

556
С-45

ISSN 0130—4887

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

69010

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
имени В. А. БУГАЕВА

Выпуск 125(206)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
В СРЕДНЕЙ АЗИИ

МОСКВА
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
1987

556
с-45

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
имени В. А. БУГАЕВА

Выпуск

125(206)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
В СРЕДНЕЙ АЗИИ

Под редакцией
канд. техн. наук Ф. Э. РУБИНОВОЙ



07069

В сборнике помещены работы, посвященные различным вопросам гидрологии Средней Азии и общим задачам гидрологических исследований. Анализируются экстремальные условия формирования стока в горах Средней Азии в 1983 г., исследуются вопросы гидрометрического учета стока, а также водный баланс территории, расчет испарения в бесснежный период, кислородный и газовый режим малых рек Средней Азии.

Сборник рассчитан на научных сотрудников, проектировщиков, интересующихся проблемами гидрологии Средней Азии.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА ГОРНЫХ РЕК

Предлагаемая математическая модель трансформации стока горных рек представляет собой усовершенствованную модификацию аналогичной модели, разработанной ранее в САНИИ [2, 3]. Необходимость ее усовершенствования продиктована развитием новых методов гидропрогнозов, основанных на детерминированных моделях формирования стока [1, 5] и требующих более полной и точной оценки основных воднобалансовых соотношений в бассейне.

Как и в прежней модификации, модель представляет бассейн горной реки в виде двух трансформирующих емкостей, соединенных последовательно-параллельно (рис. 1). Первая емкость служит аналогом верхнего водоносного слоя, в котором происходит сравнительно быстрая трансформация поступления талой и дождевой воды в сток, фиксируемый в замыкающем створе. Нижняя емкость описывает трансформацию в более глубоких водоносных слоях, откуда вода поступает в замыкающий створ гораздо медленнее.

Входом в модель (верхнюю емкость) служит поступление талой и дождевой воды на поверхность бассейна. При этом предполагается, что талое поступление q_t целиком идет на пополнение влагозапаса верхней емкости. Дождевое поступление q_d , отличающееся гораздо большей интенсивностью по сравнению с талым, может сформировать быстрый внутрипочвенный (реже поверхностный) сток, который идет в замыкающий створ без существенной трансформации. Условно назовем этот сток поверхностным и обозначим $Q_{пов}$. Оставшаяся часть дождевого поступления идет на питание верхней трансформирующей емкости.

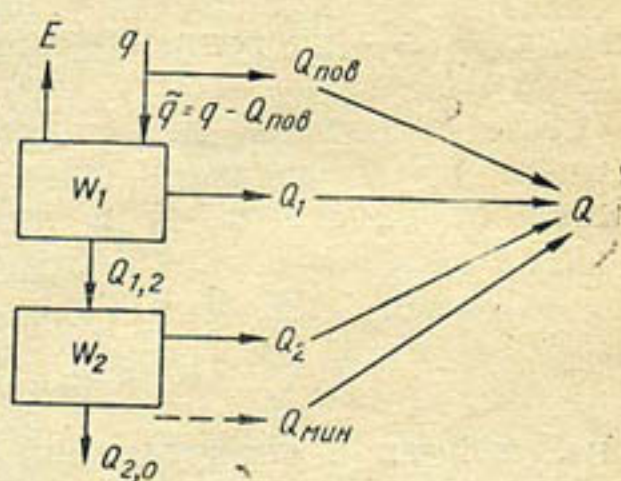


Рис. 1. Схема модели трансформации стока в горном бассейне

Выходами из верхней емкости являются затраты воды на испарение E , сток Q_1 из верхней емкости в замыкающем створе

и отток $Q_{1,2}$ за счет фильтрации воды в более глубокие водоносные слои (нижнюю емкость).

Таким образом, $Q_{1,2}$ служит входом в нижнюю трансформирующую емкость. Выходами из нее являются сток Q_2 из глубоких водоносных слоев, фиксируемый в замыкающем створе, и потери P за пределы контура бассейна — за счет фильтрации воды в еще более глубокие слои, не дренируемые руслом выше замыкающего створа.

Расход воды в замыкающем створе равен сумме поверхностного дождевого стока $Q_{\text{пов}}$ и расходов из верхней Q_1 и нижней Q_2 трансформирующих емкостей. Кроме того, предполагается наличие некоторого базисного речного стока, который не зависит от поступления данного года и принимается равным многолетнему минимальному стоку.

Итак, в момент времени t

$$Q(t) = Q_{\text{пов}}(t) + Q_1(t) + Q_2(t) + Q_{\text{мин}}. \quad (1)$$

Работа системы трансформирующих емкостей описывается дифференциальными уравнениями

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW_1}{dt} &= \tilde{q} - E - Q_1 - Q_{1,2} \\ \frac{dW_2}{dt} &= Q_{1,2} - Q_2 - P, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где W_1, W_2 — влагозапасы верхней и нижней емкостей соответственно, $\tilde{q}$ — поступление талой и дождевой воды за вычетом $Q_{\text{пов}}$.

Были испытаны две модификации модели [2]: линейная, в которой предполагалась линейная зависимость выходов из емкостей от запаса воды в них:

$$\begin{aligned} Q_1 &= c_1 W_1, & Q_2 &= c_2 W_2, \\ Q_{1,2} &= c_{1,2} W_1, & P &= c_{2,0} W_2 \end{aligned} \quad (3)$$

и нелинейная с квадратичной зависимостью выходов из верхней емкости от W_1 :

$$\begin{aligned} Q_1 &= c_1 W_1^2, & Q_2 &= c_2 W_2, \\ Q_{1,2} &= c_{1,2} W_1^2, & P &= c_{2,0} W_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Численные эксперименты подтвердили преимущество (более высокие оценки расчета, устойчивость параметров) нелинейной модели, которая и была выбрана в качестве основной.

Переходя из дифференциальных уравнений (2) к конечно-разностным, получим

$$W_1(i) - W_1(i-1) = q(i) - Q_{\text{пов}}(i) - E(i) - Q_1(i) - Q_{1,2}(i),$$

$$W_2(i) - W_2(i-1) = Q_{1,2}(i) - Q_2(i) - P(i), \quad (5)$$

и далее с учетом (4)

$$Q_{1,2}(i) = -\frac{V c_1}{2(c_1 + c_{1,2})} + \sqrt{\frac{4(c_1 + c_{1,2})^2}{c_1} + \frac{V c_1 Q_{1,2}(i-1) + c_1 q^*(i)}{c_1 + c_{1,2}}} \\ Q_2(i) = \frac{1}{1 + c_2 + c_{2,0}} \left(Q_2(i-1) + \frac{c_1}{c_{1,2} c_2} Q_1(i) \right), \quad (6)$$

где

$$q^*(i) = q(i) - Q_{\text{нов}}(i) - E(i). \quad (7)$$

Здесь i — номер временного шага. Расчет по модели осуществляют с временным шагом, равным декаде, последовательно для верхней и нижней емкостей по уравнениям (6).

Для задания начальных условий расчета используются значения расходов воды $Q(1)$ и $Q(2)$, измеренных в замкающем створе в первые две декады расчетного периода. Начальные условия $Q_1(1)$, $Q_2(1)$, $Q_1(2)$ и $Q_2(2)$ определяются путем решения систем четырех уравнений, первые два из которых, согласно (1),

$$\begin{aligned} Q_1(1) + Q_2(1) &= Q(1) - Q_{\text{нов}}(1) - Q_{\text{мин}}, \\ Q_1(2) + Q_2(2) &= Q(2) - Q_{\text{нов}}(2) - Q_{\text{мин}}, \end{aligned} \quad (8)$$

а остальные получены из (6) при $i=2$. Эта система алгебраических уравнений (одно из них нелинейное) заменяется полиномом четвертой степени, решаемым численно.

Опыт расчета испарения с поверхности бассейна в моделях формирования стока для равнинных [1, 6] и горных [3] условий, а также анализ ряда эмпирических формул и методов [4] показали приемлемость оценки испарения в зависимости от дефицита влажности воздуха с учетом увлажнения верхнего слоя почвогрунтов.

Как и в [3], в качестве характеристики увлажнения использована величина влагозапаса верхней трансформирующей емкости. Однако в отличие от предложенного там подхода расчет испарения проводится не целиком для всей свободной от снежного покрова поверхности бассейна, а дифференцировано по высотным зонам. Необходимость учета высоты местности при расчете испарения с поверхности бассейна особенно очевидна в летние месяцы, когда потенциальная возможность испарения наибольшей в нижних зонах и составляет здесь весьма значительную величину, а основной запас воды сосредоточен в верхних зонах за счет таяния оставшегося там снежного покрова и выпадения жидких осадков, слой которых возрастает с высотой. Для расчета испарения с поверхности горного бассейна, свободной от снежного покрова, предложено выражение

$$E(z, i) = k D(z, i) \left[1 - \exp \left(- \frac{V_1(z, i)}{k D(z, i)} \right) \right], \quad (9)$$

где $E(z, i)$, $D(z, i)$, $V_1(z, i)$ — соответственно испарение, дефицит влажности воздуха и влагозапас верхней трансформирующей емкости в высотной зоне z на i -м временном шаге, k — параметр.

Для интерполяции и экстраполяции дефицита влажности воздуха по высоте использовано выражение

$$D(z, i) = D(0, i) \exp\left(-\frac{z}{a}\right), \quad (10)$$

где $D(0, i)$ — дефицит на уровне моря ($z=0$) в i -й момент времени, a — параметр. $D(0, i)$ рассчитывается путем приведения, согласно (10), данных измерений на сети станций (число станций N) в момент времени i к уровню моря ($z=0$) и последующего их осреднения

$$D(0, i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{D(z_j, i)}{\exp\left(-\frac{z_j}{a}\right)}. \quad (11)$$

Здесь z_j — высота j -й станции. Параметр a с учетом его внутригодового хода определен по нормам среднемесячных значений дефицита влажности воздуха (данные измерений на сети станций района) и описывается следующим выражением:

для территории Западного Тянь-Шаня

$$a(n) = 2,17 + 0,31 \cos \frac{\pi}{6} (n - 2,49), \quad (12)$$

для территории Ферганской долины

$$a(n) = 2,35 + 0,56 \cos \frac{\pi}{6} (n - 2,17), \quad (13)$$

где n — номер месяца начиная с октября.

Параметр k в (9) подбирался исходя из его оценок в известных эмпирических формулах и методах расчета испарения [1, 4]. В модели с декадным временным шагом здесь принят $k=8,0$. Для оценки увлажнения высотной зоны z на i -м временном шаге рассчитывался баланс влагозапаса верхней емкости начиная с первой декады текущего года

$$W_1(z, i) = W_1(z, i-1) + \tilde{q}(z, i) - E(z, i) - Q_1(z, i) - Q_{1,2}(z, i), \quad (14)$$

где $W_1(z, i)$, $W_1(z, i-1)$ — влагозапас верхней емкости, $\tilde{q}(z, i)$ — поступление талой и дождевой воды на поверхность водосбора (за вычетом быстрого поверхностного стока $Q_{\text{пов}}(z, i)$), $Q_1(z, i)$ и $Q_{1,2}(z, i)$ — сток из верхней емкости в замыкающем створе и отток в нижнюю емкость соответственно. Все эти величины относятся к высотной зоне z на $(i-1)$ -м и i -м временных шагах.

Характеристика увлажнения почвогрунтов $V_1(z, i)$ при расчете испарения $E(z, i)$ принята равной

$$V_1(z, i) = W_1(z, i-1) + \tilde{q}(z, i), \quad (15)$$

где $W_1(z, i-1)$, согласно (14), считается как

$$W_1(z, i-1) = W_1(z, i-2) + \tilde{q}(z, i-1) - E(z, i-1) - Q_1(z, i-1) - Q_{1,2}(z, i-1).$$

Для устранения погрешности, возникающей при использовании принципа суперпозиции высотных зон в нелинейной модели, на каждом шаге работы модели проверяется выполнение условия

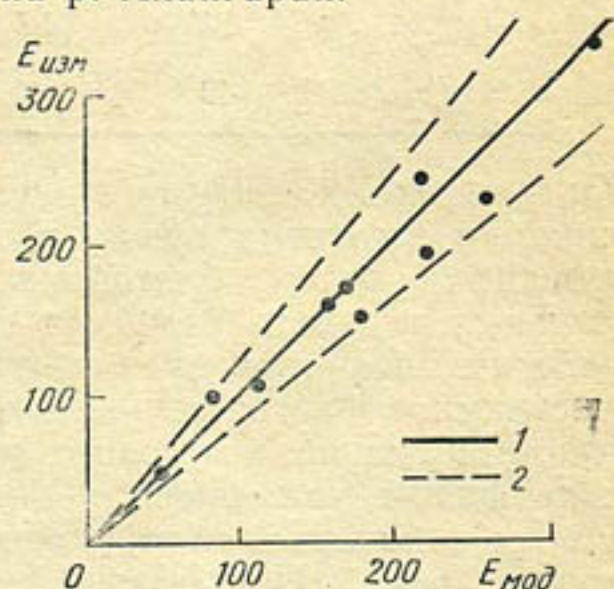
$$W_1(i) = \sum_{j=1}^{N_1} W_1(z_j, i),$$

возникающие невязки разбрасываются пропорционально $W_1(z_j, i)$. Здесь $W_1(i)$ — влагозапас верхней емкости в момент времени i , $W_1(z_j, i)$ — то же в j -й высотной зоне, N_1 — число зон в бассейне.

На рис. 2 дано сравнение величин испарения за весенне-летний сезон, измеренных на ГМС Кызылча ($z=2,08$ км) и рассчитанных в нелинейной модели по указанному способу в соответствующей высотной зоне бассейна р. Ахангаран.

Рис. 2. Сопоставление величин испарения за весенне-летний сезон (апрель — август 1972—1982 гг.), измеренных на ГМС Кызылча и рассчитанных в нелинейной модели трансформации:

1 — связь между измеренными и рассчитанными величинами, 2 — граница ошибки $\pm 20\%$



Поверхностный сток $Q_{\text{пов}}$ считался дифференцированно по высотным зонам

$$Q_{\text{пов}}(i) = \sum_{j=1}^{N_1} Q_{\text{пов}}(z_j, i) \quad (16)$$

с учетом дождевого и талого поступления и их соотношения между собой и характеристикой фильтрационной способности подстилающей поверхности. Отметим, что трудности эвристического подхода к математическому описанию этого сложного про-

цесса усугубляются еще тем, что при использовании декадного шага расчета остается неучтенным внутридекадное распределение интенсивности дождевого и талого поступления, которое в натуре определяет ход процесса.

После ряда численных экспериментов мы остановились на следующей эмпирической формуле:

$$Q_{\text{пов}}(z, i) = B(z, i) q_d(z, i),$$

$$B(z, i) = \exp \left[- \frac{\frac{A(z) F(z)}{864} - q_d(z, i)}{q_t(z, i) - E(z, i)} \right]. \quad (17)$$

Из (17) следует, что, чем больше дождевое поступление q_d , тем больше поверхностный сток $Q_{\text{пов}}$. Эта закономерность проявляется как в силу непосредственной прямой зависимости этих величин, так и через коэффициент $B(z, i)$: чем больше дождевое поступление, тем более значительная его доля идет на формирование поверхностного стока. Причем благодаря введению изменяющегося по высоте параметра $A(z)$ — некоторого предельного слоя дождевого поступления — этой сравнительной оценке в разных зонах придается разный вес. Величина $A(z)$ возрастает с высотой (табл. 1), что обусловлено изменением

Таблица 1

z км . . .	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
A мм . . .	40	40	50	110	220

фильтрационных свойств подстилающей поверхности. Так, если в нижних высотных зонах обычно широко распространены эродированные почвы, благоприятствующие образованию поверхностного дождевого стока, то в верхних зонах доминируют рыхло-обломочные образования с повышенными фильтрационными свойствами, на которых наблюдается «провальная» фильтрация.

Формирование дождевого поверхностного стока определяется также фоном увлажнения — величиной талого поступления за вычетом испарения, которую назовем эффективным талым поступлением $Q_{т, \text{эф}}$. При большой величине $q_{т, \text{эф}}$ доля B дождевого поступления, формирующая поверхностный сток, возрастает. При $q_{т, \text{эф}} \leq 0$ (испарение превышает талое поступление) доля $B=0$ — дождевой поверхностный сток не образуется.

В структуре выражения (17) учтена размерность входящих в него величин: параметра $A(z)$ — в мм, площади высотной зоны $F(z)$ — в км² и соответственно дождевого поступления $q_d(z, t)$, талого поступления $q_t(z, t)$ и испарения — в м³/с.

Подводя итог, подчеркнем, что при использовании модели трансформации стока с сосредоточенными параметрами в горных условиях оказывается обязательным учет высотной зональ-

ности таких важных стокообразующих факторов, как поступление талой и дождевой воды на поверхность бассейна, испарение, показатель фильтрационных свойств подстилающей поверхности.

Параметры модели $c_1, c_{1,2}, c_2, c_{2,0}$ численно оптимизируются (универсальный алгоритм Розенброка-Стори). Значения остальных параметров (k в (9), $A(z)$ в (17)) задаются априори и уточняются в процессе работы.

Однако при таком сочетании оптимизации и подбора параметров в процессе расчетов могут возникать нереальные ситуации. Поэтому полезно на работу модели наложить некоторые ограничения исходя из принципа выполнения основных воднобалансовых соотношений.

Запишем воднобалансовые соотношения в бассейне, вводя следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\sum_T Q}{\sum_T q}; & \eta_{\text{пов}} &= \frac{\sum_T Q_{\text{пов}}}{\sum_T q}; \\ \tilde{\eta} &= \frac{\sum_T (Q - Q_{\text{мин}})}{\sum_T q}; & \eta_{\text{исп}} &= \frac{\sum_T E}{\sum_T q}; \\ \eta^* &= \frac{\sum_T (Q_1 + Q_2)}{\sum_T (q - E - Q_{\text{пов}})}; & \eta_p &= \frac{\sum_T P}{\sum_T q}; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\eta} + \eta_{\text{исп}} + \eta_p &= 1; \\ \eta^* &= \frac{\tilde{\eta} - \eta_{\text{пов}}}{1 - \eta_{\text{исп}} - \eta_{\text{пов}}} = \frac{\tilde{\eta} - \eta_{\text{пов}}}{\tilde{\eta} - \eta_{\text{пов}} + \eta_p}, \end{aligned} \quad (19)$$

где η — коэффициент стока бассейна; $\tilde{\eta}$ — то же за вычетом базисного стока из общего; η^* — коэффициент стока (к. п. д.) системы трансформирующих емкостей; $\eta_{\text{пов}}, \eta_{\text{исп}}, \eta_p$ — доли поступления, расходуемые на формирование поверхностного стока, испарения и потерь на фильтрацию за пределы контура бассейна; T — расчетный период.

На режим работы модели наложим следующие ограничения: доля η_p поступления не должна превышать некоторой величины δ :

$$\eta_p < \delta. \quad (20)$$

Тогда с учетом того, что коэффициент стока системы емкостей η^* выражается через ее параметры как

$$\begin{aligned} \eta^* &= \frac{c_1}{c_1 + c_{1,2}} + \frac{c_2}{c_2 + c_{2,0}} - \frac{c_1}{c_1 + c_{1,2}} \frac{c_2}{c_2 + c_{2,0}} = \\ &= \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2, \end{aligned} \quad (21)$$

можно записать следующее ограничение на область изменения оптимизируемых параметров модели:

$$\frac{c_1}{c_1 + c_{1,2}} + \frac{c_2}{c_2 + c_{2,0}} - \frac{c_1}{c_1 + c_{1,2}} \frac{c_2}{c_2 + c_{2,0}} > \frac{\tilde{\eta}_1 - \eta_{\text{пов}}}{\tilde{\eta}_1 - \eta_{\text{пов}} + \delta}. \quad (22)$$

Здесь η_1, η_2 — коэффициенты стока (к. п. д.) верхней и нижней трансформирующих емкостей.

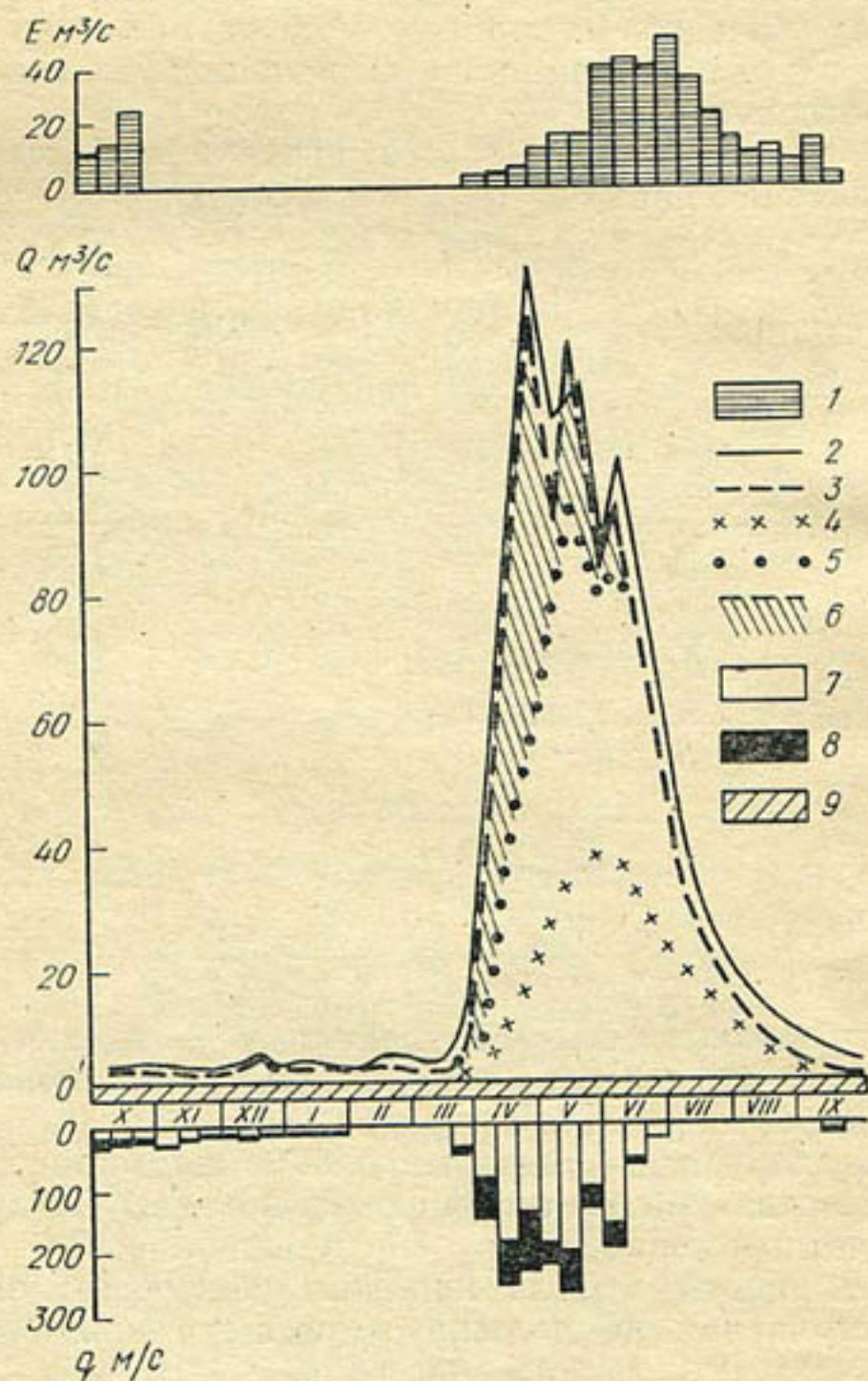


Рис. 3. Сопоставление измеренного стока (створ р. Ахангаран — пост в устье р. Иерташ, 1979 г.) с рассчитанным по нелинейной модели трансформации:

1 — испарение с поверхности бассейна, свободной от снега; 2 — гидрограф измеренного стока; 3 — гидрограф рассчитанного стока; 4 — сток из нижней трансформирующей емкости; 5 — суммарный сток из нижней и верхней трансформирующих емкостей; 6 — поверхностный дождевой сток; 7 — поступление талой воды на поверхность бассейна; 8 — поступление дождевой воды на поверхность бассейна; 9 — базисный сток

В табл. 2, 3 приведены параметры и оценки расчета стока р. Ахангаран по нелинейной модели трансформации. В связи с имевшим место в 1970 г. переносом створа для оптимизации па-

Таблица 2

Параметры нелинейной модели трансформации стока

Параметр	Створ	
	Турк	устье р. Иерташ
c_1	$0,310 \cdot 10^{-3}$	$0,280 \cdot 10^{-3}$
$c_{1,2}$	$0,500 \cdot 10^{-2}$	$0,110 \cdot 10^{-2}$
c_2	0,593	0,456
$c_{2,0}$	0,467	0,600
k	8,0	8,0

раметров c_1 , $c_{1,2}$, c_2 , $c_{2,0}$ в створе Турк был взят период 1950—1959 гг., в створе устья р. Иерта — 1974—1983 гг. При найденных оптимальных значениях параметров рассчитаны гидрографы и оценки отдельных лет. В табл. 3 приведены результаты расчетов за ряд лет из зависимой и независимой выборок.

Начальными условиями расчета каждого года служили измеренные расходы первой и второй декад октября. Для счета использована следующая информация за каждую декаду расчетного периода: талое и дождевое поступление по высотным зонам, высота снеговой границы в бассейне, дефицит влажности воздуха, приведенный к уровню моря. При оптимизации параметров необходимы также данные о среднедекадных измеренных расходах воды за соответствующий период. Поступление талой и дождевой воды на поверхность водосбора по высотным зонам и высота снеговой границы в бассейне предварительно рассчитываются по метеоданным с учетом снегомерной информации (наземной, авиационной и спутниковой) [7, 8].

В качестве оценок расчета в табл. 3 использованы следующие характеристики: σ , Q — стандарт изменчивости и средний расход за расчетный период по данным измерений; $\tilde{\eta}$ — коэффициент стока (за вычетом базисного) по данным измерений; $\eta_{\text{выч}}$ — то же по расчетным данным; $\eta_{\text{исп}}$ — часть поступления, израсходованная на испарение; η_p — часть поступления, израсходованная на потери стока на фильтрацию за пределы контура бассейна; $\eta_{\text{пов}}$ — часть поступления, сформировавшая поверхностный сток; S/σ — отношение средней квадратической ошибки

Оценки расчета по нелинейной модели трансформации стока

Год	$\tilde{\eta}$	σ м ³ /с	$\overline{Q}$ м ³ /с	$\tilde{\eta}_{\text{выч}}$	$\eta_{\text{исп}}$	η_p	$\eta_{\text{пов}}$	S/σ	S м ³ /с
1955	0,47	22,3	18,4	0,42	0,36	0,22	0,04	0,24	5,4
1956	0,46	28,2	20,6	0,46	0,28	0,26	0,06	0,20	5,6
1957	0,29	12,2	11,4	0,34	0,43	0,23	0,02	0,42	5,0
1958	0,52	38,2	33,2	0,50	0,23	0,27	0,12	0,26	9,6
1960	0,55	43,1	33,6	0,50	0,18	0,32	0,08	0,20	8,6
1961	0,40	19,1	14,6	0,39	0,41	0,20	0,04	0,14	2,7
1963	0,42	28,1	23,6	0,44	0,27	0,29	0,07	0,29	8,1
1964	0,45	27,8	23,8	0,46	0,28	0,26	0,08	0,24	6,7
1965	0,33	15,3	11,4	0,35	0,46	0,29	0,04	0,36	5,5
1970	0,44	23,1	21,7	0,41	0,34	0,25	0,06	0,22	5,1
1973	0,48	26,2	20,2	0,40	0,35	0,25	0,06	0,24	6,3
1975	0,42	18,2	14,1	0,34	0,40	0,26	0,02	0,31	5,6
1976	0,41	28,4	18,1	0,43	0,29	0,28	0,08	0,33	9,3
1977	0,35	15,4	14,7	0,34	0,36	0,30	0,02	0,35	5,4
1979	0,58	38,9	30,4	0,50	0,23	0,23	0,13	0,18	7,0
1982	0,28	15,7	10,3	0,26	0,60	0,14	0,02	0,29	7,5

расчета расходов к стандарту их изменчивости; S — средняя квадратическая ошибка расчета гидрографа.

На рис. 3 показан ход талого и дождевого поступления, испарения и различных видов стока в течение года.

В заключение еще раз отметим, что совершенствование модели трансформации стока горных рек в направлении уточнения оценок потерь на испарение и фильтрацию, дифференцированного описания различных видов стока, более жестких требований к выполнению основных воднобалансовых соотношений и временной устойчивости параметров преследовало основную цель — учесть специфику использования этой модели для гидропрогнозов и сделать это использование по возможности более эффективным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бельчиков В. А., Корень В. И. Опыт использования модели формирования талого и дождевого стока рек лесной зоны Европейской территории СССР. — Труды Гидрометцентра СССР, 1983, вып. 246, с. 3—20.
2. Боровикова Л. Н. и др. Математическое моделирование процесса стока горных рек/Боровикова Л. Н., Денисов Ю. М., Трофимова Е. Б., Шенцис И. Д. — М.: Гидрометеиздат, 1972. — 150 с. (Труды САНИГМИ. Вып. 61 (76)).
3. Денисов Ю. М. Схема расчета гидрографа стока горных рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 102 с.
4. Литовченко А. Ф. Оценка точности различных методов расчета суммарного испарения в горах Казахстана и Средней Азии. — Труды КазНИГМИ, 1975, вып. 48, с. 156—162.

5. Методические указания к разработке метода краткосрочного прогноза расходов воды горных рек на основе математической модели формирования стока (на примере р. Карадарья). М.: Гидрометеониздат, 1982. — 109 с.
6. Милюкова И. П. К расчету испаряемости в математических моделях речного стока. — Труды Гидрометцентра СССР, 1983, вып. 246, с. 67—71.
7. Шенцис И. Д. Макромасштабная модель формирования снежного покрова на территории горного региона. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 111 (192), с. 15—27.
8. Шенцис И. Д., Ионова В. Б. Методы корректировки расчета снегозапасов в горах по модели данными измерений. — Труды САННИ Госкомгидромета, 1986, вып. 111 (192), с. 27 — 36.

Е. И. ГИРНИК

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ОСНОВНЫХ РЕК УЗБЕКИСТАНА В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД (АПРЕЛЬ — СЕНТЯБРЬ) 1983 г. И АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ОШИБОК ПРОГНОЗОВ

Сток рек Узбекистана, как и всей Средней Азии, в вегетационный период определяется снегонакоплением в бассейнах рек за предшествующее зимнее полугодие, осадками, выпадающими в вегетационный период и особенно в апреле — мае, а распределение стока в течение периода — ходом температуры воздуха. Осадки в зимнее полугодие 1982/83 г. в горных районах выпадали неравномерно: обильные осадки выпадали в октябре, а в ряде районов и в ноябре, в последующие месяцы их было мало (табл. 1). Суммы осадков за октябрь — март 1982—1983 гг. только в бассейне р. Зеравшан превысили норму, в бассейнах остальных рек были ниже нее, а в бассейнах некоторых притоков рек Чирчик и Карадарья существенно ниже. Сравнение сумм осадков за холодное полугодие 1982/83 г. с суммами их за такой же период предыдущего года показало, что в бассейнах рек Вахш и Пяндж они оказались близкими, а в бассейнах остальных рек немного больше (табл. 2). Запасы воды в снеге по данным снегомерных съемок в конце марта на ледниках Федченко и Абрамова (бассейн р. Вахш) были близкими к норме и запасам на этот же срок в 1982 г; в бассейнах остальных рек — ниже. В бассейне р. Тара — основной составляющей р. Карадарья — снег в зоне производства снегомерных съемок к концу марта сошел; такое явление за весь период наблюдений (с 1947 г.) отмечалось лишь в 1962 и 1968 гг. Высота снега, отсчитанная в конце марта с борта вертолета по специально установленным в труднодоступных горных районах рейкам, только в бассейнах рек Вахш и Зеравшан была выше нормы и высоты снега на конец марта 1982 г. В бассейнах остальных рек, где эти наблюдения проводились, она была ниже нормальной и близкой к высоте снега на конец марта 1982 г. По данным гам-

Месячные суммы осадков за октябрь—сентябрь 1982—1983 гг. в процентах от нормы

Бассейн реки	Станция	Высота, м	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Вахш	ледн. Федченко	4169	126	123	54	108	35	91	80	114	97	209	67	537
	Сарыташ	3155	121	96	62	47	14	55	151	93	112	100	79	183
	Тавил-Дара	1616	319	141	29	10	41	44	83	116	216	275	0	375
Пяндж	Джаушангоз	3410	33	100	46	91	19	59	87	5	12	150	67	50
	Сарез	3300	117	300	36	43	50	114	45	62	38	80	33	400
	Хорог	2057	150	228	42	121	57	100	141	88	262	767	0	100
Кафирниган	Рамит	1180	338	105	31	95	37	70	134	102	288	175	0	200
Сурхандарья	Байсун	1249	510	250	86	118	28	80	77	85	28	0	0	100
Кашкадарья	Минчукур	2117	460	167	59	90	30	72	71	70	50	0	0	250
Зеравшан	Дехауз	2564	375	121	33	175	25	55	57	82	128	112	45	371
	Искандер-Куль	2204	333	167	29	160	64	84	100	63	242	200	200	300
Сох	Хайдаркан	1968	232	93	15	186	44	122	149	140	98	64	173	662
Акбура	Кичик-Алай	2360	226	186	33	89	31	100	218	88	142	112	42	235
Қарадарья	Қзылджар	2230	62	92	14	50	0	36	135	192	107	143	31	254
	Гульча	1542	109	123	78	91	6	88	245	114	167	140	114	508
	Чаарташ	2748	159	134	15	115	11	85	116	109	96	155	164	210
Нарын	Тянь-Шань	3614	73	125	83	50	60	85	81	76	116	38	37	71
	Икки-Нарын	2228	173	122	18	119	16	73	233	127	152	145	122	258
	Сусамыр	2061	110	78	5	53	12	37	62	124	121	35	38	21
Чирчик	Нарын	2039	123	154	18	82	8	137	171	131	102	119	100	194
	Ангрен	2286	183	92	22	96	22	49	74	155	129	36	0	0
	Чаткал	1937	112	80	24	62	12	39	41	132	69	47	12	0
	Пскем	1256	206	90	34	94	34	35	38	171	170	53	0	9

Суммы осадков за периоды октябрь—март и апрель—сентябрь 1982—1982 гг. в сравнении с нормой и соответствующими значениями за 1981—1982 гг.

Бассейн реки	Станция	Октябрь—март			Апрель—сентябрь		
		мм		1982—1983, % от	мм		1983, % от
		1982— 1983 гг.	норма	нормы	1983 г.	норма	нормы
Вахш	ледн. Федченко	664	761	87	508	394	129
	Сарыташ	85	131	65	239	214	112
	Тавил-Дара	481	557	86	397	329	121
	Джаушангоз	42	76	55	31	61	51
	Сарез	70	74	95	36	57	63
Кафирниган	Хорог	173	167	104	125	78	170
	Рамит	543	642	85	493	362	136
	Байсун	333	310	106	109	145	75
	Минчукур	440	454	97	136	185	74
	Дехауз	131	94	139	174	179	97
Сох	Искандер-Куль	156	129	121	149	134	111
	Хайдаркан	276	236	117	363	252	144
	Кичик-Алай	106	86	123	264	199	133
	Кзылджар	58	136	43	281	194	145
	Гульча	173	207	84	464	256	181
Нарын	Чаарташ	439	496	88	667	537	124
	Тянь-Шань	40	49	82	174	255	68
	Икки-Нарын	98	116	84	382	237	161
	Сусамыр	62	121	51	181	227	80
	Нарын	74	79	94	266	205	130
Чирчик	Ангрен	161	208	77	165	181	91
	Чаткал	146	284	51	88	157	56
	Пскем	421	566	74	220	245	90

ма-съе́мок, проведенных в бассейнах рек западных отрогов Тянь-Шаньских гор, запасы воды в снеге до высот 2,3—2,8 км были меньше, чем в 1982 г., а на бо́льших высотах — больше. По данным искусственных спутников Земли площади заснеженности на 1—5 апреля составили в бассейнах р. Вахш выше Нурекского водохранилища 89%, р. Пяндж выше п. Нижний Пяндж — 67%, р. Зеравшан выше п. Дупули — 75%, р. Ахангарана выше Ангренского водохранилища — 68%, р. Чирчик выше Чарвакского водохранилища — 83%, р. Нарын выше Токтогульского водохранилища — 55% и р. Карадарья выше Андижанского водохранилища — 45%. Сезонная снеговая граница в бассейне р. Чирчика на этот срок (как и в другие годы) оказалась на высоте 1400 м, а в бассейне Карадарьи на 360 м выше многолетнего среднего ее положения.

Режим рек в зимнее полугодие 1982/83 г.

Из-за очень низкого половодья на реках в 1982 г. расходы воды к концу вегетационного периода этого года в большинстве рек резко уменьшились. Выпавшие в октябре и ноябре значительные осадки повысили сток в низкогорных и среднегодных бассейнах, но из-за малого количества осадков в последующие месяцы холодного полугодия, особенно в феврале и марте, расходы воды к началу вегетационного периода 1983 г. снова оказались существенно ниже нормальных значений.

На реках снегово-дождевого и преимущественно снегового питания в марте обычно начинается увеличение расходов воды за счет осадков и таяния снега в нижних зонах водосборов. В марте 1983 г. отмечалось лишь слабое увеличение расходов воды и в среднем за этот месяц они мало отличались от расходов февраля (рис. 1, 2).

Гидрометеорологические условия в вегетационный период 1983 г.

В конце марта температура воздуха в горах начала повышаться, к 3—5 апреля она на 2—6°C превысила норму и удерживалась такой до 10—12 апреля. Это вызвало рост расходов воды во всех реках снегово-дождевого и преимущественно снегового питания. Во многих этих реках расходы воды достигали или превышали декадные нормы (рис. 1 и 2). В последующие дни апреля температура колебалась около нормы или ниже нее; повсеместно выпадали различные по интенсивности осадки. В сумме за апрель осадки только в бассейне р. Карадарья превысили норму, а в бассейнах рек Чирчик и Ахангаран они составили 50—70% нормы. Такая погода вызвала колебания расходов воды на низком фоне, лишь в последней пятидневке апреля за счет интенсивных осадков прошли дождевые паводки. Расходы воды на пиках этих паводков достигали или превышали

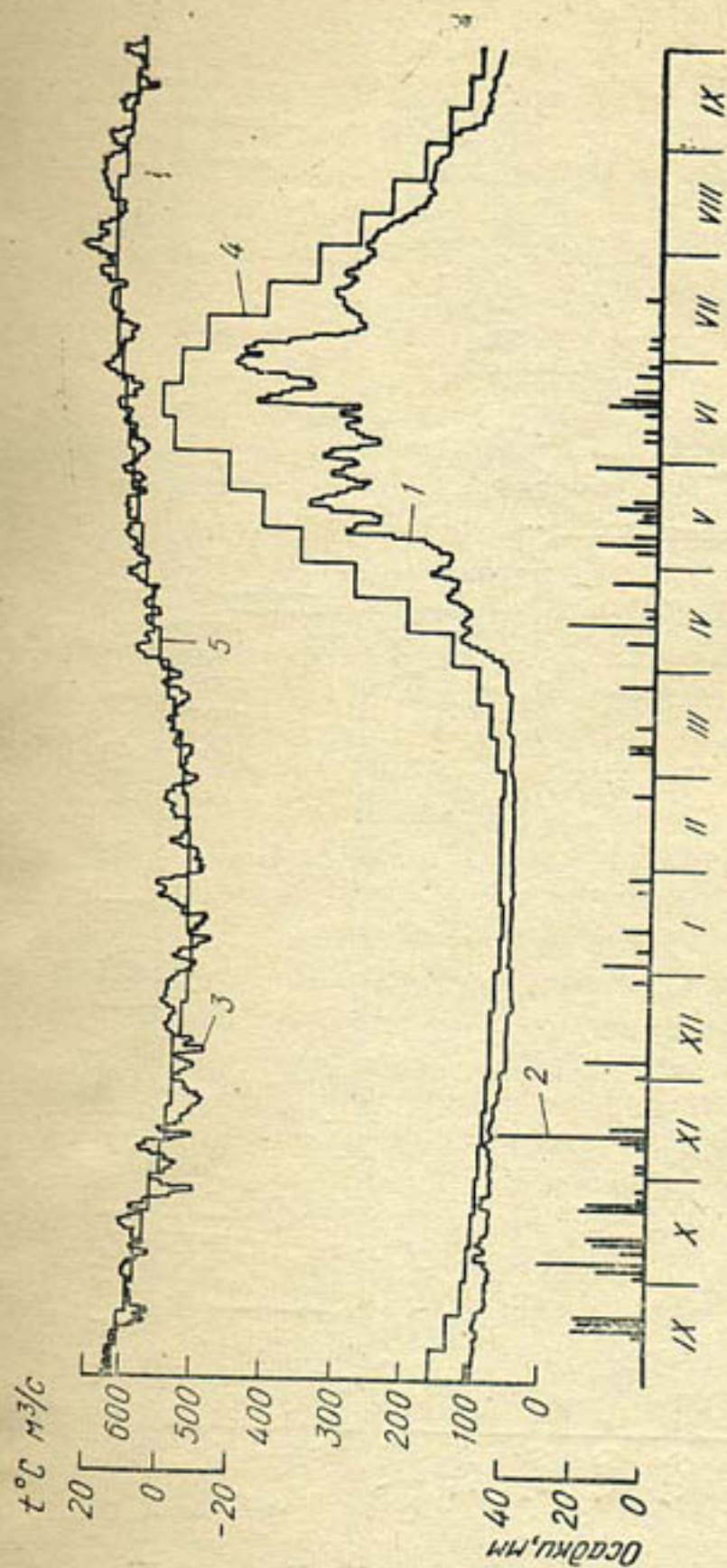


Рис. 1. Совмещенный график среднесуточных расходов притока воды в Чарвакское водохранилище (1), суточных сумм осадков по ГМС Пскем (2), температуры воздуха по ГМС Ангрен (3) за IX 1982 — 1983 гг., многолетних средних декадных расходов притока воды (4) и многолетних средних декадных температур воздуха (5)



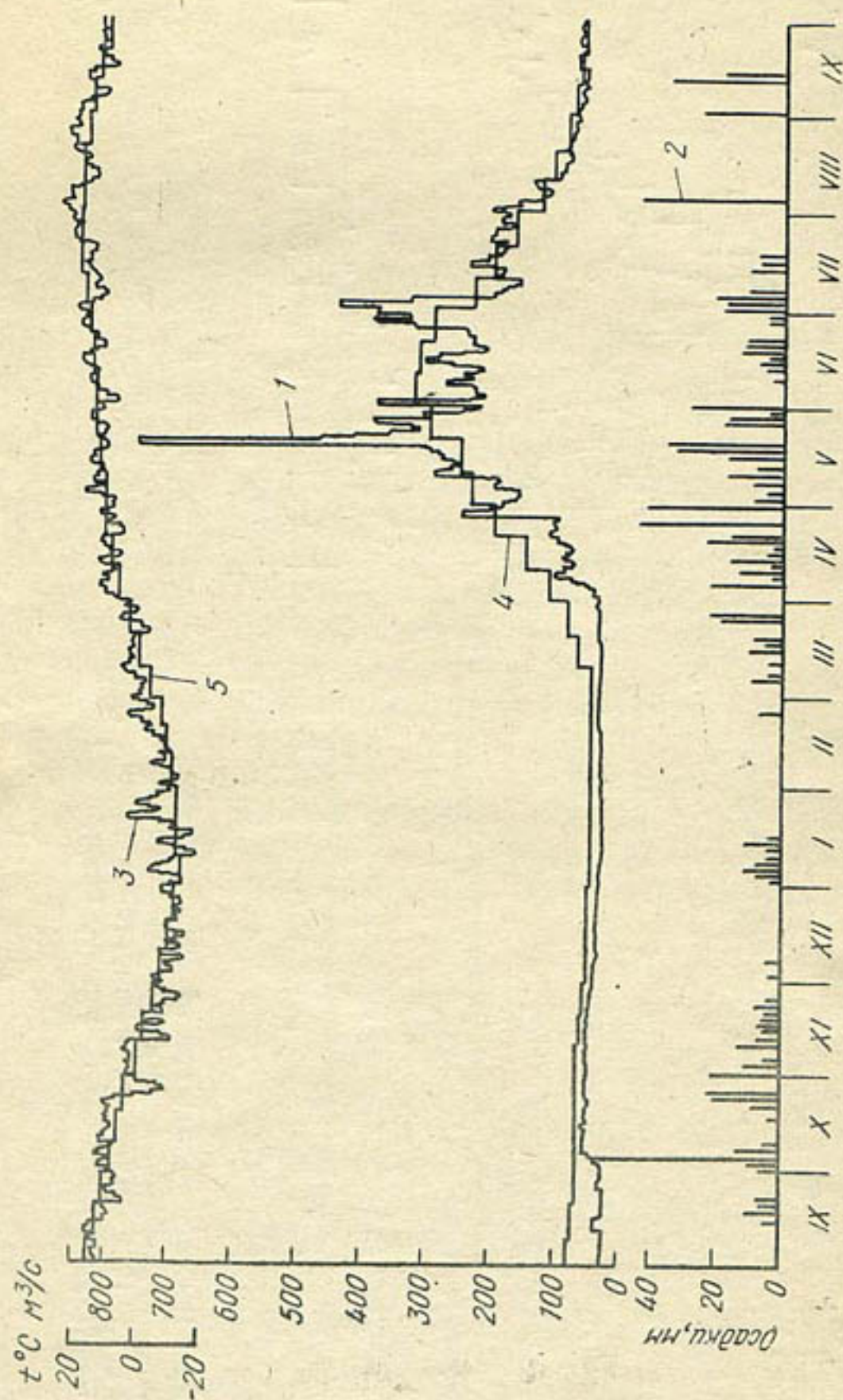


Рис. 2. Совмещенный график среднесуточных расходов притока воды в Андижанское водохранилище (1), суточных сумм осадков по ГМС Чаарташ (2), температур воздуха по ГМС Кзылджар (3) за IX 1982—1983 гг., многолетних средних декадных расходов притока воды (4) и многолетних средних декадных температур воздуха (5)

декадные нормы. Только в Ахангаране и притоках Чирчика расходы воды даже на пиках паводка не достигали нормы.

Большинство дней в мае в горах было теплыми, осадки выпадали неравномерно. В большинстве районов сумма их была близкой к норме или меньше нее. Лишь в бассейнах рек Карадарья, Ахангаран и Чирчик в мае осадков выпало много. В бассейне р. Тара гидрометеорологическая станция Кзылджар зафиксировала 102 мм осадков, что почти в два раза превысило сумму их за зимнее полугодие (табл. 1 и 2). Теплая погода и осадки вызвали снегово-дождевые паводки на реках, причем наиболее значительными они были на р. Карадарья и ее притоках (рис. 1 и 2). В среднем за май расходы были немного больше нормы в Амударье и ее притоках, Карадарье, Сохе, Исфаре. В р. Сырдарья и ее правых притоках они составили 60—70% нормы.

Большую часть июня температура воздуха в горах с колебаниями удерживалась ниже нормы, только 20—23 июня она превысила норму и оставалась выше нее на 2—3°C до конца месяца. Небольшие осадки выпадали преимущественно при похолоданиях, поэтому не вызывали больших паводков на реках. Лишь по рекам Тар и Куршаб (левые притоки р. Карадарья), стекающим с северных склонов Алайского хребта, где осадки были интенсивными, в третьей декаде июня прошли большие снегово-дождевые паводки. Средние расходы за эту декаду июня по р. Тар составили 160%, по р. Куршаб — 140% нормы. В среднем за июнь расходы воды по рекам Тар и Куршаб были соответственно 120 и 118% нормы. Интересно отметить, что по р. Яссы (правому притоку р. Карадарья), стекающей с юго-западных склонов Ферганского хребта, средний расход за июнь составил всего 79% нормы.

С первых чисел июля температура воздуха в горах понижалась и к 5—7 июля снизилась на 4—7°C ниже нормы. В среднем за первую декаду июля она была на 4—6°, а во второй декаде июля на 1—2°C ниже нормы; почти повсюду в горах в отдельные дни выпадали осадки. Они замедлили спад водности в реках, вызванный уменьшением интенсивности снеготаяния. В третьей декаде июля температура воздуха повышалась и к концу месяца на 4—10°C превысила норму, а в среднем за декаду она оказалась самой высокой или близкой к ней за 50—55 лет наблюдений. Очень теплым был и август. Исключительно теплая погода в горах в течение четырех декад вызвала интенсивное таяние снега в самых верхних зонах водосборов, вечных снегов и ледников. Это вызвало небольшой рост или замедление спада водности в реках преимущественно снегового питания и интенсивный рост расходов в реках ледниково-снегового питания (реки Сох, Зеравшан и др.). На всех этих реках в конце июля — начале августа прошли наибольшие годовые расходы воды. Средние расходы воды за июль в этих реках и в р. Карадарья выше Андижанского водохранилища оказались

близкими к нормальным значениям или немного выше их, а в августе — выше нормы. В р. Сох, в бассейне которой имеются значительные площади оледенения, средний расход за август оказался самым высоким за все годы наблюдений начиная с 1926 г. В сентябре, хотя температура воздуха была выше нормальной, расходы воды во всех среднегорных и высокогорных реках с небольшими колебаниями снижались. В р. Карадарья и ее левых притоках в середине месяца проходили небольшие паводки за счет интенсивных дождей. В бассейне этой реки в сентябре выпало 2—5 месячных норм осадков. Так, по гидрометеорологической станции Гульча в бассейне р. Куршаб зарегистрирован 61 мм осадков при норме 12 мм.

Влияние гидрометеорологических условий вегетационного периода на сток рек этого периода и анализ больших ошибок прогнозов

По данным о накоплении осадков в бассейнах рек за зимнее полугодие 1982/83 гг. запасах воды в снеге и высоте снега в первых числах апреля составлен основной прогноз средних расходов воды на вегетационный период 1983 г. Согласно этому прогнозу сток р. Амударья у г. Керки в сумме с расходами воды, забранной в Каракумский и Каршинский каналы, ожидался на 25%, рек Кашкадарьинского, Сурхандарьинского бассейнов и р. Зеравшан — на 10—20%, рек Нарын, Карадарья и ее притоков, р. Сырдарья и ее правых притоков — на 30—50% ниже нормы. Фактические средние за вегетационный период расходы воды в реках Кашкадарья, Сурхандарья и их притоках, Сырдарья и ее притоках оказались близкими к ожидавшимся, а в Амударье, Карадарье выше Андижанского водохранилища и ее левых притоках, Сохе и Исфайраме — существенно выше ожидавшихся; ошибки прогнозов превысили допустимые погрешности. В остальных реках, орошающих Узбекистан, средние расходы за вегетационный период оказались немного больше ожидавшихся по прогнозу (табл. 3).

Влияние на сток вегетационного периода и отдельные его месяцы сопутствующих гидрометеорологических условий рассмотрено на примере рек Сох, Зеравшан, Амударья, Карадарья и Чирчик, имеющих различные типы питания. Первые три реки относятся к рекам ледниково-снегового питания, а реки Карадарья и Чирчик — снегово-ледникового с преобладанием снегового [3, 4].

По исследованиям А. С. Щетинникова р. Сох имеет коэффициент оледенения 11,4%, доля стока с ледников в годовом стоке составляет 43% и за период май — сентябрь — 53,5%. Бассейн р. Сох слабо освещен наблюдениями за осадками, снежным покровом и другими гидрометеорологическими наблюдениями. Наиболее высоко расположенная гидрометстанция Хайдаркан (высота 1968 м) ведет наблюдения за осадками и температурой воздуха. С 1978 г. в бассейне этой реки проводятся не-

Таблица 3

Ожидавшиеся и фактические средние за вегетационный период и месяцы этого периода 1983 г. расходы воды основных рек Узбекистана, в % от нормы

Река	Пункт	Вегетационный период		Апрель		Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
		$Q_{пр}$	$Q_{ф}$	$Q_{пр}$	$Q_{ф}$	$Q_{пр}$	$Q_{ф}$	$Q_{пр}$	$Q_{ф}$	$Q_{пр}$	$Q_{ф}$	$Q_{пр}$	$Q_{ф}$	$Q_{пр}$	$Q_{ф}$
Амударья	выше Каракумского канала	75	99	73	73	69	106	72	76	70	87	83	121	78	93
Зеравшан	Дупули	91	101	97	80	80	120	95	84	83	98	88	117	93	100
Нарын	приток в Токтогульское водохранилище	72	85	92	84	72	83	90	73	85	91	83	99	82	87
Карадарья	приток в Андижанское водохранилище	51	98	82	68	58	108	84	99	87	110	102	110	113	123
Сох	Сарыканда	87	112	86	88	74	107	92	79	87	105	93	147	101	107
Чирчик	приток в Чарвакское водохранилище	61	70	60	60	63	64	58	64	57	73	72	87	81	84

Примечание. $Q_{пр}$ — прогнозируемый, $Q_{ф}$ — фактический расход.

регулярные наблюдения за высотой снега по дистанционным рейкам. В связи с этим прогнозы средних расходов на вегетационный период, на апрель и май составляются по зависимостям с суммами осадков за период с первого октября по момент составления прогноза по данным гидрометеорологических станций, расположенных в бассейнах соседних рек (гидрометстанции Дехауз и Искандеркуль в бассейне р. Зеравшан, Папан, Киргиз-Ата на северных склонах Алайского хребта). Зависимости эти имеют невысокую эффективность; по ним можно составлять консультации.

При составлении консультаций и прогнозов стока на вегетационный период, апрель и май для рек Сох, Зеравшан и Амударья осадки за октябрь 1982 г. взяты с коэффициентом 0,5 и за ноябрь с коэффициентом 0,7. Это было сделано, исходя из предположения, что часть обильных октябрьских и ноябрьских осадков выпала в жидком виде и, следовательно, не будет принимать участия в формировании стока вегетационного периода. В результате по Соху был опубликован прогноз среднего расхода на вегетационный период в 60 ± 5 м³/с, при фактическом расходе — 77,5 м³/с. Ошибка прогноза в 2,5 раза превысила допустимую погрешность (0,674 σ). Прогноз оправдался бы, если суммы осадков за октябрь и ноябрь принять без редуцированного коэффициента.

Как указывалось выше, средний расход за август в р. Сох оказался рекордным (175 м³/с при норме 118. Прогнозы средних месячных расходов в отделе гидрологических прогнозов Узбекского УГКС составляются за десять дней до начала месяца, на который дается прогноз. При составлении прогноза среднего расхода на август по имевшимся трем зависимостям получены расходы, близкие к нормальным. Ошибка прогноза в пять раз превысила допустимую погрешность. Было интересно оценить этот расход с учетом как предшествовавших, так и сопутствовавших гидрометеорологических условий.

Связи среднего расхода за август с предшествующими гидрометеорологическими элементами слабые. Наиболее тесной ($R=0,894$) оказалась зависимость, в которой предикторами взяты средняя высота снега на конец апреля по дистанционным рейкам 3, 5, 8, 13 и 15 в бассейне Матчи (H_{IV}), в зоне высот 3400—4100 м и средняя температура воздуха за август по гидрометстанции ледник Федченко ($t_{VIII \Phi}$)

$$Q_{VIII} = 0,14 H_{IV} + 12,4 t_{VIII \Phi} + 52.$$

Ошибка рассчитанного по этому уравнению среднего расхода (149 м³/с) стала существенно меньше, но все же в два раза превысила допустимую погрешность. В. Г. Коноваловым был рассчитан объем стока р. Сох за счет таяния ледников. В 1983 г. он равен 0,714 км³, т. е. всего на 18% превысил норму. Связи средних расходов за август, июль — август и июль — сентябрь, когда питание реки за счет таяния ледников должно быть наи-

Уравнение	R (r)	Расход, м³/с		Разность $\frac{\Delta Q}{\delta}$ м³/с	δ м³/с	$\frac{\Delta Q}{\delta}$
		расчитан- ный	фактиче- ский			
$Q_{\text{вер}} = 0,48 X_{X-III} D + 0,37 X_{X-III} U + 177$ (1)	0,686	293	277	-16	26,7	0,60
$Q_{\text{вер}} = 1,04 H_{III} + 125$ (2)	0,758	288	277	-11	26,7	0,41
$Q_{\text{вер}} = 0,36 X_{X-IV} D + 0,28 X_{X-IV} U + 165$ (3)	0,760	282	277	-5	26,7	0,19
$Q_{\text{вер}} = 1,10 H_{IV} + 110$ (4)	0,900	265	277	12	26,7	0,45
$Q_{\text{вер}} = 0,33 X_{X-IV} D + 0,26 X_{X-IV} U + 21,4 t_{V-IX}$ $D - 93$ (5)	0,797	290	277	-13	26,7	0,49
$Q_{\text{вер}} = 1,05 H_{IV} + 15,2 t_{V-IX} D - 72$ (6)	0,940	274	277	3	26,7	0,11
$Q_V = 0,30 X_{X-IV} D + 0,23 X_{X-IV} U + 18,8 t_V$ $D - 96$ (7)	0,819	182	180	-2	35,7	0,06
$Q_V = 0,76 H_{IV} + 21,9 t_V D - 144$ (8)	0,867	175	180	5	35,7	0,14
$Q_{VII} = 1,06 H_{IV} + 209$ (9)	0,688	358	451	93	45,2	2,06
$Q_{VII} = 0,90 H_{IV} + 28,2 t_{VII} \Phi + 119$ (10)	0,883	421	451	30	45,2	0,66

Примечание. $X_{X-III} D$; $X_{X-IV} D$; $X_{X-III} U$; $X_{X-IV} U$ — суммы осадков за октябрь—март и октябрь—апрель по гидрометстанциям Дехауз (D) и Искандеркуль (U); H_{III} и H_{IV} — средняя высота снега по дистанционным рейкам на конец марта и апреля в бассейне Матчи; $t_{V-IX} D$ — средняя температура воздуха за май—сентябрь по гидрометстанции Дехауз; t_V — то же за май; $t_{VII} \Phi$ — средняя температура воздуха за август по гидрометстанции ледник Федченко; ΔQ — разность между фактическим и расчитанным расходами; δ — допустимая погрешность прогноза, равная 0,674 δ .

большим, с рассчитанными объемами ледникового стока оказались очень слабыми. Не тесными оказались связи среднего расхода за вегетационный период и за август с рассчитанными И. Д. Шенцис по модели влагозапасами в бассейне р. Сох. Приходится предположить, что столь большой расход в августе сформирован не только за счет таяния ледников, но и значительных сезонных запасов снега в верхних зонах водосбора. В пользу этого предположения говорит и тот факт, что в августе 1984 г. температура воздуха в горах была еще более высокой (по гидрометстанции ледник Федченко на $2,0^{\circ}$ и по гидрометстанции Дехауз на $1,4^{\circ}\text{C}$ превысила температуру августа 1983 г.), а средний расход за август оказался равным $158 \text{ м}^3/\text{с}$ против 175 в августе 1983 г.

В 1984 г. очень жарким был не только август, но июнь и июль. Это способствовало стаиванию сезонного снега в верхних зонах бассейна еще до августа, из-за чего средние расходы воды в июне и июле 1984 г. были существенно выше нормы и расходов 1983 г.

Для р. Зеравшан доля стока за счет таяния ледников составляет 27,4 объема годового стока и 33,6% стока за май — сентябрь [4, 5]. В бассейне этой реки в зимнее полугодие осадков выпадает 34—49% годовой суммы, наибольшее количество их приходится на апрель и май. В зиму 1982/83 г. суммы осадков превысили на 20—39% норму, за летнее полугодие они были близки к норме. Прогноз среднего расхода на вегетационный период дан в размере $250 \pm 25 \text{ м}^3/\text{с}$, фактический оказался равным $277 \text{ м}^3/\text{с}$; ошибка прогноза составила 0,91 допустимой. Была сделана попытка уточнить зависимости стока за вегетационный период, май и август, когда ошибки прогнозов были большими. Для прогноза среднего расхода на вегетационный период получены уравнения (1), (2) в табл. 4. В этой же таблице приводятся рассчитанные по уравнениям и фактические средние расходы воды за вегетационный период 1983 г., разность между ними и сравнение с допустимой погрешностью прогноза.

Использование для прогнозов средних за вегетационный период расходов воды сведений об осадках апреля повышают тесноту связей (табл. 4, уравнения (3) и (4)); рассчитанные по ним расходы получились близкими к фактическим. При учете осадков последующих месяцев вегетационного периода зависимости не становятся теснее. Так, зависимость среднего расхода за вегетационный период с суммами осадков за октябрь — май имеет $r=0,736$, за октябрь — июнь $r=0,724$, а с суммами осадков за октябрь — сентябрь $r=0,613$. Теснота зависимостей повышается, если в уравнениях (3) и (4) табл. 4 в качестве второго предиктора взять среднюю температуру воздуха за май — сентябрь (уравнения (5) и (6) в табл. 4). Таким образом, рассчитанные по полученным уравнениям средние расходы воды за вегетационный период близки между собой и с фактическим;

наибольшая ошибка составила 0,60 допустимой погрешности (уравнения (1) — (6) в табл. 4).

Средний расход за май ($180 \text{ м}^3/\text{с}$) по р. Зеравшан оказался на 20% больше нормы и существенно больше ожидавшегося по прогнозу ($120 \pm 20 \text{ м}^3/\text{с}$). Если бы при составлении прогноза осадки за октябрь и ноябрь 1982 г. были взяты полностью, то ошибка прогноза не превысила бы допустимую погрешность. Зависимости для прогноза стока на май становятся значительно теснее, если суммы осадков взять с октября не по 20 апреля (срок составления прогноза), а по апрель включительно и температуру воздуха за май. Эти уравнения (7), (8) приводятся в табл. 4, рассчитанные по ним расходы близки к фактическому.

Средний расход за август также оказался больше нормы и существенно больше ожидавшегося по прогнозу (табл. 3). Зависимости этого расхода с предшествующими гидрометеорологическими элементами оказались недостаточно тесными. Самый высокий коэффициент корреляции ($r=0,688$) оказался для связи со средней высотой снега на конец апреля по дистанционным рейкам в бассейне р. Матчи. Рассчитанный по уравнению (9) табл. 4 средний расход воды получился ($358 \text{ м}^3/\text{с}$) существенно ниже фактического ($451 \text{ м}^3/\text{с}$) и близок к опубликованному $340 \pm 40 \text{ м}^3/\text{с}$. Если в уравнении кроме высоты снега на конец апреля в качестве второго предиктора учесть среднюю температуру воздуха за август, то рассчитанный по нему средний расход за май будет $421 \text{ м}^3/\text{с}$ и ошибка его составит 0,66 допустимой (уравнение (10) в табл. 4).

Большие ошибки, превысившие допустимые погрешности, допущены в прогнозах средних расходов воды на вегетационный период, май и август и по р. Амударья. При составлении прогноза среднего расхода на вегетационный период в зависимостях с суммами осадков за октябрь — март, как и для рек Сох и Зеравшан, осадки за октябрь 1982 г. взяты с коэффициентом 0,5, а за ноябрь 0,7. Фактический расход воды ($2860 \text{ м}^3/\text{с}$) существенно превысил прогнозную величину ($2300 \pm 300 \text{ м}^3/\text{с}$), ошибка прогноза в 1,46 раза превысила допустимую погрешность. Прогноз оправдался, если бы не вводились коэффициенты к осадкам за октябрь и ноябрь.

Для Амударьи, как и для Зеравшана, учет в зависимостях осадков апреля повышает их тесноту. Так, если коэффициент корреляции уравнения

$$Q_{\text{вер}} = 1,67 \frac{X_{X-\text{III}}}{\bar{X}_{X-\text{III}}} + 968, \quad (1)$$

в котором суммы осадков взяты за октябрь — март, равен 0,850, то для уравнения с суммами осадков за октябрь — апрель

$$Q_{\text{вер}} = 182 \frac{X_{X-\text{IV}}}{\bar{X}_{X-\text{IV}}} + 764 \quad (2)$$

$r=0,882$. Учет осадков последующих месяцев не повышает коэффициент корреляции: для уравнения

$$Q_{\text{вер}} = 201 \frac{X_{X-V}}{\bar{X}_{X-V}} + 570, \quad (3)$$

в котором суммы осадков взяты за октябрь — май, $r=0,881$, а для уравнения

$$Q_{\text{вер}} = 185 \frac{X_{X-IX}}{\bar{X}_{X-IX}} + 733, \quad (4)$$

в котором суммы осадков взяты за октябрь — сентябрь, $r=0,828$.

В уравнениях (1) — (4) осадки взяты по гидрометеорологическим станциям: Куляб, Хорог, Сарез и Джаушангоз в бассейне р. Вахш; Душанбе, Дагана и Рамит в бассейне р. Кафирниган. Осадки выражены в модульных коэффициентах, т. е. отношении сумм осадков за какой-либо период к их нормам за этот период.

Существенно повышается коэффициент корреляции уравнения, если, кроме сумм осадков за октябрь — май, в качестве второго предиктора взять среднюю температуру воздуха за летние месяцы (июнь — август).

Такое уравнение

$$Q_{\text{вер}} = 229 \frac{X_{X-V}}{\bar{X}_{X-V}} + 236 t_{VI-VIII \Phi} \quad (5)$$

имеет коэффициент корреляции $R=0,967$. Здесь $t_{VI-VIII \Phi}$ — средняя температура воздуха за июнь — август по гидрометстанции ледник Федченко.

Таблица 5

Рассчитанные и фактические средние за вегетационный период 1983 и 1977 гг. расходы воды р. Амударья

Предиктор	$r (R)$	1983 г.				1977 г.				$\delta, \text{ м}^3/\text{с}$
		расчи- танный	факти- ческий	ΔQ_1	$\frac{\Delta Q_1}{\delta}$	расчи- танный	факти- ческий	ΔQ_2	$\frac{\Delta Q_2}{\delta}$	
$X_{X-III} : \bar{X}_{X-III} \text{ (1)}$	0,850	2730	2860	128	0,29	2630	2633	3	0,01	447
$X_{X-IV} : \bar{X}_{X-IV} \text{ (2)}$	0,882	2844	2860	16	0,04	2515	2633	118	0,26	447
$X_{X-V} : \bar{X}_{X-V} \text{ (3)}$	0,881	2784	2860	76	0,17	2568	2633	65	0,15	447
$(X_{X-V} : \bar{X}_{X-V}), t_{VI-VIII} \text{ (4)}$	0,967	2780	2860	80	0,18	2821	2633	-188	-0,42	447

Из табл. 5 видно, что все рассчитанные расходы близки между собой и с фактическими; наибольшая разность между фак-

ф тическим и рассчитанным расходом составила 0,29 допустимой погрешности. Возник вопрос, правомерно ли брать в высокогорном бассейне, каким является, к примеру, бассейн р. Амударья, осадки за октябрь с коэффициентом 0,5 и тем более уменьшать на 30% осадки за ноябрь.

а Были проведены аналогичные расчеты среднего расхода вегетационного периода по уравнениям (1) — (3), (5) для года, в котором осадки предшествовавшего октября были бы не мень-

Таблица 6

Сумма осадков в бассейне р. Амударья за разные периоды 1982—1983 гг. и 1976—1977 гг. в % от нормы

Бассейн реки	Станция	Высота, м	Октябрь		Октябрь—март		Апрель—сентябрь	
			1982 г.	1976 г.	1982—1983 гг.	1976—1977 гг.	1983 г.	1977 г.
Вахш	ледн. Федченко	4169	126	298	87	76	129	80
	ледн. Абрамова	3837	157	199	105	90	125	70
	Сарыташ	3155	121	137	65	88	112	93
	Алтын-Мазар	2782	117	217	96	78	176	110
Пяндж	Джаушангоз	3410	33	50	55	55	51	66
	Сарез	3300	117	183	95	99	63	96
	Хорог	2075	150	875	104	120	160	85
Кафирниган	Рамит	1180	338	282	85	70	136	52
	Дагана	975	454	500	73	91	100	50

ше, чем в октябре 1982 г. Таким оказался октябрь 1976 г., когда осадки в бассейне Амударьи были еще более значительными. Суммы осадков за октябрь — март 1976—1977 гг. и 1982—1983 гг. оказались близкими (табл. 6). Октябрьские осадки 1976 г. составили 20—50% суммы их за октябрь — март 1976—1977 гг., а в 1982 г. — 10—30% суммы осадков за такой же период 1982—1983 гг.

В летнее полугодие 1983 г. осадков выпало больше, чем в 1977 г. По температурным условиям летнее полугодие 1983 г. мало отличалось от летнего полугодия 1977 г. В общем же гидрометеорологические условия, предшествовавшие и сопутствовавшие половодью 1983 г. были более благоприятными, чем в 1977 г.

Средний за вегетационный период 1977 г. расход воды, рассчитанный по тем же уравнениям, по которым рассчитывались расходы 1983 г., приведен в табл. 5. Из нее видно, что наибольшая разница между фактическим и рассчитанным расходами составила 188 м³/с, или 0,42 допустимой погрешности. Таким образом, для рек, значительные площади водосборов которых на-

ходятся в высокогорье, осадки за октябрь, а тем более за ноябрь необходимо учитывать полностью. В бассейне таких рек выпадающие в октябре жидкие осадки охватывают небольшие площади водосборов и не формируют больших паводков.

По р. Амударья помимо среднего вегетационного не оправдались прогнозы средних расходов на май и август. В обоих случаях фактические расходы оказались значительно больше ожидавшихся по прогнозу. На май ожидался расход 1800 ± 300 м³/с, фактически был 2780 м³/с; ошибка его в 2,3 раза превысила допустимую. Точность прогноза существенно повысится, если осадки за октябрь и ноябрь принять без редуцированных коэффициентов. В этом случае ошибка прогноза превысит допустимую погрешность в 1,4 раза.

На сток мая повлияли обильные осадки, выпавшие в конце апреля, т. е. после составления прогноза, и сформировавшие большие паводки на реке в начале мая, а также высокая температура воздуха в большей половине мая, вызвавшая интенсивное таяние снега и паводки на реке. Если в уравнении для прогноза среднего расхода на май взять осадки с октября по апрель включительно ($r=0,818$), то рассчитанный по уравнению

$$Q_v = 118 \frac{X_{x-IV}}{\bar{X}_{x-IV}} + 289$$

расход будет 2435 м³/с; ошибка его составит 0,81 допустимой погрешности. Если же в этом уравнении в качестве второго предиктора учесть еще температуру воздуха за май, то рассчитанный по уравнению ($r=0,896$)

$$Q_v = 219 \frac{X_{x-IV}}{\bar{X}_{x-IV}} + 185 t_{vc} - 670,$$

где t_{vc} — средняя температура воздуха за май по гидрометстанции Сарыташ, средний расход будет равен 2658 м³/с.

Для прогноза средних месячных расходов воды летнего периода в практике УГКС республик Средней Азии и особенно Узбекской ССР кроме изложенных выше применяются связи типа

$$\tilde{Q} = a \frac{Q}{t + t_0} + b,$$

где $\tilde{Q}$ — прогнозируемый средний месячный расход, например за июль; Q — расходы за прошлое время, например за май — июнь; t — средняя температура воздуха по высокогорной станции за тот же период, что и Q ; a , b , t_0 — постоянные коэффициенты.

Рассчитанный по аналогичной зависимости средний расход за август ожидался 3000 ± 300 м³/с, фактический был 4380 м³/с; ошибка прогноза в 3,2 раза превысила допустимую. Причиной

большой ошибки прогноза явилась исключительно высокая температура воздуха, наблюдавшаяся в горах в третьей декаде июля и весь август. Если в уравнении для прогноза среднего расхода на август учесть, кроме расходов воды и температуры воздуха за предшествующий период, еще среднюю температуру воздуха за третью декаду июля и три декады августа, то рассчитанный по уравнению ($R=0,864$)

$$Q_{VIII} = 3,0 \frac{Q_{V-VIII}}{t_{V, VI, 2 \text{ д } VIII \text{ с}}} + 372 t_{3 \text{ д } VII, VIII \text{ ф}} + 127$$

расход будет 4277 м³/с, ошибка его составит 0,25 допустимой погрешности. Здесь Q_{V-VIII} — средний расход за май, июнь и июль; $t_{V, VI, 2 \text{ д } VIII \text{ с}}$ — средняя температура воздуха за три декады мая, июня и две декады июля по гидрометстанции Сарыташ; $t_{3 \text{ д } VII, VIII \text{ ф}}$ — средняя температура воздуха за третью декаду июля и три декады августа по гидрометстанции ледник Федченко.

Не оправдались прогнозы среднего расхода притока воды в Андижанское водохранилище на р. Карадарья на вегетационный период и май. В процессе анализа больших ошибок этих прогнозов рассмотрены условия формирования половодья на р. Карадарья выше Андижанского водохранилища и Чирчик выше Чарвакского водохранилища.

Ледниковое питание Карадарьи составляет до 5%, а дождевое 1,73% годового объема стока [4]. Доля ледникового стока основных составляющих р. Чирчик — Чаткала и Пскема составляет 4,5 и 11% годового объема стока, дождевое питание Чирчика — 1,39% [4]. Таким образом, основным источником питания этих рек являются снегозапасы, накапливающиеся в бассейнах рек в осенне-зимне-весенний период. В бассейне р. Карадарья в среднем за зимнее полугодие выпадает 40—55% годовой суммы осадков, наибольшее количество их приходится на апрель — май. В бассейне р. Чирчик на зимнее полугодие приходится 50—70% годовой суммы осадков; наибольшее количество их выпадает в марте — апреле. Зависимости средних расходов за вегетационный период рек снегово-ледникового питания с суммами осадков за зимнее полугодие довольно тесные (для притока воды в Андижанское водохранилище $r=0,814$, для притока в Чарвакское водохранилище $r=0,884$).

В зимнее полугодие 1982/83 гг. в бассейнах Карадарьи и Чирчика осадков выпало на 20—50% меньше нормы, причем 20—30% их пришлось на октябрь. Запасы воды в снеге в конце января 1983 г. в бассейне р. Карадарья составили 50% нормы и 35% снегозапасов на этот же срок 1982 г.; в феврале они уменьшились и к концу марта в районе производства снегомерной съемки снег сошел. В конце марта температура воздуха в бассейне р. Карадарья начала повышаться и в первой декаде апреля на 2—4°C превышала норму. Повышение температуры сопровождалось слабым увеличением расходов воды в реке. Только

выпадавшие часто осадки вызывали более значительное увеличение расходов (рис. 2). Месячная сумма осадков за апрель 1,4—2 раза превысила норму. Тем не менее средний расход притока воды в водохранилище за апрель составил всего 67% нормы. В мае при сравнительно теплой погоде продолжали выпадать интенсивные осадки, особенно значительные в бассейне р. Тар. (табл. 1). Они сформировали значительные паводки в Карадарье и ее притоках; 19 мая прошел наибольший годового расход, превысивший норму на 200 м³/с. Средний расход за май также превысил норму (278 м³/с против 257) и ожидавшийся по прогнозу (табл. 3).

Прогноз среднего за май расхода воды был дан в размере 150 ± 30 м³/с по зависимости с суммой осадков за период с октября по 20 апреля, осредненной по данным шести гидрометстанций в бассейнах притоков Карадарьи. Ошибка прогноза в 1,68 раза превысила допустимую. Если в уравнении для прогноза стока на май учесть осадки третьей декады апреля и мая, то ошибка прогноза составит 0,21 допустимой погрешности.

Интенсивные осадки в бассейне р. Карадарья выпадали и в последующие месяцы вегетационного периода, суммы их за этот период в 1,3—1,8 раза превысили нормы. Гидрометстанция Гульча (бассейн р. Куршаб) за вегетационный период зафиксировала рекордную сумму осадков за весь период наблюдений. Поэтому расходы воды в Карадарье лишь в отдельные периоды значительных похолоданий опускались ниже нормы, в остальное время они были близкими к ней или выше (рис. 2).

В бассейне р. Чирчик обильные осадки выпадали только в мае, а за период апрель — сентябрь они были примерно на 30% меньше нормы (табл. 1 и 2). Вследствие этого в р. Чирчик и его притоках больших паводков не было и расходы воды за весь вегетационный период не достигали нормы (рис. 1). Прогноз среднего расхода притока воды в Андижанское водохранилище на вегетационный период в размере 90 ± 20 м³/с, а в Чарвакское — 200 ± 30 м³/с. При этом осадки за октябрь 1982 г. взяты с коэффициентом 0,65 — доли площадей бассейнов Карадарьи и Чирчика, на которых осадки в октябре выпадали в твердом виде. Предполагалось, что обильные октябрьские осадки до высот 2600—2800 м выпадали в жидком виде, сформировали дождевые паводки и, следовательно, не участвовали в формировании половодья 1983 г.

Для выяснения влияния на сток вегетационного периода осадков апреля и мая были получены уравнения и по ним рассчитаны средние расходы притока воды в водохранилища на этот период 1983 г. (табл. 7).

Из табл. 7 видно, что учет осадков апреля и мая улучшил прогноз притока в Андижанское водохранилище и практически не повлиял на качество прогноза притока в Чарвакское водохранилище. Таким образом, очень большие осадки, выпавшие в вегетационный период в бассейне р. Карадарья, компенсировали

Рассчитанные и фактические средние расходы притока воды в Андижанское и Чарвакское водохранилища за вегетационный период 1983 г.

Предиктор	r	Расход, м ³ /с		Разность ΔQ , м ³ /с	$\frac{\Delta Q}{\delta}$	δ м ³ /с
		рассчи- танный	факти- ческий			
Андижанское водохранилище						
$X_{X-III} : \bar{X}_{X-III}$	0,814	88	172	84	1,72	48,9
$X_{X-IV} : \bar{X}_{X-IV}$	0,922	143	172	20	0,59	48,9
$X_{X-V} : \bar{X}_{X-V}$	0,935	169	172	3	0,06	48,9
Чарвакское водохранилище						
$X_{X-III} : \bar{X}_{X-III}$	0,884	200	229	29	0,43	66,8
$X_{X-IV} : \bar{X}_{X-IV}$	0,958	222	229	7	0,10	66,8
$X_{X-V} : \bar{X}_{X-V}$	0,964	240	229	—11	—0,16	66,8

значительный недобор их в холодное полугодие, поэтому средний расход притока воды в водохранилище за этот период оказался существенно выше ожидавшегося по прогнозу и близким к нормальному. В бассейне р. Чирчик в летнее полугодие 1983 г. осадки были небольшими, и средний расход притока воды в Чарвакское водохранилище был близким к ожидавшемуся по прогнозу и на 30% ниже нормы.

Известно, что зависимости стока за вегетационный период или за половодье становятся более тесными, если в них кроме сумм осадков за холодное полугодие или запасов воды в снеге к началу половодья учесть еще и площадь бассейна, покрытую снегом. Располагая сведениями о площадях заснеженности по данным искусственных спутников Земли [1, 2], мы получили уравнения для прогнозов средних за вегетационный период расходов воды Карадарьи, Чирчика (приток воды в Андижанское и Чарвакское водохранилища) и Амударьи. Предикторами в них взяты произведения площади заснеженности (P_c) на сумму осадков за холодное полугодие. Сведения о площадях заснеженности имелись за 1968 — 1983 гг. Для этих же лет были получены расчетные уравнения без учета площадей заснеженности (табл. 8).

Сопоставление рассчитанных по этим уравнениям средних расходов за вегетационный период 1983 г. с фактическими расходами показало следующее: введение в уравнение регрессии в качестве предиктора площади заснеженности повысило коэффи-

Средний за вегетационный период расход воды

Уравнение	r	Расход, м³/с		Разность ΔQ, м³/с	$\frac{\Delta Q}{Q}$	δ м³/с
		расчи- танный	фактиче- ский			
р. Карадарья						
$Q_{\text{вер}}=2,17 P_c \frac{X_{X-III}}{\bar{X}_{X-III}} + 39$	$0,982 \pm 0,007$	105	172	67	1,37	48,9
$Q_{\text{вер}}=209 \frac{X_{X-III}}{\bar{X}_{X-III}} - 31$	$0,913 \pm 0,037$	111	172	61	1,25	48,9
р. Чирчик						
$Q_{\text{вер}}=0,928 P_c \frac{X_{X-III}}{\bar{X}_{X-III}} + 123$	$0,962 \pm 0,013$	241	229	-12	0,18	6,8
$Q_{\text{вер}}=0,975 \frac{X_{X-III}}{\bar{X}_{X-III}} + 96$	$0,959 \pm 0,014$	230	229	-1,0	0,01	11
р. Амударья						
$Q_{\text{вер}}=2,78 P_c \frac{X_{X-III}}{\bar{X}_{X-III}} + 1269$	$0,886 \pm 0,039$	3260	2860	-400	-1,04	385
$Q_{\text{вер}}=212 \frac{X_{X-III}}{\bar{X}_{X-III}} + 443$	$0,883 \pm 0,040$	2683	2860	177	0,46	11

коэффициент корреляции лишь в бассейне р. Карадарья. В бассейнах Чирчика и Амударьи введение этого предиктора практически не изменило R ; расчет притока воды в Андижанское и Чарвакское водохранилища, выполненный с учетом площади заснеженности, не повысил точности прогноза, а для Амударьи дал худшие результаты.

Анализ гидрометеорологических данных, на основании которых составлялись прогнозы стока на вегетационный период, а также сопутствующих гидрометеорологических условий позволил сделать следующие выводы:

1. Гидрометеорологические условия вегетационного периода в бассейнах рек могут вносить существенные коррективы в прогнозы стока рек этого периода.

2. В ряде случаев большие ошибки прогнозов получились из-за отсутствия регулярных наблюдений за снегозапасами в верхних зонах бассейнов рек (бассейны рек Сох, Исфайрам и др.).

3. При обильных осадках октября, составляющих более 30% суммы их за холодное полугодие, к вопросу о введении редуцированного коэффициента следует подходить дифференцированно. Для бассейнов рек ледниково-снегового питания (Сох, Зеравшан и др.) этот коэффициент вводить не следует. Для бассейнов рек преимущественно снегового и снегово-ледникового питания (Чирчик, Карадарья и др.) этот коэффициент необходимо вводить с учетом хода температуры воздуха, расходов воды в реках, снегозапасов и т. д.

4. Ноябрьские суммы осадков следует вводить в уравнения регрессии без редукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джорджио М. В., Ситникова М. В., Царев Б. К. Использование спутниковых снимков для изучения динамики и оценки вегетационного расхода Амударьи. — Труды ГГИ, 1980, вып. 276, с. 30—34.
2. Чернов В. Ю. Опыт использования данных о высоте сезонной снеговой границы (на основе спутниковой информации) для гидропрогнозов рек Средней Азии. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1984, вып. 105 (186), с. 3—14.
3. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. — Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 691 с.
4. Щеглова О. П. Питание рек Средней Азии. — Изд-во СамГУ; Ташкент, 1960. — 243 с.
5. Щетинников А. С. Оледенение Гиссаро-Алая. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 118 с.

С. ГЕРАСИМОВ

СОВМЕСТНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО СТОКА РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

При исследованиях экстремального стока широкое распространение получил генетический подход, при котором отыскиваются отдельные обособленные циклы процессов. При наличии нескольких суперпонированных процессов с размещением их наступления и развития (например, серия паводков, образующих многовершинный паводок или временные перерывы маловодья), чтобы сделать главный процесс генетически однородным, вводится ряд условных ограничений, либо экстраполируется главный процесс. Это, бесспорно, облегчает статистическую обработку вследствие редуцирования числа совокупности до минимума (например, для максимального стока получают как минимум две совокупности — максимальных расходов воды и объемов паводков). Однако введение условности, или экстраполяции, и самостоя-

тельное рассмотрение каждой совокупности уменьшает точность определения эмпирических распределений экстремального и годового стока. В ряде случаев при гидрологических расчетах появляется необходимость в более полном описании экстремального стока за различные интервалы времени. Например, при гидравлических расчетах водосливов водохранилищ по мере нарастания зарегулированности стока нарастает значение объемов паводков, что требует исследовать заранее максимумы объемов и гидрографы максимального стока (паводков или половодий) за более длинный интервал, чем продолжительность основного паводка; при использовании незарегулированного речного стока для разных водохозяйственных целей необходимо знать вероятные значения максимального или минимального стока с различными продолжительностями.

Требования потребителей гидрологической информации этого же рода могут быть удовлетворены с помощью полного статистического анализа экстремального стока при различной разрезке во времени. Пока чисто статистический подход в этой области применяется ограниченно, главным образом для определения кривых продолжительности средних суточных расходов, при которых, однако, не учитывается календарная последовательность процесса речного стока. Совместный статистический анализ большого числа совокупностей экстремальных величин стока за разные интервалы времени увеличивает информационную базу, позволяет исследовать внутренние эмпирические зависимости, этим повышает надежность результатов. С этой точки зрения его можно причислить к методам уточнений эмпирических статистических распределений, систематизированных в публикации автора [1]: удлинение гидрологических рядов, композиция из случайных составляющих и обобщенные районные зависимости и распределения. В таком же аспекте здесь проводится совместный статистический анализ экстремального стока с различными продолжительностями.

Суть исследований состоит в определении статистических закономерностей изменений параметров экстремального стока и его распределений с нарастанием ограничивающего интервала от до 365 сут и выражается следующими основными пунктами.

1. Выбор числа и длины интервалов времени в рамках годового гидрологического цикла

Целесообразно выбирать экстремумы за целые сутки, чтобы использовать имеющуюся гидрологическую информацию в виде ежегодников или массивов на технических носителях. Для плавного выражения изменений стока от 0 до 365 сут целесообразно использовать следующий минимум интервалов времени, установленный опытным путем: для максимального стока — 1, 3, 10, 30, 90 сут и для минимального — 1, 10, 30, 60, 120 сут. При автоматизированных вычислениях на основе банков данных на тех-

нических носителях и с помощью программы для ЭВМ можно применять большее, чем указанное, количество интервалов. Особенно полезно использование интервалов длительностью менее суток для уточнения быстро изменяющихся максимумов на малых реках.

2. Выбор экстремальных значений стока

Для каждого интервала времени τ выбираются экстремумы сумм последовательных значений ежесуточных расходов воды $\left(\sum_0^{\tau} Q_i\right)_{\text{экстр}}$, что особенно легко делается механизированным способом, и составляются ряды из средних экстремальных расходов воды $(\bar{Q}_{\max, \tau} \text{ и } \bar{Q}_{\min, \tau})$, включая и значения моментов $Q_{\max} = \bar{Q}_{\max, 0}$, $Q_{\min} = \bar{Q}_{\min, 0}$ (табл. 1). Таким образом для каждого года получается статистическое описание экстремумов как функции продолжительности $\bar{Q}_{\text{экстр}, \tau} = f(\tau)$ (строки табл. 1), а для каждого интервала τ — соответствующий вариационный ряд (столбцы табл. 1) $\bar{Q}_{\text{экстр}, \tau} = \varphi(M)$ (M — номер года).

Отыскание максимумов надо выполнять в рамках гидрологического года, ограниченного двумя последовательными годовы-

Таблица 1

Выборки максимального стока с различными продолжительностями,
р. Янтра у с. Чолаковци

Гидрологический год	Q_m^{τ} м ³ /с	$\bar{Q}_m^{\tau, 1}$ м ³ /с	$\sum_1^3 Q_{mi}$ м ³ /с	W_3 10 ⁶ м ³	$\bar{Q}_m^{\tau, 3}$ м ³ /с	$\bar{Q}_m^{\tau, 10}$ м ³ /с	$\bar{Q}_m^{\tau, 30}$ м ³ /с	$\bar{Q}_m^{\tau, 90}$ м ³ /с	$\bar{Q}_m^{\tau, 365}$ м ³ /с
1935/36	232	84,5	228	19,7	76,0	35,6	21,4	10,6	6,23
1936/37	203	100	175	15,2	58,4	31,6	24,7	15,9	9,69
1956/57	930	819	1128	97,5	376	140	55,0	28,0	18,3
1982/83	460	114	189	16,3	62,9	38,0	19,9	13,9	8,90

ми, наиболее глубоко выраженными маловодиями, а минимумов — между двумя последовательными годовыми максимумами половодья. Эти пределы годовых циклов должны быть постоянными, чтобы соблюдать постоянство наиболее длинного интервала $\tau = 365$ (366) сут. Однако неустойчивость и неустановленность сезонных циклов в некоторых районах или в отдельные годы затрудняет одновременное выполнение двух условий — постоянство годового цикла и ограничивающих его фаз (маловодья или многоводья), особенно при больших интервалах. Поэтому, а также из-за практической целесообразности, максимальный внутренний интервал надо ограничивать примерно 120 сут.

3. Статистическая обработка экстремумов

Статистическую обработку можно сделать в двух направлениях: по интервалам (строки табл. 1) и по годам (столбцы табл. 1). Для каждого конкретного года строки табл. 1 полностью характеризуют изменения экстремумов. Здесь можно получить еще только дополнительные производные характеристики, кроме $\bar{Q}_{\max}(\tau)$ и $\bar{Q}_{\min}(\tau)$ за $\tau=0-365$, а именно: объемы экстремумов $W_{\max}(\tau)=\bar{Q}_{\max}(\tau)\tau$ и $W_{\min}(\tau)=\bar{Q}_{\min}(\tau)\tau$, а также крайние значения расходов воды в конце интервала τ — $Q_{\max}(\tau)$ и $Q_{\min}(\tau)$, определяемые как производные суммарных объемов $Q_{\max}(\tau)=dW_{\max}(\tau)/d\tau$ и $Q_{\min}(\tau)=dW_{\min}(\tau)/d\tau$, или простым способом из данных среднесуточных расходов как минимальные $Q_{\max}(\tau)=\min Q_{\max}(\tau)$ или максимальные значения $Q_{\min}(\tau)=\max Q_{\min}(\tau)$ на концах интервалов τ . Эти кривые продолжительности экстремумов значительно изменяются из года в год, но наиболее общая их закономерность состоит в том, что они являются либо монотонно нарастающими ($\bar{Q}_{\min}(\tau)$, $Q_{\min}(\tau)$, $W_{\max}(\tau)$, $W_{\min}(\tau)$), либо монотонно убывающими ($\bar{Q}_{\max}(\tau)$, $Q_{\max}(\tau)$), при этом кривые $W_{\max}(\tau)$ и $W_{\min}(\tau)$ имеют обратные изгибы, а монотонность $Q_{\max}(\tau)$ и $Q_{\min}(\tau)$ не является абсолютной.

В многолетнем плане статистическая обработка состоит в статистическом анализе совокупности вариационных рядов с различными продолжительностями с целью уточнения совместно их статистических распределений и состоит из двух этапов: аппроксимации каждого эмпирического распределения в отдельности и общего согласования всех эмпирических распределений.

Оптимальная аппроксимация эмпирических распределений подходящими теоретическими законами является проблемой значимой в достаточной мере, чтобы рассматривать ее в отдельности. Здесь отметим лишь некоторые основные моменты.

До сих пор обычно применялся следующий подход: ранжирование значений вариационного ряда; вычисление эмпирических обеспеченностей ранжированных членов и стандартных статистических параметров (среднего $\bar{x}$, коэффициентов вариации C_v и асимметрии C_s), а также и других вспомогательных параметров в зависимости от метода; подбор подходящего теоретического закона распределения вероятностей, с помощью которого аппроксимируется эмпирическое распределение: задавая разные значения статистических параметров теоретического распределения и отыскивая максимальное соответствие теоретического и эмпирического распределений графическим или аналитическим способом. Автором предложен новый подход и разработан метод оптимальной аналитической аппроксимации эмпирических распределений с помощью ЭВМ, объединяющий положительные качества графических и аналитических методов на основе трансформации координат (вероятностей — с помощью аналитической обратной функции нормального распределения и квантилей — с

помощью логарифмической анаморфозы) и определения регрессионных функций трансформированных координат [2].

Согласование эмпирических распределений экстремального стока с различными продолжительностями должно учесть плавность и некоторую единообразность изменений всех квантилей и статистических параметров эмпирических распределений с изменением интервала τ . В этом смысле здесь можно сформулиро-

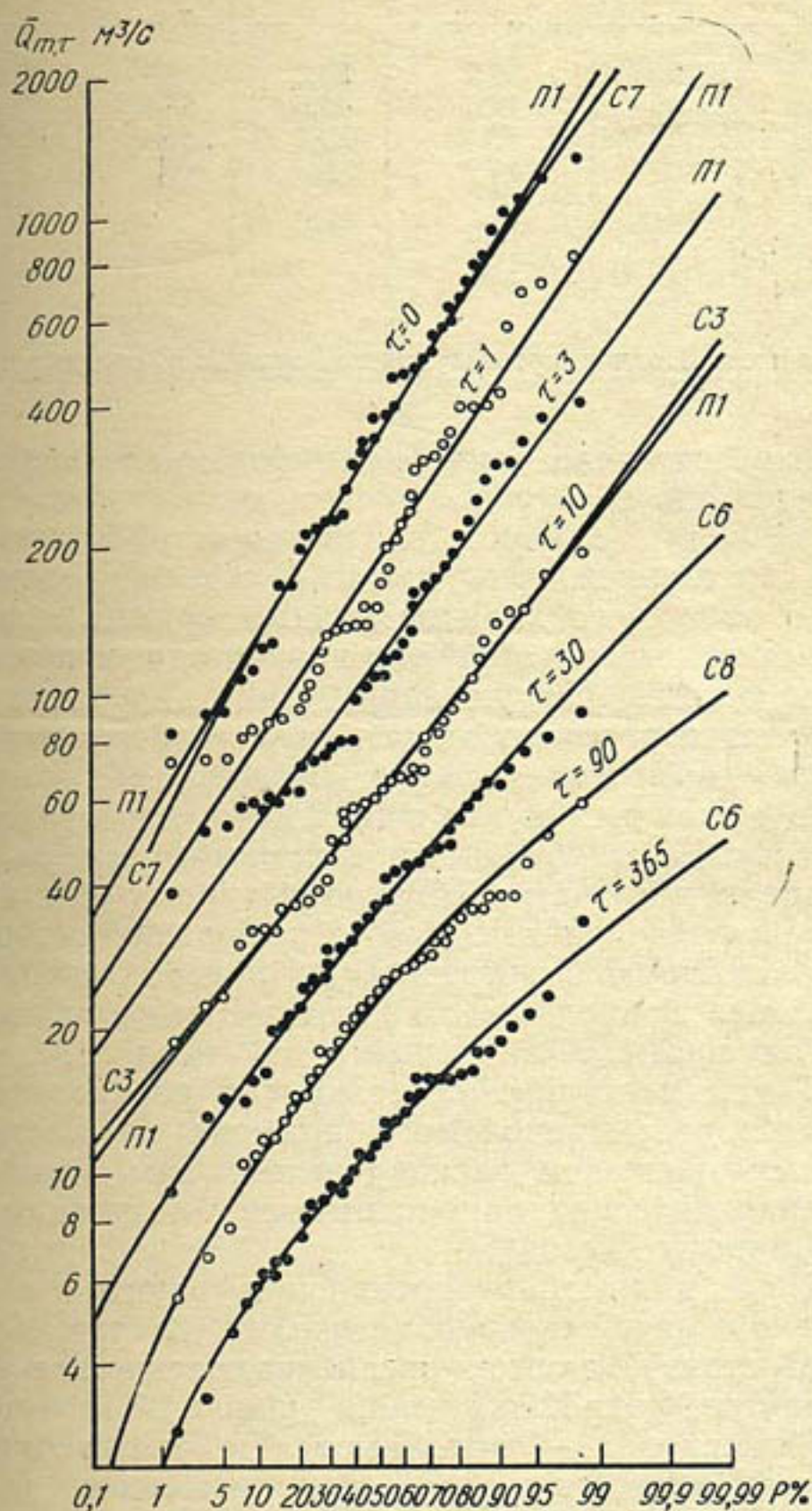


Рис. 1. Эмпирические распределения максимального стока Q_m с различными продолжительностями τ (сут) по р. Янтра у с. Чолаковци

№ п/п	$\tau=0$		$\tau=1$		$\tau=3$	
	П	С	П	С	П	С
1	58,2	56,5	33,2	54,0	15,6	23,8
2	44,7	48,6	44,3	33,9	22,9	17,8
3	21,1	87,1	23,3	46,4	9,61	22,7
4		44,9		46,4		22,7
5		43,0				
6		42,0				
7		41,4				
8						

Примечание. Подчеркнуты принятые значения средних квадратических

вать следующие правила: аппроксимированные кривые распределений за различные интервалы ни в коем случае не могут пересекаться, не могут слишком сходиться и расходиться и вообще между ними должен быть плавный переход; большие изгибы и отклонения от общего хода отдельных кривых можно считать случайными ошибками в общей совокупности кривых, и их не обязательно исправлять, следуя общей закономерности изменений. Эти правила легче всего соблюдать при графических построениях, располагая совместно графики эмпирических распределений, но их можно выполнить и аналитическими способами. Особенно удобным является разработанный автором метод аналитической аппроксимации с помощью ЭВМ, по которому для каждого эмпирического распределения получается большой набор аналитических аппроксимирующих кривых, из которых надо просто подобрать наиболее подходящие, начиная с оптимальных. Это показывается на примере с данными из табл. 1.

На рис. 1 даются эмпирические кривые распределений максимального стока рассматриваемого примера на клетчатке вероятностей асимметрических распределений. Там проведены и оптимальные аналитические аппроксимации, полученные на ЭВМ по вышеуказанному методу.

В табл. 2 для каждого распределения, начиная с $\tau=0$ (мгновенные значения максимального стока) и кончая $\tau=365$ (годовые значения стока), даются среднеквадратические ошибки основных вариантов, сопровождающих процесс оптимизации при двух основных моделях — полиномов (П) и степенных функций (С). С учетом неустойчивости и немонотонности полиномов с показателями больше единицы в программе заложено вычисление полиномов высших степеней только как средство для определения свободного члена, значение которого потом присваивается свободным членам степенной функции. В программе пре-

регрессионных зависимостей

$\tau=10$		$\tau=30$		$\tau=90$		$\tau=365$	
П	С	П	С	П	С	П	С
4,80	5,17	3,32	5,58	2,34	4,86	1,19	2,23
4,86	4,78	1,37	2,97	1,59	2,33	1,19	1,24
4,79	4,75	1,35	2,86	0,99	31,69	0,78	1,02
4,07	7,41	1,38	6,72	0,82	6,30	0,53	2,79
	4,75		2,80		1,49		1,00
			2,75		1,41		1,00
					1,36		
					1,34		

ошибок, при которых значения функций оптимальны.

дусмотрено вести вычисления до заданной степени полинома (в примере до 5 и максимально до 10), если ошибка соответствующей степени аппроксимации при повышении показателя степени полиномов уменьшается, и обязательно до третьей степени независимо от изменения ошибки. Далее следует самостоятельная оптимизация степенной функции с выбором значения свободного члена в зависимости от предшествующего его изменения. Так, например, из табл. 2 видно, что при $\tau=0$ производится всего семь шагов оптимизации степенной функции, а вычисление полиномов прекращается на третьей степени, при которой ошибка нарастает ($\sigma=871$) по сравнению с предыдущей ($\sigma=48,6$). На седьмом шаге ошибка уменьшается по сравнению с предыдущей меньше чем на 2%, и оптимизация останавливается.

Для распределений максимального стока при τ , равном одним суткам, полином первой степени — П1 имеет ошибку меньше ошибки оптимального варианта степенной функции С2 ($\sigma=33,2$ и $\sigma=33,9$) и является оптимальным вариантом. Аналогичен результат и при $\tau=3$, а при $\tau=10$ разница в пользу степенной аппроксимации незначительна (4,75 напротив 4,8) и предпочтен более простой вариант — полином П1, тем более что и для предыдущих интервалов оказываются оптимальными варианты П1. Для остальных распределений (при $\tau \geq 30$) оптимальные варианты степенных аппроксимаций значительно лучше вариантов П1 и оставляются при окончательном выборе. Для максимальных расходов ($\tau=0$) вариант П1 имеет сравнительно большую ошибку ($\sigma=58,2$), чем оптимальный вариант степенной функции С7 ($\sigma=41,4$), но он выбран в качестве расчетного с учетом следующих распределений и исходя из соображений страховки. На рис. 1 нанесены оба конкурирующие варианты П1 и С7. То же самое сделано и при $\tau=10$, где вариант П1 дает расчетные квантили (при $P > 90\%$) меньше квантилей оптимально-

го варианта степенной функции СЗ, но он лучше согласовывается с изменениями совокупностей распределений и поэтому принят в качестве окончательного.

4. Обобщение статистических параметров экстремального стока в зависимости от интервалов времени

Это последний этап уточнения статистических распределений и их параметров, на котором строятся эмпирические зависимости параметров от продолжительности интервалов.

В табл. 3 представлены некоторые результаты расчетов рассматриваемого примера. Стандартные статистические параметры $\bar{Q}_{cp}$, C_v , C_s определены методом моментов и методом трех опорных квантилей логнормального распределения сглаженных эмпирических кривых аппроксимированных аналитически. Поскольку все

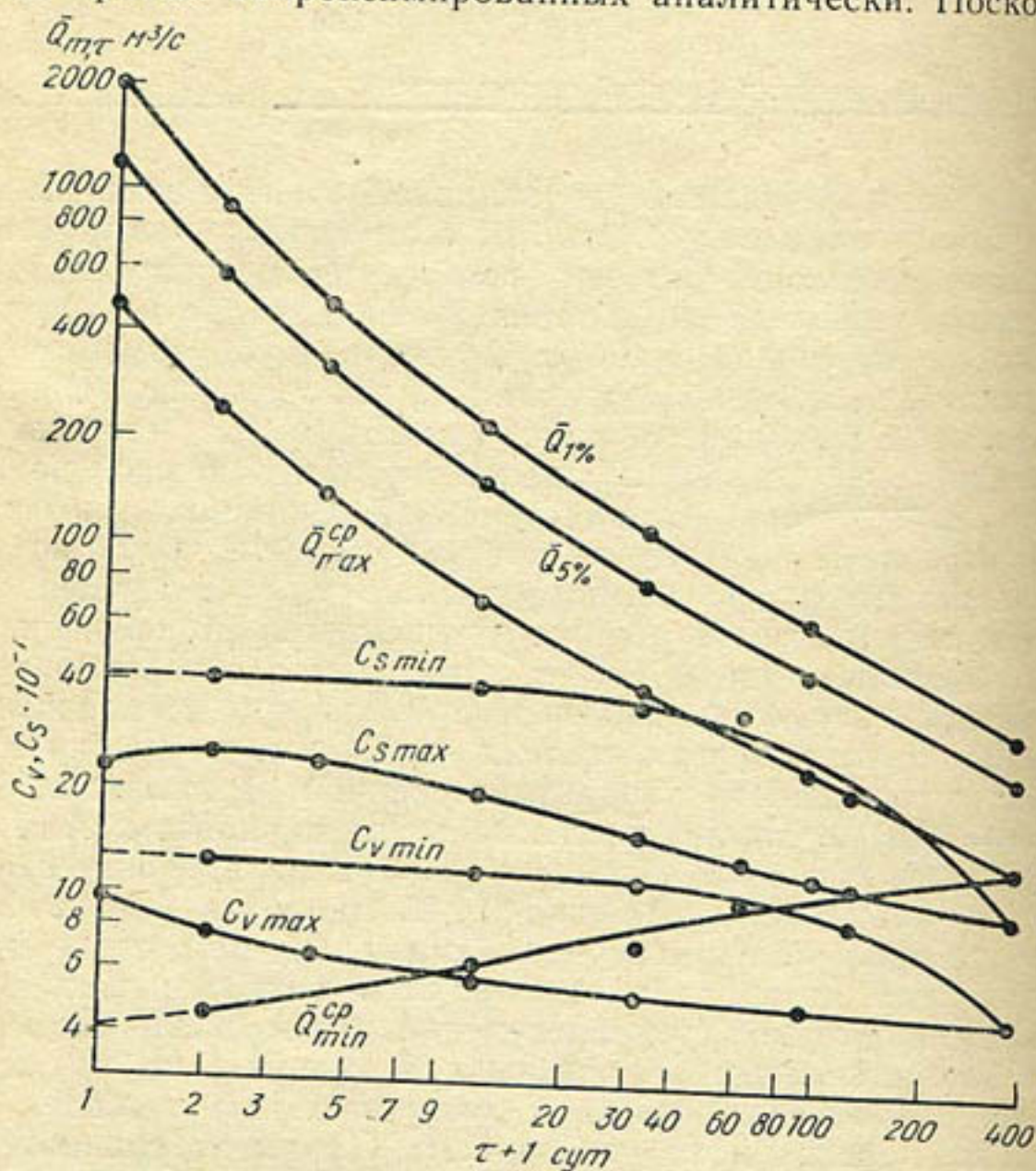


Рис. 2. Обобщенные кривые продолжительности экстремального стока и его параметров по р. Янтра у с. Чолаковци

расчетные квантили получены аппроксимирующими распределениями, на практике вполне достаточно строить зависимости квантилей $\bar{Q}_p$ от интервала τ , как показано на логарифмической клетчат-

ке рис. 2 для обеспеченностей превышения 1 и 5%. Стандартные статистические параметры в этом случае имеют вспомогательную роль. Там же нанесены стандартные статистические параметры логнормального распределения сглаженных кривых обеспеченностей максимального и минимального стока в зависимости от τ .

Из рис. 2 видно, что эмпирические зависимости квантилей $\bar{Q}_p$ от интервалов τ $Q_p = f(\tau)$ являются очень тесными, почти функциональными и нет необходимости их исправлять. На их основе можно получить обобщенные кривые продолжительности экстремального стока (объемов $W_p(\tau) = \bar{Q}_p(\tau)\tau$ и расходов $Q_p(\tau) = dW_p(\tau)/d\tau$), которые можно использовать непосредственно в гидрологических расчетах различного типа. Что касается коэффициентов вариации и асимметрии максимального и минимального стока, из рис. 2 следует, что их надо немного корректировать, чтобы получить более плавные линии.

В заключение можно сделать следующие основные выводы.

1. Выборки экстремальных значений стока с различными продолжительностями увеличивают информационную базу для более

Таблица 3

Параметры эмпирических распределений максимального стока

Параметр	Интервал времени τ , сут						
	0	1	3	10	30	90	365

Квантили выбранных аппроксимированных распределений, м³/с

$Q_{90\%}$	1139	566	313	151	81,3	47,8	24,0
$Q_{99\%}$	1891	893	474	222	113	62,4	31,1
$Q_{99,9\%}$	3338	1491	754	340	160	82,4	40,7
$Q_{99,99\%}$	5329	2273	1104	483	213	102	50,1

Стандартные параметры по методу моментов

$\bar{Q}$	427	235	139	69,7	39,1	24,4	12,5
C_v	0,708	0,747	0,657	0,576	0,477	0,460	0,463
C_s	1,17	1,58	1,28	1,29	0,711	0,727	1,00

Стандартные параметры по методу трех опорных ординат

$\bar{Q}$	441	234	138	70,5	39,9	24,7	12,6
C_v	0,961	0,752	0,671	0,603	0,551	0,502	0,486
C_s	2,3	2,6	2,3	2,0	1,6	1,1	1,0

объективного статистического анализа экстремального и годового стока.

2. Совместный статистический анализ экстремального стока различными продолжительностями основывается на рассмотрении речного стока как единого процесса, не отрывая экстремальные и годовые величины стока, и позволяет оценивать каждую кривую распределений исходя из оптимальности всей совокупности распределений.

3. Совместный статистический анализ дает возможность уточнять параметры эмпирических распределений экстремального и годового стока на двух этапах: по-первых, при непосредственной аппроксимации каждого распределения и, во-вторых, при исследовании эмпирической закономерности изменений отдельных квантилей и стандартных статистических параметров при нарастании интервала времени в рамках года.

4. Особенно удобным и эффективным на первом этапе является метод автора аналитической оптимальной аппроксимации эмпирических распределений с помощью ЭВМ, потому что дает большой набор аналитических аппроксимирующих кривых распределений, из которых можно выбрать наиболее подходящие и оптимальные для всей совокупности распределений.

5. Вся процедура анализа позволяет получить уточненные обобщенные кривые продолжительности экстремального стока, которые можно использовать в дальнейшем для гидрологических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов С. О методах повышения надежности эмпирических распределений гидрометеорологических величин. Международный симпозиум по специфическим аспектам гидрологических расчетов для водохозяйственного проектирования. — Л.: Гидрометеониздат, 1979.
2. Маринов И. и др. Гидрологичен наръчник. Ч. 1. Д. И./Маринов И., Мандаджиев Д., Герасимов С., Печинов Д. — София: Техника, 1979.

Г. Е. ГЛАЗЫРИН, Х. К. ТАШМЕТОВ

ОБЪЕКТИВНЫЙ МЕТОД РАСЧЛЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФА ТВЕРДОГО СТОКА ГОРНОЙ РЕКИ

Среди основных проблем горной гидрологии формирование твердого стока и, в частности, генезис взвешенных наносов приобретают в настоящее время большое народнохозяйственное значение. Важность расчленения стока взвешенных наносов на генетические составляющие не исчерпывается чисто познавательным интересом, но имеет несомненное практическое значение, в частности для суждения о дифференциальном смыве с поверхности горных бассейнов.

Исходя из особенностей механизма воздействия различных видов осадков на поверхность склонов и их участия в сносе материала, суммарный смыв с горных бассейнов рационально подразделять на смыв, обусловленный выпадением жидких осадков (дождевой), смыв, вызванный передвижением в пределах горных склонов талых снеговых вод (снеговой), и смыв с гляциальной области (ледниковый). Поскольку мутность подземных вод при выходе их на дневную поверхность пренебрежимо мала, необходимость введения подземной составляющей стока взвешенных наносов отпадает. Вклинившиеся в русла основной гидрографической сети подземные воды вместе с водами других источников питания принимают участие в эродирующей деятельности постоянных водотоков, обуславливая русловой размыв.

Поскольку каждый из видов водной эрозии имеет свою высотную область распространения, генетический анализ является ключом к познанию высотной поясности проявления водной эрозии. Зависимости поясного стока и мутности от высоты местности могут служить основой для картирования стока взвешенных наносов в горных бассейнах. Количественные оценки компонентов выноса мелкозема различными реками позволяют более целенаправленно вести дальнейшие исследования эрозионных процессов.

Наиболее совершенным из имеющихся в настоящее время методов генетического расчленения гидрографа твердого стока является метод, предложенный О. П. Щегловой [5, 6] и названный ею методом вертикального расчленения хронологического графика мутности. Этот способ требует построения комплексного графика, на который должны быть нанесены ежедневные мутности воды, осадки и температура воздуха. Однако он имеет ряд существенных недостатков: во-первых, срезку пиков дождевых паводков можно произвести по-разному, поскольку эти пики не всегда четко прослеживаются на гидрографе, во-вторых, не учитывается распределение площадей водосбора и оледенения по высотным зонам, в результате чего можно допустить грубые ошибки при выделении ледниковой и снеговой составляющих. Из сказанного следует и еще один, в настоящее время, пожалуй, главный недостаток — необъективность метода, практическая невозможность его автоматизации.

Предлагаемый ниже метод базируется на хорошо известной методике Ю. М. Денисова расчета поступления воды в горный бассейн [1, 2]. Принимается, что источников поступления три: жидкие осадки, талая снеговая и талая ледниковая вода, если в бассейне имеется оледенение. Исходной информацией кроме распределения площади бассейна по высотным зонам ($f(z)$) служат среднесуточные значения температуры воздуха ϑ и суточные суммы осадков x на некоторой базовой высоте (как правило, высоте имеющейся в бассейне метеостанции). Этот метод неоднократно описан, и мы не будем на нем здесь останавливаться. Отметим лишь, что необходимым промежуточным эта-

пом расчета является определение изменения во времени снежных запасов в высотных зонах ($S(z, t)$).

Рассмотрим поступление твердого материала в отдельной высотной зоне в течение суток. Примем, что дождевая составляющая твердого стока пропорциональна количеству жидких осадков в зоне, выпадающих на неледниковую и бесснежную поверхность:

$$m_{дi} = \begin{cases} a_1 x_{дi} (f_i - f_{лi}) & \text{при } S = 0, \\ 0 & \text{при } S > 0, \end{cases}$$

где $x_{дi}$ — суточная сумма жидких осадков в i -й зоне, f_i — площадь этой зоны, $f_{лi}$ — площадь оледенения в ней, a_1 — неизвестный пока коэффициент, S — водность снега в этой зоне. Иными словами, принимается, что дождевая составляющая поступления твердого материала с i -й зоны пропорциональна количеству жидких осадков.

Снеговая составляющая поступления твердого материала в i -й зоне пропорциональна поступлению талой воды и дождевой, если в зоне имеется снежный покров:

$$m_{ci} = \begin{cases} a_2 (P_i + x_{дi}) f_i & \text{при } P_i + x_{дi} > 0, S > 0, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Здесь P_i — интенсивность таяния, a_2 — искомый коэффициент пропорциональности.

В случае, если в бассейне имеются ледники, ледниковая составляющая будет равна

$$m_{ли} = \begin{cases} a_3 P_{ли} f_{ли} & \text{при } S = 0, \\ 0 & \text{при } S > 0, \end{cases}$$

где $P_{ли}$ — интенсивность таяния льда, a_3 — искомый коэффициент.

Суммарное поступление твердого материала в русловую сеть будет равно

$$m = \sum_i (m_{ди} + m_{ci} + m_{ли}) + m_p. \quad (1)$$

Здесь m_p — поступление твердого материала за счет руслового размыва. Эта величина зависит от твердости пород, в которых заложено русло, динамических характеристик потока и других факторов [3, 5]. Однако все они сильно меняются по длине реки, и это заставляет остановиться на простейшем варианте расчета — принять m_p пропорциональным расходу воды в замыкающем створе:

$$m_p = a_4 Q.$$

Итак, мы получили функцию поступления твердого материала в поток (I), определяемую четырьмя неизвестными параметрами ($a_1 \dots a_4$). Отметим, что при этом сделаны еще два допущения: во-первых, параметры одинаковы для всего бассейна (всех высадочных зон), во-вторых, они постоянны во времени. Это, конечно, сильные допущения. Ясно, что какая-то часть поступающего твердого материала доходит до замыкающего створа быстро, другая отлагается в русле и смывается позже, т. е. происходит трансформация функции поступления в функцию стока, в общем случае отличающаяся, естественно, от трансформации жидкого стока, методы расчета которой довольно хорошо разработаны [1, 1]. Очевидно, что даже для сравнительно небольших рек поступившая на водосбор в течение суток вода (а вместе с ней и твердый материал) не успеет за эти же сутки покинуть бассейн.

I вариант расчета. Увеличим периоды с суток до декад в расчете на то, что при этом трансформацию поступления бассейном можно не учитывать. Вернее, мы примем, что вся вода и твердый материал, поступившие в течение некоторой декады на водосбор, пройдут через створ (с учетом коэффициента стока) за ту же декаду. Тогда, рассчитав декадные суммы поступления воды разного происхождения (дождевой, снеговой и ледниковой), подберем такие $a_1 \dots a_4$, которые наилучшим образом (например, по метрике наименьшей суммы квадратов отклонений истинного ($Q_R(t)$) и вычисленного ($\hat{Q}_R(t)$) гидрографов твердого стока) описывали бы годовой ход твердого стока. В зависимости от того, интересует ли нас общий твердый сток или только взвешенный, мы можем подобрать различный набор параметров.

Такие расчеты были выполнены для твердого стока рек Ахангаран (пост Турк) и Варзоб (Дагана). Эти бассейны хорошо известны среднеазиатским гидрологам, так как в каждом из них имеется сеть метеостанций и снегомерных маршрутов, что позволяет надежно определить параметры поступления воды, а сток регистрируется в течение нескольких десятков лет. Результаты расчетов оказались неутешительными: параметры $a_1 \dots a_4$ (для Ахангарана без a_4) неустойчивы, иногда даже становятся отрицательными. Объяснение этому — сильная скоррелированность расхода воды Q с суммарным поступлением (для Ахангарана, например, коэффициент корреляции в среднем для трех лет равен 0,7), приводящая к неустойчивости решения системы линейных уравнений, к которой сводится в нашем случае метод наименьших квадратов.

II вариант расчета. В связи со сказанным оказывается трудно выделить русловую составляющую твердого стока. Кстати, предложенный в работе [5] метод также нельзя считать удачным, так как, с одной стороны, сколько-нибудь надежно провести нижнюю огибающую зависимости мутности от расходов воды трудно (см. рис. 21 на с. 112 упомянутой работы), с другой, учитывая значительную корреляцию между поступлением и стоком для пен-

тад, очевидно, что в правой части этого графика положение даже самых нижних точек определяется не только размывом большими расходами. Кроме того, в русле происходит постоянная смена размыва и отложения твердого материала как во времени так и по длине потока. По этой причине мы сочли возможным в уравнении (1) отбросить m_p . Теперь это уравнение имеет три параметра для рек, в бассейнах которых имеется оледенение, и два (a_1 и a_2) — для прочих. Система уравнений стала значительно более устойчивой.

Однако выявился еще один факт. Оказалось, что даже декадное осреднение недостаточно для того, чтобы не учитывать трансформацию поступления воды Q_n в сток Q : в отдельные декады поступление отсутствует, а сток продолжается. Это потребовало учета трансформации.

III вариант расчета. Будем рассчитывать трансформацию с помощью однообъемной модели [1]:

$$T \frac{dQ}{dt} + Q = kQ_n, \quad (2)$$

где T и k — параметры.

Использование простейшей модели в данном случае оказывается достаточным, так как, во-первых, уже сделанные нами допущения весьма грубы, а во-вторых, в расчеты будет внесена корректировка.

Найдем обычным методом наименьших квадратов параметры T и k [1]. Теперь допустим, что эти параметры трансформации одинаковы для всех составляющих жидкого стока: дождевой (Q_d), снеговой (Q_c) и ледниковой (Q_l). Зная декадные объемы поступления воды того или иного происхождения, можно рассчитать как бы независимые гидрографы стока каждой из составляющих. Их сумма, естественно, дает общий гидрограф. Примем, что каждая из составляющих жидкого стока имеет свою постоянную мутность ρ . Тогда, зная декадные величины Q_d , Q_c и Q_l , можно методом наименьших квадратов подобрать такие ρ_d , ρ_c и ρ_l , что гидрограф суммарного рассчитанного твердого стока

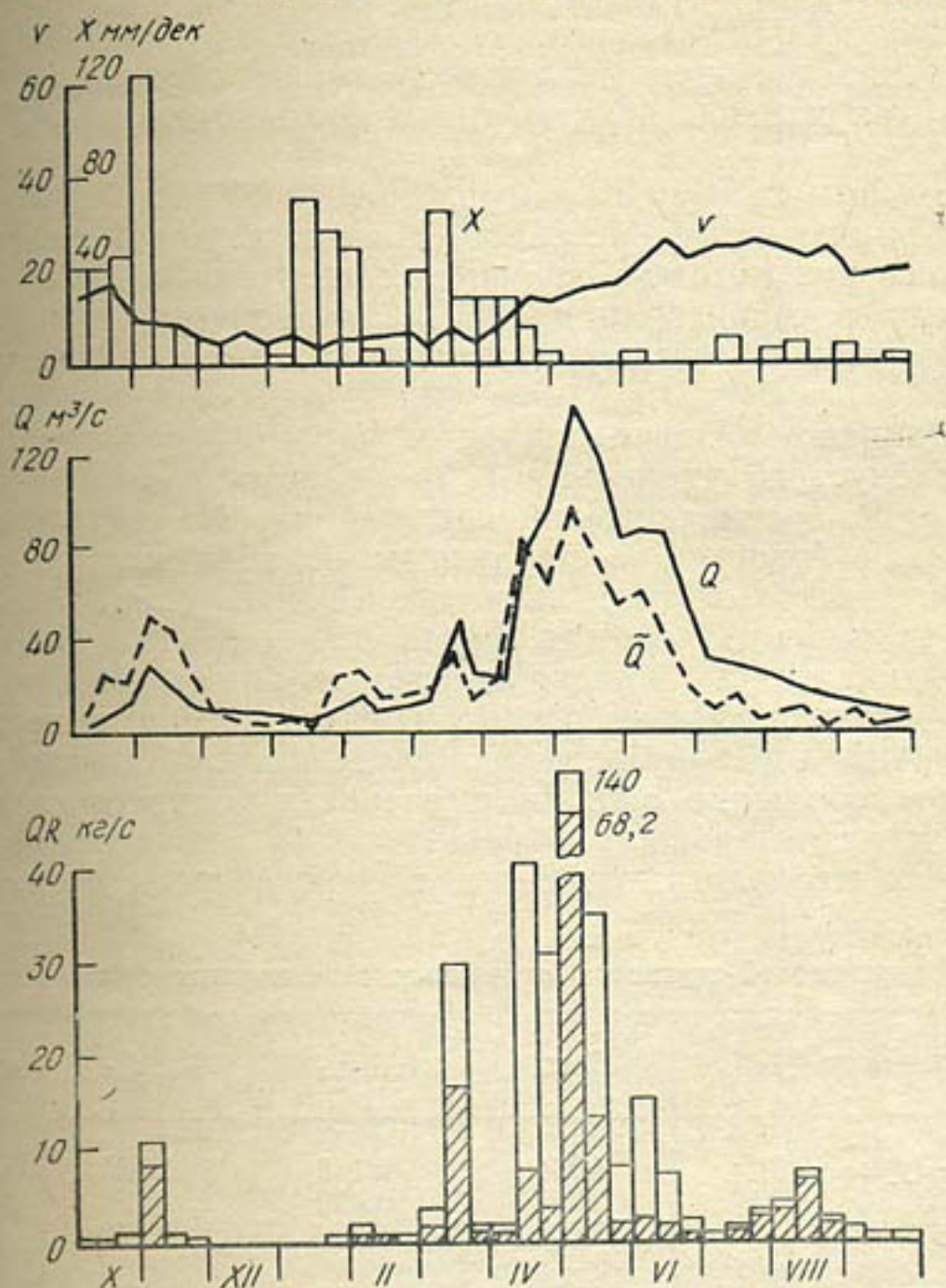
$$\tilde{Q}_R(t) = \rho_d Q_d(t) + \rho_c Q_c(t) + \rho_l Q_l(t) \quad (3)$$

будет наилучшим образом описывать истинный гидрограф этого стока. А зная эти параметры и составляющие жидкого стока, легко рассчитать величины составляющих твердого стока для каждой декады.

Так как суммарный вычисленный гидрограф твердого стока не слишком хорошо описывает истинный, выполним корректировку следующим образом: будем рассчитывать долю каждой из найденных составляющих взвешенного стока в суммарном. Например, доля дождевой составляющей, согласно уравнению (3), равна $k_d(t) = \rho_d Q_d(t) / \tilde{Q}_R(t)$. Будем считать, что произведение ис-

тинной суммарной величины взвешенного стока соответствующей декады $Q_q(t)$ на $k_d(t)$ даст истинную дождевую составляющую взвешенного стока.

Опишем подробнее последовательность расчетов по этому варианту. С помощью модели поступления рассчитываются суточные изменения снегозапаса и поступление дождевых, талых снеговых и ледниковых вод в каждой высотной зоне. Суммирование



Среднедекадные значения температуры воздуха (v) и декадные суммы осадков (x) на высоте 1 км в бассейне р. Ахангаран, истинные (Q) и вычисленные ($\tilde{Q}$) среднедекадные расходы воды на посту Турк, среднедекадные расходы взвешенных наносов (QR). Заштрихована дождевая, не заштрихована — снеговая составляющие

ем по зонам получаем величины этих составляющих в целом для бассейна для каждого суток. Затем рассчитываем декадные величины составляющих. По известному стоку реки и рассчитан-

ному поступлению находим параметры T и k в уравнении (2). С помощью этих параметров рассчитываем частные (дождевой, снеговой и ледниковый) гидрографы по уравнению (2), где в качестве Q_n берутся известные декадные значения составляющих поступления. Рассчитываются ρ_d , ρ_s и ρ_l такие, чтобы рассчитанный гидрограф стока взвешенных наносов наилучшим образом (в смысле наименьшей суммы квадратов отклонений) оппосывал истинный. Выполняется корректировка найденных составляющих стока взвешенных наносов таким образом, чтобы их сумма внутри каждой декады точно соответствовала измеренной величине.

Расчеты по каждому из алгоритмов (вариантов) были выполнены для двух речных бассейнов. На рисунке в качестве примера показаны результаты расчленения гидрографа стока взвешенных наносов р. Ахангаран в 1965/66 гидрологическом году. Там же показаны и изменения в течение года определяющих факторов.

Представляют интерес значения параметров ρ , являющихся, как это следует из уравнения (3), средними мутностями составляющих стока различного происхождения. Из таблицы видим, что если для Ахангарана параметры от года к году довольно устойчивы (настолько же, насколько и параметры трансформации [1]) и разумны, то для Варзоба это не так. Значения ρ вообще отрицательны. Какова же причина? По нашему мнению, это вызвано ненадежным расчетом снегозапасов в верхних зонах бассейна, где сосредоточено оледенение. Как известно, относительно небольшие ошибки в расчетах водности снега могут привести к значительным погрешностям в определении продолжительности его залегания, а это, в свою очередь, сильно повлияет

Значения среднегодовой мутности отдельных генетических составляющих стока

Река—пост	Год	ρ_d кг/м ³	ρ_s кг/м ³	ρ_l кг/м ³
Ахангаран—Турк	1964	0,143	0,162	—
	1965	0,470	0,074	—
	1966	0,924	0,439	—
Варзоб—Дагана	1964	1,170	0,464	—8,40
	1965	0,613	0,272	—0,32
	1966	3,040	0,867	—7,01

ет на продолжительность таяния льда и в конечном итоге на рассчитанную ледниковую составляющую жидкого стока. Таким образом, предложенный метод требует надежного расчета снегозапаса в зонах, где расположены ледники, что не всегда удается сделать. Следовательно, пока метод работает хорошо лишь для рек, бассейны которых свободны от оледенения.

Недостатком методики остается неучет русловой составляющей. Вероятно, ее нельзя рассчитывать с помощью одного коэффициента, как это мы попытались сделать в варианте I, так как в разные гидрологические сезоны происходит не только размыв русла, но и отложение в нем материала, снесенного со склонов. Видимо, для оценки руслового размыва следует воспользоваться какой-то дополнительной информацией, «внешней» по отношению к описанной модели. К сожалению, в качестве таковой не удастся применить оценку размывающей способности потока [3], так как последняя сильно меняется во времени и по территории даже небольшого бассейна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровикова Л. Н. и др. Математическое моделирование процесса стока горных рек/Боровикова Л. Н., Денисов Ю. М., Трофимова Е. Б., Шенцис И. Д. — М.: Гидрометеоздат, 1972. — 150 с. (Труды САНИГМИ. вып. 61 (76)).
2. Боровикова Л. Н., Коновалов В. Г. Модель формирования стока в бассейне со значительным оледенением. — МГИ, 1980, вып. 39, с. 49—55.
3. Караушев А. В. Теория и методы расчета речных наносов. — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — 270 с.
4. Кучмент Л. С. Математическое моделирование речного стока. — Л.: Гидрометеоздат, 1972. — 191 с.
5. Щеглова О. П. Мутность воды и фазы водного режима горных рек. — Изв. АН СССР. Сер. географ., 1963, № 1, с. 91—95.
6. Щеглова О. П. Формирование стока взвешенных наносов и смыв с горной части Средней Азии. — М.: Гидрометеоздат, 1972. — 226 с. (Труды САНИГМИ. Вып. 60 (75)).

В. Р. КОМАРОВА

О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОЩАДИ ВОДНОГО СЕЧЕНИЯ НА РЕКАХ С ДЕФОРМИРУЕМЫМИ РУСЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ р. АМУДАРЬЯ)

В условиях острого дефицита водных ресурсов вопросы точности учета стока приобретают большое значение. Особенно актуальны они в бассейне р. Амударьи, где учет стока чрезвычайно осложняется неустановившимся режимом и сильно деформирующимся руслом. Отрицательное влияние этих факторов на качество учета стока воды известно уже давно, однако изучено оно недостаточно. Исследованиями ГГИ в 1970—1972 гг. накоплен большой методический опыт и разработан новый подход к оценке точности измерения, при котором необходимо учитывать особенности каждого створа — характеристики его пропускной способности и конкретные условия производства работ.

За прошедшие 10 лет произошли большие изменения в гидрографии нижнего течения реки: построено два крупных водохра-

нилища (Тюямуюнское и Тахнаташское) и несколько каналов. Створ Тюямуюн перенесен на 8 км вниз по течению, пост Чатлы закрыт, а в 1975 г. открыт новый — Кипчак. Таким образом, изменились условия измерения и в связи с этим появилась необходимость оценки их точности на вновь открытых постах.

Производство гидрометрических работ на р. Амударья связано с рядом трудностей. Река обладает большими скоростями течения, значительной боковой эрозией, широкой поймой. Наличие в русле легкоподвижных песчаных образований вызывает сильную деформацию, плановое его смещение и, как следствие, косоструйность и многорукавность течения. Возникает необходимость неоднократных переносов гидростворов. Все эти причины отражаются на точности измерения расходов воды. Исследования, проведенные экспедицией ГГИ, САНИИ и УзУГКС в створах нижнего течения позволили выявить источники погрешностей и дать им оценку.

Для выбора рациональных методов учета стока требуется изучение особенностей реки в целом, а также выяснение морфометрических и гидравлических характеристик на участках гидростворов. С этой целью в июне — августе 1983 г. были проведены русловые съемки на участках створов Кипчак и Ниетбайтас и организованы дополнительные уровенные наблюдения на участке гидроствора Кипчак (2 км).

Уклон водной поверхности является одной из важнейших гидравлических характеристик, определяющих пропускную способность русла. Шесть дополнительных реек, установленных по длине реки, позволяют рассматривать участки различной длины. Уклоны сильно варьируют как по длине, так и во времени. Между отдельными рейками они изменяются довольно плавно, что указывает на изменение условий протекания, особенно морфометрических. Расстояние между рейками при определении уклонов должно быть не менее 1 км, но даже и в этом случае уклоны внутри этого участка могут иметь различное значение. Как известно, основным требованием при определении верхней и нижней точек измерения должен быть морфологически однородный участок, при совпадающих фазах русловых форм. На р. Амударья это условие не может быть выполнено из-за постоянно меняющихся русловых форм. Материалы экспедиции 1983 г. подтвердили вывод ГГИ [2] о том, что увеличение расстояния между уклонными постами не гарантирует повышение точности определения уклонов из-за сильных деформационных искажений уровней.

Измерение расходов воды на р. Амударья нередко производят на разных створах, иногда значительно удаленных от водпоста, уровни же при этом измеряются только на основном водпосту. Уровни на гидростворе часто не идентичны уровню водпоста, особенно в случае, если участки постов находятся в разных фазах морфологических деформаций. Поэтому отнесение расходов воды, измеренных на створах, значительно удаленных

от водпоста, к его уровню вносит погрешности, изменяющиеся во времени.

При определении уклонов на небольших расстояниях большое влияние оказывает точность отсчета уровня по рейке, так как изменение уровней соизмеримо с точностью отсчета. В этом случае, казалось бы, наблюдения теряют гидравлическую определенность. Однако устойчивые отрицательные уклоны в отдельные периоды на некоторых участках нельзя рассматривать только как систематические погрешности в отсчете уровней.

Для анализа уклонов привлекались материалы русловых съемок (рис. 1). По имеющейся информации, несмотря на недостаточность точек измерения уровней воды на рейках III, V, VI, VII, IX, можно проследить синхронность хода уклонов водной поверхности и рельефа дна. Особенно четко это прослеживается в съемке 24 июня 1983 г., когда река текла одним руслом. Несколько нарушается такая зависимость между VIII и X поперечинами при съемках 14 июля и 11 августа 1983 г. из-за образования протоки, находящейся в начале участка гидроствора. Таким образом, можно сделать вывод о том, что уклоны водной поверхности, а следовательно и уровни, зависят от мезоформ дна даже на небольших участках (порядка 200 м). Чем дальше расположен гидроствор от водпоста, тем более отличны гидравлические условия протекания потока и тем неопределеннее становится метод отнесения расхода, измеренного в гидростворе, к уровню водпоста.

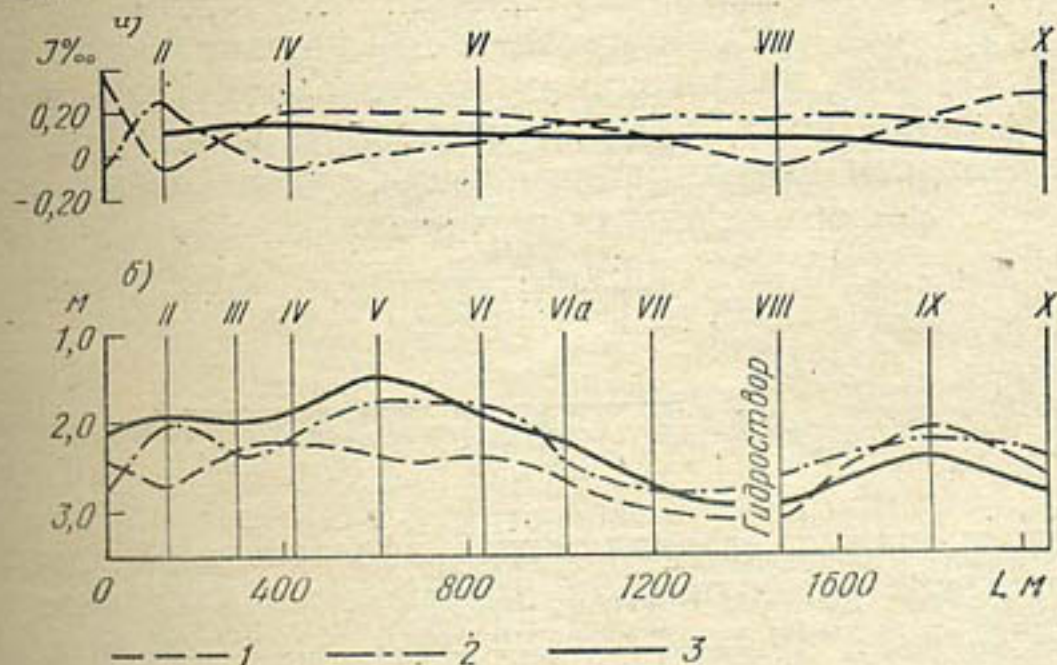


Рис. 1. Уклоны водной поверхности (а) и продольный профиль (б) Амударьи у п. Кипчак за различные даты съемок:

1 — 24 VI 1983, $H=610$; 2 — 14 VII 1983, $H=631$; 3 — 11 VIII 1983, $H=648$ см

Для качественной и количественной оценки мезоформ дна можно использовать русловые съемки при различной водности реки, в результате которых получены характеристики русла (площадь, объем деформации и площадь зеркала на участках попе-

речников) на даты съемок и между ними. Несмотря на ограниченный объем информации можно отметить ряд интересных фактов. На обоих створах наблюдается значительное изменение отметок дна на всем участке независимо от водности. Участки подверженные сильной деформации со значительными объемами намывов и размывов, чередуются с участками, на которых отмечаются деформации небольшие по величине или с постоянным знаком. Следовательно, на р. Амударья в условиях сильной деформации русла существуют небольшие участки, на которых деформации невелики и где возможно гидрометрическое измерение стока с наибольшей точностью.

Грядовое строение дна и прохождение гряд через створ измерения отражается на качестве измерения как скоростей течения, так и площадей водного сечения. Ниже рассматриваются только вопросы точности определения площади водного сечения.

Глубина русла в створах р. Амударья измеряется обычно наметкой, а при глубинах более 5 м — грузом. Координирование местоположения промерного судна проводится методом засечек. Погрешность определения площади водного сечения складывается из ряда составляющих: инструментальной ($\overline{\sigma}_n$), координирования ($\overline{\sigma}_k$), деформации ($\overline{\sigma}_d$), морфометрической ($\overline{\sigma}_m$) и дискретности ($\overline{\sigma}_a$). Все эти погрешности могут возникать в самом различном сочетании.

Суммарная погрешность оценивалась нами в двух вариантах: 1) при благоприятных условиях (1), т. е. для таких случаев, когда отсутствуют деформации русла и отклонения судна от линии гидроствора; 2) при неблагоприятных условиях (2), когда судно не проходит точно по линии гидроствора и возникают дополнительно погрешности координации и морфометрические, кроме того, учитывается деформационная погрешность.

$$\overline{\sigma}_{w_s} = \sqrt{\overline{\sigma}_n^2 + \overline{\sigma}_a^2}, \quad (1)$$

$$\overline{\sigma}_{w_s} = \sqrt{\overline{\sigma}_n^2 + \overline{\sigma}_a^2 + \overline{\sigma}_m^2 + \overline{\sigma}_k^2 + \overline{\sigma}_d^2}. \quad (2)$$

Одной из основных составляющих погрешности площади отсека является инструментальная погрешность измерения глубин. До настоящего времени нахождение этой величины было затруднительно вследствие дополнительного наложения погрешностей, связанных с отклонением судна от линии гидроствора. Только после строительства понтонного моста в районе гидроствора Кипчак появилась возможность исследовать этот вопрос. При работе на этом створе точки измерения строго фиксированы, тем самым исключаются морфометрические погрешности. Для нахождения инструментальной погрешности в каждой фиксированной точке три наблюдателя делали по 3—4 промера каждый (всего 10 раз). Промеры делались наметкой, затем грузом и эхоло-

том; при глубинах более 5 м, где наметка не доставала дна, промеры проводились только эхолотом и грузом. Измерения проведены на 29 вертикалях при ширине 260 м.

Полевые натурные измерения показали практически одинаковые глубины, измеряемые грузом, наметкой и эхолотом. Погрешность измерения глубин на жестко фиксированном не дрейфующем судне любым средством составляет $\sigma_n = 3,6\%$.

Для площади водного сечения инструментальная погрешность определяется из соотношения $\sigma_{nF} = \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}$, где n — количество вертикалей. Для створов Кипчак и Тюямуюн она составляет 0,7%.

Решающее влияние на точность определения площади водного сечения оказывает погрешность дискретизации, которая зависит от количества промерных вертикалей и характера рельефа дна. При параболическом русле и недостаточном количестве вертикалей площадь водного сечения занижается, так как в этом случае при вычислении площадей участки водного сечения схематизируются в виде трапеции. При сложном рельефе поперечного профиля уменьшение числа вертикалей дает погрешности переменного знака.

Точность расчета водного сечения для створов Амударьи оценивается эмпирически. Погрешность дискретизации вычислена как разность площади, полученной при сокращенном и увеличенном числе промерных вертикалей (80—100). Методические работы с увеличенным количеством промерных и скоростных вертикалей были проведены в течение нескольких лет в створах Тюямуюн и Кипчак при разных фазах режима. При 35 вертикалей и менее в створе Кипчак происходит преимущественное занижение площадей, увеличивающееся по мере сокращения числа вертикалей. То же самое можно констатировать и для створа Тюямуюн в меженный период; в паводок погрешности на данном гидростворе имеют разный знак. Указанные методические исследования позволили оценить погрешности дискретизации площади водного сечения σ_{dF} для различных условий измерения (табл. 1).

Оценивая погрешности расчета площади одного отсека между скоростными вертикалями (табл. 1), необходимо учитывать морфологическую структуру поперечного сечения, которая, по данным Н. К. Сибиряковой [4], представлена зависимостью $\sigma_d = \sigma_{dF} \sqrt{N_\Phi - 1}$, где σ_{dF} — погрешность всей площади поперечного сечения, N_Φ — количество морфологических образований. Для р. Амударья, подверженной сильной деформации, поперечное сечение меняется от расхода к расходу, а число морфологических образований не остается постоянным. В Тюямуюне в основном русле их количество равно 12—20 (в среднем 16), в Кипчаке от 7 до 16 (в среднем — 12).

Более подробно рассмотрим вопрос о том, какие погрешности могут возникать при отклонении судна от линии гидроствора.

Известно, что промерные галсы на постах р. Амударья не всегда совпадают с линией гидроствора. Величина отклонения зависит от ряда причин. Теоретическое отклонение, когда наблюдатель видит визирные знаки в одном створе, составляет для поста Тюямуюн 1,5 м, а для Кипчака — 1 м. Теоретическое отклонение увеличивается, если створные знаки установлены на одном берегу и разность между ними небольшая [1]. По данным методических исследований в межень среднее квадратическое отклонение судна от линии створа в Тюямуюне составляет 1,3 м, максимальное — 1,6 м, в Кипчаке соответственно 0,9 и 1,15 м.

Таблица 1

Погрешность дискретизации

Фаза режима	Количество вертикалей	Погрешность, %	
		площади водного сечения $\sigma_d F$	площади одного отсека σ_d
Межень	25—35	2,0	7,7
		4,0	15,5
Паводок	35—50	1,8	7,0
		2,4	9,3
Межень	20—30	2,2	7,3
		6,0	19,8
Паводок	30—40	2,0	6,6
		6,0	19,8

Примечание. Здесь и в табл. 4 в числителе — благоприятные, в знаменателе — неблагоприятные условия измерения.

Экспедиционные работы 1983—1984 гг. показали, что отклонение судна от линии створа зависит от его типа. При измерениях расходов воды выше 600 м³/с с катера «Прогресс», он практически не стоит на якоре, а все время сносится вниз. Кроме того, судно рыскает на вертикали в пределах 3—5 м. Все это становится причиной больших морфологических погрешностей и как следствие, пониженной точности расходов воды. При измерении с понтона отклонения уменьшаются, но и при этом немаловажную роль играет опыт рулевого катера. Так, если в Тюямуюне в паводок максимальное отклонение может достигать 10 м при среднем 3 м, то в Кипчаке благодаря опыту рулевого среднее отклонение остается 0,9 м, а максимальное 1,5 м.

Как было указано выше, дно р. Амударья имеет барханно-грядовое строение и при несовпадении промерного галса с линией гидроствора возникают морфометрические погрешности. Для получения количественной характеристики влияния микроформ на измерение при отклонении судна используются автокорреляционные функции отметок (АКФ) дна вдоль оси потока. Для этой цели были проведены специальные промеры русла вдоль

оси потока выше и ниже гидроствора на трех вертикалях у правого, левого берега и на стрежне потока. Длина промеров 40—50 м, глубины промерялись через 30 см. Очертание русла на участке гидроствора имеет, как правило, сложную форму с большими перепадами глубин. На расстоянии 30 см разница в глубинах может составлять 50 см, причем гряды не занимают всю ширину русла. Из всех рассматриваемых продольных профилей, сделанных в межень и паводок, совпал в плане русла только один в створе Тюямуюн. В межень этот продольный профиль находился у правого берега, при повышении уровня он оказался в середине потока, где образовалась отмель. Намыв за 2 мес составил 3,15 м, однако все микроформы на данном продольном профиле сохранили свои очертания, различны лишь радиусы корреляции.

Морфометрическая погрешность $\bar{\sigma}_m$ в отсеках между вертикалями при промерах глубин определялась нами на основе автокорреляционной функции отметок дна вдоль оси потока, предложенной ГГИ [3]:

$$\bar{\sigma}_m = 1,4 \bar{\sigma}_z [R(0) - R(\xi_0)]^{1/2},$$

где $\bar{\sigma}_z$ — среднее квадратическое отклонение отметок дна от его средней (по продольнику) отметки; ξ_0 — уклонение судна от створа; R — автокорреляционная функция отметок дна вдоль нормали к створу.

На материалах указанных методических работ рассчитывались морфометрические погрешности для разных фаз режима (табл. 2); значения $\bar{\sigma}_z$ и $R(\xi_0)$ принимались средние по сечению.

Один из путей нахождения морфометрических погрешностей площади водного сечения — наложение двух профилей, измеренных эхолотом. В этом случае погрешность дискретизации измерения будет ничтожной, так как на эхолограмме учтены все изменения отметок дна. Несмотря на то что на отдельных группах вертикалей глубины различаются на 0,5—1 м, максимальная разница площадей составляет 6,3%. В табл. 3 приведены площади двух профилей, вычисленных при разном количестве промерных вертикалей. При расчетах с уменьшенным количеством вертикалей их сокращение производилось одинаково для каждого профиля. Погрешность в определении площади живого сечения, при сокращении числа промерных вертикалей до 25—30 составила в среднем $\bar{\sigma}_{MF} = 2,6\%$.

Помимо морфометрических погрешностей при отклонении судна от линии створа возникают погрешности координирования,

Таблица 2

Морфометрические погрешности для различных фаз режима реки

Пост	Фаза режима	Погрешность, %
Тюямуюн	Межень	16,0
	Паводок	6,8
Кипчак	Межень	1,0
	Паводок	4,7

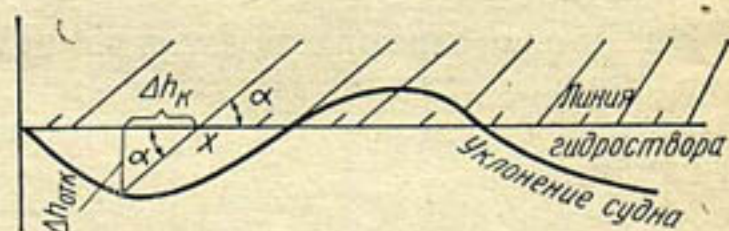
Морфометрические погрешности площади водного сечения при различном количестве вертикалей,
р. Амударья — Туюмун, 1983 г.

Дата измерения	Количество промерных вертикалей											
	80—100					31—40					25—30	
	F ₁	F ₂	Δ F м ²	Δ F %	F ₁	F ₂	Δ F м ²	Δ F %	F ₁	F ₂	Δ F м ²	Δ F %
12 VII	1040	1024	16	1,5	1056	1020	36	3,4	1030	1025	15	1,5
15 VII	1056	1069	-13	-1,2	1056	1071	-15	-1,4	1053	1075	-22	-2,1
19 VII	1076	1078	-2	-0,2	1074	1077	-3	-0,3	1078	1087	-9	-0,8
21 VII	1103	1086	17	1,5	1102	1085	17	1,5	1096	1086	10	0,9
25 VII	1054	1069	-15	-1,4	1050	1069	-19	-1,8	1047	1065	-18	-1,7
1 VIII	1140	1143	-3	-0,3	1134	1144	-10	-0,9	1141	1146	-5	-0,4
3 VIII	1119	1190	-71	-6,3	1120	1185	-65	-5,8	1117	1185	-68	-6,1
4 VIII	994	1040	-46	-4,5	995	1038	-43	-4,3	998	1041	-43	-4,3
8 VIII	1205	1196	9	0,7	1197	1198	-1	-0	1194	1194	0	0
10 VIII	1115	1138	-23	-2,1	1110	1132	-22	-2,0	1122	1144	22	2,0
12 VIII	1177	1166	11	0,9	1178	1174	4	0,3	1178	1175	3	0,3
15 VIII	1147	1138	9	0,8	1140	1138	2	0,2	1141	1144	3	0,3

связанные с определением расстояний между вертикалями. Эти погрешности не всегда могут компенсироваться, так как отклонение на каждой вертикали различно. Рассмотрим схему возникновения этих погрешностей (рис. 2).

Представим, что судно отклонилось от гидроствора на величину $\Delta h_{отк}$ и находится в точке x_1 . На планшете данную вертикаль регистрируют на линии гидроствора в точке x , Δh_k — есть погрешность координирования в точке.

Рис. 2. Схема определения погрешности координирования



Расчет средних значений погрешности σ_k производился по книжкам измеренных расходов воды для различных фаз режима. Погрешность координирования при определении расстояний между вертикалями в створе Кипчак составила 5,4%, в Тюямуюне в межень 5,6%, а в паводок возросла до 11,7%. Для площади водного сечения σ_{KF} составляет в Кипчаке 1%, в Тюямуюне — в межень 1,1%, в паводок 2,2%.

По мере удаления судна от мензульной стоянки угол засечки α уменьшается и соответственно возрастают погрешности координирования. Особенно велики эти погрешности у берега, противоположного мензульной стоянке. Если в этой части русла наблюдаются наибольшие глубины и скорости, а следовательно, и большие уклонения судна от створа, то погрешности в определении расстояний между вертикалями становятся значительными. Так, на посту Тюямуюн при ширине русла 518 м, $\Delta h_k = 17,2$ м. Отсюда следует вывод, что мензульная стоянка должна располагаться на берегу, вблизи которого проходит стрежень потока. Этому требованию удовлетворяют оба рассматриваемых створа — Тюямуюн и Кипчак.

Деформационная погрешность является одной из наименее исследованных, ее возникновение обусловливается изменением профиля сечения за время измерения. Экспедиционные работы за 1983 г. в створе Кипчак позволили оценить эту погрешность. Измерения расходов воды в районе понтонного моста практически освобождены от морфометрических погрешностей, а также погрешностей, связанных с координацией места измерения глубин, так как разбивка вертикалей проводилась на понтонном мосту, к которому жестко крепилось измерительное судно. Промеры глубин до измерения и по окончании сделаны эхолотом, а в процессе измерения расхода — грузом на большом количестве вертикалей. Уровень при измерении расхода воды был стабильным. В этот период происходило интенсивное переформирование русла. Ниже понтонного моста прорвало перемычку,

соединявшую насыпь с островом, и часть стока стала проходить по протоке. Русловые процессы в этот период обусловили резкое смещение кривой расходов. Таким образом, можно считать, что нами измерена максимально возможная деформационная погрешность. До измерения площадь водного сечения составляла 772 м², во время измерения уменьшилась до 707 м², а по окончании до 681 м², т. е. изменение площади водного сечения составило 4,8%, а погрешность для одного отсека между вертикалями $\sigma_d = 7,1\%$.

На обоих створах возможно некоторое завышение глубин из-за учета отбоя каната. По данным экспедиционных исследований угол отбоя невелик (до 5°), что позволяет не вводить поправки на глубины.

Таблица 4

Суммарная погрешность определения площади живого сечения реки

Створ	Фаза режима	Погрешность, %	
		водного сечения	одного отсека
Тюямуюн	Межень	$\frac{2,1}{6,9}$	$\frac{8,5}{28,8}$
	Паводок	$\frac{1,9}{6,4}$	$\frac{7,9}{24,0}$
Кипчак	Межень	$\frac{2,3}{8,2}$	$\frac{8,4}{27,0}$
	Паводок	$\frac{2,1}{8,2}$	$\frac{7,8}{27,4}$

Выводы

Таким образом, исследованы все погрешности, входящие в формулы (1) и (2), и можно вычислить погрешности при разных условиях измерения (табл. 4).

1. Грядовое строение дна на участках гидростворов и постоянное смещение донных гряд обуславливают различное по величине искажение уровней для конкретных створов. Это является основной причиной нарушения связи $Q=f(H)$. При однорукавном русле прослеживается синхронность хода уклонов водной поверхности и рельефа дна. Отнесение расходов воды, измеренных на разных гидростворах, к уровню водпоста вносит дополнительные погрешности, изменяющиеся во времени. Для исключения этих погрешностей следует совмещать водпост с гидроствором, а в противном случае регистрировать уровни на гидростворе и вод-

посту. Для выбора гидроствора необходимо проводить три русловые съемки в течение вегетационного периода, по результатам которых определять участки с наименьшими деформациями.

2. При измерении расходов воды уровни необходимо регистрировать до начального промера, перед началом и по окончании измерения скоростей и по завершению второго промера. Расход следует относить к уровню измерения скоростей. Каждый промер необходимо приводить к этому уровню.

3. На р. Амударья точность измерения в значительной степени зависит от оборудования, на котором производят измерение расходов воды. Для этих целей удобно использовать понтон от земснарядов или 9—11-метровый гидрометрический паром.

4. Для промеров глубин следует использовать эхолоты типа ЭИР (лучше с излучателями, вваренными в днище понтона), которые снижают погрешности в определении площади живого сечения и облегчают физический труд.

5. При измерении расстояний на р. Амударья методом засечек мензульную стоянку следует располагать на берегу, вблизи которого проходит стрежень потока.

6. Для обеспечения 2%-ной точности измерения площади водного сечения необходимо не менее 40—50 промерных вертикалей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров В. В. Точность и пути усовершенствования измерения расходов воды на реках с неустойчивым руслом. — Труды ГГИ, 1976, вып. 234, с. 106—118.
2. Зубков Н. С. Некоторые особенности гидравлического режима р. Амударья. — Труды ГГИ, 1976, вып. 234, с. 180—201.
3. Карасев И. Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. — Л.: Гидрометеониздат, 1980. — 310 с.
4. Сибирякова Н. К. О методах оценки точности измеренных расходов воды. — Труды ГГИ, 1973, вып. 202, с. 74—82.

Г. Е. ГЛАЗЫРИН, В. Р. КОМАРОВА,
В. А. КУДЫШКИН, О. ЮСУПОВ

АНАЛИЗ СЕРИИ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДОВ ВОДЫ В РЕКЕ С КРАЙНЕ НЕУСТОЙЧИВЫМ РУСЛОМ

В Средней Азии встречается широкий набор различных условий, при которых происходит речной сток. Для рек равнинной территории весьма типичными являются сильно деформирующиеся и, как правило, меандрирующие русла, заложенные обычно в мощных лессовых или суглинистых толщах. Такие реки несут большое количество взвешенных наносов, которые под влиянием колебаний водности и местных гидравлических условий легко отлагаются или вновь переходят во взвешенное состояние. Все это сильно ослож-

няет гидрометрические работы, служащие первичным и важным источником информации о стоке рек и влиянии на него хозяйственной деятельности человека.

Для изучения условий, определяющих точность измерения расходов, экспедиция САНИИ провела серию тщательных измерений в течение меженильного периода 1978 г. и пяти месяцев, включающих период паводков) 1979 г. на р. Келес (пост Устье). Этот пост находится недалеко от места впадения р. Келес в р. Сырдарья. Русло прямолинейное, в нем перемещаются песчаные гряды. Выше поста берега супесчаные, обрывистые, высотой до 3,5 м. В районе поста имеется двусторонняя пойма, затопляемая при экстремально высоких уровнях воды. Отметка нуля графика — 250,88 м. Пост находится в зоне подпора рекой Сырдарьей и расположен на ней Чардаринским водохранилищем.

Измерения расходов производились с гидрометрического моста детальным способом (десять скоростных и двадцать промерных вертикалей) дважды в сутки — в 08 и 20 ч местного времени. Всего было измерено около 200 расходов, величины которых лежат в пределах 6—62 м³/с. Каждый расход Q характеризуется следующим набором данных: площадь сечения реки F , средняя скорость течения V , уровень воды относительно нуля графика H , средняя глубина $\bar{h}$. К сожалению, не были организованы измерения

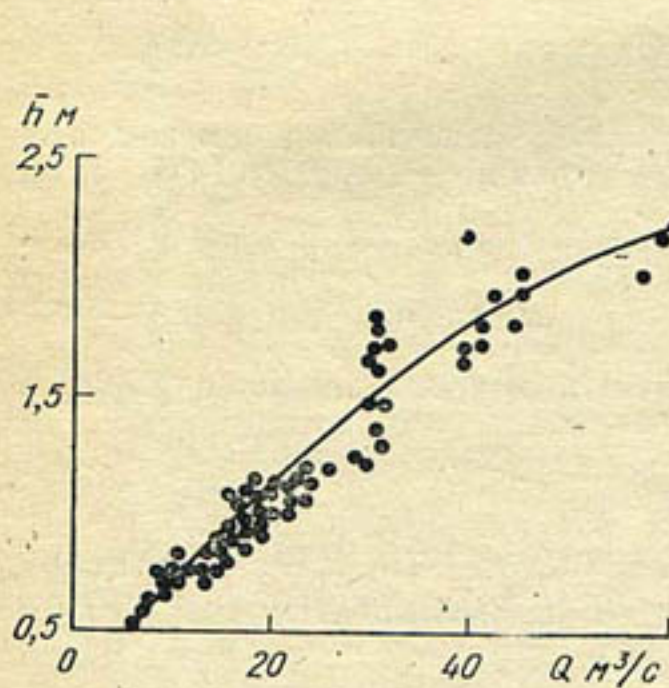


Рис. 1. Зависимость расхода воды от средней глубины

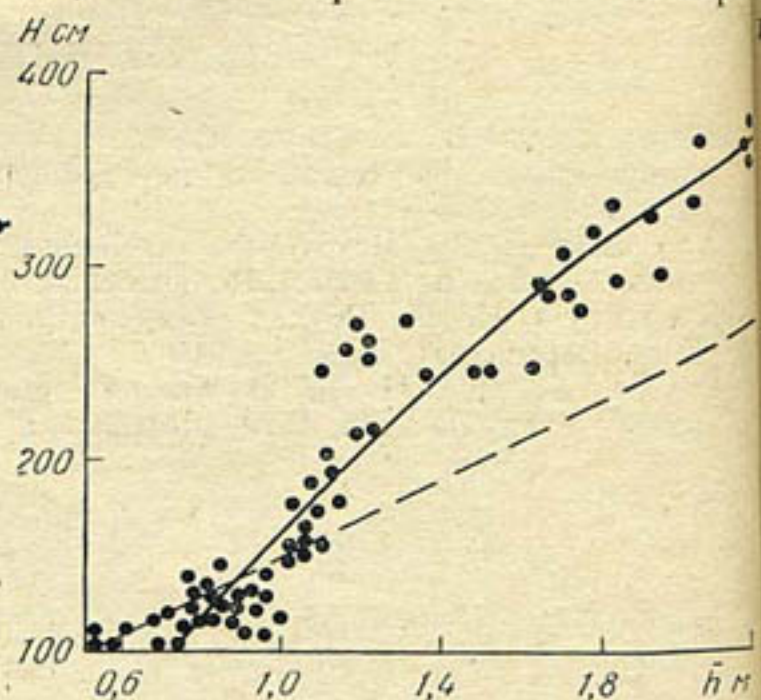


Рис. 2. Связь средней глубины $\bar{h}$ с уровнем воды H :

Пунктир — линия равных изменений этих величин

ния уклонов водной поверхности. Для дальнейшего анализа мы использовали не все, а лишь около сорока измеренных расходов (за каждые пятые сутки). Данные, относящиеся именно к этим расходам, показаны на всех рисунках.

Обычным приемом расчета ежедневных расходов воды является построение зависимостей $Q=f(H)$. Для Келеса такие зависимости оказались крайне ненадежными, попытки провести част-

ные кривые по небольшим сериям расходов также не всегда приводили к успеху. Кроме того, не ясно, как рассчитывать Q в периоды, переходные от одной кривой к другой.

Более тесной является связь расходов со средней глубиной (рис. 1), однако и в этом случае разброс точек велик. В связи с этим мы попытались проанализировать отдельно результаты измерений средней глубины и скорости течения. На рис. 2 показано, что связь существует, однако она далеко отклоняется от линии, соответствующей равным измерениям H и $\bar{h}$. Очень интересно, что при больших уровнях точки на графике отклоняются вверх, что свидетельствует о повышении дна в эти периоды. Это — неожиданный результат: ведь гидрологи привыкли, что при больших расходах (и средних глубинах) происходит размыв русла, а не наоборот. Величина подъема дна весьма значительна для такой относительно небольшой реки, как Келес: при увеличении $\bar{h}$ на 1 м (от 1,0 до 2,0 м) уровень поднимается на 2,2 м.

Мы видим одно объяснение этого явления — влияние подпора Сырдарьи и Чардаринского водохранилища. Для подтверждения были подобраны серии расходов, которые наблюдались в р. Келес в дни, когда на гидрометрическом посту на р. Сырдарье, расположенном выше впадения в нее р. Келес, уровни были близки к максимальным, средним и минимальным. Такие данные были собраны за несколько лет, что должно исключать случайное совпадение, по ним была построена зависимость (рис. 3). Действи-

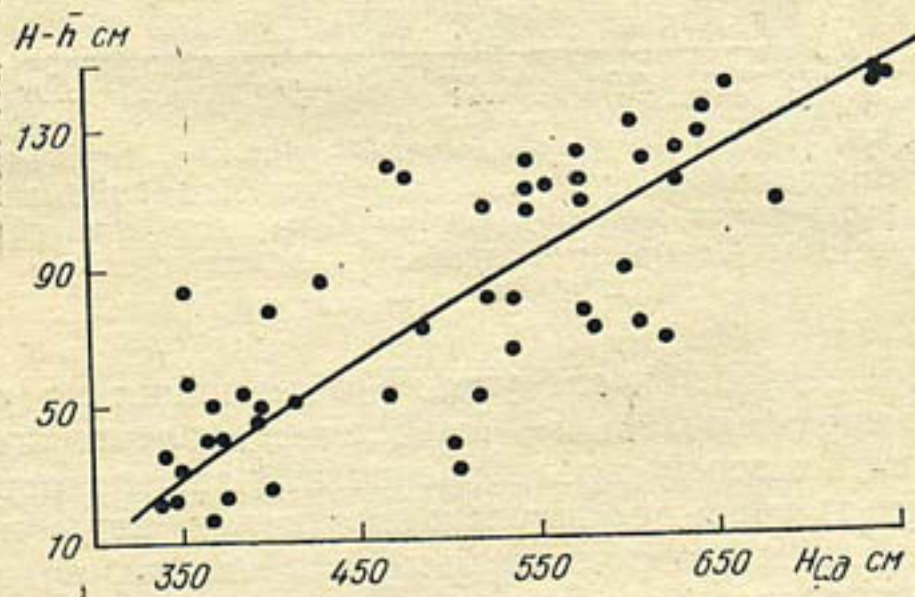


Рис. 3. Зависимость средних отметок дна р. Келес (пост Устье) от уровня воды в р. Сырдарья ($H_{с. л}$)

тельно, с увеличением уровня р. Сырдарья происходит значительное отложение наносов и повышение дна р. Келес на рассматриваемом посту. Несомненно, этому способствует экстремально высокая мутность воды Келеса. Естественно, было бы желательно подтвердить смену размыва русла отложением наносов при высоких уровнях данными об уклоне водной поверхности, но, как уже говорилось, последний не измерялся.

Интенсивная деформация русла не позволяла надеяться на наличие сколько-нибудь хорошей зависимости средней скорости течения воды от уровня. Действительно, такая связь отсутствует. Однако (и это тоже необычно) совершенно отсутствует связь скорости со средней глубиной (рис. 4). Мы предположили, что введение третьей переменной — уклона водной поверхности — улучшит зависимость. В качестве индекса уклона был вновь взят уровень воды в р. Сырдарья ($H_{с.д.}$), но это не помогло: система изолиний $H_{с.д.}$ в поле точек провести не удалось.

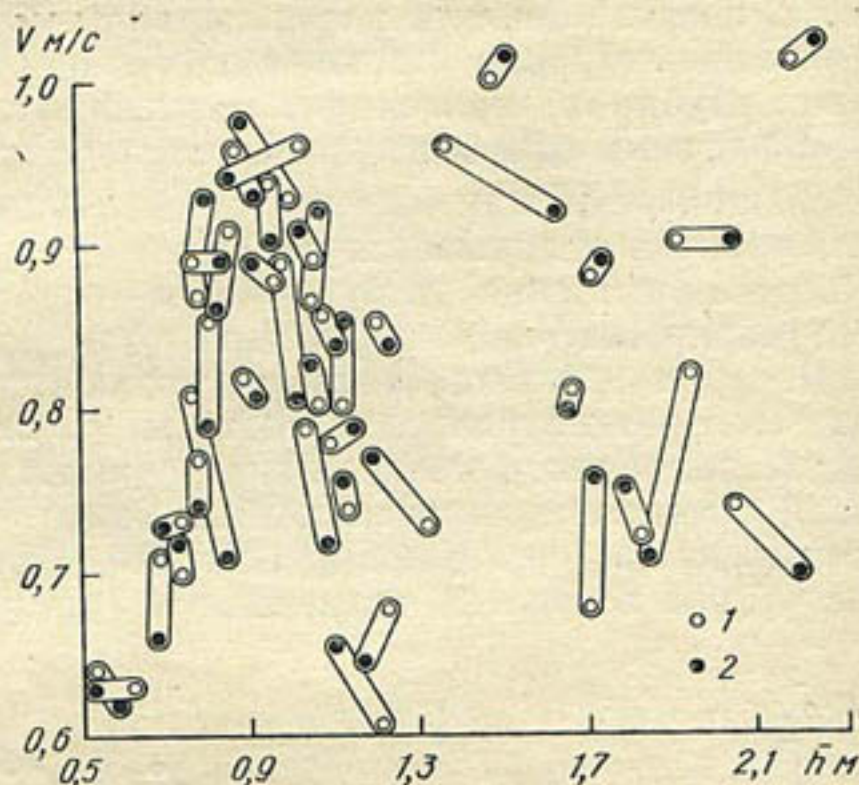


Рис. 4. Зависимость средней скорости течения от средней глубины р. Келес (пост Устье). Замкнутыми кривыми объединены точки, относящиеся к измерениям в пределах одних суток:
1 — в 8 ч, 2 — в 20 ч

Можно предположить следующие объяснения полученному результату: во-первых, $H_{с.д.}$ не является удовлетворительным индексом уклона, но этому противоречит вид зависимостей на рис. 3. Во-вторых, средняя скорость движения воды измеряется большой ошибкой. Однако, как было сказано, измерения проводились детальным способом и при расчетах, естественно, произошло существенное сглаживание возможных ошибок измерений отдельных точек. Кроме того, на рис. 4 замкнутыми кривыми объединены точки, относящиеся к расходам, измеренным в течение одних суток (напомним, что пары, учтенные нами при анализе, взяты с интервалом в 5 сут). Хорошо видно, что в пределах суток измеренные средние скорости разнятся намного меньше, чем при одинаковых средних глубинах, но в удаленные друг друга моменты времени. О том, что причина не в ошибках измерений, свидетельствует и значительная внутрирядная корреляция рядов V : первые три значения автокорреляционной функции (и

сдвиге на 12, 24 и 36 ч) равны соответственно 0,91; 0,78 и 0,67.

Таким образом, причина отсутствия связи на рис. 4 не ясна. Возможно, изменение руслового рельефа влияет на вид турбулентности потока, в частности на величину вертикальной составляющей скорости, которая не учитывается стандартной методикой вертушечных измерений.

Подведем итоги.

1. Видимо, на реках с легко деформируемым руслом пользоваться общепринятыми зависимостями $Q=f(H)$ не следует, значительно более надежные результаты дают связи $Q=f(\bar{h})$.

2. Любопытно, что при наличии достаточно большого числа измерений, достаточного для построения зависимости, аналогичной рис. 1, можно значительно сократить в дальнейшем количество измерений скорости и пользоваться полученной кривой, где в качестве аргумента выступает $\bar{h}$.

3. Безусловно, необходимо продолжить исследования, направленные на усовершенствование методики измерений стока на подобных реках и выявление источников ошибок этих измерений. С учетом полученных нами результатов, в первую очередь, следует организовать: тщательные наблюдения за уклоном водной поверхности для оценки его влияния на скорость течения и деформацию русла; исследовать зависимость вида эпюр скорости от рельефа дна, обратив особое внимание на вертикальную составляющую скорости; выявить оптимальный период осреднения — время выдержки вертушки в каждой точке.

4. Ценнейший материал могут дать детальные съемки рельефа дна, его изменений и расчет баланса наносов, формирующих русло.

А. С. НИКУЛИН

КОНТРОЛЬ ОПЕРАТИВНОГО И РЕЖИМНОГО СТОКА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. АМУДАРЬЯ НА ОСНОВЕ РУСЛОВОГО ВОДНОГО БАЛАНСА

Учет речного стока осуществляется в режимном и оперативном вариантах. Режимный учет стока выполняется по окончании годового цикла наблюдений на основе всех имеющихся измерений за данный период, а оперативный — за текущий день на основе предыдущих измерений. Вычисленные по обоим вариантам величины стока отличаются иногда на 30 — 50% [1].

Контроль качества режимного и оперативного учета стока можно осуществить методом руслового водного баланса, условия корректного применения которого сформулированы в [2]. В дан-

ной статье рассмотрена возможность решения этого вопроса для района острого дефицита водных ресурсов, к которым относится нижнее течение Амударьи.

Полное уравнение руслового водного баланса (РВБ) представляется в следующем виде [1]:

$$Q_v - Q_n + Q_{б.п} - Q_{в.з} + Q_c - Q_{и.т} + Q_{ос} \pm Q_{л} \pm Q_{с.р} \pm Q_{р.р} \pm Q_{б.р} \pm Q_{ф} \pm Q_o = 0, \quad (1)$$

где Q_v и Q_n — расходы воды в верхнем и нижнем створах; $Q_{б.п}$ — расходы воды боковых притоков; $Q_{в.з}$ и Q_c — расходы водозаборов и сбросных вод; $Q_{и.т}$ — испарение и транспирация воды растительностью; $Q_{ос}$ — поступление воды от осадков; $Q_{л}$ — потеря воды на ледообразование или ее поступление от таяния льда; $Q_{с.р}$ — поступление воды от таяния снегозапасов в русле; $Q_{р.р}$ — расходы руслового регулирования; $Q_{б.р}$ — расходы берегового регулирования; $Q_{ф}$ — расходы фильтрационного оттока или притока подземных вод в русло; Q_o — остаточный член.

В рассматриваемом случае многие члены полного уравнения либо отсутствуют, либо столь незначительны, что ими можно пренебречь. Тогда уравнение приобретает следующий вид:

$$Q_v - Q_n - Q_{в.з} - Q_{и} \pm Q_{р.р} \pm Q_{ф} \pm Q_o = 0. \quad (2)$$

Все элементы РВБ, за исключением испарения $Q_{и}$ и фильтрации $Q_{ф}$ определяются гидрометрически или по русловым съемкам.

Русловой водный баланс составлялся на участке (далее РВБ) Тюямуюн — Кипчак, где Амударья проходит в аллювиальных наносах древней дельты, выполненных преимущественно песками, покрытыми на равнине суглинками. На рассматриваемом участке русло реки подвержено исключительно сильным деформациям. Река блуждает в пределах своей поймы, размывая то левый, то правый берег, что создает значительные затруднения для орошения, постоянно нарушая нормальный водозабор в оросительные каналы и создавая угрозу затопления культурных земель вследствие прорыва защитных дамб [4].

При составлении РВБ использовались данные Государственного водного кадастра (ГВК) и оперативные данные за 1983 г. На основе космofотоснимков и русловых съемок получены регулирующие объемы русла Амударьи на участке Тюямуюн — Кипчак. Величины испарения вычислены с русловой части реки по уточненной формуле Государственного гидрологического института (ГГИ). Оценены фильтрационные потери по длине реки и величины неучтенного водозабора наносными установками.

Расчетный период выбирался в зависимости от имеющихся данных. Составление РВБ по режимным данным возможно только за месяц и более длительные периоды, поскольку из Министерства мелиорации и водного хозяйства (ММВХ) в УГКС для Гидрологического ежегодника присылаются только средние месячные сведения о водозаборе по форме 2ТП-водхоз (табл. 1).

Среднемесячный русловой водный баланс ($\text{м}^3/\text{с}$) р. Амударья за 1983 г.
на участке Тюямуюн — Кипчак по данным ГВК

Месяц	Расход воды в створе		Русловое регулирование $Q_{\text{р.р}}$	Водозабор $Q_{\text{в.з}}$	Фильтрационный приток $Q_{\text{ф}}$	Испарение $Q_{\text{и}}$	Невязка РВБ	
	Тюямуюн $Q_{\text{в}}$	Кипчак $Q_{\text{и}}$					рассчитанная	допустимая
Март	269	111	0	124	9,5	4	39,5	11
Апрель	634	265	—11	238	9,5	9	120	25
Май	1100	626	—15	397	9,5	17	54	45
Июнь	1360	626	—4	491	9,5	20	228	53
Июль	1930	1020	—21	659	9,5	27	212	78
Август	1610	789	—14	672	9,5	35	109	67
Сентябрь	832	638	—15	44,5	9,5	19	124	32
Октябрь	580	519	—7	6,33	9,5	14	59	24
Ноябрь	612	410	—2	100	9,5	6	119	23

Оперативный баланс в принципе можно составить за суточные интервалы времени. Однако среднесуточные расходы воды в ограничивающих участках реки створах могут отличаться до 20%, а величина водозабора до 30—35% от фактических [2]. При такой точности оценки элементов баланса составление оперативного РВБ за суточный интервал времени нецелесообразно. Вместе с тем декадный и месячный РВБ также не удастся составить с допустимой погрешностью при существующей точности учета его элементов (табл. 2).

Рассмотрим удельный вес величин, составляющих РВБ. На участке Тюямуюн — Кипчак расход воды во входном створе по данным ГВК в среднем за июль 1983 г. составил $1930 \text{ м}^3/\text{с}$, а в замыкающем створе — $1020 \text{ м}^3/\text{с}$. Водозабор на участке равен $659 \text{ м}^3/\text{с}$, русловое регулирование — $21 \text{ м}^3/\text{с}$, а подземный приток — $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Относительно притока через створ Тюямуюн перечисленные элементы баланса равны соответственно 53; 34; 1,4 и менее 1%. Таким образом, значимыми расходными элементами баланса являются сток с участка баланса и водозаборы. Невязка баланса (потери) составила $212 \text{ м}^3/\text{с}$ при допустимой невязке баланса $78 \text{ м}^3/\text{с}$. В остальные месяцы соотношение элементов РВБ сохраняется примерно таким же, а невязка баланса существенно превышает допустимую погрешность РВБ. Главной причиной невязки баланса, по нашему мнению, является некорректный учет водозабора.

Надежная связь Минводхоза со всеми узлами вододеления и водозаборов, казалось бы, исключает возможность подачи неверной информации, особенно на постах, оборудованных дистанционными датчиками уровня воды. Однако объективной информации получить подчас не удастся. Так, в 1983 г. оперативные сведения

Русловой водный баланс р. Амударья ($\text{м}^3/\text{с}$) за 1983 г.
на участке Тюямуюн — Кипчак по оперативным данным

Месяц	Декада	Тюямуюн Q_n	Русловое регулирование $Q_{p.p}$	Испарение Q_n	Кипчак Q_n	Водозабор $Q_{n.з}$	Невязки РВБ Q_o	Допустимая погрешность РВБ
Март	I	303	0	8	84	116	95	12
	II	221	-4,5	8	100	31	78	8
	III	272	7	4	127	15	119	11
	Среднее	265	0	7	104	54	100	11
Апрель	I	394	20	8	202	78,1	86	24
	II	570	25	9	286	156	91	32
	III	984	20	10	289	299	383	40
	Среднее	639	11	9	259	178	182	23
Май	I	1190	45	16	595	331	203	45
	II	1197	17	17	715	303	145	46
	III	896	-33	17	617	232	58	39
	Среднее	1090	15	17	642	291	125	45
Июнь	I	1150	8	19	411	311	417	41
	II	1440	68	21	779	412	160	65
	III	1520	8	21	743	338	380	55
	Среднее	1370	4	20	644	354	294	45
Июль	I	1780	45	27	899	561	248	70
	II	1910	14	27	985	572	312	73
	III	1960	20	28	1070	607	235	76
	Среднее	1880	21	27	985	578	270	73
Август	I	2020	19	37	1010	610	344	77
	II	1670	-35	36	933	549	187	68
	III	1076	-88	33	511	426	193	59
	Среднее	1595	-14	35	818	523	233	63
Сентябрь	I	958	-3	19	646	120	176	36
	II	636	-22	18	615	сх.	25	31
	III	883	23	19	703	сх.	138	37
	Среднее	826	-15	19	655	40	187	34
Октябрь	I	664	-28	14	568	сх.	54	32
	II	526	-18	13	481	сх.	50	28
	III	549	1	13	462	сх.	77	21
	Среднее	580	-7	14	504	сх.	69	24
Ноябрь	I	542	-6	6	397	3,70	129	20
	II	580	2	6	409	37,9	125	21
	III	717	11	6	422	59,6	218	28
	Среднее	613	2	6	409	33,8	166	22

о водозаборе на участке Тюямуюн — Кипчак существенно отличались от данных, полученных в конце года по форме 2ТП—водхоз (табл. 3).

Таблица 3

Водозабор ($\text{м}^3/\text{с}$) из р. Амударья на участке Тюямуюн—Кипчак в 1983 г. по данным оперативного и режимного учета

Вариант учета стока	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
Оперативный	54	178	291	354	578	523	40	прсх	34
Режимный	—	238	397	491	659	672	44	6,3	100
(2ТП—водхоз)	—	60	106	137	81	149	4	6,3	66
Разница	100	182	125	294	270	233	187	69	166
Невязка РВБ									

По данным, полученным непосредственно в областном управлении оросительных систем, летом 1983 г. на этом участке забиралось в июне $435 \text{ м}^3/\text{с}$ и в июле — $860 \text{ м}^3/\text{с}$. Особенно велика разница в сведениях о величине водозабора за июль: оперативная — $578 \text{ м}^3/\text{с}$, режимная 2ТП—водхоз — $659 \text{ м}^3/\text{с}$, данные ОблУОСа — $860 \text{ м}^3/\text{с}$. Какие из этих величин наиболее правильно отражают картину фактического водозабора, сказать трудно. Кроме этого, в сведениях о водозаборе отсутствуют величины водозабора насосными установками. В ходе аэровизуальных обследований было установлено, что в конце июня 1984 г. действующих насосов оказалось: типа Алтай — 9 шт., НАП — 8 шт., Чехия — 15 шт., общий забор воды составил $40 \text{ м}^3/\text{с}$.

Фактический забор или сброс воды при современной постановке гидрометрических работ в системе ММиВХ оценить очень трудно. В головах каналов нет самописцев уровней воды (СУВ), поэтому судить о качестве учета забора воды не представляется возможным. В рассмотренных РВБ знак «ошибок» в величинах водозабора, как правило, один. При достаточном количестве воды, когда лимит покрывается с излишком, иногда показывается «истинный» забор воды в каналах, при недостатке, когда лимиты уменьшены, воды забирается больше установленной величины. Достаточно убедителен пример декадных РВБ за 1983 г. (табл. 2). Кроме ошибок, связанных с оперативным учетом стока во входном и выходном створах, обнаруживаются постоянные невязки баланса, показывающие систематические потери стока. Предположить систематические ошибки в ограничивающих створах или непрерывный отток в $200\text{—}400 \text{ м}^3/\text{с}$ сложно, так как прилегающая пойма реки и орошаемая зона расположены низко, водозабор осуществляется самотеком по каналам, уровень грунтовых вод находится очень высоко, на 1—2 м от поверхности земли и чутко реагирует на поливы — повышаясь в вегетационный период в отдельные годы до 0,5 м. Столь высокий горизонт грунтовых вод

создает напор, препятствующий движению воды из русла реки. По исследованиям С. Ш. Мирзаева и Л. П. Бакушевой [4] грунтовые воды в размере $9,5 \text{ м}^3/\text{с}$ поступают в русло р. Амударья в пределах ее нижнего течения. Следовательно, причины невязки кроются не в недоучете фильтрационных потерь стока, а, как указывалось выше, в некорректном учете стока водозаборов. Факт перебора воды каналами очевиден, но конкретизировать величину фактического водозабора пока не удастся. Таким образом, метод РВБ как контроль оперативного и режимного учета стока в низовьях Амударьи в настоящее время неприемлем ввиду больших систематических погрешностей одного из составляющих элементов РВБ — водозабора.

Выводы

1. Материалы полевых исследований САНИИ показали, что величина потерь воды на участке Тюямуюн — Кипчак соизмерима с точностью учета стока на постах ММиВХ.

2. Никакие меры по повышению точности учета стока на постах Госкомгидромета не повысят точности составления РВБ до тех пор, пока будет оставаться современный тенденциозный учет водозабора на постах ММиВХ.

3. При подаче менее $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ из Тюямуюнского водохранилища невязки РВБ составляют более $330 \text{ м}^3/\text{с}$, а с увеличением до $1800\text{—}2000 \text{ м}^3/\text{с}$ последние оцениваются несколькими десятками кубометров в секунду, и, следовательно, метод РВБ становится некорректным для оценки величины потерь стока.

4. Учет стока на постах в головах крупных каналов необходимо вести при помощи лимниграфов, на что указано еще экспедицией ГГИ 1972 г. С тех пор положение только усугубилось, так как возрос водозабор из-за роста посевных площадей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасев И. Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 310 с.
2. Карасев И. Ф. Методы и оценка точности гидрометрического учета стока. — Труды ГГИ, вып. 234, 1976, с. 52—71.
3. Мирзаев С. Ш., Бакушева Л. П. Оценка влияния водохозяйственных мероприятий на запасы подземных вод. — Ташкент: Фан, 1979. — 120 с.
4. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. — Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 691 с.

Ф. Э. РУБИНОВА, С. И. ДОРОНИНА,
О. С. ТАКТАЕВА

ВОДНЫЙ БАЛАНС ОРОШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ БАССЕЙНА р. КАШКАДАРЬЯ

По источникам орошения бассейн р. Кашкадарья делится на две зоны. Верхняя зона — Кашкадарьинский ирригационный район орошается из р. Кашкадарья и ее притоков, а нижняя — Кар-

шинский ирригационный район — в основном амударьинской водой с небольшим добавлением кашкадарьинской. Граница между этими зонами проходит по линии, разделяющей верхний и нижний бьефы Каршинского гидроузла, в верхний бьеф которого сбрасывается часть воды из Каршинского магистрального канала.

Ниже характеризуется структура затрат речного стока в каждой из этих зон. Для того чтобы свести до минимума погрешности расчета отдельных элементов водного баланса и выявить основные закономерности антропогенного изменения структуры затрат стока, результаты расчетов осреднялись по пятилетиям.

Уравнение водного баланса территории в среднем за 5 лет имеет вид

$$(y_n - y_o) + (V_n - V_o) - E_c + \Delta U + \Delta W + \Delta W_v + \Delta y = 0, \quad (1)$$

где $(y_n - y_o)$ и $(V_n - V_o)$ соответственно результирующие поверхностного и подземного притока в контур и оттока из него; E_c — затраты стока на суммарное испарение; $\Delta U + \Delta W$ — изменение запасов влаги в зонах аэрации и грунтовых вод; ΔW_v — изменение запасов воды в водохранилищах; Δy — невязка баланса.

Поверхностный приток в пределы Кашкадарьинского района оценивается по данным опорных гидропостов, расположенных в основном на выходе рек из гор. С 1955 г. в пределы балансируемого контура перебрасывается сток из бассейна р. Зеравшан по каналу Эскиангар, который в 1974 г. реконструирован в канал имени Москвы. Приток воды по этому каналу в воднобалансовых расчетах ориентировочно принят равным 275 млн. м³ [2].

Поверхностный отток за пределы Кашкадарьинского района осуществляется по руслу р. Кашкадарья и оценивается по разности

$$y_o = y_k - y_{\text{вод}}, \quad (2)$$

где y_k — сток Кашкадарьи в створе кишл. Каратикон; $y_{\text{вод}}$ — суммарный водозабор на участке кишл. Каратикон — Каршинский гидроузел.

Отток воды по руслу Кашкадарьи за пределы Кашкадарьинского района в сумме с водозабором в головное сооружение Каршинского магистрального канала (КМК) является притоком в пределы Каршинского ирригационного района. Сведения о водозаборе в Каршинский магистральный канал за 1973—1974 гг. приводятся по экспедиционным данным САНИИРИ, а с 1975 г. — по стационарным наблюдениям УзУГКС.

Отток за пределы контура Каршинского ирригационного района осуществляется по руслу Южного Каршинского коллектора (ЮКК) и оценивается по экспедиционным данным САНИИРИ [7] и института Средазгипроводхлопок. Результирующие подземного притока и оттока $(V_n - V_o)$ в пределы балансируемых контуров составляют 2,9 и 1,0 м³/с [4]. Суммарное испарение с поверхности балансируемого контура складывается из

$$E_c = E_o + E_n + E_v, \quad (3)$$

где E_o — испарение с орошаемых площадей-нетто, E_{Π} — испарение с поверхности внутрисистемных перелогов, E_v — испарение с водной поверхности водохранилищ.

Испарение с водной поверхности каналов неизмеримо мало по сравнению с другими составляющими суммарного испарения и потому не учитывается в балансовых расчетах.

Испарение с орошаемых полей рассчитывалось по методу Ю. Н. Иванова [1], разработанному на основе теплосбалансовых наблюдений на хлопковых полях. Метод позволяет рассчитывать месячные суммы испарения по среднемесячным значениям температуры и абсолютной влажности воздуха, измеренным на метеостанциях. Средневзвешенный слой испарения с хлопчатника по площади зоны определяется по выражению

$$\frac{\sum_{i=1}^n E_{xi} f_i}{\sum f_i}, \quad (4)$$

где E_{xi} — испарение с хлопчатника, рассчитанное по графикам Иванова для i -й станции; f_i — площадь, подкомандная этой станции.

Результаты расчетов по бассейну р. Кашкадарья приведены в табл. 1.

Таблица

Средневзвешенные значения испарения (мм слоя) с хлопчатника в бассейне р. Кашкадарья

Расчетный период	Верхнее течение		Среднее течение		Нижнее течение	
	V—X	XI—X	V—X	XI—X	V—X	XI—X
Кашкадарьинский ирригационный район					Каршинский ирригационный район	
1960/61	870	1090	526	742	811	1032
1961/62	798	1038	574	816	787	1030
1962/63	871	1114	728	980	859	1116
1963/64	886	1103	720	916	831	1004
1964/65	872	1192	694	930	686	926
1965/66	962	1126	684	955	729	1000
1966/67	793	1034	818	1053	758	998
1967/68	817	1054	865	1099	665	886
1968/69	884	1069	875	1038	788	922
1969/70	795	1022	811	1005	714	924
1970/71	685	844	772	991	557	772
1971/72	840	1055	866	1075	772	953
1972/73	867	1090	794	1023	807	1005
1973/74	779	1001	727	955	694	910
1974/75	675	1034	617	875	771	1034
1975/76	650	947	759	982	768	953
1976/77	739	1056	847	1070	870	1111
1977/78	821	1023	802	985	946	1150
1978/79	821	1039	848	1076	898	1088
1979/80	808	1043	888	1135	917	1105

Сопоставление рассчитанных величин испарения с фактически измеренными на хлопковых полях методом теплового баланса [5, 9], а также с расчетными данными Б. Е. Милькиса [3] показало следующее.

Рассчитанное по методу Иванова испарение с хлопковых полей, расположенных в верхнем течении (станции Китаб и Шахриябз), хорошо согласуется с данными Милькиса — 800 мм за апрель — сентябрь и 1000 мм за год. По территории среднего течения (станции Гузар и Чимкурбан) совпадение наблюдается лишь со второй половины 60-х годов (табл. 1), так как в начале 60-х годов ст. Гузар находилась, вероятно, вне орошаемой зоны и поэтому нерепрезентативна.

В связи с вышеизложенным расчетный слой испарения с хлопчатника за период 1960—1970 гг. принят по данным метеостанций Китаб и Шахриябз, а за 1970—1980 гг. — с учетом испарения по станциям Гузар и Чимкурбан. Величина испарения с хлопчатника в нижней зоне (в Каршинской степи), полученная методом Иванова, оказалась существенно ниже, (до 1975 г.) расчетных данных Милькиса (816 мм за вегетацию и 1012 мм за год) [3] и фактически замеренных величин испарения [5, 9]. Так, по данным экспедиционных работ Л. Н. Побережского [5] испарение с хлопкового поля в этом районе в среднем за 1970—1976 гг. составило за вегетацию 812, а за год 1085 мм.

По измерениям Э. Д. Чолпанкулова [9] испарение с хлопчатника при освоении целинных земель Каршинской степи составляет в среднем за вегетацию 1975—1977 гг. 954 мм. Вероятно, данные АМСГ Карши, принятые для расчета испарения по методу Иванова, в период 1960—1975 гг. были недостаточно репрезентативны для орошаемой зоны.

В связи с изложенным испарение с хлопкового поля в Каршинском ирригационном районе за 1960—1970 гг. принято по данным метеостанций Китаб и Шахриябз. Это тем более справедливо, что освоение целинных земель в степи было начато в середине 70-х годов. Слой испарения за 1971—1975 гг. принят по данным Побережского [5], а за 1976—1980 гг. — по методу Иванова с использованием данных метеостанции г. Карши.

Помимо хлопчатника в бассейне Кашкадарьи выращиваются другие культуры, испарение с которых рассчитано по переходным коэффициентам, равным отношению испарения исследуемой культуры к хлопчатника. При помощи этих коэффициентов и по данным о структуре орошаемых площадей получены величины испарения с комплексного орошаемого гектара (табл. 2). Средний по площади слой атмосферных осадков получен по данным вышеперечисленных метеостанций, а затраты стока на испарение с орошаемых полей — по разности суммарного испарения и осадков (табл. 2). Испарение с поверхности внутрисистемных перелогов по аналогии с другими бассейнами [6] принято равным 0,5 от испарения с комплексного гектара. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Испарение (мм слоя) с орошаемых полей

Расчетный период	Испарение с комплексного гектара		Атмосферные осадки		Затраты стока на испарение	
	V—X	XI—X	V—X	XI—X	V—X	XI—X

Кашкадарьинский ирригационный район

1960/61—1964/65	859	1107	51	424	808	683
1965/66—1969/70	855	1070	59	438	796	632
1970/71—1974/75	792	1024	37	382	755	642
1975/76—1979/80	834	1022	67	440	767	582

Каршинский ирригационный район

1960/61—1964/65	876	1124	22	188	854	936
1965/66—1969/70	884	1095	23	223	861	872
1970/71—1974/75	853	1068	23	194	830	874
1975/76—1979/80	889	1090	26	215	863	875

Затраты стока на испарение с водной поверхности Чимкурганского водохранилища получены по данным САНИИ, используемым при составлении оперативных водных балансов водохранилищ, а с водной поверхности Пачкамарского водохранилища принято равным 4% объема по аналогии с Чимкурганским. Испарение с водной поверхности Талимарджанского водохранилища принято по проектным проработкам [2], согласно которым среднегодовое испарение равно 1873 мм, а «видимое» испарение (т. е. за вычетом атмосферных осадков на площадь зеркала) — 1663 мм. Динамика площадей зеркала водохранилища в среднем за год в связи с его заполнением приведена в табл. 3.

Таблица 3

Хронологический ход изменения площади зеркала Талимарджанского водохранилища и испарения с его поверхности

	Год						
	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Площадь зеркала, км ²	7,9	20,6	21,5	34,6	37,5	40,0	42,0
Испарение с водной поверхности, млн. м ³	13,1	34,3	35,8	57,5	62,4	66,5	69,8
То же, м ³ /с	0,42	1,09	1,14	1,83	1,98	2,11	2,22

Верхняя часть исследуемой территории (Кашкадарьинский район) — это район древнего орошения с относительно хорошей естественной дренированностью. Надо полагать, что уровни грун-

товых вод на этой территории стабилизировались. В связи с этим изменение запасов грунтовых вод и влаги в зоне аэрации при составлении балансов в среднем за 5 лет можно не учитывать.

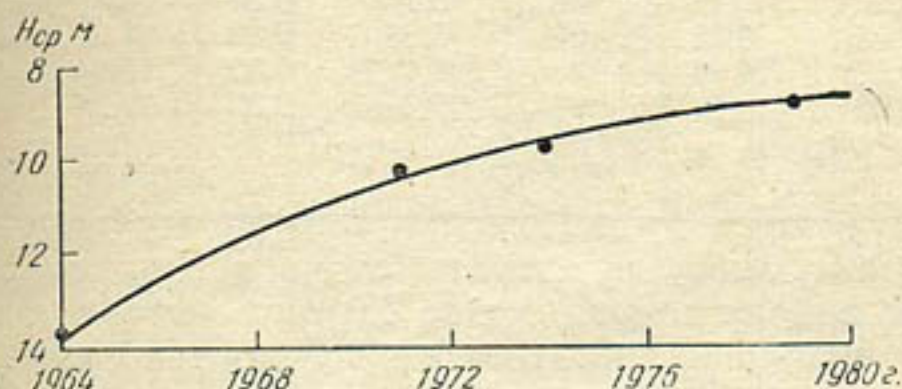
Расчет изменения запасов грунтовых вод в Каршинском ирригационном районе производился по уравнению

$$\Delta U = \mu \Delta H F, \quad (5)$$

$$\Delta H = H_1 - H_2, \quad (6)$$

где μ — коэффициент водовместимости пород, принятый равным для территории 1-й очереди освоения 0,34 [7]; H_1 и H_2 — средневзвешенный по площади уровень грунтовых вод на начало и конец расчетного периода; F — площадь контура.

Средневзвешенный по площади уровень грунтовых вод определялся по картам глубин залегания грунтовых вод, составленных в институте Средазгипроводхлопок на разные этапы освоения Каршинской степи (1965, 1974 и 1979 гг.). Из них первая карта характеризует уровень грунтовых вод в степи до начала орошения, а две другие — на период интенсивного освоения. Согласно расчетам уровень грунтовых вод на площади 266 тыс. га поднялся с 14 м в 1964 г. до 10 м в 1974 г. и до 9 м в 1979 г. Уровень грунтовых вод по состоянию на 1971 г. получен расчетным путем по данным САНИИРИ.



Изменение во времени среднего по площади уровня грунтовых вод по территории 1-й очереди орошения Каршинской степи

Кривая $H_{ср} = f(T)$ (рисунок) использована для расчета средневзвешенного по площади уровня грунтовых вод на принятые этапы освоения. Изменение уровня грунтовых вод ΔH рассчитано по выражению (5), а запасов грунтовых вод — по (6). Расчет аккумуляции влаги в зоне аэрации производился по уравнению

$$\Delta W = (H - H_{к.к}) (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta F, \quad (7)$$

где H — исходный средневзвешенный по площади уровень грунтовых вод; $H_{к.к}$ — высота капиллярной каймы; ΔF — приращение орошаемой площади. Высота капиллярной каймы принята равной 3,5 м, так как в контуре преобладают суглинки. Разность $(\alpha_1 - \alpha_2)$

является недостатком насыщения почвы и принята равной 0,0 по аналогии с орошаемыми массивами Голодной степи [8]. Результаты расчетов ΔW приведены в табл. 4, а в целом водного баланса территорий верхней и нижней зон бассейна р. Кашкадарьи — табл. 5.

Таблица

Расчет изменения запасов грунтовых вод и влаги в зоне аэрации
в Каршинском ирригационном районе

Расчет- ный период	H_i м	Изменение запасов грунтовых вод		Аккумуляция влаги в зоне аэрации				
		ΔH м	ΔU млн. м ³	$(H_i - H_{к.к})$ м	$(H_i - H_{к.к})$ $(\alpha_1 - \alpha_2)$ м	ΔF тыс. га	ΔW млн. м ³	$\Delta U - \Delta W$ млн. м ³
1971/72	10,4							
1972/73	10,2	0,2	181	6,7	0,40	14,03	56,1	237
1973/74	9,9	0,3	271	6,4	0,38	25,08	95,3	366
1974/75	9,7	0,2	181	6,2	0,37	37,02	137,0	318
1975/76	9,5	0,2	181	6,0	0,36	15,03	54,1	235
1976/77	9,35	0,15	136	5,85	0,35	16,15	56,5	192
1977/78	9,2	0,15	136	5,7	0,34	18,7	63,6	200
1978/79	9,05	0,15	136	5,55	0,33	14,27	47,1	183
1979/80	8,9	0,15	136	5,4	0,32	13,64	43,6	180
1980/81	8,8	0,1	90	5,3	0,32	12,94	41,4	131
Итого			1448			166,9	594,7	2042

Ежегодные суммарные затраты стока в Кашкадарьинском ирригационном районе в среднем за 20 лет составили 980 млн. м³, колеблясь в отдельные периоды от 810 до 1115 млн. м³. Относительно водных ресурсов суммарные затраты выросли с 62% в начале 60-х годов до 80% в конце 70-х. Удельные суммарные затраты (в расчете на 1 га орошаемой пашни) колеблются в пределах 7,3—9,8 тыс. м³/га (табл. 5) и возрастают с увеличением водности лет.

Суммарные затраты стока в Кашкадарьинском районе складываются в основном из потерь на испарение с различных видов поверхности, из которых основной является орошаемое поле (табл. 5). Удельные затраты на суммарное испарение снизились с 9,1 тыс. м³/га в начале 60-х годов до 7,8 тыс. м³/га в конце 70-х. Средняя за 20 лет невязка баланса составила 21 млн. м³, или 3,8% суммарных затрат. В отдельные пятилетки невязка баланса колеблется в пределах от 141 до 190 млн. м³. В процентах относительно суммарных затрат стока невязка изменяется от 23,4 до 13.

Переменный знак невязки свидетельствует об отсутствии систематических погрешностей в оценке элементов водного баланса.

Водный баланс территории Кашкадарьинского и Каршинского
иригационных районов

Элементы баланса	В среднем за годы			
	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75	1975/76—1979/80
Кашкадарьинский район				
Ученный поверхностный приток Кашкадарьи до ств. Чиракчи, м ³ /с	31,9	38,4	27,3	30,3
Ученный поверхностный приток Гузардарьи, м ³ /с	5,3	(6,4)	4,2	5,0
Приток по каналу им. Москвы, м ³ /с	4,2	8,5	8,7	8,7
Итого поверхностный приток, м ³ /с	41,4	53,4	40,2	44,0
Результирующая подземного притока и оттока, м ³ /с	2,9	2,9	2,9	2,9
Поверхностный отток, м ³ /с	18,6	21,9	13,9	11,5
Суммарные затраты стока, м ³ /с	25,7	34,3	29,2	35,4
То же, млн. м ³	810	1080	920	1115
Затраты стока относительно учтенных водных ресурсов, %	62,2	64,4	72,6	80,4
Размер орошаемой площади, тыс. га	(110,6)	109,5	118,6	134,1
Удельные затраты стока, тыс. м ³ /га	7,3	9,8	7,8	8,3
Затраты стока на испарение, млн. м ³ :				
с орошаемых земель	755	692	761	780
с перелогов	125	114	126	129
с поверхности водохранилищ	26,6	37,2	33,8	24,2
с садов, виноградников, приусадебных участков, орошаемых лесов	93	96	103	108
Итого затраты стока на испарение	1000	939	1024	1041
Суммарные затраты на испарение, отнесенные на га орошаемой площади, тыс. м ³ /га	9,1	8,6	8,7	7,8
Невязка баланса, млн. м ³	—190	141	—104	74
Невязка относительно суммарных затрат, %	—23,4	13,0	—11,3	6,6

Элементы баланса	В среднем за годы			
	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75	1975/76—1979/80
Каршинский район				
Приток по р. Кашкадарье, м ³ /с	18,6	21,9	13,9	11,5
Приток по КМК, м ³ /с			25,7	97,0
Итого поверхностный приток, м ³ /с	18,6	21,9	39,6	108,5
То же, тыс. м ³ /га	11,2	13,2	17,3	19,0
Результирующая подземного притока и оттока, м ³ /с	1,0	1,0	1,0	1,0
Отток по Южному Каршинскому коллектору, м ³ /с	0	1,0	2,5	21,1
Суммарные затраты стока, м ³ /с	19,6	21,9	38,1	88,4
То же, млн. м ³	617	690	1200	2785
Затраты стока относительно учтенных водных ресурсов, %	100	95,6	93,8	80,7
Размер орошаемой площади, тыс. га	(52,4)	52,4	72,1	179,4
Удельные затраты стока, тыс. м ³ /га	(11,8)	13,2	16,6	15,5
Затраты стока на испарение в млн. м ³ :				
с орошаемых пропашных земель	(491)	457	630	1570
с перелогов	(53,8)	50,1	69,5	172,8
с поверхности Талимарджанского водохранилища			2,6	51,3
с садов, виноградников и орошаемых лесов	54,3	59,9	76,7	113,0
Итого затраты стока на испарение	599	567	779	1907
Суммарные затраты стока на испарение, отнесенные на 1 га орошаемой площади, тыс. м ³ /га	11,4	10,8	10,8	10,6

а большая ее величина связана, вероятно, с принятой методикой расчета испарения, которая не учитывает водности года. Так, в маловодные годы из-за нехватки поливной воды поля орошаются сокращенными оросительными нормами, что приводит к уменьшению фактического испарения по сравнению с расчетным, возникновению отрицательной невязки водного баланса (табл. 5).

Суммарные затраты стока в Каршинском ирригационном районе возросли с 617 млн. м^3 в начале 60-х годов до 2785 млн. м^3 в конце 70-х. Удельные затраты также возросли за тот же период с 11,8 до 15,5 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$; в начале 70-х годов они были равны 16,6 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$. Затраты стока состоят из потерь на испарение, которые в среднем за 1965—1980 гг. составили 10,6—11,4 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$. Абсолютная величина испарения возросла с 583 млн. м^3 в 60-е годы до 1907 млн. м^3 в конце 70-х. Рост потерь на испарение связан главным образом с ростом орошаемых площадей. Затраты стока на заполнение Талимарджанского водохранилища в 1976—1980 гг. составили 64,4 млн. $\text{м}^3/\text{год}$, а аккумуляция влаги в почвогрунтах — 184—198 млн. $\text{м}^3/\text{год}$, что соответствует 9,9% водозабора-брутто в КМК.

Заметим, что освоение Голодной степи сопровождалось аккумуляцией влаги в почвогрунтах в размере 15% годового водозабора [5]. Поскольку уровни грунтовых вод в Каршинской степи еще не стабилизировались на глубине закладки дренажа, процесс аккумуляции будет продолжаться. Учтенные затраты стока в этом ирригационном районе в 70-е годы составляют 78—80% суммарных, а невязки баланса соответственно 22—20% затрат стока. В начале 70-х годов неучтенные затраты стока были оценены в 235, а в конце в 616 млн. м^3 . Относительно поверхностного притока в контур это составило 18%.

Сравнительно высокая положительная невязка баланса объясняется, на наш взгляд, следующими причинами. При освоении целинных земель всегда имеется некоторое количество их, находящихся в стадии освоения. Такие земли не учитываются ЦСУ, так как не сданы на баланс хозяйств, но воду потребляют. Если предположить, что размер неучтенных земель равняется 10% учтенных, то неучтенные затраты стока уменьшатся до 168—460 млн. м^3 (11,7—13,5% притока в контур).

Кроме того, в первые годы освоения целины испарение с хлопчатника может существенно превышать его величины в последующие годы. Так, по данным [5], испарение с хлопчатника в целинных совхозах составило 954 мм, в то время как в расчетах приняты более низкие величины (табл. 2). При большом приросте орошаемых земель в целинной зоне, что имело место в степи в 1974—1980 гг., фактическое испарение с орошаемых земель могло быть больше расчетного.

Расчеты показывают, что удельные затраты стока в Каршинском ирригационном районе с приходом амударьинской воды выросли до 15—16 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$ при удельном поступлении воды 17,2—19,2 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, а величина коллекторного стока возросла с 2,5 $\text{м}^3/\text{с}$

в начале 70-х годов до 21,1 м³/с в конце их. Относительно притока коллекторный сток составил 6,3—19,4%.

Итак, водные мелиорации, осуществленные в бассейне р. Кашкадарья привели к существенным, особенно в нижней зоне, изменениям в структуре водного баланса. В перспективе, в связи с расширением орошаемых площадей и увеличением притока воды в контур, процесс изменения структуры водного баланса территории будет продолжаться. Водопотребление из р. Кашкадарья в перспективе составит 1,31—1,38 км³/год, а водозабор из Зеравшана возрастет с 0,20 км³ в 1981 г. до 0,30 км³ в 1995 г. На уровне 2000 г. водозабор из Зеравшана уменьшится, а недостаток воды будет компенсироваться водоподачей из Амударьи.

Осуществление проектируемых водных мелиораций вызовет дальнейшие изменения структуры водного баланса территории бассейна Кашкадарьи (табл. 6).

Уравнение водного баланса Кашкадарьинского ирригационного района решалось относительно оттока за пределы контура

$$y_{\text{воз}} = y_{\text{п}} + (V_{\text{п}} - V_{\text{о}}) - E_{\text{с}} - P. \quad (8)$$

Затраты стока в бассейне слагаются из потерь на испарение с орошаемых полей, перелогов, водной поверхности водохранилищ и промышленно-коммунального водопотребления (табл. 6). Затраты стока на испарение с комплексного орошаемого гектара приняты по аналогии с современными условиями в размере 635 мм.

Потери на испарение с перелогов рассчитаны с учетом повышения коэффициента земельного использования (КЗИ) с 0,75 в современных условиях до 0,9 в перспективе. Удельные затраты приняты равными современным. Испарение с водной поверхности (за вычетом осадков) также принято средним за 1961—1980 гг. Безвозвратное водопотребление на промышленные и коммунально-бытовые нужды (P) приняты по проектным данным.

Возвратный сток, оцененный по разности между суммарным притоком в контур и суммарными затратами (табл. 6), будет максимальным на уровне 1990 г., затем к 1995 г. уменьшится до минимума и несколько возрастет к 2000 г. (табл. 6). Поскольку возвратный сток в этой части бассейна концентрируется в русле Кашкадарьи, то можно предположить, что среднегодовой сток реки в створе Каршинского гидроузла на уровне 1990 г. будет равен 5,5 м³/с, к 1995 г. снизится до 2,0 м³/с, а в последующие годы сохранится на уровне 4—5 м³/с. Самым напряженным будет период 1995 г., когда собственные ресурсы будут полностью исчерпаны. В этот период сток Кашкадарьи в створе Каршинского гидроузла будет минимальным. Заметим, что в среднем за 1971—1980 гг. сток воды в этом створе составлял 12,7 м³/с.

Относительно водных ресурсов сток возвратных вод в этой части бассейна сократится с 17 до 5% (табл. 6), что связано, с одной стороны, со снижением оросительных норм-брутто, а с другой — с увеличением повторного использования возвратных вод. Приведенные выше величины стока будут иметь место лишь

Водный баланс (млн. м³) территории Кашкадарьинского и Каршинского ирригационных районов на перспективу

Элементы баланса	Уровень проектирования, годы		
	1990	1995	2000
Кашкадарьинский район			
Водные ресурсы Кашкадарьи	1360	1360	1360
Водозабор из р. Зеравшан	284	296	233
Водозабор из р. Амударья			423
Результирующая подземного притока	91	91	91
Итого приток	1735	1747	2107
Орошаемая площадь, тыс. га	170	180	210
Приток воды на 1 га, тыс. м ³	10,2	9,7	10,0
Затраты стока на суммарное испарение:			
с орошаемых земель	1080	1143	1334
с перелогов	60	63	73
с поверхности водохранилищ	30	30	30
Итого на испарение	1170	1236	1437
Водозабор на промышленно-коммунальное водопотребление	393	447	522
Итого затраты	1563	1683	1959
Возвратный сток	172	64	148
То же, м ³ /с	5,5	2,0	4,7
Возвратный сток относительно водных ресурсов, %	9,9	3,7	7,0
Каршинский район			
Приток по КМК	6132	6829	9540
Приток по Кашкадарье	172	64	148
Итого приток	6304	6892	9688
Орошаемая площадь, тыс. га	415	515	700
Удельный приток на 1 га, тыс. м ³ /га	15,2	13,4	13,8
Затраты на суммарное испарение:			
с орошаемых земель	3631	4506	6125
с перелогов	202	250	342
с водной поверхности водохранилищ	125	200	275
Итого испарение	3958	4956	6742
Заполнение водохранилища	120	90	90
Аккумуляция влаги в почвогрунтах	613	683	954
Итого затраты на ирригацию	4691	5729	7786
Промышленно-коммунальное водопотребление	719	745	778
Итого затраты	5410	6474	8564
Возвратный сток	894	418	1124
То же, м ³ /с	28,4	13,3	35,7
Относительно притока, %	14,2	6,1	11,6
Возвратный сток, тыс. м ³ /га	2,2	0,8	1,6

при осуществлении всего проектируемого комплекса мероприятий по повышению КПД систем, регулированию стока, повышению КЗИ, многократному использованию возвратных вод и т. д. В противном случае водные ресурсы бассейна будут исчерпаны гораздо раньше, и планируемые приросты земель вряд ли будут осуществлены.

Водные ресурсы Каршинского ирригационного района состоят из притока по КМК и сброса по р. Кашкадарья в створе Каршинского гидроузла (табл. 6). На уровне 1990 г. они составят $6,3 \text{ км}^3$.

Удельный приток уменьшится с $15,2$ до $13,4$ тыс. $\text{м}^3/\text{га}$. В современных условиях (1976—1980 гг.) он равен 19 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$.

Затраты стока в районе состоят из потерь на испарение, аккумуляцию влаги в почвогрунтах и в чаше водохранилища. Затраты стока на испарение с комплексного гектара приняты по аналогии с современными условиями в размере 875 мм (табл. 5). Затраты стока на испарение с перелогов рассчитаны по аналогии с современным положением с учетом роста КЗИ с $0,75$ — $0,82$ до $0,90$.

При расчете испарения с зеркала Талимарджанского водохранилища исходили из того, что к 1990 г. оно должно быть заполнено до проектной отметки. В 1980 г. объем водохранилища составил 330 млн. м^3 , а площадь зеркала — 40 км^2 . Условно принято, что заполнение водохранилища до проектной отметки будет осуществляться равномерно в течение 1981—1990 г. Тогда ежегодные затраты на заполнение водохранилища составят 120 млн. м^3 , а площадь зеркала, согласно проектным данным [2], в 1985 г. — 63 , а в 1990 г. — 75 км^2 . Слой «видимого» испарения с поверхности водохранилища равен 1663 мм , а затраты стока — 104 млн. м^3 в 1985 г. и 125 м^3 в последующие годы.

При освоении третьей очереди земель (1990—2000 гг.) проектируется заполнение Шорсайского водохранилища объемом 900 млн. м^3 [3]. Испарение с водной поверхности его составит по проектным данным 150 млн. м^3 , а затраты на ежегодное заполнение (условно в течение 10 лет) 90 млн. м^3 . Суммарные затраты стока на заполнение водохранилищ и испарение с их поверхности приведены в (табл. 6).

Орошение целинных земель с глубоким исходным уровнем залегания грунтовых вод и плохой естественной дренированностью сопровождается аккумуляцией влаги в почвогрунтах [6]. По аналогии с землями I очереди освоения Каршинской степи принято, что в перспективе на аккумуляцию влаги в почвогрунтах будет затрачено 10% водозабора-брутто в голове канала.

С учетом промышленно-коммунального водопотребления сток возвратных вод на уровне 1990 г. составит $0,9 \text{ км}^3$, к 1995 г. сократится до $0,4 \text{ км}^3$. На уровне 1995 г., когда дефицит водных ресурсов будет особенно острым, возвратный сток составит всего 6% водозабора-брутто.

Проведенное исследование показало, что в перспективе развитие орошения в бассейне р. Кашкадарья будет сопровождаться ростом затрат речного стока на суммарное испарение, аккумуляцию влаги в почвогрунтах и заполнение водохранилищ. Возвратный сток (в процентах от водозабора) в Кашкадарьинском ирригационном районе уменьшится с 17% в 1985 г. до 3—5% в последующие годы; в Каршинском районе он снизится с 19% в 1985 г. до 12% в 2000 г. Минимальных значений водоотведение с орошаемой территории обеих зон достигнет на уровне 1995 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Ю. Н. Эмпирический метод расчета месячных сумм испарения с полей хлопчатника. — Труды САНИИ Госкомгидромета, 1982, вып. 89 (170), с. 23—35.
2. Ирригация Узбекистана, т. III. — Ташкент: Фан, 1979. — 357 с.
3. Милькис Б. Е. Оценка водопотребления в орошаемой зоне Узбекистана. — Труды САНИИРИ, 1981, вып. 165, с. 97—104.
4. Мирзаев С. Ш., Бакушева Л. П. Оценка влияния водохозяйственных мероприятий на запасы подземных вод. — Ташкент: Фан, 1979. — 117 с.
5. Побережский Л. Н. Водный баланс зоны аэрации в условиях орошения. — Л.: Гидрометеониздат, 1977. — 158 с.
6. Рубинова Ф. Э., Геткер М. И. Водный баланс Голодной степи, изменение его структуры под влиянием водохозяйственного строительства в современных условиях и перспективе. — Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 23 (104), с. 29—48.
7. Светицкий В. П., Ахмедов Г. А. Исследование баланса поверхностных вод Каршинской степи. — Труды САНИИРИ, 1981, вып. 165. — с. 54—63.
8. Ходжибаев Н. Н., Нейман Б. Я. Гидрологическое обоснование ирригационно-мелноративных мероприятий. — Ташкент: Фан, 1982. — 89 с.
9. Чолпанкулов Э. Д., Гапич Т. А. Величина водопотребления хлопчатника на целинных землях Каршинской степи. — Труды САНИИРИ, 1981, вып. 165, с. 42—44.

Ф. Э. РУБИНОВА, Л. С. ПОСТОЯЛКИНА,
Д. В. СУЛТАНОВА

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА, РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА, ПОКАЗАТЕЛЕЙ БПК₅ И БИХРОМАТНОЙ ОКИСЛЯЕМОСТИ В ВОДАХ МАЛЫХ РЕК СРЕДНЕЙ АЗИИ

Цель исследования заключалась в изучении закономерностей формирования и территориального распределения некоторых характеристик гидрохимического режима малых рек Средней Азии в естественных условиях и его изменения под влиянием хозяйственной деятельности. К малым рекам, согласно существующему ГОСТу, отнесены все водотоки длиной до 200 км.

В бассейнах рек Сырдарья и Амударья гидрохимические наблюдения проводились на 108 постах 86 малых водотоков. Из всего количества исследуемых бассейнов в 50—53% площадь их меньше 1000 км², в 74—94% меньше 3000 км² и в 91—94% случаев не превышает 5000 км².

Наблюдения за углекислым газом, кислородом и бихроматной окисляемостью начаты с первой половины 50-х, а за показателем биохимического потребления кислорода (БПК₅) — с 70-х годов. При существующей системе наблюдений сведения о составе вод дискретны во времени, при этом время отбора проб в разных створах не совпадает. Это приводит к несопоставимости данных единичных измерений. В связи с этим возникает задача перехода от единичных измерений к средним за расчетный период или другим расчетным характеристикам. Малое количество проб вызывает необходимость объединения в один ряд данных нескольких лет наблюдений.

В этом случае единичные пробы на химанализ являются некоторыми случайными выборками из генеральной совокупности. В связи с этим необходимо определить однородность выборочных значений параметров распределения, в частности средних значений и дисперсий, или установить принадлежность отдельных выборок к одной генеральной совокупности.

Неоднородность ряда может быть вызвана условиями формирования жидкого стока в момент отбора проб (природная неоднородность), изменением методики гидрохимического анализа или показателя (например, окисляемости), влиянием антропогенных факторов. Природная неоднородность устраняется группировкой данных химанализов по фазам режима. Неоднородность ряда, вызванная сменой показателя, устраняется приведением всего ряда наблюдений к единому показателю. Так, до 1960 г. определялась перманганатная окисляемость, затем до 1978 г. — перманганатная и бихроматная, а с 1978 г. — бихроматная. Бихроматная окисляемость в среднем вдвое превышает перманганатную. В связи с этим для сохранения однородности ряда значения перманганатной окисляемости за период до 1960 г. пересчитаны в бихроматную.

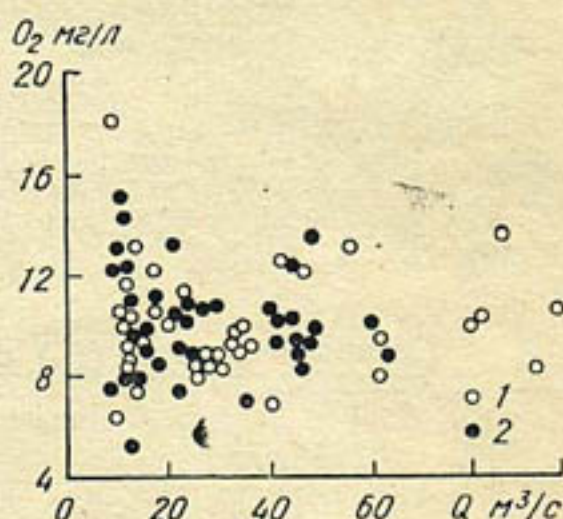
Регрессионный анализ данных наблюдений обоими методами в реках бассейна Сырдарьи показал возможность применения коэффициента пересчета, равного двум. Неоднородность ряда, вызванная антропогенным воздействием, оценивалась при помощи критерия Стьюдента на 5%-ном уровне значимости сопоставлением характеристик биогенного режима, полученных за два периода: 1950—1966 и 1967—1980 гг., из которых первый является условно-естественным. В случае однородности ряда расчетные концентрации оценивались по всему периоду наблюдений, а при неоднородности — по второму.

По концентрации углекислого газа ряды неоднородны в 9 случаях, в 4 из них содержание СО₂ во втором периоде меньше, чем в первом. По концентрации растворенного кислорода ряды неод-

вородны в 15 случаях, в том числе в половине из них в межень. По показателю бихроматной окисляемости ряды неоднородны в 41 случае, в 34 из них показатель ниже во втором периоде.

По БПК₅ наблюдения начали проводить лишь во втором периоде. В тех случаях, когда концентрации показателей СО₂ и бихроматной окисляемости на втором этапе оказались ниже, чем на первом, неоднородность можно скорее всего объяснить устранением систематических погрешностей, в противном же случае — влиянием хозяйственной деятельности.

Рис. 1. Зависимость содержания кислорода от расхода воды в р. Исфайрам:
1 — фаза подъема половодья, 2 — спада и межени



Графический анализ показал, что независимо от источников питания характеристики газового и биогенного режима не связаны с расходом воды в реке (рис. 1). В связи с этим данные единичных проб рассматривались как независимые случайные величины, которые можно обрабатывать статистическими методами. Средние за расчетный период значения получены арифметическим осреднением. Величина ошибки расчетной концентрации прямо пропорциональна ее изменчивости и обратно пропорциональна числу проб $S_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n-1}}$.

Временная изменчивость исследуемых компонентов характеризуется коэффициентами вариации (C_v) для пунктов, где число проб ≥ 10 (табл. 1). Наименьшей изменчивостью характеризуется содержание растворенного кислорода, коэффициент вариации которого в 96% пунктов не превышает 0,3. Изменчивость других элементов на порядок выше. В соответствии с ростом временной изменчивости возрастает ошибка расчета среднего, а соответственно и необходимое число проб для его оценки с заданной точностью (табл. 2).

Для расчета большинства элементов биогенного режима с ошибкой, не превышающей 20—30%, необходимо 50 и более проб, и лишь оценку О₂ можно осуществить на сравнительно небольшом их количестве. Среднесезонные значения растворенного кислорода рассчитаны с точностью $\leq 20\%$ в 96% случаев. Показатели СО₂ и бихроматной окисляемости получены с той же точностью в 54 и 61% случаев, а БПК₅ — в 38% случаев.

Если задаться ошибкой расчета среднего в 30%, то число случаев, не превышающих эту величину по показателю CO_2 , бихроматной окисляемости и БПК₅ составят соответственно 69, 86 и 59%. Следовательно, лишь по показателю O_2 имеющаяся информация позволяет рассчитать средние за сезоны значения с точностью в 20—30%.

Анализ временных рядов, сформированных по фазовым признакам, не выявил различий в изменчивости этих показателей в фазы подъема, спада половодья и межени. В связи с этим с целью увеличения объема исходной информации все имеющиеся по пункту наблюдения объединены в один ряд без учета фазовых различий. В этом случае годовые значения концентрации кислорода, углекислого газа, бихроматной окисляемости и БПК₅ с точностью 20% рассчитаны в 99, 65, 95 и 70% случаев соответственно. Ниже приводятся результаты расчетов многолетних значений исследуемых показателей.

Число случаев (%) с различной временной изменчивостью

Элемент	Число случаев	Интер				
		≤0,2	0,21—0,3	0,31—0,4	0,41—0,5	0,51—0,6
CO_2	71	2,8	4,2	7,0	10,0	17,0
O_2	141	65,9	29,8	3,6	0,7	
БПК ₅	41	2,4	12,2	9,8	9,7	17,1
Бихроматная окисляемость	221		0,5	3,2	4,5	16,7

Содержание углекислого газа в водах малых рек колеблется в пределах от 0 до 17 мг/л. Однако в большинстве пунктов (86%) его концентрация не превышает 6 мг/л. Концентрация CO_2 более 12 мг/л встречается в единичных створах. В бассейне Амударьи — это р. Нурек — кишл. Дагана и р. Сарытаг — устье, а в бассейне Сырдарьи — р. Кокбулак — кишл. Пистели.

Средние за расчетный период концентрации кислорода колеблются в пределах 6—12 мг/л. Однако в 84—96% пунктов повторяются значения 7—11 мг/л. Концентрация O_2 меньше 7 мг/л наблюдается на двух реках — Нурек — кишл. Дагана в фазу межени и Анзоб в фазу спада половодья. Очень высокая концентрация кислорода (>12 мг/л) зафиксирована в р. Кштут — кишл. Зерихсор в межень и в реках Наугарзан, Кокбулак, Ашилган в фазу подъема половодья.

Показатель БПК₅ не превышает 2 мгО/л в 72% пунктов на подъеме половодья и в 80% — на спаде. БПК₅ меньше 3 мгО/л встречается в 94% пунктов. Бихроматная окисляемость колеблется в интервале 1—25 мгО/л, однако в пределах 1—8 мгО/л значения бихроматной окисляемости фиксируются в 74—78% пунктов. В бассейне Сырдарьи количество пунктов с бихроматной окисляемостью выше 8 мгО/л су-

ущественно больше, чем в бассейне Амударьи. Это свидетельствует о большем загрязнении первого бассейна по сравнению со вторым. Наиболее высокие значения бихроматной окисляемости (выше 20 мгО/л) наблюдаются на р. Акбура — ниже г. Ош. Высокие значения (>15 мгО/л) зафиксированы на реках Яссы, Шахмардан, Шерабад и Аманкутансай.

Антропогенное влияние на годовой режим и показатели загрязнения вод малых рек исследовалось во времени и по длине рек. Изменение во времени оценивалось сопоставлением соответствующих характеристик в среднем между двумя периодами (1950—1966, 1967—1980 гг.). Концентрация CO_2 во втором периоде возросла относительно первого в четырех пунктах. Один из них находится в зоне использования стока — Сурхандарья — кишл. Шурчи.

Кислородный режим изменился в 9 пунктах, а бихроматная окисляемость в трех. Ухудшение кислородного режима имеет мес-

Таблица 1

показателей CO_2 , O_2 , БПК₅ и бихроматной окисляемости

вал C_p					
0,61—0,7	0,71—0,8	0,81—0,9	0,91—1,0	1,01—2,0	>2
14,1	14,2	4,2	8,4	18,3	9,8
17,1	12,2	4,9	—	14,6	—
19,4	18,1	13,6	6,8	17,2	—

то как в зоне использования, так и в зоне формирования стока, главным образом в фазу межени. В отдельных пунктах уменьшение концентраций O_2 отмечается в фазы спада и подъема половодья.

Показатель бихроматной окисляемости существенно увеличился во втором периоде в реках Яссы — г. Узген, Куршаб — кишл. Гуль-

Таблица 2

Ошибка расчета (%) среднего значения элементов CO_2 , O_2 , БПК₅ и бихроматной окисляемости в зависимости от числа проб

Элемент	Количество проб										
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
CO_2	120	105	92	80	70	60	40	22	11	10	—
O_2	28	16	11	8	7	6	5	4	4	4	—
БПК ₅	75	51	37	28	22	18	12	9	8	7	6
Бихроматная окисляемость	90	59	46	38	32	28	22	19	16	14	13

ча и Аманкутансай — кишл. Аманкутан. Изменение концентраций исследуемых показателей по длине рек характеризует табл. 3, 4

Резкое увеличение содержания углекислого газа наблюдается по длине рек Сурхандарья и Тупаланг. На реках Кассансай, Наугарзан и Шерабад концентрация CO_2 по длине реки меняется слабо. Концентрация кислорода по длине 9 исследуемых рек практически не меняется. Лишь в р. Наугарзан в фазы подъема половодья и межени содержание кислорода несколько уменьшается. БПК₅ также по длине рек не меняется.

Изменение бихроматной окисляемости вдоль водотока исследовалось на 13 реках. На двух из них (Акбура и Халкаджар) наблюдается резкое увеличение этого показателя вниз по течению во все фазы режима. На реках Такоб, Сурхандарья, Тупаланг бихроматная окисляемость по длине русла реки не меняется, а на остальных реках увеличивается вдоль водотока в отдельные фазы режима.

Ухудшение показателей загрязнения и газового режима, связанное с влиянием хозяйственной деятельности, наблюдается на

Таблица 3

Изменение средних за расчетный период значений CO_2 и O_2 (мг/л) по длине рек

Река, створ	Фаза					
	подъема	подъема	спада	межени	спада	межени
	CO_2			O_2		
Карадарья — кишл.	—	—	—	9,32	8,56	10,44
Кампыррават	—	—	—	10,38	8,84	10,16
Карадарья — кишл.	—	—	—	9,70	9,46	10,96
Учтепе	—	—	0,4	10,21	8,77	11,50
Кассансай — кишл.	—	—	0,7	12,22	8,75	11,66
Кзылтокай	—	—	—	10,22	9,89	9,32
Кассансай — устье	—	—	—	9,29	9,01	10,59
р. Урюкты	—	—	—	8,93	9,10	10,73
Наугарзан — 4,5 км	1,4	—	—	9,95	8,99	8,91
выше устья	1,3	—	—	9,91	8,35	9,05
Наугарзан — с. Турк	6,2	4,0	5,5	9,80	8,12	9,73
Такоб — кишл. Сафедорак	7,5	5,4	7,0	10,22	8,75	11,01
Такоб — пгт Такоб	2,3	2,2	2,6	9,52	9,50	10,94
Сурхандарья — клх.	2,0	1,9	2,8	9,10	8,67	9,70
им. Жданова	4,5	4,8	7,4	10,60	8,27	8,90
Сурхандарья — кишл.	0,9	1,1	1,2	—	—	—
Шурчи	2,1	2,8	3,2	—	—	—
Сурхандарья — кишл.	1,5	1,3	1,9	—	—	—
Мангузар	2,8	1,6	0,9	—	—	—
Тупаланг — кишл.	—	—	—	—	—	—
Зарчоб	—	—	—	—	—	—
Тупаланг — устье р.	—	—	—	—	—	—
Обизаранг	—	—	—	—	—	—
Шерабад — кишл.	—	—	—	—	—	—
Дербент	—	—	—	—	—	—
Шерабад — выше	—	—	—	—	—	—
устья р. Майдан	—	—	—	—	—	—

небольшом числе рек и не во все сезоны. Большинство водотоков по среднесезонным характеристикам CO_2 , O_2 , БПК₅ и бихроматной окисляемости можно отнести к категории чистых.

Закономерности распределения характеристик газового режима и показателей загрязнения вод малых рек по территории Средней Азии выражены при помощи гидрохимического районирования. В основу гидрохимического районирования территории Средней Азии положено деление по условиям формирования стока, выполненное В. Л. Шульцем *. В пределах каждого из десяти районов при помощи критерия Фишера на 1%-ном уровне значимости расчетные значения исследуемых показателей проверены на однородность и получены средние по площади величины.

Районирование территории Средней Азии по концентрации углекислого газа, кислорода, показателям БПК₅ и бихроматной окисляемости осуществлено для сезонных и годовых величин. В связи с тем что фазовые различия для этих компонентов не существенны, ниже приводятся только карты, составленные по годовым расчетным величинам (рис. 2—5).

Наиболее низкие концентрации CO_2 (до 1 мг/л) наблюдаются в верхнем течении рек Яссы, Каракульджа, Тар, Куршаб, Исфарамайсай, Шахмардан, Манжерумсайд, Боралдай и Бугунь. В бассейне Амударьи к этой градации относится р. Карасу (верхняя) у кишл. Улян.

Концентрация CO_2 от 1 до 5 мг/л отмечаются в бассейнах рек Нарына, правых притоках Сырдарьи в Ферганской долине и р. Ахангаран. Из правобережных притоков р. Сырдарьи аналогичная картина наблюдается в реках Ходжабакирган и Аксу. Такая

Таблица 4

Изменение средних за расчетный период значений БПК₅ и бихроматной окисляемости (мгО/л) по длине рек

Река, створ	Фаза					
	подъема	спада	межени	подъема	спада	межени
	БПК ₅			Бихроматная окисляемость в фазу		
Карадарья — кишл. Кампыррават	0	0	0	—	—	—
Карадарья — кишл. Карабагиш	0,82	1,41	0,48	—	—	—
Карадарья — кишл. Учтепе	0,91	0,85	1,32	4,7	4,6	5,6
Яссы — кишл. Саламалик	—	5,11	2,30	17,1	12,4	17,8
Яссы — г. Узген	1,62	1,81	1,97	14,2	16,0	13,1

* Шульц В. Л. Реки Средней Азии. — Л.: Гидрометеониздат, 1965. — 691 с.

Река, створ	Фаза					
	подъема	спада	межени	подъема	спада	межени
Акбура — кишл. Папан	—	—	—	4,3	3,9	5,2
Акбура — кишл. Тулекен	—	—	—	6,3	7,0	8,1
Акбура — ниже г. Ош	—	—	—	21,3	21,0	25,2
Кассансай — кишл. Кзылтокай	—	—	—	3,6	3,9	3,4
Кассансай — устье р. Урюкты	—	—	—	5,8	6,0	3,2
Наугарзан — 4,5 км выше устья	—	—	—	4,0	2,8	4,5
Наугарзан — с. Турк	—	—	—	3,9	4,1	—
Боралдай — с. Васильевка	—	—	—	13,2	14,5	12,6
Боралдай — клх. им. К. Маркса	—	—	—	11,5	14,5	14,3
Обихингоу — кишл. Лайрони-Поев	—	—	—	4,7	3,1	4,5
Обихингоу — кишл. Тавильдара	—	—	—	5,6	5,3	4,2
Такоб — кишл. Сафедорак	2,58	2,72	2,36	5,7	5,6	5,4
Такоб — пгт Такоб	2,22	2,14	2,07	4,9	5,2	4,2
Сурхандарья — клх. им. Жданова	1,51	1,42	2,06	5,7	5,4	4,4
Сурхандарья — кишл. Шурчи	1,27	1,36	2,09	5,5	3,7	4,7
Сурхандарья — кишл. Мангузар	0,87	1,48	1,48	4,2	4,0	3,2
Тупаланг — кишл. Зарчоб	1,38	0,82	0,86	5,6	6,4	3,9
Тупаланг — устье р. Обизаранг	1,22	1,13	0,91	2,9	4,4	2,7
Халкаджар — кишл. Базарджой	—	—	—	3,4	5,1	3,7
Халкаджар — устье	—	—	—	13,8	10,1	6,9
Шерабад — кишл. Дербент	1,16	0,92	1,28	7,3	11,1	7,6
Шерабад — выше устья р. Майдан	1,52	0,82	1,71	12,4	9,9	7,9
Кугитанг — Свинцовый рудник	—	—	—	6,9	3,8	2,8
Кугитанг — пгт Куйтан	—	—	—	5,0	11,1	9,9

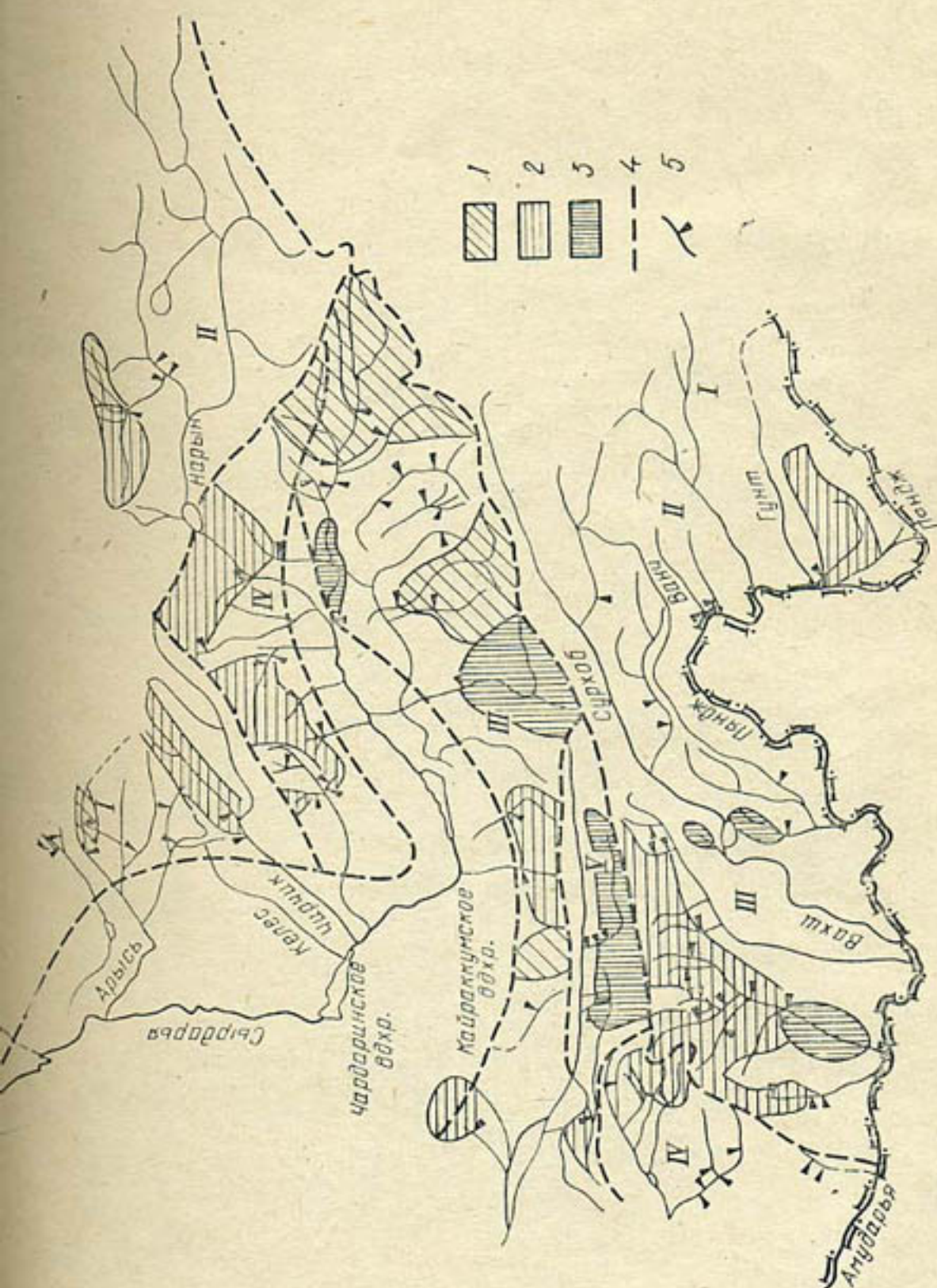


Рис. 2. Районирование территории Средней Азии (бассейны малых рек) по среднегодовому показателю CO_2 :

1 — менее 1, 2 — 1—5, 3 — 5—10, 4 — граница гидрохимических районов, 5 — створ гидрохимических наблюдений. Здесь и на рис. 3—5 римские цифры — гидрохимические районы

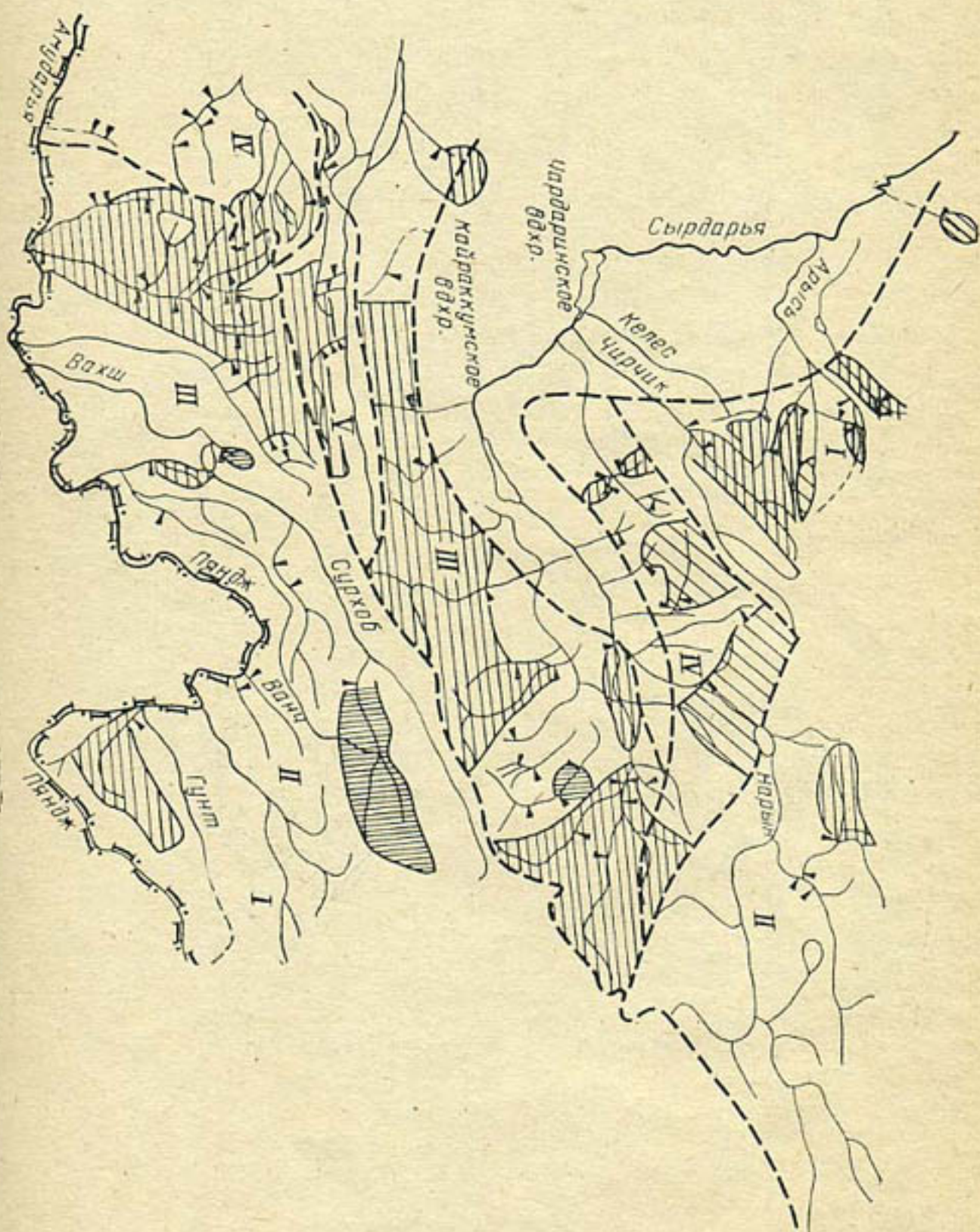


Рис. 3. Районирование территории Средней Азии (бассейны малых рек) по среднегодовому потреблению O_2 :

1 — >10, 2 — 10—8, 3 — 8—6, 4 — граница гидрохимических районов, 5 — створ гидрохимических наблюдений

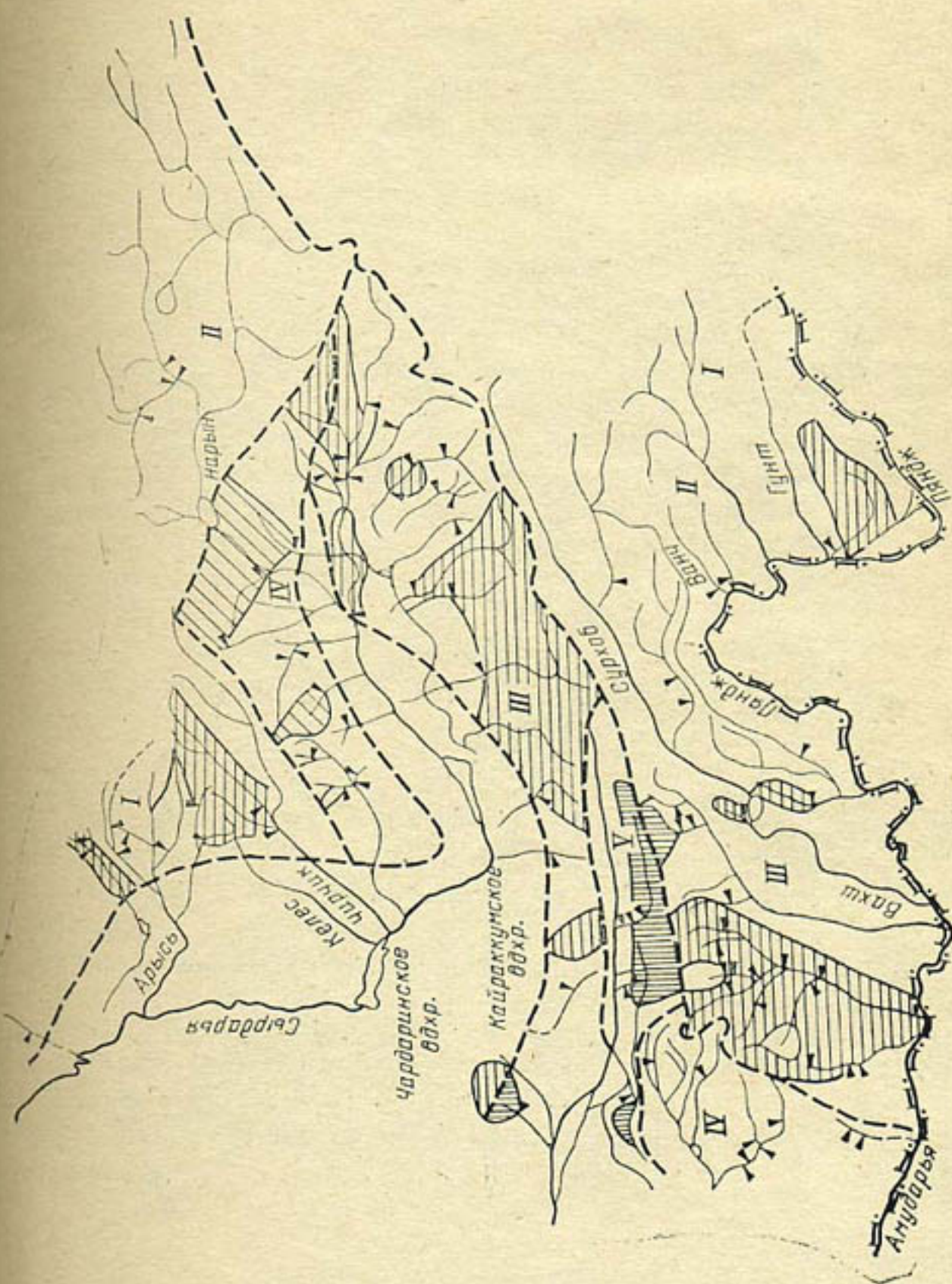


Рис. 4. Районирование территории Средней Азии (бассейны малых рек) по среднегодовому показателю БПК₅:
 1 — менее 1, 2 — 1-2, 3 — 2-3, 4 — границы гидрохимических районов, 5 — створ гидрохимических наблюдений

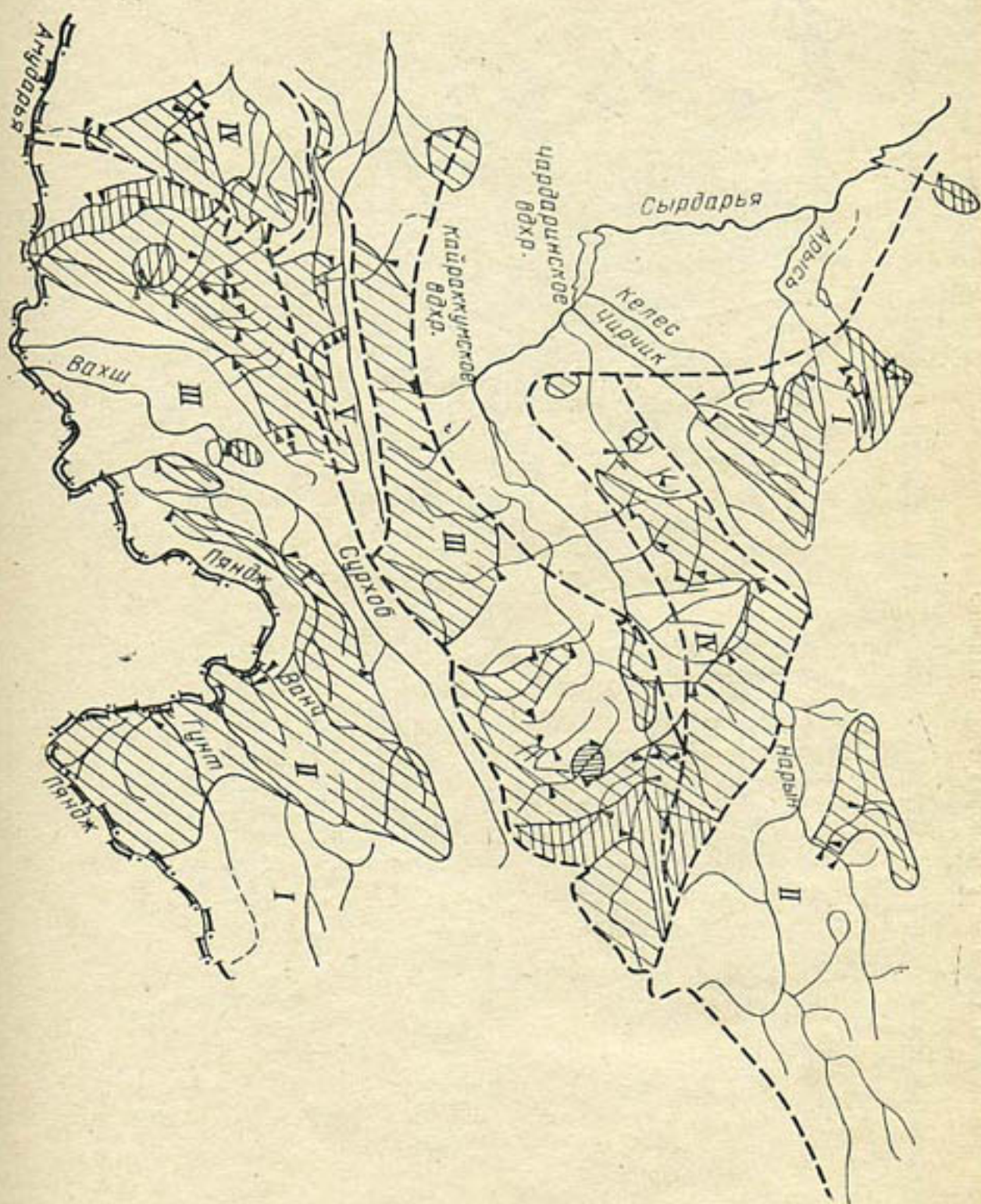


Рис. 5. Районирование территории Средней Азии (бассейны малых рек) по среднегодовому показателю осадков. 1 — >10, 2 — 10—20, 3 — 20—40, 4 — граница гидрохимических районов, 5 — створ гидрохимических районов.

1 — <10, 2 — 10—20, 3 — 20—40, 4 — граница гидрохимических районов, 5 — створ гидрохимических районов.

е концентрация CO_2 наблюдается в реках Памира, бассейнах рек Вахша, Кафирнигана, Кашкадарьи и верхнего течения Сурхандарьи. Более высокие концентрации (5—10 мг/л) зафиксированы в р. Сох, нижнем течении рек Карадарья, Сурхандарья, бассейнах рек Зеравшан, Нурек и Таирсу.

Воды рек Кокбулак и Сарытаг характеризуются самым высоким содержанием CO_2 (до 10—15 мг/л). Воды малых рек исследуемой территории характеризуются высоким содержанием кислорода — до 10 мг/л и более. Лишь бассейны рек Акбура, Муксу, Нурек и Анзоб относятся к зоне с содержанием кислорода 8—6 мг/л.

Показатель биохимического потребления кислорода характеризует степень загрязнения водотоков. Значение показателя БПК₅ в водах малых рек невелико. Вся территория, за исключением бассейна р. Вазоб и рек бассейна Зеравшан, относится к зоне с содержанием БПК₅ от 1 до 2 мг О/л. В водах р. Варзоб и реках бассейна Зеравшан содержание БПК₅ повышается до 3 мг О/л. Бассейны малых рек Средней Азии отличаются низкими фоновыми значениями бихроматной окисляемости. На большей части территории ее значения не превышают 20 мг О/л и лишь в нижнем течении р. Акбура, в зоне интенсивного использования стока, бихроматная окисляемость возрастает до 25 мгО/л.

Ограниченность исходной информации и высокая природная изменчивость этих элементов обусловили высокие ошибки расчета среднего. В связи с этим деление водотоков по грациям часто носит условный характер и приведенные карты дают лишь общее представление о территориальном распределении элементов.

Выводы

1. Величины средних сезонных значений показателей загрязнения и газового режима малых рек Средней Азии позволяют отнести большинство водотоков к категории чистых.
2. Антропогенное воздействие на показатели O_2 , CO_2 , БПК₅ и бихроматную окисляемость имеют место лишь в ограниченном числе исследованных водотоков, главным образом в зоне интенсивного использования стока.
3. Районирование территории по исследуемым показателям не выявило высотной зональности, свойственной большинству элементов гидрологического режима рек в горах.
4. Сезонные различия в расчетных значениях исследуемых компонентов невелики.

И. В. КИРИЛЮК, Л. В. ЧАЛМАЕВ

К ВОПРОСУ О ВОССТАНОВЛЕНИИ ТИПОВ ПРОШЕДШИХ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Выбор параметров гидротехнического сооружения, строительство которого намечено в пределах селеопасной зоны, зависит от того, какой тип селевого потока здесь проходит.

Основой информации о прошедших и возможном прохождении тех или иных типов селевых потоков в каждом конкретном бассейне является анализ зарегистрированных случаев и непосредственное обследование селевого бассейна. При этом фактический материал о прошедших селевых потоках является важным звеном в оценке возможности формирования в будущем здесь селей тех или иных типов.

Фактический материал о селевых потоках складывается из сообщений метеорологических станций и постов, экспедиционного обследования селевых районов гидрографическими партиями Управлений Госкомгидромета, сведений организаций, так или иначе соприкасающихся в своей работе с проблемой селей, а также сообщений научной и периодической печати.

Полученные данные обрабатываются и помещаются в Ежегодники и Каталоги селеопасных рек. Большая часть из них является случайной выборкой всей совокупности селей, формирующихся на данной территории, так как селевые потоки чаще всего фиксируются там, где они причиняют ущерб, а существующая гидрометеорологическая сеть станций и постов не освещает своими наблюдениями всех селевых бассейнов. Зачастую поступает информация только о времени и месте прохождения селевого потока без анализа причины и указания типа.

На территории Узбекистана с 1870 по 1980 г. зарегистрировано 2208 случаев прохождения селевых потоков. Из всех известных случаев для 40,9% не известен генезис, а для 83,6% — тип селей. Из общего числа известных типов 5,7% составляют наносоводные, 10,7% приходится на селевые потоки высокой плотности (грязевые и грязекаменные), что не соответствует естественным закономерностям формирования селевых потоков в Узбекистане, на территории которого преобладают, как известно, наносоводные сели.

Выборочный анализ данных о прошедших селевых потоках по некоторым бассейнам показал несоответствие между возможностью формирования в них определенных типов селей и теми данными по ним, что ранее помещены в каталоге.

Сели — трудно наблюдаемые явления, и, естественно, большая часть их описаний составлена по следам прохождения селей. Чаще всего исследователь абстрактно понимает селевой процесс и поэтому приходит к заключениям, совсем не присущим этому явлению. Нередко к наносоводным потокам относят грязекаменные и даже грязевые. Все зависит от того, в каких условиях определялся тип селя (в движении или по следам) и в какой мере квалификация исследователя позволила ему классифицировать явления. Ошибки в определении типа селей часто связаны с неопределенностью классификации. Так, наносоводные селевые потоки расцениваются как наносонесущие, водокаменные, селевые паводки, несвязанные сели [2].

Под грязекаменными селями длительное время понимали все, что угодно, лишь бы в потоке двигались камни и присутствовала грязь, причем последнюю чаще всего просто отождествляли с

рязной водой [1]. Только в начале 80-х годов, в связи с подготовкой и выходом руководства по изучению селевых потоков, были упорядочены в какой-то мере понятия о селевых потоках.

Для того чтобы восстановить неизвестный для каждого случая тип селевого потока и проверить имеющуюся информацию по известным случаям прохождения селей, нами был проведен анализ селевой ситуации в бассейне.

Селевая ситуация дешифрирована по методике КазНИИ [3], позволяющей выделить на снимке все основные селевые элементы — селевые русла, конусы и поля выноса, в том числе и конкретные участки, ведущие к формированию селевых потоков — селевые очаги и водосборы активных стокообразующих поверхностей.

На основании разработок КазНИИ [3, 4] из всего многообразия проявления селевых процессов удалось выделить три их типа: эрозионно-транспортный, эрозионно-сдвиговый и сдвиговый и связь их с конкретными формами рельефа. Первый тип имеет место на водосборах активных стокообразующих поверхностей и связан с формированием и прохождением наносоводных потоков (сели низкой плотности); два других — в очагах, где формируются грязекаменные или грязевые селевые потоки (сели высокой плотности).

С точки зрения морфологических особенностей селевые очаги подразделяются на скальные, селевые рытвины, селевые врезы, очаги рассредоточенного селеобразования, где их дифференциация связана как с характером подстилающей поверхности, так и с особенностями рельефа и климатическими факторами.

Значительная легкость в дешифрировании селевых очагов и водосборов активных стокообразующих поверхностей обусловлена принадлежностью их определенным типам ландшафта [4]. Ландшафт как сложная природно-территориальная единица имеет определенное строение и состоит из внешних и внутренних элементов. Внешними элементами на фотоизображении являются селевые объекты, т. е. то, что непосредственно опознается через рисунок на снимках. Внутренними элементами являются свойства поверхностей и процессы, происходящие в них, то, что непосредственно не изображается во внешних элементах.

Следовательно, выделяя на фотоснимке селевые очаги и водосборы активных стокообразующих поверхностей, мы подразумеваем, что в них происходят определенные процессы, свойственные выделенным типам. Отсюда, дешифрировав селевую ситуацию в бассейне, мы можем судить о возможности формирования на данной территории селевых потоков низкой или высокой плотности. В некоторых случаях достаточно надежным признаком определения прохождений грязекаменных селевых потоков являются конусы их выноса, которые существенно отличаются на фотоизображении от следов аккумуляции наносоводных потоков.

На основании проведенного сплошного дешифрирования селеактивных территорий Узбекистана составлена крупномасштабная карта селевых бассейнов. Анализ карты позволил восстановить

неизвестный тип прошедшего селевого потока и проверить информацию по известным случаям.

Рассмотрим два примера сделанного нами анализа по «экспертизе» прошедших селевых потоков.

Бассейн р. Зааминсу (северный склон Туркестанского хребта). Здесь зарегистрировано 24 случая прохождения селя. Из них для 21 случая тип прошедших селевых потоков не установлен и три случая приходятся на наносоводные сели. Площадь бассейна 968 км², длина и уклон основного селевого русла соответственно 55 км и 2°. Бассейн расположен в высотной зоне от 700 до 4029 м абс.

Анализ аэрофотоснимков позволил выявить, что к нижней и средней частям бассейна приурочены водосборы поверхностного стокообразования. Следовательно, это — зона активного формирования наносоводных потоков. К приводораздельным частям верхней ступени гор (в пределах высот от 1800 до 4000 м абс) приурочены селевые очаги. Площадь их, как правило, не превышает 1,5 км² при длине русла 1 км. У некоторых очагов прослеживаются конусы выноса грязекаменных потоков, которые уверенно дешифрируются по снимку.

Мелкие формы очагов не создают здесь предпосылок для формирования крупных грязекаменных потоков, поэтому последние аккумулируются, не доходя до русла основной реки. Таким образом, анализ селевой ситуации в бассейне позволяет сделать вывод, что все отмеченные в бассейне р. Зааминсу случаи прохождения селевых потоков по основным водотокам относятся к наносоводному типу.

Немаловажен и тот факт, что прохождение последних фиксировалось у поселков Дугоба и Заамин, т. е. в 15—35 км от зоны расположения селевых очагов.

Аналогичная картина наблюдается и в бассейне р. Паркентсай (юго-западный Тянь-Шань). Здесь отмечено 23 случая прохождения селевых потоков. Из них 6 случаев приходится на грязекаменные потоки, 5 на наносоводные, а для 12 случаев тип селевого потока неизвестен. Бассейн расположен в высотной зоне от 980 до 3200 м абс. Площадь бассейна 133 км², длина основного селевого русла 21 км. Нижние участки бассейна представляют собой полого-волнистые возвышенности с меридионально прорезающими их водотоками. Склоны водотоков короткие и достаточно крутые (15—20°). К верхним частям бассейна приурочены селевые очаги (большая часть из них небольших размеров, площадью до 1 км² при длине русла до 0,8 км). На фотоснимках только у двух малых селевых очагов прослеживаются конусы выноса грязекаменных потоков.

Непосредственно наблюдаемые в бассейне селевые потоки отнесены к наносоводным. В отмеченных случаях прошедших селей в потоке присутствовало большое количество твердых включений, но при выходе из гор произошла их естественная сортировка по крупности, что характерно для наносоводных потоков. При

прекращении движения грязекаменных потоков сортировки не происходит, поэтому плановые очертания грязекаменных и наносоводных отложений на конусах выноса существенно отличаются друг от друга как на местности, так и на аэрофотоснимках.

Многokrатно исследованный нами бассейн р. Паркентсай оценивается как бассейн, в котором могут проходить по руслу основной реки лишь наносоводные потоки, при этом не исключается возможность прохождения отдельных грязекаменных потоков в верхних участках бассейна. В бассейне довольно часто формируются селевые потоки — в среднем один раз в три года. Это препятствует накоплению в очагах большого количества рыхлообломочного материала, что соответственно не создает здесь предпосылок для формирования в русле основной реки грязекаменных потоков.

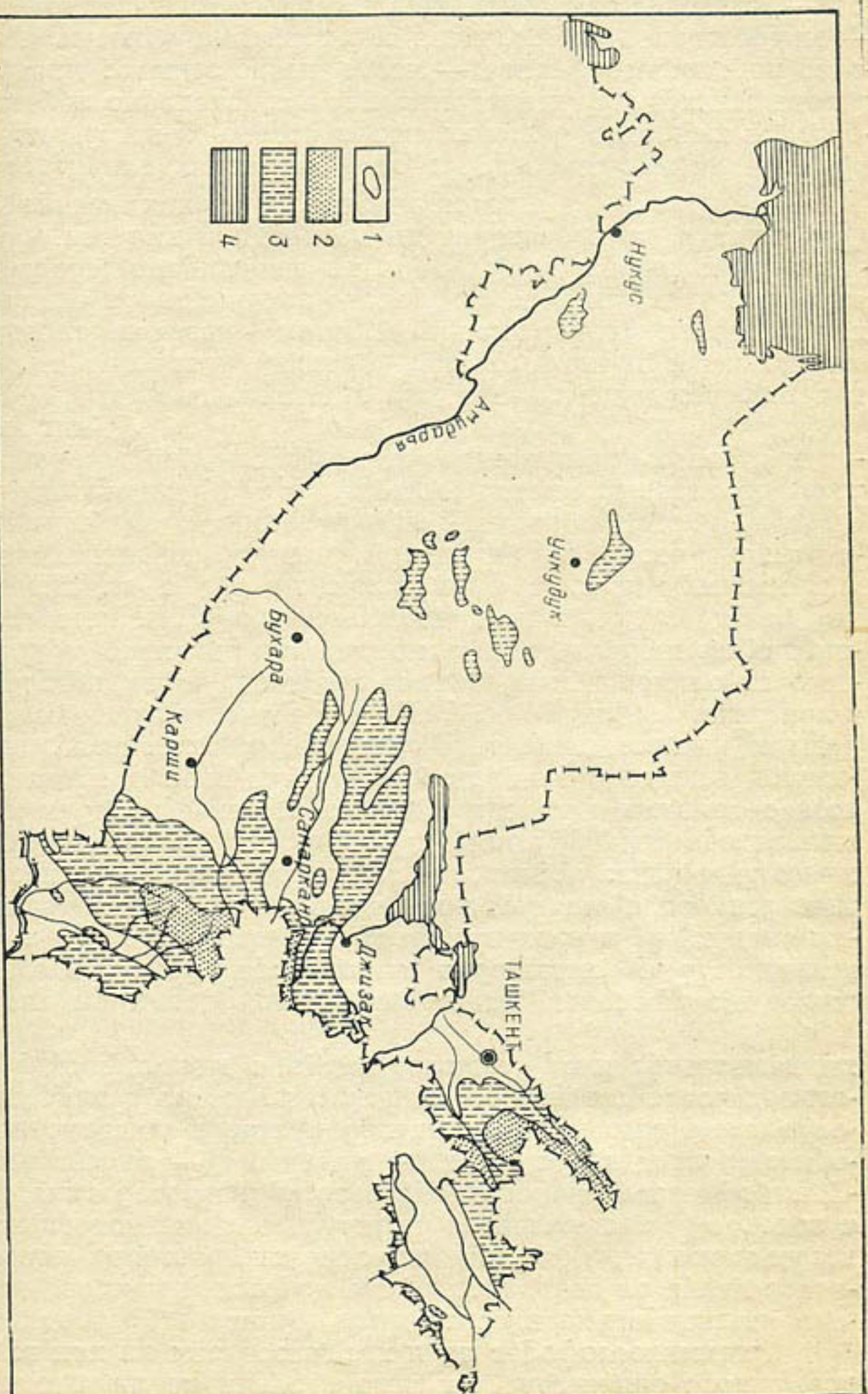
В качестве примера, подтверждающего наши рассуждения, можно привести случай прошедшего в бассейне р. Паркентсай 1 мая 1981 г. селевого потока, образовавшегося в результате выпадения ливневых осадков. Ливень прошел лишь в верхней зоне гор, о чем свидетельствовало отсутствие следов селей в боковых притоках нижней части бассейна. Линейные формы эрозионных борозд на приводораздельных частях бассейна и склонов очагов свидетельствовали о поступлении в русло реки большого количества водной составляющей, которая, образовав мощный водный поток, стремительно двигалась вниз по руслу реки, вовлекая часть руслового материала, а также материала, поступающего из селевых очагов. При движении на участках с незначительными уклонами поток отложил часть селевой смеси, о чем свидетельствовали селевые отложения в 2,5 км выше дома отдыха Кумышкан.

После прохождения селевого потока наблюдалось значительное изменение русла и поймы. Было вынесено много древесного материала. Измеренный расход селевого потока составил $250 \text{ м}^3/\text{с}$. По всем основным характеристикам селевой поток отнесен к наносоводному типу.

Таким образом, отмеченные в бассейне случаи прохождения грязекаменных потоков и случаи, для которых не известен тип селевого потока, отнесены нами к общему числу наносоводных потоков. Анализ подвергшихся экспертизе всех известных случаев селевых потоков, прошедших на территории Узбекистана, показал, что 90% из них приходится на наносоводные и лишь 10% составляют грязекаменные и грязевые потоки.

В распределении типов селей по территории, так же как и в распределении селевых очагов и поверхностей активных водосборов, существует определенная закономерность. К верхним частям гор приурочены селевые очаги, здесь — зона формирования селевых потоков высокой плотности; к низкогорьям и предгорьям — водосборы активных стокообразующих поверхностей, здесь — зона формирования селевых потоков низкой плотности [4] (рисунок).

Каждой ландшафтной зоне свойственны определенные типы слагающих их почв (подстилающей стокоформирующей поверхно-



Селеопасные районы Узбекистана:

1 — граница селеопасных районов, 2 — территории формирования грязекаменных потоков, 3 — территории формирования наносоводных селевых потоков, 4 — водохранилища и ирригационно-сбросовые озера

ти), что определяет возможность формирования селей либо высокой, либо низкой плотности.

Проведенный анализ прошедших селевых потоков показал, что формирование на территории Узбекистана грязекаменных селей в силу малых форм селевых очагов имеет, как правило, локальный характер, поэтому сформировавшиеся в них сели аккумулируются в основном в пределах долин основных водотоков. Исключение составляют лишь потоки, образование которых связано в основном с прорывом озер. Они проходят транзитом через весь бассейн и аккумулируют материал при выходе из гор. Такие явления наблюдаются крайне редко.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Ю. Б. Этюды о селевых потоках. — Л.: Гидрометеониздат, 1980. — 144 с.
2. Раушенбах И. О. Некоторые закономерности возникновения и распределения селей на территории Казахстана и Средней Азии. — Селевые потоки, 1976, Сб. 1, с. 217—235.
3. Руководство по изучению селевых потоков. — Л.: Гидрометеониздат, 1976. — с. 144.
4. Хонин Р. В. Дешифрирование аэроснимков при изучении селевых объектов. — Селевые потоки, 1976, Сб. 1, с. 173—203.

В. Г. ГАПИШКО, В. Н. ПРИМКУЛОВ

СУММАРНОЕ ИСПАРЕНИЕ В БЕССНЕЖНЫЙ ПЕРИОД С НЕОРОШАЕМОЙ ЗОНЫ БАСЕЙНА р. АМУДАРЬЯ

Рассматриваемая зона бассейна представлена Памиром и частью Памиро-Алая. Памир в свою очередь делится на Восточный и Западный. Рельеф Западного Памира сильно изрезан; Восточный отличается сравнительно мягкими сглаженными формами рельефа при большой высоте над уровнем моря (6,2—6,9 км над ур. м.).

В связи с все возрастающим использованием горных территорий в народном хозяйстве появляется необходимость в количественных характеристиках гидрометеорологических элементов. Наименее исследованным элементом водного баланса в рассматриваемом регионе является испарение.

В работе [2] для бассейна р. Амударья многолетнее месячное суммарное испарение рассчитано по 53 метеорологическим станциям методом А. Р. Константинова. Метод этот, как отмечают авторы, для рассматриваемой зоны неприемлем, так как испарение по пустынной территории получается значительно больше, чем выпадает осадков, а в высокогорной, после введения поправок на влажность воздуха, оно становится отрицательным. Нами для 29 метеорологических станций, расположенных на неорошаемой

территории бассейна, суммарное испарение за бесснежный период рассчитано методом САРНИГМИ [1]. Метод позволяет рассчитать месячные суммы испарения с различных типов естественного растительного покрова при глубине залегания грунтовых вод ниже 2 м от поверхности земли. В основе метода лежит зависимость величин испарения за календарные месяцы от осадков и температуры воздуха. При этом в сумме осадков, согласно методике ГГО, предварительно введены поправки.

Выделение бесснежного периода выполнено для каждого года по Ежегодникам по снежному покрову. Важно установить возмож-

Сведения о метеорологических станциях и многолетних годовых величинах осадков и испарения

№ п/п	Станция	Высота, м	Период наблюдений	Осадки, мм	Испарение, мм	Доля испарения % от осадков
1	Анзобский перевал	3373	1940—1980	642	61	10
2	Алтын-Мазар	2782	1936—1980	178	107	60
3	Акрабат	1601	1951—1980	466	315	68
4	Байсун	1249	1937—1980	509	424	83
5	Булункуль	3744	1952—1980	119	30	25
6	Бустанабад	1964	1949—1980	1031	368	36
7	Гарм	1316	1936—1980	835	470	56
8	Джавшангоз	3410	1936—1980	175	48	27
9	Дехауз	2564	1936—1980	365	192	53
10	Дараут-Курган	2470	1947—1980	368	189	51
11	Дехканабад	840	1936—1980	350	313	89
12	Искандеркуль	2204	1936—1980	343	223	65
13	Ирхт	3276	1940—1980	163	74	45
14	Иол	1283	1961—1980	556	446	80
15	Каракуль	3930	1936—1980	113	34	30
16	Кангурт	948	1961—1980	742	503	68
17	Калай-Хумб	1284	1961—1980	464	369	80
18	Комсомолобад	1258	1961—1980	915	499	55
19	ледн. Северцева	2780	1960—1980	667	151	23
20	Мадрушкент	2254	1937—1980	252	232	92
21	Мургаб	3576	1936—1980	98	59	60
22	Минчукур	2117	1937—1980	705	232	33
23	Пенджикент	1015	1936—1980	375	322	86
24	Рушан	1981	1961—1980	283	219	77
25	Санглок	2239	1962—1980	942	277	29
26	Сары-Таш	3153	1936—1980	432	112	26
27	Хорог	2075	1937—1980	293	189	65
28	Хавалинг	1468	1936—1980	1043	489	47
29	Файзабад	1215	1942—1980	964	496	51

ность расчета испарения по многолетним исходным данным — осадкам и температуре воздуха. Сопоставление многолетних значений испарения, полученных помесечно для каждого года с данными, рассчитанными по многолетним исходным данным по метеорологическим станциям Искандеркуль, Джавшангоз, Бустана-

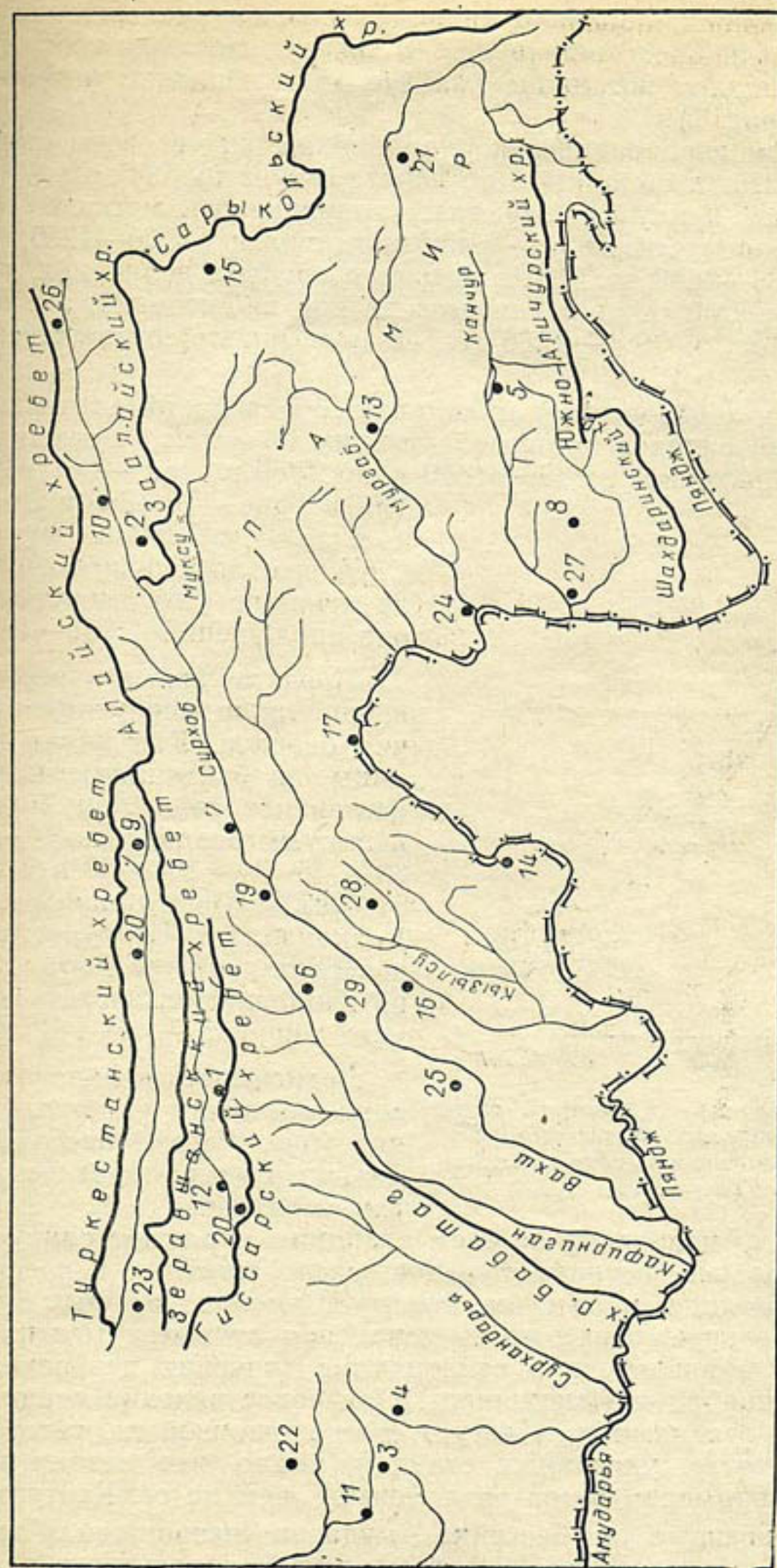


Рис. 1. Схема расположения метеорологических станций в бассейне Амударьи

бад и Файзабад, показало, однако, большие расхождения — до 17, 18, 23 и 38% соответственно. В связи с этим для всех станций расчет выполнен погодично за все годы наличия информации (таблица, рис. 1).

С учетом неоднородности ряда наблюдений по всем станциям, привлеченным к обработке, по некоторым из них (Гарм, Мудрушкент, Хорог, Дехауз и Сарыташ) сравнивались месячные суммы испарения, полученные за разные периоды: 1950—1980, 1960—1980 и 1936—1970 гг. Расхождения в средних величинах, рассчитанных, с одной стороны, за весь период наблюдений, а с другой, за 1950—1980 и 1960—1980 гг., не превышают соответственно 16 и 22%.

Число метеорологических станций, с различной длительностью наблюдений распределяется следующим образом: 18 станций имеет ряд наблюдений с 1936—1940 г. по 1980 г., три — с 1941 г. по 1980 г., две — с 1950 г. по 1980 г. и семь — с 1960 г. по 1980 г. Следовательно, наибольшее число станций (18) имеет длинный ряд наблюдений (1936—1980 гг.).

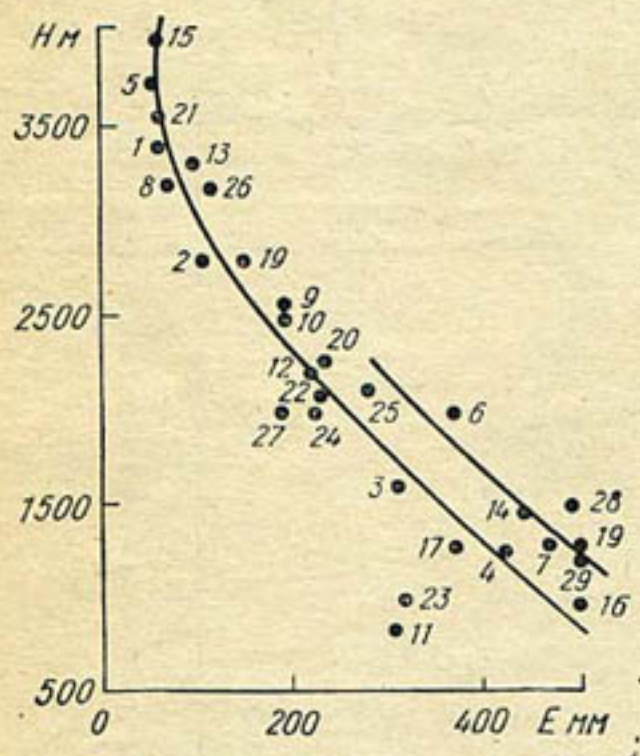


Рис. 2. Изменение с высотой суммарного испарения бесснежного периода в неорошаемой зоне бассейна Амударьи

Представляет интерес установление доли испарения от величин осадков. Как видно из таблицы, по 9 станциям испарение составляет от 10 до 36% годовых сумм осадков, по 9 — 37—60%, по 7 — 61—80% и по 4 — 81—92%. По станциям Байсуд, Дехканабад, Кангурт большое испарение может быть объяснено продолжительностью бесснежного периода — 11—12 мес.

Зависимость испарения от высоты местности удовлетворительная (рис. 2); для бассейна Сырдарьи такая же зависимость менее выражена.

Значения испарения по всем станциям образуют единую зависимость, за исключением пунктов, расположенных в среднем течении р. Вахш и в бассейне Кызылсу южная, которые образуют самостоятельную зависимость испарения от высот местности. От зависимости значительно отклоняются значения испарения станций Дехканабад и Пенджикент. При сопоставлении осадков этих станций с осадками ст. Кангурт, расположенной на высоте, близкой к высотам указанных станций, видно, что осадки на этих станциях примерно в два раза меньше, чем на ст. Кангурт.

Итак, впервые для бассейна Амударьи (неорошаемая зона) установлено: 1) закономерность изменения испарения с поверхности

суши от высот местности; 2) значения многолетнего суммарного испарения за бесснежный период изменяются в пределах 30—503 мм; 3) доля испарения от величины осадков изменяется в пределах 10—92%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Ю. Н. Метод расчета месячных сумм испарения с поверхности суши. — Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 25 (106), с. 49—62.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 14, вып. 3. Бассейн р. Амударья. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 470 с.

СОДЕРЖАНИЕ

И. Д. Шенцис. Усовершенствованная модель трансформации стока горных рек	3
Е. И. Гирник. Условия формирования стока основных рек Узбекистана в вегетационный период (апрель — сентябрь) 1983 г. и анализ больших ошибок прогнозов	13
С. Герасимов. Совместный статистический анализ экстремального стока различной продолжительности	33
Г. Е. Глазырин, Х. К. Ташметов. Объективный метод расчленения гидрографа твердого стока горной реки	42
В. Р. Комарова. О точности измерения площади водного сечения на реках с деформируемыми руслами (на примере р. Амударья)	49
Г. Е. Глазырин, В. Р. Комарова, В. А. Кудышкин, О. Юсупов. Анализ серии измерений расходов воды в реке с крайне неустойчивым руслом.	59
А. С. Никулин. Контроль оперативного и режимного стока нижнего течения р. Амударья на основе руслового водного баланса	63
Ф. Э. Рубинова, С. И. Доронина, О. С. Тактаева. Водный баланс орошаемой территории бассейна р. Кашкадарья	68
Ф. Э. Рубинова, Л. С. Постоялкина, Д. В. Султанова. Содержание углекислого газа, растворенного кислорода, показателей БПК ₅ и бихроматной окисляемости в водах малых рек Средней Азии	81
И. В. Кирилюк, Л. В. Чалмаев. К вопросу о восстановлении типов прошедших селевых потоков	93
В. Г. Гапишко, В. Н. Примкулов. Суммарное испарение в бесснежный период с неорошаемой зоны бассейна р. Амударья	99

Сборник научных трудов

Труды САНИИ Госкомгидромета, вып. 125(206)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СРЕДНЕЙ АЗИИ

Редактор *Т. С. Тихонова*

Техн. редактор *Н. А. Низяева*

Корректоры *Л. Б. Афанасьева* и *Р. А. Агафонова*

Сдано в набор 24.02.1986 г.

Подписано к печати 25.08.1987 г.

Т-17946 Формат 60×90^{1/16} Бумага картограф. Лит. гарн. Печать высокая

Усл. печ. л. 6,75 Усл. кр.-отт. 7,01 Уч. изд. л. 7,52 Тираж 360 Индекс М-М-249

Зак. 665 Цена 45 к.

Московское отделение Гидрометеониздата. Москва, 123436, ул. Маршала Рыбалко, д. 8.

Типография УСиС Госкомгидромета. Москва, 105187, Кирпичная ул., д. 33/5.

Усовершенствованная модель трансформации стока горных рек. Шенцис И. Д. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 3—13.

Предложена нелинейная модель трансформации стока горных рек, усовершенствованная по сравнению с прежней модификацией с целью более полной и точной оценки основных воднобалансовых соотношений. Предложены способы расчета испарения с поверхности бассейна, свободной от снега, поверхностного дождевого стока. Приведенные оценки свидетельствуют об устойчивой и удовлетворительной работе модели.

Модель трансформации предполагается использовать в гидропрогнозах.

Табл. 3. Ил. 3. Библ. 8.

Условия формирования стока основных рек Узбекистана в вегетационный период (апрель—сентябрь) 1983 г. и анализ больших ошибок прогнозов. Гирник Е. И. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 13 — 33.

Проанализированы гидрометеорологические условия предшествующие и сопутствующие формированию стока рек Узбекистана в аномальном 1983 г. Исследованы причины больших ошибок прогнозов стока в этом году и даны рекомендации для их устранения в будущем.

Табл. 8. Ил. 2. Библ. 5.

Совместный статистический анализ экстремального стока различной продолжительности. Герасимов С. Труды САНИИ им. Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 33 — 42.

Предлагается совместный статистический анализ экстремального стока с различными продолжительностями, начиная с нулевых мгновенных экстремумов и кончая годовыми (годового стока), как средство для уточнения эмпирических статистических распределений с оценкой каждой кривой распределения в отдельности и общей совокупностью всех кривых. Он позволяет получить одновременно уточненные кривые распределений и обобщенные кривые продолжительности экстремального стока.

Табл. 3. Ил. 2. Библ. 2.

Объективный метод расчленения гидрографа твердого стока горной реки. Глазырин Г. Е., Ташметов Х. К. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 42 — 49.

Предлагается метод выделения снеговой, дождевой и ледниковой составляющих твердого стока, основанный на использовании математической модели формирования снежного покрова и поступления воды в горном водосборе. Исходная информация, требуемая для реализации метода, стандартна. Параметры, от которых зависит вклад той или иной составляющей в твердый сток, определяются методами оптимизации.

Метод был проверен на данных стандартных наблюдений в бассейнах рек Ахангаран и Варзоб и показал хорошие результаты пока только для р. Ахангаран, не имеющей оледенения. Может быть применен для любого аналогичного горного бассейна.

Табл. 1. Ил. 1. Библ. 6.

О точности измерения площади водного сечения на реках с деформируемыми руслами (на примере р. Амударья). Комарова В. Р. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 49 — 59.

Рассматривается один из основных элементов измерительного комплекса расхода воды — площадь водного сечения. На основании экспериментальных гидрометрических работ в нижнем течении Амударьи выявлены основные источники погрешностей в определении площади и дана их количественная оценка. Показана определяющая роль морфометрии ложа реки на точность измерения уровней воды и площади водной поверхности.

Впервые показано влияние оборудования гидростворов на точность измерения площади живого сечения. При измерении с катера «Прогресс» при расходах свыше 600 м³/с возникают большие морфометрические погрешности. Даны рекомендации по повышению точности измерения площади водного сечения.

Табл. 4. Ил. 2. Библ. 4.

Анализ серии измерений расходов воды в реке с крайне неустойчивым руслом. Глазырин Г. Е., Комарова В. Р., Кудышкин В. А., Юсупов О. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 59 — 63.

На материалах учащенных измерений расходов воды рассмотрена взаимосвязь водности реки и факторов, определяющих величину расхода воды, скорости, площади водного сечения, подпора и т. д. Показано, что расход воды более коррелирован со средней глубиной, чем с уровнем наполнения русла, зависящим в свою очередь от величины подпора и деформации дна. Обнаружен любопытный факт намыва русла в период прохождения паводка, а не наоборот, как это имеет место в гидрологической практике. Влияние деформации и подпора существенно сказывается на средней скорости потока и вносит наибольшие погрешности в ее определении. Отсутствие наблюдений за уклонами ограничило полноту анализа.

Ил. 4.

Контроль оперативного и режимного стока нижнего течения р. Амударья на основе руслового водного баланса. Н и к у л и н А. С. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 63—68.

Рассматривается вопрос учета стока нижнего течения р. Амударья в режимном и оперативном варианте. Его контроль проводился на основе руслового водного баланса (РВБ). Отмечено, что невязки РВБ соизмеримы с погрешностями учета водосбора. Таким образом, улучшение учета стока тесно связано с контролем учета водозаборов в низовье Амударьи.

Табл. 3. Библ. 4.

Водный баланс орошаемой территории бассейна р. Кашкадарья. Р у б и н о в а Ф. Э., Д о р о н и н а С. И., Т а к т а е в а О. С. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 68—81.

Исследована структура водного баланса территории Кашкадарьинского и Каршинского ирригационных районов в современных условиях и перспективе.

Водные мелиорации, осуществленные в бассейне р. Кашкадарья, привели к существенным изменениям в структуре водного баланса. В перспективе, в связи с расширением орошаемых площадей и увеличением притока воды в контур, этот процесс будет продолжаться. Увеличатся затраты стока на суммарное испарение, аккумуляцию влаги в почвогрунтах и заполнение водохранилищ.

Возвратный сток (в % от водозабора) уменьшится в Кашкадарьинском районе с 17% в 1985 г. до 3—5% в последующие годы; в Каршинском районе он снизится за тот же период с 19 до 12%.

Табл. 6. Ил. 1. Библ. 9.

Содержание углекислого газа, растворенного кислорода, показателей БПК₅ и бихроматной окисляемости в водах малых рек Средней Азии. Р у б и н о в а Ф. Э., П о с т о я л к и н а Л. С., С у л т а н о в а Д. В. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 81—92.

Исследуются вопросы формирования гидрохимического режима малых рек Средней Азии. Расчетные величины CO_2 , O_2 , БПК₅ и бихроматной окисляемости получены как среднее арифметическое за весь период наблюдений с учетом фаз гидрологического режима. Дана оценка антропогенного влияния на воды малых рек и установлено, что антропогенное воздействие имеет место лишь в ограниченном числе исследованных водотоков.

Составлены карты гидрохимического районирования и показано, что большинство водотоков можно отнести к категории чистых.

Табл. 4, Ил. 5.

К вопросу о восстановлении типов прошедших селевых потоков. Кириллюк И. В., Чалмаев Л. В. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 93 — 99.

На основании проведенного сплошного дешифрирования селеактивных территорий Узбекистана составлена крупномасштабная карта селевых бассейнов, которая позволила восстановить неизвестный тип прошедшего селевого потока и проверить информацию по известным случаям. Приводится два примера анализа по «экспертизе» прошедших селевых потоков.

Ил. 1. Библ. 4.

Суммарное испарение в бесснежный период с неорошаемой зоны бассейна р. Амударья. Гапишко В. Г., Примкулов В. Н. Труды САНИИ Госкомгидромета, 1987, вып. 125(206), с. 99 — 103.

Выполнен расчет суммарного испарения за бесснежный период в неорошаемой зоне бассейна Амударьи по месячным интервалам времени по методике САНИИ. Установлены закономерности изменения испарения с высотой местности.

Табл. 1. Ил. 2. Библ. 2.