	11	13
кишл. Ильчик	1959-1965	18	19	13	25	7	18
	1966-1975	13	24	13	23	8	19
	1976-1988	11	24	15	15	12	23
теснина Тюямуюн	1959-1975	16	20	14	23	12	15
	1976-1989	8	25	17	18	13	19
г. Нукус	1959-1965	16	19	15	23	10	17
	1966-1975	13	21	16	22	9	19
кишл. Кзылджар	1966-1975	12	22	16	20	9	21
	1976-1988	6	26	18	16	11	23

В пределах каждого створа в последние годы возросло относительное содержание сульфатов и хлоридов в анионной группе и магния, натрия с калием - в катионной. Аналогичный процесс происходит и по длине потока. Если в створе г. Керки в среднем за 1976-1988 годы сумма сульфатов и хлоридов составляла 37 % экв., то в створе кишл. Кзылджар - 44 % экв. Относительное содержание в катионной группе практически не изменилось (табл. 6).

Концентрацию так называемых токсичных ионов характеризует табл. 7.

Таблица 7

Средняя многолетняя концентрация токсичных ионов в воде Амударьи, мг/дм^3

Створ	Концентрация в среднем за годы							
	1961-1965				1986-1990			
	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	SO_4^{2-}	Cl^-
Верхнеамударьинский	12	50	100	55	12	50	100	55
г. Керки	14	55	120	70	23	82	190	110
кишл. Ильчик	18	65	145	83	36	130	295	170
теснина Тюямуюн	32*	115*	265*	156*	39	140	312	182
г. Нукус	19	70	155	90	46	165	370	218
кишл. Кзылджар	16	60	135	75	47	165	378	220

Примечание. * - сведения за 1971-1975 годы.

В верхнем течении реки (Верхнеамударьинский) концентрация этих ионов практически не меняется, а в среднем и нижнем течении - возрастает во времени и по длине потока. В нижнем течении концентрация магния даже в среднем за ряд лет превышает ПДК (табл. 7).

Статистический анализ соотношения отдельных ионов с их суммой показал, что при минерализации выше 800 мг/дм^3 концентрация магния, а также сумма сульфатного и хлоридного ионов превышают ПДК.

В створах Чарджоу и Ильчик средняя годовая минерализация в отдельные годы достигает этого рубежа. Ниже теснины Тюямуюн средняя годовая минерализация практически не бывает ниже 800 мг/дм^3. Следовательно, здесь наблюдается превышение средних годовых ПДК магния и сумм сульфатов и хлоридов.

При минерализации 1000 мг/дм^3 и выше наблюдается превыше-

ние ПДК натрия и калия, а при минерализации выше 1250 мг/дм^3 - сульфатов.

Такая ситуация возникает в нижнем течении Амударьи (ниже Нукуса). Заметим, что значения минерализации в отдельные фазы гидрологического режима могут существенно отличаться от средних годовых.

В створе г. Термез минерализация выше 800 мг/дм^3 наблюдается, главным образом, в январе - апреле. В створах г. Керки и г. Чарджоу минерализация ниже 800 мг/дм^3 имеет место лишь в июне - августе. В створах кишл. Ильчик и водокачка станции Дарганата такая минерализация в виде отдельных случаев наблюдается в июле - августе, а ниже по течению реки - в течение всего года.

Минерализация выше 1000 мг/дм^3 в створе г. Термез встречается в единичных случаях в феврале - апреле, в створах Керки - Чарджоу - с октября по апрель, а ниже по течению - в любое время года.

Таким образом, если в верхнем течении Амударьи критические значения (превышающие ПДК) магния, сульфатного и хлоридного ионов бывают, главным образом, в межень, то в среднем и нижнем течении - практически в течение всего года.

Жесткость воды Амударьи в створах Термез и Чарджоу колеблется в июле - сентябре от 4,4 мг- экв./дм^3 до 7,6 мг-экв./дм^3. В январе - марте значения жесткости превышают ПДК, в створах Дарганата и Тюямуюн жесткость превышает ПДК уже с сентября по июнь, а в створе г. Нукус - в течение всего года.

Анализ исходной информации по биогенному режиму Амударьи (табл. 8) позволяет сказать следующее.

Кислородный режим реки на протяжении всего русла не выходит за пределы ПДК. Показатель ХПК увеличивается во времени и по длине потока, что свидетельствует об увеличении загрязнения реки. В нижнем бьефе Тюямуюнского водохранилища этот показатель превышает ПДК (или близок к нему) практически в течение всего года. Резкое увеличение концентрации железа в створах Керки, Ильчик и Дарганата вероятнее всего связано с методическими погрешностями анализов. Показатели ХПК в 30-56%, а $БПК_5$ -

Таблица 8

Средняя за 1970-1990 годы концентрация биогенных веществ в воде Амударьи, мг/дм^3

Сезон	Концентрация								
	CO_2	O_2	$БПК_5$	ХПК	Fe	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	P
				г. Термез					
I-III	2.54	0.55	1.24	13.6	0.04	0.04	1.12	0.008	0.013
IV-VI	2.55	8.79	1.74	13.4	0.06	0.12	1.78	0.011	0.022
VII-IX	2.59	7.10	1.29	13.3	0.09	0.07	0.90	0.028	0.022
X-XII	3.20	10.4	1.29	16.6	0.06	0.03	0.90	0.007	0.007
				г. Керки					
I-III		11.9	1.49	10.2	1.76	0.14	3.58	0.015	0.007
IV-VI				11.4	1.35	0.13	2.00	0.025	0.011
VII-IX		9.67	1.07	11.5	1.67	0.17	0.64	0.009	0.007
X-XII				11.6			2.69	0.014	0.010
				г. Чарджоу					
I-III				10.2		0.07	1.28	0.007	
IV-VI		10.0	0.06	11.7	0.96	0.13	1.04	0.022	
VII-IX				13.6			0.68	0.015	
X-XII	0.97	9.33	1.67	11.0			1.48	0.012	
				кишл. Ильчик					
I-III		12.2	0.86	11.3	1.61	0.07	2.80	0.019	0.015
IV-VI		9.94	0.87	13.5	1.90	0.16	2.60	0.064	0.009
VII-IX		9.04	1.08	16.8	1.85	0.09	0.58	0.018	0.005
X-XII		9.94	0.97	11.9	1.24	0.09	2.46	0.006	0.011
				вдкч. ж.-д. ст. Дарганата					
I-III				16.0		0.08	2.72	0.035	0.036
IV-VI		7.76	1.28	12.2	2.56	0.30	1.58	0.025	0.011
VII-IX		7.95	1.2 0	9.08		0.16	1.03	0.018	0.006
X-XII		9.09	1.05	15.2		0.12	1.49	0.024	0.013
				теснина Тюямуюн					
I-III	1.76			14.8	0.04	0.23	1.06	0.017	0.013
IV-VI	0.11	10.1	2.37	15.2	0.04	0.09	1.15	0.020	0.014
VII-IX	1.81	9.08	2.16	14.6	0.06	0.14	1.07	0.026	0.017
X-XII		10.8		17.0	0.04	0.13	1.13	0.013	0.014
				г. Нукус					
I-III	0	12.5	0.78	16.7	0.03	0.07	1.26	0.007	0.009
IV-VI	0	8.11	1.26	14.9	0.06	0.08	0.60	0.013	0.025
VII-IX	0	7.03	1.02	14.4	0.06	0.05	0.70	0.015	0.017
X-XII	0	9.16	1.07	16.0	0.05	0.05	0.57	0.018	0.011

в 7-39% случаев превышают ПДК. Превышение ПДК железа имеет место в 66-91% случаев. наблюдаются единичные случаи превышения ПДК нитратного азота.

Анализ концентрации загрязняющих веществ в воде Амударьи показывает, что практически по всей длине реки (от Термеза до Нукуса) наблюдаются случаи превышения ПДК нефтепродуктов и фенолов. В Термезе и Нукусе зафиксированы случаи превышения ПДК ртути, а в Нукусе - фтора и мышьяка.

По сумме лимитирующих показателей первого и второго классов опасности воды Амударьи на участке Термез - Нукус не пригодны для хозяйственно- питьевого водоснабжения.

Выводы:

1. За исследуемый период резко увеличился водозабор из Амударьи в ее среднем и нижнем течении. В среднем течении из русла реки изымается около половины ее водных ресурсов и примерно треть - в нижнем течении. Треть суммарного водозабора приходится на трансмагистральные каналы: Каракумский, Каршинский и Амубухарский.

2. Рост водозабора в каналы среднего и нижнего течения реки привел к резкому снижению стока в русле, так как компенсирующая возможность возвратных вод, в отличие от верхнего течения, в этом районе невелика: лишь около 10% воды, забранной на орошение, возвращается в русло в виде коллекторных вод.

3. С ростом изъятия стока из русла реки и повышения доли возвратных вод в нем увеличивается минерализация. Наибольший прирост ее имеет место в среднем и нижнем течении реки.

4. Рост минерализации воды связан с увеличением всех основных шести ионов, но наиболее интенсивно возрастает концентрация магния, натрия, сульфатов и хлоридов. Это приводит к трансформации гидрокарбонатно - кальциевых вод в верхней части бассейна в хлоридно - натриевые - магниевые - в нижнем течении.

5. Вниз по течению Амударьи увеличивается концентрация нефтепродуктов, фенолов и показателя ХПК. Все это свидетельствует о росте загрязнения воды в реке.

Список литературы

1. Р у б и н о в а Ф. Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек бассейна Аральского моря // Труды САНИГМИ. -1987.- Вып. 124(205).-160 с.

Ф. Э. Рубинова, С. И. Доронина

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК СЫРДАРЬЯ И АМУДАРЬЯ

Интенсификация использования водных ресурсов в Средней Азии связана с сооружением водохранилищ. В настоящее время в регионе функционирует более 60 водохранилищ емкостью не менее 10 млн. $м^3$ каждое [5]. Объем воды, содержащейся в них, оценивается в 61,6 $км^3$, что составляет около 50% водных ресурсов региона и гарантирует использсвание стока в объеме 90 $км^3$/год. Общая площадь водной поверхности водохранилищ оценивается в 3949 $км^2$, или 6% от площади орошаемых земель региона [5]. Большая часть водохранилищ сосредоточена в бассейнах Амударьи и Сырдарьи - 39 водоемов общей емкостью 57,5 $км^3$.

В связи с этим рассмотрим влияние водохранилищ на водные ресурсы на примере этих двух рек и их притоков.

Суммарные потери стока, связанные с сооружением водохранилища, оцениваются методом, основанным на сопоставлении стоковых рядов в верхнем и нижнем бьефах при помощи коэффициентов трансформации стока

$$K_1 = Y_{o1} / Y_{n1}.$$

где K_1 - коэффициент трансформации стока в водохранилище, показывающий, во сколько раз сток в нижнем бьефе меньше (больше), чем в верхнем; Y_{n1} и Y_{o1} - средний за расчетные периоды сток в верхнем и нижнем бьефах водохранилища.

Влияние водохранилища оценивается по выражению

$$\Delta K = K_1 - K_e.$$

где ΔK - изменение коэффициента трансформации стока за рассматриваемый 1-й период (K_1) по сравнению с условно-естественным (K_e) уровнем.

Для того, чтобы исключить влияние водности на значения ко-

эффициентов, сопоставляются периоды, равные по водности (по притоку к верхнему створу). Использование метода предполагает наличие параллельных наблюдений за стоком реки в верхнем и нижнем бьефах как во время работы водохранилища, так и в предшествующий период. Это, к сожалению, ограничивает количество исследуемых объектов.

Полученные выводы в значительной степени определяются точностью гидрометрического учета стока.

Для того, чтобы свести до минимума влияние случайных погрешностей, анализируются коэффициенты трансформации стока, осредненные по пятилетиям.

При наличии систематических погрешностей в одном из створов или в обоих с разным знаком можно прийти к ошибочным выводам не только о величине, но и о направленности процесса трансформации стока в водохранилище.

В связи с этим, при наличии исходной информации, выводы, полученные стоковым методом, проверялись водным балансом водохранилища.

Расчеты "стоковым" методом выполнены для семи наиболее крупных русловых водохранилищ региона, расположенных в разных высотных зонах - от горных (Нурекское, Токтогульское) до равнинных, окруженных пустыней (Туямуюнское, Чардаринское).

Объем этих водохранилищ составляет 85% объема всех водохранилищ региона, а площадь водной поверхности - 81% их суммарной площали. Следовательно, выводы, полученные для этих объектов, достаточно репрезентативны для всего региона.

Расчеты показали (табл. 1), что суммарные потери стока в водохранилищах составили 4,8 км^3/год. Это соответствует 29,1% от среднего объема водохранилищ. Большая часть этих потерь приходится на три крупных, расположенных в пустынной и полупустынной зонах - Тюямуюнское, Чардаринское и Кайраккумское. При объеме этих водоемов, составляющем меньше трети объема водохранилищ региона, суммарные потери в них равны 94%. Относительно водных ресурсов Сырдарьи и Амударьи потери стока в исследованных водохранилищах составляют 4,9%.

Вместе с тем, аккумуляция стока в водохранилищах способ-

Таблица 1

Средние за период эксплуатации годовые потери стока в крупных русловых водохранилищах региона

Водохранилище	Период осреднения, годы	F, км^2 (проектная)	НПУ, м	Потери *	
				%	км^3/год
Тюямуюнское	1981-1990	790.0	130.0	-6	-1.93
Нурекское	1971-1990	98.0	910.0	-3	-0.60
Чимкурганское	1971-1990	45.1	488.2	2	0.60
Кайраккумское	1971-1990	510.0	346.6	-7	-1.01
Чардаринское	1971-1990	783.0	252.2	-8	-1.24
Андижанское	1981-1988	60.0	900.0	4.5	0.17
Чарвакское	1978-1990	40.0	890.0	0	0.00

Примечание. * - потери в % от притока к верхнему бьефу.

ствует уменьшению размеров площадей, затапливаемых в поймах рек при естественном режиме. Как следствие, уменьшается испарение в бассейне, что в некоторой степени компенсирует затраты стока, связанные с водохозяйственным строительством. По данным [2], такая компенсация в бассейне Амударьи составила 2-3 км^3/год.

Некоторое уменьшение стока в нижних бьефах водохранилищ по сравнению с естественными условиями связаны с затратами на заполнение емкости чаши водохранилища, испарение с водной поверхности, с обнажающегося при сработке уровня ложа и в отшнуровывающихся водоемах, фильтрацию через дно и тело плотины.

В этой статье рассматриваются первые два вида затрат.

Затраты, связанные с аккумуляцией в чаше водохранилища (единовременные), оценивались по разности

$$\Delta W = W_к - W_н,$$

где ΔW - изменение объема водохранилища за расчетный период, $W_н$ и $W_к$ - объемы воды на начало и конец расчетного периода, полученные по связи с уровнем.

Расчеты показывают (табл. 2), что лишь в период заполнения крупных водохранилищ многолетнего регулирования можно ожидать существенного уменьшения стока в нижних их бьефах на протяжении 1-2 лет и более.

Таблица 2

Средние многолетние затраты стока на аккумуляцию в русловых водохранилищах

Водохранилище	Аккумуляция							
	млн. $м^3$ /год				% от притока			
	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990
Токтогульское		2032	-1119	4063		21.7	-11.9	32.8
Чардаринское	-673	211	223			-6.3	2.5	2.2
Тюямуюнское			238	301			0.7	0.9
Нурекское	321	1096	-49	71	1.7	5.5	0.3	0.4
Кайраккумское	-557	286	-94.2	235	-4.7	2.5	-0.7	1.4
Чарвакское			33.2	6.4			0.6	0.1
Тюябугузское	7.4	-6.0	8.0	4.2	1.8	-0.9	2.4	0.5
Чимкурганское	-9.1	5.8	53.4	18.2	-1.5	0.8	8.4	3.1

П р и м е ч а н и е. Минус - сработка, плюс - аккумуляция

В бассейне Сырдарьи затраты на заполнение водохранилищ возросли с 0.6 $км^3$/год в конце 60-х годов до 2.54 $км^3$/год во второй половине 70-х; в конце 80-х они составили 4.30 $км^3$/год.

В бассейне Амударьи максимальное заполнение водохранилищ также имело место в 70-е годы.

На заполнение Нурекского водохранилища было затрачено 708 млн. $м^3$/год, что составило 4.1% от стока р. Вахш в створе Комсомолабад.

Всего за 1976-1980 годы в бассейнах Сырдарьи и Амударьи на заполнение водохранилищ было затрачено 3.6 $км^3$/год, что соответствует 3.9% поверхностных водных ресурсов региона. В конце 80-х годов затраты на аккумуляцию выросли до 4.7 $км^3$/год (5% водных ресурсов).

Ежегодно возобновляемые затраты стока на испарение слагаются из испарения с водной поверхности, с обнажающегося (при сработке уровня) ложа и с отшнуровывающихся водоемов.

Суммарные годовые потери стока на "видимое" испарение в исследуемых водохранилищах составили 1,2 км^3/год, а в целом по региону - около 1,6 км^3/год.

Полученные оценки существенно ниже приводимых В. С. Вуглинским [1], что связано , вероятнее всего, с различным подходом к оценке размера испаряющей поверхности.

При ирригационном режиме работы водохранилищ средняя годовая площадь зеркала водной поверхности существенно отличается от проектной.

Различия в оценке испарения по фактической средней годовой и проектной площадям водной поверхности водохранилищ в исследуемом регионе тем более велики, так как сработка уровня осуществляется в летнее, наиболее богатое энегетическими ресурсами (приток солнечной радиации и адвекция тепла) время.

По нашим расчетам, на уровне 80-х годов ежегодные затраты стока на испарение с водной поверхности водохранилищ исследуемой территории составили 1,7% от поверхностных водных ресурсов в год средней водности.

Аналогичные результаты (1.0 и 3.5%) получены для водохранилищ в бассейнах рек Кура и Аракс [2]. Естественно, что львиная доля потерь на испарение с водной поверхности приходится на крупные равнинные водохранилища (табл. 3).

В зависимости от степени заполнения и сработки водохранилищ, эсплуатационных особенностей отдельных лет, а также метеорологических условий (атмосферные осадки и энергетический фактор) потери стока на испарение с их водной поверхности могут колебаться в значительных пределах.

Анализ временной изменчивости затрат стока на испарение, выполненный для Кайраккумского водохранилища, по которому имеются наиболее длинные ряды наблюдений, показал, что коэффициент вариации испарения за май-октябрь равен 0,30, а за ноябрь-апрель - 0,48 [7].

Таблица 3

Среднее за 1981-1990 годы "видимое" испарение с водной поверхности русловых водохранилищ, млн. м^3

Водохранилище	Испарение за период				
	I-III	IV-VI	VII-IX	X-XII	I-XII
Нурекское	-18.0	12.0	40.0	-1.4	32.8
Токтогульское	5.9	7.4	57.2	26.5	97.0
Чарвакское	-3.6	1.8	9.0	0.0	7.2
Тюямуюнское	1.8	132.0	199.0	81.6	414.0
Чимкурганское	-2.7	6.6	6.6	-0.3	10.2
Кайраккумское	7.5	143.0	126.0	36.6	313.0
Чардаринское	-35.8	174.0	175.0	30.1	343.0
Тюябугузское	-1.2	4.2	5.4	0.6	9.0
Итого: горные	-15.7	21.2	106.4	25.1	137.0
равнинные	-30.4	459.8	512.0	148.6	1089.2
Всего	-46.1	481.0	618.4	173.7	1226.2
Равнинные водохранилища, % от общей суммы	65.9	95.6	82.8	85.5	88.8

Регрессионный анализ факторов, определяющих изменчивость потерь стока на испарение, показал, что в условиях одного водоема определяющим является его площадь. Изменчивость энергетических ресурсов (приток солнечной радиации и адвекция тепла) и атмосферных осадков не оказывает в этом случае значимого влияния на величину испарения [7].

Вместе с тем, энергетический фактор может сказаться на пространственном изменении потерь на испарение.

Так, средние годовые потери стока в Тюямуюнском, Тудакульском и Талимарджанском водохранилищах значительно выше, чем в других при аналогичных площадях (рис. 1, а).

Этому способствует адвекция тепла с окружающих эти водоемы пустынных территорий и малое количество атмосферных осадков.

При осреднении за достаточно длительный период времени (5-10 лет) вариация метеорологических факторов сводится к мини-

муму. и затраты стока на испарение с водной поверхности водохранилиш определяются площадью водной поверхности (рис. 1, б).

Вид кривой $Z_в=f(F)$ (рис. 1, б) свидетельствует о том, что затраты на испарение резко возрастают в диапазоне площадей 100-350 км^2. При площади менее 100 км^2 кривая асимптотически приближается к оси абсцисс.

Вероятно, большие водоемы создают микроклимат, способствующий снижению удельного испарения с водной поверхности.

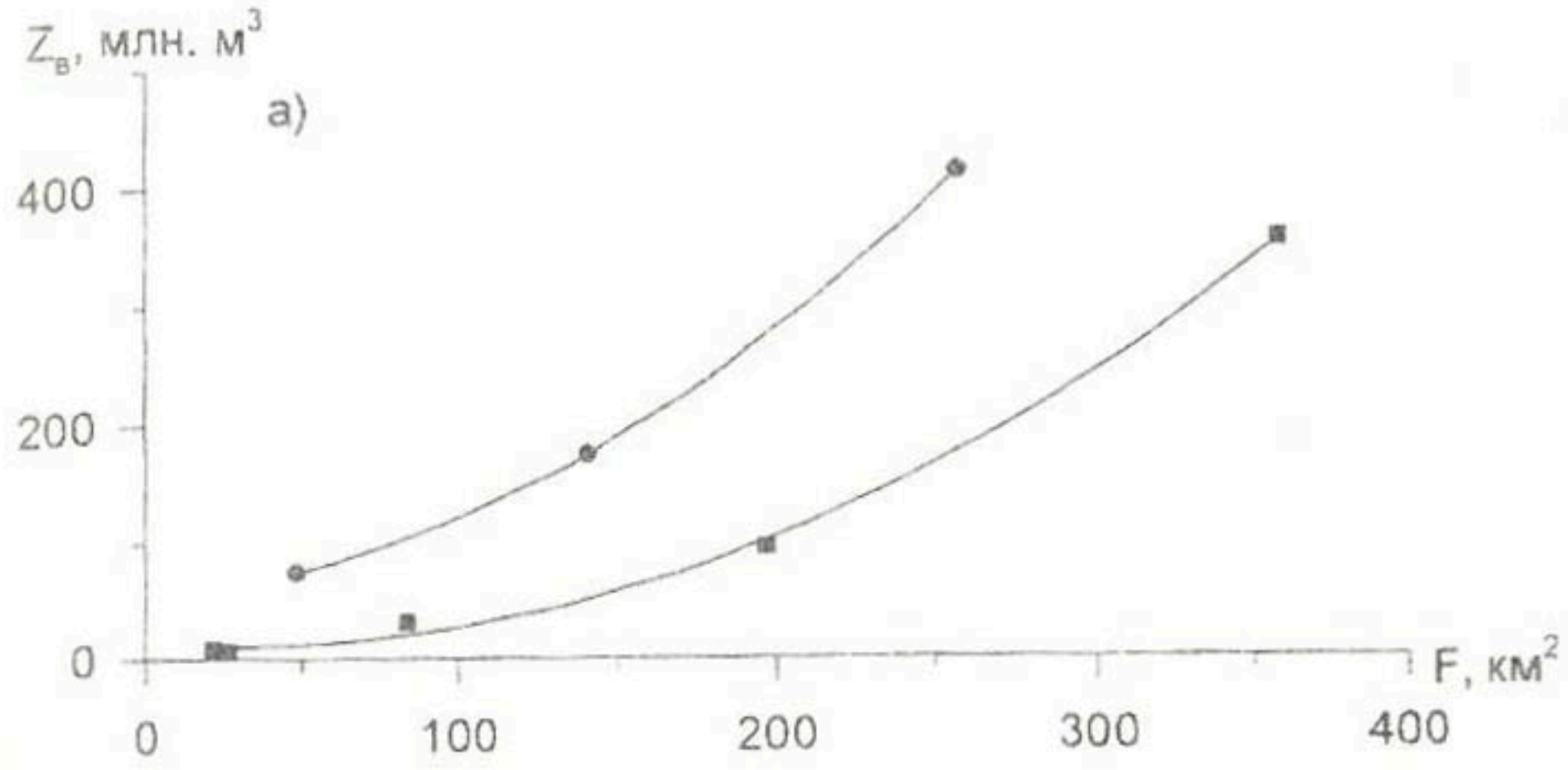
Потери стока на испарение с водной поверхности водохранилищ неравномерно распределяются внутри года (табл. 3). Около 90% годовых потерь приходится на апрель-сентябрь, когда энергетические ресурсы велики, а атмосферные осадки минимальны. В январе-марте большинство водохранилищ аккумулируют атмосферные осадки.

Таким образом, "видимое" испарение способствует перераспределению стока внутри года.

Помимо затрат стока на испарение с водной поверхности водохранилищ на некоторых из них необходимо учитывать испарение с обнажающегося ложа и с отшнуровывающихся водоемов. В аридном климате, при ирригационном типе регулирования стока, когда в летнее время срабатываются основные запасы воды в водохранилище и обнажается его переувлажненное ложе, необходимо учитывать испарение с него. Для оценки этого вида потерь использована методика [6], основанная на исследованиях на Каттакурганском водохранилище [3].

Расчеты, выполненные с декадным шагом на ПЭВМ по программе, разработанной А. С. Никулиным, показали следующее. Потери стока имеют место с апреля по сентябрь, хотя в отдельные годы период сработки может быть короче. Испарение с обнажающегося ложа Кайраккумского и Чардаринского водохранилищ составляет в среднем (1981-1990 гг.) 12 и 23 млн. м^3, что соответствует 4,7 и 5,8% от испарения с водной поверхности за этот период.

Аналогичные потери в Чарвакском водохранилище на порядок меньше - 0,45 млн. м^3. Однако, относительно испарения с водной поверхности за тот же период они составляют в среднем 3%.



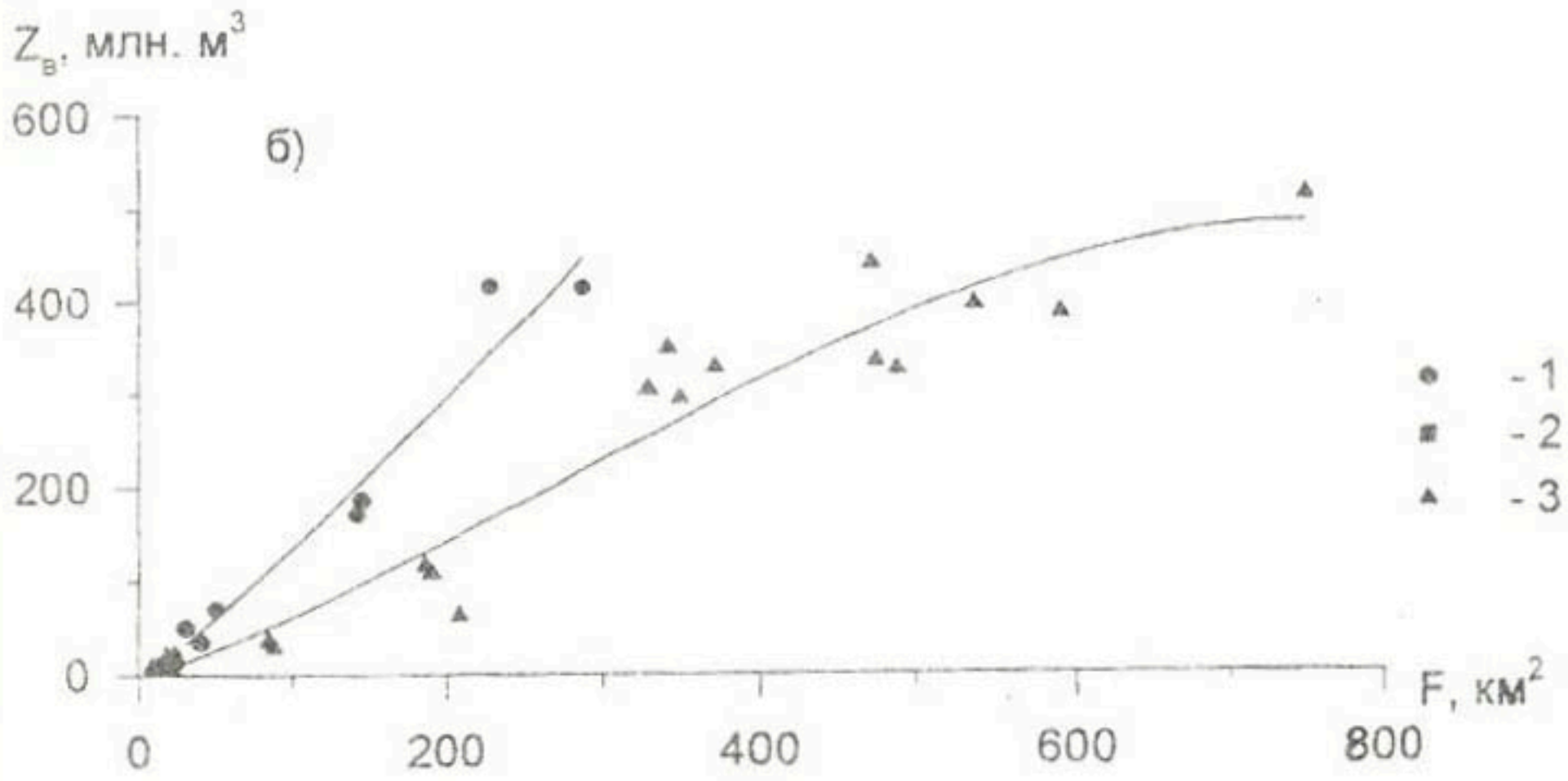


Рис. 1. Потери стока на испарение с водной поверхности водохранилищ ($Z_в$) в зависимости от площади водного зеркала (F) за период 1981-1990 годы (а) и среднее по пятилетиям (б). 1 - Тюямуюнское, 2 - Тудакульское и Талимарджанское, 3 - Нурекское, Токтогульское, Чарвакское, Чимкурганское, Кайраккумское, Чардаринское.

Ежегодные потери на испарение с обнажающегося ложа водохранилища колеблются в зависимости от уровня его сработки и метеорологических условий года. Потери возрастают по мере увеличения сработки водохранилища (рис. 2).

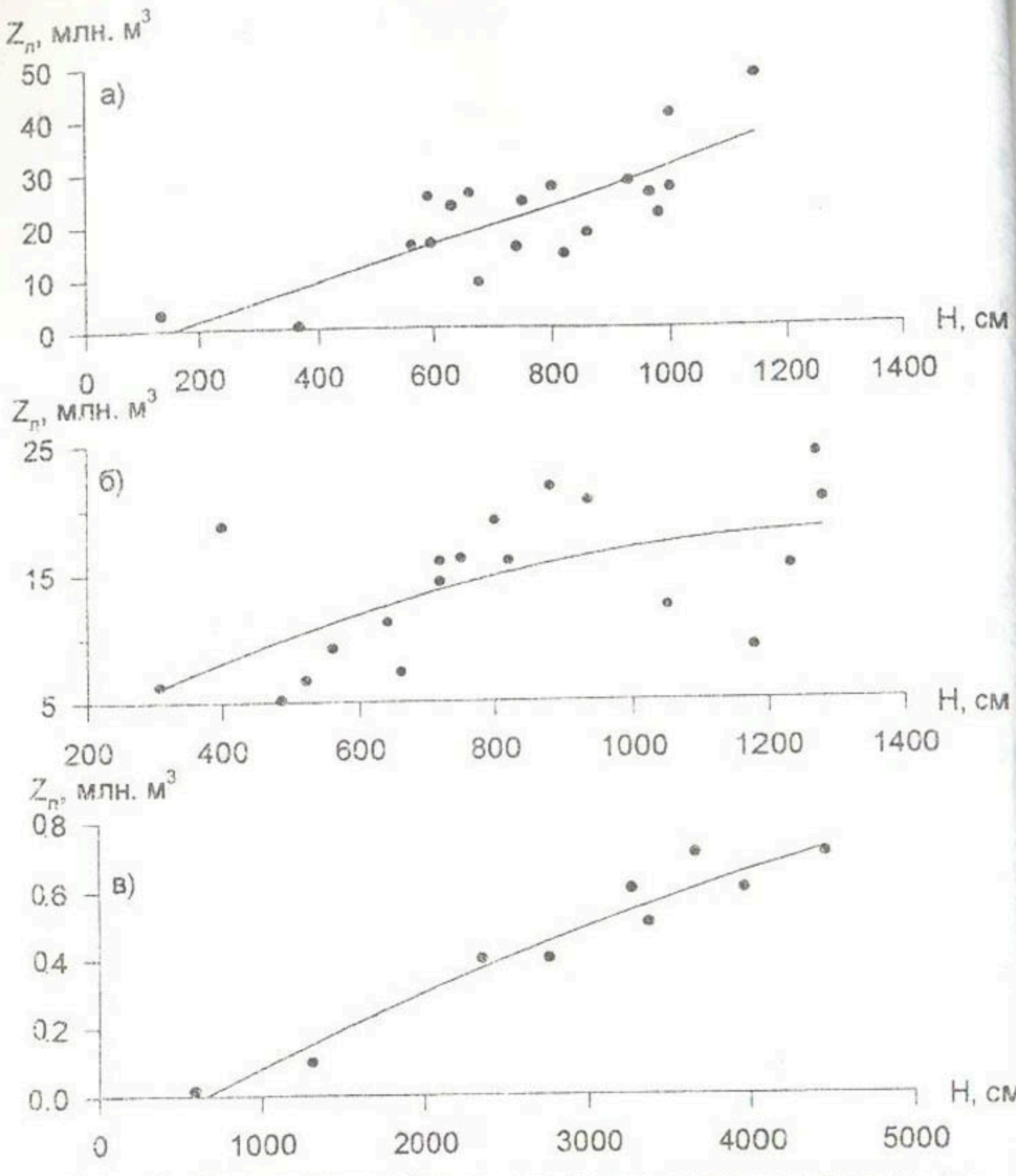


Рис. 2. Испарение с обнажающегося дна водохранилища ($Z_л$) в зависимости от уровня его сработки (H):
а) Чардаринское, б) Кайраккумское, в) Чарвакское водохранилища.

Средняя многолетняя величина потерь на испарение с обнажающегося ложа зависит от высотного положения водоема.

Чем ниже расположено водохранилище, тем более плоскую чашу оно занимает и, следовательно, тем большая площадь освобождается от воды при его сработке.

По ориентировочным оценкам потери стока с обнажающегося ложа русловых водохранилищ региона в среднем за 1981-1990 годы составили 81,5 млн. $м^3$, что соответствует 5% от испарения с водной поверхности за год.

При опорожнении равнинных водохранилищ на их дне остаются изолированные неглубокие водоемы, вода из которых расходуется на испарение и фильтрацию. Наиболее часто они возникают на равнинных неглубоких водохранилищах, затапливающих при высоких отметках уровня воды большие площади.

Нами сделана попытка оценить потери речного стока в отшнуровывающихся водоемах на примере двух самых крупных равнинных водохранилищ региона - Чардаринского и Туямуюнского. Для этой цели использованы космоснимки их акватории в разные годы и при различных уровнях воды. На снимках выделены отшнуровавшиеся от водохранилища озера, определены их площадь и количество.

На Чардаринском водохранилище имеющиеся в нашем распоряжении космоснимки фиксируют площадь отшнуровывающихся водоемов при уровне воды в водоеме от 243 до 249 м. В этом диапазоне уровней наблюдается максимальный прирост зеркала водной поверхности: с 240 $км^2$ при 243 м до 680 $км^2$ при 249 м.

Очевидно, что при максимальном заполнении водохранилища (до отметки 252 м) площадь отшнуровывающихся водоемов равна нулю.

Затем, по мере снижения уровня воды в водохранилище , площадь этих водоемов возрастает до 17-25 $км^2$. При уровне воды ниже 243 м сведения о площади временных озер отсутствуют. Однако, резкое уменьшение площади водного зеркала при уровне ниже этой отметки свидетельствует о больших глубинах, что исключает возможность формирования мелководных озер при таких отметках.

Исходя из изложенного, можно предположить, что временные замкнутые водоемы формируются на дне опорожняющегося Чардаринского водохранилища лишь в годы, когда уровень превышает отметку 249 м, а спад его продолжается вплоть до зимних месяцев.

Для этих лет по минимальному значению уровня воды в водохранилище определена суммарная площадь временных озер. Для оценки количества водоемов использована их связь с суммарной

площадью, полученная при обработке упомянутых выше космоснимков.

Результаты расчетов показывают, что средняя площадь таких водоемов (F_0/n) не превышает 0,3 км^2, а глубина 0,5-1,0 м [4]. Следовательно, объемы потерь из отшнуровывающихся водоемов Чардаринского водохранилища в многоводные и средневодные годы, когда максимальный уровень воды в нем превышал 249 м, колеблются в пределах 7-20 млн. м^3 (1,1-5,4% от испарения с водной поверхности).

В среднем за 1967-1987 годы потери в отшнуровывающихся водоемах Чардаринского водохранилища составили 8-16 млн. м^3, или 1,5 - 3,2% от испарения с водной поверхности. Вместе с тем, в период стояния минимального уровня воды в водохранилище (август-сентябрь) площадь отшнуровывающихся водоемов в отдельные годы может составлять от 2,6 до 22,7 % площади его водного зеркала.

В такие периоды потери воды в отшнуровывающихся водоемах сопоставимы с испарением с водной поверхности. В целом за год эти потери относительно невелики.

Аналогичные расчеты по Тюямуюнскому водохранилищу показали, что объем потерь не превышает 5 -10 млн. м^3. Относительно годовых потерь на испарение с водной поверхности это составляет 1,1-2,2%.

Вместе с тем, в отдельные летние месяцы при глубокой сработке уровня потери стока во временных водоемах сопоставимы с испарением с водного зеркала. Так, в августе 1986 года они составили 17,0%, а в сентябре 1988 г. - 7,6% от испарения с водной поверхности водохранилища.

Суммарные потери стока в отшнуровывающихся водоемах двух из трех крупных равнинных водохранилищ не превышают 30 млн. м^3/год, что составляет 1,9% от испарения с водной поверхности.

Даже с учетом потерь в Кайраккумском водохранилище этот их вид не превышает 3% от испарения с водной поверхности всех водохранилищ.

С учетом всех видов испаряющих поверхностей суммарные за-

траты стока в русловых водохранилищах региона на уровне 80-х годов достигли 1.71 км^3/год.

Резюмируя изложенное выше, можно сделать следующие выводы.

Суммарные потери стока в русловых водохранилищах региона на уровне 80-х годов составили 4.8 км^3/год, что соответствует 4.9% от водных ресурсов региона. Потери эти в некоторой степени компенсируются уменьшением испарения с поймы при разливах реки в естественном состоянии.

В периоды заполнения емкостей крупных водохранилищ многолетнего регулирования можно ожидать существенного и длительного уменьшения стока в их нижних бьефах. При заполнении водохранилищ сезонного регулирования эти изменения кратковременны и не сказываются при осреднении стока за длительный период.

Потери стока на испарение с водной поверхности водохранилищ на уровне 80-х годов составили в регионе 1.6 км^3/год, что соответствует 1.7% поверхностных водных ресурсов в год средней водности.

Испарение с переувлажненного ложа водохранилища, обнажающегося при сработке уровней, не превышает 5% от испарения с водной поверхности .

Испарение в отшнуровывающихся водоемах не превышает 3% от испарения с водной поверхности.

Список литературы

1. В у г л и н с к и й В. С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ .-Л.: Гидрометеоиздат. 1991.- 223 с.

2. Г о л у б е в В. С. и др. Динамика потерь стока на испарение с поверхности водохранилищ Кура-Араксинского бассейна / В. С. Голубев, К. В. Цыценко, Н. Л. Солянин //Метеорология и Гидрология. - 1989.- N 6.- С. 103-109.

3. М и л ь к и с Б. Е. и др. Испарение с поверхности Кат-Такурганского водохранилища //Б. Е. Мильких, Л. П. Могильников, М. С. Саатов // Изв. АН Узбекистана, сер. техн.- 1960. - Вып. 6 - С. 56-66.

4. Никитин А. М. Водные ресурсы и водный баланс озер и водохранилищ Средней Азии //Тр. САНИГМИ. - 1986. - Вып. 108(189). - 95 с.

5. Никитин А. М. Водохранилища Средней Азии.-Л.: Гидрометеоиздат. 1991.- 164 с.

6. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши.-Л.: Гидрометеоиздат. 1976. - 96 с.

7. Рубинова Ф. Э., Шульц А. Г. Затраты стока на испарение с водной поверхности в бассейне Аральского моря //Тр. САНИГМИ. - 1990. - Вып. 133 (214). - С. 56-60.

Ф. Э. Рубинова, Л. М. Куропатка

ВЛИЯНИЕ РУСЛОВЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК СРЕДНЕЙ АЗИИ

Создание водохранилищ сопровождается процессом трансформации гидрохимического режима рек, который заключается в изменении минерализации, ионного и биогенного состава речных вод и уровня их загрязнения. Ниже эти вопросы анализируются на основе обобщения стандартных гидрохимических наблюдений на постах республиканских гидрометов.

Методика исследований заключалась в сопоставлении характеристик гидрохимического режима реки в верхнем и нижнем бьефах и во времени - до сооружения водохранилища и после ввода его в эксплуатацию.

Для анализа использованы как средние за расчетные периоды величины, полученные по методике САНИГМИ [4], так и измеренные значения минерализации, биогенного состава и концентрации загрязняющих веществ. Последние анализировались, главным образом, на предмет обнаружения тренда и оценки частоты превышения ПДК.

Для того, чтобы исключить влияние природной изменчивости минерализации, количественная оценка ее изменения на исследуемом участке реки проведена с помощью коэффициента трансформации:

$$K = \Sigma U_2 / \Sigma U_1 .$$

где К- коэффициент трансформации, показывающий, во сколько раз средняя за расчетный период минерализация воды в нижнем бьефе водохранилища больше (или меньше) по сравнению с верхним; ΣU_1 и ΣU_2 - средняя за расчетный период минерализация воды в верхнем и нижнем бьефах.

Интегральная кривая значений К, построенная за условно-естественный период и экстраполированная на время работы водохранилища, дает наглядное представление о влиянии последнего.

Количественную оценку влияния водохранилища на минерализацию речной воды можно получить из выражения

$$\Delta = K_1 / K. \qquad (1)$$

где K_1 - коэффициент трансформации минерализации в нижнем бьефе водохранилища в i-м году; K - то же в среднем за условно-естественный период; Δ - изменение минерализации, в процентах относительно естественного уровня.

Выражение (1) позволяет оценить влияние водохранилища на минерализацию речной воды, исключив воздействие других антропогенных и природных факторов.

Анализ выполнен для участков рек, на которых велись параллельные наблюдения за минерализацией воды в верхних и нижних бьефах как в период эксплуатации водохранилищ, так и на условно-естественном уровне (табл. 1). Водохранилища эти достаточно репрезентативны для региона, так как расположены в разных высотных зонах и отличаются по своим морфометрическим характеристикам.

Расчеты показывают (табл. 2), что в пределах горных водохранилищ (ЧПУ около 900 м) средняя годовая минерализация практически не меняется.

Отношение коэффициентов трансформации минерализации K_1 за период эксплуатации водохранилищ к условно-естественному периоду K колеблется в пределах 0.96-1.02.

Следовательно, изменение средней годовой минерализации воды в самих водохранилищах не превышает погрешности ее расчета. Только в крупном равнинном Тюямуюнском водохранилище, расположенном в пустынной зоне, средняя годовая минерализация возросла по сравнению с исходным уровнем на 7%.

Полученные результаты подтверждают прогнозы К. Г. Лазарева и других авторов [3] о несущественном увеличении минерализации воды в водохранилищах аридной зоны за счет испарения.

Повышенный прирост минерализации в первые годы работы водохранилища (табл. 2) связан с выщелачиванием солей из ложа водохранилища при его первоначальном заполнении [1-2].

Таблица 1

Характеристики исследованных русловых водохранилищ

Элементы	Водохранилища				
	Нурекское	Токто-гульское	Андижан-ское	Чарвак-ское	Тюямуюн-ское
Река, створы в верхнем и нижнем бьефах	Вахш, кишл. Комсомол-абад Вахш, кишл. Са-рыгузар	Нарын, г. Учте-рек Нарын, г. Учкур-ган	Карадарья, г. Узген Карадарья, кишл. Ка-рабагиш, отводящий канал, пгт. То-полино	Чаткал, выше ус-тья р. Ху-дайдотсай Чирчик, г. Газал-кент	Амударья, вдк. ст. Дарганата Амударья, теснина Тюямуюн
Расстояние створов от устья, км:					
верхнего	372	209	164	9.0	611
нижнего	249	40.0	135	134	450
Длина водо-хранилища, км	70	65	14.4	22.0	80.0
Периоды ос-реднения дан-ных (годы):					
условно-ес-тественный	1968-1971	1964-1973	1970-1976	1964-1977	1952-1971
эксплуатации	1982-1988	1974-1985	1978-1990	1978-1990	1980-1990
Средние за период эксп-луатации:					
объем, $км^3$	8.34	8.97	0.81	1.01	1.08
площадь во-доема, $км^2$	85.5	194.5	29.4	26.4	257
относитель-ная глубина, м	21.8	7.96	8.32	8.14	0.66
НПУ, м над уровнем моря	910	905	900	890	130

Однако и в этом случае увеличение минерализации не превышает 12% и несоизмеримо с ее ростом за счет осуществления водных мелиораций [4].

Этот вывод не относится к наливным водохранилищам аридной зоны. Последние располагаются, как правило, в чашах естественных понижений, характеризующихся высокой степенью засоленности. В результате процессов выщелачивания на этапе заполнения таких водохранилищ возможен резкий рост минерализации.

Таблица 2

Средние за расчетный период изменения минерализации воды в нижних бьефах русловых водохранилищ относительно условно-естественного уровня

Водохранилище	Отношение K_1 к K в среднем за 1976 - 1980 годы				
	I - III	IV - VI	VII - IX	X - XII	I - XII
Нурекское	0.75	1.10	1.17	0.62	1.01
Токтогульское	0.70	1.17	1.14	0.69	1.00
Чарвакское	0.97	1.04	1.02	1.04	1.03

Водохранилище	Отношение K_1 к K в среднем за 1981 - 1985 годы				
	I - III	IV - VI	VII - IX	X - XII	I - XII
Нурекское	0.71	1.09	1.16	0.64	1.01
Токтогульское	0.71	1.13	1.03	0.70	0.94
Чарвакское	1.09	1.09	0.92	1.09	1.03
Тюямуюнское	0.98	1.11	1.16	0.82	1.09
Андижанское	0.86	1.14	1.10	0.84	1.12

Водохранилище	Отношение K_1 к K в среднем за 1986 - 1990 годы				
	I - III	IV - VI	VII - IX	X - XII	I - XII
Нурекское	0.74	1.07	1.12	0.66	1.00
Токтогульское	0.71	1.13	1.06	0.69	0.97
Чарвакское	1.05	1.06	0.86	1.08	1.01
Тюямуюнское	0.86	1.09	1.17	0.83	1.05
Андижанское	0.61	0.93	0.89	0.59	0.84

Не оказывая значимого воздействия на среднюю годовую минерализацию, водохранилища осуществляют нивелирование ее значений внутри года.

В результате смешения в чаше водохранилища речных вод, сформированных в разные фазы гидрологического режима, минерализация воды в межень уменьшается, а в паводок увеличивается (табл. 2). Вместе с тем, сезонный ход минерализации в сглаженном виде сохраняется в нижних бьефах водохранилищ.

Анализ измеренных значений минерализации показывает, что число случаев превышения ПДК в нижних бьефах возрастает по сравнению с верхними (табл. 3). Однако, по абсолютной величине наблюденные максимумы в нижних бьефах меньше, чем в верхних.

Таблица 3

Число случаев превышения ПДК,
в % от общего количества проб в месяце

Водохранилище	Створ	I	II	III	IV	V	VI
Кайраккумское	Акджар	67	86	76	89	36	26
	Кзылкишлак	75	76	82	83	60	47
Тюямуюнское	Дарганата	50	100	90	71	50	23
	Тюямуюн	67	100	100	92	53	21
Нурекское	Комсомолабад	-	-	-	-	-	-
	Нурек	21	-	-	-	-	-
Чимкурганское	Чиракчи	0	0	0	0	0	0
	н/б вдхр	23	29	8	-	12	3

Водохранилище	Створ	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кайраккумское	Акджар	40	33	79	78	44	47
	Кзылкишлак	38	47	76	88	87	71
Тюямуюнское	Дарганата	-	14	14	62	83	50
	Тюямуюн	15	-	-	36	43	50
Нурекское	Комсомолабад	6	-	-	-	-	-
	Нурек	-	-	7	-	8	-
Чимкурганское	Чиракчи	0	0	0	0	0	0
	н/б вдхр	6	-	38	36	31	11

Трансформация газового и биогенного состава речных вод исследовалась на примере 9 водохранилищ (рис. 1). Анализ показывает, что водохранилища практически не влияют на содержание в речной воде азота, кислорода и диоксида углерода.

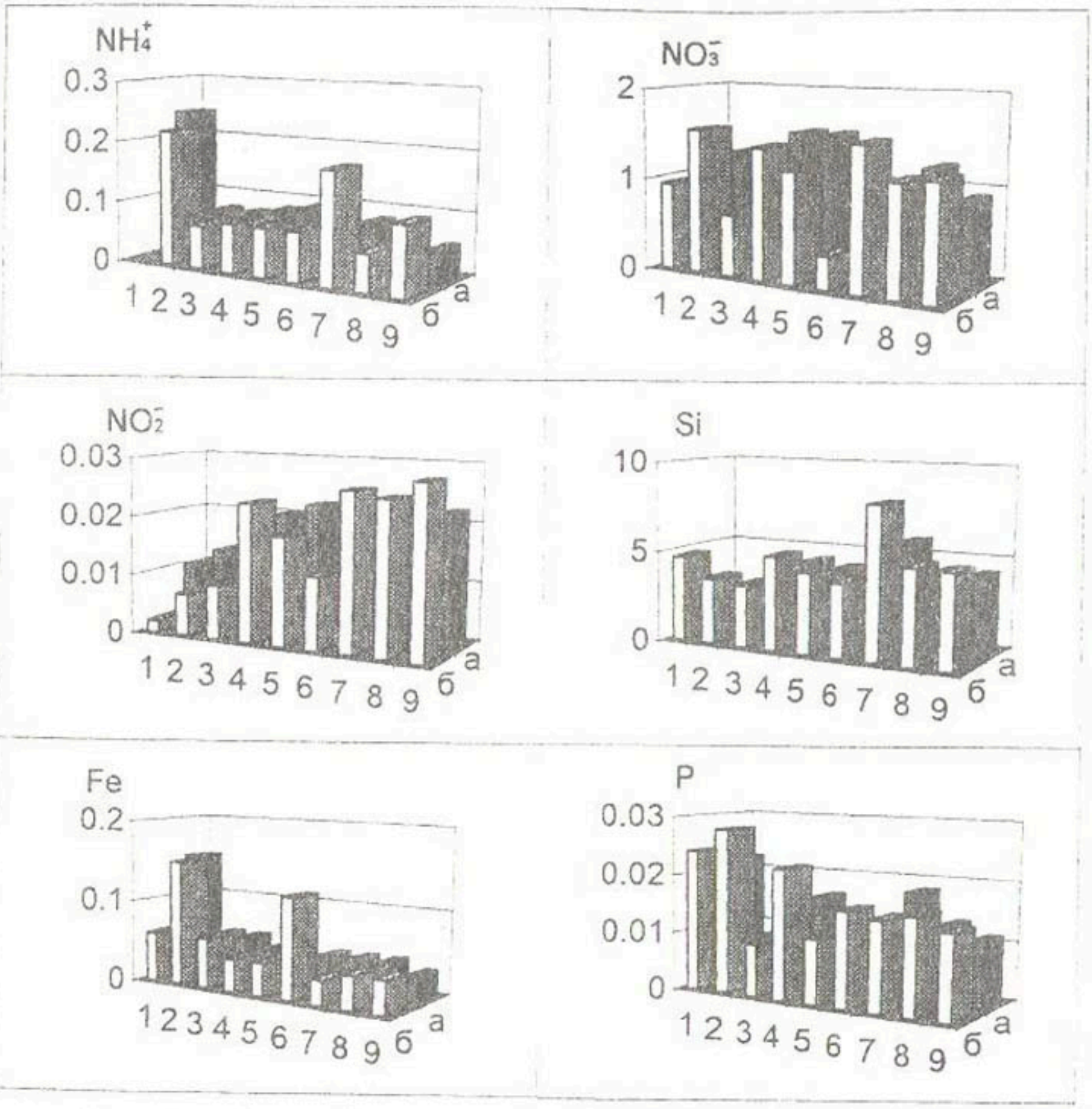


Рис. 1. Средний за период работы водохранилищ биогенный состав воды в их верхних (а) и нижних (б) бьефах.
Водохранилища: 1 - Токтогульское, 2 - Андижанское, 3 - Чарвакское, 4 - Кайраккумское, 5 - Тюябугузское, 6 - Нурекское, 7 - Тюямуюнское, 8 - Чимкурганское, 9 - Южносурханское.

Концентрации нитратного и нитритного азота в верхних и нижних бьефах большинства исследованных водохранилищ практически равны, а аммонийного азота в отдельных нижних бьефах уменьшаются.

Содержание кислорода и диоксида углерода в нижних бьефах одних водохранилищ увеличивается, а в других уменьшается по сравнению с верхними. Эти изменения трудно объяснить влиянием водохранилищ.

Концентрация кремния, железа и минерального фосфора несколько уменьшается в нижних бьефах русловых водохранилищ, что может быть связано с сорбцией этих веществ на глинистых взвешенных наносах с последующим осаждением их на дно.

Из органических загрязнителей лишь фенолы имеют тенденцию к уменьшению концентрации в пределах водоема. Концентрация других загрязнителей (нефтепродукты, ядохимикаты, СПАВ) меняется в нижних бьефах водохранилищ по сравнению с верхними неоднозначно.

Концентрация нефтепродуктов и СПАВ в пяти нижних бьефах водохранилищ из девяти уменьшилась по сравнению с верхними, а в трех увеличилась.

Содержание гексахлорана в пяти из восьми створов увеличилось, а ДДТ уменьшилось.

Параллельные наблюдения за концентрацией в верхних и нижних бьефах рогора и метафоса проводились на Кайраккумском, а за последним элементом - и в Тюябугузском водохранилищах.

Содержание первого элемента в пределах водохранилищ уменьшилось, а второго - увеличилось. Столь противоречивые результаты не позволяют сделать однозначные выводы о роли водохранилищ в процессе загрязнения рек.

Можно лишь предположить, что уменьшение в нижних бьефах водохранилищ концентрации загрязняющих веществ связано с процессами самоочищения водоемов, а их рост - со сбросом загрязненных коллекторных вод на исследуемом участке реки.

Параллельные наблюдения в верхних и нижних бьефах за концентрацией тяжелых металлов в полном объеме проводились лишь на Кайраккумском водохранилище, а в сокращенном (не за всеми эле-

ментами) на четырех (Чарвакском, Тюябугузском, Южносурханском и Чимкурганском).

По двум из них приведены геохимические спектры в верхних и нижних бьефах водохранилищ (рис. 2). Из него следует, что изменение концентрации тяжелых металлов в пределах водохранилищ также неоднозначны.

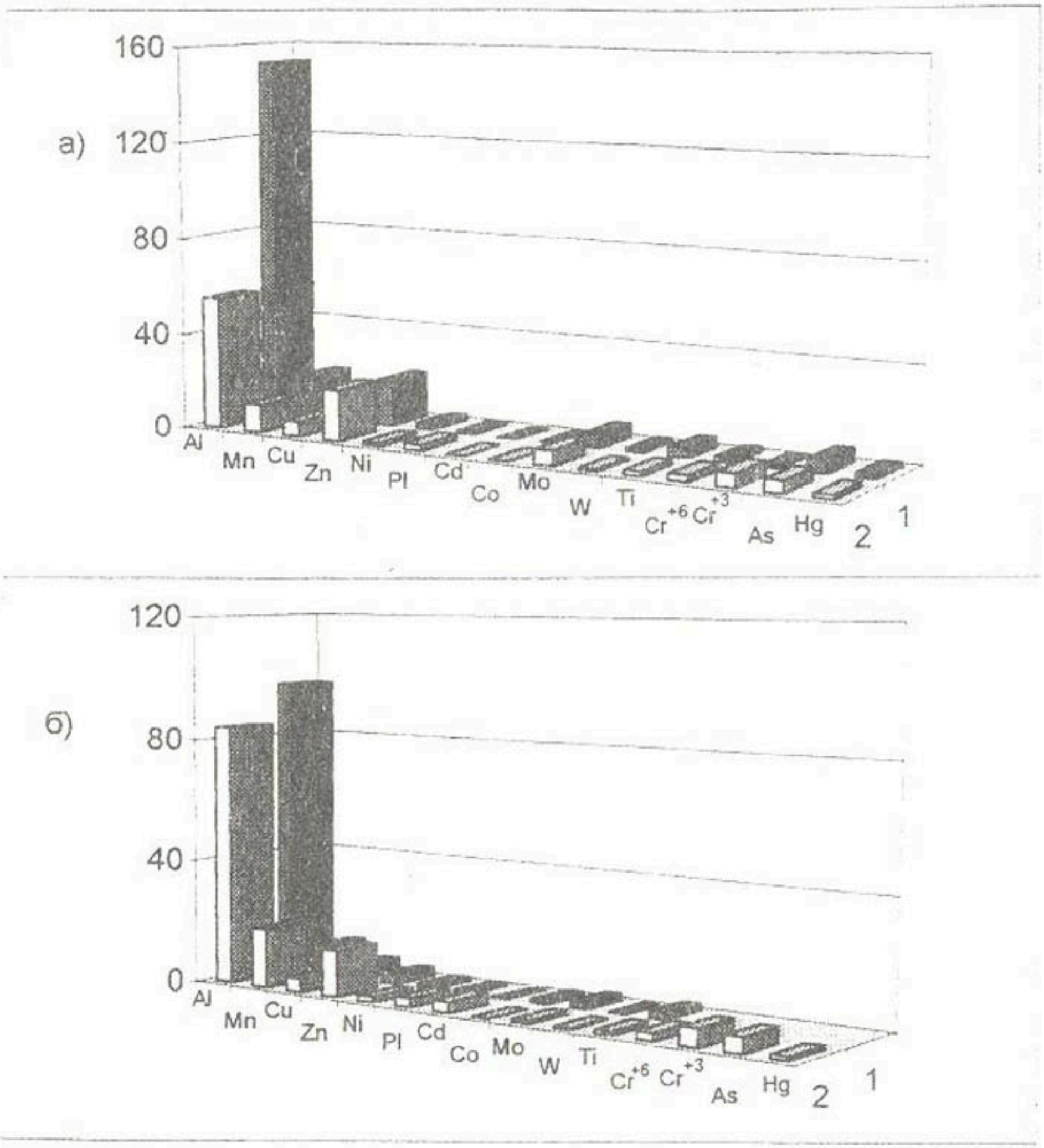


Рис. 2. Геохимические спектры воды Кайраккумского (а) и Чарвакского (б) водохранилищ.
1 - верхние бьефы, 2 - нижние бьефы.

Концентрация марганца, меди, никеля, алюминия, хрома в подавляющем большинстве нижних бьефов уменьшается по сравнению с верхними, что свидетельствует о самоочищении потока в пределах водохранилищ.

Вместе с тем, содержание в воде цинка и свинца увеличивается, а изменения других элементов наблюдаются с разным знаком. В некоторых случаях концентрация ряда элементов в обоих бьефах отличается на величину, не превышающую точности измерения и расчета среднего.

Выводы

При наличии параллельных наблюдений за химическим составом речных вод в верхних и нижних бьефах водохранилищ в естественных условиях и в период эксплуатации разработанная методика позволяет оценить их влияние на гидрохимический режим рек.

Вместе с тем, при существующих методах измерения и расчета минерализации метод применим лишь для крупных водохранилищ, где роль испарения может быть существенной.

Горные водохранилища не оказывают влияния на среднюю годовую величину минерализации. Она несколько увеличивается лишь на крупных равнинных водохранилищах, где роль испарения может быть существенной.

В результате смешения в чаше водохранилища речных вод разного генетического происхождения годовой ход минерализации сглаживается: летом она возрастает, а в межень уменьшается. При этом число случаев превышения ПДК в нижних бьефах может увеличиваться, а их абсолютная величина уменьшаться.

Современная система дискретных наблюдений за биогенным составом речных вод не позволяет сделать достоверные выводы о влиянии водохранилищ на изменение биогенного и газового режима речных вод. Можно лишь утверждать, что в изменении концентрации железа, кремния и минерального фосфора наблюдается тенденция к их уменьшению в нижнем бьефе за счет процессов сорбции на наносах с последующим их осаждением на дно.

Концентрация большинства тяжелых металлов в нижних бьефах водохранилищ уменьшается за счет сорбции их на наносах с последующим осаждением на дно. Лишь концентрация свинца и цинка несколько увеличилась, что вряд ли связано с эксплуатацией водохранилищ.

По ряду металлов (ртуть, мышьяк и др.) влияние водохранилищ не выявлено, так как отсутствуют параллельные наблюдения в верхних и нижних бьефах.

Изменение концентрации органических загрязнителей в нижних бьефах водохранилищ неоднозначно. В некоторых из них наблюдается уменьшение концентрации, что связано с процессами самоочищения водоемов. В других - концентрация увеличивается, вероятнее всего за счет сбросов загрязненных коллекторных вод.

Проведенный анализ показал, что современная система наблюдений за химическим составом речных вод не позволяет сделать исчерпывающие выводы о влиянии на него водохранилищ.

Список литературы

1. Долгов Г. И. Об основных принципах и путях разработки методики прогноза качества воды водохранилищ //Гидрохимические материалы. - 1961. - Т. 31. - С. 69-74.

2. Кривенцов М. И. К вопросу о прогнозировании минерализации и химического состава воды водохранилищ //Гидрохимические материалы. - 1967. - Т. 45. - С. 89-106.

3. Лазарев К. Г. и др. Ожидаемые изменения минерализации и относительного состава воды в бассейне р. Амударьи после зарегулирования стока (на уровне 1980 г.) /К. Г. Лазарев, А. С. Якушева, Р. К. Манихина // Гидрохимические материалы. - 1965. - Т. 40. - С. 23-25.

4. Рубинова Ф. Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек бассейна Аральского моря // Тр. САНИГМИ - 1987. - Вып. 124 (205). - 160 с.

Ф. Э. Рубинова

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК СРЕДНЕЙ АЗИИ

Вопрос о негативном (для орошения) влиянии водохранилищ на термический режим рек неоднократно поднимался в печати.

К настоящему времени накоплены материалы наблюдений, позволяющие дать объективную оценку этому процессу, выявить общие для региона закономерности изменения температуры воды в нижних бьефах водохранилищ.

Исследований по изменению термического режима водных масс в нижних бьефах водохранилищ и по длине рек сравнительно немного [2-5].

Во всех этих работах изменения термического режима рек оценивались путем сопоставления температуры воды в створе в естественных условиях и в период эксплуатации водохранилищ. Такой прием не совсем правомерен, так как изменение термического режима реки в нижнем бьефе водохранилищ в период их эксплуатации может быть вызвано естественными колебаниями климата и, как следствие, температуры воды.

Использование коэффициента трансформации температуры воды (t_k), равного отношению средней за расчетный период температуры в нижнем и в верхнем створах (t_b) также не дает истинной картины влияния водохранилищ на термику рек.

Этот коэффициент показывает, как температура воды в нижнем створе изменилась относительно верхнего. Однако, эти изменения могут быть связаны с широтной и вертикальной зональностью. Если нижний створ расположен южнее верхнего, то в среднем за год температура воды в нем увеличивается; при северной ориентации потока наблюдается обратная картина. На горных реках температура воды в нижнем бьефе всегда выше, чем в верхнем (табл. 1).

В свете сказанного, в чистом виде влияние водохранилищ на температуру воды можно оценить, лишь сопоставляя прирост или

уменьшение температуры (Δt) в период эксплуатации водохранилища относительно естественных условий.

Таблица 1

Средняя многолетняя температура воды в верхних и нижних бьефах водохранилищ на условно-естественном уровне

Водохранилище	бьеф	I	II	III	IV	V	VI
Токтогульское	верхний	0.1	0,2	3,4	10,3	13.5	15.0
	нижний	0,3	0,4	4,6	11,4	14,0	15,7
Нурекское	верхний	1,0	2,4	6,7	10,0	11,7	13,1
	нижний	2,0	4,0	8,1	11,5	13,2	14,4
Тюямуюнское	верхний	2,5	4,9	9,0	15,4	20,5	23,7
	нижний	1,6	4,0	8,2	14,7	20,1	23,6
Чарвакское	верхний	0,2	1,2	4,3	8,3	10,1	11,2
	нижний	1,6	1,8	4,5	7,8	10,6	11,8
Кайраккумское	верхний	2,1	4,5	9,1	14,1	17,5	19,6
	нижний	1,6	3,8	8,3	13,4	18,5	21,5
Андижанское	верхний	0,3	1,3	3,5	10,5	14,6	15,9
	нижний	3,3	3,9	8,0	12,3	15,0	17,3
Чардаринское	верхний	3,5	6,9	10,9	15,1	19,1	21,3
	нижний	1,8	5,0	9,8	15,4	20,4	24,3

Водохранилище	бьеф	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Токтогульское	верхний	16,8	17,2	14,4	9,5	3,9	0,7
	нижний	17,7	18,4	16,1	11,5	6,0	1,8
Нурекское	верхний	13,8	13,8	11,9	9,6	6,4	2,7
	нижний	15,0	14,9	13,4	11,2	7,6	4,8
Тюямуюнское	верхний	24,8	23,2	19,7	14,2	7,8	4,0
	нижний	24,9	23,3	19,4	13,6	7,1	3,2
Чарвакское	верхний	13,6	14,6	12,1	8,4	4,0	1,1
	нижний	13,5	14,3	12,4	9,2	6,0	3,5
Кайраккумское	верхний	21,8	22,1	19,1	13,6	7,8	4,5
	нижний	23,7	22,7	19,6	14,3	8,4	3,5
Андижанское	верхний	17,4	17,6	14,1	9,0	3,8	1,4
	нижний	19,1	19,0	16,5	12,7	8,7	4,9
Чардаринское	верхний	24,4	25,0	20,3	15,0	8,5	4,3
	нижний	26,0	25,0	20,9	15,0	8,8	3,3

Для этой цели воспользуемся уравнением регрессии, связывающим температуру в верхних и нижних створах реки в естественных условиях:

$$t_н = at_в + b, \qquad (1)$$

где $t_н$ и $t_в$ - средняя месячная температура в нижнем и верхнем створах исследуемого участка реки; a и b - коэффициенты уравнения.

Уравнение (1) используется для восстановления $t_н$ в период эксплуатации водохранилища по значениям $t_в$.

Тогда изменение температуры воды в нижнем створе, связанное с влиянием водохранилища, будет равно

$$\Delta t = t_{н.в.} - t_{н.ф.}, \qquad (2)$$

где Δt - изменение температуры воды в нижнем бьефе водохранилища в среднем за расчетный период; $t_{н.в.}$ и $t_{н.ф.}$ - восстановленное по (1) и фактически зафиксированное значение температуры воды за тот же период.

Использование метода предполагает наличие параллельных наблюдений в верхнем и нижнем створах реки как в период эксплуатации водохранилища, так и в естественных условиях.

По этому признаку были выбраны семь крупных водоемов, которые представляют весь диапазон крупных русловых водохранилищ Средней Азии по морфометрическим и высотным характеристикам.

Сведения о средней месячной температуре воды приняты по данным створов, приведенных в табл. 2. Как правило, верхние створы расположены достаточно далеко от водохранилищ. Однако, это обстоятельство не должно существенно сказаться на результатах расчетов, поскольку температура воды в верхнем створе используется в качестве индекса, а не как абсолютная величина.

Температура воды в верхнем бьефе Нурекского водохранилища в 1968-1975 годах характеризовалась створом Комсомолабад, а в 1976-1986 годах - створом Чорсада. Створы расположены на расстоянии 16 км, что в условиях горного потока не может существенно сказаться на температуре воды. В связи с этим данные наблюдений по ним объединены в один ряд.

В естественных условиях связь значений средних месячных

температур воды в верхних и нижних створах реки неоднозначна. В связи с этим уравнения регрессии $t_н = f(t_в)$ строились для отдельных сезонов (табл. 3), выявленных предварительно по графикам связи температуры в верхнем и нижнем створах. В пределах выбранных сезонов эти связи линейны.

Таблица 2

Характеристики исследованных русловых водохранилищ

Водохранилище и река, на которой оно расположено	Расстояние плотины от устья реки, км	Длина водохранилища, км	Периоды осреднения, годы		Средние за период эксплуатации		
			условно-естественный	эксплуатации водохранилища	объем, $км^3$	площадь, $км^2$	относительная глубина
Кайраккумское, Сырдарья	1961	60	1954-1958	1959-1990	2,38	370,7	0,82
Чардарьинское, Сырдарья	1633	80	1962-1966	1967-1990	3,02	566,7	0,60
Токтогульское, Нарын	141	65	1964-1973	1974-1985	8,97	194,5	8,45
Андижанское, Карадарья	140	14,4	1970-1976	1978-1990	0,81	29,4	8,15
Чарвакское, Чирчик	152	22	1964-1970	1971-1990	1,01	26,4	12,0
Тюямуюнское, Амударья	452	80	1952-1979	1980-1990	1,08	257,0	0,58
Нурекское, Вахш	263	70	1968-1971	1972-1988	8,34	85,5	21,8

Уравнения регрессии $t_н = f(t_в)$ характеризуются, как правило, высокими коэффициентами корреляции, и погрешности расчета средних месячных величин по ним лишь в отдельных случаях превы-

Таблица 3

Параметры уравнений связи температуры воды в верхнем (x) и нижнем (y) бьефах русловых водохранилищ на условно-естественном уровне

Водохранилище	сезон	R	S	$б_x$	$б_y$	A	B	$X(t_в)$	$У(t_н)$
Нурекское	III-IX	0,99	0.3	2,4	2,4	0,95	1,88	11,6	12,9
	X -II	0,93	1,2	3,4	3,3	0,90	2,13	4,7	6,3
Тюямуюнское	I -IX	0,99	0,8	5,3	5,4	1,01	-0,93	8,6	7,8
	V -VII	0,97	0,5	2,0	2,2	1,05	-1,26	23,0	22,9
	VIII-IX	0,94	0,7	1,9	2,1	1,03	-0,61	21,5	21,4
	X - XII	0,99	0,6	4,4	4,6	1,02	-0,91	8,9	8,2
Чарвакское	I - III	0,94	0,5	1,9	1,5	0,76	1,21	2,1	2,8
	IV - VI	0,71	1,6	1,5	2,3	1,14	-1,18	9,8	10,1
	VII-IX	0,88	0,5	1,3	1,0	0,65	4,74	13,4	13,4
	X - XII	0,92	0,9	2,9	2,3	0,76	2,89	4,9	6,6
Токтогульское	I - III	0,97	0,5	1,6	2,2	1,32	0,12	1,3	1,9
	IV -VI	0,98	0,4	2,0	1,9	0,91	1,92	12,9	13,7
	VII-VIII	0,86	0,4	0,8	0,8	0,85	3,58	17,0	18,0
	IX -X	0,98	0,5	2,5	2,3	0,89	3,25	11,9	13,6
	XI -XII	0,97	0,6	1,7	2,3	1,28	0,87	2,3	3,8
Андижанское	III-V	0,98	0,6	4,8	3,0	0,61	5,94	10,0	12,0
	VI -X	0,94	0,8	3,4	2,4	0,69	6,77	14,8	16,9
	XI -II	0,90	1,1	1,6	2,5	1,39	2,90	1,9	5,6
Кайраккумское	XII-IV	0,99	0,6	4,4	4,4	1,01	-0,86	6,9	6,2
	V - IX	0,90	0,9	1,9	2,1	0,98	1,54	20,0	21,2
	X - XI	0,98	0,6	2,9	3,0	1,01	0,52	10,7	11,3
Чардаринское	XII- V	0,98	1,4	5,7	6,8	1,16	-2,40	9,6	8,7
	VI - VII	0,87	0,5	2,4	1,0	0,37	16,7	23,0	25,1
	VIII- XI	0,99	0,8	6,0	6,0	0,98	0,5	17,3	17,5

Примечание: R - сводный коэффициент корреляции. S - погрешность уравнения регрессии. $б_x$, $б_y$ - средние квадратические отклонения средних месячных температур воды в верхнем и нижнем бьефах водохранилища. A - угловой коэффициент в уравнении регрессии. B - свободный член в уравнении регрессии. $X(t_в)$, $У(t_н)$ - средние многолетние температуры воды в верхнем и нижнем бьефах водохранилища.

шают 1° (табл. 3). Надо полагать, что погрешность расчета средних годовых температур меньше средних месячных.

Полученные уравнения регрессии использованы для восстановления средней месячной температуры воды в нижних бьефах водохранилищ в период их эксплуатации. Затем по выражению (2) получены средние многолетние значения изменения температуры (Δt) в нижних бьефах, связанные с работой водохранилищ (табл. 4).

Таблица 4

Изменение средней многолетней температуры воды Δ_t в нижних бьефах русловых водохранилищ относительно естественного периода

Водохранилище	Изменение температуры в среднем за			
	1971 - 1975	1976 - 1980	1981 - 1985	1986 - 1990
Нурекское	2,34*	2,04	2,14	2,45*
Чарвакское		0,46*	0,68	0,66
Токтогульское		-0,30*	0,19	-
Андижанское		-0,41*	-1,38	-0,71
Тюямуюнское			-0,81*	-0,84
Кайраккумское	-1,03	-1,33	-0,65	-0,58
Чардаринское	-0,90	-1,46	-1,83	-1,22

П р и м е ч а н и е. * - менее пяти лет наблюдений.
прочерк - отсутствие данных.

Среднее многолетнее изменение температуры воды (Δt) в нижнем бьефе водохранилища связано с его морфометрическими характеристиками уравнениями

$$\Delta t = 0,03H_{ср} - 1,19. \quad (3)$$

$$\Delta t = 0,11W + 0,11H_0 - 1,36, \quad (4)$$

где Δt - среднее годовое изменение температуры воды (в граду-

сах) в нижнем бьефе водохранилища по сравнению с естественными условиями: $H_{ср}$. H_0 и W - осредненные за год средняя и относительная глубина и объем водохранилища связаны уравнением

$$H_0 = H_{ср} / \sqrt[3]{F}. \qquad (5)$$

где F - средняя за год площадь водного зеркала водохранилища.

Для минимизации случайных погрешностей расчетов все параметры уравнений получены по скользящим трехлетиям.

Уравнения (3), (4) найдены по 84 числам ряда с коэффициентами корреляции 0,82 и 0,83 и стандартной ошибкой 0,5° и выражают общие для региона закономерности влияния водохранилищ на среднюю годовую температуру воды.

Мелководные (равнинные) водохранилища способствуют понижению средней годовой температуры воды в нижнем бьефе по сравнению с естественными условиями на 0,7-1,2°, глубоководные - повышению на 2,0°.

С ростом объема и относительной глубины водохранилища возрастает его отепляющий эффект. Амплитуда между максимальными положительным (Нурекское) и отрицательным (Чардаринское) изменениями годовой температуры воды в нижнем бьефе в отдельные периоды колеблется в пределах 3,5-4,0° (табл. 4). Столь существенные различия могут быть связаны не только с объемом водной массы в водохранилище, но и его географическими координатами - Нурекское водохранилище расположено существенно южнее Чардаринского.

Кайраккумское и Тюямуюнское водохранилища характеризуются практически равными величинами Δt, несмотря на различия в широтах. Снижение температуры воды за счет Чардаринского водохранилища более существенно, чем расположенного севернее Тюямуюнского (табл. 4), несмотря на практическое равенство температуры воздуха. Сказанное подтверждается уравнениями (3-4). Следовательно, морфометрические особенности водохранилищ оказывают большее влияние на температуру воды в нижнем бьефе, чем географическое положение водоема.

Наиболее существенное влияние водохранилища оказывают на

внутригодовой ход температуры воды. Горные водохранилища (НПУ на высотах более 800 м) понижают температуру воды относительно естественного периода с марта по июль (в Токтогульском до августа) и повышают с августа по февраль.

Максимальное (среднее многолетнее) понижение температуры достигает 4-6° в Андижанском и Токтогульском водохранилищах и 2° в Чарвакском и Нурекском (рис. 1).

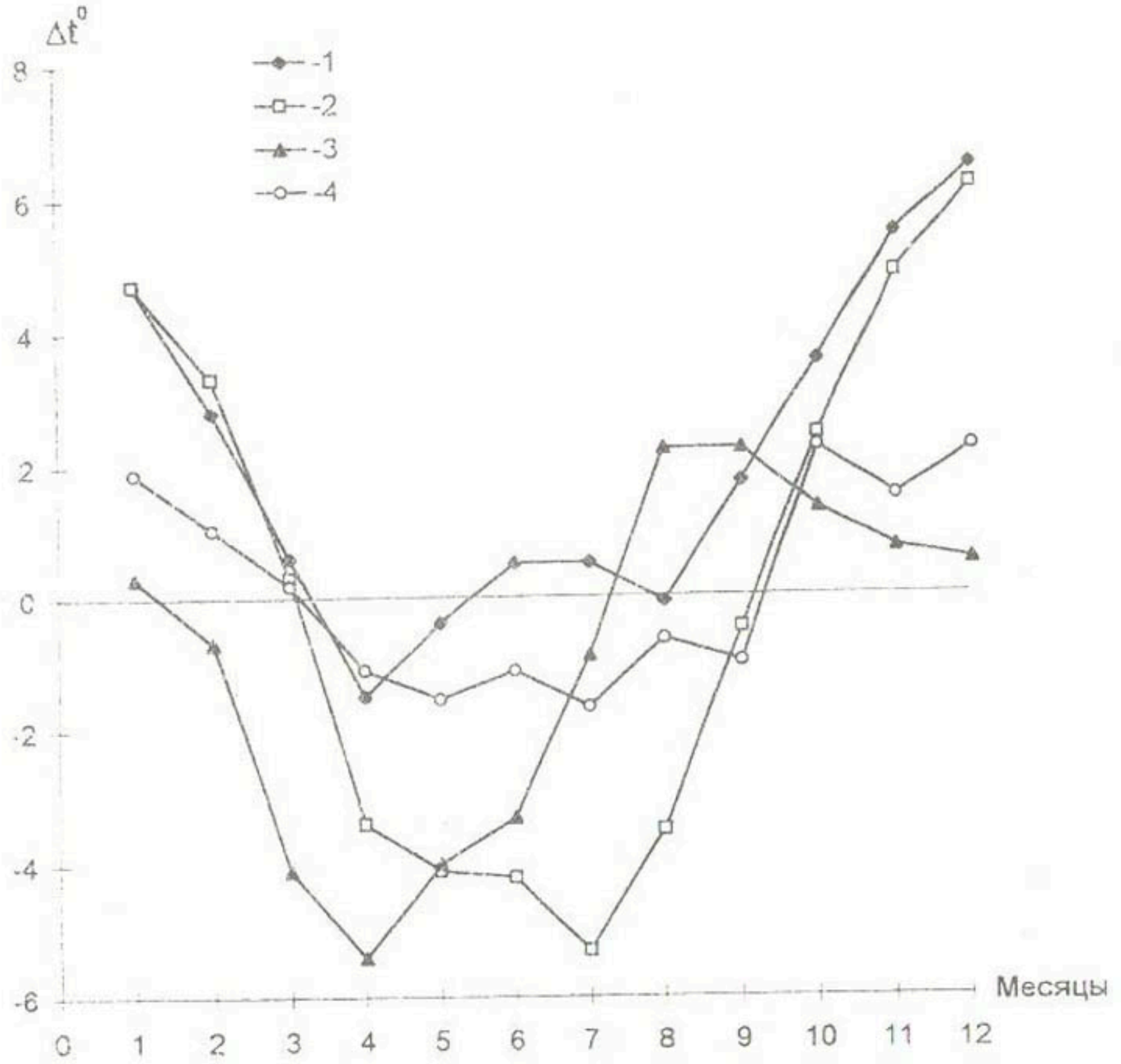


Рис. 1. Внутригодовой ход антропогенных изменений температуры воды в нижних бьефах горных водохранилищ (средний за период эксплуатации). 1 - Нурекское, 2 - Токтогульское, 3 - Андижанское, 4 - Чарвакское.

Максимальное повышение температуры наблюдается в декабре. В этот период температура воды в нижнем бьефе возрастает на 3-8° в зависимости от увеличения объема водохранилищ (рис. 1).

Амплитуда антропогенных изменений температуры воды внутри года велика - от 5° в Чарвакском до 12,6° в Токтогульском водохранилищах.

В нижних бьефах равнинных водохранилищ преобладают отрицательные изменения температуры воды. Максимальное понижение ее в нижнем бьефе наблюдается в марте-апреле, а повышение - в июне-июле (рис. 2).

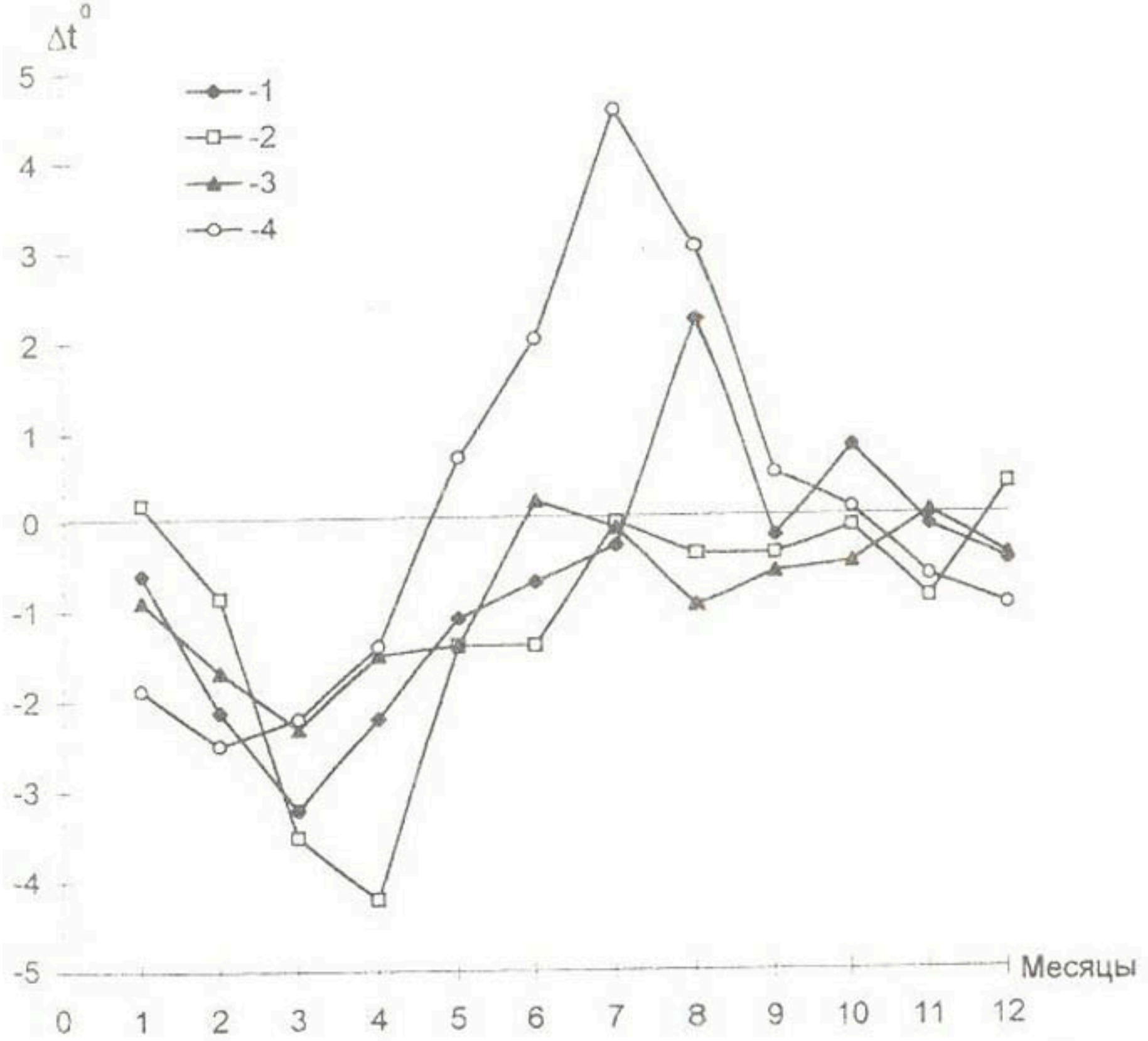


Рис. 2. Внутригодовой ход антропогенных изменений температуры воды в нижних бьефах равнинных водохранилищ (средний за период эксплуатации). 1 - Тюямуюнское, 2 - Чардаринское, 3 - Кайраккумское (за 1960-1980 годы), 4 - Кайраккумское (за 1981-1990 годы).

По мере увеличения объема водохранилища возрастает максимальное среднее месячное значение Δt. При этом на равнинных водохранилищах, характеризующихся существенно меньшей по сравнению с горными относительной глубиной, максимальный прирост температуры на 2-3° меньше, чем в горных (рис. 3).

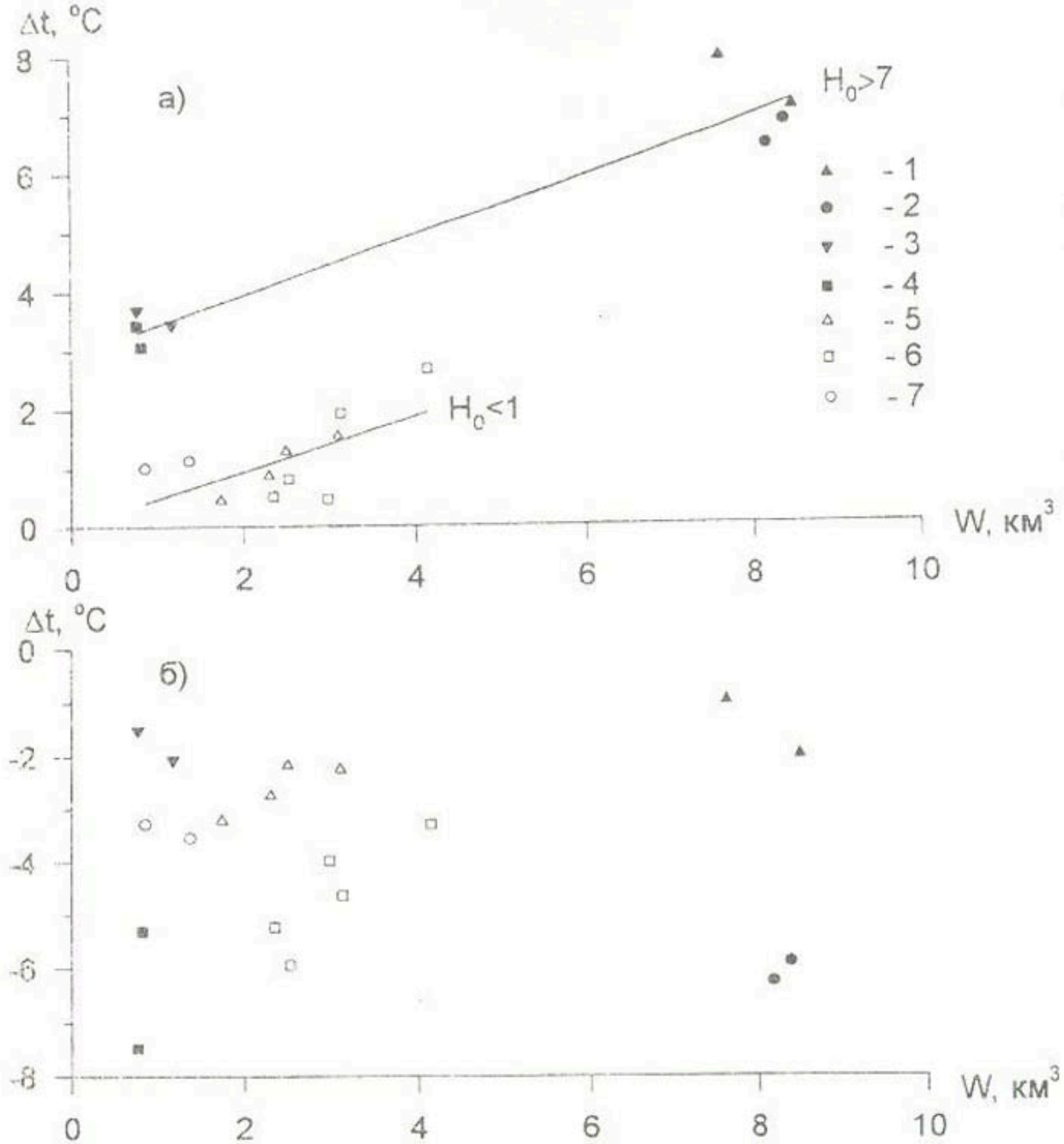


Рис. 3. Зависимость максимального повышения (а) и понижения (б) средней месячной температуры воды в нижнем бьефе водохранилищ от их объема (среднее за 5 лет). 1 - Токтогульское, 2 - Нурекское, 3 - Чарвакское, 4 - Андижанское, 5 - Кайраккумское, 6 - Чардаринское, 7 - Тюямуюнское.

Максимальное понижение (по сравнению с естественными условиями) температуры воды в нижних бьефах равнинных (мелководных) водохранилищ существенно меньше, чем в горных - 4,4-7,0°. Аналогичные оценки приводятся для Волги [3-4], Дона [3] и Енисея [1].

В целом для Среднеазиатского региона наблюдается тенденция к росту амплитуды изменения внутри года средней месячной температуры воды в нижних бьефах водохранилищ с увеличением их объема и глубины. Коэффициент корреляции связи $A = f(W)$ равен 0,68, а $A = f(H_{ср})$ - 0,60.

Чем больше объем водохранилища или его средняя глубина, тем больше разница между максимальным положительным и отрицательным изменением температуры воды в его нижнем бьефе(относительно естественного уровня).

Влияние водохранилищ на изменение средней месячной температуры воды в нижних бьефах исследовалось дифференцированно для равнинных и горных водохранилищ.

В качестве аргументов использованы средние за месяц морфометрические характеристики водохранилищ - объем и относительная глубина. Последняя характеризует форму чаши водохранилища. При равных средних глубинах она тем больше, чем меньше площадь водной поверхности.

Регрессионный анализ показал, что в нижних бьефах горных водохранилищ изменения температуры воды практически в течение всего года определяются их морфометрическими характеристиками. Лишь в переходный период (апрель, октябрь) связь $\Delta t=f(W, H_0)$ нарушена.

В зимние месяцы (ноябрь-февраль) изменение температуры определяется, главным образом, объемом водохранилищ, а в летнее время возрастает роль относительной глубины.

На равнинных водохранилищах связь $\Delta t=f(W, H_0)$ выражена существенно хуже, и уравнения регрессии получены лишь для отдельных месяцев (табл. 5).

Уравнения $\Delta t=f(W, H_0)$ позволяют проанализировать влияние объема и относительной глубины водохранилища на изменения температуры воды в нижнем бьефе (табл. 6, 7).

Таблица 5

Уравнения регрессии связи Δt с морфометрическими характеристиками водохранилищ

Месяц	R	S	t°	W	h_o	Уравнение
Горные водохранилища						
Январь	0,92	1,06	2,87	4,06	10,7	$\Delta t=0,59W+0,09H_o-0,48$
Февраль	0,95	0,70	1,66	3,93	10,7	$\Delta t=0,49W+0,10H_o-1,31$
Март	0,74	1,50	-1,35	4,00	11,5	$\Delta t=0,36W+0,12H_o-4,20$
Апрель	0,53	-	-3,52	4,00	11,6	-
Май	0,74	1,31	-3,17	4,20	11,7	$\Delta t=-0,03W+0,23H_o-6,29$
Июнь	0,87	0,93	-2,67	4,47	11,8	$\Delta t=-0,16W+0,31H_o-5,65$
Июль	0,94	0,73	-2,07	4,51	11,6	$\Delta t=-0,49W+0,31H_o-3,43$
Август	0,90	1,13	-0,25	4,12	10,9	$\Delta t=-0,64W+0,21H_o+0,03$
Сентябрь	0,73	1,16	1,21	3,99	10,3	$\Delta t=-0,38W+0,11H_o+1,57$
Октябрь	0,48	-	2,48	3,86	10,4	-
Ноябрь	0,82	1,20	3,25	4,08	10,6	$\Delta t=0,36W+0,10H_o+0,69$
Декабрь	0,97	0,66	3,43	4,09	10,7	$\Delta t=0,68W+0,07H_o-0,12$
Равнинные водохранилища						
Январь	0,75	0,74	-0,30	2,47	0,66	$\Delta t=0,94W+0,84H_o-3,19$
Февраль	0,63		-1,28	2,90	0,68	
Март	0,51		-3,27	3,39	0,68	
Апрель	0,77	1,04	-3,56	3,36	0,69	$\Delta t=-0,80W+7,22H_o-5,53$
Май	0,13		-1,73	3,29	0,68	
Июнь	0,64		-0,98	2,71	0,65	
Июль	0,56		-0,26	1,89	0,61	
Август	0,51		-0,59	1,12	0,57	
Сентябрь	0,68		-0,91	1,07	0,57	
Октябрь	0,58		-0,38	1,38	0,61	
Ноябрь	0,82	0,47	-0,81	1,83	0,64	$\Delta t=0,52W+4,79H_o-4,84$
Декабрь	0,83	0,49	-0,07	2,17	0,66	$\Delta t=1,05W+1,33H_o-3,24$

Примечание. Δt - изменение средней месячной температуры воды в нижнем бьефе, R - сводный коэффициент корреляции, S - погрешность уравнения регрессии, t° - средняя за расчетный период температура воды в нижнем бьефе, W - объем водохранилища за тот же период, h_o - относительная глубина.

С ноября по февраль горные водохранилища оказывают отепляющее воздействие на водную массу в нижнем бьефе. Оно возрастает до декабря, а затем постепенно снижается и в марте становится отрицательным.

В пределах каждого месяца увеличение температуры воды в нижнем бьефе водохранилища относительно естественного уровня тем больше, чем больше его объем и относительная глубина.

В апреле, независимо от морфометрических характеристик водохранилищ, температура воды в нижних бьефах уменьшается по сравнению с естественными условиями на 3,5°.

В последующие месяцы горные водохранилища охлаждают температуру воды в нижних бьефах с постепенно снижающейся интенсивностью (табл. 5). Понижение температуры тем существеннее, чем больше объем водохранилища.

При равных объемах водохранилищ охлаждающий их эффект тем больше, чем меньше относительная глубина. Следовательно, наибольшие изменения температуры следует ожидать в водохранилищах с плоской чашей, то есть с большей площадью водного зеркала.

В зимние месяцы изменения температуры в нижних бьефах водохранилищ связаны, главным образом, с их объемом, а в летние - с глубиной (табл. 6).

Влияние морфометрических характеристик равнинных водохранилищ можно проследить лишь в отдельные месяцы (табл. 7). В ноябре мелководные водохранилища (H_0 <0,5м) понижают температуру воды, охлаждающий эффект понижается с увеличением объема водохранилища. Относительно глубокие водоемы в этот период повышают температуру воды в нижнем бьефе. В декабре-январе охлаждающий эффект при малых объемах и глубинах переходит в согревающий по мере роста последних. В апреле температура воды в нижних бьефах уменьшается в мелководных водоемах и увеличивается в глубоководных (табл. 7).

В январе и декабре изменения температуры воды в нижних бьефах связаны, главным образом, с объемом водохранилищ, а в апреле и ноябре возрастает роль относительной глубины.

Влияние водохранилищ на температуру воды в нижнем бьефе ("температурный эффект") прослеживается на большом расстоянии от плотины. По данным Е. А. Леонова [3-4], влияние крупных русловых водохранилищ на изменение термического режима рек просматривается на расстоянии 200-500 км, а средних и мелких - на 20-30 км.

Таблица 6

Изменение средней месячной температуры воды в нижних бьефах горных водохранилищ в зависимости от их объема (W) и относительной глубины (H_0)

H_0, м	Изменение Δt в зависимости от объема					Амплитуда Δt в принятом диапазоне	
	1	5	7	9	11	W	H_0
			Январь				
5	0.6	2.9	4.1	5.3	6.5	5.9	1.3
10	1.0	3.4	4.6	5.7	6.9		
20	1.9	4.3	5.5	6.6	7.8		
			Февраль				
5	-0.3	1.6	2.6	3.6	4.6	4.9	1.5
10	0.2	2.1	3.1	4.1	5.1		
20	1.2	3.1	4.1	5.1	6.1		
			Март				
5	-3.2	-1.8	-1.1	-0.4	0.4	3.6	1.8
10	-2.5	-1.2	-0.5	0.2	1.0		
20	-1.4	0	0.7	1.4	2.2		
			Май				
5	-5.2	-5.3	-5.4	-5.4	-5.5	0.3	3.5
10	-4.0	-4.1	-4.2	-4.3	-4.3		
20	-1.7	-1.8	-1.9	-2.0	-2.0		
			Июнь				
5	-4.3	-4.9	-5.2	-5.5	-5.9	1.6	4.6
10	-2.7	-3.4	-3.7	-4.0	-4.3		
20	0.3	-0.2	-0.6	-0.9	-1.2		
			Июль				
5	-2.2	-4.2	-5.1	-6.1	-7.1	4.9	4.5
10	-0.8	-2.8	-3.7	-4.7	-5.7		
20	2.3	0.4	-0.6	-1.6	-2.6		
			Август				
5	0.4	-2.1	-3.4	-4.7	-6.0	6.4	3.2
10	1.5	-1.1	-2.4	-3.6	-4.9		
20	3.6	1.0	-0.2	-1.5	-2.8		
			Сентябрь				
5	1.7	0.2	-0.5	-1.3	-2.1	3.8	1.7
10	2.3	0.8	0	-0.8	-1.5		
20	3.4	1.9	1.1	0.4	-0.4		
			Ноябрь				
5	1.6	3.0	3.7	4.4	5.2	3.6	1.4
10	2.0	3.5	4.2	4.9	5.6		
20	3.0	4.5	5.2	5.9	6.6		
			Декабрь				
5	0.9	3.6	5.0	6.4	7.7	6.8	1.1
10	1.3	4.0	5.3	6.7	8.1		
20	2.0	4.7	6.0	7.4	8.8		

Таблица 7

Изменение средней месячной температуры воды в нижних бьефах равнинных водохранилищ в в зависимости от их объема (W) и относительной глубины (H_0)

H_0, м	Изменение Δt в зависимости от объема					Амплитуда Δt в принятом диапазоне	
	0,5	1	2	3	5	W	H_0
				Январь			
0,5	-2,3	-1,8	-0,9	0	1,9	4,2	0,5
1,0	-1,9	-1,4	-0,5	0,5	2,4		
				Апрель			
0,5	-2,3	-2,7	-3,5	-4,3	-5,9	3,6	3,6
1,0	1,3	0,9	0,1	-0,7	-2,3		
				Ноябрь			
0,5	-2,2	-1,9	-1,4	-0,9	0,2	2,4	2,4
1,0	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5		
				Декабрь			
0,5	-2,1	-1,5	-0,5	0,6	2,7	4,8	0,6
1,0	-1,4	-0,9	0,2	1,2	3,3		

А. Б. Авакян [1] утверждает, что "температурный эффект" Красноярского гидроузла распространяется на 700-800 км от плотины. Протяженность "температурного эффекта" водохранилища в условиях аридного климата исследовалась на примере Сырдарьи в створах кишл. Каль и Акджар. До 1974 года оба створа находились в естественных условиях; в 1974 году началось заполнение Токтогульского, а в 1978 - Андижанского водохранилищ.

Изменения средней месячной температуры воды Сырдарьи в створах кишл. Каль, Акджар в период заполнения и эксплуатации водохранилищ относительно естественных условий получено по выражению (2).

Восстановление температуры воды в исследуемых створах осуществлено по уравнениям регрессии $t_н = f(t_в)$, полученным в ес-

тественных условиях. В качестве верхнего створа использован г. Учтерек на р. Нарын.

Расчеты показывают, что "температурный эффект" водохранилища распространяется вниз по реке в более сглаженном виде. Так, повышение температуры воды в нижнем бьефе Токтогульского водохранилища на 5-6° относительно естественного уровня сопровождается ее повышением в створах Каль и Акджар, соответственно, на 1-2°.

Аналогично, при повышении температуры воды в нижнем бьефе Токтогульского водохранилища на 6°, в нижележащих створах она понижается на 2-3°. Эффект влияния Токтогульского водохранилища распространяется не менее, чем на 210 км (кишл. Акджар).

Выводы

Разработана методика объективной оценки влияния водохранилищ на температуру воды в реках.

Среднее многолетнее изменение температуры воды в нижнем бьефе водохранилища определяется его средней глубиной. Мелководные водохранилища способствуют понижению средней годовой температуры воды в нижнем бьефе по сравнению с естественными условиями на 0.7-1.2°, а глубоководные - повышению до 2°.

Горные водохранилища оказывают отепляющее воздействие на воду в реке с сентября по февраль, а в остальное время - охлаждающее. На равнинных водохранилищах практически в течение всего года температура воды в нижнем бьефе ниже, чем в естественных условиях.

Разница между максимальными положительным и отрицательным изменением температуры воды в нижнем бьефе водохранилища тем больше, чем больше его объем.

Средние месячные изменения температуры воды в нижних бьефах водохранилищ определяются их объемом и относительной глубиной. В летнее время возрастает роль относительной глубины, а в зимнее - объема.

Влияние водохранилищ на температурный режим рек распространяется в более сглаженном виде вниз по ее течению.

Список литературы:

1. А в а к я н А. Б. и др. Влияние водохранилищ на окружающую среду/ А. Б. Авакян, Н. В. Буторин, С. Л. Вендров / Преобразование водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности. - Л.: Гидрометеоиздат, 1976. - С. 6-17.

2. А л м а з о в А. М. и др. Гидрохимия Днепра, его водохранилищ и притоков /А. М. Алмазов, А. И. Денисова, Ю. Г. Майстренко, Е. П. Нахшина - Киев, 1967. - 316 с.

3. Л е о н о в Е. А. Изменение термического режима рек под влиянием хозяйственной деятельности// Тр. ГГИ.- 1977. - Вып. 239. - С. 49-77.

4. Л е о н о в Е. А. Изменение температуры воды крупных рек под влиянием хозяйственной деятельности// Исследования формирования речного стока и его расчеты. - Л.: ЛГМИ.- 1981. - Вып. 76 - С. 107-116.

5. О р л о в И. А. Расчет изменения температуры воды р. Енисей на участке Туруханск - Игарка в летний период под влиянием Туруханской ГЭС// Вопросы гидрологии суши. - Л.: Гидрометеоиздат, 1982. - С. 189-193.

В. М. Дубинский, М. А. Лебедева,
А. А. Азизов

МЕТОД ОЦЕНКИ ВТОРИЧНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В АЛМАЛЫК-АХАНГАРАНСКОМ АГРОПРОМРАЙОНЕ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ

Вторичные водные ресурсы (ВВР) представляют собой долю воды, изъятой из поверхностного источника или месторождения подземных вод с целью водоснабжения или осушения территории и вернувшейся в продуктивный водоносный горизонт грунтовых вод (ГВ) в виде фильтрационных потерь. При этом имеют место потери воды: свежей - на участке от места отбора до потребления; оборотной - на предприятиях; сточной, включая канализационную, - на всем пути прохождения стоков.

ВВР - это вид водных ресурсов антропогенного, в том числе, техногенного происхождения. Территориально они приурочены как к основному месторождению грунтовых вод, так и к пограничной территории, занятой промплощадками, поселками, орошаемыми сельскохозяйственными землями и т.д. Следовательно, ВВР являются дополнительным источником воспроизводства эксплуатационных запасов грунтовых вод, на величину которых можно увеличить отбор грунтовых вод.

В условиях межгорной долины ВВР, независимо от места их формирования, в конечном итоге попадают в основное месторождение грунтовых вод в аллювиально-пролювиальных галечниках. Дополнительный отбор ГВ на величину ВВР должен осуществляться рассредоточенно по площади месторождения. Места их отбора могут быть приурочены к зонам формирования, транзита или накопления ВВР. В частности, в средней части долины р. Ахангаран прибортовая зона основного месторождения шириной от нескольких сот метров до 1 км вдоль левого борта долины протяженностью до 20 км и погребенная долина р. Геджиген являются зоной транзита ВВР.

Промплощадки, то есть территория, занятая промпредприятиями, хвостохранилищами, отстойниками, пульповодами, водоводами, пульпонасосными и насосными станциями, - это зоны формирования

ВВР. Расположены промышленные площадки как на высоких террасах, так и непосредственно на месторождениях грунтовых вод. На высоких террасах формируется как поверхностная, так и подземная составляющие ВВР. В пределах низких террас формируется только подземная их составляющая в силу фильтрационных особенностей среды.

К зонам формирования ВВР относятся городские территории, особенно если это низкие террасы. Город в таком случае стоит на галечниках, то есть непосредственно на месторождении грунтовых вод. В пределах города ВВР образуется за счет фильтрационных потерь поливной воды из водопровода, потерь в водоводах, канализационных сетях, тепломагистралях. Так, на площади жилой застройки г. Алмалык формируется 1,4 $м^3/с$ ВВР только за счет потерь из водопроводной сети. Эта величина составляет 45% среднего годового расхода хозяйственно-питьевых городских водозаборов.

На водозаборах, расположенных в долине р. Ахангаран и эксплуатирующих месторождение грунтовых вод, ВВР образуются вследствие фильтрационых потерь из водоводов, а также поливной воды, предназначенной для разведенных здесь садов и огородов.

Формируются ВВР и на участке транзита воды из водозаборов к потребителям. Удаленность водозаборов - 20-25 км. Как показали результаты исследований МЛВР, фильтрационные потери из магистральных водоводов достигают 10-15% средней годовой производительности водозаборов. Кроме того, по пути транспортировки воды из водозаборов потери удваиваются вследствие того, что к магистральным водоводам подключаются несанкционированные потребители, использующие нелегально воду на поливы огородов и приусадебных участков. До 36% поливной воды фильтруется в галечник[4].

По данным водного баланса промышленных площадок, изученного МЛВР, в Алмалыкском промышленном узле вторичные водные ресурсы составляют 55-57% от суммарного среднего годового отбора воды на производственное и хозяйственно-питьевое водоснабжение. Процент возврата воды в водоносный горизонт велик вследствие высокой проницаемости покровных отложений и водоемкости производственных процессов промышленных предприятий. Так, потребности в воде Алмалыкского ГМК составляют 46% суммарного

среднего годового расхода водозаборов в промышленном районе.

Количественная оценка ВВР определяется по гидрогеологическим условиям территории с выявленными ВВР, в том числе литологическому составу, мощности, водопроницаемости пород зоны аэрации и продуктивного водоносного горизонта, а также изменчивости фильтрационных свойств пород в плане и по разрезу; действующим водозаборам, схемам, режиму эксплуатации и отбора запасов ГВ в блоках и в промышленном районе; конструкции эксплуатационных скважин, насосного оборудования, глубине установки всасывающих устройств, производительности эксплуатационных скважин, понижению уровня ГВ, вызванного работой каждой скважины и водозабором; балансам среднемесячных, среднегодовых водопотребления и водоотведения для многоводного, среднего и маловодного лет; многолетнему уровенному режиму ГВ.

Гидрогеологические условия территории с ВВР характеризуются по данным разведки подземных вод, использованным в подсчете их эксплуатационных запасов, по сопоставлению этих данных с информацией, полученной в процессе создания, эксплуатации, а нередко расширения или реконструкции водозаборов.

Анализ технического состояния, конструктивных особенностей эксплутационных скважин, схем и срока работы водозаборов, интерпретация основных закономерностей режима эксплуатации ГВ, оценка обеспеченности запасов ГВ позволяют выявить изменения количественных показателей источников формирования эксплуатационных запасов ГВ под влиянием эксплуатации и прочей водохозяйственной деятельности.

Изучение опыта эксплуатации водозаборов и их влияния на водные ресурсы в промышленном районе позволяет оценить производительность продуктивного водоносного горизонта, граничные условия работы водозаборов, размеры воронок депрессии в эксплуатационном водоносном горизонте, изменение баланса грунтовых вод, сработку и восполнение их эксплуатационных запасов, уточнить фильтрационные свойства водоносного пласта, выявить оптимальную конструкцию эксплуатационных скважин и т. д. Вся эта информация используется при количественной оценке ВВР и в обосновании возможности их использования в целях водоснабжения.

Оценка фильтрационных свойств продуктивного водоносного пласта осуществляется по результатам опытно-фильтрационных работ на водозаборах [2, 6]. Таковыми являются откачки из отдельных скважин и их групп и слежение за восстановлением уровня воды в скважинах после прекращения откачек. Откачки-восстановления производятся из каждой эксплуатационной скважины при создании водозабора, а также при его эксплуатации.

Опытно-фильтрационные работы на водозаборах выполняются по отдельным скважинам на фоне возмущения водоносного горизонта эксплуатацией водозаборов. Это одиночные и кустовые откачки-восстановления. Кроме того, МЛВР накоплен опыт производства массовых наблюдений за восстановлением уровня воды в эксплуатационных и наблюдательных скважинах при профилактических остановках работы водозаборов.

Информация, полученная в процессе опытно-фильтрационных работ, обрабатывается с учетом приуроченности опыта к высокому или низкому положению уровня ГВ, способа и частоты замеров уровня воды в скважинах, их производительности, продолжительности опыта. Гидрогеологические параметры рассчитываются на ПЭВМ IBM PC/AT 286 по разработанной в МЛВР программе [6].

Учитывая, что опытно-фильтрационные работы на водозаборах являются составной частью стационарных режимных наблюдений в промрайоне, в МЛВР накоплен значительный объем экспериментальных данных по гидрогеологическим параметрам водоносных отложений. Точки с известными гидрогеологическими параметрами относительно равномерно распределены в пределах промрайона. Информации по параметрам достаточно для математического описания, картирования их пространственного изменения и выделения кусочно-однородных участков. Последнее особенно важно для схематизации природных условий и идентификации параметров для территорий с ВВР. Предварительно оцененные на стадии проектирования дренажного водозабора гидрогеологические параметры водоносного пласта уточняются в процессе строительства по данным опытно-фильтрационных работ в каждой вновь пробуренной эксплуатационной и наблюдательной скважине.

Изучение баланса водопотребления и водоотведения в промышленном узле, их изменчивости в годовом и многолетнем разрезе дает основу для объективной количественной оценки ВВР. Предварительная оценка ВВР производится по итоговым балансам и значениям гидрогеологических параметров пород зоны аэрации.

Надежная количественная оценка ВВР входит в задачу гидродинамического анализа режима ГВ. Многолетняя информация об уровенном режиме ГВ позволяет выявить его закономерности, выразить их количественными показателями, реконструировать фоновый (естественный) режим уровня ГВ. Последнее важно в связи с тем, что в условиях межгорной долины с высокими скоростями фильтрации и значительными градиентами подземного стока ВВР не дают ощутимого прироста уровня ГВ и практически не выражаются в формировании бугра растекания ГВ. Это характерно и для территорий с водоемким производством таких, как медная обогатительная фабрика, медеплавильный завод, химзавод.

Реконструкция фонового режима уровня ГВ осуществляется методом дискретно-непрерывного статистического моделирования. Он основан на совместном использовании дискриминантного и регрессионного анализа. Специфика его применения изложена в работах [4, 5].

Сравнительный анализ фоновых уровней и уровней ГВ по опорным точкам стационарной режимной сети и картирование антропогенных изменений уровня ГВ позволяют оконтурить участки с ВВР, рассчитать объем ВВР и выявить их зависимость от водохозяйственных факторов.

Возможность использования ВВР в водоснабжении определяется не только достаточным их объемом, но и требуемым качеством. Требования к качеству ВВР зависят от их потребителя. Оценивается гидрохимический режим ВВР по результатам многолетних стационарных гидрохимических наблюдений статистическими методами, в том числе испытанием на тренд. Исходной информацией в тренд-анализе являются фоновые показатели химического состава ГВ.

Гидрогеологическое обоснование возможности использования ВВР в водоснабжении предполагает выделение перспективного участка под водозабор: выбор исходной информации к его проектиро-

ванию: литологический разрез водоносной толщи, мощность водоносного горизонта, гидрогеологические параметры водоносного пласта, показатели качества ГВ, ожидаемая производительность эксплуатационных скважин и водозабора, схема и радиус влияния последнего, граничные условия его работы.

Схема водозабора, рассчитываемого на отбор ВВР, задается, исходя из конкретных гидродинамических условий водоносного горизонта на участке расположения водозабора. Это может быть группа скважин, заданных по контурам сооружений, подтапливаемых ГВ, как, например, Фабричный водозабор на территории дробильно-обогатительного комплекса Алмалыкского горно-металлургического комбината. Возможны площадная схема, как на Заводском водозаборе, созданном на промплощадке ПО "Аммофос", или Шархиинском водозаборе Ахангаранского ПУ "Сувокова", а также линейная схема, как на законтурных дренажных водозаборах, созданных вдоль пионерных дамб хвостохранилищ. В ряде случаев рекомендуются одиночные скважинные водозаборы, как на территориях автобазы, предприятиях "Стальмонтаж", дачных и подсобных участках.

Расчет группового водозабора выполняется на основе математической модели [1, 5, 7], в которую заложена информация по водопроводимости пласта [6], расходам водозабора и каждой отдельной эксплуатационной скважины, координаты точек, в которых рассчитываются понижения уровня грунтовых вод.

Эта модель описывает кривую понижения уровня грунтовых вод. При этом учитывается, что от каждой работающей в условиях взаимодействия скважины создается воронка депрессии, характеризующая изменение понижения уровня грунтовых вод в зависимости от расстояния от скважин (r). На расстоянии, равном радиусу влияния водозабора (R), понижение уровня грунтовых вод от эксплуатации равно нулю. По закону неразрывности расход потока через поверхность воронки депрессии выражается формулой [3]:

$$Q=2\pi km J_r.$$

где km - водопроводимость пласта, J_r - функция понижения уровня

грунтовых вод в зависимости от расстояния (r) от оси эксплуатационной скважины.

Интегрируя это выражение от $J = h_0$ при $r = r_0$ до $J = H$ и $r = R$ (h_0 - мощность водоносного пласта, H - уровень ГВ, R - радиус влияния скважины), получим выражение для оценки понижения уровня ГВ (S_r)

$$S_r = H - J_r = \frac{Q_0}{2\pi km} \ln(R/r),$$

где Q_0 - дебит эксплуатационной скважины.

Общее понижение уровня грунтовых вод в заданной точке при работе водозабора слагается из понижения при работе каждой скважины, как одиночной, и суммы срезок, вызываемых эксплуатацией остальных скважин водозабора. При работе водозабора с n скважинами понижение уровня грунтовых вод (S_p) определяется по формуле:

$$S_p = \Sigma \frac{Q_1}{2\pi km_1} \ln(R/r_1), \qquad (1)$$

где $r_1 = r_1, r_2, \ldots, r_n$ - расстояние от соответствующих скважин до точки, в которой определяется понижение УГВ; $Q_1 = Q_1, Q_2 \ldots Q_n$ - расход каждой скважины; $km_1 = km_1, km_2 \ldots km_n$ - водопроводимость пласта для каждой скважины, если не принимается его среднее значение (km). Использование формулы (1) позволяет рассчитать понижение уровня ГВ в любой точке пласта в заданных границах под воздействием работы группы эксплуатационных скважин.

Расчет водозаборов, предназначенных для целей водоснабжения, включает определение понижения в центре тяжести водозабора и на его границах.

Расчет дренажных водозаборов, предназначенных для осушения территорий, занятых промплощадками или городской застройкой, включает оценку понижений по треугольной сетке, позволяющей определить контуры различных интервалов снижения уровня ГВ.

Расчет водозаборов осуществляется на ПЭВМ в следующем порядке:

составляется план водозабора в маштабе 1:1000 или 1:2000 с нанесением абсолютных отметок скважин и фундаментов сооружений в случае подтапливаемой застроенной территории;

снимаются координаты эксплуатационных, наблюдательных скважин и точек, в которых важно знать понижение уровня грунтовых вод относительно нулевой точки отсчета;

рассчитываются по модели пространственного распределения гидрогеологических параметров для каждой проектной и действующей эксплуатационной скважины водопроводимость пласта и коэффициент уровнепроводимости;

задаются схема и число работающих эксплуатационных скважин, производительность каждой скважины, ее координаты, значения гидрогеологических параметров и радиус влияния водозабора;

рассчитываются понижения от работы эксплуатационных скважин в точках с заданными координатами, начиная с нулевой точки, условно принятой за начало координат.

Описанная методика количественной оценки ВВР и обоснование возможностей их использования позволила:

выявить в Алмалыкском промузле ВВР в 1989 году в среднем за год 508,8 тыс. $м^3$/сут. и 622 тыс. $м^3$/сут. за вегетационный период; в среднем за 1995 год - 692,9 тыс. $м^3$/сут., за вегетационный период - 800 тыс. $м^3$/сут.;

построить первые очереди групповых водозаборов на промплощадках медной обогатительной фабрики и медеплавильного завода горно-металлургического комбината и ПО "Аммофос", Шархиинский водозабор Ахангаранского ПУ "Сувокова", а также более 10 одиночных водозаборов;

получить реальный отбор ВВР этими водозаборами в объеме 22 млн. $м^3$ за 1989 год, 33 млн. $м^3$ - за вегетационный период; из них использовано на хозяйственно-питьевые нужды 51,6 %, на промышленные - 32,5%, сельскозозяйственные нужды - 15,9%. В 1995 году годовой отбор ВВР составил 25,3 млн. $м^3$, в 1996 году - 52,2 млн. $м^3$.

Список литературы

1. Бер. Я., Заславски Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды.- М.: Мир. 1971. - 452 с.

2. Боревский Б. В., Самсонов Б. Г., Язвин Л. С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. - М.: Недра. 1979. - 326 с.

3. Голубцов В. В., Строева Т. П. О совместном использовании дискриминантного и регрессионного анализа при разработке методов прогноза водности рек //Селевые потоки. - 1985. N 9.- С. 96-104.

4. Голубцов В. В. Применение схемы дискретно-непрерывного статистического моделирования при разработке методов гидрологических прогнозов //Гидрологические расчеты и прогнозы. //Тр. Каз.НИГМИ. - 1989.- Вып. 104. - С. 3-9.

5. Дубинский В. М. Принципы статистического моделирования режима уровня грунтовых вод в районе Алмалыкских водозаборов //Тр.ТашГУ. - 1975. - Вып.488. - С.91-96.

6. Лебедева М. А. Опыт оценки геофильтрационных параметров на водозаборах Алмалык-Ахангаранского промрайона //Тр. ТашГУ. - 1977. - Вып.545. - С.58-62.

7. Лукнер Л., Шестаков В. М. Моделирование геофильтрации. - М.: Недра. 1976. - 407 с.

А. С. Щетинников, А. В. Яковлев

СОСТАВ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ БАНКА ДАННЫХ "ЛЕДНИКИ" НА ПЭВМ

В декабре 1970 г. Верховным Советом бывшего СССР был принят закон "Основы водного законодательства", наметивший развитие изучения поверхностных вод, усовершенствование системы государственного учета природных вод по количественным и качественным показателям, ведение государственного водного кадастра. Ледники, являясь природными хранилищами чистой воды, входят в единый государственный фонд и подлежат, согласно принятому закону, охране и всестороннему изучению.

Реализация этого закона была начата в 1976 г. Учитывая, что САРНИГМИ им. В. А. Бугаева был головным институтом Госкомгидромета в области гляциологии, ему было поручено составление банка данных по ледникам на территории бывшего СССР. Анализ существовавшего в то время гляциологического материала показал, что единственным однородным по полноте и качеству информации источником для ведения банка данных "Ледники" (БДЛ) может быть только Каталог ледников (КЛ), составление которого начато в 1965 г. и в 1976 г. еще продолжалось. В первой очереди банка БДЛ обслуживание потребителей предусматривалось по двум видам запросов:

- выбрать из информационной базы данные о некотором конкретном леднике, который однозначно определяется номерами тома, выпуска и части КЛ и порядковым номером ледника внутри соответствующей его части [5];
- выбрать из информационной базы данные о ледниках в бассейне некоторой реки или озера.

Потребитель по своему желанию мог выбрать либо все данные, хранящиеся для данного ледника в информационной базе, либо некоторые из них, например, высоту фирновой линии и площадь области абляции. БДЛ должен был выполнять следующие функции: соз-

дание и ведение информационной базы; подготовку информационных сообщений; выдачу сообщений потребителю; программное администрирование (выдача сообщений об информационной базе, слежение за ее состоянием и программами обновления базы). БДЛ первой очереди был разработан для эксплуатации на ЭВМ ЕС. Для его функционирования была необходима оперативная память 200 К, накопитель на МД и два накопителя на МЛ [1].

В 1986 г. САНИИ Госкомгидромета совместно с Среднеазиатским вычислительным центром (САРВЦ) приступили к разработке второй очереди АИС ГВК "Гидрология - ледники", значительно отличающейся по своим возможностям от БДЛ первой очереди. Предполагалось выполнение следующих функций:

- обновление БДЛ по мере поступления новой информации;
- накопление и автоматическое хранение данных стационарных исследований на ледниках, сведений о пульсирующих ледниках;
- контроль и корректировка информационной базы;
- статистическая обработка информации [2].

В качестве новой информации во вторую очередь АИС ГВК "Гидрология-ледники" включены основные сведения о ледниках Памиро-Алая, собранные А. С. Щетинниковым по материалам космофотосъемки (КФС) 1976-1980 годов при работе над темой "Дать оценку влияния эволюции оледенения Памиро-Алая на сток рек", а также основные сведения о пульсирующих ледниках Гиссаро-Алая и Памира из подготовленных к печати А. С .Щетинниковым и М. С. Рудак каталогов этих ледников. Из материалов экспедиционных исследований во вторую очередь АИС ГВК "Гидрология-ледники" включены подготовленные Ф. И. Перцигером материалы наблюдений на леднике Абрамова за 1967-1988 годы, а также материалы наблюдений на ледниках Джанкуат на Кавказе, Центральный Туюксу в Заилийском Алатау на Тянь-Шане и Большой Актру на Алтае.

В качестве программного обеспечения взяты разработанные на языке Фортран А. С. Щетинниковым [8,9] программы статистической обработки данных; их возможности будут описаны ниже.

С целью развития АИС ГВК "Гидрология-ледники" в САНИГМИ в 1991 г. были продолжены работы по усовершенствованию БДЛ для эксплуатации его на ПЭВМ. Но, в связи с распадом СССР, работа

над банком в 1992 г. была запланирована в сокращенном по территориальному охвату объеме: в него включены данные об оледенении лишь Центральноазиатских республик - Узбекистана, Казахстана, Таджикистана и Кыргызстана, что вызвано уменьшением финансирования работ по этой теме.

В новый банк включены основные сведения о ледниках бассейнов рек Гиссаро-Алая и Памира, собранные в 1977-1980 годах А. С. Щетинниковым для составления карт Атласа снежно-ледовых ресурсов мира. Эти сведения получены с применением материалов аэрофотосъемки (АФС) 1957-1959 годов и представлены по форме табл. 1 КЛ. Ранее в БДЛ 1 и 2 очередей они не включались. Кроме того, из БДЛ выделены в качестве самостоятельного банка материалы наблюдений на леднике Абрамова за весь период. Вместо него включены результаты наблюдений за колебаниями ледников Средней Азии, опубликованные в [12].

Таким образом, БДЛ на ПЭВМ содержит следующие информационные базы:

1) основные сведения о ледниках по данным КЛ из томов 13, 14 и частично 15;

2) основные сведения о ледниках Гиссаро-Алая и Памира, собранные в Атлас снежно-ледовых ресурсов по материалам АФС 1957-1959 годов;

3) распределение по высоте площади ледников и морен по состоянию на 1957-1959 годы;

4) основные сведения о ледниках Гиссаро-Алая, Памира и частично Тянь-Шаня, собранные с применением КФС 1976-1980 годов;

5) распределение по высоте площади ледников и морен по состоянию на 1976-1980 годы;

6) материалы наблюдений за колебаниями ледников Памиро-Алая и Тянь-Шаня с 1963 г.

Объем информационных баз показан в нижеприведенной таблице.

Информационные базы с данными о ледниках представлены в виде файлов формата СУБД "PARADOX". Этим обеспечивается унификация баз данных БДЛ. Поисковая система БДЛ состоит из пяти программных модулей, написанных на языке PAL СУБД "PARADOX".

Номер информационной базы в списке	Количество ледников
1	16099
2	11769
3	11769
4	13008
5	13008
6	59

Эти модули осуществляют запросы к базам данных и выбор необходимой информации на основании этих запросов.

В основу поискового каталога положено деление территории на тома, выпуски и части КЛ, кроме того, учитываются номера основной и частной реки, порядковый номер ледника в бассейне и номер ледника в КЛ. Двойной номер введен из следующих соображений: как известно, ледники Памиро-Алая обладают большой динамичностью, и за 1957-1980 годы множество ледников претерпело существенные разнозначные изменения - сократились, наступили, продвинулись вперед при подвижках, распались на части или просто не были учтены при каталогизации по разным причинам [10]. Так, при каталогизации в соответствии с "Руководством" [6] главная таблица 1 "Основные сведения о ледниках" содержала морфологические данные только о ледниках с площадью 0,1 км^2 и более. Ледники размерами менее 0,1 км^2 учитывались суммарно в итоговой строчке для частного бассейна (количество этих образований и их суммарная площадь). Позже, при составлении Атласа снежно-ледовых ресурсов мира возникла необходимость каталогизации и этих малых образований, так как при их неучете обеднялась гляциологическая информация для построения карт, отражающих климатические условия существования современного оледенения, особенно в районах широкого распространения ледников малых размеров. Введение двойного номера позволяет сохранить в базах данных преемственность в нумерации последующих новых данных с первоначальной нумерацией ледников в КЛ. Так, если ледник распался на части, то всем его новообразованиям присвоен каталожный номер ледника. Если в КЛ ледник не имел порядкового номера в табл. 1 или совсем не был учтен, то во второй колонке ему присваивается нулевой номер.

Далее в информационных базах с основными сведениями о ледниках (номера 1, 2, 4 в приведеном выше списке) приводятся морфологический тип ледника в соответствии с морфологической классификацией, принятой при составлении КЛ, экспозиции ледника по 8-ми румбам, наибольшая длина всего ледника и его открытой от морен части, площадь всего ледника и его открытой части, абсолютная высота: низшей точки ледника, низшей точки открытой части ледника, высшей точки ледника, высота фирновой линии и способ ее определения, площадь области абляции - общая и открытой части.

В информационной базе основных сведений по данным томов 13, 14 и 15 КЛ представлена разнородная информация о высоте фирновой линии. Применялись косвенные (расчетные) и прямые (по непосредственным наблюдениям) способы. В других информационных базах высота фирновой линии определена для каждого ледника по способу Куровского.

Было уделено большое внимание многочисленным пропускам данных о высоте фирновой линии и площади области абляции во многих частях Каталога ледников. В этом отношении заслуживает внимания простой способ определения высоты фирновой линии ($H_ф$), рассчитываемой как среднее арифметическое из абсолютных высот конца ледника H_{min} и его верхней точки H_{max}. Всесторонняя проверка этого способа [10] путем сравнения с высотой фирновой линии, рассчитанной по способу Куровского почти для 12000 ледников Памиро-Алая, позволила получить следующие результаты.

Распределение по высоте $H_{ср}$ и $H_ф$ для ледников горных систем Гиссаро-Алая и Памира в целом очень близко. Отклонения $\Delta H = H_{ср} - H_ф$ на Гиссаро-Алае варьируют от -0.09 до 0.42 км, при этом совпадение $H_{ср}$ с $H_ф$ (т.е. $\Delta H = 0$) отмечено для 16.6% всех ледников. Для 84.8% ледников $|\Delta H| < 40$ м (сечение дополнительных горизонталей на примененных при картометрических работах топокартах), для 97.9% $|\Delta H| < 100$ м (интервал высоты, с которым получено распределение ледников и морен по высотным зонам) и для 98.7% ледников $|\Delta H| < 6$ (среднее квадратическое отклонение, которое для всех ледников этой системы составляет 117 м). На Памире разброс ΔH больше - от -0.09 до 0.74 км , при

этом для 11,4% ледников $\Delta H = 0$, для 74,1% $|\Delta H| < 40$ м, для 94,8% $|\Delta H| < 100$ м и для 99,6% $|\Delta H| < 6$, которое для всех ледников Памира равно 298 м.

Для всех бассейнов Гиссаро-Алая и Памира зависимости между $H_{ср}$ и $H_{ф}$ линейны, коэффициент a в уравнении зависимости между ними $H_{ср} = a H_{ф} \pm b$ близок к единице, очень тесны (коэффициенты корреляции близки к единице), коэффициенты вариации C_v $H_{ср}$ и $H_{ф}$ одинаковы или почти одинаковы. Среднее квадратическое отклонение $б$ $H_{ср}$ от $H_{ф}$ в бассейнах с преобладающим малым оледенением меньше 10 м, в бассейнах с развитым оледенением оно увеличивается до нескольких десятков метров, а в бассейнах с крупнейшими ледниками - Муксу (система ледника Федченко), Обихингоу (ледник Гармо) и Бартанг (ледник Грумм-Гржимайло) - $б$ превышает 100 м. Между величиной $б$ и размерами оледенения (последнее можно охарактеризовать площадью "среднего ледника" $f_{ср}$) существует тесная зависимость с коэффициентом корреляции 0,89: $б = 0,072 f_{ср} - 0,003$.

Следующие данные, пропущенные в КЛ из-за отсутствия сведений о высоте фирновой линии, - это площадь области абляции (общая и открытой части). Заполнение этого пробела не представляет затруднений, если, следуя Б. А. Камалову [4], принять линейное распределение площади каждого ледника по высоте. В этом случае площадь областей абляции z и питания f можно определить, используя следующие уравнения:

$$z = F \frac{H_{ср} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad и \quad f = F \frac{H_{max} - H_{ср}}{H_{max} - H_{min}}, \qquad (1)$$

где F - площадь ледника, $H_{ср} - H_{min}$ - отрицательная разность, $H_{max} - H_{ср}$ - положительная разность, $H_{max} - H_{min}$ - вертикальный диапазон высот. Учитывая, что

$$H_{ср} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2},$$

после подстановки этого уравнения в (1) и соответствующих пре-

образований получаем, что z = f = 1/2 F. т.е. площадь области абляции равна половине площади ледника.

Оценки объема стока, рассчитанного для речных бассейнов Гиссаро-Алая и Памира при замене $H_ф$ на $H_{ср}$ по формуле

$$W = A \Sigma F ,$$

где W - объем стока, A - слой абляции на $H_{ср}$, ΣF - площадь ледников в бассейне, показали хорошую сходимость результатов. Отклонения рассчитанных величин лежат в пределах точности измерения стока горных рек ±10%.

Сведения об объеме льда в КЛ практически отсутствуют, поэтому объем льда каждого ледника вычислен по формуле Н. В. Ерасова [3], суммарный объем льда группы ледников приведен в итоговой строчке распечатываемой таблицы (приложение 1).

Информационные базы с распределениями площади ледников и морен по высоте содержат весьма ценную информацию для гляциогидрологических расчетов. В КЛ эти данные приведены в нескольких частях для частных водосборов, но в преобладающем числе частей они отсутствуют даже в таком виде. Информационные базы с распределением ледников по высоте относятся к Гиссаро-Алаю и Памиру и содержат данные по состоянию на 1957-1959 и 1976-1980 годы (получены, соответственно, по АФС и КФС). Для каждого ледника в информационных базах распределений приводятся: номер ледника в бассейне и номер ледника по КЛ аналогично базам с основными сведениями, количество зон распределения для ледника и морен, абсолютная высота профиля подпруживания (по М. В. Тронову [7]) и зональные площади ледника f_i и морен fM_j с шагом по высоте 100 м.

Банк "Ледники" третьей очереди запланирован в виде автоматизированного рабочего места (АРМ), в котором связываются информационные базы данных о ледниках, программы поискового каталога, обеспечивающие выбор из этих баз необходимой гляциологической информации и программ статистической обработки данных. Поэтому упомянутые выше программы статистической обработки данных [8, 9] "разбиты" на отдельные модули, которые позволяют на

основании выборок из информационных баз получать в табличном и графическом виде только ту информацию, которая интересует потребителя:

1) основные сведения о ледниках (по форме табл. 1 КЛ);

2) дифференциальное и интегральное распределение ледников и морен по высотным зонам, относительное распределение по 10-ти высотным интервалам (приложение 2);

3) распределение ледников по морфологическим типам;

4) распределение ледников по морфологическим группам;

5) распределение ледников по экспозициям;

6) распределение ледников по вертикальному диапазону;

7) распределение ледников по размерам;

8) распределение ледников по длине;

9) распределение ледников по высотным отметкам;

10) распределение ледникового коэффициента;

11) средняя толщина ледника и объем льда;

12) сводные данные по группам ледников (приложение 3).

Исходя из того, что БДЛ 3 очереди будет эксплуатироваться на ПЭВМ типа IBM PC, а не на больших машинах класса ЕС ЭВМ, старые программы статобработки данных переписаны с языка программирования FORTRAN на язык семейства QuickBASIC и существенно модернизированы.

Работа АРМ происходит в диалоговом режиме, соответствующие программные модули обеспечивают дружественный интерфейс. Следует отметить, что использование для информационных баз данных файлов формата СУБД "PARADOX" дает возможность разработчикам БДЛ легко осуществлять выбор информации, если потребителю необходима какая-нибудь нестандартная информация о ледниках, например, только длина ледника или высота профиля подпруживания.

Существенный недостаток АРМ - отсутствие в его составе графической базы схем расположения ледников. Нужно быть большим знатоком орографии, гидрографии и оледенения Гиссаро-Алая, Памира и Тянь-Шаня, чтобы безошибочно выбрать из баз данных следенение необходимого района или группы ледников. В настоящее время для этой цели приходится пользоваться схемами расположения ледников в опубликованном КЛ [5].

Список литературы

1. А н т о н о в а Е. Б. Банк данных "Ледники" // Тр. САНИГМИ Госкомгидромета. - 1986. - Вып. 116(197). - С. 121-126.

2. А н т о н о в а Е. Б., Р а ц е к И. В., С у с л о в В. Ф. О создании второй очереди АИС ГВК "Гидрология-ледники"// Тр. САНИИ Госкомгидромета.- 1988.- Вып. 129 (210). С. 120-125.

3. Е р а с о в Н. В. Метод определения объема горных ледников // МГИ. - 1968. - Вып. 14. - С. 307 - 308.

4. К а м а л о в Б. А. О распределении оледенения по высотным зонам // Тр. САРНИГМИ. - 1979. - Вып. 64(145). - С. 127 - 129.

5. К а т а л о г ледников. Том 1.3.8.9.13-17.19-20. - Л.: Гидрометеоиздат. 1965-1982.

6. Р у к о в о д с т в о по составлению Каталога ледников. - Л.: Гидрометеоиздат. 1966. - 120 с.

7. Т р о н о в М. В. Вопросы горной гляциологии. - М.: Географгиз. 1954. - 276 с.

8. Щ е т и н н и к о в А. С. Программа для ЭВМ ЕС "Статистические характеристики ледников по данным Каталога ледников". Идентификатор "GCGISAR" // Программы для ЭВМ ЕС на Фортране-IY для гляциологических и статистических расчетов. - ФАП САРВЦ. Ташкент, 1987. - С. 60-80.

9. Щ е т и н н и к о в А. С. Распределение площади морен и ледников по высотным зонам. Идентификатор "GCRAPRM"// Программы на ЭВМ ЕС на Фортране-IY для гляциологических и статистических расчетов. - ФАП САРВЦ. Ташкент. 1987. - С. 51-60.

10. Щ е т и н н и к о в А. С. Оценка метода расчета высоты фирновой линии при минимуме гляциологической информации // МГИ. -М. - 1993. - Вып. 76. - С. 36 - 41.

11. Щ е т и н н и к о в А. С. Изменение размеров оледенения Памиро-Алая за 1957-1980 годы // МГИ. -М., 1993. -Вып. 76. - С. 77 - 83.

12. F l u c t u a t i o n s of Glaciers, 1959-1980. - Vol. I-IY. IAHS(ICSI). - UNEP. - UNESCO. - Paris.

БАССЕЙН РЕКИ СОХ Ножайляу - Утренсу
КАТАЛОГ ЛЕДНИКОВ ТОМ 14. ВЫПУСК 1. ЧАСТЬ 10

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЛЕДНИКАХ ПО СОСТОЯНИЮ НА 1980 год

N	NKT	Морфологический тип	Экспозиция	Наибольшая длина, км		Площадь, км^2		Высота, км			Фирновая линия, км		Площадь обл. абляции, км^2		Объем льда по формуле Ерасова, км^3
				ледника	откр. части	всего ледника	открытой части	мин.	мин. откр	макс	высота	способ	общая	откр. части	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
32	231	Каровый	ЮЗ	0,2	0,2	0,03	0,03	3,80	3,80	3,92	3,87	КУР.	0,01	0,01	0,0001
33	232	Каровый	ЮЗ	0,2	0,2	0,02	0,02	4,05	4,05	4,15	4,10	КУР.	0,01	0,01	0,0001
34	233	Каровый	ЮЗ	0,2	0,2	0,03	0,03	4,16	4,16	4,30	4,23	КУР.	0,02	0,02	0,0001
35	234	Каровый	ЮЗ	0,3	0,3	0,05	0,05	4,24	4,24	4,36	4,29	КУР.	0,03	0,03	0,0003
36	235	Кар.-дол.	ЮЗ	1,0	1,0	0,40	0,40	4,00	4,00	4,50	4,27	КУР.	0,17	0,17	0,0068
37	236	Вис. дол.	ЮВ	1,8	1,8	0,98	0,98	3,98	3,98	4,48	4,18	КУР.	0,55	0,55	0,0262
38	237	Каровый	ЮВ	1,2	1,2	0,39	0,39	3,92	3,92	4,40	4,12	КУР.	0,20	0,20	0,0066
39	238	Кулуаров	ЮВ	0,7	0,7	0,12	0,12	3,90	3,90	4,20	3,99	КУР.	0,07	0,07	0,0011
40	239	Вис. кар.	ЮВ	1,5	1,5	0,38	0,38	3,90	3,90	4,54	4,20	КУР.	0,19	0,19	0,0063
41	240	Сл. дол.	В	2,9	2,9	1,36	1,36	3,50	3,50	4,54	4,07	КУР.	0,57	0,57	0,0428
42	0	Кар.-дол.	В	0,9	0,9	0,20	0,20	3,50	3,50	3,90	3,72	КУР.	0,09	0,09	0,0024
43	241	Кар.-дол.	В	3,6	2,6	2,65	2,24	3,08	3,25	4,80	3,89	КУР.	1,23	0,82	0,1165
44	0	Висячий	СВ	0,3	0,3	0,06	0,06	4,00	4,00	4,37	4,20	КУР.	0,03	0,03	0,0004
45	0	Каровый	С	0,2	0,2	0,04	0,04	3,80	3,80	4,00	3,90	КУР.	0,02	0,02	0,0002
46	0	Кулуаров	СЗ	1,1	1,1	0,22	0,22	4,00	4,00	4,70	4,46	КУР.	0,10	0,10	0,0028
47	0	Кар.-вис.	З	0,6	0,6	0,07	0,07	4,40	4,40	4,90	4,66	КУР.	0,03	0,03	0,0005
48	242	Сл. дол.	Ю	9,0	4,4	7,23	4,23	2,80	3,49	5,04	3,67	КУР.	4,06	1,06	0,5249
49	243	Вис. дол.	Ю	1,7	1,7	0,48	0,48	3,64	3,64	4,60	4,11	КУР.	0,23	0,23	0,0090
50	244	Вис. кар.	СВ	0,5	0,5	0,08	0,08	3,80	3,80	4,30	4,09	КУР.	0,04	0,04	0,0006

БАССЕЙН РЕКИ СОХ Ножайляу - Утренсу

ТОМ 14, ВЫПУСК 1, ЧАСТЬ 10 - год 1980

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ОЛЕДЕНЕНИЯ И МОРЕН ПО ВЫСОТЕ

Высотные зоны, км	Дифференциальное распределение				Интегральное распределение			
	оледенения		морен		оледенения		морен	
	км²	в % от общ. пл.	км²	в % от общ. пл.	км²	в % от общ. пл.	км²	в % от общ. пл.
2,71-2,80	0,03	0,20	0,03	0,88	0,03	0,20	0,03	0,88
2,81-2,90	0,10	0,68	0,10	2,93	0,13	0,88	0,13	3,81
2,91-3,00	0,25	1,69	0,25	7,33	0,38	2,57	0,38	11,14
3,01-3,10	0,26	1,76	0,26	7,62	0,64	4,33	0,64	18,77
3,11-3,20	0,66	4,46	0,66	19,35	1,30	8,79	1,30	38,12
3,21-3,30	0,63	4,26	0,60	17,60	1,93	13,05	1,90	55,72
3,31-3,40	1,17	7,91	1,02	29,91	3,10	20,96	2,92	85,63
3,41-3,50	1,01	6,83	0,22	6,45	4,11	27,79	3,14	92,08
3,51-3,60	1,15	7,78	0,12	3,52	5,26	35,56	3,26	95,60
3,61-3,70	1,17	7,91	0,14	4,11	6,43	43,48	3,40	99,71
3,71-3,80	0,98	6,63	0,01	0,29	7,41	50,10	3,41	100,00
3,81-3,90	0,84	5,68	-	-	8,25	55,78	-	-
3,91-4,00	0,99	6,69	-	-	9,24	62,47	-	-
4,01-4,10	1,34	9,06	-	-	10,58	71,53	-	-
4,11-4,20	1,39	9,40	-	-	11,97	80,93	-	-
4,21-4,30	1,11	7,51	-	-	13,08	88,44	-	-
4,31-4,40	0,74	5,00	-	-	13,82	93,44	-	-
4,41-4,50	0,31	2,10	-	-	14,13	95,54	-	-
4,51-4,60	0,24	1,62	-	-	14,37	97,16	-	-
4,61-4,70	0,17	1,15	-	-	14,54	98,31	-	-
4,71-4,80	0,17	1,15	-	-	14,71	99,46	-	-
4,81-4,90	0,07	0,47	-	-	14,78	99,93	-	-
4,91-5,00	0,01	0,07	-	-	14,79	100,00	-	-

БАССЕЙН РЕКИ СОХ Ножайляу - Утренсу
ТОМ 14, ВЫПУСК 1, ЧАСТЬ 10 - год 1980

С В О Д Н Ы Е Д А Н Н Ы Е О Б О Л Е Д Е Н Е Н И И

Суммарная площадь ледников, км²: 14,79
- языков 7,65
- фирновых обл. 7,14
- морен 3,41
- откр. части 4,24

Количество ледников 19
Количество ледников с моренами:
- общее- 2
- %% - 10,5

Степень моренного покрытия, %: 23,06

Высотные отметки, км:	Нижней границы	Верхней границы
Минимальная	2,80	3,90
Максимальная	4,40	5,04
Ср. арифметич.	3,81	4,42
Ср взвешенная	3,18	4,81

Диапазон оледенения, км:
- по экстремальным отметкам 2,24
- по ср. арифметич. отметкам 0,61
- по ср. взвешенным отметкам 1,63

Высота фирновой линии:
- средняя взвешенная 3,86
- ср. арифметическая 4,11

Площадь, км²
Среднего ледника 0,78

Длина, км:
- Средняя арифметическая 1,47
- Средняя взвешенная 5,63

	Средняя высота $(H_{MIN}+H_{MAX})/2$:	Средняя высота нижней границы чистого льда:
Минимальная	3,70	3,25
Максимальная	4,65	4,40
Средняя взвешенная	3,99	3,55
Ср. арифметическая	4,12	3,86

Ледниковый коэффициент:
- ср. взвешенный 0,96
- ср. арифметический 1,06

Г. Е. Глазырин, Е. Л. Глазырина,
Г. Н. Трофимов

ВОЗМОЖНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ НА СЕВЕРНЫХ СКЛОНАХ ХРЕБТА КАРАТЕПЕ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ

Хребет Каратепе, являясь крайним западным отрогом Зеравшанского хребта, обрамляет с юга Самаркандскую котловину. На востоке он ограничен известным перевалом Тахта-Карача, через который проходит дорога из Самарканда в Шахрисабз. Достаточно полное представление о высотном распределении площади северного склона этого хребта дает табл. 1.

Таблица 1

Распределение площади и длин горизонталей по высотным зонам на северном склоне хребта Каратепе

Высота Z, км	Площадь ниже Z, км^2	Длина горизонтали, км
0.8	0	68
1.0	334.7	117
1.2	450.8	139
1.4	548.2	128
1.6	638.7	111
1.8	685.1	75
2.0	722.4	17
2.2	727.2	0

Относительно небольшой высотой (максимальная отметка около 2.2 км) и близостью пустынь объясняется отсутствие здесь ледников в настоящее время. Однако они могли существовать в прошлом. Прямым свидетельством этому служат древние морены и другие ледниковые формы рельефа, обнаруженные еще в начале века [13]. Целью предлагаемой работы является оценка возможности существо-

вания здесь оледенения в различные периоды позднего плейстоцена и голоцена.

Известно, что климатические изменения в плейстоцене выражались в смене засушливых и "дождливых" (плювиальных) эпох. Появились доказательства не только большего, чем это считалось ранее, размаха климатических колебаний, но и значительных различий одноТипных фаз, например, аридных, в плейстоцене и в современную эпоху.

Хронология палеоклиматов Средней Азии и значения основных климатических элементов показаны в табл.2. В основе ее лежат материалы, собранные в равнинных и предгорных районах. Аналогичные данные для горных районов, к сожалению, полностью отсутствуют, поэтому мы вынуждены допустить, что приведенные в таблице оценки репрезентативны и для них.

Верхняя часть шкалы, в которой даны колебания климата за последние две тысячи лет, составлена по данным, приведенным в серии публикаций палинолога Т. А. Абрамовой и ее соавторов [1,2 и др.]. Датировки - археологические. Однако, сами археологи [12] упрекают этих авторов в подчас некорректном использовании археологических данных. Поэтому указанные по работам Т. А. Абрамовой датировки следует принимать как ориентировочные. Приходится также констатировать наличие взаимоисключающих противоречий в трактовке климатических ситуаций, допускаемых ею в публикациях разных лет. По этой причине в таблице опущены характеристики, относящиеся к периоду I-IV веков н.э. Тем не менее, названные работы знаменуют определенный прорыв в применении спорово-пыльцевого анализа для палеоклиматических реконструкций в равнинной части Средней Азии.

Обоснование нижней (древне- и среднеголоценовой) части шкалы дано в многочисленных публикациях А. В. Виноградова, Э. Д. Мамедова и Г. Н. Трофимова [3, 4, 8, 9 и др.]. Использованы также еще не опубликованные материалы палеоклиматических исследований авторов в предгорьях Каратепе. При этом привлекались геологические, геоморфологические, палеогидрологические данные (позднейшие аллювиальные и озерные отложения, ископаемые почвы и торф, гидравлические характеристики староречий и т.п.)

и палеонтологические находки. Датировки - археологические и по ^{14}C.

Таблица 2

Колебания климата Средней Азии и расчет оледенения хребта Каратепе

Период	Климатическая фаза	p	ΔT, °C	$Z_{пр}$, км	Вероятное число ледников
Века новой эры					
XX	Аридная	1.0	0.0	3.84	0.2
XVI -XIX*	Субаридная				
XV	Плювиальная	1.3	-2.5	3.36	0.5
XIII-XIV	Плювиальная	1.3	-2.2	3.40	0.5
XII	Субаридная	1.2	-0.5	3.66	0.3
XI	Аридная	0.9	-0.5	3.83	0.2
IX - X*					
VIII	Плювиальная	1.8	-3.6	3.02	1.1
V - VII	Субаридная	1.2	-0.5	3.66	0.3
I - IV*					
Тыс. лет назад					
2.0-2.5*	Аридная				
2.5-3.5*	Субплювиальная				
3.5-4.0*	Аридная				
4 - 6	Плювиальная	1.8	-3.6	3.02	1.1
6 - 9	Плювиальная	2.0	-3.6	2.95	1.3
9 - 12	Холодная сухая	0.6	-5.0	3.44	0.4
12 - 20	Холодная сухая	0.4	-14.0	2.41	4.5

Примечание: **p** - изменение осадков (в **p** раз); ΔT - изменение температуры воздуха (на ΔT °C); $Z_{пр}$ - высота "приведенной" фирновой границы. * - полное или частичное отсутствие данных.

Разделение лявляканского плювиала (9 - 4 тыс. лет назад) на фазу максимального увлажнения (9 - 6 тыс. лет назад) и фазу умеренного улажнения - плювиальную (6 - 4 тыс. лет назад) находит подтверждение и в работе [6].

Значительным достижением, по нашему мнению, является то,

что для большинства периодов удалось получить не только качественные, но и количественные оценки отличия прежнего климата от современного. Они также показаны в табл.2. Обидно, конечно, что в этой шкале много пропусков, но остается надеяться, что они будут ликвидированы в дальнейшем.

Расчет характеристик возможного оледенения был выполнен по методике, изложенной в работе [5]. Суть ее такова: сначала по данным об изменении с высотой (Z) годовых сумм осадков (X) и средней летней температуры воздуха ($T_л$) рассчитывается зависимость от высоты возможного удельного годового баланса массы снега или льда (b), равного разности количества твердых осадков и абляции. Высота, на которой $b = 0$, принимается за отметку так называемой "приведенной" фирновой границы [11] в данном районе ($Z_{пр}$), являющейся эквивалентом климатической снеговой линии [5].

Следующий шаг - расчет возможного числа ледников при заданных климатических условиях, интегральным показателем которых служит $Z_{пр}$. В работе [5] предлагается формула расчета вероятности существования ледников в высотной зоне со средней отметкой Z в зависимости от того, на сколько она отстоит от $Z_{пр}$:

$$m = 0,323 \exp(2,29(Z - Z_{пр})). \qquad (1)$$

Здесь $m = n/(s(Z)dZ)$ - вероятное число ледников, существующих на 1 км протяженности высотной зоны dZ; n - число ледников в пределах этой зоны; $s(Z)$ - длина средней для зоны горизонтали. Зная отличия температуры и осадков в различные исторические периоды от современных (табл.2), можно рассчитать для них новые $Z_{пр}$ и по формуле (1) определить возможность существования ледников.

Итак, для расчета $Z_{пр}$ нужно знать изменение с высотой аккумуляции (годовых сумм твердых осадков $X_т$) и абляции (ab). Последнюю можно рассчитать приближенно по формуле [7]:

$$ab(Z) = 1,33(9,66 + T_л(Z))^{2,85}. \qquad (2)$$

Получить эти климатические параметры позволяют материалы ближайших метеорологических станций (табл.3). К сожалению, все они находятся на сравнительно малых высотах, а ведь нам необходима экстраполяция вверх до 4-5 км. Как известно, температура воздуха может быть довольно надежно экстраполирована с помощью вертикального температурного градиента, равного для горных районов Средней Азии примерно -6.5 °С/км [5, 7]. С учетом данных табл.3 получается следующая простая зависимость:

$$T_л = 22.0 - 6.5(Z - 0.89). \qquad (3)$$

Таблица 3

Средняя летняя температура воздуха и годовые суммы осадков на метеостанциях рассматриваемого района

Метеостанция	Высота, км	Температура, °С	Осадки, мм
Улус	0.55	24.5	412
Самарканд агро	0.73	24.3	357
Сазаган	0.80	21.6	473
Ургут	1.09	19.6	516
Аманкутан	1.27	20.1	910

Хуже обстоит дело с осадками: как правило, их связь с высотой гораздо менее устойчива. Было принято, что вертикальный градиент годовой суммы осадков в нашем районе тот же, что и в близко расположенном бассейне Кашкадарьи [10, рис. 15], а в нижних зонах зависимость определяется имеющимися данными метеостанций (табл.3). Это было сделано потому, что далекая прямая экстраполяция непосредственно по данным таблицы дала непомерно высокие значения осадков на высотах 3 и более км. Так была получена зависимость

$$X(Z) = 436Z + 110. \qquad (4)$$

Некоторую уверенность в ее справедливости придает следующий расчет: если найти с помощью (4) годовой слой осадков в речных бассейнах, лежащих в пределах нашего участка, сток с которых контролируется, то можно рассчитать коэффициенты стока. Мы получили их равными в среднем 0,5-0,6. Это вполне разумный результат.

Внутригодовое распределение осадков в исследуемом районе, как известно, таково, что максимум приходится на зимне-весенний период. По этой причине для больших высот можно принять, что все осадки выпадают в твердом виде ($X_т$).

Итак, современную высоту приведенной фирновой границы найдем, решая совместно уравнения (2), (3) и (4) при разных значениях Z и выбирая такое, при котором $b = X_т(Z) - ab(Z) = 0$. Она оказалась равной 3,84 км.

Расчет $Z_{пр}$ для других климатических условий осуществлялся следующим образом. Обычно принимается [5, 7 и др.], что в случае изменения температуры она меняется на всех высотах на одну и ту же величину, то есть к правой части уравнения (3) прибавляется некоторая константа (ΔT). Для осадков же принимается, что они на всех высотах меняются в одно и то же число раз, то есть правая часть уравнения (4) доумножается на некоторую постоянную (p). Значения именно этих констант и приведены в табл. 2. Как уже говорилось, к сожалению, не для всей временной шкалы они известны. Результаты расчета $Z_{пр}$ при известных p и ΔT приведены в той же таблице.

Зная $Z_{пр}$, длины средних для высотных зон горизонталей на нашем участке, можно, пользуясь выражением (1), найти сначала вероятное число ледников в каждой зоне, а затем и в целом на всем северном склоне хребта (последняя графа табл. 2).

Оценим полученные результаты. Прежде всего нужно сказать, что они носят сугубо приближенный характер. Это связано, с одной стороны, с недостаточно высокой надежностью зависимостей (1), (2), (4), а с другой,- с возможными ошибками реконструкции характеристик былого климата (параметры p и ΔT). Тем не менее, мы думаем, получены вполне разумные результаты.

Итак, современная высота приведенной фирновой линии оказа-

лась равной 3,84 км. Хотя она и больше наивысших отметок гребня на 1,6-1,7 км, нужно заметить, что найденное значение существенно меньше полученных ранее для расположенных к востоку горных сооружений [5, рис. 2.1]. Это можно объяснить хорошо известным эффектом перехвата осадков передовыми, по отношению к влагонесущим воздушным потокам, хребтами.

Судя по табл. 2, в текущем тысячелетии приведенная фирновая граница наиболее низко располагалась в XIII-XIV веках, а в предыдущем - в VIII веке. К сожалению, у нас отсутствуют данные для XVI-XIX веков - так называемого малого ледникового периода, хотя, и это нужно особо подчеркнуть, по данным работ [1, 2 и др.], в Средней Азии это был субаридный период.

В названные плювиальные периоды на северном склоне Каратепе могли существовать 1-2 небольших ледника, морену одного из которых и обнаружил Р. Рикмерс [13, рис. 65].

Более глубокими были депрессии фирновой границы 6-9 и особенно 12-20 тыс. лет назад. Если первая из них вызвана, главным образом, двукратным увеличением осадков на фоне довольно умеренного похолодания, то вторая обусловлена экстремально низкими температурами при необычайно малом количестве осадков. Тогда на склонах Каратепе лежало несколько ледников. Но заметим, что надежность расчетов падает с увеличением различий прежних и современного состояний климата, когда связи, полученные на современных данных, могут оказаться неприемлемыми.

Список литературы

1. А б р а м о в а Т. А. Палеография аридной зоны в эпоху средневековья //Четвертичный период: методы исследования, стратиграфия и экология. Т. 1. -Таллин. - 1990. - С. 7-8.

2. А б р а м о в а Т. А., В а р у ш е н к о А. Н. Палеогеографическая обстановка Казахстана и Средней Азии в средние века //Вестн. МГУ, сер.геогр. - 1989. N 11. - С. 29-36.

3. В и н о г р а д о в А. В. Древние охотники и рыболовы Среднеазиатского междуречья. -М.: Наука, 1981. - С. 19-45

4. Виноградов А. В., Мамедов Э. Д. Первобытный Лявлякан. Этапы древнейшего заселения и освоения Внутренних Кызылкумов. -М.: Наука, 1975. - С. 234-255.

5. Глазырин Г. Е. Горные ледниковые системы, их структура и эволюция. -Л.: Гидрометеоиздат, 1991. -109 с.

6. Зубаков В. А. Географическая зональность и увлажнение северного полушария в лихвинское межледниковье и в бореальный оптимум голоцена //Изв. ВГО. - 1991. - Т. 123. Вып. 1. - С. 18-24.

7. Кренке А. Н. Массообмен в ледниковых системах. -Л.: Гидрометеоиздат, 1982. - 288 с.

8. Мамедов Э. Д. Изменение климата среднеазиатских пустынь в Голоцене //Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. - М.: Наука, 1980. - С. 170-175.

9. Мамедов Э. Д., Трофимов Г. Н. К вопросу о долгопериодических колебаниях стока среднеазиатских рек //Проблемы освоения пустынь. - 1986. -N 1. - С. 12-16.

10. Ресурсы поверхностных вод СССР. т. 14, вып. 3. - Л.: Гидрометеоиздат, 1971. - 469 с.

11. Северский И. В. К методике расчета средних годовых сумм твердых осадков на границе питания ледников //Вест. АН Казахстана. -1978. -N 11. - С. 43-50.

12. Юсупов Х. К вопросу обводнения Узбоя в древности //Проблемы освоения пустынь. - 1990. -N 4. - С. 60-63.

13. Rickmers W. R. The Duab of Turkestan. -Cambridge: Univ. Press, 1913. -564 p.

Ф. А. Муминов, В. О. Усманов,
Э. Д. Чолпанкулов

К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ СТАНЦИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНА

Известно, что экологическая обстановка в бассейне Аральского моря весьма напряжена.

Интенсификация сельскохозяйственного производства, мелиорация земель в аридной зоне, связанные часто с нерациональным использованием водных ресурсов, обусловили ухудшение качества воды и возрастание ее дефицита.

Для эффективного осуществления схраны окружающей среды и рационального использования располагаемыми природными ресурсами, ссобенно водными, требуется, как известно, мощное организационное, техническое, информационное, методическое и финансовое обеспечение.

Проблема контроля за состоянием природной среды приобретает не только многообразный геофизический, но и сложный экономический, социальный, организационно-технический характер.

Одной из актуальных задач современного периода в этих условиях является создание комплексной системы мониторинга окружающей среды республик Центральной Азии на общегосударственном уровне. Являясь многоцелевой системой о состоянии объектов среды, о тенденциях и степени их изменения под влиянием естественных и антропогенных факторов, она представляет собой многоуровенную иерархически организованнную структуру с заданным пространственным и временным разрешением. Основу системы представляют: подсистема первичной наблюдательной сети за различными показателями, характеризующими состояние окружающей среды; подсистема сбора, обработки и передачи информации; подсистема оперативного реагирования и принятия решений.

Такие ведомства, как Главгидромет, Минсельводхоз располагают своими специализированными системами мониторинга, но отсутствует подобная единая республиканская система.

С этой точки зрения неоспоримым преимуществом, как локальных моделей комплексного мониторинга, обладают воднобалансовые станции (ВБС) [1] и специализированные базы, сеть которых в республике начала развиваться в 70-80 годы совместными усилиями специалистов гидрометеорологических служб Главгидромета и САНИГМИ.

В системе гидрометслужбы были организованы и проведены двухлетние работы на Голодностепской ВБС [2,3], подготовлена документация под проектирование Хорезмской и Каршинской ВБС. Подкомандные ВБС территории составляли 10-30 тыс.га орошаемых земель. В научно-производственном объединении САНИИРИ (НПО) с 1980 года начали создаваться ВБС, которые некоторое время успешно работали в Ташкентской, Ферганской и Хорезмской областях Узбекистана. Как показал практический опыт работы ВБС, они оказались существенным звеном в увеличении сельскохозяйственной продукции и экономии водных ресурсов, снабжая руководство хозяйств оперативной информацией о суммарном водопотреблении, температуре, влажности воздуха и почвы, уровнях грунтовых вод, а также прогнозами норм и сроков поливов на базе созданной в САНИИРИ программы "Полив". Только в совхозе N18 "Фергана" Акалтынского района Сырдарьинской области урожайность хлопчатника возросла на 2 ц/га на общей площади 9 тыс. га при экономии поливной воды до 1000 $м^3$/га.

Воднобалансовые станции помимо функции мониторинга должны выполнять оперативную корректировку режима орошения в зависимости от конкретных условий того или иного года в целях экономного расходования водных ресурсов. Одной из основных задач исследований на воднобалансовых станциях является изучение общих закономерностей миграции влаги, солей, тепла и питательных веществ с учетом специфики территории, обслуживаемой ими. Последние призваны заниматься прогнозом поливов и оперативной корректировкой норм водопотребления сельскохозяйственных культур с учетом мелиоративного режима, техники полива и различной водообеспеченности текущего года. Станции могут дать оценку изменения ресурсов возвратных вод и их качества на подкомандной тер-

ритории с учетом совершенствования гидромелиоративных систем и должны участвовать в разрабатываемых рекомендациях по их использованию. Воднобалансовые станции также участвуют в оценке изменений водных ресурсов, гидрогеологических и мелиоративных условий в регионе в связи с территориальным перераспределением стока. По данным наблюдений этих станций должны разрабатываться рекомендации по использованию имеющихся в районе минерализованных вод, оцениваться влияние орошения и созданного мелиоративного режима на водные ресурсы и водный баланс территории, планироваться мероприятия по снижению потерь воды во всех звеньях оросительной системы. Таким образом, воднобалансовые станции решают, в основном, прикладные задачи, обусловленные особенностями отдельных природно-климатических и ирригационно-хозяйственных зон.

Вместе с тем, материалы наблюдений, получаемые на воднобалансовых станциях, помогут решить ряд научных проблем, возникающих при мелиорации земель.

В состав работ, выполняемых воднобалансовыми станциями (под методическим руководством научно-исследовательских институтов Минводхоза и Главгидромета), входят:

1) уточнение водопотребления для каждого выделенного мелиоративного района в зависимости от конкретных свойств почво-грунтов, вида сельскохозяйственных культур и мелиоративного режима;

2) выдача предложений по оптимальной оперативной корректировке планов водопользования и водораспределения в зависимости от водности года, а также текущих условий;

3) составление водного и солевого балансов обслуживаемой территории;

4) уточнение промывной доли водопотребления;

5) определение для типовых условий коэффициета полезного действия техники полива и оросительной сети в целом;

6) уточнение влияния мелиоративных и агротехнических приемов на величину водопотребления;

7) определение величины безвозвратного водопотребления и возвратных вод для данного массива.

Для изучения влияния агрометеорологических условий на колебание продуктивности сельскохозяйственных культур, разработки рекомендаций по уменьшению потерь урожайности от неблагоприятных условий, оперативного гидрометобеспечения сельскохозяйтвенного производства информацией о текущих и прогнозируемых условиях погоды и связанных с этим мер противодействия, а также решения ряда других задач, необходимо развитие широких экспериментальных исследований на сельскохозяйственных посевах. В настоящее время на сети гидрометстанций республик Средней Азии проводятся, в основном, стандартные агрометнаблюдения, незначительное количество теплобалансовых наблюдений и полностью отсутствуют специализированные экспериментальные гидрометеорологические базы. Для решения вышеперечисленных задач необходимо создание сети воднобалансовых станций и экспериментальных гидрометеорологических баз. За основу размещения воднобалансовых станций на территории Среднеазиатского региона принята схема САНИИРИ по гидрогеологическому районированию. Всего предполагается организовать 88 воднобалансовых станций.

Экспериментальные гидрометеорологические базы (ЭГМБ) должны быть организованы на основных сельскохозяйственных массивах в каждой республике, то есть по три-пять баз в республике, размещенных с учетом климатических, почвенно-мелиоративных и других условий. Режим работы ЭГМБ должен быть непрерывным, круглогодичным (наблюдения, полевые и лабораторные измерения, обработка материалов и т. д.). Основу организации исследований ЭГМБ должны составлять два главных принципа - комплексность и системный подход в их проведении.

Комплексность исследований должна заключаться в проведении на одних и тех же объектах сельскохозяйственного производства по единой методике метеорологических, гидрофизических (передвижение тепла, влаги и солей в зоне аэрации, испарение), почвенно- и гидрохимических, мелиоративных, а также лабораторных исследований по моделированию гидрофизических процессов, определению агрогидрологических констант, механического и химического состава поверхностных и грунтовых вод, загрязненности почвы и т. д.

Основу системного подхода исследований должны составлять измерения процессов водного, теплового и солевого балансов, агрометеорологических условий во всех звеньях орошаемой территории - сельскохозяйственное поле, орошаемый массив, мелиорируемый регион и прилегающая часть бассейна реки. Параллельно с исследованиями на орошаемых землях организуются наблюдения на близлежащих участках, занятых естественной растительностью.

ЭГМБ должы быть организованы и созданы в крупных орошаемых и осушаемых массивах земель в несколько этапов.

Для первого этапа необходима организация минимум по одной базе в республике. На этих базах должны выполняться следующие виды наблюдений: стандартные метеорологические, тепло-водноба-лансовые, агрометеорологические, экологические, гидромелиоративные, специализированные.

Целесообразно создание как новых станций, так и развитие уже существующих на основе агрометеорологических, водобалансовых станций и экспериментальных участков Гидрометов республик. В Узбекистане действует экспериментальная агрометеорологическая лаборатория (НЕПАЛ) САНИГМИ в Ташкентской области (п. Аранчи под г. Той-тепа). в Кыргызстане возможно их создание на базе АГМС Фрунзе - "Западный", в Туркменистане - в Теджен-Мургабском оазисе, в Таджикистане - на базе Кайраккумской обсерватории.

Список литературы

1. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. - Л.: Гидрометеоиздат. 1975. - 374 с.

2. Усманов В. О., Благов В. В. Некоторые вопросы получения репрезентативных данных на водобалансовых станциях и их использование для гидромелиоративного обеспечения орошаемого земледелия // Тр. ГГИ. -1985. -Вып. 298. С. 48-57.

3. Усманов В. О., Кондаков Л. И. Особенности формирования водно-солевого режима орошаемых земель в пределах Контура Голодностепской водобалансовой станции //Тр. САНИГМИ. 1988. - Вып. 127(208). - С. 115-118.

УДК 556.5.072

О возможности использования гидравлических формул для вычисления расходов воды на реках с интенсивно деформируемыми руслами. Денисов Ю. М., Никулин А. С., Комарова В. Р. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 5-10.

В работе представлена математическая модель движения воды в русле реки на основе совместного решения уравнения сил и уравнения неразрывности. Выведена формула расчета скорости течения воды в русле водотока при установившемся неравномерном движении. На основе данной формулы предложен новый метод измерения расхода воды и учета речного стока на реках с интенсивно деформируемыми руслами без использования кривых расходов воды. Приведены результаты опытного испытания данного метода на реке Келес.

Результаты исследования могут быть использованы при гидрометрическом учете речного стока на реках Центральной Азии.

Библ. 3.

УДК 556.5.04

Оценка точности гидрометрического учета речного стока с использованием кривых расходов. Никулин А.С. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 11-16.

В работе дана оценка точности гидрометрического учета речного стока с использованием кривых расходов воды. Рассмотрены погрешности учета стока, как при однозначной зависимости $Q=f(H)$, так и при нескольких ветвях $Q=f(H)$. При оценке погрешности вычисления стока учитывалась погрешность измерения расхода и уровня воды. Приведен критерий перехода с одной временной кривой расходов на другую с использованием автокорреляционной функции измеренных расходов воды.

Табл. 1. Библ. 6.

УДК 556.08.088

К вопросу о возможных систематических погрешностях измерения расходов воды на среднеазиатских реках. К о м а р о в а В. П. Труды САНИГМИ. 1999, вып. 153 (234), с. 17-32.

При измерении расходов воды на среднеазиатских реках, характеризующихся сложным гидравлическим режимом, не исключена возможность возникновения систематических ошибок, величина которых может превышать случайные погрешности и достигать 50%.

В работе рассматриваются основные источники систематических погрешностей, даны их возможные значения и пути устранения. Систематические погрешности классифицированы по условиям измерения, оборудованию и методике производства работ.

Табл. 2. Библ. 8.

УДК 556.480

Результаты сравнения вычислений расходов воды программными комплексами CADAS-2 и HYDATA. И в а н о в Ю. Н. Труды САНИГМИ 1999, вып. 153 (234), с. 38-56.

Приведено краткое сравнительное описание двух программных комплексов для автоматизированного вычисления ежедневных расходов воды в целях составления гидрологического ежегодника - CADAS-2, разработанного САНИГМИ, и HYDATA, разработанного Британским гидрологическим институтом. Показаны достоинства и недостатки этих программ. Даны результаты сравнения вычисленных указанными программами ежедневных расходов воды по 12 гидрологическим постам Центральной Азии. Показано, что комплекс CADAS-2 обладает большей степенью автоматизации вычислений в сравнении с комплексом HYDATA, и дает результаты, лучше совпадающие с данными, полученными при ручном вычислении стока по общепринятым методикам. Средние отклонения месячных расходов воды в пределах 5% от данных ежегодника в 144 случаях составляют: у программы CADAS-2 - 82%, у HYDATA - 67,4%. Для декадных расходов это отклонения составляют 72 и 63% и суточных данных - 67,7 и 62,1%, соответственно.

Табл. 4. Илл. 2. Библ. 6.

УДК 556.51+556.04

Электронный справочник по морфометрии бассейнов горных рек. Петров С. Л., Царев Б. К. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 33-37.

Приведено краткое описание базы данных и функциональные возможности программы на ПЭВМ.

Илл. 2. Библ. 2.

УДК 556.532:556.16

Водные ресурсы бассейна р. Ахангаран. Иванов Ю. Н., Чулпанова И. А. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 57-88.

Для оценки водных ресурсов проведено восстановление годовых величин стока по 16 водотокам бассейна, выполнено районирование территории по принципу однородности связи модулей стока с высотой бассейнов. Получено три районных зависимости. Составлена карта модулей среднего многолетнего стока, выполнена оценка водных ресурсов бассейна, которые составили 1217,5 км^3/год или 38,5 м^3/с. Для 85 створов на 40 водотоках впервые рассчитаны характеристики среднего многолетнего стока воды.

Табл. 4. Илл. 3. Библ. 12.

УДК 556.532:556.18

Закономерности антропогенных изменений стока рек Средней Азии. Рубинова Ф. Э. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153(234), с. 95-101.

Рассмотрены антропогенные изменения речного стока во времени и по территории региона. Показаны общие закономерности и особенности этого процесса в разных природных зонах.

Табл. 4. Библ. 2.

УДК 556.06

Новый подход к разработке метода долгосрочного прогноза стока горных рек. Денисов Ю. М., Сергеев А. И., Ибрагимова Т. Л. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 89-94.

В статье излагается метод прогноза среднегодовых расходов воды, поступающих в русловые водохранилища из области формирования стока. Прогноз основывается на использовании множественной регрессии и отличается выбором информативных предикторов за предшествующие годы из имеющихся рядов наблюдений.

Для прогноза среднегодовых расходов воды в заданном створе необходима следующая информация: среднегодовые расходы воды, годовые суммы осадков и среднегодовые температуры воздуха по метеорологическим станциям, приведенные к высоте гидрологического створа.

Илл. 2. Библ. 4

УДК 556.555.3

Трансформация годового стока и качества воды Амударьи под влиянием водных мелиораций в ее бассейне. Рубинова Ф. Э. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 102-117.

На основании обобщения и анализа стандартной информации гидрометслужбы о стоке и качестве воды Амударьи даны количественные оценки процесса трансформации речного стока за период 1960-1990 годы под воздействием роста антропогенных нагрузок в бассейне.

Наиболее интенсивно речной поток уменьшается в среднем и нижнем течении Амударьи, что связано с географическим положением водозаборов из реки и сбросов в нее коллекторных вод.

Рост изъятия стока из реки и повышение в ней доли возвратных вод сопровождается увеличением минерализации, изменением ионного, биогенного состава воды и ухудшением ее качества.

Табл. 8. Илл. 3. Библ. 1.

УДК 556.551.3

Влияние водохранилищ на водные ресурсы рек Сырдарья и Амударья. Рубинова Ф. Э., Доронина С. И. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 118-130.

Даны оценки влияния крупных русловых водохранилищ на сток рек Сырдарья и Амударья. Потери на испарение с водной поверхности водохранилищ региона не превышают 2% поверхностных водных ресурсов в год средней водности, а с переувлажненного дна водоема - 5% от испарения с водной поверхности.

Табл. 3. Илл. 2. Библ. 7.

УДК 556.555.7

Влияние русловых водохранилищ на гидрохимический режим рек Средней Азии. Рубинова Ф. Э., Куропатка Л. М. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 131-140.

На основе разработанной методики дан анализ влияния русловых водохранилищ на минерализацию, биогенный, газовый состав воды и концентрацию загрязняющих компонент. На примере пяти крупных водохранилищ региона, расположенных в разных высотных зонах и отличающихся по своим морфометрическим характеристикам, выявлены основные закономерности изменения гидрохимического режима.

Табл. 3. Илл. 2. Библ. 4.

УДК 556.555.4

Влияние водохранилищ на термический режим рек Средней Азии. Рубинова Ф. Э. Тр. САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 141-157.

На основе разработанной методики дана объективная оценка влияния водохранилищ на температуру воды в нижних бьефах. Выявлены общие для региона закономерности изменения температуры воды в зависимости от морфометрических характеристик водоемов.

Табл. 7. Илл. 2. Библ. 5.

УДК 556.332.63 + 628.112.2/.3

Метод оценки вторичных водных ресурсов для водоснабжения в Алмалык-Ахангаранском агропромрайоне Ташкентской области. Дубинский В.М., Лебедева М. А., Азизов А. А. Тр. САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 158-166.

Рассматривается опыт оценки и использования вторичных водных ресурсов в Алмалык-Ахангарнском промышленном районе. Предложен принцип подхода к расчетам водозаборов, работающих на вторичных водных ресурсах, дана типовая расчетная схема. Приведен факт отбора вторичных водных ресурсов действующими водозаборами.

Библ. 7.

УДК 551.324:519.256

Состав и функциональные возможности банка данных "Ледники" на ПЭВМ. Шетинников А. С., Яковлев А. В. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 167-178.

Рассматривается банк данных "Ледники" третьей очереди, его отличия от ранее созданных в САНИГМИ очередей этого банка. Приведены состав информационных баз, функционалльные возможности банка по поиску необходимой информации и ее статистической обработки. Описан метод заполнения пропусков данных о высоте фирновой линии и площади абляции во многих частях Каталога ледников.

Табл. 1. Библ. 12.

УДК 556.336:551.461.8

Возможность существования оледенения на северных склонах хребта Каратепе в позднем плейстоцене и голоцене. Глазырин Г. Е., Глазырина Е. Л., Трофимов Г. Н. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 153 (234), с. 179-187.

Имеющиеся реконструкции климатических условий в равнинной и предгорной областях средней и нижней частей водосбора Зеравшана позволили с помощью разработанной ранее методики оценить изменения высоты климатической фирновой границы и возможность существования ледников на северном склоне хребта Каратепе - самого западного отрога Зеравшанского хребта.

Оказалось, что в текущем тысячелетии фирновая граница наиболее низко опускалась в XIII-XIV веках, а в предыдущем - в VIII веке. В это время на северном склоне хребта могли существовать 1-2 небольших ледника. Получены предварительные оценки и для нескольких предыдущих тысячелетий.

Табл. 3. Библ. 13.

УДК 631:556,512.024/025

К вопрсу организации водобалансовых станции и экспериментальных гидрометеорологических баз на территории Среднеазиатского региона. Муминов Ф. А., Усманов В. О., Чолпанкулов Э. Д. Труды САНИГМИ, 1999, вып. 134 (234), с. 188-191.

Обосновывается необходимость создания сети воднобалансовых и гидрометеорологических баз как составляющих комплексной системы мониторинга окружающей среды республик Центрально-Азиатского Региона. На основе опыта организации станций на мелиорируемых землях региона в 70-80 годах предлагается состав работ станций, основные задачи исследований и этапность в развитии сети станций и баз.

Библ. 3.

УУТ 556.5.072

Шиддатли деформацияланувчи ўзанли дарёлар суъ сарфини ҳисоблашда гидравлик формулалардан фойдаланиш мумкинлиги ҳақида. Денисов Ю. М., Никулин А. С., Комарова В. Р. ЎЮИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 5-10 б.

Мақолада кучлар тенгламаси ва узлуксизлик тенгламасини биргаликда ечиш асосида дарё ўзанида сув ҳаракатининг математик модели келтирилган. Шаклланган нотекис ҳаракатдаги дарёча ўзанидаги сувнинг оқиш тезлигини ҳисоблаш формуласи ишлаб чиқилган. Ушбу формула асосида сарфлар эгри чизиқларидан фойдаланмасдан шиддатли деформацияланувчи ўзанли дарёларда сув сарфини ўлчаш ва дарё оқимини ҳисобга олишнинг янги усули таклиф этилган. Ушбу усулнинг Келес дарёсида олиб борилган тажрибавий текшириш натижалари келтирилган.

Тадқикот матижалари Марказий Осиё дарёларида сув оқимини гидрометрик ҳисобга олишда фойдаланилиши мумкин.

Фойд. ад. 3.

УЎТ 556.5.04

Сарфлар эгри чизиқларидан фойдаланиб, дарё оқимини гидрометрик ҳисобга олиш аниқлигини баҳолаш. Никулин А. С. ЎЮИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 11-16 б.

Мақолада сарфлар эгри чизиқларидан фойдаланилганда дарё оқимини гидрометрик ҳисобга олиш аниқлигини баҳолаш берилган.

Оқимни ҳисобга олишда йўл қўйиладиган хатолар бир хил қийматли боғланиш Q = f (H) ва бирнеча шохобчали боғланиш Q = f (H) ҳоллари учун келтирилган. Оқимни ҳисобга олишдаги хатоларни баҳолашда сув сарфини ва сув сатҳини ўлчашдаги хатолар эътиборга олинган. Автокореляцион функциядан фойдаланилиб бир вақтли сарфлар эгри чизиғидан иккинчисига ўтиш мезони келтирилган.

Жадв. 1, Фойд. ад. 6.

УЎТ 556.08.088

Ўрта Осиё дарёларида сув сарфини ўлчашдаги мумкин бўлган систематик хатоликлар ҳакида. К о м о р о в а В. Р. ЎОИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 17-32 б.

Ўзига хос ҳамда мураккаб гидравлик хусусиятга эга бўлган Ўрта Осиё дарёларида сув сарфини ўлчаш систематик хатоликлардан холи бўлмай, унинг миқдори тасодифий хатоликлардан ҳам кўп бўлиши ва 50% га етиши мумкин.

Мақолада систематик хатоликларни келтириб чиқарувчи асосий омиллар ўрганилган бўлиб, уларнинг мавжуд миқдорлари ҳамда мазкур хатоликни йўқотиш йўллари баён қилинган. Бунда, систематик хатоликни ўлчаш шароити, услуби ва фойдаланилган асбоб ускуналар бўйича таснифланган.

Жадв. 1. Фойд. ад. 8.

УЎТ 556.480

CADAS-2 ва HYDATA дастурли комплекслар ёрдамида ҳисоблашлардан олинган сув сарфларини ўзаро таққослаш натижалари. И в а н о в Ю. Н. ЎОИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр. 38-56 б.

Гидррологик йилномани тузиш мақсадида сувнинг кунлик сарфларини автоматлаштирилган ҳолда ҳисоблайдиган иккита дастурли комплекс-ЎОИТГМИ да яратилган CADAS-2 ва Британия гидрологик институтида яратилган HYDATA қиёсий еритилган.

Бу дастурларнинг афзалликлари ва камчиликлари қелтирилган. Юқорида қайд этилган дастурлар ердамида Ўрта Осиёнинг 12 гидрологик постлари бўйича ҳисобланган кунлик сув сарфларини таққослаш натижалари берилган. Комплекс CADAS-2 ҳисоблашнинг автоматлаштирилганлиги юқори даражада бўлганлиги билан HYDATA комплексидан устун туради ва яхши натижалар беради, умум қабул этилган усуллар билан ҳисобланган маълумотлар билан бирхил бўлиши кўрсатилган. Ойлик сув сарфларининг йилнома маълумотларига нисбатан оғиш чегараси 5% бўлган 144 ҳоллардаги ўртача оғиши қуйидагича: CADAS-2 дастурида - 82%, HYDATA - 67,4%. Бу оғиш ўн кунлик сарфларда 72 ва 63% га тенг бўлди ва кунлик маълумотларда - 67,7% ва 62,1%, тегишли равишда .

Жадв. 4, Расм. 2, Фойд. ад. 6.

УЎТ 556.51+556.04

Тоғ дарёлари ҳавзаларининг морфометрия бўйича электрон маълумотномаси. П е т р о в С. Л., Ц а р е в Б. К. ЎЗИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 33-37 б.

ШЭҲМдаги маълумотлар базаси ва программанинг функционал имкониятлари қисқача ёритилган.

Расм 2. Фойд. ад. 2.

УЎТ 556.532:556.16

Оҳангарон дарёси ҳавзасининг сув ресурслари. Й в а н о в Ю. Н., Ч у л п а н о в а И. А. ЎЗИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 57-88 б.

Сув ресурсларини баҳолашда ҳавзанинг 16 дарёчалари бўйича йиллик оқим миқдорларини тиклаш ишлари бажарилган, оқим модулининг ҳавза баландлиги билан боғланишининг бирхиллик шарти бўйича ҳудуд районлаштирилган. Учта районли боғланиш тузилган. Ўртача кўпйиллик оқим модулларининг харитаси тузилган, ҳавзанинг сув ресурслари 1217,5 км^3/йил ёки 38,5 м^3/с эканлиги аниқланди. Биринчи марта 40 дарёчалардаги 85 гидрометрик створ бўйича ўртача кўпйиллик оқим тавсифлари ҳисобланган.

Жадв. 4. Расм 3. Фойд. ад. 12.

УЎТ 556.532:556.18

Ўрта Осиё дарёлари оқимининг антропоген ўзгаришларидаги конуниятлари. Р у б и н о в а Ф. Э. ЎЗИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 95-101 б.

Дарё окимининг антропоген ўзгариши вақт ва регион ҳудуди бўйича ўрганилган. Бу жараённинг умумий қонуниятлари ва турли табиий минтақаларда ўзига хос хусусиятлари кўрсатилган.

Жадв. 4. Фойд. ад. 2.

УЎТ 556.06

Тоғ дарёлари сув сарфининг узоқ муддатли прогнозига доир янги ёндошув. Денисов Ю. М., Сергеев А. И., Ибрагимова Т. Л. ЎОИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 89-94 б.

Мақолада бир йилдан бирнеча йилгача олдиндан ўртача йиллик сув сарфини ёки сув омборларига келадиган оқимнинг йиллик миқдорини прогноз қилиш усули баён қилинган. Мазкур прогноз, кўпхадли регрессия усулига асосланган бўлиб, мавжуд усулдан фарқлироқ ўтган йиллар маълумотларидан предиктор танлашга асосланган. Бунда, прогноз қилинаётган створдаги ўртача йиллик сув сарфи, бирар баландликдаги ўртача йиллик ёғин миқдори ва шу баландликдаги ўртача йиллик ҳаво ҳарорати предикторлар хисобланади.

Расм. 2. Фойд. ад. 4.

УЎТ 556.555.3

Амударё йиллик оқими ва сув сифатининг унинг ҳавзасидаги суғориш мелиорацияси таъсирида ўзгариши. Рубинова Ф. Э. ЎОИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 102-117 б.

Амударё оқими ва сув сифати бўйича гидрометхизматининг стандарт ахборотини умумлаштириш ва тахлил қилиш асосида 1960-1990 йиллар даврида дарё оқимининг ҳавзадаги антропоген омилларининг таъсири кўпайиши натижасида дарё оқимининг ўзгариш жараёни миқдорий баҳоланган. Амударё суви унинг ўрта ва қуйи оқимида ниҳоятда шиддатли камайиб кетади. Бунга асосий сабаб дарёдаги сув олишнинг географик жойлашиши ва дарёга коллектор сувларининг ташланишидир. Дарёдан сув олишнинг ўсиши ва қайтма сувлар ҳиссаси кўпайиши даре суви минерализациясининг ошиши, унинг ион, биоген таркибининг ўзгариши ва сув сифатининг ёмонлашувига олиб келди.

Жадв. 8. Расм. 3. Фойд. ад. 1.

УЎТ 556.551.3

Сирдарё ва Амударё сув ресурсларига сув омборларининг таъсири. Р у б и н о в а Ф. Э., Д о р о н и н а С. И. ЎЗГИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 118-130 б.

Сирдарё ва Амударе оқимига йирик ўзанли сув омборларининг таъсири баҳоланган. Сувлилиги ўртача йилда, ер усти сувларига нисбатан региондаги сув омборлари юзасидан бўладиган буғланишга кетан сув исрофи 2 фоиздан ошмайди. сув ҳавзасининг ўта намланган тубидан исраф сув юзасидан бўладиган буғланишнинг 5 фоизини ташкил этади.

Жадв. 3. Расм. 2. Фойд. ад. 7.

УЎТ 556.555.7

Ўрта Осиё дарёлари гидрокимёвий режимига ўзанли сув омборларининг таъсири. Р у б и н о в а Ф. Э., К у р о п а т к а Л. М. ЎЗГИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 131-140 б.

Яратилган услуб асосида ўзанли сув омборларининг сувнинг минерализациясига, биоген, газли таркибига ва ифлослантирувчи компонентларнинг концентрациясига таъсири таҳлил қилинган. Турли баландлик минтақаларда жойлашган ва ўзининг ҳар хил морфометрик тавсифлари билан фарқ киладиган регионнинг бешта йирик сув омборлари мисолида гидрокимиёвий режим ўзгаришининг асосий қонуниятлари очилган.

Жадв. 3. Расм 2. Фойд. ад. 4.

УЎТ 556.555.4

Ўрта Осиё дарёлари термик режимига сув омборларининг таъсири. Р у б и н о в а Ф. Э. ЎЗГИТГМИ илмий тўплами, 1999, 153 (234) нашр, 141-157 б.

Яратилган услуб асосида сув омборларининг қуйи бьефдаги сув ҳароратига таъсири баҳоланган. Регион учун сув ҳарорати ўзгаришининг сув ҳавзаси морфометрик тавсифларига боғлиқ умумий қонуниятлари очилган.

Жадв. 7. Расм 2. Фойд. ад. 5.

УЎТ 556.332.63.628.112.2/.3

Тошкент вилояти Олмалиқ-Оҳангарон агросаноат тумани сув таъминотида иккиламчи сув ресурсларини баҳолаш усули. Дубинский В. М., Лебедева М. А., Азизов А. А. ЎОИТ-ГМИ илмий тўплами. 1999. 153 (234) нашр. 158-166 б.

Олмалиқ-Оҳангарон саноат туманида иккиламчи сув ресурсларини баҳолаш ва фойдаланиш тажрибаси қараб чиқилган. Иккиламчи сув ресурслари мақсадида кўлланилаётган сув олишни ҳисоблаш йўлининг тартиби таклиф этилган. намунавий ҳисоблаш чизмаси берилган. Амалда сув олиш мавжуд бўлган иккиламчи сув ресурсларини танлов асоси келтирилган.

Фойд. ад. 7.

УЎТ 556.324:519.256

ШЭҲМ-даги "Музликлар" банки маълумотларининг таркиби ва функционал имкониятлари. Шетинников А. С., Яковлев А. В. ЎОИТГМИ илмий тўплами. 1999. 153 (234) нашр. 167-178 б.

"Музликлар" банки маълумотларининг учинчи навбати, шундай банкнинг ЎОИТГМИда аввал тузилганга нисбатан фарқи кўриб чиқилган. Ахборот базаси таркиби, керакли ахборотни қидирши бўйича банкнинг функционал имкониятлари ва уни статистик қайта ишлаш келтирилган. Музликлар каталогининг кўп қисмларидаги фирн чизиғи ва абляция майдони бўйича маълумотлар бўлмаганда уларни тўлғазиш усули ёритилган.

Жавд. 1. Фойд. ад. 12.

УЎТ 631:556,512.024/025

Сув баланси станциялари ва экспериментал гидрометеорологик базаларни Урта Осиё минтақаси ҳудудида ташкил этиш масаласи. Мўминов Ф. А., Усманов В. О., Чолпанкулов Э. Д. ЎОИТГМИ илмий тўплами. 1999. 153 (234) нашр. 188-191 б.

Марказий Осиё ташқи муҳитининг мониторинг комплекс тизимини ташкил этувчи сув баланси ва гидрометеорологик базалар тармоғини бунед этиш асослаб берилган. 70-80-йиларда станцияларни ташкил этишдаги тажрибаларга таяниб, станцияларнинг ишлаш тартиби, тадқиқот масалалари ҳамда станция ва базаларни ривожлантириш босқичлари ёритилган.

Фойд. ад. 3.

УЎТ 551.324

Кеч плейстоцен ва голоценда Қоратепа тизмасининг шимолий ёнбағирларида музланиш мавжуд бўлиши мумкинлиги. Глазирин Г. Е., Глазирина Е. Л., Трофимов Г. Н. ЎзИТГМИ илмий тўплами. 1999. 153 (234) нашр. 179-187 б.

Зарафшон сув тўпланиш ҳавзасининг ўрта ва қуйи қисмлари тоғолди ва текислик ҳудудларидаги иқлим шароитларини тиклашга бағишланган маълумотлар аввал ишлаб чиқилган услуб ёрдамида Зарафшон тизмасининг энг ғарбий тармоғи-Қоратепа тизмасининг шимолий ёнбағрида музликлар бўлиши мумкинлигини ва иқлимий фирн чегараси баландлигини баҳолаш имконини берди.

Ҳозирги минг йилликда фирн чегарасининг энг пасайгани XIII-XIV асрларда, олдинги минг йилликда эса VIII асрда бўлган. Бу вақтларда шимолий ёнбағирда 1-2 та унча катта бўлмаган музлик мавжуд бўлган бўлиши мумкин. Ўтган бир неча минг йилликлар учун ҳам дастлабки баҳолар олинган.

Жадв. 3. Фойд. ад. 13.

UDC 556.5.072

On the possibility of using the hydraulic formulas for calculation of discharges of a water on rivers with the intensively deformed river beds. Denisov Yu. N., Nikulin A. S., Komarova V. R. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 5-10.

Mathematical model of water movement in the river bed on the basis of combined solution joint of the foces equation and eqution of continuity is presented. The formula of calculation of the flow rate of water in the water course bed with the setup irregular movent of a water was derived. New method of measuring the river dischage and the account of river flow on rivers with the intensively deformed river beds without using the dischage curves was offered on the basis of this formula. The results of the experimental test of this method on Keles river were given.

The results of research could be used for hydrometeorological account register of the river flow on rivers of Central Asia.

Ref. 3.

UDC 556.5.04

Estimation of accuracy of hydrometrical account of river flow using the disharge curves. Nikulin A. S. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 11-16.

Estimation of accuracy of hydrometrical account of river flow was when the discharge curves were used in the account of flow is given. The errors of the flow account were considered both with singal-valued relationship Q(H). The error of measuring of discharge and water level was taken into account with the estimation of error of account of flow. The criterion of change from one temporal discharge curve to another using of autocorrelation function of water discharge is presented.

Tabl. 1. Ref. 6.

UDC 556.08.088

On the possible systematic errors of the water discharge measuring on the Middle Asian rivers. K o m a r o v a V. R. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 17-32.

When measuring of wate discharge on the Middle Asian rivers, characterized by complicated hydraulic regime the possibility of raising of systematic errors are unexcluded, the value of them may exceed random errors and approuch 50%.

The paper presents the main causes of systematic errors, their possible meanings, and ways of removal of errors are given. The systematic errors are classifed by the conditions of measuring, by equipment and by method of works caring out.

Tabs. 1. Ref. 8. Annex. 1.

UDC 556.480

Results of comparison between calculation of discharge by program complexes CADAS-2 and HYDATA. I v a n o v Yu. N. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 38-56.

The brief compararative description of two program complexes for automatized calculation of daily discharge for ourposes of compilation of hydrological year-book CADAS-2, developed by SANIGMI and HYDATA developed by British hydrological Institute is presented. Advantages and disadvantages of these programmes are shown. the result of comparison between calculated daily discharge by 12 hydrological posts of Central Asia by the above mentioned programmes are given. It was snown, that complex CADAS-2 is characterisedby a higher degree of automation of calculation in comoarison with complex HYDATA and gives better result coinciding with the data of specialist obtained by the manual calculation of flow using the generally accepted methods. Averige deviations of monthly discharge within 5% from the data of year-book in 144 cases are: CADAS program - 82%, HYDATA - 67%. For ten-day discharge, this devlation are 72 and 63% and for daily data they are 67,7 and 62,1%.

Tabl. 4. Fig. 2. Ref. 6.

UDC 556.51+556.04

The electronic reference book for morphometrics mounainous river basins. P e t r o v S. L., T s a r e v B. K. Transactions of SANIGMI. 1998. vol. 153 (234). p. 33-37.

The brief description of morphometric data basis and PC-program functional possibility ae described.

Fig. 2. Ref. 2.

UDC 556.532:.556.16

Water resources of Akhangaran river basin. I v a n o v Yu. N., C h u l p a n o v a I. A. Transactions of SANIGMI. 1998. vol. 153 (234). p. 57-88.

For the estimation of water resources, the restoration of the annual quantities of flow on 16 water couses of basin was carried out, the division of territory by homogeneity of the relationship between the flow modules and altitude of the basins was done. Three district dependence were obtained. The map of modules of the long-term average flow was composed, the estimation of water resouses of basin being 1217,5 km^3/year or 38,5 m^3/s was implemented. For 85 renges line gauges on 40 water couses, the characteristics of the long-term average flow were calculated for the first time.

Tabl. 4. Fig. 3, ref. 12.

UDC 556.05

The new approach to development of long term method of forecasting water dischage of mountainous rivers. D e n i s o v J. M., S e r g e e v A. I., I b r a g i m o v a T. L., Transactions of SANIGMI. 1998. vol. 153 (234). p. 89-94.

Here is offered the method of forecasting of annal water's discharges or annual inflow in reservoirs with time of forecast from one to some years.

The developed merhod of forecast uses a method of multiple regression, but as against the existing approach, the main problem for the given method is a determination of previoos moment to the forecaste of time (years) in which it is necessary to take meanings of argument.

In this method the predictors are annual discharges of water Q in forecasting row, annual sum of deposits X at some height, annual temperature of air O in the basin Θ at the same height.

Fig. 1. Ref. 4.

UDC 556.532:556.18

Regularities of antropogenic changes of flow of the Central Asia rivers. R u b i n o v a F.E. Transactions of SANIGMI. 1998 vol. 153 (234). p. 95-101.

Antropogenic changes of river flow were considered in time and by the region territory. General regularities and peculirities of this process in different natural zones were shown.

Tabs. 4. Ref. 2.

UDC 556.555.3

Transformation of annual flow and water quality of Amudarya river under the influence of water amelioration in it basin. R u b i n o v a F. E. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 102-117.

On the basis of generalisation and analyses of the standard infjrmation of hydrometservice about the flow and water quality of Amudarya river the quantitative estimations of the river flow transformation process for 1960-1990 under the influence of increase of anthropogenic stress in the basin were given. The river stream is decreased the most intensively in the middle and lower reachesof Amudarya, which is connected with geographycal position of water intake from the river and water removing of collector waters into it.

The increase of removel of flow from the river and rise of share of return water is accompanied by increase of mineralisation, change of ionic, biogenic water composition and worsening of its quality.

Tabs. 8. Fig. 3. Ref. 1.

UDC 556.551.4

Influence of reservoirs on the thermal regime of the Central Asian an rivers. R u b i n o v a F. E. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), 141-157 p.

On the basis of the developed method, the objective estimanation of influence of reservoirs on water temperature in the lower reaches was given. The general for region regularities of the water temperature change depending on morphometric characteristics of reservoirs were revealed.

Tabs. 7. Fig. 2. Ref. 5

UDC 556.551.3

Influence of channel reservoirs of the water resaurces of Syrdarya and Amudarya rivers. Rubinova F. E., Doroninа S. I. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 118-130.

Assesment of of the influence of large channel reservoirs on the flow of Syrdarya and Amudarya are given. Wastes on the evaparation losses from the water surface of reservoirs of the region don't exceed 2% of the surface water reservoirs in year of medium water content, and from the over moistened bottom of reservoirs it is - 5% from the evaporetion from with water surface.

Tabs. 3. Fig. 2. Ref. 7.

UDC 556.555.7

Influence of channel reservoirs on hydrochemical regime of Central Asian rivers. Rubinova F. E., Kuropatka L. M. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 131-140.

On the basis of the developed method the analyses of influence of the channel reservoirs on the mineralization, biogenic, gas composition of polluting substances was given. Basic regularities of change of hydrochemical regime were shown on the example of five large reservoirs of the regin, located in different hygh-altitude zones and by morphometric characteristics.

Tabs. 3. Fig. 2. Ref. 4.

UDC 556.332.63.628.112.2/.3

Method of estimating recycled water resources for water supply of the Almalyk-Akhangaran agroinustrial region. Dubinsky V. M., Lebedeva M. A., Azizov A. A. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 158-166.

An experience of the estimation and utilization of the recycled water resources in Almalyk-Akhangaran industriol region is considered.

A principal approach to calculations of the water wells, working on recycled water resources is proposed. A typical calculating scheme is proposed.

A fact of recycled water resources extraction by acting water wells is proposed.

Ref. 7.

UDC 551.324:519.256

Composition and functional options of PC Database "Glaciers". Shchetinnikov A. S., Yakovlev A. B. Transactions of SANIGMI. 1997. vol. 153 (234). p. 167-178.

The third version of database "Glacier" and the differencies of this version from previously created in SANIGMI ones are considered. Content of informational base and functional features of software dealt with the searching of required information and it's statistical processing are presented. A technique of fullfillment of missing data for altitude of firn line and ablation area in numerous volumes of "USSR Glacier Inventory" is described.

Tabs. 1. Ref. 12. App. 3.

UDK 556.336:551.461.8

Glacier existence probability at the north slope of Karatepa ridge in the late holocene and pleistocene. Glazirin G. E., Glazirina E. L., Trophymoff G. N. Transactions of SANIGMI. 1998. vol. 153 (234). p. 179-187.

Reconstructions of climatological conditions at the plain and foothill areas of the central and lowest parts of Zeravshan river basin were used for assessment of climatic firn boundary (equilibrium line) altitude (ELA) and for estimation of probability of glaciers existance at the north slope of Karatepe which is the western spur of Zeravshan ridge.

It was found that ELA was the lowest in the VIII and XIII-XIV centures. That time there were one or two small glaciers here. The preliminary estimation was made for some previous millennia.

Tabs. 3. Ref. 13.

UDC 631:556,512.024/025

To the issue of organization of waterbalanced stations and experimental hydrometeorogical bases on the territory of Central Asion region. Muminov F. A., Usmanov V. O., Cholponkuiov E. D. Transactions of SANIGMI, 1998, vol. 153 (234), p. 188-191.

The necessity of creation of the network of waterbalanceed and hydrometeorological bases as the component system of monitoring of environment of Central Asian region states are based.

On the base of experiance of organisdation the stations on the meliorated soils of region in 1970-1980 the composition of works of stations, the principle tasks of investigations and stages in development of stations and bases network are proposed.

Ref. 3.

Сборник научных трудов
Труды САНИГМИ, вып 153 (234)
Гидрологические исследования в Средней Азии

Редакторы канд. геогр. наук А.С. Щетинников, В.Ф. Суслов
Переводчики на узбекский язык А.А. Акбаров, Ю.Т. Тагаймуралов
Переводчик на английский язык И.О. Масловская
Набрано на компьютере в ОГИ САНИГМИ
Подписано к печати 01.2000. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Уч. изд. л. 9,5. Усл. п. л. 13.0.
Тираж 120. Заказ 68.

Издательский отдел САНИГМИ, Типография Главгидромета РУз.
700052, Ташкент, Кодира Махсумова, 72.