

2-75
45408
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Т Р У Д Ы

ВЫПУСК 32 (47)

ГИДРОЛОГИЯ ГОРНЫХ РЕК



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД 1968

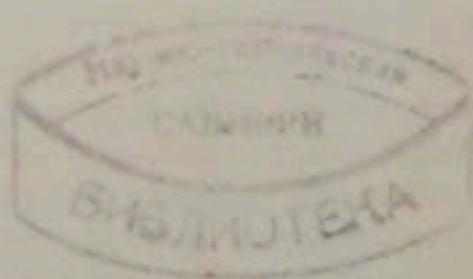
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Т Р У Д Ы
ВЫПУСК 32 (47)

ГИДРОЛОГИЯ ГОРНЫХ РЕК

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук
П. М. МАШУКОВА,
Ю. Н. ИВАНОВА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1968

45709

Освещаются вопросы гидрографии, условий формирования и расчета стока. Приводятся данные по исследованию формирования стока наносов в бассейнах горных рек и запления водохранилищ. Приводятся схемы расчета волны паводка при прорывах горных озер и внутри-суточного хода стока с ледников.

Большое внимание уделено анализу суточного хода уровня и вопросу влияния лавин на зимний сток.

Сборник предназначен для гидрологов и гидротехников, интересующихся формированием стока воды и наносов.

ПРОБЛЕМА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Интенсивное расширение орошаемых площадей, проводимое в настоящее время в Средней Азии, приведет к уменьшению притока воды в Аральское море и снижению его уровня. Конечно, внутренние резервы воды еще очень велики. Путем повышения коэффициента полезного действия ирригационных систем, осушения заболоченных земель, снижения оросительных норм и т. п. можно освоить без дополнительного забора воды из рек несколько сотен тысяч гектаров земель. Об этом, в частности, убедительно говорят высокие урожаи хлопчатника в очень маловодном 1965 г. Однако одними внутренними резервами план развития сельского хозяйства долго выполняться не может и быстро настанет время, когда сток Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи начнет уменьшаться. Не следует также забывать, что начиная с 1940 г. на Сыр-Дарье наблюдается повышенная водность ([3] рис. 146), совпавшая с интенсивным развитием орошения в Ферганской долине. Отчасти этим обстоятельством объясняется противоестественный вывод некоторых ирригаторов о том, что и дальнейшее освоение новых земель не только не скажется на стоке Сыр-Дарьи, но чуть ли не приведет к его увеличению. В настоящее время повышенная водность рек бассейна Сыр-Дарьи, по-видимому, сменяется пониженной водностью, что может ускорить необходимость дополнительного водозабора из рек и, следовательно, привести к снижению уровня Аральского моря. Снижение уровня Аральского моря в свою очередь обусловит целый ряд последствий, о которых будет сказано ниже. Напомним, что согласно несколько устаревшим данным, площадь Аральского моря при среднем за последние 50 лет уровне воды составляет без островов округленно 64000 км². Таким образом, по площади Аральское море занимает второе место в СССР и четвертое в мире. Зато глубина его по сравнению с размерами небольшая: средняя глубина равна 16,4 м и наибольшая — около 70 м. В результате при среднем уровне объем моря невелик и составляет 1023 км³, т. е. двадцатилетний сток Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи, поступающий в него в настоящее время. Отметим, что объем воды в Аральском море равен только 60% объема оз. Иссык-Куль, несмотря на то, что по площади последнее в десять раз меньше Арала. Наиболее глубокой является западная часть Аральского моря, где обнаружена максимальная глубина. Особенно ничтожны глубины в восточной части моря. Здесь изобата 10 м отходит от берега на 60 км. Результатом небольших глубин Аральского моря будет резкое

уменьшение его площади при сравнительно небольшом снижении уровня. Небольшая глубина приводит и к интенсивному испарению воды.

Аральское море, по существу, целиком питается за счет поверхностного притока рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Согласно подсчетам автора и Л. И. Шалатовой [4], в среднем за 1934—1961 гг. в Аральском море испарялось 52 км³/год, в дельтах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи — 10 км³/год, всего — 62 км³/год. Если учесть, что приток поверхностных вод в равнинную часть Средней Азии (включая южную часть бассейна оз. Балхаш) составляет 150 км³/год, то в Аральском море и дельтах впадающих в него рек рассеивается обратно в атмосферу 41% поверхностных водных ресурсов Средней Азии и 53% водных ресурсов бассейнов Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Этого количества воды при коэффициенте полезного действия ирригационных систем, равном 0,70, хватит для орошения 8 млн. га хлопчатника! Приведем, по данным автора и Л. И. Шалатовой, современный водный баланс Аральского моря [4]:

Приход	км ³ /год	мм
Атмосферные осадки	5,8	90
Поверхностный приток	52,0	811
Всего	57,8	901
Расход		
Заполнение моря	1,1	17
Испарение	57,7	900
Всего	58,8	917

Согласно балансу, в Аральском море расходовалось на 1 км³/год больше, чем притекало. При современной точности подсчета отдельных элементов баланса такое расхождение в приходной и расходной частях является вполне допустимым. При составлении водного баланса Арала не учитывался приток подземных вод со стороны Кызылкумского артезианского бассейна и потери воды на фильтрацию из Аральского моря. Несмотря на то, что некоторые гидрогеологи в последнее время стали называть фантастические величины возможного притока вод со стороны артезианского бассейна, по глубокому убеждению автора он не может быть велик и не превышает нескольких кубических километров. Неучет такого количества воды, в особенности если принять во внимание потери воды на фильтрацию через песчаный грунт берегов Аральского моря, не может заметно изменить его водного баланса.

Народнохозяйственным планом развития орошения в бассейнах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи к 1980 г. предусматривается такой прирост орошаемых площадей, что поверхностный приток в Аральское море сократится на 40 км³/год. Это сокращение притока, как показали расчеты Л. И. Шалатовой и автора [4], повлечет за собой понижение уровня Арала не менее чем на 19 м и не более чем на 24 м. Здесь даются возможные пределы понижения уровня Аральского моря, так как при современной изученности вопроса нельзя точно рассчитать изменения в потерях воды как в самом море, так и в дельтах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. При указанном падении уровня моря его площадь с 64 тыс. км² уменьшится до 25—15 тыс. км². Еще значительно уменьшится объем Арала: с 1023 км³ он сократится до 180—90 км³. Падение уровня Аральского моря будет продолжаться более 100 лет, однако наиболее интенсивное падение уровня будет происходить в течение первых десятков лет.

Падение уровня Аральского моря вызовет увеличение солёности воды озера, постепенное осушение разливов в дельтах Аму-Дарьи и Сыр-

Дарьи. В результате тростниково-камышевые заросли будут сокращаться, рыбное хозяйство потребует коренной перестройки, уменьшится транспортное значение Аральского моря, разведение ондатры, нутрии и других ценных пород животных потребует реорганизации.

Дальнейшее развитие водного хозяйства республик Средней Азии, если не принять соответствующих мер, приведет к полному осушению Аральского моря. Тогда возникает вопрос: поддерживать ли Аральское море на уровне, близком к современному, или экономически целесообразнее допустить его постепенное высыхание? Обратимся к тем последствиям, к которым приведет исчезновение Аральского моря. Начнем с отрицательных последствий действительных и кажущихся. Некоторые специалисты склонны считать, что с исчезновением Аральского моря в неблагоприятную сторону изменится климат Средней Азии. Это ошибочная точка зрения. В самом деле, благотворное влияние Арала сказывается только на узкой прибрежной полосе, на климате которой и отразится исчезновение Арала. В настоящей статье нет возможности останавливаться на этом вопросе более подробно. Укажем только, что вся известная автору литература свидетельствует о крайне ограниченном воздействии даже больших внутренних водоемов на климат. Сошлемся только на статью С. Л. Вендрова и Л. К. Малика [1], представляющую до известной степени сводку по этому вопросу. Даже большее влияние водоемов в условиях засушливого климата не может увеличить ширину зоны воздействия водоемов на климат более чем на несколько десятков километров. А влага, испаряющаяся с поверхности Аральского моря и уходящая сейчас на восток, станет испаряться с поверхности орошаемых земель, сосредоточенных южнее и ближе к горам. Она начнет выпадать в горах, увеличивая водоносность рек. Учитывая, что основная масса осадков формируется за счет влаги, принесенной извне, не следует рассчитывать на сколько-нибудь заметное увеличение осадков и тем самым на увеличение водоносности рек. Тем не менее можно с уверенностью сказать, что с осушением Аральского моря климат Средней Азии может измениться к худшему только на небольшой части ее территории, примыкавшей непосредственно к Аралу, на подавляющей же части он не только не может измениться к худшему, но только улучшится, правда вряд ли заметно. Таким образом, самым категоричным образом следует отвергнуть точку зрения об ухудшении климата Средней Азии в связи с исчезновением Аральского моря. Добыча рыбы, по-видимому, сократится, для разведения ондатры, нутрии потребуются водохозяйственные мероприятия. Для сохранения этих отраслей народного хозяйства необходимо будет создание искусственных водоемов, небольших по площади, и с режимом, регулируемым человеком. Автор не сомневается, что на площади в десятки квадратных километров с регулируемым режимом можно добиться того же экономического эффекта, что на площади в тысячи квадратных километров со стихийным режимом. Почти исчезнут тростниково-камышовые заросли в дельтах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи, что в перспективе совершенно неизбежно, и сожалеть об этом не следует. Далее, Аральское море исчезнет как транспортный объект. Справедливости ради следует отметить, что транспортное значение Арала невелико. Наконец, и это с точки зрения автора самый важный вопрос, с поверхности высохшей котловины Аральского моря возможно выдувание и разнос солей. Однако развевание солей совсем не обязательно. Отложившиеся соли могут создать такую монолитную массу, которая почти не будет подвергаться дефляции. Во всяком случае этот вопрос должен быть подвергнут самому тщательному исследованию.

Какую же выгоду народному хозяйству республик Средней Азии и Южного Казахстана несет осушение Аральского моря?

Выше говорилось, что водой, которая в значительной мере сейчас бесполезно испаряется, можно оросить 8 млн. га хлопчатника. Кроме того, Аральское море, подобно Карабугазскому заливу Каспийского моря, станет источником добычи ценных солей и может превзойти его. Если учесть, что сравнительно много воды можно высвободить и после осушения озера Балхаш, то не трудно подсчитать, что собственными водными ресурсами Средней Азии можно оросить 13—14 млн. га земель, включая, конечно, уже орошенные земли и земли, которые будут орошены в Афганистане и КНР (р. Или).

Таким образом, собственных водных ресурсов Средней Азии хватит для решения задач интенсификации сельского хозяйства во всяком случае до 1980 г., а скорее всего и до 2000 г. и прибегать к «займу» воды из других районов СССР для решения только этой задачи не обязательно. Однако, при этом будет наблюдаться постепенное высыхание Аральского моря и оз. Балхаш. По этой причине, если будет доказана экономическая целесообразность сохранения названных водоемов, что с точки зрения автора вряд ли возможно, то следует уже сейчас задуматься о переброске дополнительной воды в Среднюю Азию.

Проблема Аральского моря безусловно заслуживает самого внимательного рассмотрения и решения в ближайшие годы.

«Заем» воды возможен из сибирских рек—Оби и Енисея. Этот вопрос поднимался около 90 лет тому назад Я. Демченко в работе «О наводнении Арало-Каспийской низменности для улучшения климата ее и прилегающих стран». Работа Я. Демченко сейчас имеет лишь историческое значение в смысле методов и путей использования сибирских рек. Идея же ее правильна: вода сибирских рек может быть переброшена в засушливые районы Арало-Каспийского бессточного бассейна. Идея Я. Демченко нашла последователей. Сейчас трудно предусмотреть в деталях, каким путем будет решена эта грандиозная задача. Можно только в самых общих чертах познакомить с проектом переброски вод сибирских рек М. М. Давыдова. Его проект представляется сейчас наиболее тщательно разработанным.

Согласно проекту, на Оби, ниже впадения в нее Иртыша сооружается плотина высотой в 78 м. Разлившись, вода образует гигантский искусственный водоем—Сибирское море—площадью 250 тыс. км² (вчетверо больше площади современного Аральского моря).

Воды Сибирского моря подойдут вплотную к Тургайским воротам—водоразделу между Западной Сибирью и Арало-Каспийским бассейном. Длина Тургайских ворот 800 км. Такой протяженности и должен быть искусственный канал, по которому обская вода из Сибирского моря направится в степи и пустыни Казахстана и Средней Азии. Проектом предусматривается переброска несколько более 300 км³ воды в год, что превышает сток Волги и вдвое больше собственных водных ресурсов Средней Азии. Такое количество воды, по подсчетам М. М. Давыдова, позволит оросить 40 млн. га земли и, кроме того, обводнить 100 млн. га. Средняя Азия и Казахстан могут получить не только обскую, но и енисейскую воду. Для этой цели на Енисее, ниже устья Подкаменной Тунгуски необходимо соорудить плотину и создать второе водохранилище. Из него вода пойдет по р. Кас, повернет ее течение вспять, сольется с притоком Оби—рекой Кеть—и, таким образом, соединится с Сибирским морем. Влившись в него, енисейская вода вместе с обской направится на юг.

Грандиозное гидротехническое строительство, не имевшее себе равных в истории, даст возможность создать мощные энергетические узлы

на Оби, Енисее и на трассе магистрального канала. Коротко говоря, энергетический эффект поворота сибирских рек будет столь же разителен, сколь и «оросительный». Новый Енисей — Обь — Арало-Каспийский водный путь будет одновременно и первоклассной транспортной магистралью, связанной с Карским морем, оз. Байкал, Балтийским, Белым и Черным морями. В дальнейшем этот водный путь может быть соединен через Байкал с притоками Лены и по дальневосточным рекам с бассейном Амура, а по нему — с Тихим океаном. Таково в самых кратких чертах существо проекта М. М. Давыдова. Нет никакого сомнения, что изложенный проект не будет осуществлен в точности в том виде, как это намечал его автор. В частности, вряд ли целесообразно создание столь крупного водоема, как Сибирское море. По-видимому, целесообразнее будет качать воду при помощи насосных станций. Дело, однако, не в этом. Не приходится сомневаться, что переброска вод сибирских рек со временем будет осуществлена и если это произойдет тогда, когда Аральское море хотя бы частично уже будет осушено, то вряд ли будет рационально вновь наполнять его до современных размеров или даже повышать его уровень против настоящего его положения. Гораздо целесообразнее создать водоем более значительной глубины при меньшей по сравнению с Аралом площади.

Таким образом, судьба Арала, подчеркиваем снова, должна решаться в самое ближайшее время. Допустив хотя бы частичное его высыхание, мы навсегда потеряем Арал в его современном виде. Автор статьи считает, что осушение Аральского моря безусловно в перспективе является необходимым. Однако это должно быть доказано самыми тщательными экономическими подсчетами.

В заключение хотелось бы отметить, что идея осушения Аральского моря не нова. Еще в 1908 г. А. И. Воейков [2] писал: «Ни в какой другой стране человек не может совершить культурной работы в более обширных размерах, чем в Туркестане... В отдаленном будущем при желательных успехах гидротехнического дела и сельского хозяйства мы должны воспользоваться всей водой бассейна Арала в маловодные годы для искусственного орошения». Автору статьи представляется, что это отдаленное для А. И. Воейкова будущее уже совсем близко. Пришло время рационально использовать водные ресурсы Аральского бассейна, и не только в маловодные годы, для блага советского народа, строящего коммунизм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вендров С. Л., Малик К. Л. Опыт определения влияния крупных водохранилищ на местный климат. Изв. АН СССР, сер. геогр., № 4, 1964.
2. Воейков А. И. Орошение Закаспийской области с точки зрения географии и климатологии. Избр. соч., т. IV. Изд. АН СССР, М., 1957.
3. Шульц В. Л. Реки Средней Азии, ч. I и II. Гидрометеониздат, Л., 1965.
4. Шульц В. Л. и Шалатова Л. И. Водный баланс Аральского моря. Тр. ТашГУ, вып. 269, 1964.

К РАСЧЕТУ ГИДРОГРАФА СТОКА ПРИ ПРОРЫВЕ ЗАВАЛЬНЫХ ОЗЕР

Математическая модель катастрофических сбросов воды из завальных озер впервые была получена Ю. М. Денисовым [1] при расчете прорывной волны Зарафшанского завала. Сущность ее заключается в одновременном учете процесса размыва завала и сработки емкости завального озера. При этом, если скорость понижения уровня воды в озере меньше скорости размыва, то происходит возрастание площади живого сечения и напора воды. Как следствие этого расходы воды увеличиваются. В том случае, когда скорость понижения уровня воды больше скорости размыва, расходы воды уменьшаются.

Наиболее трудным местом модели является аппроксимация процесса размыва, который в общем случае зависит от типа грунта завала, его морфометрии и вытекающих расходов.

Применительно к прорыву оз. Яшинкуль нами принята несколько иная аппроксимация процесса размыва, чем это было сделано для Зарафшанского завала.

Известно, что

$$\frac{dW}{dt} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{от}} - Q_{\text{инф}} + Q_{\text{в}} + (a - E)F,$$

где t — время, W — объем воды в озере, $Q_{\text{пр}}$ — расход притока, $Q_{\text{от}}$ — расход оттока, E — интенсивность испарения, $Q_{\text{инф}}$ — инфильтрационный расход, $Q_{\text{в}}$ — расход выклинивания подземных вод в озеро, a — интенсивность осадков, выпадающих на зеркало озера, F — площадь поверхности озера.

Для катастрофических прорывных паводков членами E , $Q_{\text{инф}}$, a , $Q_{\text{в}}$, а зачастую и $Q_{\text{пр}}$ можно пренебречь. Тогда

$$\frac{dW}{dt} = -Q_{\text{от}}. \quad (1)$$

В левой части этого уравнения стоит скорость изменения объема воды, которая может быть преобразована

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dh} \frac{dh}{dt} = F(h) \frac{dh}{dt},$$

где h — уровень воды в озере, $F(h)$ — так называемая кривая площадей. Довольно часто бывает, что она неизвестна, но есть максимальная площадь зеркала. Тогда по общему уклону долины можно примерно получить максимальную глубину озера, а по форме поперечного сечения долины и максимальной глубине как-то аппроксимировать $F(h)$.

Рассмотрим теперь левую часть уравнения (1). Воспользуемся хорошо известной в гидравлике формулой расхода воды для водосливов:

$$Q = \alpha S \sqrt{2g(h - h_1)},$$

где S — площадь живого сечения потока, h — уровень воды в озере, h_1 — отметка дна водотока, g — ускорение силы тяжести, α — коэффициент, зависящий от ширины подводящего канала, формы водослива, формы поперечного сечения и т. п. По данным Чертоусова [5], величина $\alpha \sqrt{2g}$ может быть принята для естественных водосливов равной 1,9.

В нашем случае будут изменяться во времени и уровень воды в озере h , и глубина вреза h_1 , и, естественно, S . Таким образом,

$$Q_m = 1,9S(t) \sqrt{h(t) - h_1(t)}. \quad (2)$$

В простейшем случае закон изменения $h_1(t)$ может быть задан как линейная функция времени

$$h_1 = h_{1,0} - \lambda t, \quad (3)$$

где $h_{1,0}$ — начальная глубина вреза, которая чаще всего равна нулю. Гораздо лучшим будет предположение, что скорость врезания пропорциональна некоторой степени скорости воды

$$\frac{dh_1}{dt} = -\beta v^\gamma \quad (3')$$

(где β и γ — параметры) или же пропорциональна расходу

$$\frac{dh_1}{dt} = -\beta_1 Q_m. \quad (3'')$$

В реальных условиях может встретиться следующая ситуация.

$$\frac{dh_1}{dt} = \begin{cases} \beta(t) & \text{при } h_1 > H, \\ 0 & \text{при } h_1 \leq H, \end{cases} \quad (3''')$$

где H — отметка коренных пород.

Это значит, что, достигнув величины H , русло перестает углубляться, и размыв происходит только в стороны.

Площадь сечения S зависит от $(h - h_1)$ и формы получающегося русла. Это может быть, например, трапеция. Тогда, кроме закона изменения h_1 , нужно задать углы откосов и закон изменения ширины b . В случае, если размыв начинается в результате понижения уровня воды в озере минимальной отметки перемены, можно принять, что русло представляет собой параболу с заданными характеристиками, как бы постепенно погружающуюся в навал. Тогда, зная h_1 , можно получить площадь сечения врез $P(t)$ и, имея $(h - h_1)$, — площадь сечения потока $S(t)$:

$$S(t) = \int_{h_1}^{h-h_1} b(h, t) dh, \quad (4)$$

где $b(h)$ — ширина русла в зависимости от глубины при заданной форме сечения потока.

При прорывах завальных озер большой интерес представляет режим твердого стока R . Для его расчета естественно принять

$$R = \frac{dP(t)}{dt} \cdot l(t), \quad (5)$$

где P — площадь сечения вреза, l — длина вреза.

Решая систему уравнений (1) — (4), можно получить гидрограф сброса, а прибавив к ней уравнение (5), и характер твердого стока. Довольно грубые допущения, принятые в модели, вызваны тем, что у нас, как правило, слишком мало сведений о процессах, происходящих при подобных явлениях.

В литературе сведения о прорывах высокогорных озер в Средней Азии весьма скупы и содержат в основном качественные характеристики [4], мало пригодные для расчетов.

Наиболее подробные исследования в этом вопросе мы имеем о прорыве оз. Иссык в 1963 г. [3], спуске вод из завального озера на р. Заравшан [1] (1964 г.) и прорыве оз. Яшинкуль в бассейне р. Исфайрамсай 18/VI 1966 г.

К моменту прорыва уровень воды в оз. Яшинкуль достиг отметки 2640,40 м усл., т. е. к 18/VI 1966 г. в озере был накоплен объем воды, равный 6,6 млн. м³. По-видимому, уровень достиг того положения, которое наблюдал Н. Л. Корженевский в 1934 г., когда 28/VI уровень озера был ниже гребня плотины на 1,5 м [2].

Состояние самой завальной плотины было следующее: ширина перемычки в наиболее узкой части не превышала 60 м. В нижнем бьефе плотины в ее тело глубоко врезался овраг, голова которого имела почти отвесные стенки высотой 50—60 м. У подножия обрыва били родники. Три основных ключа в 100—150 м ниже соединялись, образуя реку.

18/VI около 14 час. местного времени началось выпадение валунов из тела завала. По словам местного жителя, наблюдавшего в бинокль в 3 км от завала, большие белые камни стали вылетать из тела завала, как артиллерийские ядра. При прорыве завала образовалось два мощных паводковых вала — один «мутный» высотой более 10 м, второй — более светлый, несколько меньший по высоте.

К 17 час. спуск воды из озера был полностью закончен.

Подтверждение характера прорыва мы можем найти в сопоставлении двух фотографий оз. Яшинкуль с видом на завал до и после прорыва. Перенесение отметки максимального горизонта на фотографию до прорыва убедительно свидетельствует, что перелива вод озера через гребень естественной плотины не наблюдалось.

Характер дальнейшего развития явления можно представить следующим образом: в голове оврага, отстоявшей от озера на 50—60 м начала усиливаться фильтрация. Она сопровождалась механической суффозией, выражавшейся в разрыхлении материала завала. Вынос частиц приводил к увеличению размеров пустот, что благоприятствовало увеличению скорости движения воды и, следовательно, способствовало выносу более крупных частиц породы. Этот процесс может вызвать образование в завале, чаще всего у места выхода потока, ослабленных зон, обрушение и размыв. Такого рода процессы действовали и в теле Яшинкульского завала. На фронтальном его склоне вследствие этого образовалась ниша размыва.

В прошлые годы, вероятно, равномерный довольно спокойный подъем уровня воды в озере вызывал пропорциональное увеличение филь-

Можно с уверенностью сказать, что наполнение оз. Яшинкуль происходило в 1966 г. резко отлично от предыдущих лет. Судя по ходу температур, можно предположить, что основное наполнение озера произошло всего за 18 дней июня при повышении уровня воды в сутки до 1 м, тогда как в прежние годы при принятии длительности наполнения озера в 4 месяца прирост воды в сутки в среднем составлял 0,15 м.

Вероятно, что катастрофический подъем уровня в I и II декадах июня привел к резкому увеличению фильтрации и процесса суффозии, которые

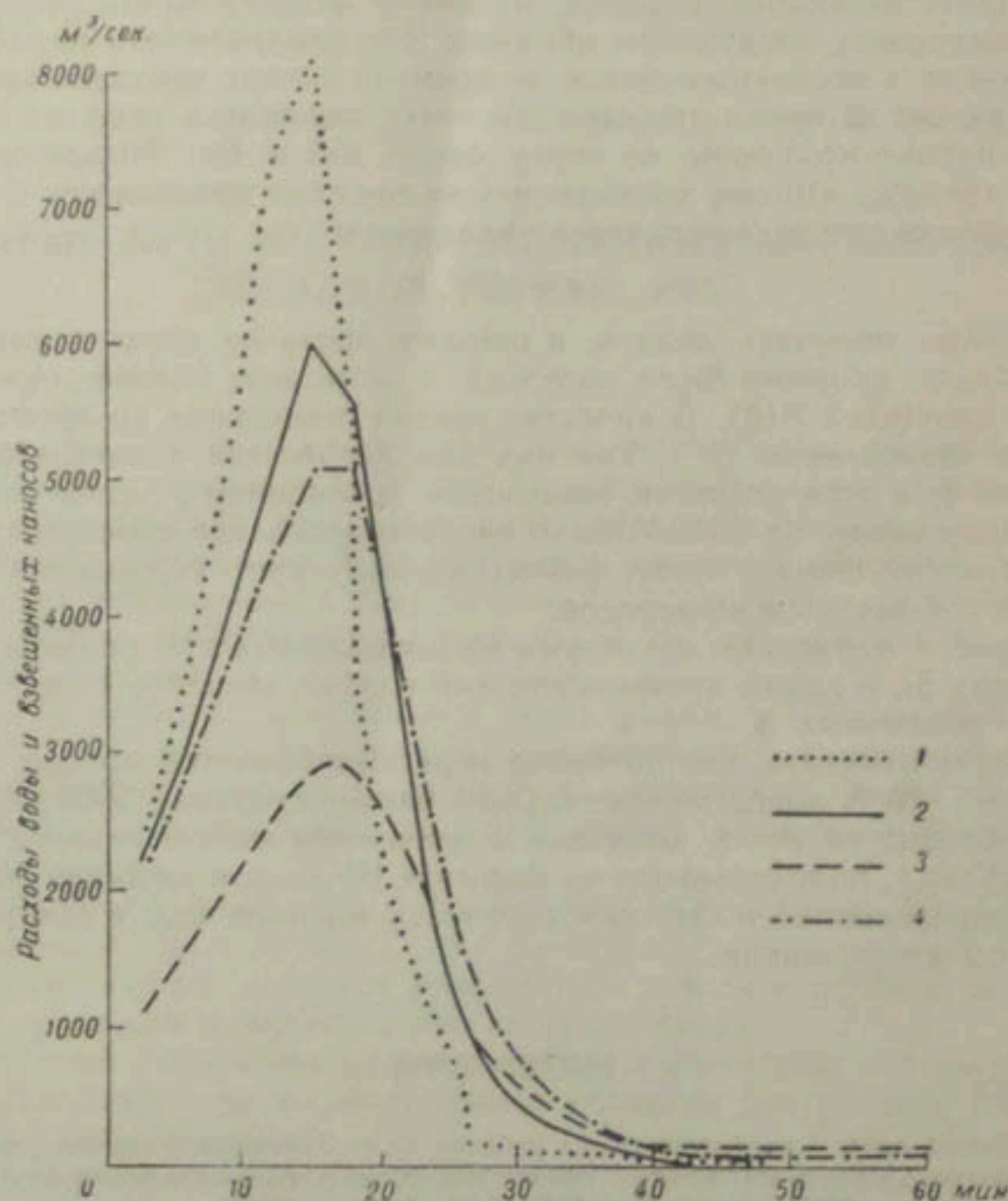


Рис. 1. Рассчитанные гидрографы стока воды при различных значениях β (1—3) и гидрограф стока наносов (4).

1 — $\beta = 6,9 \cdot 10^{-6}$, 2 — $\beta = 6,7 \cdot 10^{-6}$, 3 — $\beta = 7,4 \cdot 10^{-6}$.

достигли критической точки в своем развитии к 14 час. 18/VI, когда из тела завала начали вываливаться камни и мелкообломочный материал. В результате выноса породы, вероятно, образовалась ниша, которая постепенно достигла таких размеров, что не могла больше удерживать кровлю перемычки. Примерно в 16 час. кровля обрушилась. Это явление сопровождалось грохотом, который был услышан жителями летовок, расположенных к востоку от озера на террасе в междуречье Тегермача и Кугонды. При этом уровень воды в озере оказался на 3 м выше

минимальной отметки гребня перемычки, и вода начала переливаться через гребень плотины. Местные жители рассказывают, что в течение часа над озером стоял страшный грохот. За это время 6,5 млн. м³ воды, разрушив плотину емкостью примерно 2,5 млн. м³ грунта, обрушились в долину р. Тегермач.

Ширина образовавшего прорана по верху составила в разных его участках 280—340 м, по низу 50—60 м. Глубина вреза в районе гребня перемычки равна 90 м.

Исходя из приведенного описания начала прорыва и учитывая вид вреза после окончания паводка, механизм формирования русла можно аппроксимировать следующим образом. Это квадратичная парабола, пересекающая в перемещающихся во времени точках верхнюю кромку завала. Так как за время прорыва эти точки разошлись лишь на 30 м при общей ширине промоины по верху около 250 м, без большого ущерба можно принять, что они расходились во времени равномерно. Таким образом, форма русла определится уравнением

$$y = Ab^2.$$

А можно получить, зная h_1 и ширину вреза по верху в данный момент. После прорыва была получена с помощью съемки нужная нам кривая площадей $F(h)$. В качестве закона изменения во времени была принята зависимость (3''). Так как нам неизвестна в настоящее время величина β_1 в этой формуле, зависящая в основном от свойств грунтов, слагающих завал, на ЭЦВМ было сделано несколько просчетов при различных ее значениях, чтобы добиться наилучшего совпадения времени паводка с известным из опросов.

На рис. 1 приведены некоторые из этих кривых при различных коэффициентах β_1 , а также хронологический график твердого стока по расчету при различных β .

Следует отметить, что наиболее верно описывается процесс прорыва при $\beta = 6,7 \cdot 10^{-6}$, когда максимальный расход составил 5000 м³/сек., что весьма близко по своей величине к значениям максимального расхода (4960 м³/сек.), подсчитанного по формуле Шези для площади живого сечения, определенной по меткам горизонта высоких вод, в створе, расположенном ниже завала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технический отчет о гидрологических работах на р. Заравшан в период строительства обводного канала на завале в районе пос. Айни и первоначального пропуска воды через канал. УГМС УзССР, САНИГМИ, Ташкент, 1964.
2. Корженевский Н. Л., Исфайрамсай. Изд. АН СССР, М.—Л., 1936.
3. Литовченко А. Ф. Катастрофический селевой паводок на р. Иссык. Метеорология и гидрология, № 4, 1963.
4. Малицкий Н. Г. Справка о некоторых прорывах временных горных озер в Средней Азии и соседних странах. Изв. Среднеаз. ГО, т. XIX, Ташкент, 1929.
5. Чертоусов М. Д. Специальный курс гидравлики. Госэнергоиздат, Л., 1957.

НЕКОТОРЫЕ ПУТИ РАСЧЕТА СМЕШАННЫХ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ГОРНЫХ РЕК

В настоящее время в гидрологии известны способы расчета талых и дождевых максимальных расходов. Метод расчета максимальных расходов, образованных в результате наложения дождевых пиков на талое основание, отсутствует. Между тем для практики основной интерес представляют наибольшие в году расходы и вероятность их ежегодного превышения вне зависимости от того, были ли они дождевыми, тальными или смешанными.

Сказанное особенно применимо к таким рекам, у которых половодье (сток талых вод) имеет большую продолжительность и вероятность наложения дождевого стока на талый весьма значительна, кроме того максимальные талые и дождевые расходы имеют примерно одинаковый порядок величины.

К таким рекам относится подавляющее большинство рек Средней Азии, Кавказа, Саян и, видимо, реки некоторых других районов Союза. Это побудило автора заняться разработкой способа расчета наибольших в году расходов и вероятностью их превышения.

Отметим, что умение рассчитывать талые и дождевые максимумы является необходимым, но не достаточным условием для расчета наибольших в году расходов.

При расчете максимальных расходов без большой погрешности можно считать, что расход воды Q в замыкающем створе в момент времени t представляет собой сумму талого Q_T и дождевого Q_D расходов

$$Q = Q_T + Q_D. \quad (1)$$

Гидрограф талого стока схематизируем одновершинной трехпараметрической кривой (рис. 1)

$$Q_T = f(Q_{\max T}, h_n, \tau_T, t), \quad (2)$$

где $Q_{\max T}$ — максимальный талый расход (вершина талого гидрографа), h_n — слой половодья, τ_T — время наступления максимального талого расхода.

На талый гидрограф накладываются дождевые пики. Естественно, что для расчета максимальных расходов интерес представляют только максимальные ординаты этих пиков. Поэтому под Q_D будем в дальнейшем понимать максимальную ординату каждого отдельного дождевого пика.

Гидрограф талого стока горных рек имеет не слишком большую асимметрию и поэтому его можно аппроксимировать следующим параметрическим симметричным выражением:

$$Q_t = \frac{Q_{\max t}}{1 + \left(\frac{t - \tau_t}{b}\right)^2} \quad (3)$$

Параметр b , имеющий размерность времени, находится из условия равенства объема (слоя) половодья, вычисленного по формуле (3), и фактического объема (слоя).

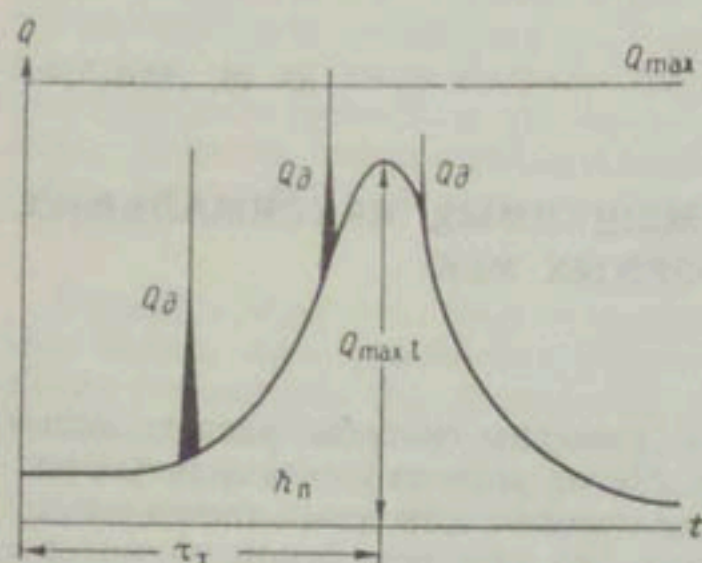


Рис. 1. Схема гидрографа стока с горного бассейна.

Анализ формирования максимальных талых расходов горных рек показывает [2], что их редукция не может быть выражена ни через площадь водосбора, ни через время добега.

Основными факторами, влияющими на редукцию максимальных талых расходов горных рек, является расчетная амплитуда высот бассейна и средняя по ней вертикальная скорость продвижения фронта таяния (нулевой изотермы) [2]. Значительная вертикальная протяженность горного бассейна увеличивает продолжительность стока половодья горных рек в сравнении с равнинными в 5—10 раз, и при

одинаковом объеме половодья и площади бассейна талые максимальные модули у горных рек часто бывают на порядок величины меньше, чем у равнинных.

Расчетная амплитуда высот бассейна пропорциональна его среднеквадратическому отклонению высот σ_z :

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z_{cp})^2 f_i}{F}}, \quad H_\phi = k_2 \sigma_z, \quad (4)$$

где z_i — средняя отметка высотной зоны, z_{cp} — средневзвешенная высота бассейна, f_i — площадь i -той высотной зоны, F — площадь бассейна, H_ϕ — расчетная амплитуда высот, k_2 — коэффициент пропорциональности, который, по нашим исследованиям, колеблется от 2,4 до 2,8 при среднем значении 2,64.

Зависимость максимального талого расхода от основных определяющих его факторов для горных рек, у которых $\sigma_z \geq 0,2$ км, может быть выражена формулой

$$Q_{\max t} = \frac{k_1 v_\phi h_n}{k_2 \sigma_z + \frac{1}{m} \sqrt{v_\phi h_n}} F, \quad (5)$$

где F — площадь бассейна, v_ϕ — средняя по амплитуде высот вертикальная скорость движения фронта снеготаяния, k_1 — коэффициент размерности, k_2 — коэффициент пропорциональности амплитуды высот бассейна.

на его среднеквадратическому отклонению ($k_2=2,64$), m — параметр, равный $n\sqrt{2\gamma C}$. Здесь γ — вертикальный температурный градиент 6,1 град/км, C — коэффициент санивания, равный 5,5 мм/град. сутки и n — отношения наибольшей срочной интенсивности таяния к среднесуточной. Для условий Средней Азии $n \approx 2,5$.

Обратимся к знаменателю формулы (5). Величина $\frac{1}{m}\sqrt{v_{\phi}h_{\Pi}}$ значительно меньше величины $k_2\sigma_z$. Кроме того, от года к году может меняться только $v_{\phi}h_{\Pi}$. Изменение этой величины может менять знаменатель для большинства рек не более чем на 5% и только для некоторых (с малой $\sigma_z \approx 0,2$ км и большим слоем половодья $h_{\Pi} \approx 1000$ мм) это изменение может доходить до 8%. Но, как правило, в условиях Средней Азии для очень малых σ_z слой половодья также бывает мал и оценка изменения знаменателя на 8% является завышенной.

Поэтому для упрощения расчета знаменатель формулы (5) следует считать для данной реки величиной постоянной (она меняется только от реки к реке) и равной

$$S = k_2\sigma_z + \frac{1}{m}\sqrt{\bar{v}_{\phi}\bar{h}_{\Pi}}, \quad (6)$$

где $\bar{v}_{\phi}$ и $\bar{h}_{\Pi}$ — среднемноголетние значения величин v_{ϕ} и h_{Π} кроме того в силу их независимости $\overline{v_{\phi}h_{\Pi}} = \bar{v}_{\phi}\bar{h}_{\Pi}$.

Величину $\frac{1}{m}\sqrt{v_{\phi}h_{\Pi}}$ отбрасывать не следует, так как при этом ошибка может быть более существенной, чем от ее замены на среднее для данной реки значение $\frac{1}{m}\sqrt{\bar{v}_{\phi}\bar{h}_{\Pi}}$.

Среднее значение (норма) максимального талого расхода, учитывая сказанное, равно

$$\bar{Q}_{\max \tau} = k_1 \frac{\bar{v}_{\phi}h_{\Pi}}{S} F. \quad (7)$$

Если $\bar{Q}_{\max \tau}$ выразить в м³/сек., σ_z — в км, F — в км², v_{ϕ} — км/сутки, h_{Π} — в мм, то $k_1 = 0,0116$. Величина параметра m при этом для расчета среднесуточных значений $Q_{\max \tau} = \bar{Q}_{\max \tau}$ равна 8 мм^{1/2}сутки^{1/2} км^{1/2}. При расчете срочных максимальных талых расходов $m = 20 \frac{\text{мм}^{1/2}}{\text{сутки}^{1/2} \text{ км}^{1/2}}$.

Отметим, что отношение срочного талого максимума к среднесуточному как по расчету по формуле с учетом указанных значений параметра m , так и по фактическим данным для большинства горных рек не превосходит 1,1.

Анализ среднемноголетних талых максимумов показал, что среднемноголетнее значение вертикальной скорости движения фронта таяния v_{ϕ} практически одинаково для всех рек бассейна Сыр-Дарьи и равно 0,028 км/сутки.

Теперь величину S с учетом указанной размерности можно выразить следующим равенством:

для среднесуточных значений $Q_{\max \tau}$

$$\tilde{S} = 2,64\sigma_z + 0,021\sqrt{\bar{h}_{\Pi}}, \quad (8)$$

для срочных значений $Q_{\max \tau}$

$$S = 2,64\sigma_z + 0,0084\sqrt{\bar{h}_{\Pi}}. \quad (9)$$

На рис. 2 показана связь вычисленных и фактических среднемноголетних максимальных талых модулей стока рек бассейна Сыр-Дарьи.

Среднемноголетняя величина слоя стока за половодье h_n определяется с помощью районных зависимостей слоя стока половодья от средневзвешенной высоты бассейна $z_{\text{ср}}$. Коэффициент вариации слоя половодья зависит как от средневзвешенной высоты бассейна $z_{\text{ср}}$, так и от средне-

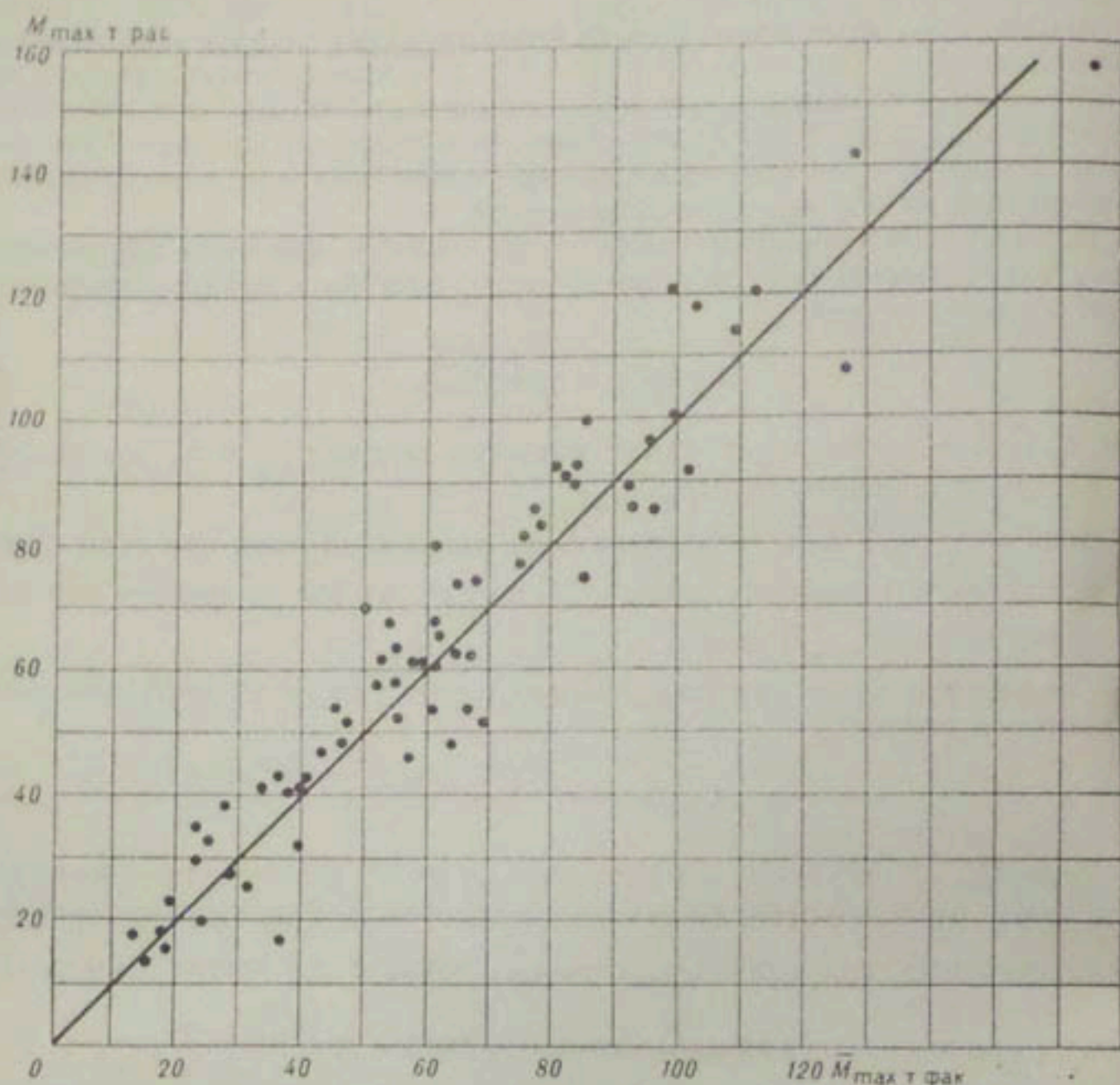


Рис. 2. Связь вычисленных и наблюдаемых максимальных талых модулей стока рек бассейна Сыр-Дарьи.

квадратического отклонения высот σ_z и может быть выражен эмпирической зависимостью вида

$$C_{\sigma h_n} = \frac{A}{z_{\text{ср}}^n \sigma_z^{m_1}} \quad \text{для} \quad \begin{matrix} z_{\text{ср}} \geq 0,8 \text{ км,} \\ \sigma_z \geq 0,20 \text{ км,} \end{matrix} \quad (10)$$

где A , n и m_1 — параметры, равные для рек бассейна Сыр-Дарьи $A=0,56$; $n=0,98$; $m_1=0,53$.

Среднеквадратическая ошибка определения $C_{\sigma h_n}$ по формуле (10) равна 6,5% и не превосходит среднеквадратической ошибки в его подсчете по имеющимся фактическим данным.

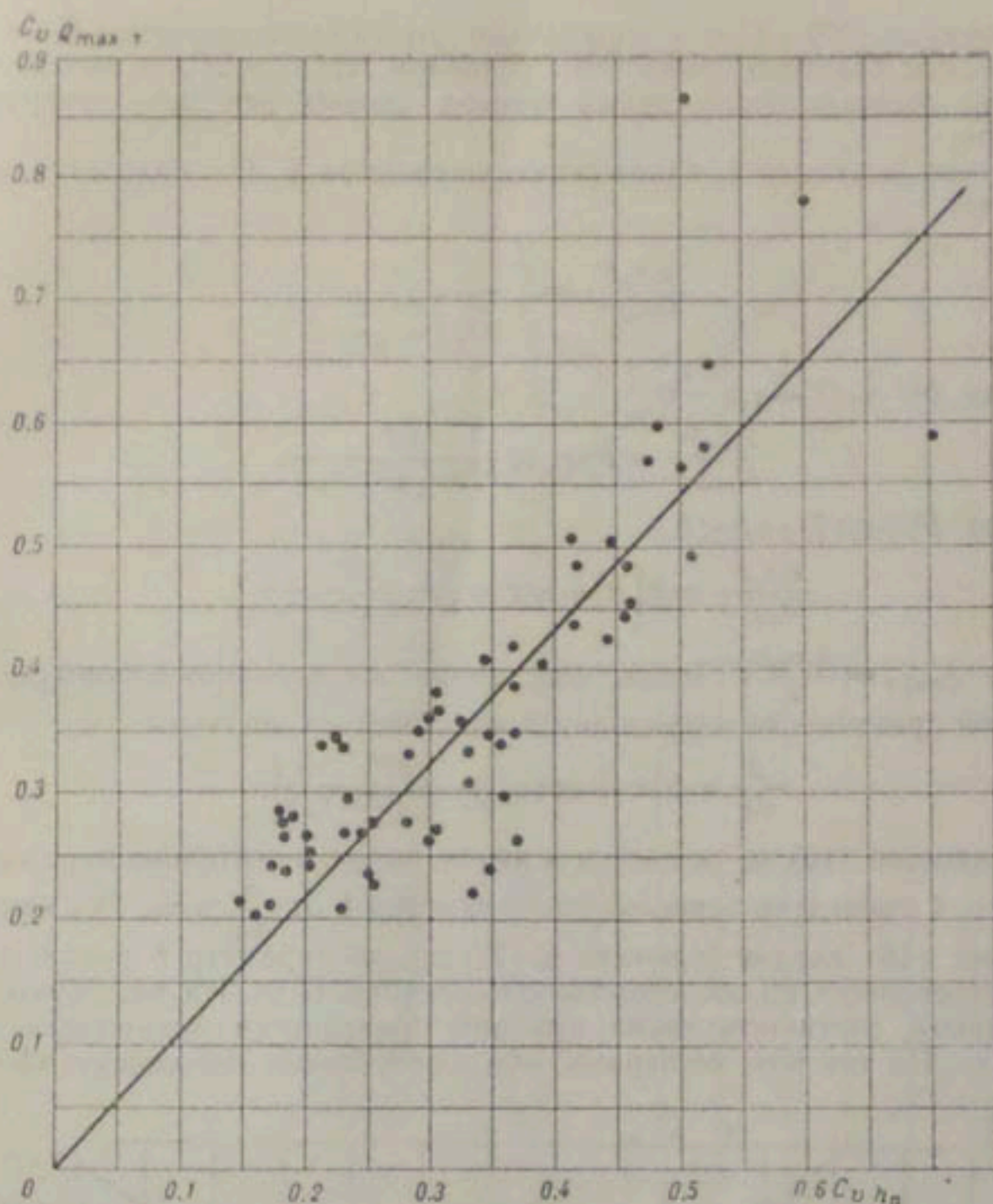


Рис. 3. Связь коэффициента вариации максимальных талых расходов с коэффициентами вариации слоя половодья.

На рис. 3 приведена связь коэффициента вариации максимальных талых расходов с коэффициентом вариации слоя половодья, которая показывает, что

$$C_{v Q_{\max \tau}} = 1,09 C_{v h_n}. \quad (11)$$

Средняя величина максимального талого расхода с учетом сказанного выше равна:
для срочного расхода

$$\bar{Q}_{\max \tau} = \frac{0,000325 \bar{h}_n F}{2,64 \sigma_z + 0,0084 \sqrt{\bar{h}_n}}, \quad (12)$$

для среднесуточного расхода

$$\bar{\bar{Q}}_{\max \tau} = \frac{0,000325 \bar{h}_n F}{2,64 \sigma_z + 0,021 \sqrt{\bar{h}_n}}. \quad (13)$$



Формула (10) — (13) и порайонные зависимости величины $\bar{h}_n$ от средней высоты бассейна совместно с условием, что $C_n = 2C_{n-1}$, позволяют рассчитать максимальный талый расход горных рек для неизученных створов.

Теперь вернемся к нахождению параметра b . Он находится из равенства

$$\frac{k_1 h_n F}{Q_{\max T}} = \int_0^T \frac{dt}{1 + \left(\frac{t - \tau_T}{b} \right)^2}.$$

Для $b^2 - \tau_T(T - \tau_T) \geq 0$

$$\frac{k_1 h_n F}{Q_{\max T}} = b \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{bT}{b^2 - \tau_T(T - \tau_T)}. \quad (14)$$

Для $b^2 - \tau_T(T - \tau_T) < 0$

$$\frac{k_1 h_n F}{Q_{\max T}} = b \left[\pi + \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{bT}{b^2 - \tau_T(T - \tau_T)} \right]. \quad (15)$$

Но $Q_{\max T} = \frac{k_1 v_\phi h}{S} F$. Тогда, подставляя эту величину в формулу (15), которой практически и приходится пользоваться, получим

$$\frac{S}{v_\phi} = b \left[\pi + \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{bT}{b^2 - \tau_T(T - \tau_T)} \right]. \quad (16)$$

Равенство (16) не решается в явном виде относительно параметра b . На рис. 4 приведена зависимость параметра b от $\frac{S}{v_\phi}$ и τ_T . Так как в выражение (16) входит величина $\tau_T(T - \tau_T)$, то параметр b одинаков для τ_T равностоящих по обе стороны от середины года. На рис. 4 показаны две линии, соответствующие крайним практически возможным значениям τ_T . Но так как, во-первых, обе линии имеют небольшую кривизну

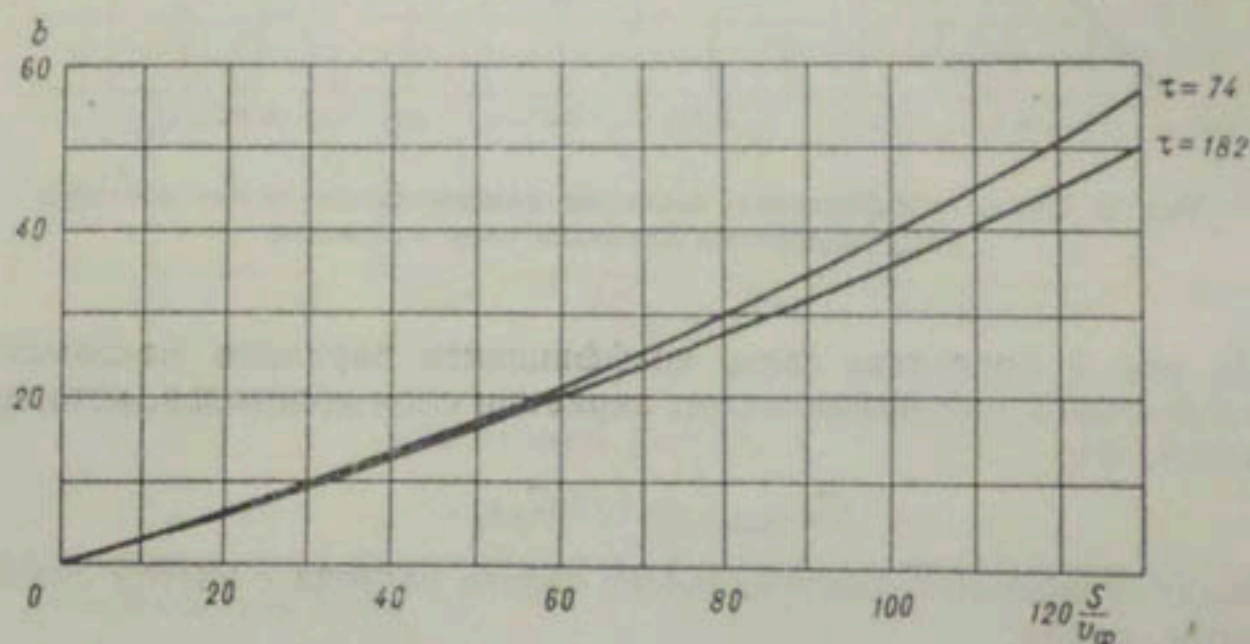


Рис. 4. Зависимость параметра b от $\frac{S}{v_\phi}$ и τ_T .

и, во-вторых, для реальных значений $\frac{S}{v_\phi}$, не превосходящих 120, обе кривые можно считать практически близкими между собой, то параметр b можно считать независимым от τ_T и линейно выражающимся через величину $\frac{S}{v_\phi}$, т. е.

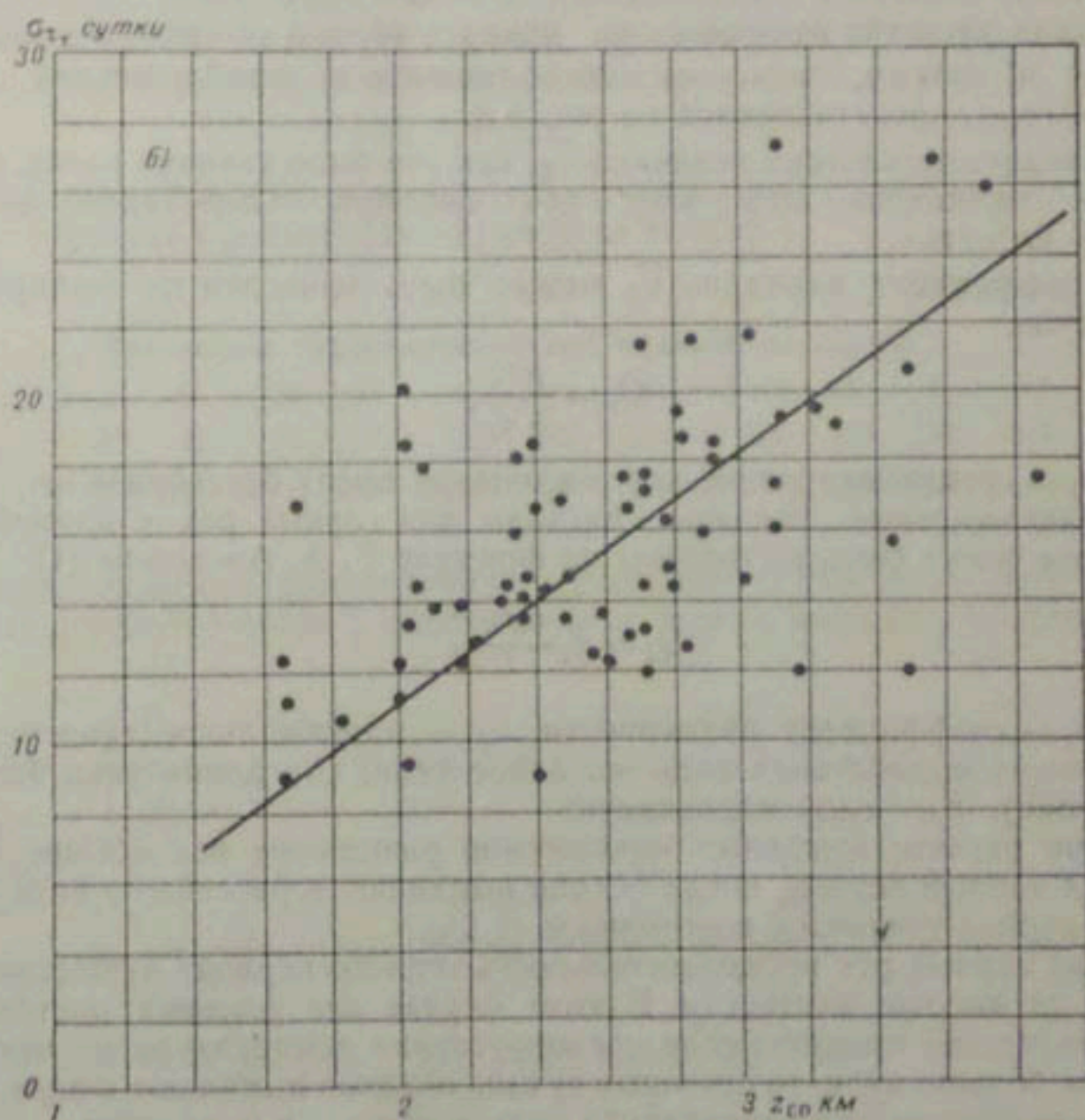
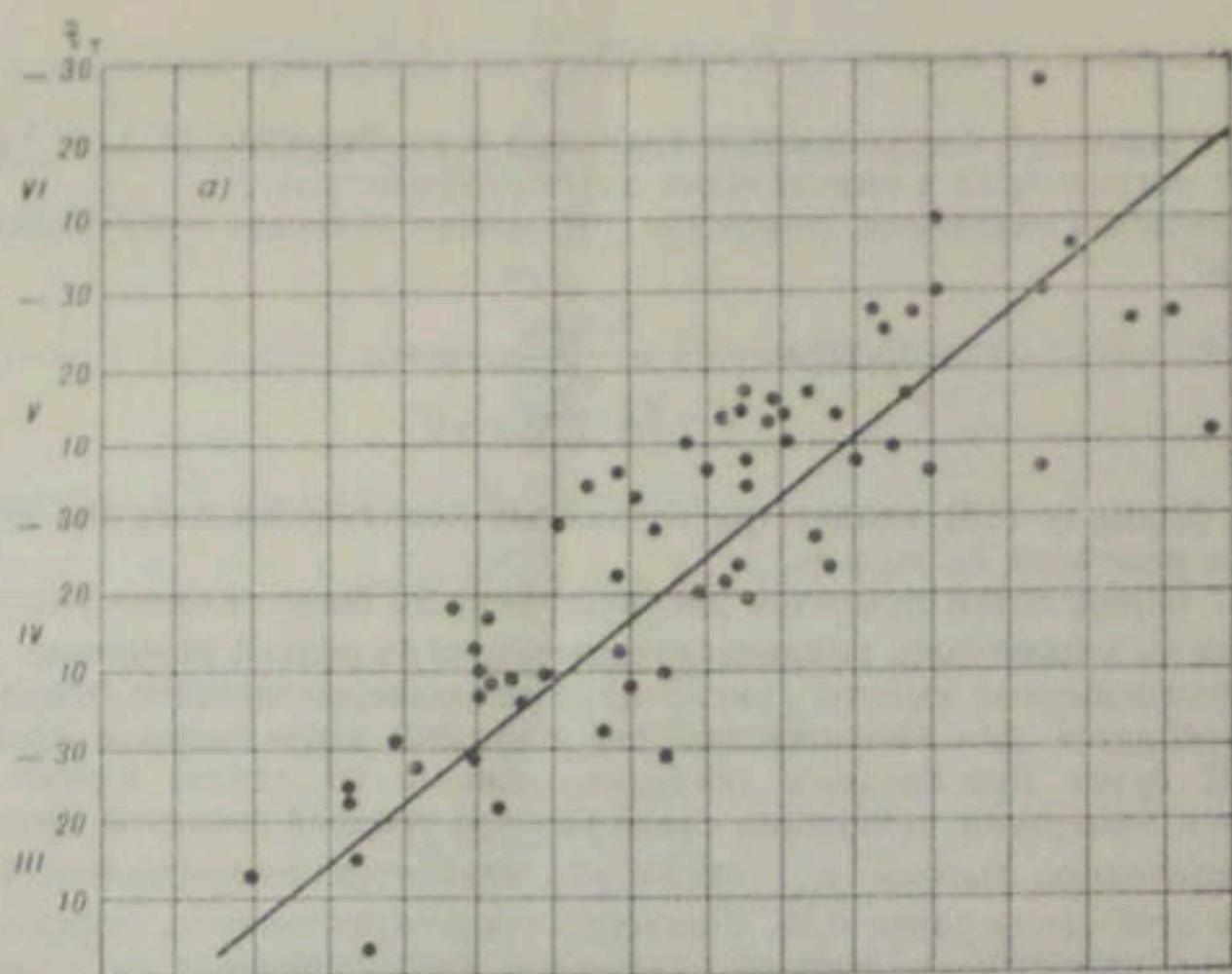


Рис. 5. Зависимость времени наступления максимального талого расхода (а) и среднего квадратичного отклонения даты наступления максимального талого расхода (б) от высоты водосбора.

$$b = 0,365 \frac{S}{v_{\phi}}. \quad (17)$$

Погрешность в определении величины b по формуле (17) не превосходит погрешности в определении других параметров.

Учитывая сказанное, равенство (3) можно записать следующим образом:

$$Q_{\tau}(t) = \frac{k_1 v_{\phi} h_n F}{S + 7,5 \frac{v_{\phi}^2}{S} (t - \tau_{\tau})^2}. \quad (18)$$

В формулу (18) входят три случайные практически взаимно независимые величины h_n , v_{ϕ} и τ_{τ} .

Об определении моментов распределения h_n было сказано ранее. Величина τ_{τ} может быть найдена по зависимости средней величины τ_{τ} от средневзвешенной высоты (рис. 5 а). Среднеквадратическое отклонение τ_{τ} колеблется для большинства рек бассейна Сыр-Дарьи в пределах 12—22 суток при среднем значении, равном 16 суткам. Кроме того, имеется некоторая тенденция связи $\sigma_{\tau_{\tau}}$ со средней высотой бассейна. С увеличением высоты $\sigma_{\tau_{\tau}}$ также увеличивается. Коэффициент корреляции этой связи равен 0,56. Учитывая невысокую точность определения времени прохождения талого максимума (она определяется путем исключения дождевой составляющей из гидрографа стока), можно в практических расчетах величину $\sigma_{\tau_{\tau}}$ принять равной ее среднему значению, т. е. 16 суткам, или же воспользоваться приближенной связью $\sigma_{\tau_{\tau}} = \bar{f}(z_{cp})$, представленной на рис. 5 б.

Среднегодовое значение v_{ϕ} , как это было сказано ранее, практически одинакова для всех рек бассейна Сыр-Дарьи и равна 0,028 км/сутки.

Коэффициент вариации $\bar{v}_{\phi}$ может быть вычислен по эмпирической формуле

$$C_v = \frac{0,12}{\sqrt{\sigma_z}}, \quad (19)$$

где σ_z — среднеквадратическое отклонение высот бассейна в км.

Максимальные дождевые расходы для горных рек с длиной 10 км и более могут быть вычислены по формуле Г. А. Алексеева [1]

$$Q_d = k_1 \frac{h_d v_L}{L} F, \quad (20)$$

где k_1 — коэффициент размерности, v_L — максимальное значение средней скорости добегания воды по длине реки, L — длина реки (главного водотока), h_d — слой водоотдачи.

При расчете дождевых максимумов равнинных рек обычно определяется теплый период, когда осадки выпадают в бассейне в виде дождя. Этот период считается постоянным.

Для горных рек продолжительность теплого периода существенно зависит от высоты местности. В этом случае для решения поставленной задачи можно принять: если среднесуточная температура на некотором уровне больше нуля, то суточные суммы осадков выпадают в виде дождя, если среднесуточная температура нуль и ниже — в виде снега.

Обозначим через F_d площадь бассейна ниже нулевой изотермы и через L_d — длину реки (главного водотока) в пределах площади F_d . Далее,

через η обозначим коэффициент дождевого стока и через x суточные суммы осадков.

Тогда максимальный дождевой расход, прошедший в данные сутки, будет равен

$$Q_x = k_1 \eta \frac{x v_L}{L_x} F_x. \quad (21)$$

Величину L_x можно выразить через F_x приближенным равенством

$$L_x = k_2 \sqrt{F_x}. \quad (22)$$

Скорость v_L представим выражением

$$v_L = k_3 \sqrt{h_x i} = k_3 \sqrt{\eta x i}, \quad (23)$$

где k_3 имеет размерность корня квадратного из ускорения, i — уклон выравненного продольного профиля реки.

Объединяя равенства (21), (22) и (23), запишем

$$Q_x = \alpha x^{\frac{3}{2}} \sqrt{F_x i}, \quad (24)$$

где $\alpha = \frac{k_1 k_3 \eta^{3/2}}{k_2}$ — комплексный параметр, имеющий размерность корня квадратного из ускорения.

Величина F_x находится следующим образом: если $F(z)$ — площадь бассейна ниже горизонта z и $z_0(t)$ — высота нулевой изотермы, то

$$F_x = F(z_0). \quad (25)$$

Среднемесячная высота нулевой изотермы для середины каждого месяца в условиях Средней Азии приведена в табл. 1.

Таблица 1

Положение среднемесячной нулевой изотермы											
Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Сутки	15	45	74	105	136	166	196	228	258	289	319
z_0 км	0,40	0,63	1,36	2,50	3,69	4,59	4,99	4,76	3,99	2,86	1,69

Площадь бассейна, ограниченную замыкающим створом с отметкой $z_{\min}$ и расположенную ниже горизонта z , можно выразить аналитически

$$F(z) = \begin{cases} 0 & \text{для } z < z_{\min}, \\ a_0 \Delta z + a_1 \Delta z^2 + a_2 \Delta z^3 & \text{для } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}, \\ F_n & \text{для } z > z_{\max}, \end{cases} \quad (26)$$

где $\Delta z = z - z_{\min}$;

$$a_0 = 3 \frac{F_n}{H_n} [1 + 10[\lambda^2 + (1 - \lambda)^2] - 8(1 - \lambda)], \quad (27)$$

$$a_1 = 6 \frac{F_n}{H_n^2} [14(1 - \lambda) - 15[\lambda^2 + (1 - \lambda)^2] - 2], \quad (28)$$

$$a_2 = 10 \frac{F_n}{H_n^3} [1 + 6[\lambda^2 + (1 - \lambda)^2] - 6(1 - \lambda)]. \quad (29)$$

В последних равенствах

$$\begin{aligned} H_n &= z_{\max} - z_{\min}, \\ \lambda &= \frac{z_{\text{cp}} - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}}, \\ \beta &= \frac{\sigma_z}{z_{\max} - z_{\min}}, \end{aligned} \quad (30)$$

где F_n — вся площадь бассейна, $z_{\max}$ — наивысшая отметка бассейна.

Приведенное аналитическое выражение для $F(z)$ описывает гипсометрическую кривую бассейна с точностью до трех ее основных параметров: полной площади бассейна F_n , средневзвешенной высоты z_{cp} и среднеквадратического отклонения высот σ_z .

Зависимость среднемноголетнего положения высоты нулевой изотермы $z_0(t)$ во времени можно выразить равенством

$$z_0(t)[\text{км}] = 2,7 + 2,3 \sin 0,985(t - 110), \quad (31)$$

где t — время, отсчитываемое от начала года, в сутках.

Равенства (26) — (31) позволяют выразить величину $F_d(t)$ аналитически.

Суточные суммы осадков x следует рассматривать как нестационарную независимую случайную последовательность. Нестационарность проявляется хотя бы в том, что вероятность выпадения осадков существенно зависит от времени года.

Для примера в табл. 2 приведено среднее число дней с осадками, равными 0,1 мм и больше, для каждого месяца по метеорологической станции Ташкент-обсерватория.

Вторая строка таблицы представляет отношение среднего числа дней с осадками каждого месяца к числу дней в месяце и практически представляет собой вероятность выпадения осадков $> 0,1$ мм в день каждого месяца $P_1(t)$.

Таблица 2

Значения параметров $P_1(t)$ и $\lambda(t)$ для метеостанции Ташкент-обсерватория												
Месяц . .	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднее число дней с осадками	12,1	11,6	13,8	10,4	6,7	3,64	1,46	0,96	0,93	6,00	10,6	13,3
$P_1(t)$. .	0,390	0,415	0,445	0,347	0,216	0,121	0,047	0,031	0,031	0,194	0,354	0,429
$\lambda(t)$. .	0,092	0,082	0,071	0,066	0,076	0,129	0,108	0,111	0,128	0,085	0,079	0,087

Вероятность P_2 выпадения суточных сумм осадков, больших величины x в момент времени t при условии, что осадки выпали, может быть выражена равенством

$$P_2 = 10^{-\lambda(t)x}, \quad (32)$$

Величины $\lambda(t)$ для метеостанции Ташкент-обсерватория приведены в табл. 2.

Безусловная вероятность P выпадения осадков больше величины x в момент времени t и равна

$$P(x > x; t) = P_1(t)10^{-\lambda(t)x}, \quad (33)$$

Вероятность того, что в момент времени t будет наблюдаться дождевой максимум больше величины Q_d , может быть выражена с учетом уравнений (24) и (33) следующим образом:

$$P(Q_d^i > Q_d; t) = P_i(t) 10^{-\lambda(t) \left(\frac{Q_d}{\alpha \sqrt{F_d t}} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (34)$$

Вероятность того, что дождевой максимум хотя бы раз в году превысит величину Q_d , равна

$$P_d(Q_d^i > Q_d) = 1 - \prod_{i=1}^{365} \left[1 - P_i(t) 10^{-\lambda(t) \left(\frac{Q_d}{\alpha \sqrt{F_d t}} \right)^{\frac{2}{3}}} \right] \quad (35)$$

Теперь получим выражение для вероятности превышения смешанным максимальным расходом величины $Q_{\max}$. Эта вероятность может быть представлена суммой вероятностей двух событий: вероятностью того, что максимальный талый расход превысит величину $Q_{\max}$ и вероятностью, что хотя бы раз в году величину $Q_{\max}$ превысит сумма талого и дождевого расхода, когда максимальный талый расход $Q_{\max \tau}$ не превышает $Q_{\max}$, т. е.

$$P(Q_{\max}) = P(Q_{\max \tau} > Q_{\max}) + P(Q_{\tau} + Q_d > Q_{\max} / Q_{\max \tau} \leq Q_{\max}). \quad (36)$$

Неравенства $Q_{\tau} + Q_d > Q_{\max}$ и $Q_d > Q_{\max} - Q_{\tau}$ равносильны. Подставляя в последнее формулу (18), получим

$$Q_d > Q_{\max} - \frac{k_1 v_{\phi} h_n F}{S + 7,5 \frac{v_{\phi}^2}{S} (t - \tau_{\tau})^2}, \quad (37)$$

а неравенство $Q_{\max \tau} \leq Q_{\max}$ равносильно неравенству

$$\frac{k_1 v_{\phi} h_n F}{S} \leq Q_{\max}. \quad (38)$$

Тогда

$$\begin{aligned} P(Q_{\tau} + Q_d > Q_{\max} / Q_{\max \tau} \leq Q_{\max}) = \\ = P \left(Q_d > Q_{\max} - \frac{k_1 v_{\phi} h_n F}{S + 7,5 \frac{v_{\phi}^2}{S} (t - \tau_{\tau})^2} \mid \frac{k_1 v_{\phi} h_n F}{S} \leq Q_{\max} \right). \end{aligned} \quad (39)$$

Пусть случайные величины h_n , v_{ϕ} и τ_{τ} примут значения, не выходящие за интервалы h_n и $h_n + \Delta h_n$, v_{ϕ} и $v_{\phi} + \Delta v_{\phi}$, τ_{τ} и $\tau_{\tau} + \Delta \tau_{\tau}$, причем, Δv_{ϕ} , Δh_n и $\Delta \tau_{\tau}$ стремятся к нулю. Вероятность того, что эти величины будут находиться в указанных интервалах, как известно, равна

$$\varphi(h_n, v_{\phi}, \tau_{\tau}) dh_n d\tau_{\tau} dv_{\phi},$$

где $\varphi(h_n, v_{\phi}, \tau_{\tau})$ — плотность вероятности совместного распределения v_{ϕ} , h_n , τ_{τ} .

При указанных значениях h_n , v_{ϕ} и τ_{τ} найдем вероятность того, что хотя бы один раз в году будет превышена величина $Q_{\max}$. Вероятность, что она будет превышена в какой-то день t , равна P_t

$$P_t = P_i(t) 10^{-\psi},$$

где

$$\psi = \lambda(t) \left[\frac{Q_{\max} - \frac{k_1 v_{\phi} h_n F}{S + 7,5 \frac{v_{\phi}^2}{S} (t - \tau_{\tau})^2}}{\alpha \sqrt{F_d t}} \right]^{\frac{2}{3}}. \quad (40)$$

Вероятность, что $Q_{\max}$ не будет превышена в момент времени t , равна $1 - P_t$. Вероятность, что ни разу в году не будет превышена величина $Q_{\max}$, равна $\prod_{t=1}^{365} (1 - P_t)$. Вероятность dP , что при указанных значениях h_n, v_ϕ, τ_τ хотя бы раз будет превышена величина $Q_{\max}$, равна

$$dP = \left[1 - \prod_{t=1}^{365} (1 - P_t) \right] \varphi(h_n, v_\phi, \tau_\tau) dh_n dv_\phi d\tau_\tau. \quad (41)$$

Если теперь выражение (41) проинтегрировать по области значений h_n, v_ϕ и τ_τ , удовлетворяющих условию

$$\frac{k_1 v_\phi h_n F}{S} \leq Q_{\max},$$

то

$$\begin{aligned} P(Q_\tau + Q_1 > Q_{\max} / Q_{\max} \tau \leq Q_{\max}) = \\ = \int_0^\infty \int_0^{\frac{Q_{\max} S}{k_1 h_n F}} \int_0^{365} \left[1 - \prod_{t=1}^{365} (1 - P_t) \right] \varphi(h_n, v_\phi, \tau_\tau) dh_n dv_\phi d\tau_\tau. \end{aligned} \quad (42)$$

Интеграл (42) можно представить (если раскрыть квадратные скобки) в виде разности двух интегралов, первый из которых представляет собой вероятность, что $Q_{\max} \tau$ будет меньше или равен $Q_{\max}$, т. е.

$$P(Q_{\max} \tau \leq Q_{\max}) = 1 - P(Q_{\max} \tau > Q_{\max}).$$

Учитывая это, запишем выражение для $P(Q_{\max})$

$$P(Q_{\max}) = 1 - \int_0^\infty \int_0^{\frac{Q_{\max} S}{k_1 h_n F}} \int_0^{365} \prod_{t=1}^{365} (1 - P_t) \varphi(h_n, v_\phi, \tau_\tau) dh_n dv_\phi d\tau_\tau. \quad (43)$$

Заметим, что величины v_ϕ, h_n и τ_τ взаимно независимы. Изменение величины v_ϕ и τ_τ для данной реки влияет значительно меньше на $P(Q_{\max})$ по сравнению с h_n и потому в приближенной оценке $P(Q_{\max})$ можно упростить выражение (43), приняв среднее значение v_ϕ и τ_τ :

$$P(Q_{\max}) = 1 - \int_0^{\frac{Q_{\max} S}{k_1 v_\phi F}} \prod_{t=1}^{365} (1 - P_t) \varphi_1(h_n) dh_n, \quad (44)$$

где $\varphi_1(h_n)$ — плотность вероятности h_n .

Коэффициент α в формуле (24) находится из наилучшего совпадения фактической кривой обеспеченности наибольших в году максимальных расходов с вычисленными по формулам (43) или (44). Значения параметра α затем картируются.

Расчет по предложенной схеме наибольших в году расходов ввиду его сложности может быть проведен только с помощью электронной вычислительной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г. А. Расчеты паводочного стока рек СССР. Гидрометеониздат, Л., 1955.
2. Денисов Ю. М. Расчет максимальных расходов талых вод. Изв. АН УЗБ ССР, сер. техн. № 2, Ташкент, 1958.

СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ СРЕДНЕГО СТОКА РЕК ТАДЖИКИСТАНА

Вопросу расчета средних годовых модулей стока рек Таджикистана уделялось большое внимание [1, 4], что объясняется все возрастающими запросами энергетики и водного хозяйства республики. Однако методика расчета сводилась, по существу, к построению эмпирических связей между модулями стока и средневзвешенными высотами водосборов. В. Л. Шульц указывает, что достаточно тесные зависимости наблюдаются для районов с примерно одинаковой доступностью влажным воздушным массам [5]. Неучет фактора влагодоступности привел отдельных исследователей к ложному выводу об уменьшении модуля стока с высотой для рек Памира [1, 4]. Физически необоснованы также зависимости модуля стока от площади бассейна [4], так как «...в условиях Средней Азии влияние размера площади водосбора совершенно подавляется влиянием его высоты» [5].

В настоящей работе сделана попытка обосновать метод расчета среднего стока на основе схемы поступления воды на водосбор, предложенной Ю. М. Денисовым [2]. Элементарный талый расход dQ_n , поступающий на элементарную площадку dF , равен

$$dQ_n = q_m dF, \quad (1)$$

где q_m — интенсивность водоотдачи.

За достаточно большой период осреднения высоту начала водоотдачи можно заменить высотой фронта снеготаяния z_0

$$Q_n = \int_{F(z_1)}^{F(z_0)} q_m dF; \quad (2)$$

здесь $F(z_0)$ — площадь бассейна, ограниченная сверху высотой фронта снеготаяния z_0 , $F(z_1)$ — площадь бассейна ниже высоты тыла снеготаяния z_1 .

Для интенсивности водоотдачи Ю. М. Денисовым получена следующая формула [2]:

$$q_m(z, t) = B(z_0 - z), \quad (3)$$

где B — вертикальный градиент водоотдачи, t — время.

С учетом формулы (3) имеем

$$Q_n = B \int_{F(z_1)}^{F(z_0)} (z_0 - z) dF.$$

Применим теорему о среднем значении подынтегральной функции. Поскольку $\overline{q_m(z)} = q_m(\bar{z})$, согласно формуле (3), а $\bar{z} = \frac{1}{2}(z_0 + z_1)$ (горизонтальная черта вверху означает осреднение), то получим:

$$Q_n = \frac{B}{2}(z_0 - z_1)[F(z_0) - F(z_1)]. \quad (4)$$

Формула (4) является исходной для расчета поступающего расхода в момент времени t .

Сток большинства рек Средней Азии, как известно, формируется за счет таяния снега и льда. При этом, в районах, где водосборы отличаются значительной амплитудой высот, таяние происходит не на всей площади водосбора одновременно. Площадь возможного одновременного снеготаяния, которая представляет собой некоторую часть водосбора, ограниченную положением линии фронта и тыла снеготаяния, с течением времени изменяется по размерам и постепенно перемещается вверх по водосбору.

В период, когда высота фронта снеготаяния (положение нулевой изотермы в 13 час.) расположена ниже водосбора, поступление воды отсутствует. С увеличением высоты нулевой изотермы увеличивается и площадь одновременного снеготаяния и, следовательно, приток воды. Однако площадь одновременного снеготаяния увеличивается лишь до некоторого времени (опять-таки в зависимости от высотной характеристики водосбора), а затем уменьшается. Прекращение поступления воды на водосбор происходит в тот момент, когда высота фронта снеготаяния опускается до и ниже высоты тыла снеготаяния [5]. Объем поступившей воды равен

$$W = \int_{t_n}^{t_k} Q_n(t) dt = \frac{B}{2} \int_{t_n}^{t_k} (z_0 - z_1) [F(z_0) - F(z_1)] dt,$$

где t_n и t_k — соответственно время начала и конца поступления воды на водосбор.

Применяя еще раз теорему о среднем значении функции, получим

$$\bar{Q}_n = \frac{W}{t_k - t_n} = \frac{B}{2} (\bar{z}_0 - \bar{z}_1) [\bar{F}(z_0) - \bar{F}(z_1)], \quad (5)$$

причем $\bar{z}_0$, $\bar{z}_1$ — среднее положение высоты фронта и тыла снеготаяния за период водоотдачи, $\bar{F}(z_0)$, $\bar{F}(z_1)$ — средние площади, ограниченные фронтом и тылом снеготаяния, за период водоотдачи.

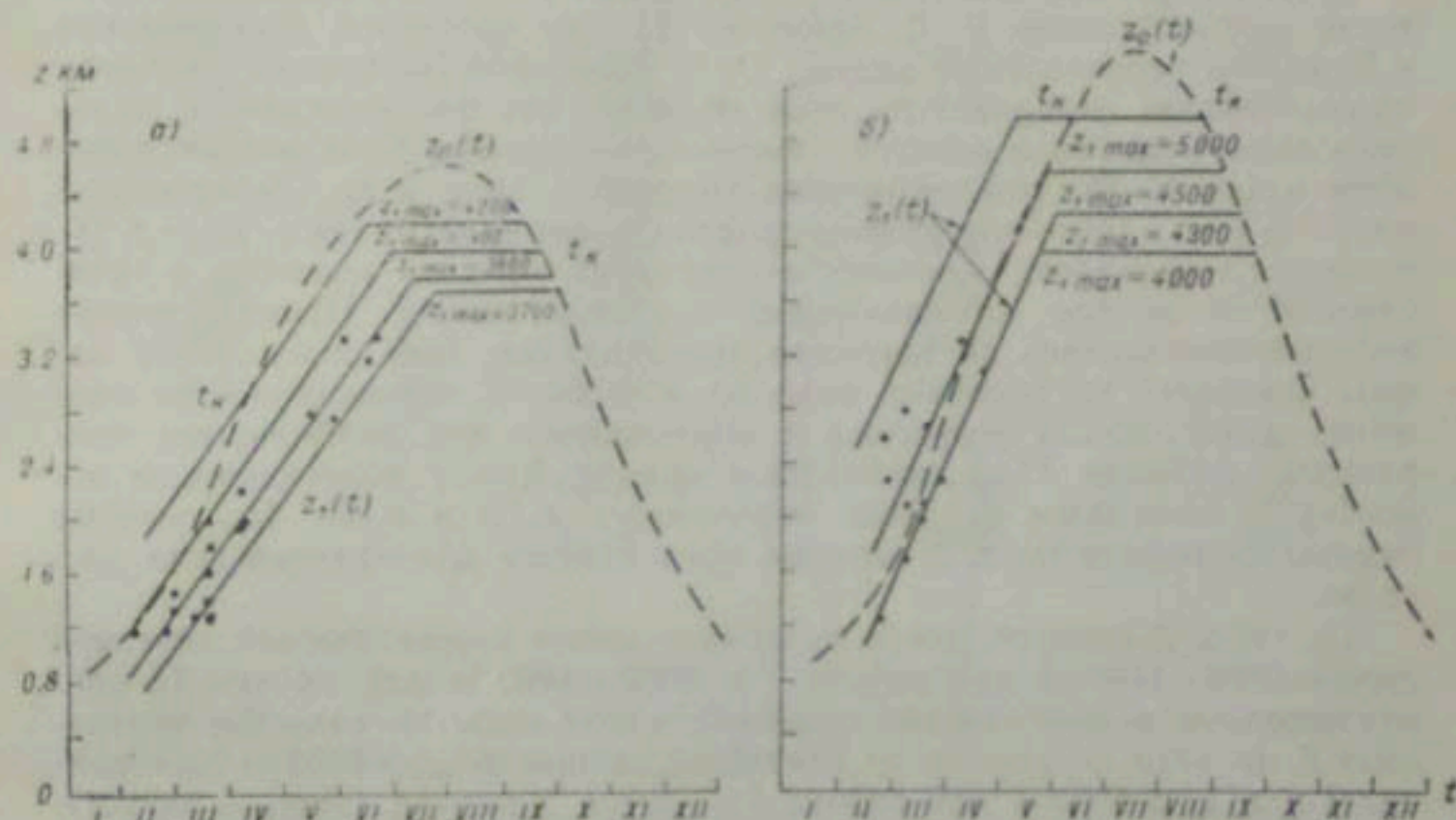
По данным всех метеопунктов Таджикистана, за исключением Зарафшана и северных районов, были построены зависимости среднемесячных температур воздуха от высоты. Полученные зависимости вида $t = -az + b$ дали возможность подсчитать вертикальный температурный градиент, который приводится в табл. 1. При этом выявились два района: район I — бассейны рек Каратаг, Кафирниган, Кызылсу (южная) и Вахш (без Муксу и Кызылсу); район II — реки Памира, бассейн Муксу. Граница между районами проходит по хребтам Дарвазскому и Академии Наук и далее по прямой на перевал Терсагар.

Функция $z_0(t)$ зависит в основном от температуры воздуха и является постоянной для сравнительно обширных районов (табл. 1).

Функция $z_0(t)$ для Таджикистана

Параметр	Район	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температурный градиент	I	5,6	5,8	6,4	6,4	6,4	7,3	7,3	7,3	6,5	6,5	6,0	5,8
$\frac{dt}{dz}$ град/км	II	5,6	5,8	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	7,1	7,1	6,5	6,0	5,8
Высота нулевой изотермы	I	0,9	1,3	2,1	3,1	3,8	4,2	4,6	4,6	4,2	3,2	2,3	1,5
$z_0(t)$ км	II	0,9	1,3	2,1	3,4	4,2	4,9	5,5	5,2	4,4	3,2	2,3	1,5

Если нахождение функции $z_0(t)$ особых затруднений не вызывает, то определение функции $z_1(t)$, зависящей как от температуры воздуха, так и от количества снегозапасов и поэтому более изменчивой, представляет сложную задачу. Непрерывные наблюдения за высотой снеговой линии (тыла снеготаяния) в течение года, как правило, отсутствуют, поэтому

Рис. 1. Графики функций $z_0(t)$, $z_1(t)$.

а) для района I — бассейны рек Кафирниган, Каратаг, Вахш (без Мухсу и Кызылсу), Кызылсу южная;
б) для района II — бассейны рек Памира и Мухсу.

характер функции $z_1(t)$ определен приближенно по графикам связи дат схода снежного покрова с высотой и данным за климатической снеговой линией $z_{1\max}$. Из рис. 1 видно, что схематично $z_1(t)$ можно представить уравнениями

$$z_1(t) = at + b; \quad t_n \leq t \leq t_k, \quad (6)$$

$$z_1(t) = z_{1\max}; \quad t_n \leq t \leq t_k,$$

где a и b — параметры, зависящие, как видно из графиков, от высоты климатической снеговой линии $z_{1\max}$, t — время, когда $z_1(t)$ становится равной $z_{1\max}$. Эта точка перегиба находилась путем пересечения обеих прямых.

Поскольку функция $z_1(t)$ монотонно не убывающая, с небольшой погрешностью можно принять $\overline{F(z_1)} = F(\overline{z_1})$, т. е. для определения средней площади ниже тыла снеготаяния на гипсографической интегральной кривой $F(z)$ отсекается площадь, расположенная ниже высоты $\overline{z_1}$. Среднюю площадь ниже фронта снеготаяния можно вычислить по формуле

$$F(z_0) = \frac{1}{t_k - t_n} \sum_{t=t_n}^{t_k} F(z_0). \quad (7)$$

В практических расчетах берутся месячные значения $F(z_0)$, которые затем суммируются и делятся на число месяцев водоподачи. Если $z_0 > z_{\max}$, где $z_{\max}$ — наивысшая отметка бассейна, то $F(z_0) = F$, т. е. средняя площадь ниже фронта снеготаяния принимается равной всей площади бассейна.

В основу расчета для левобережья Вахша и Памира положена схема высот снеговой линии Р. Д. Забирова [3]. Для бассейнов Кафирнигана и Каратага использованы данные О. П. Щегловой [6], причем учитывая относительную однородность этой области, что подтверждается наличием локальной связи осадков с высотой, эти данные были интерполированы и для других рек территории (Варзоб, Сорбог и др. См. приложение). На рис. 1 были определены средние значения функций $z_0(t)$ и $z_1(t)$ и продолжительность основного поступления воды на водосбор в зависимости от высоты климатической снеговой линии. Промежуточные значения находились по линейной интерполяции. При определении начала основного поступления воды на водосбор t_n принимались во внимание даты начала половодья и учитывалось, что наибольшего приращения функция $F(z_0)$ достигает в апреле. Конец водоотдачи на водосбор t_k находился по точке пересечения $z_0(t)$ и $z_1(t)$. Полученные данные сведены в табл. 2, которая предлагается для практических расчетов.

Из табл. 2 следует, что в интервале высот климатической снеговой линии 3700—4100 м для района I и 4000—4400 м для района II продолжительность поступления основной массы воды на водосбор составляет 6 месяцев (с апреля по сентябрь), а при $z_{1\max} > 4300$ м для района I и $z_{1\max} > 4700$ м для района II — всего 3 месяца (июнь — август). Эти данные не находятся в противоречии с физической картиной формирования стока.

Среднегодовой расход воды в замыкающем створе равен среднему расходу поступающей на водосбор воды за вычетом потерь. Поэтому для модуля среднегодового стока можно записать

$$\overline{M}_0 = \frac{B}{2} (\overline{z}_0 - \overline{z}_1) \frac{\overline{F(z_0)} - F(\overline{z}_1)}{F} - M_1 \quad \text{при } \overline{z}_0 < z_{\max} \quad (8)$$

и

$$\overline{M}_0 = \frac{B}{2} (\overline{z}_0 - \overline{z}_1) \frac{F - F(\overline{z}_1)}{F} - M_1 \quad \text{при } \overline{z}_0 > z_{\max}; \quad (9)$$

здесь $z_{\max}$ — наивысшая отметка бассейна. Практически она равна высоте, ниже которой расположено более 99,5% площади бассейна, M_1 — модуль потерь.

Параметры для расчета стока рек Таджикистана

Климатическая снего- вая линия $z_{1 \max}$ м	Продолжительность основной водоотдачи на водосбор, месяц	$\overline{z_0(t)}$ м	$\overline{z_1(t)}$ м
Район I			
3600	III—IX	4000	2900
3700	IV—IX	4100	3200
3800	IV—IX	4100	3400
3900	IV—IX	4100	3600
4000	IV—IX	4100	3800
4100	IV—IX	4200	3950
4200	V—IX	4300	4100
4300	VI—VIII	4500	4300
4400	VI—VIII	4500	4400
Район II			
4000	IV—IX	4600	3900
4100	IV—IX	4600	3950
4200	IV—IX	4600	4000
4300	IV—IX	4600	4100
4400	IV—IX	4600	4200
4500	V—IX	4600	4200
4600	V—VIII	5000	4600
4700	VI—VIII	5200	4700
4800	VI—VIII	5200	4800
4900	VI—VIII	5200	4900
5000	VI—VIII	5200	5000

Формулы (8) и (9) хорошо иллюстрируют известное положение В. Л. Шульца о том, что сток зависит от интенсивности водоотдачи и площади одновременного снеготаяния [5].

Для удобства обозначим выражение $(z_0 - z_1) \frac{\overline{F(z_0)} - F(z_1)}{F}$ через j и назовем его интегральным параметром вододачи на водосбор. Теснота связи модулей стока с параметром вододачи будет зависеть, при прочих равных условиях, от изменчивости вертикального градиента вододачи B . В наших математических выкладках принималось $B = \text{const}$ или $B = B(z_{1 \max})$.

Правильность такого допущения подтверждается довольно тесными зависимостями $M_0 = f(j)$ (рис. 2). Аналитическое выражение полученных связей следующее. Для района I

$$M_0 = 15,8 j^{0,188} \quad 10 \leq j < 180. \quad (10)$$

При $j < 10$ м функция $f(j)$ резко падает к нулю, так что при незначительном изменении j (в пределах практической точности) возможны большие погрешности при вычислении M_0 .

Для района II (реки Памира и бассейн Муксу) получено две формулы:

$$M_0 = 0,325j + 1,5; \quad 10 \leq j \leq 106, \quad (11)$$

$$M_0 = 0,114j + 3,2; \quad 5 \leq j \leq 80. \quad (12)$$

В формулах (10) — (12) M_0 выражается в л/сек. км², а j в м. Если $z_0 > z_{\max}$, то, как указывалось выше, вместо $\bar{F}(z_0)$ берется вся площадь бассейна F .

Как видно из этих формул, районирование Таджикистана по модулям среднего стока совпадает с районированием по температурному режиму, однако Памир подразделяется на два подрайона, границей между которыми является зона высот климатической снеговой линии

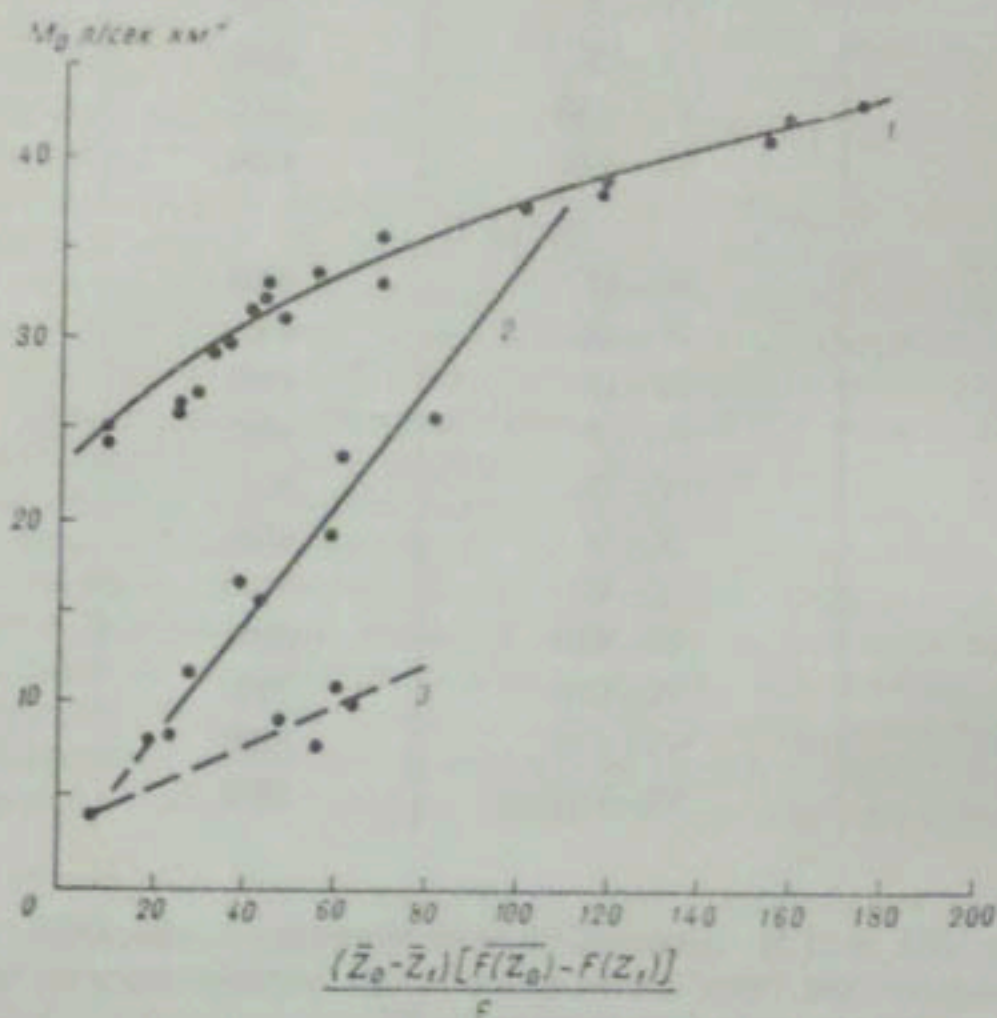


Рис. 2. Зависимость модуля стока от интегрального параметра водоподачи j .

1 — район I, 2 — район II а, 3 — район II б.

4700—4800 м. Подрайон II б включает в себя Восточный Памир, бассейн Сарезского озера и верховье Муксу, где $z_{\max} = 4700$ м (Балянд-Кинк, Саукдара), и отличается незначительным поступлением воды на водосбор, что, очевидно, связано со своеобразным географическим положением этой территории.

Средняя погрешность вычисления модуля стока по формуле (10) равна 2%, максимальная — 8%, по формулам (11) и (12) соответственно — 8 и 14%, 9 и 23%. Ввиду малого числа точек зависимость $M_0 = f(j)$ для подрайона II б следует считать ориентировочной.

Формулы (10) — (12) следует применять в указанных пределах водоподачи j . При $F(z_1) > F$, что характерно для рек преимущественно дождевого и подземного питания с низкими водосборами, пользоваться

ими нельзя. Для практических расчетов необходимо иметь гипсографическую кривую бассейна $F(z)$ и высоту климатической снеговой линии. Для Памира и левобережья Вахша, как указывалось выше, используется карта высот снеговой линии Р. Д. Забирова [3], для остальной территории z_{max} можно определить любым известным способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулемин Э. М. и Гордон С. М. Определение модулей стока в неизученных створах рек Таджикистана. Отд. естеств. наук АН ТаджССР, № 2 (26), Душанбе, 1958.
2. Денисов Ю. М. Схема расчета гидрографа стока горных рек. Гидрометеиздат, Л., 1965.
3. Забиров Р. Д. Оледенение Памира. Географгиз, М., 1955.
4. Трестман А. Г. О гидрологическом районировании и характере распределения годового стока рек по территории Таджикистана. Изв. отд. геол.-хим. и техн. наук АН ТаджССР, № 1, Душанбе, 1959.
5. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Гидрометеиздат, Л., 1965.
6. Щеглова О. П. Питание рек Средней Азии. Изд. СамГУ, Самарканд, 1960.

Интегральные параметры водоподачи

Река — пункт	F км²	M ₀ л/сек. км²	z _{max} м	Источник све- дений о высо- те снеговой линии	Параметры				j м
					$\overline{z_0(t)}$	$\overline{z_1(t)}$	$\overline{F(z_0)}$	$\overline{F(z_1)}$	
Район I									
Обихингоу — к. Сангвор	1880	26,3	4100	[6]	4,20	3,95	0,59	0,49	25
Обимазар — к. Сангвор	1030	26,7	4100	.	4,20	3,95	0,67	0,57	25
Обихингоу — к. Лябиджар	6600	32,4	3950	[3]	4,10	3,70	0,81	0,70	44
Езган — к. Езган	39,9	32,1	3800	.	4,10	3,40	1,00	0,94	42
Обихумбоу — устье	709	29,6	4000	.	4,10	3,80	1,00	0,89	33
Сорбог — к. Сангималик	1760	41,0	3800	[6]	4,10	3,40	0,90	0,68	154
Сангикарр — к. Сангикарр	291	43,2	3800	Интерполяция	4,10	3,40	1,00	0,75	175
Кафиринган — к. Чинар	3040	34,2	3800	.	4,10	3,40	1,00	0,91	56
Сардаймиона — к. Ромит	1190	38,0	3800	.	4,10	3,40	1,00	0,83	119
Сорбо — к. Ромит	1260	39,0	3800	.	4,10	3,40	1,00	0,83	119
Зидды — к. Зидды	181	38,5	3800	.	4,10	3,40	1,00	0,75	175
Варзоб — к. Гушары	716	42,9	3800	.	4,10	3,40	1,00	0,75	175
Варзоб — к. Дагана	1270	33,2	3800	.	4,10	3,40	0,95	0,85	70
Курортная — к. Гушары	19,2	35,8	3750	УГМС Тадж. ССР	4,10	3,40	1,00	0,90	70
Такоб — пгт Такоб	75,0	31,5	3750	То же	4,10	3,30	1,00	0,94	48
Диамалик — пгт Такоб	140	42,3	3750	.	4,10	3,30	1,00	0,80	160

Ханака — к. Алибегн	374	29,8	3850	Интерполяция	4,10	3,50	1,00	0,94	36
Лючоб — к. Лючоб	170	27,2	3850	"	4,10	3,50	1,00	0,95	30
Каратаг — к. Каратаг	684	33,4	3900	[6]	4,10	3,60	0,96	0,87	450
Сабургон — к. Пшти-Миона	138	24,5	3900	Интерполяция	4,10	3,60	1,00	0,98	10
Яхсу — к. Курбастанак	1390	25,1	3900	"	4,10	3,60	1,00	0,98	10

Район II

Гунт — г. Хорог	1370	7,8	4750	[3]	5,10	4,70	1,00	0,95	20
Шарипдара — устье	192	16,8	4500	"	4,80	4,40	0,88	0,78	40
Шахдара — к. Хабоз	4180	8,6	4750	"	5,10	4,70	0,98	0,92	24
Анджандара — к. Анджан	90,4	12,1	4500	"	4,80	4,40	0,87	0,80	28
Бартанг — к. Тохтамыш	3090	3,9	5050	"	5,20	5,00	0,93	0,90	6
Лянгар — устье	335	10,1	4800	"	5,20	4,80	0,92	0,76	64
Кудара — устье	4500	7,8	4800	"	5,20	4,80	0,92	0,78	56
Вовзит — к. Барчидив	100	11,1	4800	"	5,20	4,80	0,95	0,80	60
Вамар — к. Рушан	87,1	23,6	4250	"	4,60	4,05	0,85	0,74	61
Язгулем — к. Матраун	1940	19,3	4400	"	4,60	4,20	0,78	0,63	60
Ванч — к. Ванч	1920	25,7	4250	[6]	4,60	4,05	0,78	0,63	81
Рохаров — к. Ванч	59,8	37,4	4050	[3]	4,60	3,90	0,86	0,70	102
Баянджиик — устье	1000	9,4	4900	"	5,20	4,90	0,89	0,73	48
Муксу — к. Давсеар	6550	15,6	4600	"	5,00	4,60	0,68	0,57	44

СУТОЧНЫЙ ХОД УРОВНЯ НА МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕКАХ КАК НОВЫЙ ИСТОЧНИК ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Как известно, получение из высокогорных районов гидрометеорологических сведений, особенно ежедневных, весьма затруднено из-за сложности транспорта и большой пестроты в распределении гидрометеорологических элементов по территории. Выход из создавшегося положения пока видят в широком развитии автоматических станций. Но и этот способ получения информации требует много дорогих приборов, обслуживающего персонала дефицитных специальностей и не снимает транспортные трудности.

Между тем почти любой горный ручей способен поставлять в долины хорошую информацию о погоде в его водосборе, лишь бы только суметь принять и расшифровать ее (имеется в виду установка на горных потоках самописцев уровня и расшифровка снятых с них лимниграмм). В этом отношении у нас имеется опыт работы лимниграфных установок на горностоковой станции Кзылча в бассейне Ахангарана.

На рис. 1 а и 1 б изображено несколько характерных лимниграмм для горных рек Головной и Четыксай. Их водосборы обладают площадями, соответственно, 10,2 и 8,0 км², средними высотами 2,70 и 1,86 км и средними за апрель — сентябрь расходами воды 0,33 и 0,10 м³/сек. Как видим, первый водосбор расположен выше второго. Ледников в обоих водосборах нет, но имеются сезонные снежники, которые в первом бассейне стаивают значительно позднее, чем во втором.

На рис. 1 а и 1 б прежде всего обращает внимание наличие суточного хода уровня с ранней весны до поздней осени (в ноябре работа самописцев прекращается из-за замерзания воды в колодце). Это обстоятельство опровергает существующее мнение, будто с окончанием половодья (здесь в августе) суточный ход уровня исчезает.

Далее мы обнаруживаем, что характер суточного хода меняется от весны к осени (будем рассматривать пока р. Головную) и в ясные дни (почти все лимниграммы выбраны за ясные дни) имеет правильный вид.

Уже в начале марта на р. Головной обнаруживается хорошо выраженный суточный ход, вызванный изменением интенсивности таяния сезонного снега, покрывающего в это время почти весь водосбор. 1—5/V здесь стоит прохладная погода, ниже нулевой изотермы снега осталось мало, он залегает в затененных понижениях местности в виде

снежников, которые тают еще медленно, поэтому суточный ход уровня почти отсутствует.

19—21/V наступило потепление, нулевая изотерма поднялась выше границы снега, что вызвало суточный ход уровня. Однако 22/V снова похолодало и суточный ход прекратился.

6—8/VI сильно потеплело, нулевая изотерма поднялась значительно выше снеговой границы, но ночью она, по-видимому, опускается ниже этой границы. В связи с этим на реке стал наблюдаться сильный суточный ход уровня, амплитуда которого достигла высшего значения для лета 1962 г.

10—15/VII стоит ясная летняя погода, продолжают интенсивно таять снежники, суточный ход принял стационарный характер и пока обусловлен интенсивностью таяния, но на ниспадающей ветви уже появляются «вмятины», вызванные каким-то новым фактором.

16—21/VII этот новый фактор играет более существенную роль, а 10—15/VIII он определенно доминирует.

Мы считаем, что этим фактором является испарение, которому будет посвящена большая часть статьи.

20—25/IX стало холодно, разница в дневном и ночном испарении малоощутима и поэтому влияние испарения на суточный ход почти исчезло. Но появился новый фактор — заморозки, которые превращают текущую воду в неподвижный лед, отчего сток ночью уменьшается, а днем восстанавливается. Кроме того, в истоках рек после снегопадов мог появиться новый источник — снежный покров, тающий днем.

28/X—2/XI ночные заморозки играют главную роль в образовании суточного хода, или же тает только что выпавший снег (23—25/X — большие осадки).

11—15/XI река замерзла и покрылась снегом, суточный ход температуры почти перестал играть свою роль, которую он выполнял всю теплую часть года (с начала марта до конца октября). Однако небольшие суточные колебания уровня с двумя максимумами (ночью и днем) все же сохраняются.

Здесь мы привели качественное объяснение причин того или иного вида суточного хода, полагая, что в дальнейшем можно учесть и количественную сторону явления, если провести соответствующие наблюдения в водосборе.

Переходим теперь к р. Четыксай.

19, 23/II и 18/IV выпадали сильные дожди, которые дали характерные лимниграммы, лишённые суточного хода. Они показывают, что эта река еще зимой довольно чутко реагирует на выпадение осадков, а весенний дождевой «пик» имеет длинный шлейф, указывающий на длительное стекание дождевой воды (подземное регулирование).

Хорошего весеннего (как в марте на р. Головной) и летнего снежикового (как в июне и июле на р. Головной) суточного паводка на р. Четыксай в исследованном 1962 г. не обнаружено. Но уже с середины июня (9—10/VI) начали четко проявляться колебания, связанные с испарением, которые продолжаются до октября, когда стало сказываться влияние заморозков.

Из сравнения этих кратких описаний двух рек по суточному ходу уровня можно заметить существенное различие в их режиме и, следовательно, в физико-географических особенностях бассейнов. Например, водосбор р. Четыксай существенно ниже водосбора р. Головной, так как весенние и летние гидрологические процессы на первой реке начинаются и заканчиваются раньше, чем на второй; летующие снежники в водосборе р. Четыксай имеют меньшее распространение, чем в водо-

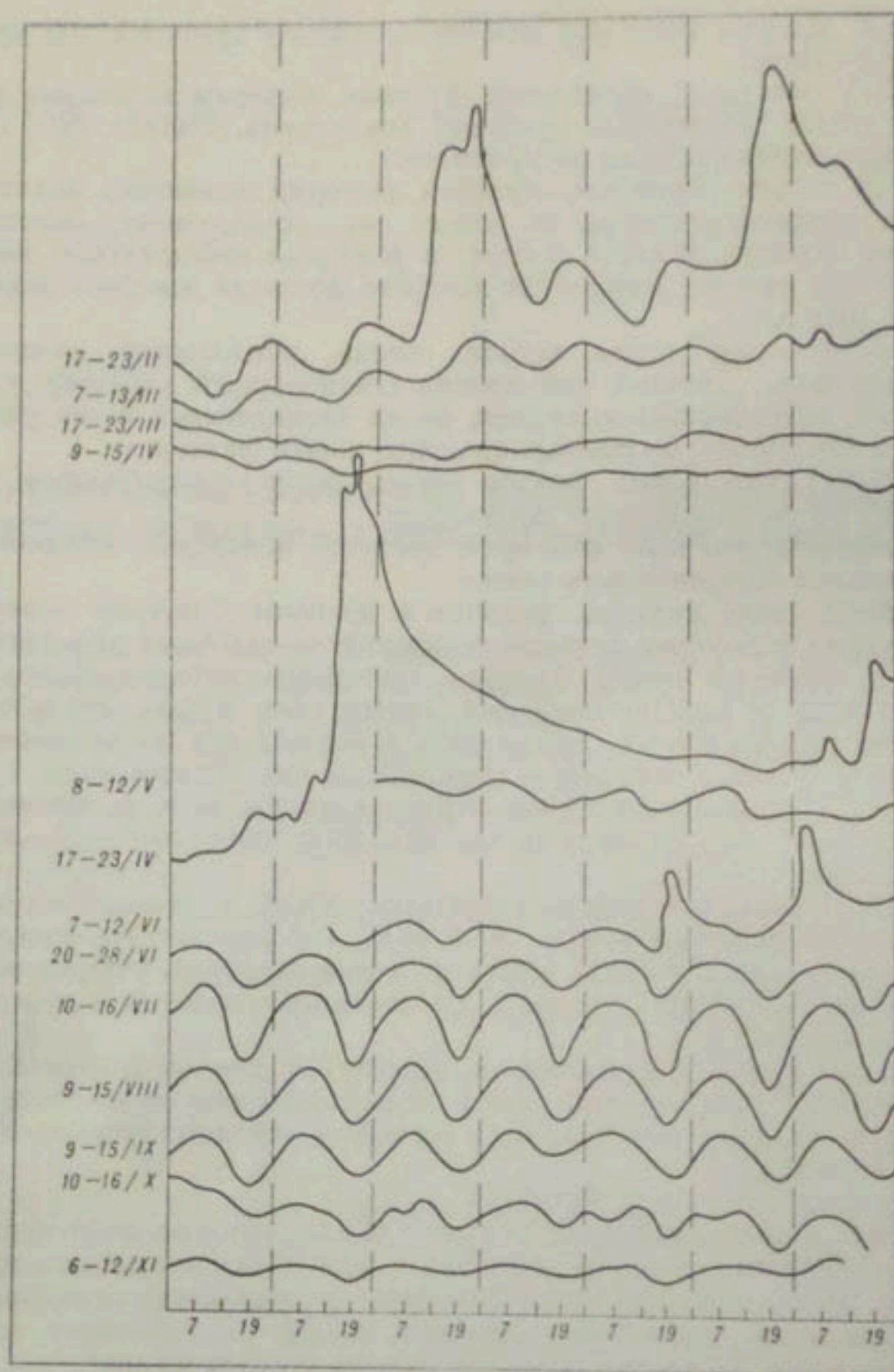


Рис. 1а. Суточный ход уровня на р. Четыксай, 1962 г.

сборе р. Головной, что и наблюдается в действительности. Более детальное изучение этого вопроса, по нашему мнению, может привести и к более детальным и более надежным диагнозам подобного рода, когда по микроколебаниям воды в потоке в одном створе можно будет надежно судить о некоторых гидрологических особенностях вышерасположенного водосбора, не посещая его.

Сравнение лимниграмм по одной и той же реке за несколько лет даст возможность судить о запасах влаги в водосборе по сравнению с прошлыми годами, что явится полезной информацией для составле-

ния прогнозов стока большой реки. В этом отношении малый водосбор может играть роль гигантского осадкомера, или бассейна-индикатора Огневского.

Заканчивая на этом беглый обзор лимниграмм с качественной стороны, перейдем к одному из результатов их количественного анализа.

Раньше суточный ход уровня и расхода воды в горных реках всегда объясняли изменением интенсивности таяния снега и льда, связанного с колебанием температуры воздуха в течение суток [2]. Но вот на малых горных реках опытного бассейна р. Кзылча был обнаружен суточный ход уровня поздним летом, много времени спустя после стаивания последних снежников. Е. М. Козик объяснил это явление таянием почвенной мерзлоты, которую он обнаружил летом 1963 г. на месте стаявших снежников в верховьях р. Головной в упомянутом бассейне р. Кзылча [1].

Нам представляется неправдоподобным или по крайней мере недостаточным такое объяснение, так как суточный ход в августе и сентябре наблюдается не только в высокогорном бассейне р. Головной, но и в низкогорном бассейне р. Четыксай, где нет и не может быть мерзлоты. По нашему мнению, суточный ход в данном случае может быть объяснен испарением с поверхности рек и проточных мочажин. Для этого рассмотрим простейшую математическую теорию суточного хода уровня воды на реках, связанного с испарением с поверхности водотоков.

Выберем на реке элементарный участок длиной Δx , концы которого пусть находятся на расстоянии x и $x + \Delta x$ от постоянного начала, расположенного ниже по течению реки.

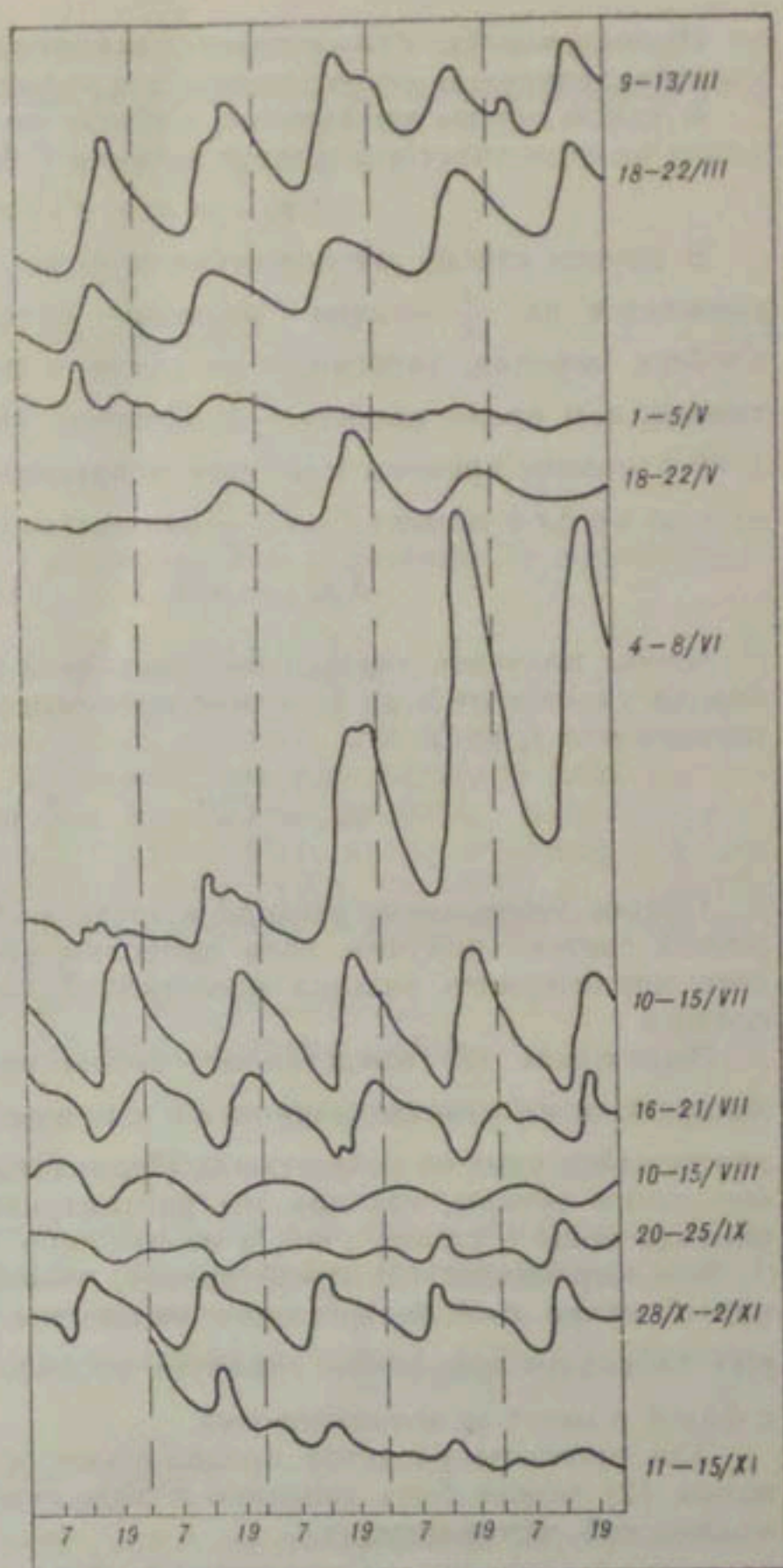


Рис. 16. Суточный ход уровня на р. Головной, 1962 г.

Пусть $u = u(x, t')$ — скорость испарения с единицы длины этого участка, зависящая от расстояния x и времени t' .

В таком случае уменьшение расхода воды в створе x за счет испарения на этом участке в момент времени t' будет равно

$$\Delta q_{x, t'} = u(x, t') \Delta x. \quad (1)$$

В другом створе, расположенном ниже ($x=0$), уменьшение расхода снижается на $\frac{x}{c}$ единиц времени позднее (c — средняя скорость пробега паводка, зависящая от места и времени, но более консервативная, чем время пробега $\frac{x}{c}$). Поэтому уменьшение расхода в створе $x=0$ в момент времени t за счет испарения на элементарном участке от x до $x+\Delta x$ в момент $t' = t - \frac{x}{c}$ запишется следующим образом:

$$\Delta q_{0, t} = u\left(x, t - \frac{x}{c}\right) \Delta x. \quad (2)$$

Чтобы получить уменьшение расхода в створе $x=0$ за счет испарения на участке от l_1 до l_2 , нужно просуммировать последнее выражение по всем x от l_1 до l_2

$$q_{0, t} = \int_{l_1}^{l_2} u\left(x, t - \frac{x}{c}\right) dx. \quad (3)$$

Полное уменьшение расхода в точке $x=0$ за счет испарения по всей речной системе получим, если вычислим частные значения q для каждого характерного участка всей речной системы и затем результаты сложим.

Выражение (2) представляет собою уравнение волны, созданной испарением на участке длиной dx в створе x в момент времени $t - \frac{x}{c}$, движущейся вниз со скоростью c . Период этой волны T , по условию, равен одним суткам, так как мы рассматриваем именно суточный ход расхода воды в створе $x=0$, а не что-либо другое; длина волны $\lambda = cT$.

Все выражение (3) представляет, очевидно, результат интерференции в створе $x=0$ бесконечного множества волн (2), каждая из которых благодаря испарению сдвинута по фазе на время $\frac{x}{c}$ по сравнению с фазой в месте ее возникновения.

Для простоты расчетов предположим, что уравнение элементарной волны (2) может быть записано в виде суммы негармонической и гармонической составляющих

$$dq_{0, t} = u_1 dx + u_2 \cos \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{c}\right) dx. \quad (4)$$

Интегрируя по длине реки, т. е. от $l_1=0$ до $l_2=l$, мы получим выражение для расхода воды, связанного с испарением по всей реке:

$$q_{0, t} = \bar{u}_1 l + \frac{\bar{u}_2 \lambda}{\pi} \sin \frac{2\pi l}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{l}{2c}\right). \quad (5)$$

Как видим, результирующая волна (5) оказалась также суммой гармонической и негармонической составляющих. Период волны T сохранился, разность фаз уменьшилась в два раза. Амплитуда волны, раньше равная $u_2 dx$, теперь стала

$$A = \frac{\bar{u}_2 \lambda}{\pi} \sin \frac{2\pi l}{\lambda}. \quad (6)$$

Найдем среднее значение этой гармонической составляющей за ту половину периода $\frac{1}{2} T$, за которую она оставалась положительной, т. е. за время от $t_1^I = t_1 - \frac{l}{2c} = -\frac{T}{4}$ до $t_2^I = t_2 - \frac{l}{2c} = \frac{T}{4}$.
Имеем

$$P = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{4}}^{\frac{T}{4}} A \cos \frac{2\pi}{T} t^I dt^I = \frac{2A}{\pi},$$

$$t^I = t - \frac{l}{2c}.$$

Выразив амплитуду через величину P и подставив ее в соотношение (5), найдем:

$$q_{0,t} = \bar{u}_1 l + \frac{\pi P}{2} \cos \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{l}{2c} \right). \quad (8)$$

Величина P представляет собою среднее абсолютное отклонение ежечасных (или еще более дробных) значений расходов воды от его среднесуточного значения. Для р. Головной было найдено $P = 0,0037$ м³/сек. Оно относится к 9/VIII 1962 г., когда суточный ход был наиболее правильным. Длина этой реки $l = 6,5$ км = 6500 м, скорость движения паводков мы приняли по прежнему опыту равной $c = 5$ км/час, период (по условию) $T = 24$ часа.

Подставляя эти числа в формулу (8), найдем

$$q_{0,t} = 6500 \bar{u}_1 + 0,0058 \cos 15^\circ (t - 0,65). \quad (9)$$

Величины q и u являются существенно положительными, поэтому

$$6500 \bar{u}_1 \geq 0,0058.$$

Величина $\bar{u}_1$ представляет собою среднее за сутки испарение с единицы длины реки. Предположим, что она равна произведению средней ширины реки $\bar{B}$ на среднюю интенсивность испарения с единицы поверхности $\bar{v}$. Тогда последнее неравенство можно будет переписать в виде

$$\bar{B} \geq \frac{0,0058}{6500 \bar{v}}.$$

Среднее испарение в августе 1963 г. на центральной метеорологической площадке опытной станции Кзылча составило 6,6 мм/сутки = $\frac{6,6}{1000 \cdot 86400}$ м/сек.

Подставляя это число в последнюю формулу вместо $\bar{v}$, получим среднюю ширину р. Головной

$$\bar{B} \geq \frac{0,0058 \cdot 86400 \cdot 10^3 \text{ м}}{6500 \cdot 6,6} = 11,7 \text{ м.}$$

В наших расчетах мы исходили из того, что вся речная система р. Головной представлена всего одним руслом длиной 6,5 км, что вполне допустимо, так как притоки реки всех порядков мы мысленно расположили рядом с новым руслом так, чтобы в любом створе такой воображаемой реки время добегания до гидрометрического створа по всем притокам было одинаковым. Истинная средняя ширина

р. Головной со всеми ее притоками должна быть во столько раз меньше 11,7 м, во сколько раз общая длина всех этих рек больше 6,5 км. Измерением по схематической карте масштаба 1 : 25 000 было найдено, что вся речная сеть длиннее основного русла в 4,9 раза, следовательно искомый нижний предел средней ширины реки составит не 11,7, а 2,4 м.

Итак, чтобы обеспечить за счет испарения тот суточный ход уровня воды в р. Головной, который наблюдается в августе, необходимо, чтобы средняя ширина всех русел речной системы этой реки была не меньше 2,4 м, что вполне правдоподобно. Возражение может вызвать то, что на всем протяжении реки и ее притоков испарение принято таким же, как и в самой нижней ее точке, тогда как в верхней части реки оно должно быть меньше, чем в нижней. Если допустить, что испарение в истоках реки равно нулю, то расчетная ее ширина должна быть увеличена вдвое, т. е. должна быть не меньше 4,8 м. Однако и эта величина не может вызвать большого возражения, если учесть, что испаряющей поверхностью является не только поверхность самого потока, но и мокрые берега, прибрежные выходы грунтовых вод в виде проточных мочажин, а также то обстоятельство, что поверхность бурного потока испаряет больше, чем такая же поверхность стоячего водоема, в котором производятся измерения испарения.

Статья была написана в июне 1962 г., а 22/XI 1965 г. работниками гидрометстанции Кзылча Кудеровым и Диншаевым была измерена ширина р. Головной. На протяжении 2,0 км примерно на равных расстояниях друг от друга произведено 82 измерения ширины реки. При этом средняя ширина оказалась равной 3,8 м, т. е. лежащей в тех пределах (2,4 и 4,8 м), которые мы нашли теоретически. Как видим, результат получился вполне удовлетворительный.

Ширина реки 2,4 м получена исходя из того, что река испаряет в среднем столько же, сколько испаряется в испарителе на метеорологической площадке станции Кзылча, ширина 4,8 м соответствует половине этой величины. Тогда величине 3,8 м, полученной из наблюдений, будет соответствовать испарение, равное 63% испарения, наблюдаемого на станции.

Число 0,65 в формуле (9) представляет собою сдвиг фаз в часах между суточными ходами испарения и расхода воды. Этот сдвиг равен половине времени добегания воды от истока реки до поста и, как видим, составляет меньше суток. Суточный ход испарения в основном определяется суточным ходом температуры воздуха, максимум которой в августе совпадает по времени с минимумом уровня воды в р. Головной или наступает раньше на одни сутки, еще раз подтверждая то, что именно испарение с поверхности ручьев и мокрых берегов определяет суточный ход уровня воды на р. Головной поздним летом.

Из формулы (6) вытекает, что при расстоянии от истока реки до лимниграфной установки, равной половине длины волны $\frac{1}{2} \lambda = \frac{1}{2} cT$, амплитуда суточного хода становится равной нулю, т. е. суточный ход исчезает, а ниже по течению он снова появляется за счет испарения с этой нижележащей части реки, иначе говоря, суточный ход уровня (и расхода) воды образует на реке стоячие волны. На р. Головной первый узел стоячей волны должен находиться на расстоянии $\frac{\lambda}{2} = 60$ км от истока, т. е. уже за пределами р. Кзылчи, в русле р. Ахангаран. Там же лежит и пучность, находящаяся в 30 км от истока р. Головной.

Эти выводы получены в расчете на синусоидальный суточный ход расхода воды. Действительный ход расхода воды не является синусо-

идальным. Однако некоторые априорные выводы, например существование главного узла стоячей волны на расстоянии $\frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2}cT$ от истока, можно получить и для волны произвольной формы при условии постоянства испарения на единице длины реки.

По нашему глубокому убеждению, изучение суточного хода малых рек должно привести к важным результатам. По суточному ходу уровня воды в реках мы можем судить прежде всего о гидрометеорологических процессах, происходящих в водосборе. Для этого нужно изучить влияние погоды на суточный ход уровня. Затем оно позволит установить гидрологические особенности данного водосбора, если мы установим зависимость между суточным и годовым ходом расхода, с одной стороны, и орографией и другими физико-географическими особенностями водосбора, с другой.

Далее нам представляется, что методом «смешения» суточных ходов на нескольких створах одной и той же речной системы можно проконтролировать качество определения ежедневных и прочих средних расходов воды.

Развив эту область гидрологии, можно получить ценный источник информации для гидрологов-прогнозистов, позволяющей улучшить методику составления как краткосрочных, так и долгосрочных прогнозов стока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козик Е. М. Мерзлота в верховьях горных рек и ее роль в суточных колебаниях расходов воды. Метеорология и гидрология, № 7, 1964.
2. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Гидрометеиздат, Л., 1965.

РАСЧЕТ ВНУТРИСУТОЧНОГО ХОДА СТОКА С ЛЕДНИКА

Для расчета внутрисуточного хода стока с ледника воспользуемся следующим выражением:

$$Q(t) = \lambda \int_0^{\infty} q(t-\tau)k(\tau)d\tau + B(t). \quad (1)$$

Первый член в правой части реализует известную схему добегаания [1]. Здесь t — время, τ — время добегаания воды от заданной изохроны до замыкающего створа, $q(t-\tau)d\tau$ — интенсивность поступления воды на элемент поверхности ледника между изохронами τ и $\tau+d\tau$, $k(\tau)$ — весовая функция, указывающая, какая часть воды, поступившей на элемент поверхности, доходит до створа и λ — коэффициент, зависящий от размерности q и k .

Второй член — $B(t)$ — представляет собой ту часть расхода, которая зависит от накопления воды в бассейне и при отсутствии поступления убывает по экспоненте. Для небольших отрезков времени $B(t)$ можно считать величиной квазистационарной.

Так как длина долинных ледников существенно больше их ширины, можно принять, что $\tau = \tau(z)$ (где z — высота над уровнем моря), т. е. считать изохроны горизонтальными.

Допустим, кроме того, что скорость добегаания v и уклон ледника i — величины постоянные. Тогда

$$z - z_{\text{ств}} = v \sin i \tau, \quad (2)$$

где $z_{\text{ств}}$ — высота створа над уровнем моря.

Следовательно, подынтегральное выражение в правой части равенства (1) можно рассматривать как функцию от z .

Выразим теперь интенсивность поступления воды на данной высоте в данное время следующим образом:

$$q(z, t)dz = [P(z, t) + a_d(z, t) - E(z, t)]dF(z).$$

Здесь P , a_d , E — соответственно интенсивности таяния, жидких осадков и испарения в то же время на той же высоте, $dF(z)$ — площадь, заключенная между горизонталями z и $z+dz$.

Так как величина $E(z, t)$ сравнительно мала, не будем рассматривать ее отдельно, а косвенно учтем при вычислении P . Большая изменчивость величины a_d в пространстве и во времени и невозможность до-

статочно точно оценить ее заставляют ограничиться периодами, когда жидких осадков нет.

Итак, со всеми ограничениями можно написать

$$q(z, t)dz = P(z, t)dF(z). \quad (3)$$

Величина $P(z, t)$, как правило, неизвестна, но может быть приближенно вычислена следующим образом:

$$P(z, t) = \begin{cases} \alpha \theta(z, t) & \text{при } \theta(z, t) > 0, \\ 0 & \text{при } \theta(z, t) \leq 0, \end{cases}$$

где α — интенсивность таяния, отнесенная к температуре воздуха $\theta(z, t)$. Величина α весьма изменчива и колеблется в широких пределах. По данным наблюдений на ледниках Инылчек, Федченко, Райгородского и других величина α в среднем равна 9 мм/градус в сутки.

Если в бассейне, в котором расположен ледник, имеется один или несколько пунктов наблюдений за температурой воздуха, то

$$\theta(z, t) = \theta(z_0, t) - \gamma(z - z_0), \quad (4)$$

где z_0 — средняя высота этих пунктов, $\theta(z_0, t)$ — среднее арифметическое из наблюдаемых температур в момент t , γ — вертикальный температурный градиент, равный в среднем 6,1 град/км.

Для расчета суточного хода стаивания нужно, естественно, знать и суточный ход температуры. В том случае, если он не известен, можно воспользоваться следующей грубой схемой. Пусть $\bar{\theta}$ — среднесуточная температура воздуха, a — амплитуда температуры внутри суток, $t_{\max}$ — время наступления максимальной температуры. Тогда, аппроксимируя суточный ход косинусоидой, получим

$$\theta(t) = \bar{\theta} + \frac{a}{2} \cos \left[\frac{\pi(t - t_{\max})}{12} \right], \quad (5)$$

где t выражается в часах.

Чтобы оценить вид функции $k(z)$, допустим, что чем дальше изохрона τ удалена от замыкающего створа, тем меньшая часть талой воды с элемента площади между τ и $\tau + d\tau$ достигает его. Тогда $k(z)$ можно выразить, например, как линейную функцию от z , обращающуюся в единицу на высоте створа $z = z_{\text{ств}}$ и убывающую с ростом z

$$k(z) = 1 - \frac{z - z_{\text{ств}}}{r}. \quad (6)$$

Здесь r — параметр ($r > z - z_{\text{ств}}$), размерность которого — длина.

Исходя из уравнений (1) — (6), имеем окончательно

$$Q(t) = \lambda \alpha \int_0^{\infty} \left\{ \bar{\theta}(z_0) + \frac{a}{2} \left[\frac{\pi(t - t_{\max} - \tau)}{12} \right] - \right. \\ \left. - \gamma(v \sin \tau - z_0) \right\} \left(1 - \frac{v \sin t \tau - z_0}{r} \right) \times dF(v \sin t \tau) + B.$$

Для расчета по этой формуле нам необходимо знать, кроме известных, еще три параметра — v , r и B . Из экспериментальных данных они не известны. Поэтому найдем их, решая обратную задачу: зная $Q(t)$, получим v , r и B . Так как мы имеем одно уравнение с тремя неизвестными, решить его аналитически невозможно. Сделаем это иначе: будем подставлять последовательно различные значения v и r и сравнивать получившуюся форму гидрографа с наблюдаемой. Для этого поступим следующим образом. Пусть $Q(t)$ и $Q^*(t)$ — две функции

из числа функций, интегрируемых на отрезке $[t_1, t_2]$. Введем следующую метрику:

$$A = \int_{t_1}^{t_2} |\Delta Q(t) - \Delta Q_{\text{ср}}(t)| dt,$$

где

$$\Delta Q(t) = Q^*(t) - Q(t),$$

$$\Delta Q_{\text{ср}}(t) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [Q^*(t) - Q(t)] dt.$$

Таким образом, мы получили метрическое пространство, элементами которого будет множество функций, отличающихся на постоянную величину (A обращается в нуль только тогда, когда $Q(t)$ и $Q^*(t)$ отличаются на константу). Пусть теперь $Q^*(t)$ — наша вычисленная функция, а $Q(t)$ — наблюдаемая. Перебирая различные v и r , выберем те из них, для которых A минимальна. При этом $\Delta Q(t) = B$.

Так как в нашем распоряжении не оказалось материалов наблюдений внутрисуточного хода стока с ледников с целью проверки описанного выше способа расчета $Q(t)$ и определения неизвестных параметров, осенью 1965 г. во время экспедиции на ледник Федченко и Танымасские ледники был получен один суточный гидрограф стока с ледника Северный Танымас. Так как эта работа не входила в планы экспедиции и не было нужных приборов, расходы измерялись поплавочным способом. По измеренным расходам и уровням была построена зависимость $Q = Q(H)$. Суточный гидрограф получался как обычно — с помощью этой зависимости и двенадцатисрочных наблюдений за уровнем.

Ледник Северный Танымас имеет следующие характеристики: высоту конца языка — 3,8 км, максимальную отметку области питания ледника — 5,5 км, длину — 18 км. Расчет, сделанный для этого ледника, дал следующие результаты: $v = 1,45$ м/сек., $r = 17$ км, $B = 7$ м³/сек.

Измеренные и вычисленные расходы при этих параметрах показаны на рис. 1.

Так как все исходные величины получались со значительными погрешностями, точность определения v , r и B , естественно, невелика. Более детальные наблюдения за режимом таяния, температурой воздуха и стоком позволят существенно улучшить результаты расчетов.

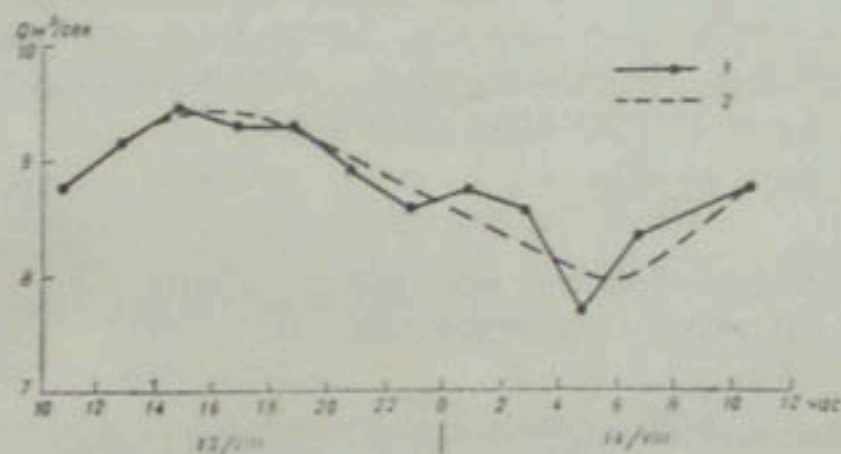


Рис. 1. Измеренный (1) и вычисленный (2) гидрографы стока с ледника Северный Танымас за 13–14/VIII 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучмент Л. С. Обобщенная формула для расчета гидрографа стока. Тр. ЦИП, вып. 133, 1964.

О РЕЗКОМ ПАДЕНИИ РАСХОДА р. ЧИРЧИК, ВЫЗВАННОМ СНЕЖНЫМИ ЛАВИНАМИ

22—23/II 1956 г. на р. Чирчик произошло небывалое падение расхода (с 63 до 21 м³/сек.). С утра 22/II расход воды в р. Чирчик у головного сооружения ГЭС стал медленно уменьшаться. С 16 час. этого же дня падение расхода усилилось, а к концу суток он уменьшился в два раза, как это видно из рис. 1. Этот расход (21 м³/сек.) является наименьшим за все время наблюдений на р. Чирчик и только в феврале 1918 г. расход воды в р. Чирчик снижался до 30 м³/сек. [1]. Утром 26/II расход р. Чирчик достиг 52 м³/сек., а через сутки — 66 м³/сек., т. е. полностью восстановился по прошествии 4 суток.

По мнению одного из авторов статьи (П. М. Машукова) такое уменьшение расхода Чирчика произошло из-за многочисленных завалов снегом русел речной сети, особенно р. Чаткал на участке от с. Бричмулла до устья р. Терс, где эта река течет в узком ущелье с крутыми склонами. Это предположение было основано на сведениях о перепруживании русла р. Чаткал и других рек лавинами, которые наблюдались в прошлом, а также на том обстоятельстве, что 21 и 22/II в верховьях р. Чирчик отмечались обильные снегопады: с утра 21 по утро 22/II высота снежного покрова на метеорологической станции Чаткал увеличилась на 51 см (последующее изучение показало, что этот снегопад был самым обильным за период с 1951 по 1964 г.). Это могло вызвать повсеместное и практически одновременное лавинообразование.

Для поисков этих предполагаемых причин 23/II П. М. Машуковым и И. А. Ильиным (УГМС Узбекской ССР) было проведено обследование рек Чирчик и Чаткал с самолета. С высоты полета 4000 м над уровнем моря видимость была хорошая, хотя детали и не различались, а местами склоны закрывали реку. Но река просматривалась хорошо и всегда можно было различать на ней снежные и ледяные образования.

Наблюдения подтвердили первоначальные предположения: Чаткал во многих местах оказался перекрытым образованиями из снега, в большинстве своем намокшим, что хорошо можно было установить по серому цвету образований, перекрывающих реку. Ниже приводятся записи, произведенные в бортжурнале.

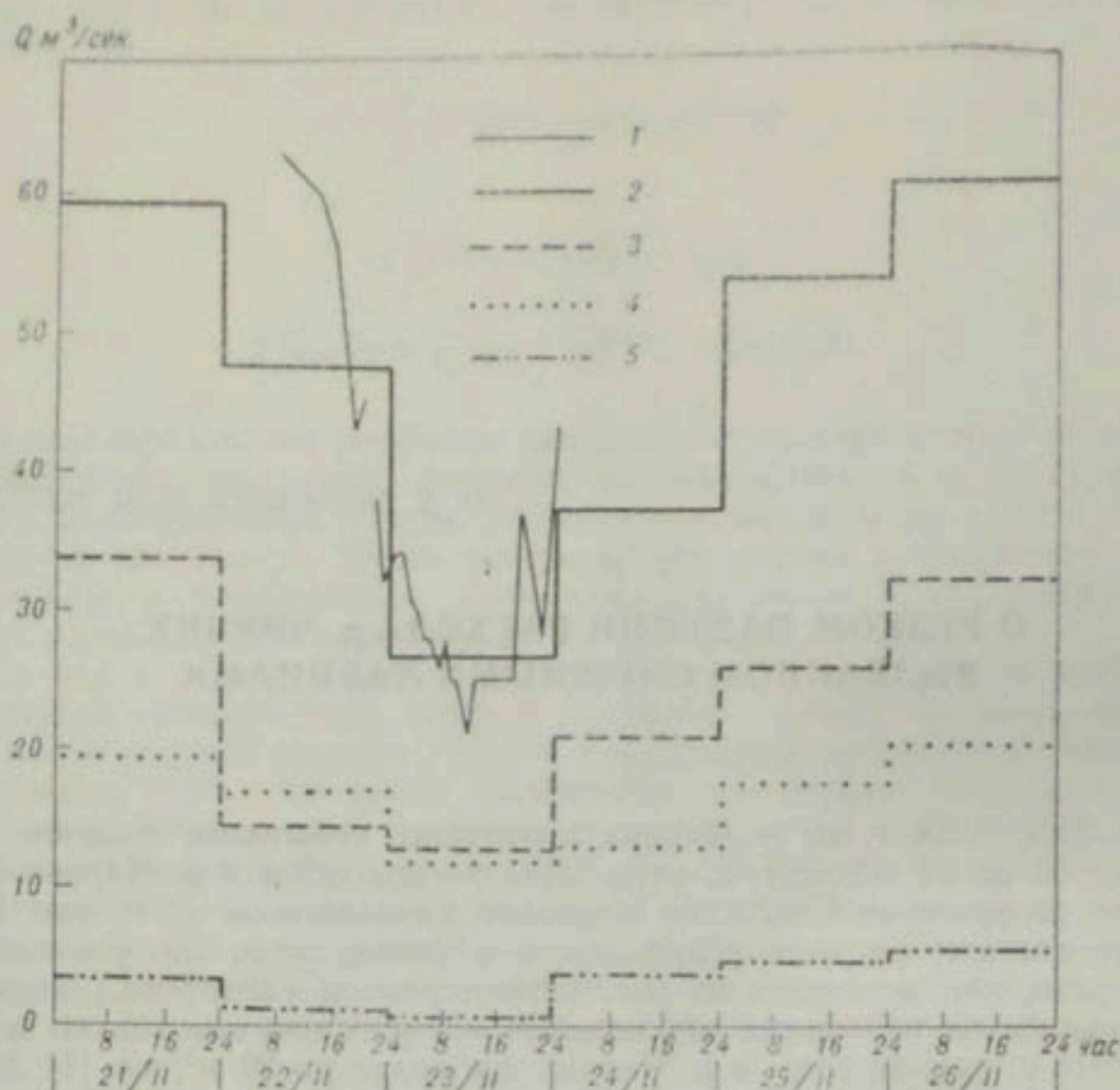


Рис. 1. Ежедневные и часовые расходы воды в реках Чирчик на головном сооружении ГЭС (1) и посту Ходжикент (2), Чаткал (3), Пскем (4) и Ойганг (5) 21—26/II 1956 г.

Река Чирчик — на поверхности водохранилища лед серого цвета.

На р. Чирчик, в устье р. Угам небольшое скопление шуги.

На р. Пскем вблизи устья — чисто.

На р. Чаткал от слияния с р. Пскем до устья р. Кок-Су видны белые образования комками, по-видимому, остатки снежуры.

В устье р. Кок-Су (6,8 км)¹ — зажор, разлива незаметно. Здесь река течет в узком каньоне.

Устье р. Янги-Курган (11,2) — перемычка из снежуры на р. Чаткал.

Устье р. Чукрак-Су (17,2) — снеговая или ледяная перемычка.

Р. Ак-Булак (21,3) — река открыта, ледостава нет. Несколько ниже устья на р. Чаткал ледяная (или снеговая) перемычка.

Выше по руслу реки (по долине) разбросаны большие комки снега. По-видимому, это лавинные катыши или остатки разрушенного снежного завала.

Устье р. Шабрез (23,4) — в русле большие комки снега.

Устье р. Пейпак-Сай (26,0) — упавшая снежная лавина.

Устье р. Нурсан-Сай (31,8) — р. Чаткал перекрыта образованием из снежуры.

Устье р. Уикурташ (34,0) — река на большую длину перекрыта снежурой.

От устья р. Курук-Сай (40,6) до устья р. Найза русло сплошь покрыто снегом.

Устье р. Кыйшик-Арча (46,4) — все русло р. Чаткал забито снегом.

Устье р. Кок-Кам (52,7) — снеговая или ледяная перемычка.

От устья р. Баркраук (54,6) — ледостав вверх по течению, еще выше — завал снега.

Ниже устья р. Терс (83,0) — вся река покрыта снегом на протяжении около 0,5—1,0 км. Здесь узкая щель. Завал очень мощный, так как поверхность его белая; р. Терс без ледяного покрова.

¹ В скобках здесь и ниже — расстояния от устья р. Чаткал (в километрах).

Все перекрытия русла снегом располагались в устьях притоков, т. е. на конусах выноса.

От устья р. Терс вверх идет широкая долина, по которой течет незамерзшая р. Чаткал. Плывающих ледяных образований на реке не видно. Зажоры отсутствуют.

Вверх по р. Чаткал поднялись несколько выше гидрометстанции Чаткал (устье рек Ак-Су и Кара-Су), но ледяных образований на реке не было обнаружено.

Все небольшие речки находятся под снегом, воды в них не видно. Даже такая большая река, как Сандалаш, и та подо льдом. Возможно, и она где-то в верховье перепружена снежными завалами, тем более, что эта река там течет в узком ущелье с крутыми склонами.

Вода видна только в реках Терс, Акбулак и Кок-Су.

На обратном пути пролетели некоторое расстояние вверх по р. Пскем, на котором льда не обнаружено. В одном месте в русле отмечены большие белые пятна: это или покрытые снегом большие камни, или остатки размытой лавины.

Анализ наблюдений на гидропостах показал, что в этих же числах февраля аналогичное падение уровней и уменьшение расходов наблюдалось на притоках р. Чирчик повсеместно, причем наблюдателями в ряде случаев отмечалось наличие завалов выше постов, а р. Чараалма 22/II даже пересохла. Характерно, что минимум уровней и расходов притоков наступил примерно на сутки раньше аналогичного минимума р. Чирчик у ГЭС. Все эти уровни и расходы являются наименьшими не только за весь 1956 г., но и за ряд лет. Расход воды стал увеличиваться, как только образовавшиеся мелкие водоемы переполнились. Характерно, что за снижением уровня заметного паводка не последовало, расход воды в р. Чирчик просто восстановился до своего исходного значения, причем падение уровней и расходов было более резким по сравнению с последовавшим восстановлением.

Аналогичные явления, хотя и в меньшей степени, в это же время наблюдались и в соседних речных бассейнах, например, на р. Ахангаран.

Можно было бы предположить, что все запруды, увиденные на р. Чаткал с самолета, были обыкновенными ледяными заторами, так как различать тонкую структуру этих запруд с самолета было невозможно. Однако против этого предположения говорят следующие факты:

а) имеются непосредственные указания наблюдателей о снежных завалах выше постов Карангитугайского на реках Майдантал, Ойгаинг, Чараалм и Пскем, которые происходят периодически в лавиноопасные годы. Так, по сообщению Н. В. Петрова (Среднеазиатский НИГМИ) в конце марта 1966 г. по рекам Пскем, Майдантал и Ойгаинг сошли многочисленные лавины и с гидрометрических постов поступили сигналы об уменьшении расходов этих рек. В прошлые годы отмечался случай полного перепруживания р. Ойгаинг лавинными конусами, когда эта река временно пересохла. Несмотря на то, что на р. Ойгаинг создалось плотинное озеро от сошедших лавин, прорыва воды не последовало, но расход реки все же несколько увеличился;

б) выше устья р. Терс, на р. Чаткал, где эта река течет довольно широким потоком в широкой долине, не было не только ледохода, но даже заберегов: с самолета река просматривалась в виде темной ленты на белом фоне сплошного снежного покрова; из-за отсутствия транзита ледяного материала сверху не могли образоваться заторы льда в ниже-расположенной теснине;

в) в период, предшествующий падению расхода воды в р. Чирчик, в бассейнах рек Чаткал и Пскем температура воздуха была повышенной по сравнению с предыдущими днями и вообще не была настолько низкой, чтобы обеспечить образование шуги в количествах, способных образовать заторы;

г) в этот же период на метеорологических станциях Пскем и Чаткал наблюдались обильные снегопады и значительное увеличение высоты снежного покрова (табл. 1). На метеорологической станции Ангрен-плато с 17 по 23/II 1956 г. зафиксировано свыше 100 мм осадков, причем значительная их часть (44 мм) выпала 22—23/II.

Таблица 1

Средняя суточная температура воздуха t (в градусах), количество осадков v (в миллиметрах) и высота снежного покрова h (в сантиметрах)

Число	Метеорологические станции и их высоты, м														
	Чарвак, 877			Пскем, 1257			Каранги-тугай, 1484			Чаткал, 1937			Ангрен, 2286		
	t	v	h	t	v	h	t	v	h	t	v	h	t	v	h
Январь 1956 г.															
1	— 2	3	29	— 3	5	48		5	54	— 8	0	45	— 7	1	22
2	— 3	8	34	— 4	12	59		9	61	— 10	8	51	— 9	4	25
3	— 7		29	— 9		53			56	— 19		49	— 16		25
4	— 9		23	— 12		51			53	— 26		49	— 18		25
5	— 8		4	— 10		50			51	— 26		49	— 16		22
6	— 6		3	— 8		48			50	— 25		48	— 11		22
7	— 5		3	— 7		47			49	— 23		48	— 9		20
Февраль 1956 г.															
16	— 1		0	— 4		49			56	— 16		68	— 10		40
17	— 1	10	17	— 4	2	50		5	61	— 10	4	68	— 9	2	38
18	— 4	5	8	— 6	4	49		4	59	— 15	6	68	— 12	1	38
19	— 8	4	17	— 7	4	54		4	67	— 11	5	73	— 11	1	41
20	— 4	0	12	— 5	1	52		7	65	— 9	6	74	— 10	4	42
21	— 0	16	15	— 2	21	65		29	93	— 6	29	89	— 6	8	47
22	— 5	22	20	— 4	34	86		38	95	— 4	40	133	— 4	13	44
23	— 11	3	37	— 12	5	98		5	97	— 16	1	132	— 13	2	47
24	— 2		29	— 5		94			95	— 21		131	— 11		47
25	3	2	17	2	2	91		3	93	— 9	1	121	— 3	4	46
26	0	8	11	0	10	85		3	87	— 6	6	118	— 3	5	46
27	— 4	6	15	— 6	6	88		4	88	— 9	6	120	— 8	6	58

Но массовый сход лавин и препруживание рек лавинным снегом является, как говорилось выше, не единственной возможной причиной резких падений уровней и расходов горных рек. В январе 1956 г. на р. Чирчик наблюдался менее глубокий минимум, связанный не с лавинами, а с ледовыми явлениями. Снижение расходов реки происходило медленнее (с 3 по 5/I — от 68 до 46 м³/сек.), еще более плавными было их восстановление (с 6 по 12/I расход постепенно повысился до 68 м³/сек.). В отличие от февральского минимума на реках бассейна р. Чирчик и соседних с ним снижение расхода было не таким внезапным и наблюдалось на разных притоках со смещением на несколько дней. Это связано с различным временем образования заберегов, заторов, шуги, донного льда и т. д. на отдельных реках, в значительной мере случайным характером явления заторообразования (так как для

их возникновения требуется соответствующее сочетание условий) и неодинаковым расстоянием места образования заторов от рассматриваемого створа. В результате одновременного и резкого снижения уровней и расходов не происходит.

Существенным является то обстоятельство, что снижение расходов от изъятия воды на ледообразование связано с формированием только неподвижного льда заберегов и наледей, так как шуга, плывущая по течению, войдет в величину расхода реки (плывущие льдины здесь в расчет не принимаются). Если образование неподвижного льда явилось основной причиной падения расходов, то немедленного возврата этой воды в виде кратковременного паводка не последует.

Возникает вопрос, каким образом отличить уменьшение расхода и понижение уровней реки от лавинообразования и от ледостава с сопутствующими заторами? Некоторые указания на причину этого явления дает сама форма графика хода расходов во времени, о чем говорилось выше; наиболее ценными являются прямые указания на лавинные завалы в районе наблюдений; не последнюю роль должен играть также анализ предшествовавшей явлению метеорологической обстановки. Так, в описываемых случаях в начале января имело место похолодание без существенных осадков (табл. 1); наблюдателями гидропостов, к тому же, отмечались забереги, шуга, ледостав и т. д. Лавин в районах гидропостов отмечено не было (хотя сход их в это время и не исключался вовсе). В соседних районах, например, в бассейне р. Дукент, был отмечен сход лавин только после 16/I. В феврале, напротив, был очень обильный снегопад, давший приrost высоты снежного покрова на 51 см только за одни сутки, предшествовавшие рассматриваемому явлению; всего же за время снегопада, длившегося около недели (с 17 и 18 по 23/II) отложилось 68 см снега на покров мощностью 65 см, общая высота которого, таким образом, достигла 133 см. За эту неделю выпало не менее 60 мм твердых осадков (количество осадков в ночь с 21 на 22/II, к сожалению, осталось неизвестным); максимум осадков, выпавших между сроками наблюдений, приходится на 22/II.

Все это характеризует обстановку 22/II, как чрезвычайно лавиноопасную. И в самом деле, по снеголавинной станции Дукент 23 и 24/II были отмечены лавины (в бассейне р. Чаткал они могли сойти днем раньше).

Массовые завалы русел рек в бассейне р. Чирчик отмечались и ранее, например, в 1931—1935 гг. Следовательно, периоды массового схода лавин могут и в будущем служить причиной резких уменьшений расхода р. Чирчик и других горных рек Средней Азии. Характерно, что такое катастрофическое лавинообразование охватывает большие площади, проявляется в течение немногих дней, если не часов, и практически одновременно в пределах того или иного бассейна.

Анализ гидрологических ежегодников и метеорологических таблиц позволит исследователю установить важнейшие случаи массового лавинообразования за те годы, когда не проводилось специальных снеголавинных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Ч. I и II. Гидрометеиздат, Л., 1965.

О ПРОГНОЗАХ СРЕДНИХ МЕСЯЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ, СОСТАВЛЯЕМЫХ ПО ДАННЫМ О РАСХОДАХ ВОДЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

В УГМС республик Средней Азии, особенно Узбекской ССР, прогнозы средних месячных расходов воды с давних пор составляются по связям, учитывающим расход воды в реке и температуру воздуха [2] за истекший период, которые продолжают совершенствоваться и по настоящее время. В частности, в секторе гидропрогнозов УГМС Узбекской ССР сделаны попытки обобщения этих связей. Исторически этот метод развился из так называемого метода интегральных кривых [1] и применяется в нескольких вариантах. В настоящей статье покажем связь этих вариантов с интегральными кривыми.

Для предсказания средних месячных расходов воды в среднегорных реках на июнь и июль и отчасти на май и август месяцы строят графики связи, ординатами которых являются указанные расходы, а абсциссами одно из следующих двух выражений:

$$x = \frac{Q}{t - c} \quad (1)$$

и

$$x = Q(c - t), \quad (2)$$

где Q и t — средние за один и тот же «весенний» период расход воды в той же реке, что и расход y , и температура воздуха по одной из высокогорных метеорологических станций. «Весенний» период в основном определяется сроками выпуска прогнозов и длина его колеблется от двух до девяти декад. Расход Q и температура t берутся из наблюдений, поэтому величину x мы будем называть также наблюдаемой в таком же смысле, в каком, например, считают наблюдаемой абсолютную влажность воздуха, хотя эта величина непосредственно не наблюдается, а вычисляется по показаниям сухого и смоченного термометров и барометра.

Наблюдаемые y и x наносят на координатную плоскость точками и среди последних наилучшим способом проводят линию связи, почти

всегда прямую. В дальнейшем мы будем считать ее прямой, удовлетворяющей уравнению

$$\tilde{y} = ax + b, \quad (3)$$

которая будет представлять содержание метода составления прогноза. Здесь a и b — постоянные числа, получаемые с графика, а $\tilde{y}$ — ожидаемый расход. Ставя знак тильда над буквой y , мы тем самым указываем на то, что дело идет о вычисленном $(\tilde{y})^1$, а не наблюдаемом (y) расходе воды в реке.

Заменяя в этой формуле вспомогательную переменную x на ее выражения (1) и (2), получаем два варианта прогностической формулы

$$\tilde{y} = a \frac{Q}{t-c} + b \quad (4)$$

и

$$\tilde{y} = a(c-t)Q + b. \quad (5)$$

Эти формулы можно записать в виде одной

$$\tilde{y} = kQ + b, \quad (6)$$

где

$$k = \frac{a}{t-c} \quad (7)$$

или

$$k = a(c-t). \quad (8)$$

Обе формулы показывают, что средний расход июня или июля находится в прямой зависимости от весеннего расхода воды и в обратной зависимости от весенней температуры воздуха. Зависимость эта является, конечно, приближенной. Ее теория изложена автором в 1941 г. и в грубых чертах состоит в следующем. Июньский сток приблизительно пропорционален количеству снега, сохранившемуся на водосборе к 1/VI, равному количеству его к началу таяния W минус сток за весну. Далее предполагается, что весенний сток равен произведению W на некоторую функцию от весенней температуры воздуха. Приложение этих двух допущений к водосбору р. Чирчик привело автора к формуле (5). Впоследствии стали применять формулы типа (4), которые качественно равноценны формуле (5), о чем было только что сказано. В своей работе автор учитывал осадки весны, подземное питание, температуру и осадки июня, но не ввел соответствующих величин в формулу (5) из-за того, что это мероприятие не приводило к существенному улучшению формулы (5), но усложняло ее.

Величина x в формуле (1), равная интенсивности стока, отнесенной к одному градусу некоторой эффективной температуры $t-c$, характеризует стоковую способность водосбора, т. е. количество влаги в нем, способной к стеканию. Помимо сказанного, температура характеризует также фазу половодья: чем теплее была весна, тем больше в этот сезон

¹ Величина $\tilde{y}$, согласно теории корреляции, представляет среднее из значений наблюдаемой величины y , соответствующих данному наблюдаемому x , и часто обозначается $\bar{y}_x$. Для упрощения записи значок x мы отбрасываем, а прямую черту над буквой y заменяем волнистой.

стекло воды, тем меньше ее, следовательно, осталось в водосборе и тем меньше будет сток в июне.

Постоянные числа отражают не только всякие многолетние средние и неучтенные факторы, но и несовершенство самих формул (4) и (5), а также случайные обстоятельства, определяемые короткими рядами наблюдений.

Параметры a и b устанавливаются автоматически и зависят от того, какое положение на координатной плоскости заняла линия связи среди точек с координатами x и y .

Параметр c определяется многолетней средней температурой воздуха и должен быть тем больше, чем выше эта температура. Практически он определяется на глаз и часто необоснованно принимается равным нулю. В формуле (5) он всегда положительный, но в формуле (4) он может быть как положительным, так и отрицательным. Это бывает тогда, когда весенняя температура воздуха берется по высоко расположенной станции, где она низка, а в отдельные годы даже становится отрицательной. Параметр c определяет силу влияния температуры на ожидаемый сток: чем больше c , тем меньше это влияние. Последнее легко уяснить, если в формулах (4) и (5) этот параметр вынести за скобку

$$\tilde{y} = \frac{a}{c} \frac{Q}{\left(\frac{t}{c} - 1\right)} + b = a' \frac{Q}{\frac{t}{c} - 1} + b \quad (4a)$$

и

$$\tilde{y} = ac \left(1 - \frac{t}{c}\right) Q + b = a' \left(1 - \frac{t}{c}\right) Q + b \quad (5a)$$

(a' — новое постоянное число). При очень большом c (по сравнению с t) влияние температуры t на сток по сравнению с влиянием расхода Q становится незаметным и обе формулы превращаются в обычную инерционную связь

$$\tilde{y} = aQ + b \quad (9)$$

(a и b , конечно, иные, чем в предыдущих формулах).

Произвольно увеличивая или уменьшая параметр c в формулах (4) или (5), относящихся к конкретному прогнозу (реке и месяцу), мы тем самым искусственно увеличиваем или уменьшаем влияние температуры t на результат $\tilde{y}$ по сравнению с влиянием расхода Q , а от этого меняется и теснота связей (4) или (5) и параметры a и b . Существует такое значение c , при котором связь становится наиболее тесной.

На практике параметр c устанавливается на глаз и поэтому лишь случайно может оказаться наилучшим. Если же в формулах, построенных для нескольких рек и месяцев, c подобрано наилучшим образом, то по величине c можно судить, в какой из этих связей весенняя температура t наиболее сильно влияет на ожидаемый сток. Однако при этом необходимо все c_i (i — название прогноза) сделать сравнимыми, так как они зависят не только от тесноты связи, но и от выбора метеорологической станции, по которой берется температура воздуха.

Как указывалось выше, величина x в формуле (1) представляет расход воды, приходящийся на 1 градус эффективной температуры воздуха. Эту же величину, если ее умножить на число c , т. е. представить в виде

$$x' = \frac{Q}{\frac{t}{c} - 1} \quad (10)$$

можно рассматривать как весенний расход воды, приведенный к нормальной весенней эффективной температуре воздуха $t - c$.

Аналогичное значение имеет и величина x в формуле (2), так как она может быть получена из формулы (1) разложением ее в ряд по степеням t и отбрасыванием всех членов выше первого порядка относительно t .

В первое время после появления рассматриваемого метода весенний сток (расход) приводился к нормальной температуре не по формулам (1) и (2), а иначе (делалось приведение к некоторой постоянной сумме эффективных температур воздуха). Так, для прогноза июньского стока р. Чирчик суммировалась температура станции Ангрен, начиная с 1/IV, до тех пор, пока не накапливалась некоторая сумма градусодней. Пусть, например, в 1938 г. это случилось 26/V. За этот же период, т. е. с 1/IV по 26/V, суммируются и расходы воды. Аналогичным образом вычисляются суммы расходов и за другие годы. Связывая их с соответствующими наблюдаемыми среднемесячными расходами y , получают искомый прогностический график.

Назовем этот второй вариант методом постоянной суммы температур, тогда как первый — методом постоянного промежутка времени. Второй вариант по сравнению с первым обладает двумя недостатками. Во-первых, он более трудоемок и, во-вторых, в нем теряется часть информации о температуре и расходах, так как накопление определенной суммы температур происходит в разные годы и в разное время, а прогноз приходится составлять на определенный календарный период и в определенный срок. Например, в одном году эта сумма накапливается к 31/V, а в другом — к 15/V, поэтому полная информация (с 1/IV по 31/V) используется только в первом случае, во втором — не учитываются сведения за вторую половину мая, что приводит к значительному снижению качества прогноза, так как эта информация может оказаться весьма важной. Известно, что многие прогнозы составляются по данным, взятым всего за десятидневный промежуток времени, при этом, чем ближе этот промежуток времени к сроку выпуска прогнозов, тем точнее прогноз. Поэтому этот последний промежуток времени нужно всячески беречь, и если уж отсекал информацию, так не с конца, а с начала. В данном случае суммировать температуру и расходы следовало бы не вперед — с 1/IV, а назад — с 31/V.

Аргумент метода постоянной суммы температуры можно записать в виде

$$x = \sum_1^n Q_i, \quad (11)$$

где Q_i — ежедневный (декадный) расход, i — порядковый номер дня (декады), n — последний день (последняя декада) суммирования, удовлетворяющий условию

$$\sum_1^n (t_i - c) = A = \text{const.} \quad (12)$$

Поделив $\sum Q_i$ на $\sum (t_i - c)$, получим новое выражение для аргумента

$$x = \frac{\sum_1^n Q_i}{\sum_1^n (t_i - c)} \quad (13)$$

(t_i — ежедневная температура), равноценное первому, изображаемому формулой (11), так как деление на постоянное число A ничего сущест-

пенного в расчеты не вносит. Наконец, разделив числитель и знаменатель на одно и то же число суток (декад) суммирования n , получим окончательные выражения для аргумента метода

$$x = \frac{Q_n}{t_n - c}, \quad (14)$$

$$t_n - c = \frac{A}{n}. \quad (15)$$

Здесь Q_n и t_n — средний расход и средняя температура за n первых дней (декад) «весны», удовлетворяющих условию (12).

Как видим, выражение (14) совпадает по форме с выражением (1). Различие состоит в том, что в выражении (1) число суток (декад) всегда (для всех лет) одинаково, в формуле (14) оно каждый год разное. Наоборот, в формуле (14) знаменатель, умноженный на n , является постоянным, а в формуле (1) он переменный.

Дадим еще графическую интерпретацию рассмотренному методу.

В практической деятельности каждый метод стараются иллюстрировать хронологическими графиками, которые помогают лучше уяснить создавшуюся гидрометеорологическую обстановку, делать некоторые интерполяции и экстраполяции и избегать ошибок. В рассматриваемом методе такой иллюстрацией служат так называемые интегральные кривые, представляющие связь между последовательно накапливающимися суммами средних декадных температур (точнее, эффективных всегда положительных температур) воздуха и расходов воды. Хронологическими графиками мы называем эти кривые потому, что на оси абсцисс откладывается календарное время. От обычных хронологических графиков они отличаются неравномерной шкалой времени, где декады (сутки) получаются разной длительности, пропорциональные средним декадным (суточным) значениям температуры воздуха. Также построена и шкала оси

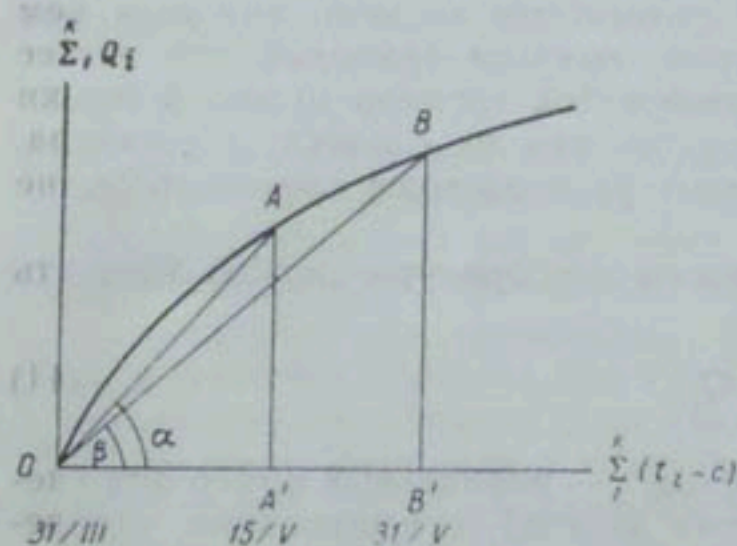


Рис. 1. Пример построения интегральной кривой расходов воды.

ординат, только расстояния между штрихами, изображающими моменты времени, пропорциональны не температурам, а расходам. Затруднение в такой хронологической интерпретации состоит в том, что когда на один лист клетчатки наносится несколько годовых интегральных кривых для каждой кривой, пришлось бы строить свою особую календарную шкалу; обычно же календарь размещают на самой кривой.

На рис. 1 схематически изображена одна из таких ежегодных интегральных кривых. Здесь длина отрезка OB' в соответ-

ствующем масштабе равна сумме эффективных температур $\sum_1^k (t_i - c)$, накопившихся за стандартный промежуток времени (здесь с 1/IV по 31/V включительно). Этот отрезок переменный, он меняется от года к году.

Длина отрезка BB' равна сумме расходов $\sum_1^k Q_i$, взятых за то же время.

Из чертежа видно, что аргумент x в формуле (1) изобразится тангенсом угла β , т. е.

$$x = \frac{Q}{t - c} = \frac{\sum_{i=1/IV}^{15/V} Q_i}{\sum_{i=1/IV}^{15/V} (t_i - c)} = \frac{BB'}{OB} = \operatorname{tg} \beta. \quad (16)$$

Длина отрезка OA' (рис. 1) изображает постоянную сумму эффективных температур воздуха $\sum_{i=1/IV}^{15/V} (t_i - c) = \text{const}$, которая в разные годы накапливается к разному сроку, в данном случае это случилось 15/V. Накопившаяся к этому времени сумма расходов представлена длиной отрезка AA' , она переменная. Из треугольника OAA' находим для аргумента x формулу

$$x = \frac{\sum_{i=1/IV}^{15/V} Q_i}{\sum_{i=1/IV}^{15/V} (t_i - c)} = \frac{AA'}{OA'} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (17)$$

равноценную формуле (13), так как обе эти формулы отличаются лишь разными обозначениями.

Как видим, аргументы обоих методов предстали в одинаковой форме, в виде формул (16) и (17). Иначе говоря, метод постоянных промежутков времени и метод постоянных сумм эффективной температуры действительно являются вариантами одного и того же метода, получающихся при разной интерпретации метода интегральных кривых.

Третий вариант получим, если счет накопления температуры воздуха и расходов воды будем начинать не с постоянной календарной даты, а с момента перехода температуры воздуха через некоторое заданное постоянное значение ее, например, 0° на некоторой изогипсе. В таком случае на рис. 1 переменной будет не только точка A , но и точка O . Этот метод как раз и пропагандирует Т. С. Абальян [1]. Неудобство переменного начала связано с невозможностью заранее знать, наступил ли устойчивый переход температуры через указанное критическое значение или еще не наступил.

Интегральные кривые и до сих пор применяются в секторе гидропрогнозов УГМС Узбекской ССР в качестве вспомогательного средства при составлении прогнозов средних месячных расходов воды. Количественные методы типа формулы (6) являются основными методами составления прогнозов по среднегорным и отчасти высокогорным и низкогорным рекам на июнь и июль, а отчасти на май и август месяцы. Преобладает аргумент типа (1), реже (2). Наилучшие результаты этот метод дает для июня, а по некоторым рекам для июля. При приближении к межени зависимость предсказываемого расхода $\bar{y}$ от «весенней» температуры пропадает и коэффициент k в формуле (6) вырождается в постоянную величину a .

«Весенний» период, т. е. промежуток времени, за который определяются «весенние» расход и температура, должен быть достаточно длинным и репрезентативным; в противном случае определение стоковой возможности x в формулах (1) или (2) становится ненадежным.

Репрезентативным может быть такой период, в котором преобладает сток талых вод, количество которых зависит как от количества снега во всем водосборе, так и от температуры воздуха. Например, апрельский месячный период для большинства рек, как показывает опыт, не является репрезентативным, так как в этот месяц тают снега с далеко не всей площади водосбора и к талым примешивается слишком много дождевых

вод, не зависящих от температуры воздуха. Сказанное объясняет, почему майский сток, а особенно апрельский, часто предсказывают не по стоковой возможности водосбора x типа (1) или (2), а по количеству осадков на выбранных метеорологических станциях u или по количеству снега на снегопунктах W , которые эту стоковую возможность характеризуют лучше, чем формулы (4) и (5). Вообще же рекомендуется брать нечто среднее между величинами x и u или x , u и W , так как осреднение разнородных по своему происхождению, но однородных по существу, какими являются величины x и u или x и W , приводит к увеличению надежности результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. А б а л ь я н Т. С. Формирование стока горных рек Средней Азии и возможности его прогноза. Тр. III Всесоюз. гидрол. съезда, т. II. Гидрометеиздат, Л., 1959.
2. М а ш у к о в П. М. Основные методы гидрологических прогнозов, применяемые в Средней Азии. Сб. «Метеорология и гидрология в Узбекистане», Ташкент, 1955.

поче-
не по
честву
честву
ктери-
брать
днение
ву, ка-
надеж-

ости его
енные
ст, 1955.

Ю. Н. ИВАНОВ

ЗАИЛЕНИЕ УРТАТОКАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

ВВЕДЕНИЕ

Уртатокайское водохранилище на р. Кассансай, правом притоке Сыр-Дарьи, как и все водохранилища Средней Азии, подвержено заилению, хотя и в незначительной степени. Тем не менее изучение заиления его вызывает некоторый интерес как в практическом, так и в теоретическом отношении, исходя из чего Среднеазиатская экспедиция Государственного гидрологического института провела промеры водохранилища в 1960 г. с целью получения объема заиления. Результаты этих работ анализируются в настоящей статье.

от

Общая характеристика реки и водохранилища

Река Кассансай стекает с южного склона Чаткальского хребта и является одним из крупных притоков Сыр-Дарьи.

Верхняя часть бассейна представляет собой всхолмленное Ангренское плато, сильно расчлененное глубокими врезами притоков. Отметки в северо-восточной части бассейна достигают 4000 м. Ниже впадения р. Урюкты горы переходят в холмистое предгорье с высотами до 1200 м. В горной части бассейна р. Кассансай принимает 12 постоянно действующих притоков, преимущественно левобережных. Наиболее значительные из них Терек (34 км) и Урюкты (28 км). Остальные притоки имеют длину от 11 до 20 км.

При выходе р. Кассансай на предгорную равнину в него впадает целый ряд временных водотоков, которые действуют только в период снеготаяния. В горной части водосбора, в области развития палеозойских пород Кассансай имеет наибольшую ширину при сильной вертикальной врезанности. Долина реки меняет свою форму и размеры в порядке чередования пород, слагающих ее. На участках, где имеют место выходы коренных пород, долина сужается, в местах с менее стойкими породами — расширяется. Подобное чередование сужений и расширений Кассансай имеет и в пределах Уртатокайского водохранилища. Здесь прочные породы палеозойского возраста разделены 5—6-километровой полосой рыхлых меловых третичных пород, заполняющих большую тектоническую впадину, известную под названием урочище Уртатокай. С севера и юга впадина ограничена горным массивом, сложенным палеозойскими породами.

Таблица 1

Суммарные среднемесячные расходы воды рек Кассансай и Урюкты у впадения в Уртатокайское водохранилище

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годовой
1925	—	—	—	—	—	—	—	4,50	3,40	3,00	3,50	3,18	—
1926	2,98	2,70	2,75	3,43	13,5	20,3	16,4	6,93	4,18	—	—	—	—
1927	—	—	—	—	13,3	7,62	5,60	3,21	2,89	—	—	—	—
1928	—	—	—	—	35,1	30,8	17,4	8,62	5,33	3,22	3,08	2,92	—
1929	2,56	2,93	4,82	17,1	23,0	21,4	14,0	6,32	4,50	3,80	3,38	3,00	8,86
1930	2,98	2,89	3,10	6,72	17,0	19,4	9,00	4,00	3,08	2,76	2,80	2,88	6,39
1931	2,88	3,00	3,22	10,1	20,2	35,5	25,6	10,6	5,41	5,60	4,20	4,24	10,9
1932	3,92	3,73	4,19	12,6	18,9	19,2	9,00	5,08	3,92	3,60	3,63	3,36	7,59
1933	3,50	3,35	4,05	7,73	25,6	26,1	10,9	5,63	3,83	3,20	3,20	4,00	8,43
1934	3,80	3,10	3,17	9,40	23,8	59,5	28,3	11,0	6,40	4,77	4,60	4,68	13,5
1935	4,02	3,92	3,93	7,65	22,6	28,8	18,7	8,20	4,40	3,80	3,88	3,70	9,41
1936	3,28	3,04	3,20	7,78	22,7	16,6	7,60	5,18	3,30	2,66	2,40	3,60	6,78
1937	4,05	3,61	3,50	4,62	16,5	20,7	10,4	5,01	3,10	2,84	2,92	2,72	6,66
1938	3,08	2,50	2,20	6,30	20,0	7,60	6,00	3,41	2,41	2,20	2,08	1,70	4,95
1939	2,04	1,72	2,00	4,30	23,6	13,2	7,60	4,40	2,69	2,41	2,60	2,60	4,93
1940	2,90	2,58	2,57	6,37	15,6	17,0	7,60	4,22	2,50	2,48	2,62	2,68	5,75
1941	2,84	2,41	3,08	12,5	30,8	20,0	6,60	4,32	2,77	2,52	2,58	2,69	7,45
1942	2,13	2,00	3,65	13,2	35,2	27,2	13,9	8,36	5,24	4,52	3,72	3,45	10,2

1943	3,10	3,00	3,85	8,62	26,4	31,6	16,5	10,2	6,09	4,55	3,46	3,46	10,1
1944	3,50	2,30	1,85	4,78	13,0	10,3	9,82	4,57	3,50	3,32	2,37	2,32	5,14
1945	3,09	2,82	2,97	11,4	30,4	38,4	17,7	7,79	4,55	3,46	3,55	3,63	10,6
1946	3,01	2,96	3,11	13,8	23,6	18,8	11,2	6,82	4,22	3,44	3,09	2,81	8,07
1947	3,84	3,53	3,94	7,39	16,8	19,4	11,2	5,64	3,80	3,79	3,97	3,32	7,22
1948	3,03	2,86	3,09	10,8	34,0	33,4	22,2	9,08	4,68	2,41	3,14	3,20	11,0
1949	2,29	2,51	2,55	7,42	31,1	31,2	20,2	10,8	6,12	4,74	3,75	3,28	10,7
1950	2,89	3,07	2,91	4,16	26,8	21,2	9,76	5,49	3,71	3,44	3,26	3,29	7,50
1951	3,20	3,54	3,14	5,79	19,8	17,3	15,1	7,43	4,12	5,15	6,01	4,27	7,88
1952	3,50	3,11	3,67	21,6	33,6	43,0	23,9	10,6	5,49	4,08	3,54	3,26	13,7
1953	2,90	2,73	3,64	7,60	44,4	40,2	16,3	8,19	5,20	4,51	3,99	3,97	12,0
1954	3,43	3,02	3,37	13,9	26,9	24,9	18,2	12,7	6,73	4,75	3,97	3,28	10,4
1955	2,91	2,64	3,21	7,69	23,6	30,4	15,0	6,54	4,00	3,41	3,04	2,54	8,79
1956	2,25	2,03	2,32	12,8	30,9	19,3	12,2	5,38	3,62	3,02	2,46	1,92	8,15
1957	1,86	1,79	2,19	3,55	9,91	17,8	9,34	4,96	3,65	2,50	2,49	2,37	5,10
1958	2,13	1,87	2,32	13,9	27,1	42,8	24,6	10,1	5,30	4,18	3,45	3,29	11,7
1959	2,67	2,57	3,26	28,2	25,1	33,4	20,0	9,79	5,33	4,05	3,71	3,17	12,6
1960	2,83	2,69	2,95	12,3	36,9	38,5	23,7	8,28	6,12	4,70	3,89	3,22	12,7
1961	2,96	2,67	2,91	6,14	19,2	10,1	5,80	4,27	3,11	2,84	2,65	2,27	5,40
1962	2,27	2,15	2,42	5,18	14,1	29,4	13,6	5,62	3,90	3,53	3,14	2,81	7,35
1963	2,32	2,20	2,77	12,3	21,8	28,4	11,6	5,35	3,64	3,06	3,03	2,53	8,25
Σ Средн.	2,97	2,77	2,87	8,93	23,4	24,9	13,9	9,45	4,25	2,96	3,31	3,15	8,56

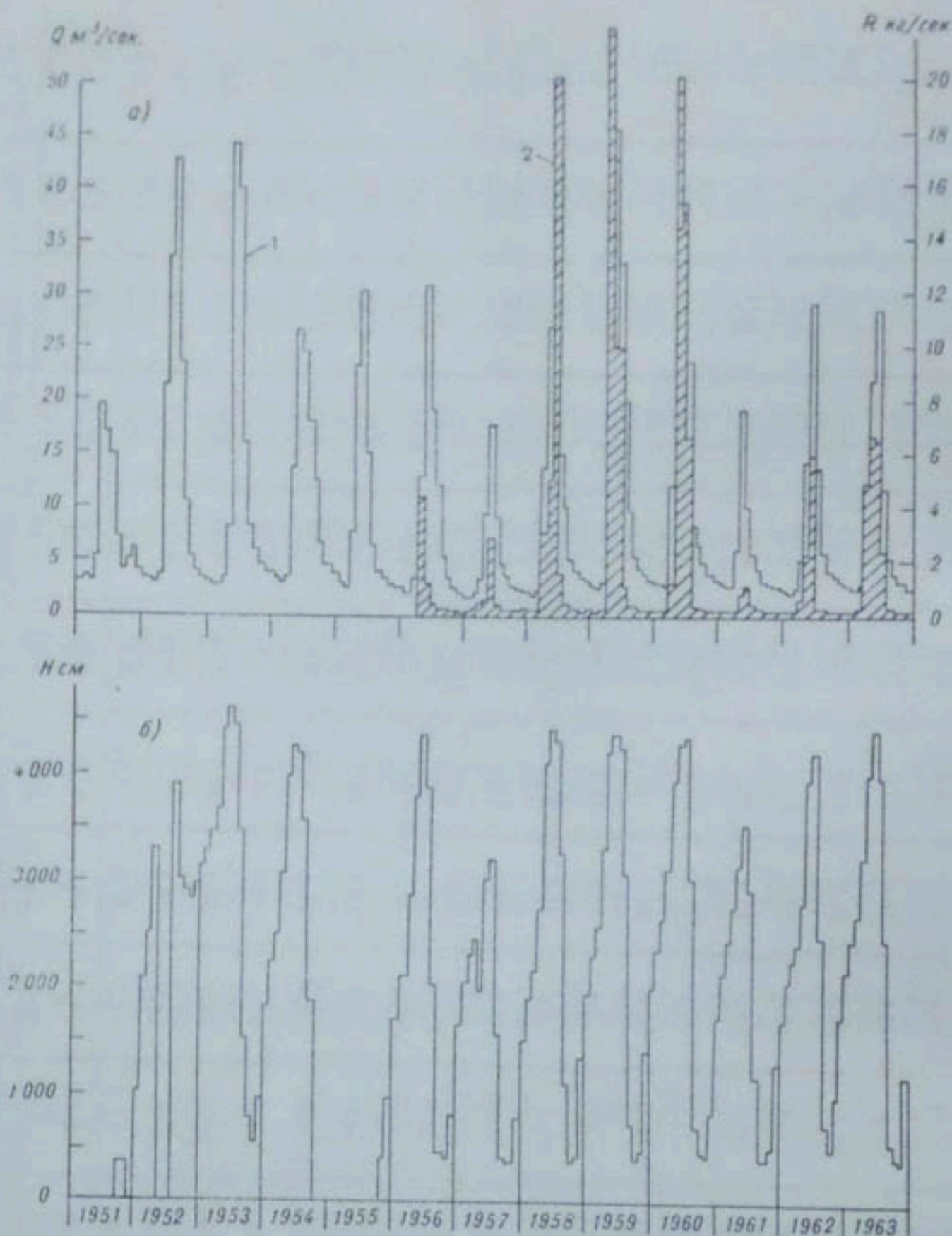


Рис. 1. а — хронологический график среднемесячных расходов воды (1), взвешенных наносов (2) р. Кассансай при впадении в Уртатокайское водохранилище; б — хронологический график среднемесячных уровней водохранилища.

В теснине данного массива на р. Кассансай возведена плотина Уртатокайского водохранилища. Чашей водохранилища служит современная террасированная долина реки в полосе мезозойских и третичных пород.

Площадь водосбора водохранилища составляет 1480 км², средневзвешенная высота 2,51 км. При НПУ площадь водохранилища 5,818 км², длина более 4,8 км, средняя ширина 1,2 км. Глубины распределяются по площади неравномерно и возрастают от берегов и верховий водохранилища к плотине, где глубина достигает максимума (43,8 м). Средняя глубина при НПУ равна 19 м.

Береговая линия водохранилища умеренно изрезана и в устьях саев образует глубокие заливы, вдающиеся в сушу на 500—700 м. Общая длина береговой линии при НПУ равна 20,4 км.

У плотины берега водохранилища крутые и обрывистые, к верховьям выполаживаются.

Уртатокайское водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока р. Кассансай, наполняясь в зимне-весенний сезон и опорожняясь в летне-осенний (за июль — октябрь), что наглядно подтверждается рис. 1, где приведены графики колебания уровней в водохранилище по месяцам за период наблюдений с 1951 по 1963 г., среднемесячных расходов воды и наносов р. Кассансай за тот же период.

Необходимо отметить, что хотя наблюдения за стоком воды на р. Кассансай начаты в 1925 г. и в настоящее время на реке имеется 4 поста, восстановить сток воды в створе впадения р. Кассансай в Уртатокайское водохранилище затруднительно. Наиболее длинным рядом наблюдений обладает пост Баймак, однако его данные для восстановления стока р. Кассансай в створе впадения в водохранилище можно использовать за период 1925—1942 гг., так как с 1942 г. пост Баймак оказался в нижнем бьефе водохранилища. Наблюдения за стоком воды в верхнем бьефе проводились в 1940—1941 гг. и с 1945 г. по настоящее время. В силу этого для удлинения стокового ряда поста в верхнем бьефе был построен график связи среднемесячных расходов воды постов Баймак и Уртатокайский за 1940—1941 гг.

На основании построенного графика связи проведено восстановление среднемесячных расходов воды по посту Устье р. Урюкты, причем восстанавливались расходы, представляющие сумму расходов воды рек Кассансай и Урюкты. Восстановленные расходы, наряду с фактически наблюдаемыми, приведены в табл. 1.

Сток р. Урюкты у впадения в водохранилище не превышает 4—6% стока р. Кассансай и поэтому не выделялся в качестве отдельной состав-

Таблица 2

Расходы воды и наносов р. Кассансай у устья р. Урюкты за период работы водохранилища

Элемент	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годовой
Q м ³ /сек.	2,37	2,64	3,00	10,6	25,9	27,6	15,6	7,59	4,65	4,23	3,44	3,08	9,22
R кг/сек.	0,064	0,053	0,073	1,24	8,55	8,96	2,16	0,51	0,156	0,052	0,053	0,042	1,93
p г/м ³	27	20	24	117	330	325	139	67	34	12	15	14	210
G кг/сек.	0,00	0,00	0,020	0,04	0,45	0,50	0,10	0,05	0,04	0,02	0,00	0,00	0,10

ляющей. На основании данных табл. 1 норма стока за 38-летний период равна 8,56 м³/сек., за период работы водохранилища с 1942 по 1961 г. среднегодовой расход воды равен 9,34 м³/сек. Разница между ними, отнесенная к среднегодовому расходу за 38-летний ряд, составляет 6,8%. Поэтому в дальнейшем среднегодовой расход воды принимается равным 9,34 м³/сек., как полученный на основании фактических наблюдений за период работы водохранилища. Наибольший среднегодовой расход наблюдался в 1952 г. (13,7 м³/сек.), наименьший — в 1939 г. (4,93 м³/сек.), что дает отношение многоводного года к маловодному, равное 2,8, т. е. изменчивость стока р. Кассансай небольшая, что и подтверждается

Среднемесячные расходы взвешенных наносов и величины мутности р. Кассансай у устья р. Урюкты

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средний годовой
Расходы взвешенных наносов, кг/сек.													
1940	0,004	0,010	0,012	0,48	1,2	0,81	9,3	0,66	0,033	0,011	0,033	0,024	1,05
1941	0,025	0,006	1,8	8,7	14,0	1,7	0,16	0,039	0,014	0,004	0,004	0,001	2,21
1956	—	—	—	1,40	4,48	1,06	0,41	0,072	0,053	0,035	0,002	0,001	—
1957	0,001	0,008	0,020	0,079	0,42	2,80	0,91	0,31	0,047	0,019	0,007	0,008	0,38
1958	0,021	0,024	0,033	3,90	5,30	22,0	3,70	0,45	0,027	0,028	0,012	0,021	2,96
1959	0,035	0,014	0,083	29,0	17,0	10,0	1,10	0,30	0,031	0,040	0,017	0,024	4,80
1960	(0,075)	(0,075)	0,037	1,90	21,0	15,0	6,60	0,31	0,20	(0,075)	(0,075)	(0,075)	3,77
1961	(0,005)	(0,005)	0,005	0,78	1,50	0,28	0,084	0,13	0,016	0,015	0,008	0,019	0,24
1962	(0,012)	(0,012)	0,037	0,13	0,066	4,50	0,61	0,30	0,047	0,025	(0,012)	(0,012)	0,53
1963	(0,024)	(0,024)	0,089	0,63	2,30	5,90	0,56	0,11	0,017	0,016	(0,024)	(0,024)	0,81
Средн.	(0,023)	(0,020)	0,235	4,70	6,73	6,40	2,34	0,268	0,047	0,027	0,019	0,021	1,74
Мутности воды, г/м ³													
1956	—	—	—	109	145	55	34	13	15	12	0,81	0,52	—
1957	0,54	1,5	9,1	22	42	156	97	62	13	7,6	2,8	3,4	75
1958	9,9	12	14	280	195	515	150	45	5,1	6,7	3,5	6,4	252
1959	13	5,5	24	1000	677	291	55	31	5,8	9,9	4,6	7,6	381
1960	27	28	13	154	570	385	279	37	33	16	19	23	297
1961	1,7	1,9	1,7	127	78	26	14	30	5,1	5,3	3,0	8,4	44
1962	5,3	5,6	15	25	4,7	153	45	54	1,2	7,1	3,8	4,3	72
1963	10	11	32	51	106	271	48	12	4,7	5,2	7,9	9,5	98
Средн.	9,6	9,4	15	221	227	231	90	36	10	8,7	5,7	7,9	73

коэффициентом вариации среднегодовых расходов воды за 1942—1963 гг., равным 0,27 при $C_v = 0,37$ за период 1929—1942 гг.

Как видно из табл. 1, рост расходов воды р. Кассансай начинается в апреле, в мае — июне проходит максимум, и с июля по сентябрь происходит спад половодья.

Величины среднемесячных расходов воды, поступающей в водохранилище за период работы последнего, приводятся в табл. 2.

Изучение стока наносов проводится на р. Кассансай при впадении ее в водохранилище. В 1940—1941 гг. институтом Узгипроводхлопок проведено измерение расходов наносов и подсчет стока наносов за этот период. В дальнейшем систематические наблюдения начаты гидрометслужбой только в 1956 г. Результаты этих наблюдений приводятся в табл. 3, где наряду со среднемесячными расходами взвешенных наносов даны среднемесячные мутности воды.

Таблица 4
Гранулометрический состав взвешенных наносов
р. Кассансай

Месяц	Содержание по фракциям (в % по весу)			
	более 0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	менее 0,01
1	2	3	4	5
I	16,7	29,5	25,7	28,1
II	10,3	32,7	17,6	39,4
III	5,2	2,4	3,1	89,3
IV	4,7	6,4	16,2	72,7
V	20,4	12,8	34,0	32,8
VI	33,4	9,5	22,8	34,3
VII	7,0	5,3	28,9	58,8
VIII	8,3	5,8	37,7	43,2
IX	22,9	8,1	31,0	38,0
X	31,3	10,7	27,3	30,7
XI	12,8	6,7	27,4	53,1
Средний	15,7	10,8	25,5	48,0
Средневзвешенное распределение	22,0	10,0	27,0	41,0

Как следует из табл. 3, в период апрель — июнь на реке проходит 71—95% всего годового стока взвешенных наносов, в то время, как за 4 зимних месяца (ноябрь — февраль) только 0,14—6,3%.

Так как ряд наблюдений в 10 лет для вывода нормы стока наносов недостаточен в силу его большой изменчивости (только по наблюдениям за 7 лет отношение стока наносов многоводного года к маловодному составляет 20,0), то была предпринята попытка восстановить ряд по стоку наносов путем установления связи среднемесячных расходов воды и наносов. Как и следовало ожидать, связь получалась лишь приближенной, точность ее не превышает 40%. Поэтому она может служить лишь для ориентировочной оценки стока наносов р. Кассансай, которая может быть уточнена лишь при дальнейших наблюдениях. Величины средне-

месячных расходов взвешенных наносов, вычисленные по этой связи, даны в табл. 2.

В соответствии со значительными колебаниями расходов взвешенных наносов в течение года мутность р. Кассансай тоже испытывает большие изменения. С сентября по март мутность колеблется в пределах 1—15 г/м³, редко достигая 35 г/м³. С апреля по май мутность растет. Наибольшая величина среднемесячной мутности была в апреле 1959 г. (1000 г/м³).

Гранулометрический состав взвешенных наносов р. Кассансай изучался институтом Узгипроводхлопок в 1940—1941 гг.

На основании данных табл. 4, где приводятся среднемесячные величины крупности взвешенных наносов, устанавливаем, что во взвешенных наносах р. Кассансай преобладают частицы мельче 0,05 мм, составляющие 60—90%, в летний период происходит резкое увеличение числа крупных частиц размером до 1 мм.

Сток влекомых наносов р. Кассансай изучался только институтом Узгипроводхлопок в летний период 1940—1941 гг., поэтому о величинах расходов влекомых наносов можно судить лишь ориентировочно. Построенная связь расходов влекомых наносов и расходов воды обнаруживает значительный разброс точек (до 100%). Вычисленные на основании ее среднемесячные расходы наносов, приведенные в табл. 2, могут служить для оценки порядка величины расходов влекомых наносов, сток которых оказывается равным 5% стока взвешенных наносов, что необходимо признать несколько заниженным.

Заиление водохранилища

Наполнение водохранилища начато в 1942 г., но полностью оно вступило в эксплуатацию только в 1950 г., так как до этого времени плотина водохранилища не была возведена до проектной отметки. Наполнение водохранилища по данным института Узгипроводхлопок проходило следующим образом (табл. 5).

Таблица 5

Ход наполнения Уртатокайского водохранилища

Год	Объем наполнения, млн. м ³	Год	Объем наполнения, млн. м ³
1942	3,0	1949	61
1943	7,0	1950	75
1944	13	1951	90
1945	15	1952	90
1946	18	1953	96
1947	30	1954	98
1948	50	1955	100

Поскольку основное поступление наносов осуществляется в летний период, когда происходит наполнение водохранилища, и размеры реки по сравнению с объемом водохранилища малы, скорости течения по длине водохранилища падают практически до нуля, все наносы оседают в водохранилище, но благодаря малому поступлению наносов, заиление бьефа происходит медленно.

Первые промеры водохранилища после его вступления в эксплуатацию проведены в ноябре 1960 г. Среднеазиатской экспедицией ГГИ.

Промеры проведены при сработанном водохранилище, уровень по озерному посту Ала-Бука был равен 454 см над нулем графика поста, площадь водохранилища 0,124 км², объем 0,186 млн. м³, т. е. почти все водохранилище было сработано, что определило методику промеров. Работа по определению объема водохранилища была выполнена путем нивелировки ложа по поперечникам. Для производства работ по левому берегу водохранилища была разбита магистраль длиной 4,5 км, перпендикулярно ей было разбито 45 поперечников через 100 м, по которым проведена нивелировка с соблюдением точности IV класса. В нижней части водохранилища на поперечниках 3—6 проведены промеры глубин в части поперечников, залитых водой. При ширинах реки в водохранилище меньше 20 м и глубинах менее 1,0 м оказалось возможным провести нивелировку и в русле реки.

Таблица 6

Изменение объема Уртатокайского водохранилища

Отметки, м	1941 г.		1960 г.		Уменьшение объема, млн. м ³
	Площадь водохранилища, км ²	Объем водохранилища, млн. м ³	Площадь водохранилища, км ²	Объем водохранилища, млн. м ³	
1074	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1076	0,100	0,070	—	—	—
1078	—	—	0,124	0,186	—
1080	0,323	0,916	0,278	0,588	0,328
1082	—	—	0,424	1,290	—
1084	0,621	2,804	0,559	2,273	0,531
1086	—	—	0,689	3,521	—
1088	0,921	5,888	0,854	5,064	0,824
1090	1,086	7,895	1,000	6,918	0,979
1092	1,342	10,323	1,272	9,410	0,813
1094	—	—	1,538	12,220	—
1096	1,832	16,671	1,770	15,528	1,143
1098	—	—	2,029	18,327	—
1100	2,344	25,023	2,332	23,688	1,335
1102	—	—	2,809	28,829	—
1104	2,996	35,703	2,943	34,581	1,122
1106	—	—	3,038	40,562	—
1108	3,570	48,835	3,522	47,122	1,713
1110	3,810	56,215	3,832	54,476	1,739
1112	4,299	64,324	4,235	62,543	1,781
1114	—	—	4,880	71,658	—
1116	5,048	83,018	5,052	81,590	1,428
1118	—	—	5,392	92,034	—
1120	5,876	104,866	5,871	103,297	1,569

Таблица 7

Гранулометрический состав донных отложений Уртатокайского водохранилища при нивелировке 22/XI 1960 г.

№ поперечника	Расстояние от магистрали, м	Диаметр частиц (d мм) и их содержание (в % по весу)													Средний диаметр пробы, мм	Объемный вес, т/м ³
		>20	20—10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,2	0,2—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001		
5	—20	22,5	27,0	19,9	15,6	4,6	2,9	3,6	0,6	0,4	0,1	1,3	1,0	0,5	14,07	—
5	60	—	—	—	—	—	сл	сл	0,2	1,6	31,7	19,8	34,3	12,4	0,014	0,83
10	—27	4,8	16,4	17,0	30,9	11,7	7,6	5,9	0,7	0,4	2,1	0,7	1,3	0,5	6,75	—
10	310	—	0,2	2,4	3,6	5,0	7,6	49,7	22,9	3,1	5,5	—	—	—	0,680	1,67
10	400	—	—	—	сл	сл	1,6	8,4	2,5	4,0	31,8	18,8	26,2	6,7	0,146	0,79
10	475	—	—	—	—	—	0,5	39,0	43,2	3,5	3,6	2,0	6,1	2,1	0,220	0,81
15	—200	—	—	—	—	—	0,4	1,2	2,3	10,1	45,8	12,5	10,8	16,9	0,017	0,92
15	300	—	—	—	—	—	0,2	0,1	0,5	8,4	40,8	15,6	23,8	10,6	0,023	0,78
15	325	—	—	—	—	—	—	сл	1,1	19,5	45,7	12,6	15,3	5,8	0,040	0,77
15	460	—	6,0	7,0	5,9	5,8	11,8	47,9	8,9	2,2	4,5	—	—	—	1,990	1,56
15	486	—	—	—	—	—	сл	2,0	2,2	43,1	34,6	6,1	7,8	4,2	0,054	0,86
15	600	—	—	—	—	—	сл	0,1	0,3	4,6	32,7	23,1	29,1	10,1	0,017	0,75
20	—75	—	—	—	—	—	0,7	1,1	2,0	10,2	50,2	13,7	15,3	6,8	0,036	0,99
20	100	—	—	—	—	—	0,7	3,3	5,1	11,8	40,7	11,1	16,5	10,8	0,151	0,95
20	325	—	—	—	—	—	сл	0,2	3,7	30,3	43,5	7,6	8,9	5,8	0,043	0,82
20	350	—	—	—	—	—	—	0,2	1,1	8,6	45,5	15,8	20,5	8,3	0,024	0,73
20	620	23,6	3,3	1,6	1,3	0,9	0,3	5,3	31,7	19,5	12,5	—	—	—	0,021	1,30
20	640	—	—	—	—	—	сл	1,9	21,4	16,4	27,3	11,5	15,6	5,9	0,121	0,92
20	700	—	—	—	—	—	сл	2,4	17,6	43,7	21,3	4,9	6,5	3,6	0,075	0,93

25	90	—	—	—	—	—	0,9	3,3	3,8	11,9	42,4	13,5	16,6	7,6	0,151	0,93
25	250	—	—	—	—	0,3	0,5	1,3	2,3	6,5	39,7	16,1	11,8	21,5	0,035	0,79
25	415	—	—	—	—	—	—	1,2	29,8	34,5	22,3	5,2	1,9	5,1	0,082	1,01
25	440	—	0,4	0,4	2,2	3,8	6,3	34,8	37,1	9,4	5,6	—	—	—	0,472	1,55
25	540	—	—	—	—	—	ca	0,3	5,2	20,5	40,6	13,9	14,4	5,1	0,036	0,79
25	600	—	—	—	—	—	—	0,1	0,1	0,3	38,3	28,6	25,6	7,0	0,015	0,75
25	810	—	—	—	—	—	0,3	0,9	4,5	6,9	36,6	23,1	21,3	6,4	0,031	0,79
30	90	—	—	—	—	—	1,0	4,6	4,0	8,6	42,8	10,8	20,8	7,4	0,050	0,85
30	200	9,0	—	0,3	0,1	0,3	0,6	2,2	3,3	7,8	38,5	15,3	16,9	5,7	2,77	0,84
30	250	—	—	—	—	—	ca	0,6	26,4	11,3	45,7	7,1	3,4	5,5	0,064	0,85
30	320	4,6	1,7	4,2	8,6	8,2	7,6	43,1	10,3	4,1	7,6	—	—	—	2,60	1,56
30	420	—	—	—	—	—	0,1	14,7	18,8	24,4	25,4	6,0	6,6	4,0	0,107	0,95
30	490	—	—	—	—	—	—	ca	0,2	6,1	54,0	17,0	16,0	6,7	0,023	0,74
30	790	—	—	—	—	—	1,2	2,2	2,4	11,7	50,0	12,2	9,3	11,0	0,055	1,06
35	00	—	0,4	1,8	1,7	6,5	1,5	6,1	6,4	9,0	34,3	11,7	16,1	4,5	0,417	0,86
35	70	—	—	—	—	—	0,7	2,6	3,1	13,1	44,7	14,6	14,1	7,1	0,044	0,95
35	100	—	—	—	—	—	ca	0,2	2,3	18,0	49,8	13,9	12,0	3,8	0,034	0,80
35	130	—	—	1,1	3,0	3,8	7,4	31,1	0,9	24,0	28,7	—	—	—	0,444	1,47
35	300	—	—	—	—	—	0,6	3,2	13,9	25,9	39,1	6,7	5,2	5,4	0,068	0,84
35	330	2,3	1,4	2,9	7,6	7,9	12,4	51,4	9,8	2,2	2,1	—	—	—	1,79	1,67
36	410	—	—	—	—	—	ca	0,3	0,7	18,0	52,8	14,5	9,3	4,4	0,034	1,02
40	69	2,8	—	3,4	10,8	12,0	29,5	27,5	4,7	3,0	6,3	—	—	—	1,98	1,54
40	120	15,5	—	5,9	12,9	10,0	10,1	32,9	5,6	1,8	5,3	—	—	—	5,90	1,62
40	140	—	—	—	—	—	—	ca	1,4	34,8	48,0	5,8	6,8	3,2	0,053	0,98

Съемкой не охвачен правобережный и левобережный заливы в нижней части водохранилища, так как визуальный осмотр их не обнаружил значительных разрушений склонов водохранилища в заливах и отложенный наносов на дне их.

Поскольку в качестве исходного материала для подсчета объемов заиления водохранилища имеется только план в горизонталях с сечением через 2 м, построенный по съемке 1941 г. института Узгипроводхлопок, то обработка результатов нивелировочных работ сводилась к построению плана водохранилища в горизонталях по данным 1960 г.

Для сопоставления со съемкой 1941 г. план построен с сечением горизонталей через 2 м. Путем планиметрирования обоих планов были получены объемы водохранилища в 1941 и 1960 гг. Разница этих объемов дает объем заиления водохранилища. В табл. 6 даны результаты подсчетов заиления водохранилища, из которых видно, что объем водохранилища за 19 лет уменьшился на 1,569 млн. м³.

Визуальный осмотр дна водохранилища показал, что отложения наносов начинаются непосредственно у впадения реки в водохранилище и продвигаются вниз по течению, почти до самой плотины, но при этом отложения формируются (в соответствии со сработкой уровня) в виде гряд с ясно выраженными крутыми уступами, в среднем высотой 0,5—0,6 м, располагающимися через 100—200 м по длине водохранилища. В верхней части местами мощность отложений достигает 2 м. В нижней части водохранилища вдоль реки располагается полоса илистых отложений значительной мощности, которая при сработке бьефа прорезается рекою до уровня ее старого дна. В водохранилище ясно выражена сортировка отложений по крупности: в верховьях преобладают гравелисто-песчаные отложения, которые сменяются песчаными, а в нижней части водохранилища — илистыми.

Взятые при съемке водохранилища 43 пробы донных отложений для определения гранулометрического состава и объемного веса приводятся в табл. 7 и дают представление о крупности наносов р. Кассансай. По данным таблицы видно, что в отложениях преобладают наносы крупностью менее 0,05 мм (77,8%), причем в среднем все фракции имеют примерно одинаковый вес, в то время как по данным института Узгипроводхлопок во взвешенных наносах р. Кассансай преобладает фракция менее 0,01 мм (48,0%). Здесь необходимо учитывать, что процентное распределение получено Узгипроводхлопком по данным одного года, а донные отложения водохранилища являются интегральной характеристикой гранулометрического состава взвешенных наносов за многие годы. Поэтому расхождение в процентном соотношении фракций неизбежно, тем более, что методика подсчета среднегодового распределения наносов по фракциям страдает существенным недостатком: всем месяцам придается одинаковый вес, в то время как май, июнь должны иметь наибольший вес в соответствии с их большими расходами взвешенных наносов. Расчет процентного распределения фракционного состава с учетом расходов наносов по месяцам дает распределение наносов р. Кассансай по фракциям более равномерным (графа 5 табл. 4).

Попробуем сопоставить данные объема заиления водохранилища с величиной поступивших в него наносов за период работы.

При среднегодовом расходе взвешенных наносов 1,93 кг/сек. и влекомых 0,1 кг/сек. приток за год составит 0,61 млн. т., а за весь период работы водохранилища с 1942 по 1963 г. 1,284 млн. т. По данным промеров средний объемный вес донных отложений равен 1,01 т/м³. Поэтому, принимая его равным 1,00 т/м³, получим величину заиления по балансу наносов 1,284 млн. м³, по промерам — 1,569 млн. м³. Разницу в 0,285 млн. м³

необходимо признать удовлетворительной, так как есть основания считать, что расходы взвешенных и влекомых наносов занижены, поскольку на горной реке типа Кассансай с валунным дном трудно полностью учесть расход наносов. Сам ряд наблюдений за наносами короткий и не охватывает полного периода эксплуатации водохранилища.

В расчете стока наносов не учтены наносы р. Урюкты. Если по аналогии с жидким стоком принять сток наносов равным 5% стока наносов р. Кассансай, то величину притока наносов получим равной 1,348 млн. м³, т. е. разницу между заилением по промерам и по стоку наносов равную 0,221 млн. м³. Кроме того, не учтено поступление наносов за счет селей, которые бывают в районе водохранилища. Некоторую долю наносов дает обрушение берегов водохранилища, оценить которую весьма ориентировочно можно следующим образом.

Почти по всей периферии водохранилища тянется ряд горизонтальных уступов, расположенных на различных отметках в соответствии с тем уровнем, который долго стоял в водохранилище. Под уступом обычно находится почти горизонтальная осыпь с плохо окатанными гальками, гравием, щебнем, пересыпанными глиной и песком. Это указывает на размыв берегов водохранилища. Имеется такой уступ высотой более 0,5 м и при НПУ. Принимая угол откоса берега равным 30°, что несколько завышено для Уртатокайского водохранилища, получим величину размыва берегов при длине береговой линии 20,4 км, равную 0,005 млн. м³. Это дает поступление наносов с учетом стока р. Урюкты в 1,353 млн. м³, или разницу с данными по промерам в 0,216 млн. м³, т. е. всего 14% объема заиления по промерам. Кроме того, необходимо учесть неточность составления первоначального плана и неточность нивелировочных работ при съемке 1960 г.

Следует иметь в виду, что методика обработки (планиметрирование планов водохранилища по горизонталям, проведенным через 2,0 м) тоже вносит большие ошибки.

С учетом всего сказанного следует считать, что результаты работ по определению заиления Уртатокайского водохранилища вполне удовлетворительны и могут служить основой для дальнейших работ по изучению заиления данного объекта.

ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ И СМЫВ В БАССЕЙНЕ р. УГАМ

Река Угам является наиболее крупным правым притоком р. Чирчик (бассейн Сыр-Дарьи), впадающим в него у с. Ходжикент. Устье Угама находится в 6 км ниже слияния двух составляющих Чирчика — Чаткала и Пскема. В ближайшие годы после сооружения Чарвакского водохранилища на Чирчике важную роль в жизни реки будет играть поступление в нижний бьеф наносов Угама, режим которого останется не зарегулированным.

В свете изложенных соображений изучение условий формирования стока наносов р. Угам представляет для прогноза русловых процессов в нижнем бьефе Чарвакской ГЭС значительный интерес.

В данной работе сделана попытка характеристики генезиса стока взвешенных наносов и на ее основе выявления вертикальной поясности смыва в бассейне Угама. Вопрос движения влекомых наносов авторами не рассматривается ввиду полного отсутствия необходимых наблюдений за их режимом.

При решении поставленной задачи использованы метеорологические наблюдения по метеорологической станции Чарвак (892 м), материалы по ежедневным пробам мутности, расходам воды и взвешенных наносов р. Угам, измеряемым на гидрометрической станции, расположенной в 1,0 км выше устья.

Бассейн Угама ограничен на западе и северо-западе хр. Коржантау, смыкающимся на севере с Угамским хребтом, ограничивающим водосбор реки с востока. Площадь бассейна Угама выше замыкающего створа у с. Ходжикент равна 869 км², средняя взвешенная высота 2010 м, максимальная отметка 3620 м. Сведения о распределении площади бассейна по высотным поясам приводятся в табл. 1.

Расположенный на окраине горной страны водосбор Угама хорошо доступен влажным воздушным массам и является одним из наиболее увлажняемых районов Западного Тянь-Шаня. Окраинное положение бассейна Угама в системе рельефа предопределяет, в частности, хорошее увлажнение нижних частей слагающих его горных склонов, где большая часть осадков выпадает в жидком виде. О высотном распределении жидких осадков на хр. Коржантау можно судить на основании рис. 1. Согласно расчетам дипломантки Ташкентского Университета З. А. Листро-

Распределение площади бассейна Угама, длины и густоты речной сети по высотным поясам

Элемент	Градации высот, м					
	500—1000	1000—1500	1500—2000	2000—2500	2500—3000	3000—3250
Площадь, км ²	43,5	178	256	174	157	60,8
% к общей площади бассейна	5,0	20,5	29,5	20,0	18,0	7,0
Длина речной сети, км	24,2	181	121	62,1	22,0	4,10
Густота речной сети, км/км ²	0,56	1,02	0,47	0,36	0,14	0,07

вой на высоте 800 м, примерно соответствующей нижнему течению Угама, на хр. Коржантау жидкие осадки в среднем за многолетие в 4 раза превышают твердые; на высоте 1600 м их количества равны; на высоте 2100 м жидкие осадки составляют 50% твердых осадков, а с дальнейшим увеличением высоты количество жидких осадков уменьшается до ничтожного.

Важно отметить также большую интенсивность выпадающих жидких осадков. Согласно расчетам Ю. Б. Виноградова, в нижних зонах бассейна Угама на хребтах Угамский и Коржантау слой суточных осадков 1%-ной обеспеченности превышает 100 мм. В верхних зонах бассейна он снижается до 60 мм.

Бассейн Угама сложен мощной серией палеозойских осадочных и вулканогенных толщ и прорывающими их интрузивными породами. В пределах Чирчикской депрессии его формируют мезозойские и третичные отложения.

В бассейне представлено два почвенных пояса: пояс коричневых и бурых лесных почв с фрагментами темных сероземов (высоты от 700 до 1800 м) и пояс высокогорных светло-коричневых лугово-степных с фрагментами коричневых почв (высоты от 1800 до 2800 м). Почвы первого пояса лежат на толще мезокайнозойских отложений, заполняющих Чирчикскую депрессию. В их основе лежат меловые отложения, мощность которых убывает с приближением к водоразделу.

В области низкогорья р. Угам и ее притоки прорезают почти всю свиту третично-четвертичных отложений и местами углубляется в палеозойский фундамент. На склонах к главным речным долинам и их притокам обнажается мощная толща ярко-красных мергелистых глин. Элювий этих глин, смешанный местами с делювиальными лёссовыми отложениями, и является главной, наиболее широко распространенной материнской породой для образования пояса высокогорных почв.

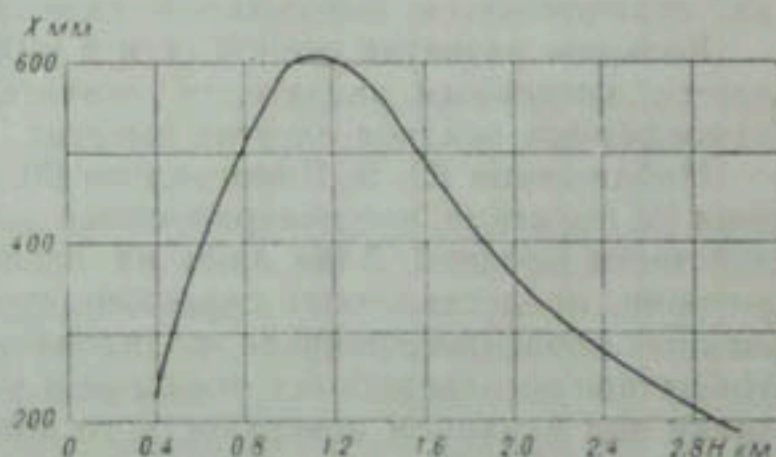


Рис. 1. Распределение годовых сумм жидких осадков на хр. Каржантау в зависимости от высоты (по З. А. Листровой).

Входящая в нижний почвенный пояс часть бассейна р. Угам является районом сильнейшего развития оползневых процессов. Древние и современные оползни представляют активные очаги эрозии. Развитию оползневой деятельности в этом высотном поясе способствует недостаточно рациональное хозяйственное использование основного земельного фонда бассейна, сконцентрированного в низовьях реки.

Второй почвенный пояс, простирающийся в пределах высот от 1800 до 2800 м, является поясом светло-коричневых субальпийских почв, которые образуют ландшафты сухих разнотравно-двудольных нагорных степей. На склонах главной речной долины, часто на значительном протяжении, почвенный покров либо вообще отсутствует, либо представлен маломощными, сильно щебнистыми почвами.

Долины Угама и его притоков образуют глубокие крутосклонные ущелья, врезанные относительно водоразделов на 700—800 м. Склоны ущельев в средней части течения, в области развития известняков представляют почти отвесные обрывы, местами покрытые коническими осыпями и селевыми конусами выносов. Интересна структура речной системы Угама, отражающая в известной мере почвенно-геологические и климатические особенности бассейна.

Наибольшая густота речной сети ($1,02 \text{ км/км}^2$) наблюдается в высотном поясе от 1000 до 1500 м (табл. 1). Длина речной сети этого пояса составляет почти 50% суммарной длины рек бассейна. Выше густота речной сети уменьшается, чему способствует широкое развитие в средней части бассейна хорошо проницаемых известняков.

Максимальная густота речной сети в диапазоне высот от 1000 до 1500 м, очевидно, связана с распространением здесь легко поддающихся размыву красных глин. В качестве формирующего гидрографическую сеть фактора выступают преобладающие на этих высотах жидкие осадки, отличающиеся повышенной интенсивностью.

Большое развитие речной сети в нижних зонах бассейна р. Угам является косвенным указателем значительной эрозионной деятельности атмосферных осадков на этих высотах.

Наблюдения Ю. Б. Виноградова [2], А. Ф. Литовченко и В. П. Мочалова [5] показали, что поверхностный дождевой сток наблюдается в горной части Средней Азии лишь на ограниченных площадях горной территории, представленных дорогами, тропами, оголенными скалами, лишенных почвенного покрова эродированных участках склонов и оползнях. На активную переработку оползней и оплывин в бассейне Малой Алматинки под влиянием поверхностного дождевого стока указывает и Н. Ф. Колотилин [4]. Все эти данные позволяют предполагать, что именно многочисленные оползневые участки в низовьях р. Угам поставляют в весенний период основной материал, переносимый рекой во взвешенном состоянии. Чтобы проверить это предположение в мае — июне 1964 г. были взяты пробы грунта с поверхности нескольких оползней, расположенных в нижнем и среднем течении р. Угам и пробы взвешенных наносов в реке. Сопоставление этих проб (табл. 2) показывает, что гранулометрический состав проб с оползневых участков и проб взвешенных наносов, взятых на подъеме дождевых паводков, весьма близок, доказывая тем самым активную роль оползневых участков в формировании стока взвешенных наносов Угама в весенний период. В пробах наносов, взятых на пике и спаде дождевых паводков (10/IV и 6/V 1964 г.), замечается сильное возрастание крупной фракции с диаметром свыше 0,30 мм, что объясняется увеличением доли руслового размыва в такие периоды.

Режим жидкого стока реки складывается в результате совокупного действия выпадающих в водосборе твердых и жидких осадков при зна-

Гранулометрический состав проб грунтов и взвешенных наносов

Место взятия проб	Дата	Фаза водного режима	Диаметр частиц (d мм) и их содержание (в % по весу)						
			$< 0,01$	$0,010-0,015$	$0,015-0,050$	$0,05-0,12$	$0,12-0,20$	$0,20-0,30$	$> 0,30$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Эродированная поверхность на правом берегу р. Угам, в 36 км от устья	10/V-64		3,7	8,5	19,6	17,8	11,1	6,2	33,1
Эродированная поверхность на левом берегу р. Угам, в 10 км от устья	10/V-64		4,7	6,5	19,4	22,9	12,5	21,0	13,0
Оползень на левом берегу р. Угам, в 8 км от устья	10/V-64		2,7	11,9	14,9	42,4	10,1	8,0	10,0
Оползневой участок на левом берегу р. Угам, в 7 км от устья	10/V-64		3,6	8,7	14,4	17,1	11,5	—	44,7
Поверхность оползня на правом берегу р. Пустукликсай, в 2 км от устья	5/VI-64		1,1	6,7	18,2	20,4	16,1	15,4	22,1
Эродированный склон на правом берегу р. Пустукликсай, в 4 км от устья	5/VI-64		12,4	4,3	10,5	17,8	8,5	11,5	35,0
Эродированная поверхность оползня на левом берегу р. Пустукликсай, в 5 км от устья	5/VI-64		3,9	8,0	26,2	28,7	11,7	—	21,5
Эродированная поверхность на левом берегу р. Пустукликсай, в 1 км от устья	5/VI-64		2,8	8,1	14,0	18,4	12,9	14,9	28,9
р. Угам, г/п	16/III-64	Подъем паводка	4,1	10,6	26,0	33,4	6,4	—	19,5
То же	10/IV-64	Пик паводка	—	8,0	19,5	28,9	4,2	9,4	30,0
•	24/IV-64	Спад паводка	1,0	14,9	23,9	34,4	5,0	4,1	16,7
•	6/V-64	Спад паводка	2,2	4,7	9,2	11,1	4,6	—	68,2
•	14/V-64	Подъем паводка	—	10,2	20,3	18,3	24,0	13,2	14,0
•	21/V-64	Спад паводка	3,5	2,1	8,7	17,6	13,4	5,1	49,6
•	25/V-64	Подъем паводка	9,2	3,2	7,9	16,2	13,5	—	49,9

чительном регулирующем влиянии известнякового массива, занимающего среднюю часть бассейна. Основная роль в питании реки принадлежит талым снеговым водам; жидкие осадки, как показало вертикальное расчленение гидрографов жидкого стока, дают в отдельные годы до 20—30% годового объема стока реки. Следует при этом напомнить, что определенная этим способом роль жидких осадков в формировании стока горных рек занижается [12]. Отнесение рек Средней Азии к тому или

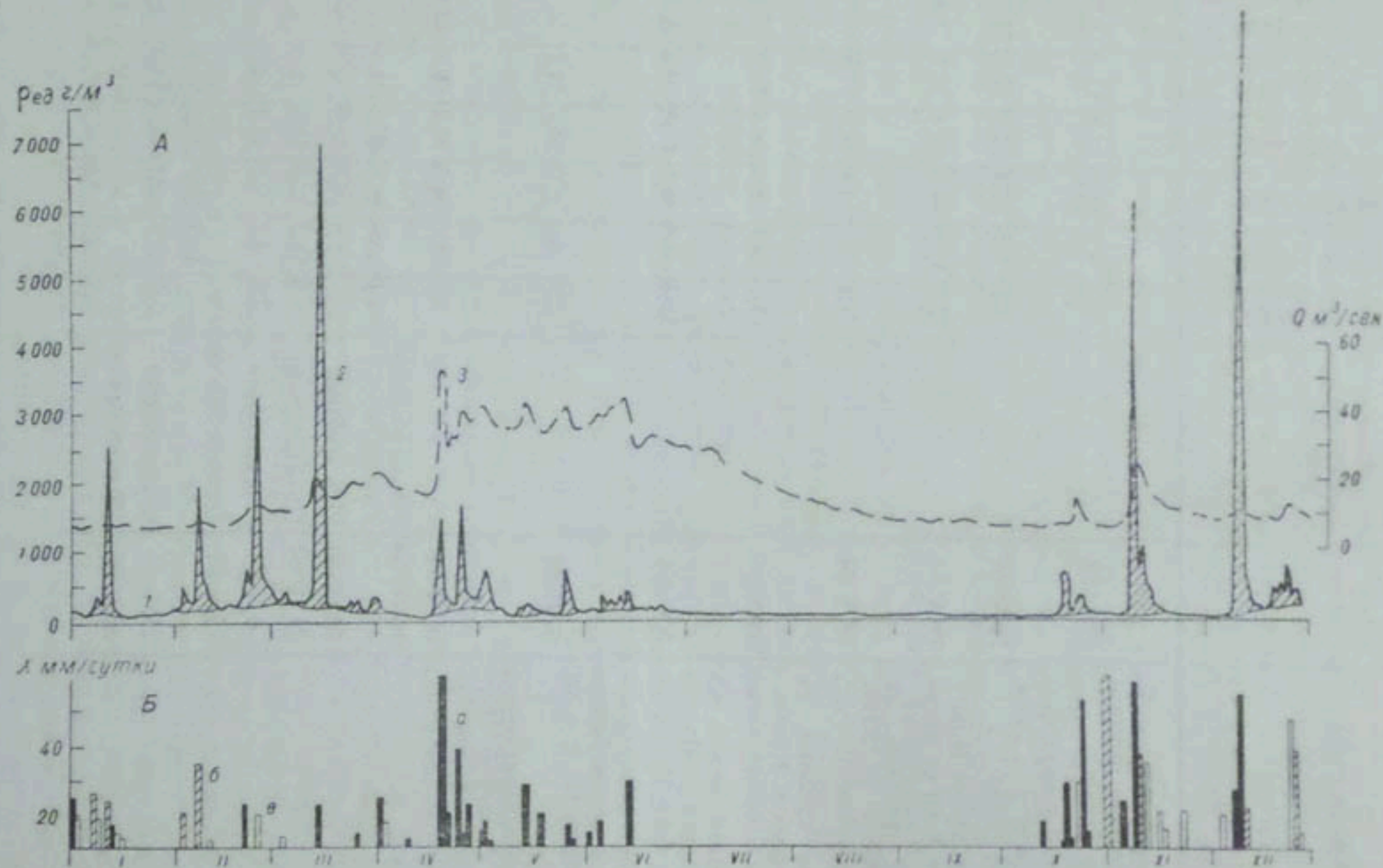


Рис. 2. А — хронологический график мутности воды (1), дождевой мутности (2), расходов воды р. Угам (3).
 Б — хронологический график осадков по метеостанции Чарвак за 1962 г.
a — жидкие осадки, *b* — смешанные, *v* — твердые.

иному типу питания может быть произведено, исходя из величины предложенного В. Л. Шульцем [10] параметра внутригодового распределения речного стока δ , равного отношению стока июля — сентября к стоку марта — июня. Для Угама $\delta = 0,35$. Исходя из этого значения δ , р. Угам, согласно классификации О. П. Щегловой [11], должна быть отнесена к рекам снегово-дождевого питания.

Заметное регулирующее влияние на жидкий сток Угама, как в смысле его многолетней изменчивости, так и в смысле внутригодового распределения стока, играет упомянутый выше известняковый массив, слагающий среднюю часть бассейна. Закарстованные известняки снижают коэффициент вариации средних годовых расходов воды: C_{vQ} для Угама равен всего 0,25, тогда как для других рек Средней Азии с такой же средней взвешенной высотой бассейна он составляет обычно 0,40—0,35. Развитие известняков увеличивает также естественную зарегулированность жидкого стока р. Угам. Коэффициент неравномерности его стока составляет в среднем за 16 лет 0,30, что значительно меньше, чем у большинства рек этого высотного пояса. Но особенно сильно сказывается наличие карста на внутригодовом ходе мутности воды и стоке взвешенных наносов Угама. Начиная с середины апреля, когда происходит интенсивное снеготаяние в средней части бассейна, в области развития известняков мутность воды начинает снижаться. Как следствие, максимальные среднедекадные и среднemesячные расходы воды проходят при низкой мутности. Наиболее мутная вода бывает в р. Угам в конце зимы и в начале весны, а также эпизодически осенью, совпадая во времени с прохождением дождевых паводков (рис. 2). Как следствие, гидрограф стока взвешенных наносов сдвинут относительно гидрографа жидкого стока на более ранний период (табл. 3).

Таблица 3

Среднее внутригодовое распределение стока воды и взвешенных наносов р. Угам (в % от годового)

Месяц, сезон	Сток воды	Сток наносов	Месяц, сезон	Сток воды	Сток наносов
I	2,7	1,1	IX	4,0	0,1
II	3,1	3,8	X	3,3	0,3
III	6,1	16,4	XI	3,3	0,8
IV	16,9	46,0	XII	3,0	1,2
V	20,9	19,1	III—VI	62,7	89,4
VI	18,8	7,9	VII—IX	21,9	3,4
VII	11,8	2,6	X—II	15,4	7,2
VIII	6,1	0,7			

Из таблицы видно, что основная масса взвешенных наносов (89% годового количества), проносится р. Угам за месяцы март — июнь. Жидкий сток за этот сезон составляет 63% годового. Сопоставление этих цифр указывает на повышенную роль в формировании стока наносов Угама в нижней части его бассейна.

В многолетнем периоде наблюдается удовлетворительная по тесноте связь между распределением твердого и жидкого стока отдельных лет в течение теплого полугодия. Внутригодовое распределение жидкого стока может быть охарактеризовано упомянутым выше параметром δ , для

твердого стока — рассчитываемым аналогичным способом параметром γ . Коэффициент корреляции между этими параметрами составляет 0,91. В среднем за 16 лет параметр γ для Угама равен 0,027.

Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов р. Угам характеризуется значительно большей неравномерностью, чем жидкого стока. В среднем коэффициент ϕ составляет для него 0,60.

Изменчивость среднегодовых величин стока воды и взвешенных наносов р. Угам характеризуется соответственно значениями C_v , равными 0,25 и 1,26 (при ошибках 14 и 32%). Среднегодовые расходы наносов изменяются в многолетии от 1,0 кг/сек. в маловодном 1957 г. до 64 кг/сек. в 1959 г., когда на Чирчике и его притоках 8/IV прошли катастрофические сели. Повышенное значение отношения C_{vR} к C_{vQ} по сравнению с данными, опубликованными в работах [6, 9], может быть объяснено геологическими особенностями бассейна. Развитие известняков, регулирующих жидкий сток, снижает значение C_{vQ} (о чем уже говорилось выше); наоборот, значение C_{vR} велико вследствие большой роли дождевой составляющей стока наносов, сильно варьирующей из года в год.

После этих кратких сведений о режиме стока воды и наносов р. Угам, необходимых для дальнейшего изложения, перейдем к основному вопросу, интересовавшему авторов, — количественной характеристике отдельных составляющих стока взвешенных наносов.

Как известно, взвешенные наносы могут быть двоякого происхождения: образующиеся за счет смыва с поверхности бассейна и образующиеся за счет размыва русла реки. В свою очередь наносы первого вида рационально разделить, согласно основным источникам питания рек, на наносы, смываемые талыми водами, и наносы, смываемые дождевыми водами. Авторы пытались расчленить сток взвешенных наносов на указанные три составляющие.

Генетическим анализом стока взвешенных наносов рек Средней Азии занималась К. С. Кабанова [3]. В основу своего исследования она положила выявление связи между расходами наносов и выпавшими в водосборах осадками за относительно длительные промежутки времени. Опираясь с декадными величинами мутности и стока наносов К. С. Кабанова сочла невозможным разделение стока наносов на талую и дождевую составляющие. Из опыта вертикального расчленения гидрографа жидкого стока известно, что уменьшение периода осреднения облегчает установление генезиса стока. Исходя из этих соображений, исследование формирования стока взвешенных наносов Угама велось авторами на основании изучения хронологического графика ежедневной мутности и осадков, выпадающих на близлежащей метеорологической станции.

Хронологический график ежедневной мутности использовался для выделения ее наиболее ясно выраженной компоненты — мутности, поступающей в реку с дождевыми водами. Сопоставляя хронологический график мутности воды и выпадения жидких осадков, легко определить за каждый паводок начало и конец поступления в реку наносов, смытых с поверхности бассейна за данный дождь, а затем, тем же приемом, которым производится общезвестная срезка на гидрографе жидкого стока при выделении дождевых паводков, выделить мутность дождевого происхождения (рис. 2). Следует напомнить, что, как и при выделении дождевых паводков на гидрографах жидкого стока для горных районов с редкой метеорологической сетью в их бассейнах, неравномерность выпадения ливней и пятнистость распределения участков, активно участвующих в смыве, не позволяет ожидать тесной зависимости между этими величинами за короткие промежутки времени. Поэтому при расчлене-

нии хронологического графика мутности (или жидкого стока) для выделения дождевой компоненты важно установить лишь сам факт выпадения осадков на ближайших станциях.

Необходимо отметить также, что сам метод срезки дождевой мутности обладает известными погрешностями, обусловленными внесением неизбежного элемента субъективизма. Однако следует принять во внимание, что вследствие резких подъемов и спадов мутности в периоды выпадения дождей, и величина погрешности в выделении дождевой составляющей мутности во много раз меньше, чем в широко распространенном способе вертикального расчленения гидрографа жидкого стока.

После срезки дождевой мутности сток взвешенных наносов за время дождевого паводка подсчитывается по табл. 4.

Таблица 4

Схема расчета выноса взвешенных наносов за дождевой паводок на основе вертикального расчленения хронологического графика мутности

Дата	Мутность воды, г/м ³			Расход воды Q м ³ /сек.	Вынос взвешенных наносов дождевого происхождения	
	среднесуточная, ρ	базовая, ρ_0	дождевого происхождения, $\rho_d = \rho - \rho_0$		среднесуточный расход наносов, кг/сек.	вынос за сутки, тыс. т
12/1 1960	454	454	0	73,3	0	0
13/1	946	476	470	76,3	35,8	3,10
14/1	2490	498	1992	80,7	161	13,9
15/1	3700	521	3179	69,2	220	19,0
16/1	2750	543	2207	58,2	128	11,1
17/1	2730	565	2165	60,6	131	11,3
18/1	1480	587	893	61,9	55,3	4,78
19/1	2000	609	1391	63,1	87,8	7,59
20/1	5260	632	4628	70,4	325	28,1
21/1	973	654	319	49,0	15,6	1,35
22/1	967	676	311	37,5	11,7	1,01
23/1	700	700	0	30,4	0	0,0

В целях проверки результатов подсчета стока наносов дождевого происхождения изложенным выше способом аналогичный расчет был произведен для нескольких лет также другим способом. Этот способ основывается на построении для скользящих пентадных интервалов времени зависимости мутности от температуры воздуха. Сущность метода изложена в работе [12]. Здесь же отметим лишь, что результаты, полученные обоими способами, дали удовлетворительную сходимость. При подсчетах дождевого смыва за год разность составила всего 2,6%. После этого сопоставления в качестве основного метода при определении дождевого смыва за многолетний период был принят метод вертикального расчленения хронологического графика мутности, как менее трудоемкий и вместе с тем обеспечивающий достаточную точность расчетов.

Этим способом была выделена дождевая составляющая стока взвешенных наносов р. Угам за годы с ежедневными наблюдениями за мутностью воды (1948—1963 гг.). Месячные величины дождевого смыва за отдельные годы, а также его среднее внутригодовое распределение приведены в табл. 5.

Годичный дождевой смыв колеблется от 13,9 тыс. т в маловодном 1957 г. до 720 тыс. т в 1959 г. Средняя величина дождевого смыва за период 1948—1963 гг. составляет 190 тыс. т за год.

Характерным для внутригодового распределения дождевого смыва в бассейне Угама является то, что он может наблюдаться во все месяцы года, за исключением сентября — самого сухого месяца в Западном Тянь-Шане. Однако смыв в зимние месяцы за счет выпадающих в нижней части бассейна р. Угам дождей невелик, хотя мутность воды в этот период года достигает иногда очень высоких значений (несколько кг/м³). Максимального значения дождевой смыв в большинстве лет и в среднем за многолетие достигает в апреле, когда концентрируется свыше 40% годового дождевого смыва. Следующий по интенсивности дождевого смыва месяц — май, когда в русло Угама поступает около 25% годовой величины продуктов дождевой эрозии. Таким образом, около двух третей наносов дождевого происхождения поступает в речную сеть за эти два месяца. В июне и особенно июле и августе дождевой смыв резко падает. Этому способствует уменьшение количества и интенсивности дождей в эти месяцы, равно как и развитие растительности, препятствующей склоновой эрозии.

По отношению к суммарному стоку взвешенных наносов дождевая составляющая составляет от 37 до 77%, в среднем же за многолетие — 48%. Эта величина, по-видимому, несколько занижена, так как дождевая мутность срезалась таким образом, чтобы не преуменьшить другие составляющие стока наносов. Кроме того, следует учесть, что продукты эрозионной деятельности жидких осадков часто не успевают быть сброшены в русловую сеть за время дождевого стока и временно задерживаются на склонах и в прирусловой части речных долин. В низовьях Угама можно в весенний период наблюдать настоящие «карнизы» из красной глины, лепящиеся на крутых прибрежных склонах. Эти нависающие над урезом воды продукты бассейнового дождевого смыва лишь ждут достаточного подъема уровня, чтобы быть смытыми, увеличивая тем самым мутность размыва. Задержавшиеся на склонах и в руслах временных водотоков продукты дождевой эрозии увлекаются талыми водами, поступающими из вышерасположенных частей бассейна, выступая в этом случае уже как продукт смыва снеговыми водами. Это обстоятельство несколько занижает рассчитанную величину дождевого смыва. Тем не менее и при этих условиях дождевой смыв оказался основной составляющей стока взвешенных наносов р. Угам. Если учесть результаты предшествующей проработки, произведенной аналогичным способом для ряда рек Средней Азии [12], то такая доля дождевой эрозии довольно хорошо согласуется с высотной характеристикой бассейна Угама. Действительно, для Гузардарьи со средней взвешенной высотой 1530 м дождевой смыв составляет 72%, для Яккобага с $H_{ср} = 2700$ м — 49%, для Соха при средней взвешенной высоте бассейна в 3350 м — 10% годового стока взвешенных наносов.

Вывод о преобладающей роли дождевого смыва в формировании стока взвешенных наносов р. Угам и других рек среднего и нижнего пояса гор Средней Азии хорошо согласуется с результатами А. П. Бурдыкиной, полученными для р. Терек [1]. Большую роль дождевого смыва в горных районах отмечает также Г. В. Лопатин [6].

Величина дождевого смыва в бассейне р. Угам (в тыс. т)

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
1948	3,49		21,3	54,8	0,58	2,26	2,93					2,44	87,8
1949	10,0	1,04	22,9	98,5	248	6,15	5,14	14,9					406,63
1950	3,76	1,68	11,4		33,2						0,95		50,99
1951		0,64	9,0	1,86	8,38					1,45	7,58	0,26	29,17
1952	3,22	11,6	25,3	57,9	18,7	3,90							120,62
1953	0,59	15,7	116	0,59	13,8	1,65				0,56	4,44	5,43	158,76
1954	3,77	17,3	87,5	88,4	2,71		0,54	5,88					206,1
1955		2,49	24,3	7,60	19,3	5,16						1,22	60,07
1956		2,24	26,3	19,2	2,06	1,13					0,44		51,37
1957		0,31	7,17	1,55	0,28	3,68		0,035			0,76	0,087	13,872
1958	2,42	3,77	36,8	220	65,2	21,3		3,22				2,20	354,91
1959	0,94	4,44	79,4	557	33,1	42,2					2,79		719,78
1960	5,14	61,6	22,9	104	214	26,1							433,74
1961	7,82	1,42	47,4	22,6	20,7	0,86							100,8
1962	1,84	9,36	17,1	2,21	3,68	6,66				0,41	15,2	16,5	72,96
1963	2,36	24,2	20,5	54,6	42,4	21,2					1,24	14,0	180,5
62 Средн.	2,8	9,9	36,0	80,7	45,4	8,9	0,5	1,5		0,15	2,1	2,6	190

О другой составляющей стока взвешенных наносов, формирующейся за счет руслового размыва, можно также судить на основании анализа хронологического графика мутности. В периоды отсутствия бассейнового смыва, связанного с эрозионной деятельностью дождевых и талых вод, мутность воды представлена лишь мутностью размыва [7]. Эта последняя в свою очередь обусловлена транспортирующей способностью потока и сопротивлением русла размыву. Для каждого конкретного русла, сложенного фракциями определенных размеров, русловой размыв может, очевидно, рассматриваться, как функция переменных гидравлических элементов потока, в качестве интегральной характеристики которых может в первом приближении быть принят расход воды. Построение зависимости мутности размыва от расхода воды за периоды без осадков дает возможность определить значения этой мутности и за периоды наличия бассейнового смыва.

Технические приемы отыскания зависимости мутности размыва от расхода воды могут быть различны. Первый прием заключается в том, что на основании предшествующего анализа хронологического графика мутности и сведений, подтверждающих отсутствие дождей и талого стока, выбираются значения мутности за все те периоды, когда поверхностный смыв отсутствовал. Значения мутности и расходов воды за отдельные дни накладываются на график, где после сглаживания зависимости проводится кривая связи. Для построения кривой могут браться также средние пентадные или декадные значения мутности и расхода. Такое осреднение дает, конечно, значительно более надежные значения мутности, что облегчает построение зависимости мутности размыва от расхода воды; однако число точек при этом несколько сокращается, так как выпадают частые на горных реках (и, в частности, на р. Угам) периоды резкого, но кратковременного снижения мутности в самый разгар паводочного периода при прохождении достаточно высоких расходов воды. Резкое падение мутности в такие периоды объясняется временным прекращением склонового стока вследствие отсутствия дождей и отступления вниз фронта снеготаяния; большие расходы воды поддерживаются при этом за счет высокого подземного питания реки, обеспечивающего поступление в речную сеть осветленных в процессе подземного пробега вод.

При построении зависимости мутности размыва от расхода воды включение в ряд значений мутности за такие периоды крайне желательно, так как определяет максимальные значения мутности размыва и сокращает область экстраполяции зависимости.

Второй прием определения мутности размыва заключается в проведении нижней огибающей всего поля точек связи ежедневных расходов воды и взвешенных наносов. Этот прием и был применен для построения зависимости мутности размыва от расхода воды и ее выделения в течение паводочного периода. В межень в периоды отсутствия дождевых паводков и снеготаяния мутность размыва обуславливает весь сток наносов. В периоды дождевых паводков русловой размыв рассчитывался по разности между суммарным стоком взвешенных наносов и дождевым смывом.

При построении кривых зависимости мутности размыва от расходов воды за паводочный период отдельных лет было установлено, что координаты этих кривых для р. Угам несколько варьируют из года в год, причем наибольшие значения мутности размыва при данном расходе воды имеют место обычно после лет с интенсивным склоновым смывом (так, например, в 1961 г., следовавшем за селевым 1959 и многоснежным 1960 гг.). Повышенные значения мутности в такие годы объясняются

вовсе не размывом самого русла Угама, сложенного, как это показывают данные табл. 6 [14], достаточно крупными фракциями, а обусловлены подмывом высокими водами сошедших в русло постоянных водотоков в результате предшествующей дождевой эрозии всевозможных оползней и оплывин, остатки которых наблюдались авторами в виде

Таблица 6

Гранулометрический состав русловых отложений р. Угам в районе устьевого створа

	Размеры фракций, см						
	< 2	2—10	10—30	30—50	50—100	100—200	200—400
Количество наносов, %	0,3	0,9	1,3	4,3	66,4	20,6	6,2

упомянутых выше карнизов, нависших над водой. Следовательно, повышенная мутность размыва в эти годы является, по существу, продуктом не руслового, а бессейнового происхождения. Поэтому величина руслового размыва, рассчитанная таким образом, несомненно, завышена. Несмотря на это, она, как оказалось, составляет незначительную долю от суммарного стока взвешенных наносов Угама (18% нормы твердого стока). Изменчивость величины руслового размыва за отдельные годы представлена в табл. 7.

Таблица 7

Баланс стока взвешенных наносов р. Угам за отдельные годы

Годы	Сток взвешенных наносов, тыс. т			
	всего	русловой размыв	дождевой смыв	талый смыв
1948	224	35,6	87,8	101
1949	524	92,1	406	25,9
1950	98,0	21,2	51,0	25,8
1951	78,6	19,8	29,2	29,6
1952	261	76,2	121	63,8
1953	247	36,5	159	51,5
1954	288	45,2	206	36,8
1955	107	25,4	60,1	21,1
1956	84,6	12,6	51,4	20,6
1957	31,5	12,8	13,9	4,9
1958	842	233	355	254
1959	1995	191	720	1085
1960	878	193	434	251
1961	173	31,8	101	40,8
1962	139	22,0	73,0	44,1
1963	421	74,3	180	166
Средн.	399,6	70,2	190,2	139,2

Тесная связь руслового размыва со смывом с поверхности бассейна делает, в частности, логичным при картировании смыва отнесение этой составляющей твердого стока ко всей площади соответствующего пояса, хотя такое распределение по площади является несколько условным.

Талая составляющая стока взвешенных наносов р. Угам рассчитывалась за месяцы снеготаяния как остаточный член уравнения баланса наносов, т. е. как дополнение до 100%-ной суммы дождевого смыва и руслового размыва. Ее значения приводятся в табл. 8. Необходимо отме-

Таблица 8

Среднее внутригодичное распределение составляющих стока взвешенных наносов р. Угам

Месяц	Сток взвешенных наносов, тыс. т			
	руслового размыва	дождевого смыва	талого смыва	всего
I	0,1	2,8	1,5	4,4
II	0,1	9,9	5,1	15,1
III	0,2	35,9	29,4	65,5
IV	16,0	80,3	87,7	184,0
V	16,7	45,5	14,4	76,6
VI	21,9	8,9	0,9	31,7
VII	9,7	0,5	0,1	10,3
VIII	1,0	1,6	—	2,6
IX	0,3	—	—	0,3
X	1,0	0,1	—	1,1
XI	1,0	2,1	—	3,1
XII	2,2	2,6	—	4,8
Сумма	70,2	190,2	139,2	399,6
В % от годового	17,6	47,6	34,8	100,0

тить, что, как и всегда при подобного рода расчетах, величины, получаемые как остаточный член уравнения баланса, отличаются наименьшей надежностью, так как накапливающиеся ошибки метода сказываются здесь в полной мере.

Внутригодичное распределение смыва талыми водами с поверхности бассейна отличается так же, как и для дождевого смыва, крайней неравномерностью.

Зимний смыв (январь — февраль) за счет подтаивания снежного покрова в нижних зонах весьма незначителен. Максимум смыва талыми водами достигает в апреле, когда снеготаянием охвачена наибольшая часть бассейна; затем к июлю по мере истощения запасов снега в бассейне смыв талыми водами быстро снижается до нуля. В августе — сентябре в верховьях Угама остаются лишь снежники, не дающие поверхностного стока и, следовательно, не увеличивающие мутность воды в этот период года. Заключенные в них твердые включения остаются после исчезновения снежников в виде наилка [9], участвуя в почвообразовательном процессе высокогорной зоны.

Характерным для бассейна Угама является совпадение во времени в апреле максимума дождевого и талого смыва. Это совпадение объяс-

няется, с одной стороны, морфометрическими характеристиками бассейна, определяющими в этом среднегорном бассейне наибольшую площадь одновременного снеготаяния именно в апреле. Но кроме этого, совпадение во времени максимумов смыва жидкими осадками и талыми водами объясняется взаимосвязанностью этих двух процессов.

Апрель является месяцем, когда в Западном Тянь-Шане и, в частности, в бассейне Угама, выпадает наибольшее месячное количество осадков, притом в жидком виде. Апрельские осадки производят значительную эрозионную работу. Часть продуктов этой эрозионной деятельности не успевает быть перенесенной дождевыми водами до постоянно действующей гидрографической сети и временно задерживается на поверхности бассейна до смыва талыми водами. Обладая в области своего формирования при выходе из-под снежников незначительной мутностью, талые воды затем обогащаются на своем пути смесенными в тальвеги продуктами склоновой эрозии, среди которых большая роль принадлежит предшествующему смыву дождями. Хорошей иллюстрацией этого явления может служить уже упоминавшийся выше 1959 г. с прошедшим по р. Угам в апреле после выпавшего ливня катастрофическим селом. Дождевой смыв за апрель этого года достиг в бассейне Угама огромной величины (557 тыс. т), что в 7 раз превышает средний многолетний смыв за этот месяц. Но в перемещении в гидрографическую сеть продуктов эрозионной деятельности ливня 7—8/IV участвовали не только дождевые воды как этого, так и последующих апрельских дождей: большая их часть (972 тыс. т) была перемещена в бездождевой период талыми водами последующего снеготаяния в том же апреле (табл. 9). Этому способствовали условия выпадения ливня 7—8/IV. Ливень распространился до высоты 2300 м, охватив частично покрытую снегом поверхность бассейна. Таким образом, огромный вынос наносов талыми водами в апреле 1959 г. является следствием выпавшего ливня и представляет, по существу, продукт эрозионной деятельности не самих талых вод, а жидких осадков, тем более, что зима 1959 г. не отличалась в бассейне Чирчика исключительной многоснежностью. Что же касается талого смыва за апрель в остальные годы, то он весьма незначителен (табл. 9). В среднем за многолетний период талые воды приносят к замыкающему створу на р. Угам 35% годового стока взвешенных наносов.

За отдельные годы эта составляющая стока наносов изменяется от 5,7 до 54,4% годового стока взвешенных наносов.

Разделение стока взвешенных наносов на составляющие — дождевой, талый смыв и русловой размыв — имеет не только познавательное значение, но позволяет сделать попытку дифференциальной оценки условий смыва с поверхности горного бассейна. Рациональность такой попытки очевидна,

Таблица 9
Смыв талыми водами за апрель

Год	Смыв, тыс. т
1948	48,7
1949	27,3
1950	4,68
1951	11,2
1952	39,5
1953	17,7
1954	25,7
1955	14,3
1956	16,0
1957	1,47
1958	0,99
1959	972
1960	85,5
1961	16,9
1962	21,2
1963	96,4
Средн.	87,7

так как общепринятое равномерное распределение величины смыва по всей поверхности горного бассейна значительной площади при наличии вертикальной поясности климатических элементов и разнородности почвенно-геологических комплексов являются крайне условным.

Уточнение карты смыва, очевидно, может идти двумя путями. Первый из них предполагает организацию наблюдений за стоком наносов в характерных элементарных и однородных в почвенно-геологическом отношении бассейнах с последующей экстраполяцией результатов на аналогичные условия. Этот прямой и, несомненно, весьма перспективный

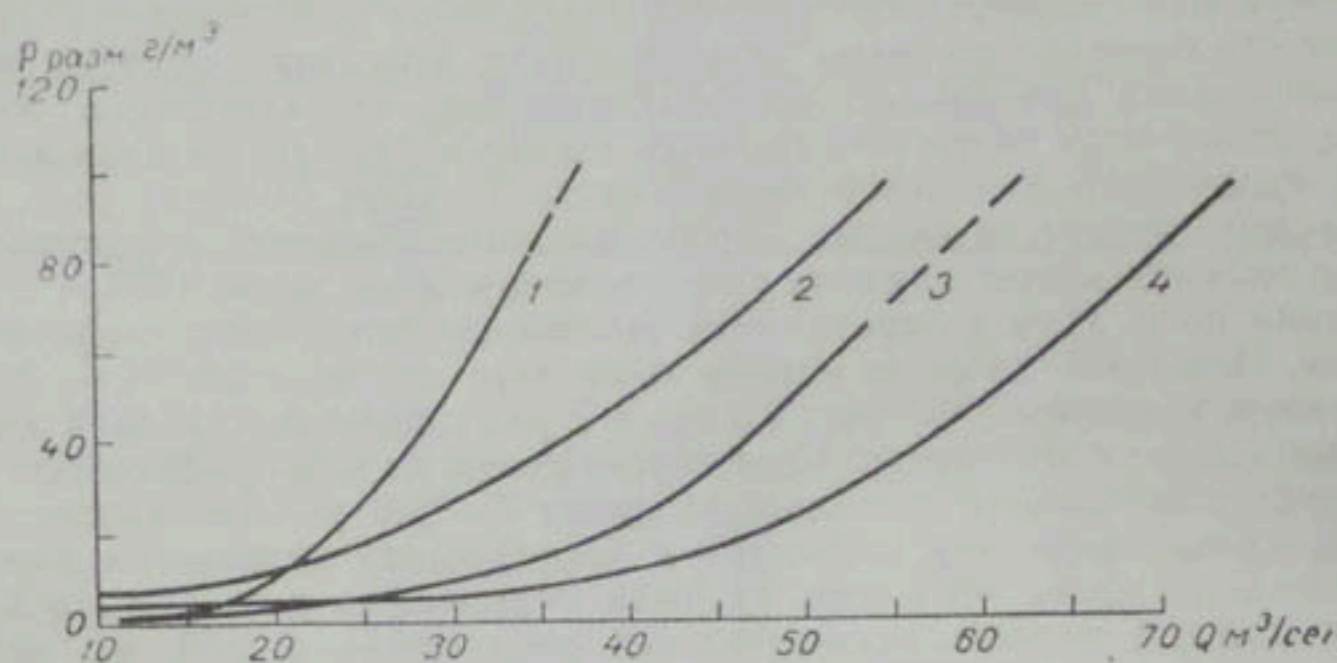


Рис. 3. Зависимость мутности размыва от расходов воды р. Угам за отдельные годы.

1 — 1961 г., 2 — 1962 г., 3 — 1963 г., 4 — 1964 г.

путь требует, однако, большой густоты гидрометрической сети и ее соответствующего расположения по геологическим фациям, что далеко не всегда бывает возможным.

Наряду с этой методикой к проблеме смыва возможен и другой подход. Вертикальная поясность всех элементов ландшафта в горных районах наводит на мысль о наличии связи между величинами смыва и осадками соответствующих высотных поясов гор.

Русловой размыв также логично отнести к соответствующим высотным поясам, распределив его пропорционально густоте речной сети. В итоге сложения этих компонент можно получить распределение смыва по высотным поясам. Полученные таким образом результаты должны затем сопоставляться с почвенно-геологическими условиями в бассейне. Соответствие или несоответствие этих условий рассчитанным величинам поясного смыва должно служить критерием приемлемости или порочности метода. Опыт подобной проработки был проведен для бассейна Угама.

Распределение дождевого смыва по высотным поясам рассматривалось, как пропорциональное годовым суммам жидких осадков. Это довольно грубое допущение является оправданным в условиях недостаточной изученности стока наносов горной части Средней Азии и, в частности, бассейна Угама.

В расчетных целях использовался график (рис. 1), показывающий изменение сумм жидких осадков с высотой. Зная слой жидких осадков

в соответствующих высотных поясах и площадь этих поясов, можно определить объем выпадающих в бассейне жидких осадков по формуле

$$W_d = F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n,$$

где W_d — объем жидких осадков в бассейне, $x_1, x_2, \dots$ — слой осадков в высотных поясах, F_1, F_n — площади поясов. Имея определенный выше дождевой смыв бассейна и разделив его на суммарный объем выпавших в бассейне жидких осадков, можем рассчитать величину мутности дождевых вод, которая имела бы место, если все жидкие осадки стекали поверхностным путем и участвовали в процессе смыва. Эту мутность, значительно преуменьшающую фактическую мутность склонового дождевого стока (так как далеко не все жидкие осадки участвуют в процессе смыва) логично называть фиктивной мутностью дождевых вод (ρ_f). Она составляет для бассейна Угама $0,648 \text{ кг/м}^3$. Умножая эту мутность на слой жидких осадков в соответствующем высотном поясе и вводя коэффициент размерности 10^3 , получаем поясной смыв в т/км^2 . Полученные таким образом значения поясного дождевого смыва представлены в табл. 10.

Таблица 10

Распределение дождевого смыва в бассейне Угама в зависимости от высоты

Пределы высот, м	Жидкие осадки, м	Площадь, млн. км ²	Объем жидких осадков, млн. м ³	Дождевой смыв	
				тыс. т	т/км ²
500—1000	0,44	43,5	19,1	12,4	280
1000—1500	0,56	178	99,6	64,6	360
1500—2000	0,40	256	102	66,4	260
2000—2500	0,26	174	45,3	29,4	169
2500—3000	0,15	157	23,6	15,3	97
>3000	0,05	60,8	3,14	1,97	32

Из таблицы видно, что наибольший смыв приходится на высотный пояс от 1000 до 1500 м; дальше с высотой его величина быстро затухает. В приводораздельной зоне величина дождевого смыва составляет всего 32 т/км^2 .

Дифференциальный смыв талыми водами был рассчитан, исходя из внутригодового распределения талой составляющей стока наносов и динамики площади одновременного снеготаяния. При этом была использована методика, аналогичная примененной О. П. Щегловой [13] при построении карты среднего годового стока для горных бассейнов с преобладанием питания за счет талых вод. Данные о положении фронта и тыла снеготаяния заимствованы из этой работы. Смысл методики заключается в определении путем снятия с гипсографической кривой по положению фронта и тыла снеготаяния площади возможного одновременного снеготаяния.

Деля величину талого смыва за соответствующий месяц на площадь, участвующую в снеготаянии, получаем средний поясной смыв талыми водами за данный месяц (табл. 11). Различные части бассейна в зависимости от длительности периода снеготаяния участвуют в процессе смыва в течение одного или нескольких месяцев. Годовой смыв за счет талых вод рассчитывается для каждого пояса, как сумма величин смыва за отдельные месяцы (табл. 12).

Таблица 11

Интенсивность смыва талыми водами по месяцам (в среднем за многолетний период)

Месяц	Высота фронта снеготаяния, м	Высота тыла снеготаяния, м	Площадь возможного одновременного снеготаяния, км ²	Смыв талыми водами, тыс. т	Средний смыв, т/км ² год
I	1000	760	43,5	1,5	34,5
II	1760	760	354	5,1	14,4
III	2600	1280	560	29,4	52,5
IV	3420	2160	329	87,7	266
V	4140	2960	73,8	14,4	195
VI	4750	3520	2,6	0,9	333
VII	5040	3520	2,6	0,1	38,3

Таблица 12

Распределение смыва талыми водами в бассейне Угама в зависимости от высоты

Пределы высот, м	Смыв по месяцам, т/км ²							Всего за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
<1000	34,5	14,4	—	—	—	—	—	49,4
1000—1280	—	14,4	—	—	—	—	—	14,4
1280—1760	—	14,4	52,5	—	—	—	—	66,9
1760—2160	—	—	52,5	—	—	—	—	52,5
2160—2600	—	—	52,5	266	—	—	—	318,5
2600—2960	—	—	—	266	195	—	—	461
2960—3420	—	—	—	266	195	—	—	461
3420—3520	—	—	—	—	195	—	—	195
3520—3620	—	—	—	—	195	333	38,3	566,3

На основании данных табл. 12 построен рис. 4, изображающий значения талого смыва в различных высотных поясах. На рисунке после незначительного сглаживания проведена кривая зависимости талого смыва от высоты. Полученная зависимость показывает, что смыв талыми водами увеличивается в бассейне Угама от 25—30 т/км² в нижних зонах до 450 т/км² на высоте 3000 м, несколько снижаясь близ водораздела. Следует, однако, напомнить уже отмеченные ранее обстоятельства, а именно, расчет суммарного талого смыва как остаточного члена уравнения баланса наносов, что, несомненно, способствовало накоплению всех погрешностей метода при подсчете этой составляющей стока наносов. К этому следует добавить погрешности в расчетах смыва, связанные с определением фронта и особенно тыла снеготаяния, их осреднением во времени и ряд других. Особенно сильно могли сказаться все эти погрешности при определении талого смыва с приводораздельной

части бассейна (свыше 3000 м), где трудность определения положения сезонной снеговой границы при почти полном отсутствии непосредственных наблюдений за ее положением могла значительно исказить рассчитанную величину смыва талыми водами.

Величина руслового размыва была распределена на всю площадь бассейна пропорционально густоте речной сети. Ввиду малого удельного веса руслового размыва в формировании стока взвешенных наносов его величина, отнесенная к площадям отдельных высотных поясов, весьма незначительна: наибольшее значение, соответствующее высотному поясу 1000—1500 м с максимальным развитием речной сети, составляет 35 т/км². У водораздела русловой размыв снижается до нуля.

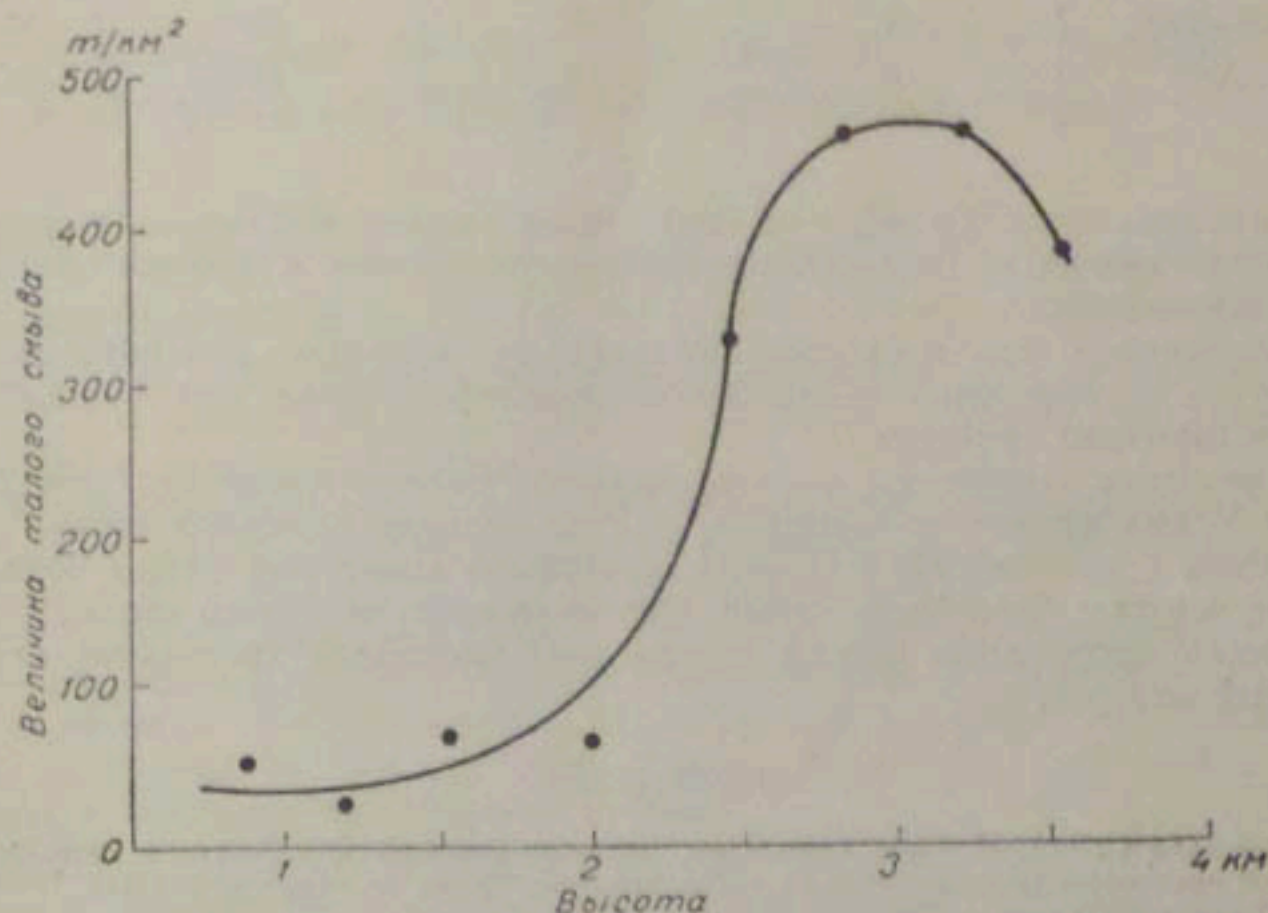


Рис. 4. Зависимость величины смыва талыми водами от высоты в бассейне р. Угам.

Суммарный смыв в различных высотных поясах получен как сумма составляющих (табл. 13). Помещенные в этой таблице величины смыва талыми водами сняты с графика (рис. 4) по аргументу средней высоты соответствующих высотных поясов.

Анализируя полученные результаты и сопоставляя их с геологическими особенностями бассейна Угама, видим, что, исходя из климатических предпосылок, удалось выявить вертикальную поясность смыва, согласующуюся с почвенно-геологическими условиями. Первый максимум смыва оказался соответствующим высотному поясу от 1000 до 1500 м — области выхода на поверхность красноцветных третичных отложений, где сильно развиты оползневые явления. Дальше вверх на высотах от 1500 до 2500 м, где широко представлены известняки, смыв уменьшается с тем, чтобы вновь возрасти в приводораздельной зоне.

Этому вторичному максимуму могут способствовать очень крутой водораздел Угамского хребта и распространение здесь менее устойчивых по отношению к размыву, чем известняки, эффузивных пород. Впрочем, величины поясного смыва в самых верхних зонах бассейна Угама,

Распределение суммарного смыва в бассейне Угама в зависимости от высоты

Пределы высот, м	Смыв, т/км ² за год			
	за счет руслового размыва	за счет дожде- вого смыва	за счет талого смыва	всего
500—1000	5	280	25	310
1000—1500	35	360	33	428
1500—2000	24	260	68	352
2000—2500	12	169	172	353
2500—3000	4	97	450	551
> 3000	0	32	440	472

формирующиеся в основном за счет смыва талыми водами, но изложенным выше причинам не являются вполне надежными и требуют дальнейшего уточнения.

Несомненно, что поскольку полученные значения поясного смыва являются первым опытом подобного рода проработки, они нуждаются во всесторонней проверке.

Известным контролем использованного метода конкретно для бассейна Угама явится, в частности, расчет величин поясного смыва для смежного с ним бассейна Пекема, имеющего некоторые общие геологические черты с бассейном Угама. Сравнение величины смыва с геологически однородных фаций в этих двух бассейнах представит значительный интерес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдыкина А. П. Сток взвешенных наносов рек бассейна Терека в зависимости от некоторых гидрологических характеристик. Труды по гидрологии. Изд. ГЭНИИ. Гидрометеопиздат, 1938.
2. Виноградов Ю. Б. Формирование поверхностного стока. Изв. АН УзССР, сер. техн. наук, 1, 1960.
3. Кабанова К. С. Генетический анализ режима стока взвешенных наносов рек Средней Азии. Уч. зап. ЛГУ. Сер. геогр. наук, № 152, 1952.
4. Колотилки Н. Ф. Деформации горных и береговых склонов. Изд. АН КазССР, Алма-Ата, 1961.
5. Литовченко А. Ф. и Мочалов В. П. Полевые экспериментальные исследования потерь дождевых вод на инфильтрацию в горах северного склона Заилийского Алатау. Алма-Ата, 1964.
6. Лопатин Г. В. Наносы рек СССР. Географиз, М., 1952.
7. Поляков Б. В. Исследование стока взвешенных и донных наносов. Л., 1935.
8. Светицкий В. П. Изменчивость годового стока взвешенных наносов. Бюлл. науч.-техн. информации (механизация хлопководства), № 1, Ташкент, 1959.
9. Степанов И. Н. Роль снега и льда в осадконакоплении и почвообразовании (на примере высокогорий Тянь-Шаня и Кавказа). Автореф. кандидат. дисс. Ташкент, 1963.
10. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Географиз, М., 1949.
11. Щеглова О. П. Питание рек Средней Азии. Изд. СамГУ, Ташкент, 1960.
12. Щеглова О. П. О роли жидких осадков в формировании стока взвешенных наносов некоторых рек горной части Узбекистана. Изв. Узб. фило. ГО, т. 8, Ташкент, 1964.
13. Щеглова О. П. Об одном способе построения карты паводочного и среднего годового стока для горных бассейнов с преобладанием питания за счет талых вод. Мат-лы совещания по агрометеорологическому и гидрологическому обеспечению орошаемого земледелия, Ташкент, 1965.
14. Щеглова О. П., Чиркова А. А. Шероховатость речных русел бассейна р. Чирчик. Тр. ТашГУ, вып. 237, 1964.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАДИУСОМ И СРЕДНЕЙ ГЛУБИНОЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

При гидравлических и гидрологических расчетах, основанных на применении формулы Шези ($v = C\sqrt{RI}$ и $C = \frac{1}{n}R'$), используется гидравлический радиус R . Определение гидравлического радиуса связано с обязательным определением смоченного периметра χ , что для естественных водотоков сделать очень трудно.

Замена же гидравлического радиуса средней глубиной значительно упрощает расчет и дает возможность в ряде случаев довести теоретические выкладки до практически приемлемых решений.

Естественно, возникает вопрос о величине ошибок, связанных с такой заменой, и как следствие этого, в каких случаях при заданной погрешности расчета можно заменить гидравлический радиус средней глубиной, не выходя за границы допустимой погрешности, или внести необходимую поправку на среднюю глубину.

Для оценки расхождения между величинами гидравлического радиуса и средней глубины рассмотрены соотношения $\frac{R}{\bar{h}}$ для 20 створов на 16 различных реках Советского Союза (табл. 1).

Отношения $\frac{R}{\bar{h}}$ для всех створов изменялись от 0,933 до 0,999, причем лишь в 4 случаях для сугубо горных рек, протекающих в каньонообразных сечениях, близких к прямоугольной форме (Чирчик — Ходжикент, Фандарья — Пете, Зарафшан — Фатьме, Ягнобдарья — Такфон), расхождения между R и $\bar{h}$ оказались более 5%.

Таким образом, можно предположить, что в подавляющем большинстве случаев для естественных водотоков расхождения между гидравлическим радиусом и средней глубиной невелики.

Для оценки этих расхождений нами по данным измерений построена кривая связи

$$\frac{R}{\bar{h}} = f\left(\frac{\bar{h}}{B}\right).$$

Указанная связь (рис. 1) достаточно четко выражена, причем, как и следовало ожидать, отношение $\frac{R}{\bar{h}}$ убывает с ростом $\frac{\bar{h}}{B}$.

Весьма интересно принятое нами безразмерное отношение $\frac{\bar{h}}{B}$, которое может служить как критерием для замены гидравлического радиуса

Гидравлические элементы различных живых сечений естественных водотоков

Река — створ	Дата	ω м ²	B м	z м	$\bar{h}$ м	$R = \frac{\omega}{z}$	$\frac{R}{\bar{h}}$	$\lambda = \frac{\bar{h}}{B}$	$R' = \frac{\omega}{B + \bar{h}}$	$R'' = \frac{\omega}{B + 2\bar{h}}$	По формуле (3)
Чирчик — Ходжикент	17/VI-58	350	66,6	70	5,26	5,0	0,945	0,076	4,87	4,54	5,00
Сыр-Дарья — Акджар	6/VI-57	615	251	252	2,45	2,44	0,995	0,010	2,43	2,40	2,45
Сыр-Дарья — Надеждинский	7/VIII-57	489	175	176,5	2,79	2,77	0,994	0,016	2,75	2,71	2,78
Пскем — Ходжикент	30/V-57	64,6	53,8	64,3	1,20	1,19	0,993	0,022	1,17	1,15	1,19
То же	12/VI-57	74,8	55,3	55,6	1,35	1,34	0,996	0,024	1,32	1,29	1,34
Угам — Ходжикент	8/IV-57	12,1	18,5	18,7	0,65	0,65	0,989	0,035	0,63	0,61	0,64
Чаткал — Ходжикент	7/VI-57	101	79,5	80,2	1,27	1,26	0,995	0,016	1,25	1,23	1,26
Нарын — Учкурбан	7/III-57	201	103	103,6	1,95	1,94	0,995	0,019	1,92	1,88	1,93
Ока — кях „Республика“	29/VII-50	327	187	187,4	1,75	1,74	0,997	0,009	1,73	1,72	1,74
Сыр-Дарья — Кайрак-Кум	23/VII-53	878	108	111,8	8,14	7,85	0,964	0,076	7,59	7,09	7,74
То же	26/IX-53	365	107	109	3,41	3,35	0,982	0,032	3,31	3,21	3,36
Сыр-Дарья — Чильмахрам	17/VI-53	1033	168	169,9	6,15	6,08	0,988	0,037	5,93	5,73	6,06
Фандарья — Пете	23/VII-65	76,8	29	31,1	2,65	2,47	0,933	0,092	2,43	2,24	2,47
Зарафшан — Фатъме	23/VII-65	82	32	33,9	2,56	2,42	0,945	0,080	2,37	2,21	2,42
Ягнобдарья — Такфон	23/VII-65	45,6	24	25,3	1,90	1,80	0,947	0,079	1,76	1,64	1,80
Обь — Новосибирск	18/VI-50	2634	1051	1052	2,50	2,50	0,999	0,0024	2,50	2,49	2,50
Белая — Уфа	—	95,5	53	53,4	1,80	1,79	0,992	0,034	1,74	1,69	1,77
Вахш — Туткаул	—	167	78,4	79,9	2,13	2,09	0,981	0,027	2,07	2,02	2,10
То же	24/VI-57	352	85	87,3	4,14	4,03	0,973	0,049	3,95	3,77	4,03
Зеравшан — Навои	22/VIII-59	98	59,6	60,5	1,64	1,62	0,988	0,028	1,60	1,56	1,61
То же	23/VI-59	107	61	61,8	1,75	1,73	0,989	0,029	1,70	1,66	1,73
Волга — Ярославль	17/IV-48	2710	574	574,5	4,72	4,73	0,999	0,0082	4,68	4,64	4,72
Учи — Белая	17/VI-48	86,9	60,2	60,5	1,44	1,44	0,995	0,024	1,41	1,38	1,43
Черная — Белая	2/VI-45	13,2	19,2	19,4	0,69	0,68	0,988	0,035	0,664	0,642	0,68

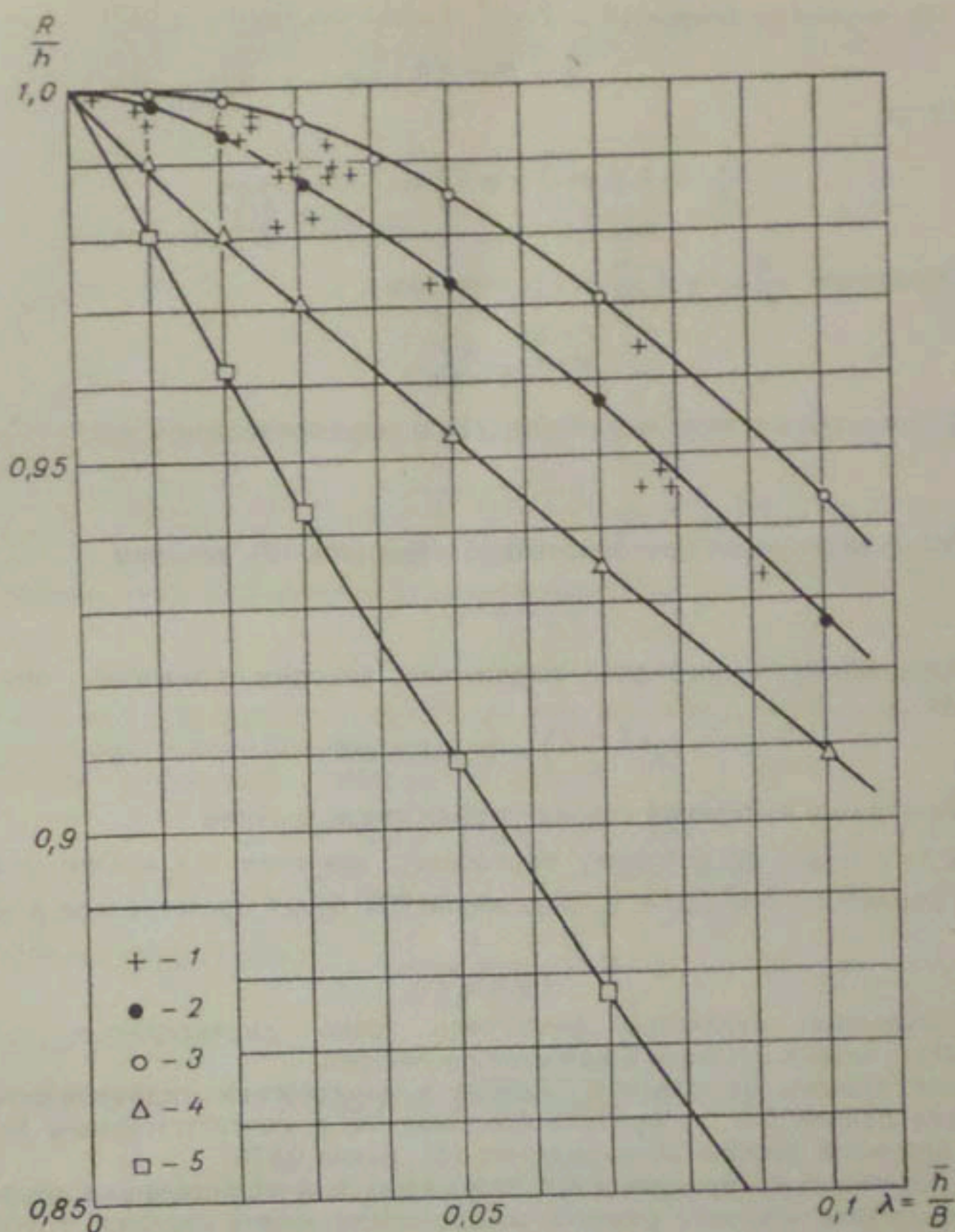


Рис. 1. Типы зависимости $\frac{R}{h} = f\left(\frac{h}{B}\right)$.

1 — данные измерения, 2 — параболическое русло, 3 — формула $\frac{R}{h} = \frac{1}{1 + 2,5 \lambda^{3/2}}$,

4 — формула $\frac{R}{h} = \frac{1}{1 + \lambda}$, 5 — формула $\frac{R}{h} = \frac{1}{1 + 2\lambda}$.

средней глубиной, так и показателем вносимой в расчет ошибки за счет указанной замены и может явиться также показателем необходимой поправки к средней глубине для точного вычисления гидравлического радиуса.

Определим аналитическое выражение построенной зависимости. Так как

$$\frac{R}{h} = \frac{B}{L} = \frac{1}{\frac{L}{B}}$$

и $\chi > B$, то можем записать

$$\chi = B + \beta \bar{h}.$$

Тогда

$$\frac{\chi}{B} = 1 + \beta \left(\frac{\bar{h}}{B} \right) \text{ и } \frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + \beta \left(\frac{\bar{h}}{B} \right)}.$$

Обозначив $\frac{B}{\bar{h}} = y$ и $\frac{\bar{h}}{B} = \lambda$, получим

$$y = \frac{1}{1 + \beta \lambda}. \quad (1)$$

В более общем виде выражение (1) можно представить как

$$y = \frac{1}{1 + \alpha \lambda^n}. \quad (2)$$

После несложных преобразований равенства (2) находим

$$\frac{1-y}{y} = \alpha \lambda^n.$$

Логарифмируя последнее выражение, находим уравнение прямой в виде

$$\lg \left(\frac{1-y}{y} \right) = \lg \alpha + n \lg \lambda.$$

По данным измерений строим график связи величин

$\lg \left(\frac{1}{y} \right)$ и $\lg \lambda$, по которому определяем значения α и n . Они оказались равными 2,5 и 1,5, т. е. выражение (2) будет представлено в виде

$$y = \frac{1}{1 + 2,5 \lambda^{1,5}}. \quad (3)$$

Полученное равенство достаточно точно характеризует связь $y = \bar{f}(\lambda)$ и может служить в качестве расчетного.

Если принять допустимую ошибку в определении гидравлического радиуса равной 5%, то критическое значение λ , соответствующее величине принятой ошибки из выражения (3), равно 0,076.

Следовательно, при расчетах, относящихся к естественным руслам, вместо гидравлического радиуса можно использовать среднюю глубину при $\lambda \leq 0,076$.

В практике гидравлических и гидрологических расчетов для приближенного определения гидравлического радиуса приняты следующие выражения:

$$R = \frac{\omega}{B + \bar{h}} \text{ и } R = \frac{\omega}{B + 2\bar{h}}. \quad (4)$$

Приведем эти выражения к виду $\frac{R}{\bar{h}}$. Разделив равенства (4) на $\bar{h}$, получим

$$\frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + \lambda} \text{ и } \frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + 2\lambda}. \quad (5)$$

Очевидно, что последние два выражения являются частными случаями полученного нами общего выражения $\frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + \alpha \lambda^n}$ (в первом $\alpha = 1$ и $n = 1$, во втором $\alpha = 2$ и $n = 1$).

Рассмотрим соотношение между R и $\bar{h}$ для параболического сечения ($y = Ax^2$), на наш взгляд наиболее соответствующего сечениям водных потоков в естественных условиях.

Введем обозначения:

$$x_0 = \frac{B}{2} \text{ и } y_0 = h,$$

где B — ширина реки, h — максимальная глубина.

Получим

$$A = \frac{y_0}{x_0^2} = \frac{4h}{B^2}.$$

Определим площадь живого сечения

$$\omega = 2 \int_0^h \sqrt{\frac{y}{A}} dy = \frac{B}{\sqrt{h}} \int_0^h \sqrt{y} dy = \frac{2}{3} Bh. \quad (6)$$

Средняя глубина найдется из равенства

$$\bar{h} = \frac{\omega}{B} = \frac{2}{3} h. \quad (7)$$

Рассмотрим длину дуги параболы или величину смоченного периметра χ аналогичного сечения реки.

Элемент длины дуги кривой $y = Ax^2$ равен

$$dl = \sqrt{1 + y'(x)^2} dx, \quad y' = 2Ax,$$

$$dl = \sqrt{1 + (2Ax)^2} dx = \sqrt{1 + 4A^2 x^2} dx.$$

Сделаем подстановку

$$2Ax = z.$$

Тогда

$$dl = \frac{1}{2A} \sqrt{1 + z^2} dz,$$

$$l = \frac{1}{2A} \int_0^{z_0} \sqrt{1 + z^2} dz = \frac{1}{2A} \left\{ \frac{1}{2} \left[z_0 \sqrt{1 + z_0^2} + \ln(z_0 + \sqrt{1 + z_0^2}) \right] \right\}$$

или

$$l = \frac{1}{2A} \left\{ \frac{1}{2} \left[2Ax_0 \sqrt{1 + 4A^2 x_0^2} + \ln(2Ax_0 + \sqrt{1 + 4A^2 x_0^2}) \right] \right\}.$$

Заменив $A = \frac{y_0}{x_0^2}$, получим

$$l = \frac{x_0^2}{2y_0} \left[\frac{y_0 x_0}{x_0} \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2 x_0^2}{x_0^4}} + \frac{1}{2} \ln \left(2 \frac{y_0 x_0}{x_0^2} + \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2 x_0^2}{x_0^4}} \right) \right]$$

или

$$l = \frac{x_0^2}{2y_0} \left[\frac{y_0}{x_0} \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2}{x_0^2}} + \frac{1}{2} \ln \left(2 \frac{x_0}{y_0} + \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2}{x_0^2}} \right) \right]. \quad (8)$$

Полная длина дуги параболы, аналогичная величине смоченного периметра, будет равна

$$\chi = 2l = \frac{x_0^2}{y_0} \left[\frac{y_0}{x_0} \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2}{x_0^2}} + \frac{1}{2} \ln \left(2 \frac{y_0}{x_0} + \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2}{x_0^2}} \right) \right]. \quad (9)$$

Получим выражение гидравлического радиуса R :

$$\begin{aligned} R = \frac{Q}{\chi} &= - \frac{\frac{4}{3} x_0 y_0}{\frac{x_0^2}{y_0} \left[\frac{y_0}{x_0} \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2}{x_0^2}} + \frac{1}{2} \ln \left(2 \frac{y_0}{x_0} + \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2}{x_0^2}} \right) \right]} = \\ &= - \frac{4 y_0^2}{3 x_0 \left[\frac{y_0}{x_0} \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2}{x_0^2}} + \frac{1}{2} \ln \left(2 \frac{y_0}{x_0} + \sqrt{1 + 4 \frac{y_0^2}{x_0^2}} \right) \right]}. \end{aligned}$$

Произведем замену $x_0 = \frac{B}{2}$ и $y_0 = h$. Тогда

$$R = \frac{8h^2}{3B \left[\frac{2h}{B} \sqrt{1 + 16 \frac{h^2}{B^2}} + \frac{1}{2} \ln \left(4 \frac{h}{B} + \sqrt{1 + 16 \frac{h^2}{B^2}} \right) \right]}. \quad (10)$$

Если $h = \frac{3}{2} \bar{h}$, то

$$R = \frac{6h^2}{B \left[\frac{3\bar{h}}{B} \sqrt{1 + 36 \frac{\bar{h}^2}{B^2}} + \frac{1}{2} \ln \left(6 \frac{\bar{h}}{B} + \sqrt{1 + 36 \frac{\bar{h}^2}{B^2}} \right) \right]}. \quad (11)$$

Интересующее нас соотношение запишется в виде

$$\frac{R}{\bar{h}} = \frac{6\bar{h}}{B \left[\frac{3\bar{h}}{B} \sqrt{1 + 36 \frac{\bar{h}^2}{B^2}} + \frac{1}{2} \ln \left(6 \frac{\bar{h}}{B} + \sqrt{1 + 36 \frac{\bar{h}^2}{B^2}} \right) \right]}. \quad (12)$$

Обозначив $\lambda = \frac{\bar{h}}{B}$, получим окончательное выражение

$$\frac{R}{\bar{h}} = \frac{6\lambda}{3\lambda \sqrt{1 + 36\lambda^2} + \frac{1}{2} \ln(6\lambda + \sqrt{1 + 36\lambda^2})}. \quad (13)$$

Исследуем полученное отношение. Разложив в ряд выражение $\sqrt{1 + 36\lambda^2}$ и ограничиваясь первым членом разложения, получим $1 + 18\lambda^2$. Отсюда величина знаменателя равна

$$3\lambda(1 + 18\lambda^2) + \frac{1}{2} \ln(6\lambda + 1 + 18\lambda^2) = 3\lambda + 54\lambda^2 + \frac{1}{2} \ln(6\lambda + 1 + 18\lambda^2).$$

Членами, содержащими λ^2 , можно пренебречь ввиду их малости. Тогда получим

$$3\lambda + \frac{1}{2} \ln(6\lambda + 1)$$

или

$$\frac{R}{\bar{h}} = \frac{6}{3 + \frac{1}{2\lambda} \ln(1 + 6\lambda)} + \frac{2}{1 + \frac{1}{6\lambda} \ln(1 + 6\lambda)}. \quad (14)$$

Найдем

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{1}{6\lambda} \ln(1 + 6\lambda) = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \ln(1 + 6\lambda)^{\frac{1}{6\lambda}} = \ln e = 1.$$

Следовательно, при $\lambda \rightarrow 0$ отношение $\frac{R}{\bar{h}} = \frac{2}{1+1} = 1$, что и следовало ожидать.

По выражениям (11) и (12) построена теоретическая кривая $\frac{R}{\bar{h}} = f(\lambda)$ (рис. 1), которая достаточно близка к натурным данным и к кривой $\frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + 2,5\lambda^{3/2}}$.

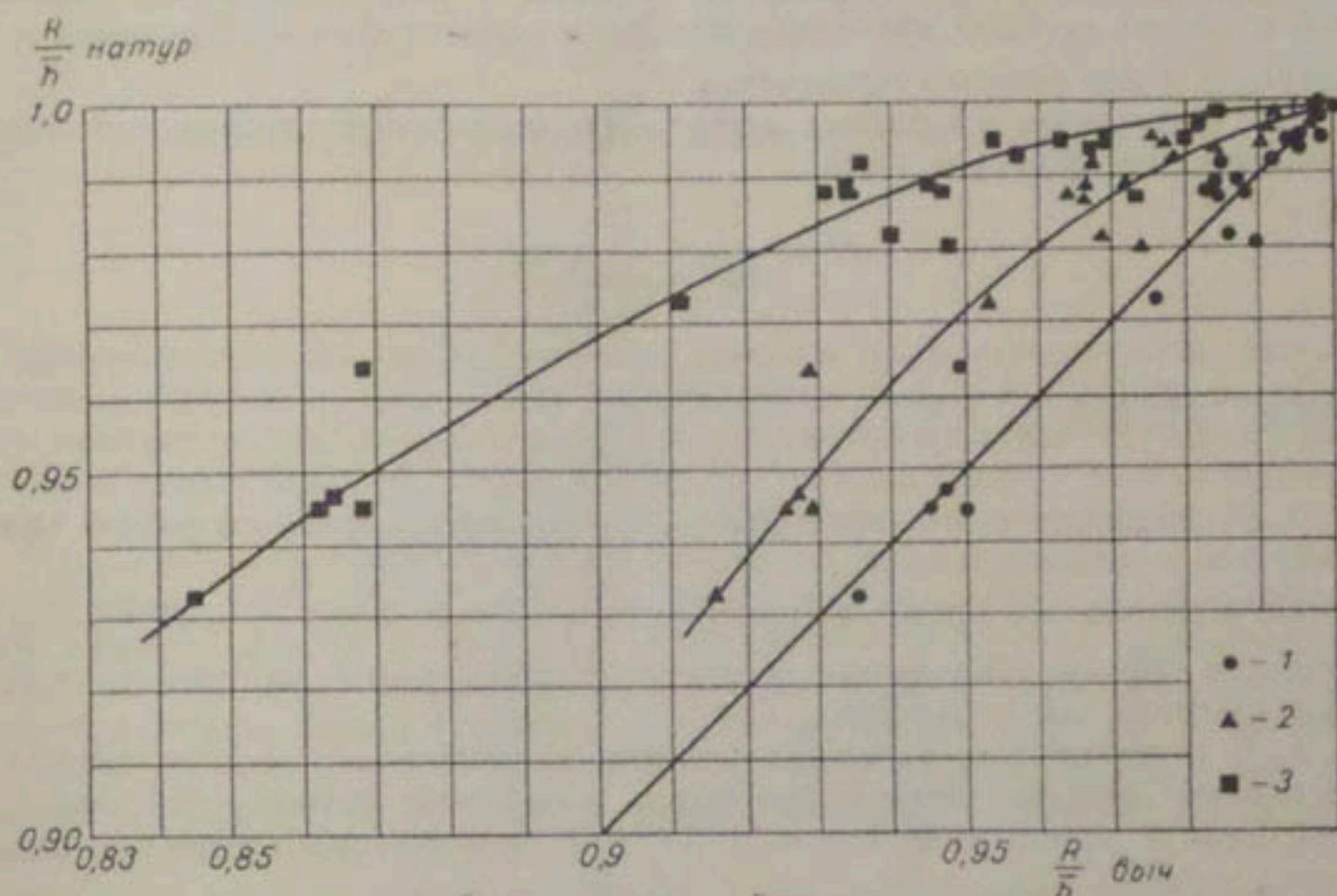


Рис. 2. График сравнения измеренных и вычисленных величин $\frac{R}{\bar{h}}$

1 — по формуле $\frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + 2,5\lambda^{3/2}}$, 2 — по формуле $\frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + \lambda}$, 3 — по формуле $\frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + 2\lambda}$.

При принятом ранее критическом значении $\lambda = 0,076$ расхождение между R и $\bar{h}$ составляет 3,3% ($\frac{R}{\bar{h}} = 0,967$).

Следовательно, в естественных условиях водоток вырабатывает форму, которая достаточно хорошо аппроксимируется параболой.

По выражениям $\frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + \lambda}$ и $\frac{R}{\bar{h}} = \frac{1}{1 + 2\lambda}$ расхождения между R и $\bar{h}$ при $\lambda = 0,076$ составляет соответственно 7 и 13%.

Для сравнения $\frac{R}{\bar{h}}$, определенных по натурным данным, и $\frac{R}{\bar{h}}$, вычисленных по формулам (2), (4), (12), нами построен график связи (рис. 2). Причем $\frac{R}{\bar{h}}$ натурное и $\frac{R}{\bar{h}}$, определенное по формулам (2) и (12), достаточно тесно группируются вокруг линии равных значений

$\frac{R}{h}$, в то время как это же соотношение, определенное по двум принятым в настоящее время выражениям $\frac{R}{h} = \frac{1}{1+\lambda}$ и $\frac{R}{h} = \frac{1}{1+2\lambda}$, значительно отклоняется от натуральных данных.

Таким образом, наиболее подходящими для определения гидравлического радиуса являются выражения (2) и (12), причем первое соответствует натурным данным.

Выводы

1. Безразмерное отношение $\lambda = \frac{\bar{h}}{B}$ служит критерием для замены гидравлического радиуса средней глубиной, а также показателем вносимой в расчет ошибки при такой замене и показателем необходимой поправки к $\bar{h}$ для точного вычисления R .

2. Гидравлический радиус может быть вычислен по полученной нами эмпирической формуле вида

$$R = \frac{\bar{h}}{1 + 2,5\left(\frac{\bar{h}}{B}\right)^{1,5}}$$

или по графику $\frac{R}{h} = f\left(\frac{\bar{h}}{B}\right)$.

3. Полученное выражение $R = \frac{\bar{h}}{1 + 2,5\lambda^{1,5}}$, из которого вытекают принятые в настоящее время в практике выражения $R = \frac{\bar{h}}{1+\lambda}$ и $R = \frac{\bar{h}}{1+2\lambda}$, является общим. Оно лучше соответствует натурным данным и может быть принято как расчетное.

4. В естественных условиях водоток вырабатывает форму, которая достаточно хорошо аппроксимируется параболой, поэтому гидравлический радиус можно определить также по теоретической формуле вида

$$R = \frac{6\lambda \bar{h}}{3\lambda \sqrt{1+36\lambda^2} + \frac{1}{2} \ln(6\lambda + \sqrt{1+36\lambda^2})}$$

или

$$R = \frac{2\bar{h}}{1 + \frac{1}{6\lambda} \ln(1 + 6\lambda)}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Чертоусов М. Д. Гидравлика (специальный курс). Госэнергоиздат, Л., 1957.
2. Лебедев В. В. Гидрология и гидрометрия в задачах. Гидрометеиздат, Л., 1955.
3. Рахманов А. Н. О построении кривых свободной поверхности для естественных водотоков при установившемся движении. Изв. НМИ, вып. XXI, 1930.

ЛЕВЫЕ ПРИТОКИ ПЯНДЖА И АМУ-ДАРЬИ

Предисловие

Предварительная характеристика режима наиболее крупных левых притоков Пянджа и Аму-Дарьи основывается главным образом на данных наблюдений на гидрометрических станциях, организованных институтом «Средазгипроводхлопок» в 1964 г. Станции были установлены на реках Кокча, Кундуз, Хульм, Балхаб, Сари-Пуль и Кайсар (рис. 1).

Наблюдения за уровнем воды на станциях производились в два срока, суточные расходы воды определялись по вполне удовлетворительным кривым $Q=f(H)$ (рис. 2), построенным по 20—40 измерениям в год. В результате обработки материалов, осуществленной в «Средазгипроводхлопке» под руководством инженера П. М. Заруднева, по перечисленным рекам получены данные о расходах воды в лучшем случае с апреля — мая 1964 г. по декабрь 1965 г. Наиболее кратковременны наблюдения по р. Хульм.

Расходы воды р. Кундуз в г. Пули-хумри учитывались на ГЭС. Данные эти по качеству уступают данным «Среднегипроводхлопка», о чем подробнее сказано при рассмотрении режима Кундуза.

Гидрографические описания в основном составлены по литературным источникам. Они часто не отличаются нужной полнотой и, возможно, не всегда точны. Более подробно дано описание р. Кундуз, составленное по рекогносцировке автора в 1957 г.

1. Общая характеристика рек Северного Афганистана

Наиболее крупными левыми притоками Пянджа и Аму-Дарьи являются (с востока на запад): Кокча, Кундуз, Хульм, Балхаб, Сари-Пуль и Кайсар. Сток их в основном формируется на северных склонах Гиндукуша и его западных отрогах, главным образом хребтов Гирбанди-Туркестан и Баба (Кохи-Баба), а также на небольшом протяжении хребта Сафедкох.

Высоты перечисленных хребтов понижаются с востока на запад. Если в водосборе р. Кокча отдельные вершины Гиндукуша выдаются за 5000 м, а одна вершина даже за 6000 м, то уже в водосборе Балхаба ни одна точка хребта не достигает 5000 м, в водосборе Сари-Пуль — 4000 м, а наивысшая отметка водосбора Кайсара не превышает 3500 м.

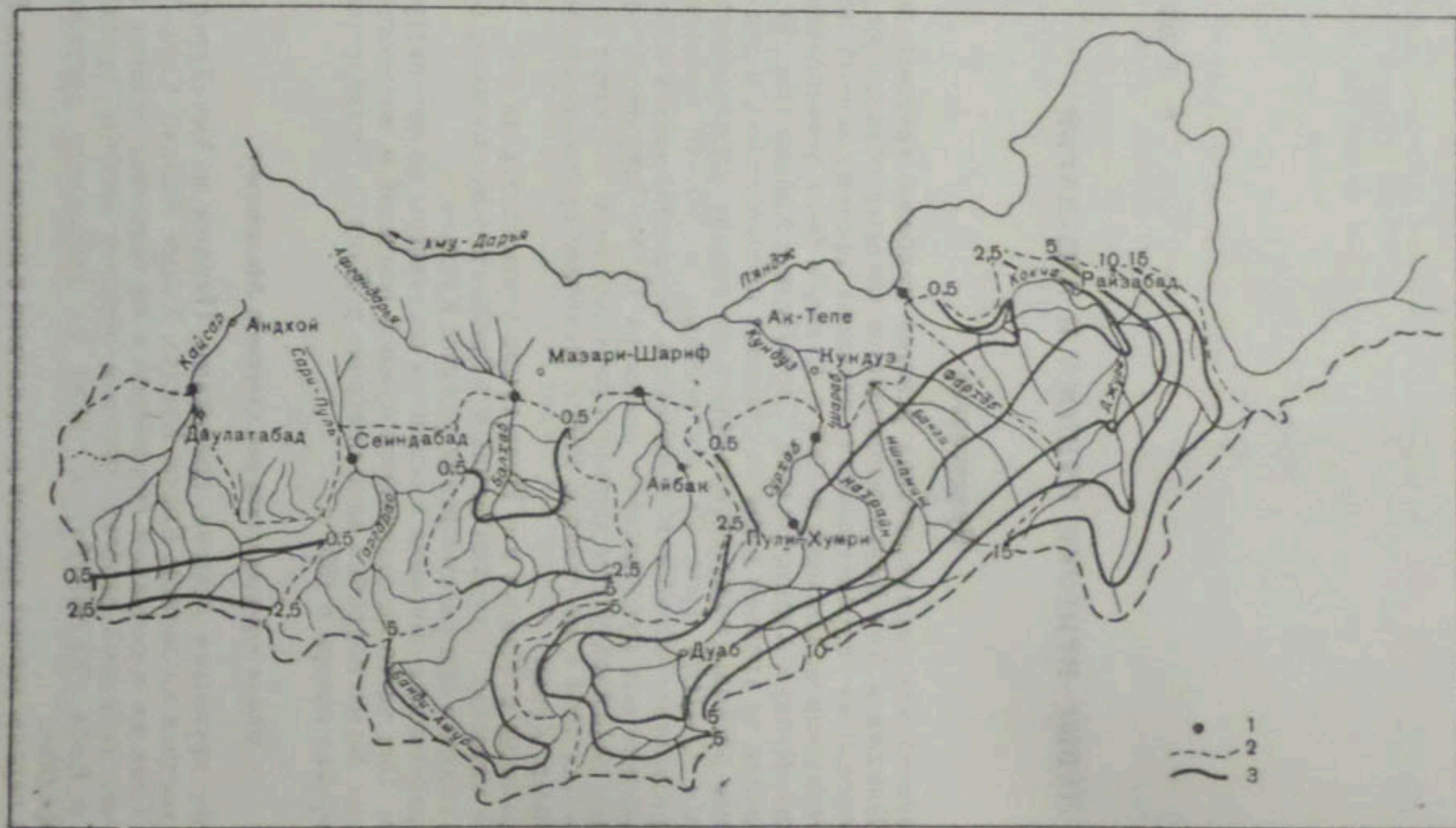


Рис. 1. Схематическая карта модулей стока воды рек Северного Афганистана.
 1 — гидрометрические посты, 2 — границы бассейнов рек, 3 — изолинии модулей стока.

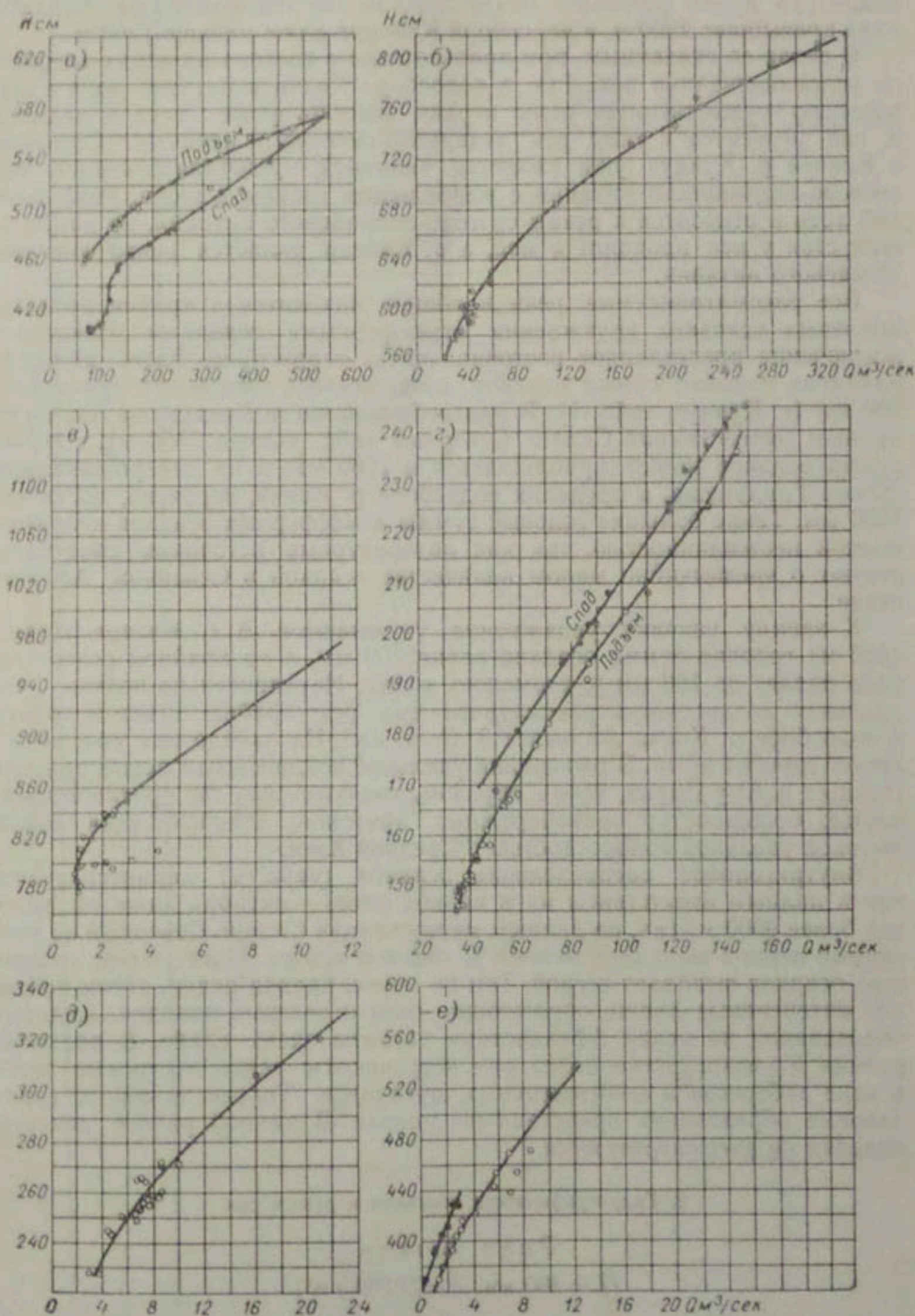


Рис. 2. Кривые $Q \rightarrow H$ рек Северного Афганистана за 1964—1965 гг.

а — р. Кокча, б — р. Кундуз, в — р. Хульм, г — р. Балхаб, д — р. Сари-Пуль, е — р. Кайсар.

Вполне закономерно поэтому, что средние взвешенные высоты водосборов также уменьшаются с востока на запад. Средняя взвешенная высота водосбора Кокчи достигает почти 3000 м, высота водосбора Балхаба едва превышает 2200 м, а водосбора Кайсара даже меньше 1200 м.

В связи со сказанным, при продвижении с востока на запад меняются условия питания рек. Так, в водосборе Кокчи в питании реки сравнительно существенную роль играют высокогорные снега и ледники и она относится к типу рек ледниково-снегового питания. Соседняя с Кокчей р. Кундуз уже является типичной представительницей рек снегово-ледникового питания с наибольшим стоком в июне. Река Балхаб хотя и относится к рекам снегово-ледникового питания, но наибольший сток у нее проходит в мае, а р. Кайсар является рекой снегово-дождевого питания.

Все рассматриваемые реки в общем находятся в крайне неблагоприятных условиях увлажнения атмосферными осадками. Некоторое исключение представляет восточная часть территории. Здесь даже на равнинах годовая сумма осадков, по-видимому, несколько превышает 300 мм (г. Кундуз, табл. 1). В пригребневой части Гиндукуша, согласно данным метеостанции Саланг Северный (абс. высота 3350 м), годовая сумма осадков может приближаться к 1200 мм, а на северо-западном склоне Гиндукуша, в пределах водосбора р. Кокчи, вероятно, достигать 1500 мм. Такие большие годовые суммы атмосферных осадков являются полной неожиданностью, так как литературные источники свидетельствуют о чрезвычайно малом количестве осадков в Северном Афганистане.

К западу условия увлажнения ухудшаются. В г. Мазари-Шариф (325 м) годовая сумма осадков равна 200 мм, а на крайнем северо-западе падает до 150 мм и, возможно, менее. Неудивительно поэтому, что удельная водоносность рассматриваемых рек крайне низка и только в водосборе р. Кокча достигает 8 л/сек. км². На западе она уже исчисляется долями л/сек. В отношении удельной водоносности левые притоки Пянджа и Аму-Дарьи, таким образом, являются как бы противоположностью большинству правобережных притоков, отличающихся самой высокой удельной водоносностью в Средней Азии.

Внутригодовое распределение осадков (табл. 1) характеризуется почти полным отсутствием их в период июнь — октябрь даже на высотах более 3000 м. Так, по данным метеостанции Саланг Северный за указанный период выпадает менее 4% годовой суммы. Наибольшее количество осадков выпадает весной. Тем не менее, правда редко, летом проходят интенсивные ливни, образующие сели и селевые паводки. Ледовые образования на реках Афганистана развиты очень слабо. В пределах равнин и низкогорного пояса они встречаются редко в суровые зимы в виде заберегов и неинтенсивных шугоходов. Только высоко в горах ледовые образования представлены полнее. В данной работе ледовые явления не рассматриваются.

2. Гидрографические описания и режим рек

Река Кокча

($L=280$ км, $F=21100$ км²)

Гидрографическое описание. Река Кокча, носящая в верхнем течении название Джурм, образуется слиянием рек Анджуман и Мунджан, питающихся на северных склонах Гиндукуша. Крупнейшим притоком Кокчи является р. Вардудж (правый).

Месячные и годовые суммы атмосферных осадков, мм

Станция	Абсолютная высота станции, м	Период наблюдений	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Файзабад	1200	VI 1963—64	20	96	107	141	38	4	8	0	0	2	41	21	478
Саланг Северный . . .	3350	1962—63	39	170	245	268	253	11	6	1	7	21	91	77	1189
Баглан	510	1958—64	30	36	72	69	37	0	0	0	0	3	30	17	294
Кундуз	350	1959—64	(32)	56	65	62	38	0	4	0	0	6	32	20	315
Мазари-Шариф	325	1958—64	25	34	42	43	18	0	0	0	0	1	18	23	204
Шибарган	360	VI 1963—64	46	5	26	26	0	0	0	0	0	1	12	48	164
Меймене	854	1958—64	34	55	85	81	51	3	0	0	0	6	32	29	376

Река Анджуман ($L=90$ км) протекает в узкой горной долине, часто представляющей собой скалистое ущелье, ограниченное почти отвесными склонами. На реке встречаются пороги и водопады. Лишь в небольших расширениях долины имеют место маленькие участки поливных земель.

На участке от слияния рек Анджуман и Муиджан до устья р. Вардудж (90 км) долина реки ограничена крутыми склонами отрогов хребтов Ходжа-Мухаммед и Тирган. В верхней части участка, до с. Гарми река протекает в узкой долине, часто переходящей в ущелья, где склоны, сложенные гранитами, глинистыми и кварцитовыми сланцами, круто, а нередко почти отвесно, спускаются к ее берегам. Ниже с. Гарми, на протяжении 20—25 км, долина становится более просторной: появляются рощи, фруктовые сады и значительные участки пахотных земель, орошаемых из небольших притоков реки. Далее, до г. Джурм, река течет по глубокому ущелью, носящему название Танги-Бадахшан. Ущелье у г. Джурм переходит в широкую долину, имеющую форму треугольника. Здесь в реку впадает наибольший ее приток — р. Вардудж. Дно долины занято орошаемыми землями. Ниже устья р. Вардудж водность реки увеличивается почти вдвое.

На участке от впадения р. Вардудж до устья ($L=190$ км) относительные высоты окаймляющих долину горных хребтов значительно понижаются и склоны их становятся менее крутыми. Ширина долины колеблется от 0,5 до 2 км. Местами (г. Файзабад, устье р. Кишм и др.) долина образует озеровидные расширения, где обычно расположены населенные пункты, окруженные садами и пахотными землями.

При подходе к мосту Пулишим Кокча течет меж гор узким каменистым глубоким руслом с высотой берегов до 50 м и больше. У названного моста река выходит из гор на плоскую местность и на протяжении последних 14 км до р. Пяндж несет свои воды по галечниковому конусу выноса большим числом переплетающихся между собой рукавов, часть воды из которых забирается на орошение имеющимися здесь каналами Нар-Арчи (левый) и Новобад (правый). Средний суммарный расход этих каналов в июле—сентябре 1964 г. был равен $15 \text{ м}^3/\text{сек}$. Наибольший расход первого канала в это время составлял 17, а второго $4 \text{ м}^3/\text{сек}$. В бассейне р. Кокча орошается около 50 000 га земель.

Река Вардудж (в верховьях Санглич). До г. Зебак река протекает в узкой долине, которая местами представляет собой ущелья, ограниченные крутыми и скалистыми склонами. На остальном протяжении долина более широкая (1—2 км) и имеет узкую, плоскую, местами заболоченную пойму. Немногочисленные населенные пункты окружены садами и пастбищами. Встречаются небольшие участки пахотных земель.

Летом в среднем и нижнем течении ширина реки 10—20 м. Река Вардудж формирует свой сток на северо-западном склоне Гиндукуша, наиболее увлажненном в Северном Афганистане. Это обстоятельство и значительная высота хребта способствуют здесь широкому распространению вечных снегов и ледников.

Питание. Режим жидкого стока. Среди рассматриваемых рек водосбор Кокчи обладает наибольшей высотой. Согласно различным картографическим источникам, средняя взвешенная высота водосбора с небольшим округлением лежит в пределах 2880—3020 м. Высоты более 4000 м занимают в нем 14%, более 3000 м — 47—51,6% площади водосбора, а менее 2000 м — 21—24%. Большая высота Гиндукуша, на северном и северо-западном склонах которого формируется сток всех основных притоков и составляющих Кокчи, приводит к тому, что в водосборе реки значительное развитие получают оледенение, многолетние

снежники и вечные снега. По этой причине р. Кокча должна быть отнесена к рекам ледниково-снегового питания.

Согласно наблюдений 1964—1965 гг., в 1 км ниже моста Пулившим (или в 13 км от устья), где кончается водосборная часть бассейна, наибольших значений месячный сток Кокчи достигает в июле. Правда, июньские расходы мало уступают июльским (табл. 2), но августовские расходы воды существенно больше майских. В целом сток июля—сентября составляет 41,9% годового, а сток марта—июня 38,8%, т. е. немного меньше стока за летний период. Отношение объемов стока за упомянутые периоды (δ) равно 1,08 (табл. 3).

Таким образом, р. Кокча, хотя и относится к рекам ледниково-снегового питания, но едва выходит за грань отделяющую реки этого типа от рек снегово-ледникового питания.

Сток за октябрь—февраль у Кокчи довольно высокий, хотя и уступает всем другим крупным левобережным притокам Пянджа и Аму-Дарьи. Он составляет 19,3% годового стока, что свидетельствует о хорошей естественной зарегулированности стока р. Кокча. Об этом говорит и значение коэффициента внутригодовой неравномерности стока, который у Кокчи равен 0,30.

Небезынтересно заметить, что зарегулированность стока правобережных притоков, как правило, ниже. Достаточно напомнить, что все правые притоки Пянджа, Вахша и правые притоки Аму-Дарьи имеют значения коэффициентов внутригодовой неравномерности стока, превышающие 0,30, а некоторые и 0,40. Высокая зарегулированность стока, как это будет видно из дальнейшего, вообще свойственна всем крупным левобережным притокам.

На большей части протяжения в пределах водосбора Кокчи Гиндукуш имеет северо-западную экспозицию, безусловно более благоприятно ориентированную по отношению к влажным воздушным массам, чем северная. Это обстоятельство способствует выпадению значительного количества атмосферных осадков. Основываясь на кратковременных наблюдениях за стоком и на данных метеостанций, приходится допустить, что в пригребневой части Гиндукуша годовая сумма осадков местами должна достигать 1500 мм. Отсюда довольно значительная удельная водоносность водосбора Кокчи, существенно превышающая таковую всех остальных левобережных притоков. Действительно, согласно наблюдениям за 1964 (неполный) и 1965 гг., средний расход р. Кокча составляет 168 м³/сек., что дает модуль стока 8,0 л/сек. км² или слой стока 250 мм. Такие величины удельной водоносности больше не встречаются в Северном Афганистане. Интересно отметить асинхронность колебаний годового стока левобережных притоков. Так, например, по водности 1964 и 1965 гг. у р. Кокча почти одинаковы, у р. Кундуз первый год маловодный, а второй—многоводный, у р. Балхаб оба года весьма близки по водности. Асинхронность колебаний годового стока затрудняет оценку водности 1964 и 1965 г. в многолетнем разрезе. Более подробно об этом будет сказано при рассмотрении режима Кундуза—единственной реки со сравнительно продолжительным рядом наблюдений.

Максимальный срочный расход воды р. Кокча был зарегистрирован 30/VI 1964 г. и составил округленно 800 м³/сек. (табл. 2). П. М. Зарудневым по следам высоких вод на участке выше моста максимальный расход приблизительно 2%-ной обеспеченности установлен в размере 1500 м³/сек. Наименьший средний месячный расход зарегистрирован в 66,0 м³/сек. (январь 1965 г.).

Среднемесечные расходы воды рек Северного Афганистана, м³/сек.

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год	Максимальный	
														расход	дата
р. Кокча — 1 км ниже моста Пулиштим															
1964	—	—	—	—	192	434	455	263	157	102	77,8	63,7	(173)	805	30/VI
1965	66,0	73,3	81,4	112	164	385	421	239	149	107	95,7	79,4	164	586	20/VI
р. Кундуз — г. Пули-Хумри															
1950	—	—	—	—	—	265	180	53,1	42,9	41,8	39,8	39,4	(72,2)	—	—
1951	40,0	39,1	35,5	30,6	115	177	107	51,8	35,4	38,1	39,0	39,4	62,4	—	—
1952	38,8	37,3	37,9	60,0	115	165	103	48,1	36,3	36,2	36,6	39,5	62,8	—	—
1953	39,4	38,0	37,8	37,9	108	332	203	59,6	43,0	41,4	40,4	39,1	85,0	—	—
1954	40,9	40,4	38,1	44,1	103	215	113	65,0	43,2	42,5	41,4	40,5	68,7	—	—
1955	41,4	37,0	36,8	41,2	79,2	442	270	94,9	47,5	45,0	43,6	41,3	102	—	—
1956	39,4	38,2	36,3	39,6	117	75,4	84,2	71,3	36,3	35,7	36,9	38,9	54,1	—	—
1957	38,7	33,2	33,3	36,3	59,1	279	191	65,6	—	—	—	—	(74,8)	—	—
1958	31,2	27,0	29,2	48,8	98,4	264	207	68,2	41,0	38,1	33,8	33,0	76,6	—	—
1959	29,4	28,2	28,4	41,8	93,1	228	111	48,2	35,8	33,1	31,1	26,8	61,2	—	—
1960	25,1	25,8	24,3	35,5	95,0	240	226	81,9	41,5	37,0	31,3	29,2	74,4	—	—
1961	26,4	24,7	25,5	26,8	82,6	190	99,3	41,1	30,0	26,6	26,8	24,0	52,0	—	—
1962	23,3	24,0	27,5	47,7	110	213	114	49,2	34,4	32,4	28,6	26,0	60,9	—	—

1963	25,1	24,8	24,5	30,9	80,9	261	96,8	40,2	28,4	30,4	26,0	23,2	57,7	—	—
1964	20,0	20,5	20,2	29,3	61,1	187	135	45,9	30,0	25,6	25,0	24,2	52,0	—	—
1965	22,2	22,9	23,0	36,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

р. Кундуз — 3 км ниже устья р. Нахраин

1964	—	—	—	—	65,1	178	118	34,4	23,7	31,1	33,1	38,9	(58,5)	268	23/V
1965	38,6	42,2	42,0	53,1	84,9	240	183	55,0	32,4	37,2	38,4	40,1	73,9	329	23/V

р. Хульм (Ташкуртан) — 17 км выше г. Ташкуртан

1965	1,21	2,07	2,39	2,43	4,83	1,41	1,16	0,96	1,23	1,50	1,98	2,21	1,95	28,0	8/V
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

р. Балхаб — с. Рабатбала

1964	—	—	—	64,7	126	99,1	53,7	38,3	38,1	39,6	39,3	37,6	(54,7)	152	20/V
1965	37,4	36,8	39,6	47,9	126	132	68,2	35,3	31,0	32,5	30,6	29,6	53,9	700	7/V

р. Сари-Пуль — 2 км выше г. Сари-Пуль

1964	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,80	7,42	7,38	—	—	—
1965	7,32	7,96	8,95	9,94	9,45	7,46	5,72	5,45	6,91	7,96	7,27	6,71	7,59	38,2	6/V

р. Кайсар — 2 км ниже слияния рек Кайсар и Ширинтаго

1964	—	—	—	—	—	1,41	1,37	1,19	1,12	2,25	3,05	3,18	—	—	—
1965	3,74	5,18	6,62	8,86	4,53	1,52	0,93	0,93	0,85	2,14	2,81	(2,87)	3,42	44,9	23/IV

Внутригодовое распределение стока воды на реках Северного Афганистана

Река	Пункт	Сток (в % от годового)																
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III-VI	VII-IX	X-II	Σ	μ
Кокча	1 км ниже моста Пулишм .	3,3	3,6	4,0	5,6	8,8	20,4	21,8	12,5	7,6	5,1	3,9	3,4	38,8	41,9	19,3	1,08	0,30
Кундуз	г. Пули-Хумри	4,0	3,8	3,7	4,8	11,6	29,0	18,4	7,3	4,7	4,4	4,2	4,1	49,1	30,4	20,5	0,62	0,34
Кундуз	3 км ниже устья р. Нахрайн .	4,9	5,4	5,3	6,7	9,5	26,5	19,0	6,3	3,4	3,9	4,2	4,9	48,0	28,7	23,3	0,60	0,30
Хульм	17 км выше г. Ташкурбан . . .	5,2	8,8	10,2	10,4	20,6	6,0	5,0	4,1	5,3	6,4	8,5	9,5	47,2	14,4	38,4	0,30	
Балхаб	кишл. Рабатбала	5,6	5,5	6,0	8,5	19,0	17,4	9,2	5,5	5,7	6,0	5,9	5,7	50,9	20,4	28,7	0,40	0,21
Сари-Пуль	2 км выше г. Сарипуль	(8,2)	(8,8)	(10,0)	(11,0)	(10,5)	(8,3)	(6,4)	(6,1)	(6,7)	(7,6)	(8,2)	(8,2)	(39,8)	(19,2)	(41,0)	(0,48)	0,07
Кайсар	2 км ниже слияния рек Кайсар и Ширинтаго	8,9	12,2	15,7	21,0	10,7	3,5	2,8	2,5	2,7	5,3	7,2	7,5	50,9	8,0	41,1	0,16	0,27
Мургаб	Сеин-Али	6,1	6,5	7,8	13,0	15,3	11,9	8,0	6,5	6,2	6,1	6,3	6,3	48,0	20,7	31,3	0,43	0,15
"	г. Тахта-Базар	5,6	6,2	8,6	14,9	17,4	11,9	7,3	5,6	5,4	5,6	5,7	5,8	52,8	18,3	28,9	0,35	0,19
Кашан	с. Кульджа	6,0	12,5	24,6	33,1	13,8	0,9	0,1	0,0	0,1	0,4	2,8	5,7	72,3	0,2	27,5	—	0,50
Кушка	уроч. Палач-Пая	5,8	10,8	28,3	39,8	9,3	0,6	0,0	0,0	0,0	0,3	1,4	4,1	78,6	0,05	21,4	—	0,55

Начиная с февраля на р. Кокча отмечаются обычно небольшие по размерам дождевые пики. Осенью и зимой падение расходов плавное. В 1964 и 1965 гг. дожди в формировании максимальных расходов воды участия не принимали, что свойственно рекам ледниково-снегового питания, у которых лишь в редкие годы большие максимумы формируются при участии дождей.

Твердый сток. Учет стока взвешенных наносов в 1964 г. производился у моста, а в 1965 г. — в 1,5 км ниже него. Переходный коэффициент от мутности в точке к средней по живому сечению в 1964 г. равнялся 1,0, а в 1965 г. — 1,8.

Средний расход взвешенных наносов с октября 1964 г. по сентябрь 1965 г. составил с некоторым округлением 360 кг/сек., что дает сток в 11 млн. т/год, а вынос взвешенных наносов с 1 км² водосбора за этот период был равен 520 т/год. Средняя мутность воды составляла 2,2 кг/м³ (табл. 4, 5).

Таким образом, по мутности воды р. Кокча в два раза уступает Вахшу при выходе его из гор, по стоку взвешенных наносов почти в девять раз и по выносу взвешенных наносов с 1 км² водосбора больше чем в пять раз. Наибольшая мутность воды у Кокчи намного опережает наибольший расход воды: первая в 1965 г. имела место в апреле, а второй — в июле. Максимальный сток взвешенных наносов в 1965 г. наблюдался в апреле, мае и августе: в первых двух месяцах из-за больших мутностей воды (соответственно 7,70 и 5,20 кг/м³), а в августе благодаря большим расходам воды. Только за апрель — июль Кокча проносит 75% годового стока взвешенных наносов. За октябрь — январь сток взвешенных наносов составляет менее 0,8% годового. 17/VII 1964 г. на р. Кокча была зарегистрирована мутность в 148 кг/м³. В это время на реке наблюдался плавный спад расходов воды. По этой причине столь большая мутность вызывает сомнения, хотя и возможна. Она могла быть вызвана или прохождением селей на небольших притоках, которые не были зарегистрированы двухсрочными наблюдениями за уровнем, или обрушением берегов.

По этой причине в табл. 5 мутность воды и расходы взвешенных наносов за июль даны в двух вариантах: с учетом мутности за 17/VII и без учета ее.

В приложении 4 даны гранулометрические анализы взвешенных наносов. Они показывают большую пестроту содержания различных фракций наносов. Так, в 1964 г. в наносах явно преобладали частицы диаметром 0,25—0,05 мм, а в 1965 г. — 0,05—0,005 мм.

Река Кундуз ($L=420$ км, $F_{\text{в}}=31300$ км²)

Гидрографическое описание. Истоком реки считается р. Баиан. Основные притоки: Сайган (левый), Камерд (левый), Андараб (правый) и Ханабад или Таликан (правый). Река прорезает Гиндукуш узким ущельем часто с отвесными склонами. Дно ущелья вмещает только русло реки и дорогу. Через 9 км отвесные склоны встречаются уже редко, но ширина долины остается по существу той же. На 36-м км долина становится несколько просторнее, появляется более или менее плоское дно, ширина которого 100—200 м, встречаются клочки обработанной земли. Скорости течения уменьшаются. Такой характер долина сохраняет до 49 км. На 49-м км долина снова сужается, уклоны русла возрастают. Вдоль русла заросли тамариска, тала, клена, дикого урюка,

Среднемесечные расходы взвешенных наносов рек Северного Афганистана, кг/сек.

Река, станция	Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Кокча — мост Пулиштим	1964	—	—	—	—	—	—	$\frac{3600^*}{1050}$	244	31,4	5,10	2,33	5,38	—
	1965	11,2	189	242	862	853	605	927	273	26,8	19,3	282	21,4	359
Хульм — Ташкурган	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1965	0,56	2,46	4,32	10,9	79,6	1,17	4,34	2,66	(0,44)	0,75	—	—	—
Балхаб	1964	—	—	—	148	253	128	45,1	5,36	2,28	1,58	1,96	2,26	—
	1965	1,50	8,10	34,0	100	941	—	54,6	—	—	—	—	—	—
Сари-Пуль	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,47	3,78	5,68	—
	1965	6,88	21,5	61,3	56,1	105	—	4,00	2,78	2,07	2,86	3,20	3,82	—
Кайсар	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(2,88)	(7,01)	(7,28)	—
	1965	28,3	33,8	88,0	(281)	117	—	0,66	1,43	0,47	(2,61)	4,75	(3,73)	—

* В числителе — расход взвешенных наносов с учетом мутности за 17/VII, в знаменателе — с исключением ее.

Среднемесечная мутность воды рек Северного Афганистана, кг/м³

Река, станция	Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кокча — мост Пулиштим	1964	—	—	—	—	—	—	$\frac{7,90^*}{2,31}$	0,93	0,20	0,05	0,03	(0,08)
	1965	0,17	2,58	2,98	7,70	5,20	1,57	2,20	1,14	0,18	0,18	2,95	0,27
Хульм (Ташкурган)	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(0,55)	(0,53)	(0,77)
	1965	0,46	1,19	1,81	4,48	16,5	0,83	3,74	2,77	(0,36)	0,50	—	—
Балхаб	1964	—	—	—	2,29	2,01	1,29	0,84	0,14	0,06	0,04	0,05	0,06
	1965	0,04	0,22	0,86	2,09	7,47	—	0,80	—	—	—	—	—
Сари-Пуль	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	(0,25)	0,51	0,51	0,77
	1965	0,94	2,70	6,85	5,65	11,1	—	0,70	0,51	0,30	0,36	0,44	0,57
Кайсар	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(1,28)	(2,30)	2,29
	1965	7,57	6,52	13,3	31,8	(25,8)	—	0,71	1,54	0,55	(1,22)	1,69	1,30

* В числителе — среднемесечная мутность, подсчитанная с включением единичной мутности 148 кг/м³ (от 17/VII), в знаменателе — с исключением ее.

барбариса, джиды, тополя и шиповника. Такой же растительностью покрыты островки. На склонах инжир, шиповник. Ширина реки 10—20 м. К 78-му км появляется плоское дно долины шириной 50—150 м, кое-где занятое посевами пшеницы. На 78-м км в реку впадает р. Камерд, ниже устья которой расположено с. Дуоб. Перед самым устьем р. Камерд дно долины расширяется до 200—250 м. На протяжении 5 км оно имеет ширину не менее 120 м. На этом участке долина возделывается. Русло реки извилистое, шириной 20—25 м (в конце мая), часто разветвленное. Долина р. Камерд в приустьевой части шире долины Сурхоба (350—450 м) и вся занята садами, полями и селениями. Камерд протекает в одном очень извилистом русле шириной близ устья 7—8 м. Расход воды 27/V 1957 г. был порядка 10—15 м³/сек. На участке между 83 и 137-м км ширина плоского дна долины Сурхоб 200—300 м, местами оно сужается до 50—100 м, местами расширяется. Долина обжита слабо; посевов и древесной растительности мало. Лишь к концу участка долина более обжита. Ширина реки 10—15 м. На этом участке имеются два наиболее значительных расширения долины: 1) между 99 и 105-м км, в начале которого впадает слева приток Сурхоба; здесь ширина объединенной долины достигает 800—900 м и 2) между 110 и 116-м км, в конце которого впадает р. Ашраф, а в начале расположено с. Барфак. Ширина долины здесь достигает 2—2,5 км. Долина засеяна и обрабатывается.

Между 137 и 179-м км долина имеет ширину до 1 км. С обеих сторон в нее выдвинуты конусы выноса небольших притоков. Дно долины этими конусами как бы сужается, а русло отжимается то к одному, то к другому коренному ее берегу, делая излучины. Конусы выноса подпирают реку и выше них образуются расширения русла с островами, а местами река разливается.

На 180-м км в Кундуз впадает р. Андераб. Долина здесь, до 187-го км, расширяется, в ней расположено с. Доши, поля и сады, русло реки разветвленное. На 187—202-м км долина сравнительно узкая, местами расширяющаяся, местами (в особенности на 193-м км) сужающаяся. Река по преимуществу течет в одном русле, ширина которого 30—50 м. Конусы выноса притоков часто подрезаются рекой.

На 202-м км река выходит в так называемую «Келачайскую пустыню». Здесь долина реки резко расширяется до 4—4,5 км. Полосой вдоль реки протягиваются поля и сады. На 215-м км пустыня заканчивается и начинается ущелье. Дорога уходит в обход этого ущелья и возвращается к реке на 223-м км. Здесь долина имеет ширину по дну 1,5 км. Ширина реки — 70—80 м. Через 10 км — г. Пули-Хумри. В районе города ширина долины 1,5 км, ширина реки 70—80 м. На 239-м км долина слева расширяется, а на 243-м км сужается до прежних размеров. На 249-м км снова расширение долины (меньшее чем на 239-м км) за счет левого коренного берега. Через 1 км долина снова сужается по дну до 1—1,5 км. Река протекает по преимуществу в одном русле шириной 70—80 м. Такой характер долина имеет до 256-го км, где имеется паромная переправа через Кундуз. Отсюда долина начинает расширяться и достигает ширины 15 км, а возможно и более. Это начало Багланского оазиса — одного из наиболее густо заселенных и обрабатываемых в бассейне Кундуза. Багланский оазис протягивается более чем на 30 км (до 289-го км) и сплошь занят орошаемыми полями, садами, селениями. На 289-м км долина Кундуза сужается до 1 км. Река течет по преимуществу в одном русле шириной 80—100 м. На 291-м км долина сужается до 150 м, но вскоре имеет место котловинообразное расширение, в котором река делает излучину, ширина русла 70—100 м. На 296-м км долина снова сужается до 1 км и снова следует котловинообразное расширение.

по дну которого река сильно меандрирует. Дно долины не обжито, посевов и деревьев нет, местами ширина русла 30—40 м. На 301-м км ширина долины по дну 200—300 м, а на 303-м км увеличивается до 1 км. В долине появляются небольшие поля, деревья. С 289 по 304-й км река производит впечатление миниатюрной Аму-Дарьи и протекает в суглинистых обрывистых берегах, несущих на себе следы дейгиша (трещины, параллельные берегу). Течение реки относительно медленное и плавное. Мутность воды очень высокая. Русло меандрирует. С 304-го км река разбивается на рукава, скорости течения возрастают. Облик равнинной реки исчезает. До 311-го км долина реки не освоена. С 311-го км появляются небольшие поля, деревья. На 316-м км долина постепенно расширяется, а через 1 км начинается сел. Алиабад, после которого река выходит на приамударьинскую равнину. Здесь кончается водосбор реки. В пределах равнины долина широкая, пойменная, плоское дно ее местами заболочено. Заболоченные участки поросли камышом. Русло имеет обрывистые суглинистые берега высотой 2—10 м. Ширина реки 40—100 м; глубина в низовьях до 2,5—3,0 м.

Река Андараб ($L=125$ км). Река протекает в основном по широкой долине (1—3 км). Долина густо заселена, хорошо орошена; населенные пункты утопают в зелени садов. В нижнем течении ширина реки 20—40 м.

Ханабад (Таликан), $L=180$ км. В верхнем течении носит название Фархар. У г. Таликан река протекает по широкой долине, дно которой местами заболочено. Вода реки интенсивно разбирается на орошение.

Основные притоки р. Ханабад принимают слева уже в пределах равнинного участка. 30/V 1957 г. у паромной переправы расход воды был порядка 30—40 м³/сек.; мутность воды была значительно меньшей, чем в р. Кундуз.

Питание. Режим жидкого стока. Водосбор Кундуза выше г. Пули-Хумри, где ведется учет стока реки¹, имеет площадь 17 250 км² и среднюю взвешенную высоту 2730 м. Река Кундуз, как уже отмечалось, выходит из гор у с. Алиабад. Выше этого селения площадь водосбора Кундуза составляет 22 570 км², а средняя взвешенная его высота равна 2410 м. Высоты более 3000 м в водосборе Кундуза занимают 33% его площади, а менее 2000 м — 36%. Водосбор рек Фархар, Банги, Ишкамиш и Шораб и составляет 8760 км². Его средняя взвешенная высота 2250 м (табл. 6).

Наличие в водосборе Кундуза вершин с отметкой более 4000 м (одна превышает 5000 м) определяет некоторое развитие в восточной его части вечных снегов и, возможно, даже ледников. Однако, если в водосборе р. Кокчи высоты более 4000 м занимали 14%, то в водосборе Кундуза выше г. Пули-Хумри — всего 4%, а в водосборе в целом (у с. Алиабад) — всего 2%.

Таблица 6
Морфометрические
характеристики бассейна
р. Ханабад

Река	Площадь водосбора, км ²	Средняя взвешенная высота водосбора, м
Фархар	1490	2065
Банги	4390	2348
Ишкамиш	2040	2568
Шораб	840	1293
Весь водосбор Ханабада	8760	2250

¹ Учет стока р. Кундуз ведется на ГЭС Пули-Хумри. Расходы, пропускаемые через турбины, определяются по выдаваемой мощности, а расходы, сбрасываемые через плотину, — по величине открытия затворов. Расходы воды р. Кундуз являются весьма приближенными.

Этим объясняется то, что р. Кундуз является типичной представительницей рек снегово-ледникового питания. В целом режим р. Кундуз близок к режиму р. Чирчик, у которой средняя взвешенная высота водосбора равна 2548 м, т. е. на 182 м ниже высоты водосбора р. Кундуз, выше г. Пули-Хумри и на 148 м выше всего водосбора Кундуза. Наибольших значений величина месячного стока у р. Кундуз как в районе г. Пули-Хумри, так и ниже устья р. Нахраин (табл. 2), где советскими гидрологами было организовано в 1964 г. изучение режима р. Кундуз, достигает в июне. Июльские расходы больше майских, тогда как у Чирчика наблюдается обратная картина. По сравнению с Чирчиком половодье на Кундузе наблюдается несколько позже, как правило, в апреле, поэтому в некоторые годы наименьшие месячные расходы имеют место в марте, хотя чаще они наблюдаются зимой, так же как и на Чирчике. В некоторые годы минимальные расходы встречаются и в сентябре, что является результатом разбора воды на орошение. Уменьшение расходов в сентябре более четко (рис. 3) проявляется в створе ниже устья р. Нахраин, что объясняется дополнительным разбором воды на орошение ниже г. Пули-Хумри, главным образом Багланского оазиса. Отношение стока за периоды июль — сентябрь и март — июнь у Кундуза равно 0,62 у г. Пули-Хумри и 0,60 ниже устья р. Нахраин (табл. 3). У Чирчика это отношение у с. Ходжикент равно 0,61. Весной у р. Кундуз, так же как и у р. Кокча, могут наблюдаться дождевые паводки. Очень редко они имеют место еще в июне, июле и августе, но начиная с сентября расходы воды довольно устойчивы. По внутригодовой зарегулированности стока р. Кундуз очень близка к Чирчику (коэффициент внутригодовой неравномерности стока у Чирчика и у Кундуза в районе г. Пули-Хумри равен 0,34). Если по внутригодовому распределению стока можно до известной степени проводить аналогию между реками Кундуз и Чирчик, то по удельной водоносности о такой аналогии не может быть и речи. Река Чирчик, расположенная в западном Тянь-Шане на периферии горной системы, с водосбором, благоприятно ориентированным к влажным воздушным массам, отличается высокой удельной водоносностью (20,7 л/сек. км²). В противоположность водосбору Чирчика водосбор Кундуза характеризуется низкой удельной водоносностью. С 1 км² водосбора Кундуза выше г. Пули-Хумри ($F=17\,250$ км²) стекает всего 3,9 л/сек., т. е. в 5,3 раза меньше, чем с 1 км² водосбора Чирчика. Удельная водоносность Кундуза в створе ниже устья р. Нахраин еще меньше.

По абсолютной водоносности р. Кундуз также значительно уступает р. Чирчик. Если у последней в створе у с. Ходжикент средний многолетний расход воды равен 224 м³/сек., то у р. Кундуз в створе г. Пули-Хумри он равен 67,6 м³/сек., а ниже устья р. Нахраин за 1964 (неполный) и 1966 гг. — 66,2 м³/сек. Колебания годового стока у р. Кундуз характеризуются коэффициентом вариации $C_v=0,20$. Таким образом, амплитуда колебаний годового стока у р. Чирчик ($C_v=0,21$) и р. Кундуз близка.

Наибольший средний годовой расход воды в г. Пули-Хумри наблюдался в 1955 г. (102 м³/сек.), наименьший — в 1961 и 1964 гг. (52 м³/сек.). Колебания годового стока несинхронны с колебаниями многих рек Северного Афганистана и правобережных притоков Аму-Дарьи (рис. 4). По этой причине средние годовые расходы Кундуза не связываются со средними годовыми расходами воды других рек с более длительным рядом наблюдений. Это обстоятельство не позволяет удлинить ряд наблюдений на р. Кундуз и оценить имеющийся ряд наблюдений в многолетнем разрезе. Интересно отметить, что в 1965 г. средний расход р. Кундуз был

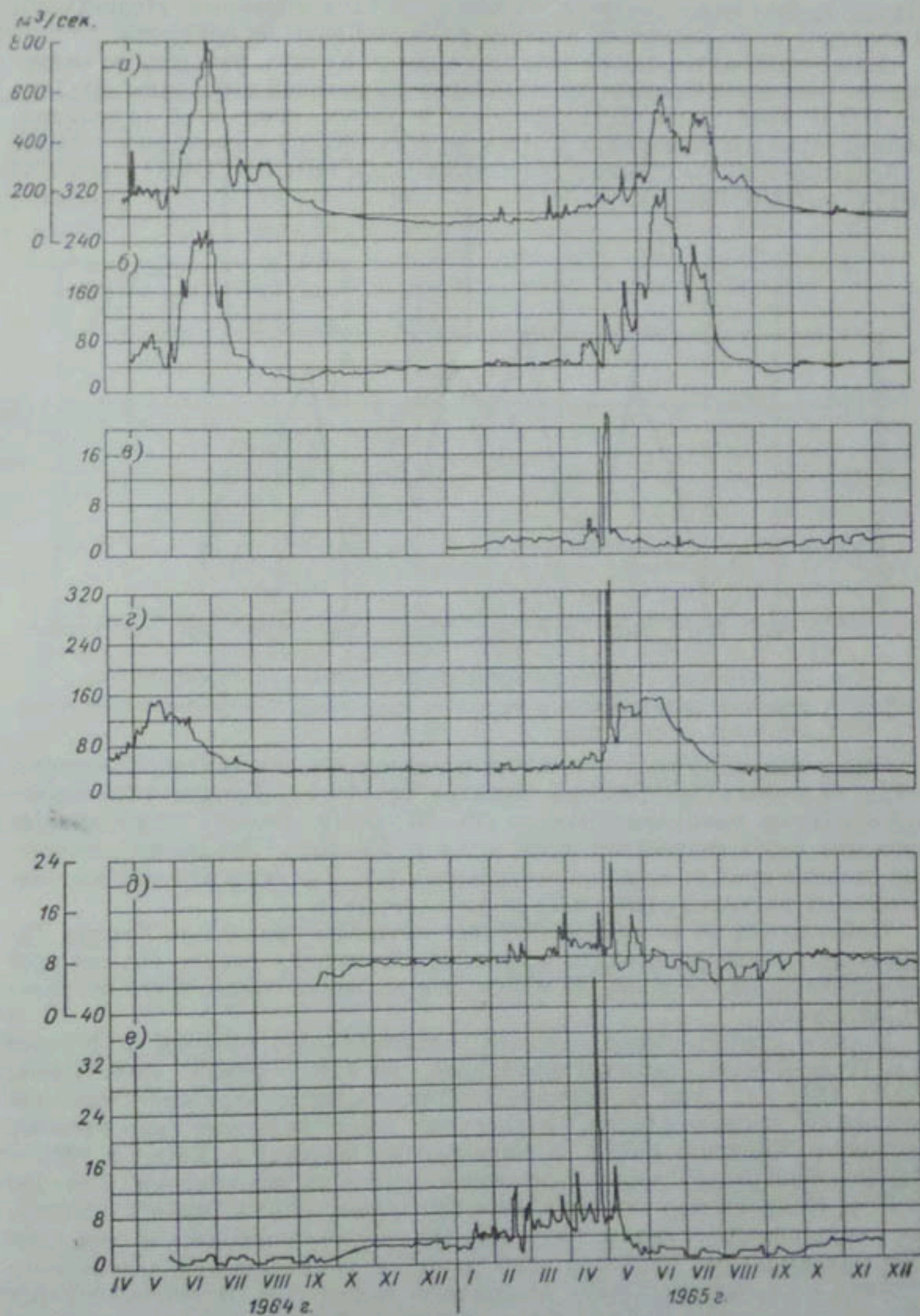


Рис. 3. Гидрографы рек Северного Афганистана.
Усл. обозн. см. на рис. 2.

выше среднего многолетнего, тогда как на правобережье Пянджа и Аму-Дарьи он был ниже среднего. Режим р. Кундуз в створе г. Пули-Хумри и особенно ниже несколько изменен разбором воды на орошение.

Ниже приводятся также расходы воды р. Кундуз, измеренные гидрологами института Средазгипроводхлопок у паромной переправы Ак-Тепе (с 27/XII 1964 г. по 20/IV 1965 г.), в 25 км ниже этой переправы, вблизи устья у с. Аскархана (с 13/V по 2/XI 1965 г.) и расходы у того же с. Аскархана по измерениям гидрологов САОГИДРОПРОЕКТА (с 20/XI 1965 г. по 22/II 1966 г.).

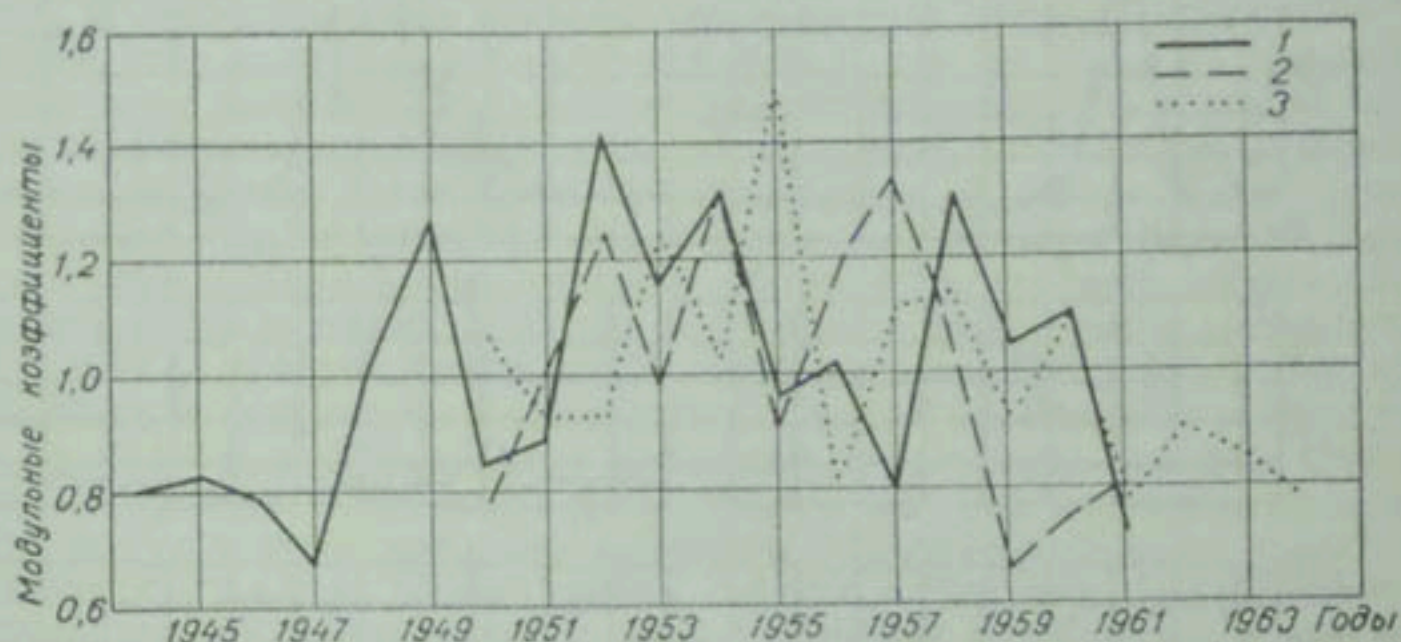


Рис. 4. Совмещенный хронологический график модульных коэффициентов.

1— р. Кундуз—п. Пули-Хумри, 2— р. Мургаб—п. Тахта-Базар, 3— р. Кафиринаган—п. Чинар.

Они свидетельствуют о том, что в период межени (октябрь — март), когда не происходит разбора воды на орошение, Кундуз сбрасывает в Аму-Дарью приблизительно на 30—35 м³/сек. больше воды, чем ее проходит через гидроствор ниже устья р. Нахрайн. Указанное увеличение связано прежде всего с поступлением в р. Кундуз в эти месяцы значительных расходов притока Таликан (Ханабад).

Наблюдения за режимом наиболее крупного притока р. Кундуз Таликан не производились. По весьма приближенной оценке его средний многолетний расход равен 25 м³/сек. Эта величина скорее всего несколько занижена.

Весьма приближенное значение максимального расхода р. Кундуз в г. Пули-Хумри, зарегистрированное на ГЭС, равно 1400 м³/сек. (28/IV 1941 г.). Судя по времени его прохождения, этот максимум был дождевого происхождения, аналогично максимальному апрельскому расходу р. Чирчик в 1959 г. и апрельскому расходу р. Кабул в 1965 г. Наибольший расход воды, в основном талого происхождения, в створе ниже р. Нахрайн не превышал пока 330 м³/сек. (23/VI 1965 г.). Сказанное свидетельствует о том, как осторожно нужно подходить к определению максимальных расходов воды даже на реках снегово-ледникового питания и со значительными площадями водосборов. В течение многих лет на таких реках наблюдаются главным образом талые максимумы, а раз в несколько десятков лет дождевой максимум может значительно превысить талые, как об этом свидетельствуют последние годы на реках Чирчик, Кабул и других.

Твердый сток. Сведения о твердом стоке р. Кундуз еще более ограничены, чем данные по р. Кокча. Определения мутности воды р. Кундуз

Измеренные расходы р. Кундуз

Дата	Q м³/сек.	Дата	Q м³/сек.	Дата	Q м³/сек.	Дата	Q м³/сек.
Паром Ак-Тепе				с. Аскархана			
27/XII-64	82,8	13/VI-65	108	7/XII-65	86,0	22/I-66	64,4
21/I-65	64,0	28/V-65	145	12/XII-65	92,6	29/I-66	55,6
9/II-65	83,3	5/IX-65	44,2	21/XII-65	83,9	5/II-66	57,7
3/III-65	66,4	2/XI-65	80,2	30/XII-65	83,5	14/II-66	61,0
14/IV-65	60,0	20/XI-65	93,3	8/I-66	79,9	22/II-66	71,2
20/IV-65	91,4	27/XI-65	88,2	15/I-66	69,5	—	—

производились главным образом в постоянной точке ниже впадения р. Нахрайн. К сожалению, число их недостаточно для подсчета стока взвешенных наносов. Можно только отметить, что в мае мутность воды колебалась в пределах 1,2—4,3 кг/м³, в июне 2,1—4,2 кг/м³, в начале июля она составляла 1,6 кг/м³, а в сентябре — декабре находилась в пределах 0,1—0,3 кг/м³. Согласно этим весьма скудным сведениям, можно только высказать предположение, что по величине мутности воды р. Кундуз в районе ниже устья р. Нахрайн не сильно отличается от р. Кокчи при выходе из гор. Наибольший сток взвешенных наносов в соответствии с режимом жидкого стока следует ожидать в июне.

Вниз по течению мутность воды возрастает.

Судить о гранулометрическом составе взвешенных наносов можно только по трем анализам, относящимся к сентябрю — декабрю 1965 г. Они свидетельствуют о явном преобладании частиц диаметром от 0,05 до 0,005 мм в сентябре — октябре и частиц диаметром от 0,25 до 0,05 мм в декабре.

Река Хульм (Таш-Курган)

($L=230$ км, $F_v=8040$ км²)

Гидрографическое описание. До с. Айбак река протекает по преимуществу по дну узкого скалистого ущелья. В районе с. Айбак долина образует озеровидное расширение, дно которого покрыто древесной растительностью, посевами и пастбищами. Миновав несколько селений, река входит в узкую теснину, ограниченную почти отвесными скалистыми стенами и протекает по ней 15—20 км. Теснина сменяется ущельем, которое тянется почти до г. Ташкурган. Несколько выше названного города река выходит из гор. От русла отходят оросительные каналы. Ниже г. Ташкурган вода иссякает в толще аллювиальных отложений. В бассейне реки орошается до 25 000 га земель.

Питание. Режим жидкого стока. Водосбор р. Хульм верхней частью бассейна Кундуза отодвинут к северу от главного хребта, поэтому высота его водосбора меньше высоты не только водосбора Кундуза, что вполне закономерно, но существенно уступает высоте водосбора р. Балхаб, лежащего западнее. Согласно определениям по различным картам, средняя высота водосбора Хульма составляет 1760—1830 м. Высоты более 3000 м занимают в нем небольшую площадь (2—5%), а высоты менее 2000 м широко распространены (61—63%). По высоте водосбора

р. Хульм близка к водосборам рек Ходжа-Ипак (бас. Сурхандарья), Кашкадарья выше с. Варганзи. Однако по режиму она существенно отличается от двух последних рек. Снеговое половодье вследствие маломощности снежного покрова на р. Хульм выражено слабо и начинается уже в феврале.

Колебания расходов воды, обусловленные выпадающими дождями, наиболее резко выражены в апреле — мае. Максимальные расходы формируются жидкими осадками, создающими резкие пики. Очень велико подземное питание. Базисный сток у р. Хульм составляет не менее 60% годового стока. В этом отношении Хульм уступает только р. Сари-Пуль. Для суждения о режиме р. Хульм имеются наблюдения за один полный 1965 г. (рис. 3).

Согласно данным наблюдений, средний за 1965 г. расход воды р. Хульм составляет $1,95 \text{ м}^3/\text{сек.}$, что дает модуль стока в $0,24 \text{ л/сек. км}^2$. Это крайне малая величина, даже учитывая сухость климата и сравнительно небольшую высоту водосбора. Объяснить ее только разбором воды на орошение невозможно, так как учет ее мог бы самое большее удвоить расходы воды р. Хульм. Насколько мал этот расход можно судить хотя бы по тому, что автор, исходя из зависимости удельной водоносности от высоты водосбора, оценил сток р. Хульм в $13 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Чрезвычайно малая величина удельной водоносности водосбора р. Хульм должна быть еще выяснена.

Максимальный срочный расход воды р. Хульм в 1965 г. был зарегистрирован 8/V и составил $28 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Твердый сток. По мутности воды р. Хульм значительно превышает рассмотренные выше реки. Наблюдения за мутностью производились в январе — октябре 1965 г. Без большой погрешности среднюю за 1965 г. мутность воды р. Хульм можно оценить в $4,8 \text{ кг/м}^3$, средний расход взвешенных наносов — в $9,5 \text{ кг/сек.}$, сток в 300 тыс. т и вынос взвешенных наносов — в $37,4 \text{ т/год}$ с 1 км^2 (табл. 4, 5). Следовательно, по мутности воды р. Хульм превышает Вахш, однако вынос взвешенных наносов из водосбора совершенно незначительный, что, в первую очередь, следует объяснить его низкой удельной водоносностью. Наибольшая мутность на р. Хульм совпадает с наибольшими расходами воды и наблюдается в мае. Средняя майская мутность воды в 1965 г. достигла $16,5 \text{ кг/м}^3$. За этот месяц река пронесла 70% годового стока взвешенных наносов.

При подсчете стока взвешенных наносов переходный коэффициент от мутности в постоянной точке к мутности по живому сечению был принят равным 1,1.

В составе наносов р. Хульм, как и предыдущих рек, преобладают частицы диаметром от 0,05 до 0,005 мм. Содержание их может достигать 85% и никогда не падает ниже 50%.

Река Балхаб (Балх, Даргаез)

($L=400 \text{ км}$, $F_n=17800 \text{ км}^2$)

Гидрографическое описание. Истоки реки формируются на склонах хр. Баба. В верхнем течении река носит название Банди-Амир. Неподалеку от истоков река образует пять озер, носящих то же название, что и река. Озера расположены цепочкой. Вода из озер низвергается водопадами. До поворота на СВ у с. Дахани-Кашан долина реки сравнительно широкая, хорошо орошена и обжита. Склоны гор поросли редким лесом и кустарником. Ниже с. Дахани-Кашан до выхода из гор в районе г. Дейдади долина реки на большей части протяжения представляет

собой ущелье, ограниченное высокими и крутыми склонами гор, лишенными древесной растительности. По выходе из гор река разбирается на орошение. Основное русло ниже города направляется на северо-запад, проходит близ г. Акча и под именем Афгандарья на большом протяжении прослеживается в песках.

В бассейне Балхаба орошается около 45 000 га земель.

Питание. Режим жидкого стока. Водосбор р. Балхаб имеет среднюю взвешенную высоту 2390—2230 м. Высоты более 3000 м занимают в нем около $\frac{1}{4}$ площади (24,0—25,8%), т. е. вдвое меньше, чем в водосборе Кокчи и на 30—40% меньше, чем в водосборе Кундуза. Ниже отметки 2000 м располагаются значительные площади (37—40%), зато выше отметки 4000 м — всего 1%.

По средней высоте водосбора р. Балхаб можно сравнить с водосборами таких рек, как Ханака (приток Кафирнигана), Сангардак (приток Сурхандарьи), Ангрен выше с. Турк и т. д. По величине отношения стока за период июль — сентябрь к стоку за март — июнь Балхаб превышает упомянутые реки, что свидетельствует о большом участии в его питании высокогорных снегов. Отличительной особенностью режима Балхаба является его высокая внутригодовая зарегулированность стока.

Достаточно отметить, что коэффициент внутригодовой неравномерности стока у него равен всего 0,21, а величины среднего месячного стока не падают ниже 5,5% годового (табл. 2, 3).

Напомним, что у Кокчи коэффициент внутригодовой неравномерности стока составлял 0,30, а у р. Кундуз 0,30—0,34. Все же по зарегулированности стока Балхаб несколько уступает Мургабу в створе г. Тахтабазар и довольно существенно тому же Мургабу у с. Сеин-Али (табл. 3).

У р. Балхаб половодье выражено отчетливо. Начинается оно, по-видимому, в апреле и заканчивается в июле — августе. Наибольших значений в соответствии с высотой водосбора, месячные расходы достигают в мае, а в 1965 г. июньский расход незначительно превышал майский (табл. 2).

Период август — январь обычно характеризуется малыми колебаниями расходов воды. Начиная с февраля появляются дождевые пики, чаще всего незначительные, но иногда превышающие по величине максимальные расходы, сформированные в основном за счет талых вод. У Балхаба время наиболее интенсивного снегового питания совпадает со временем наиболее интенсивных дождей, что может приводить к формированию очень высоких максимальных расходов.

За 1964 (неполный) и 1965 гг. средний годовой расход воды р. Балхаб равен 54,3 м³/сек., что дает модуль стока в размере 3,1 л/сек. Такая величина удельной водоносности хорошо соответствует высоте водосбора р. Балхаб, в отличие от водосбора р. Хульм, расположенной восточнее. Максимальный расход р. Балхаб в 1964 г. был в основном сформирован талыми водами. Прошел он 20/V и был равен 152 м³/сек. В 1965 г. максимальный расход главным образом сформировался за счет дождей. Величина его весьма значительна и приблизительно равна 700 м³/сек. (экстраполирована по кривой $Q=f(H)$). Расход, согласно показаниям старожилов, является наибольшим за последние 70—80 лет. Минимальные расходы, по-видимому, могут наблюдаться либо перед половодьем, либо сразу после него.

Подземное питание Балхаба очень велико. Только базисный сток составляет около 70% годового стока. Этим и объясняется высокая зарегулированность его стока. Как это было видно из предыдущего, р. Балхаб относится к типу рек снегово-ледникового питания.

Твердый сток. Перерыв наблюдений в июне 1965 г. позволяет определить средние годовые характеристики стока только за период июнь 1964 — май 1965 г. За указанный период средняя мутность воды р. Балхаб равна 2 кг/м^3 , т. е. равна мутности воды р. Кокча. Средний расход взвешенных наносов составляет 106 кг/сек. , годовой их сток равен $3,3 \text{ млн. т}$ (табл. 4, 5). Таким образом, вынос взвешенных наносов с 1 км^2 водосбора р. Балхаб определяется в 185 т . Следовательно, по интенсивности смыва водосбор Балхаба в 2,5 раза уступает водосбору р. Кокча, а по стоку взвешенных наносов в 3 раза. Как и на всех реках Афганистана и Средней Азии, сток взвешенных наносов распределен на протяжении года крайне неравномерно. Так, только за май 1965 г. река пронесла 74% годового стока взвешенных наносов, тогда как сток за период с августа по февраль включительно, т. е. за 7 месяцев равен всего 1,8% годового. В составе взвешенных наносов преобладают частицы диаметром менее $0,05 \text{ мм}$.

Река Сари-Пуль (Аби-Сефид)

($L=215 \text{ км}$, $F_n=9400 \text{ км}^2$)¹

Гидрографическое описание. В верхнем течении носит название Гаргарао. Наиболее крупный приток — р. Гурзиван (левый). До с. Богай река течет в узкой долине, часто — в ущельях. Далее, до с. Галамулла, она пересекает предгорья, где ширина долины колеблется от 1 до 3 км. Ниже названного селения река выходит из гор. Ширина потока в среднем течении 3—6 м, глубина 0,5 м, в низовьях соответственно — 10—15 и 1,0—1,5 м, ложе песчано-илистое. Несколько выше с. Сейидабад из реки забирает воду крупный канал Аби-Сиах.

В бассейне реки орошается округленно 15000 га земель.

Питание. Режим жидкого стока. По высоте водосбора ($H_{\text{ср}}=1740—1880 \text{ м}$) Сари-Пуль существенно уступает водосбору Балхаба и весьма близок к водосбору Хульма.

Высоты более 3000 м занимают в нем всего 5—8%, тогда как в водосборе Балхаба они охватывали $1/4$ площади водосбора. Зато высоты менее 2000 м получают широкое развитие, занимая 52—58% площади водосбора (у Балхаба 37—40%). Исходя из высотной характеристики водосбора, р. Сари-Пуль должна была бы быть отнесена к рекам снегового или снегово-дождевого питания. Однако, как это показывают кратковременные наблюдения за ее режимом, р. Сари-Пуль может быть уподоблена большому роднику, на дебит которого существенное влияние оказывают выпадающие дожди. Колебания расходов воды в июне — сентябре, по-видимому, объясняются водооборотом, осуществляемым при поливе орошаемых земель. За это убедительно говорит характер этих колебаний, резко отличный от дождевых пиков (растянутость их, почти постоянное расстояние между ними), а также отсутствие дождей в этот период. Снеговое половодье на р. Сари-Пуль, во всяком случае в 1965 г., выражено не было. Наибольший месячный сток наблюдался в апреле, наименьший — в августе. Однако величины месячного стока мало отличаются друг от друга. Коэффициент внутригодовой неравномерности стока равен всего 0,07. Средний за 1965 г. расход воды р. Сари-Пуль равен $7,59 \text{ м}^3/\text{сек.}$ (табл. 2).

Модуль стока равен $0,81 \text{ л/сек. км}^2$. Эта величина несколько мала, если исходить из высоты водосбора. Сток за период октябрь — февраль

¹ По другим картам площадь водосбора составляет округленно 11000 км^2 .

составляет 41% годового стока и превышает сток даже периода март — июнь (39,8%). Отношение величины стока за периоды июль — сентябрь и март — июнь очень высокое ($\delta = 0,48$), но оно при преобладающем подземном питании реки лишено генетического смысла (табл. 3).

Максимальный расход, сформированный дождями 6/V 1965 г., достиг величины 38,2 м³/сек. Минимальный средний месячный расход воды за период наблюдений не падал ниже 5,45 м³/сек. Выше створа наблюдений из реки забирается вода на орошение земель. Оценить величину безвозвратных потерь на орошение в настоящее время нельзя за отсутствием данных. Надо думать, что он довольно значительный и учитывать его обязательно.

Твердый сток. Сток взвешенных наносов р. Сари-Пуль учитывался с сентября 1964 г. по декабрь 1965 г. с перерывом в июне. Приблизительно средний расход взвешенных наносов р. Сари-Пуль за 1965 г. может быть оценен в 27 кг/сек., что дает сток около 880 тыс. т/год.

Следовательно, средняя годовая мутность воды р. Сари-Пуль составляет 3,7 кг/м³ (табл. 4, 5). Таким образом, по мутности воды р. Сари-Пуль существенно превосходит такие реки, как Кокча, Кундуз и Балхаб, уступая в этом отношении только Хульму.

Учитывая водный режим р. Сари-Пуль, характеризующийся, как это было уже сказано, малыми колебаниями расходов воды на протяжении года, следует признать приведенную мутность воды р. Сари-Пуль высокой. Объясняется она, помимо почвенно-геологических условий, прохождением дождевых паводков, во время которых мутность воды резко возрастает. Действительно, например, высокая мутность и большой расход взвешенных наносов в мае 1965 г. (11,1 кг/м³, 105 кг/сек.) в значительной мере обязаны дождевым паводкам, прошедшим 6—7 и 22/V. За это убедительно говорит хотя бы мутность воды за 7/V, превысившая 120 кг/м³.

Исключительно сильная зависимость стока взвешенных наносов от прохождения дождевых паводков на реках с низкорасположенными водосборами (реки Хульм, Сари-Пуль, Кайсар) приводит к тому, что сток взвешенных наносов резко колеблется из года в год и наблюдения за годовой цикл не могут дать даже приближенного представления об истинной средней величине стока взвешенных наносов, а следовательно, и о мутности воды. Это обстоятельство требует и тщательного учета взвешенных наносов в периоды прохождения дождевых паводков, когда мутности воды за короткие отрезки времени возрастают в десятки и даже сотни раз.

Несмотря на равномерное распределение жидкого стока внутри года, сток взвешенных наносов у р. Сари-Пуль распределен хотя и более равномерно, чем на рассмотренных выше реках, но все же сильно изменяется по месяцам. Так, например, за май 1965 г. р. Сари-Пуль пронесла 31% годового стока взвешенных наносов, а за март — май 66%. Причина такого распределения ясна из предыдущего изложения.

Взвешенные наносы характеризуются преобладанием частиц диаметром 0,1—0,005 мм, на долю которых приходится до 85—90%.

Река Кайсар (Андхой)

($L = 275$ км, $F_v = 13900$ км²)

Гидрографическое описание. Основными притоками являются Меймене и Ширинтаго, впадающие в реку справа. В верховьях река протекает по узкой горной долине, часто имеющей вид ущелий. В 5 км выше

места пересечения реки дорогой из форта Баламургаб в г. Меймене река вступает в межгорную котловину. Миновав затем короткое ущелье, река далее течет по обширному плато, прорезая его. Ширина долины колеблется здесь от 2 до 4 км; широкое галечно-песчаное русло обрамлено зарослями кустарника. В 5 км к СЗ от г. Даулатабад река выходит из гор. Долина ее еще более расширяется, а ниже на 15—20 км — утрачивает четкость своих очертаний. Русло здесь глубоко врезано, ширина потока около 10 м, средняя глубина около 1 м. В районе г. Андхой вода реки окончательно разбирается на орошение. Андхойский оазис (6—8 км вокруг города) хорошо орошен, обработан и утопает в зелени. В среднем и нижнем течениях вода в реке солоноватая.

Река Меймене имеет длину 120 км. До г. Меймене река протекает либо в скалистых ущельях (их насчитывается 8), либо в узкой долине, которая в отдельных местах образует небольшие расширения. Ниже г. Меймене долина становится широкой. Летом вода разбирается на орошение и ниже г. Меймене сток в реке обычно отсутствует. В районе г. Меймене русло песчаное, имеет ширину 30—100 м и наполняется водой лишь в период весеннего половодья и сильных дождей.

Река Ширинтаго имеет длину 170 км. До с. Курчи река течет в узком ущелье, а ниже вступает в хорошо обрабатываемую долину, по которой проходит до с. Бальчираг. Миновав селение, река вновь течет в узком извилистом ущелье, а затем прорезает плато, где ширина ее долины колеблется от 0,5 до 3 км. В бассейне Кайсара орошается около 15000 га земель.

Питание. Режим жидкого стока. Водосбор Кайсара отличается крайне незначительной высотой. Его средняя взвешенная высота составляет всего 1170 м, превышая всего на 120 м среднюю высоту водосбора Кашана (притока Мургаба). Высоты более 3000 м, по существу, отсутствуют, а высоты менее 2000 м занимают 85—87% площади водосбора. При столь незначительной высоте водосбора Кайсара выпадение дождей и таяние снега возможно почти в течение всей зимы. Поэтому, аналогично Мургабу и в особенности его притокам — Кашану и Кушке, колебания расходов воды на р. Кайсар обусловлены не ходом температур воздуха, а выпадающими осадками (рис. 3). Колебания расходов воды на протяжении июня — сентября, так же как и на р. Сари-Пуль, являются результатом водооборота, осуществляемого при орошении полей, садов и т. п. Благодаря малым высотам забор воды на орошение на притоках Кайсара и самой р. Кайсар начинается близко от их истоков. По этой причине некоторые притоки в определенные периоды года целиком разбираются на орошение (например, р. Меймене).

Таким образом, использование вод на орошение в водосборе р. Кайсар относительно больше, чем на всех ранее рассмотренных реках. Отсюда существенное преуменьшение расходов воды в створе, где производились наблюдения (2 км ниже слияния рек Кайсар и Ширинтаго), а также значительное воздействие на естественный режим реки разбора воды на орошение. Согласно наблюдениям за неполные 1964 и 1965 гг., средний расход Кайсара за 1965 г. с учетом принятого за декабрь расхода $2,87 \text{ м}^3/\text{сек.}$, измеренного 28/XII, составляет $3,42 \text{ м}^3/\text{сек.}$, что дает модуль стока в размере $0,25 \text{ л/сек. км}^2$ (табл. 2). Однако исходя из снижений расходов воды вследствие водооборота, водные ресурсы водосбора Кайсара должны быть оценены расходом около $4,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$, а скорее всего больше. Разумеется, это весьма приближенная оценка, которая может быть уточнена только после получения данных о размерах орошаемых площадей выше створа и составе сельскохозяйственных культур.

Принимая расход Кайсара в размере $4,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$, получим модуль стока равным $0,32 \text{ л/сек. км}^2$.

В 1965 г. наибольший средний месячный расход наблюдался в апреле. Мартовский расход почти в 1,5 раза превышал майский. Сток за июль — сентябрь составил 8% годового. Это очень высокая величина, учитывая безвозвратные потери на орошение выше створа. У притоков Мургаба — Кашана и Кушки — сток за этот период уже практически равен нулю (табл. 3). Благодаря сравнительно высокому стоку июля — сентября значение δ у нее высокое (0,16), высока и зарегулированность стока ($\varphi=0,27$) для такого типа рек (снегово-дождевого питания). Наименьшие расходы на реке наблюдаются летом — в начале осени. При учете безвозвратных потерь на орошение зарегулированность стока Кайсара, возможно, стала бы еще выше.

Жидкие осадки, несомненно играющие большую роль в питании реки вообще, формируют все более или менее значительные максимальные расходы воды. Зарегистрированный 23/IV 1965 г. срочный максимум дождевого происхождения в размере $45 \text{ м}^3/\text{сек.}$, безусловно, не принадлежит к разряду выдающихся. Можно не сомневаться, что на р. Кайсар, аналогично Кашану и Кушке, часто формируются селевые паводки в несколько десятков $\text{м}^3/\text{сек.}$, а выдающиеся максимальные расходы исчисляются сотнями $\text{м}^3/\text{сек.}$

Твердый сток. Как и на р. Сари-Пуль, на Кайсаре наблюдения за твердым стоком велись с октября 1964 г. по декабрь 1965 г. с перерывом в июне.

Однако отсутствие, как правило, в июне — октябре дождей в этом районе и совершенно достоверное отсутствие дождевых паводков за этот период в 1965 г. (рис. 3) делает возможным приближенную оценку стока взвешенных наносов за 1965 г. Средний расход взвешенных наносов за этот год может быть принят в 48 кг/сек. , что дает сток их в размере 1,5 млн. т/год и вынос из пределов водосбора порядка $110 \text{ кг/год с } 1 \text{ км}^2$ водосбора. Средняя мутность воды может быть оценена в 14 кг/м^3 (табл. 4, 5). В питании р. Кайсар, по сравнению с реками, рассмотренными выше, дожди принимают наибольшее участие. Поэтому колебания расходов воды на Кайсаре в основном обусловлены выпадающими дождями, а не таянием снега.

Таблица 8

Сток взвешенных наносов рек Северного Афганистана

Река	Мутность воды, кг/м^3	Расход взвешенных наносов, кг/сек.	Сток взвешенных наносов, млн. т/год	Вынос взвешенных наносов из водосбора, $\text{т/км}^2 \text{ год}$
Кокча	2,2	360	11,0	520
Кундуз	2,0			
Хульм	4,8	9,5	0,3	37,4
Балхаб	2,0	106	3,3	185
Сари-Пуль	(3,7)	(28)	(0,88)	—
Кайсар	(14,0)	(48)	(1,5)	(110)
Мургаб г. Тахтабазар	5,4	287	9,0	
Кашан	94,5	—	3,35	—
Кушка	28,1	—	3,38	—

В еще более яркой форме такой режим наблюдается на притоках р. Мургаб — Кашане и Кушке, расположенных за водосбором р. Кайсар и обладающих более низкими водосборами. Поэтому сток взвешенных наносов р. Кайсар еще в большей степени подвержен колебаниям, чем сток их у р. Сари-Пуль и, следовательно, даже полный годичный цикл наблюдений не может дать правильного представления о режиме взвешенных наносов. Поэтому при проектировании гидротехнических сооружений должен быть проявлен максимум осторожности. Достаточно напомнить, что средняя за 10 лет мутность Кашана превышает 90 кг/м^3 , а средняя за 9 лет мутность воды Кушки почти достигает 30 кг/м^3 .

Естественно, что при описанном выше характере питания и водного режима сток взвешенных наносов у р. Кайсар внутри года распределяется неравномерно. Только за апрель 1965 г. по реке прошло около 50% годового стока взвешенных наносов. На р. Кайсар преобладают частицы диаметром от 0,1 до 0,005 мм.

Для удобства сравнения в табл. 8 даны характеристики твердого стока рек Северного Афганистана.

3. Распределение удельной водоносности по территории водосборов левых притоков Аму-Дарьи

Приведенные выше сведения о режиме левых притоков Аму-Дарьи позволяют высказать самые предварительные суждения о некоторых закономерностях распределения удельной водоносности по рассматриваемой территории. Для удобства все необходимые для этой цели данные сведены в табл. 9.

В табл. 9 включены данные по р. Мургаб и ее притокам — Кашану и Кушке.

Водосбор Мургаба и его притоков является естественным продолжением рассматриваемой здесь территории на запад, почему включение его было обязательным при рассмотрении закономерностей распределения удельной водоносности в пространстве. Данные по р. Герируд, наоборот, не были привлечены, поскольку ее водосбор более удален от периферии горной системы Гиндукуш и при прочих равных условиях должен обладать меньшей удельной водоносностью по сравнению с рассматриваемыми реками.

Необходимо со всей определенностью подчеркнуть, что приведенные в табл. 9 данные являются весьма приближенными. Выше уже указывалось, что средние взвешенные высоты водосборов, определенные по разным картам, могут отличаться друг от друга почти до 150 м, площади водосборов в редких случаях — до 12%. Средние расходы воды, за исключением Кундуза и у. Пули-Хумри, Мургаба, Кашана и Кушки, получены за один-полтора года. Как уже отмечалось, асинхронность колебаний годового стока рассматриваемых рек и правобережных притоков Аму-Дарьи и Пянджа (рис. 4) не позволяют привести имеющиеся данные к многолетнему периоду.

Об удивительной несогласованности в колебаниях годового стока только левобережных притоков говорят, в частности, следующие данные.

1964 г. на р. Кундуз был маловодным, на р. Мургаб — близким к среднему по водности, а на реках Кашан и Кушка — значительно выше среднего (соответственно на 36 и 18%). 1965 г. на р. Кундуз был близким к среднему, на р. Мургаб — маловодным и на реках Кашан и Кушка, по видимому, — маловодным. Если к этому добавить, что на р. Кокча 1964 г. и 1965 г. по водности не сильно отличались друг от друга (1965 г. был

Водоносность рек Северного Афганистана

Река	Пункт	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Средний расход воды, м ³ /сек.		Средний модуль стока, л/сек. км ²	
				фактический	исправленный на безвозвратные потери на орошение	фактический	исправленный на безвозвратные потери на орошение
Кокча	1 км ниже моста Пулишм	21100	2880	168	170	8,0	8,1
Кундуз	г. Пули-Хумри	17250	2730	67,6	70	3,9	4,1
Кундуз	Ниже устья р. Нахрайн	22000	2430	66,2	79	3,0	3,6
Хульм		8040	1760	1,95	3,0	0,24	0,37
Балхаб		17800	2230	54,3	58	3,1	3,3
Сари-Пуль		9400	1880	7,59	9,0	0,80	0,96
Кайсар		13900	1170	3,42	4,5	0,25	0,32
Мургаб	с. Сеин-Али	27400	1740	47,9	50,0	1,75	1,8
Кашан	с. Кульджа	6990	1050	1,15	2,0	0,16	0,29
Кушка	уроч. Палачная	10700	890	3,50	4,5	0,33	0,42

маловоднее всего на 5%), а на р. Балхаб одинаковыми (соответственно 54,7 и 54,0 м³/сек.), то станет очевидным отсутствие аналогичности в колебаниях годового стока рассматриваемых рек.

Разбор воды на орошение еще в пределах горной области в особенности на реках, расположенных в западной части территории, где высоты небольшие, требует поправок на безвозвратные потери, связанные с орошением земель. Для введения таких поправок нет необходимых данных и их приходится определять, как правило, косвенными путями, при помощи руслового баланса (Кундуз), колебаний расходов воды, обусловленных водооборотом (рр. Кайсар, Сари-Пуль), ненадежных данных об орошаемых площадях (р. Мургаб) и т. п.

В связи со сказанным, величины удельной водоносности, приведенные в табл. 9, являются весьма ориентировочными. И все же, несмотря на это, есть смысл в самом первом приближении рассмотреть некоторые закономерности распределения удельной водоносности территории.

Для этой цели в первую очередь попытаемся связать удельную водоносность со средними взвешенными высотами водосборов (рис. 5). На рис. 5 обращает на себя внимание чрезвычайно малая удельная водоносность водосборов рек Хульм и Сари-Пуль. Причины низкой удельной водоносности водосборов названных рек сейчас выяснить не удалось — это дело будущего.

Для остальных водосборов зависимость между модулями стока и $H_{ср}$ водосборов четко вырисовывается. Нужно только иметь в виду, что зависимость $M_0 = f(H_{ср})$ отражает не только влияние высоты,

но и улучшение условий увлажнения атмосферными осадками при продвижении на восток, где гребень Гиндукуша принимает северо-восточное направление и где замыкаются горы. Сказанное особенно справедливо в отношении водосбора Кокчи. Этим объясняется резкое возрастание удельной водоносности, начиная с $H_{ср} > 2500$ м. Следует отметить и тот факт, что до значительных высот (3000 м) горы Северного Афганистана характеризуются чрезвычайной сухостью и лишь на больших высотах осадки начинают быстро расти.

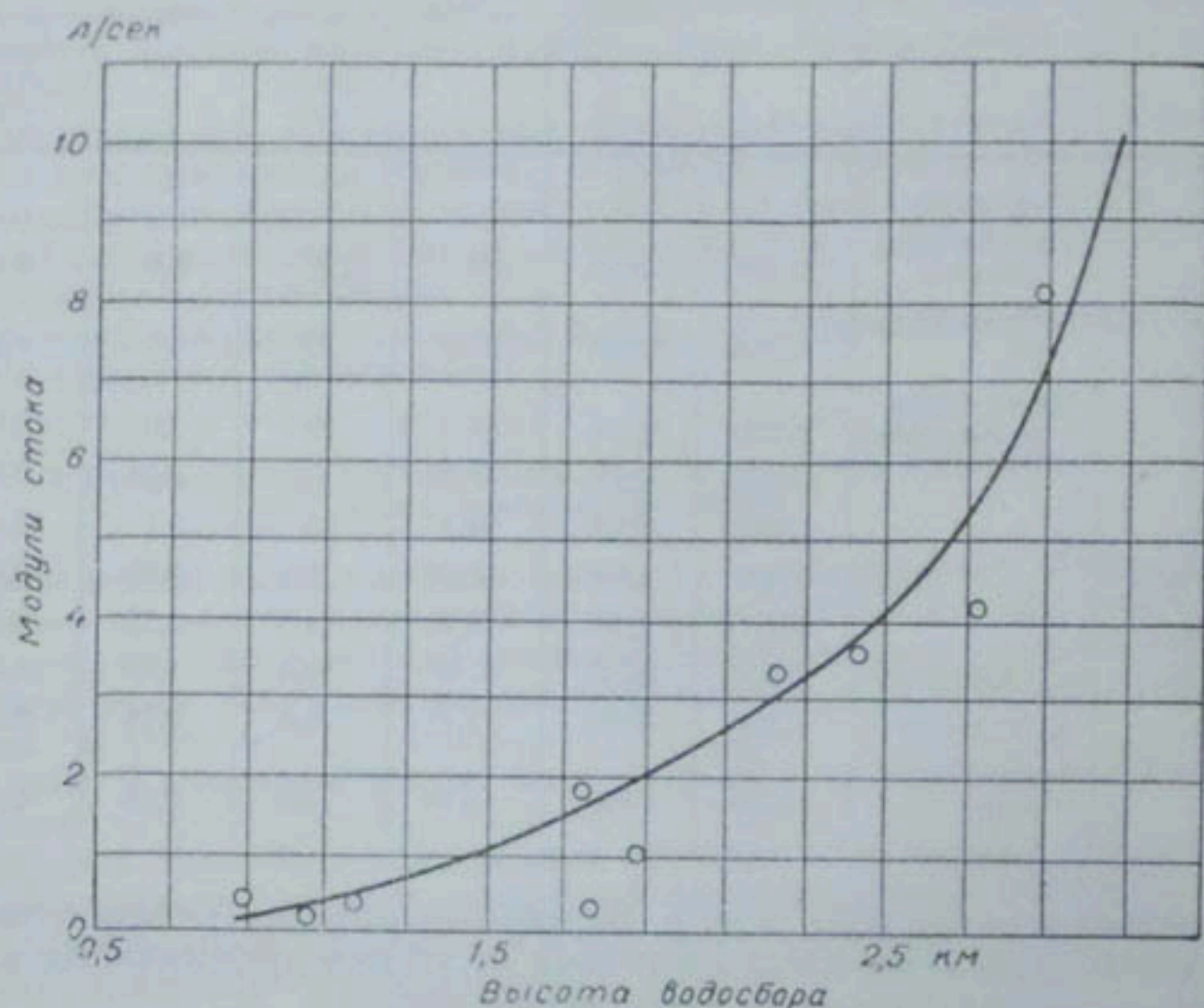


Рис. 5. Зависимость модулей стока рек Северного Афганистана от средних взвешенных высот водосборов.

Установленная зависимость между средними модулями стока и $H_{ср}$ водосборов позволила в самом первом приближении составить схему годового стока (рис. 1), дающую возможность отметить некоторые особенности распределения удельной водоносности по рассматриваемой территории. Схема не является расчетной. Разве только для самых грубых прикидок можно воспользоваться ею.

Как уже отмечалось выше, наибольшая удельная водоносность имеет место на востоке территории. Здесь в пригребневой части Гиндукуша наблюдаются модули стока, превышающие 15 л/сек. км², что соответствует слою стока порядка 500 мм.

Модуль стока в 10 л/сек. км² протягивается вдоль гребня Гиндукуша. Далее на запад удельная водоносность уже нигде не достигает 10 л/сек. км², а в водосборе Кайсара изолиния в 2,5 л/сек. км² прижимается к гребню хр. Гирбанди-Туркестан; основная же часть водосбора формирует сток, исчисляющийся долями л/сек. км². Вся равнинная часть территории, естественно, характеризуется отрицательными модулями стока, т. е. является не стокообразующей, а стокорассеивающей.

Изолинии модуля стока не охватывают водосборов рек Хульм и Сари-Пуль. Эти водосборы, как уже неоднократно подчеркивалось, выпадают из общих закономерностей, отличаясь исключительным маловодьем. Сказанное в особенности справедливо в отношении р. Хульм.

В заключение несколько слов об изменчивости годового стока.

Судя по данным о расходах воды р. Кундуз, коэффициент вариации годового стока этой реки хорошо укладывается на зависимость $C_v = f(H_{cp})$, полученную В. Л. Шульцем для южного района Средней Азии, что не может вызвать удивления, так как Северный Афганистан по природным условиям должен быть отнесен к Средней Азии. Поскольку ряд средних годовых расходов у р. Кундуз не очень надежен, следует из осторожности рекомендовать формулу

$$C_v = \frac{2500}{H_{cp}^{1,18}}$$

или, как это было рекомендовано Шульцем,

$$C_v = \frac{2700}{H_{cp}^{1,18}}.$$

Этими формулами можно пользоваться только при определении для рек с водосборами, имеющими среднюю взвешенную высоту $H_{cp} > 2000$ м, и у которых не наблюдается аномально высокое подземное питание.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Среднесуточные расходы воды рек Северного Афганистана за 1964—1965 гг.,
м³/сек.

р. Кокча — 1 км ниже моста Пулишм, 1964 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1					160	215	761	264	197	119	(86,0)	74,0
2					184	212	767	251	187	117	(84,0)	70,0
3					361	212	756	239	184	117	82,0	70,0
4					190	219	738	239	181	112	82,0	74,0
5					194	204	663	239	178	112	82,0	74,0
6					184	197	606	243	175	112	82,0	74,0
7					190	190	600	247	172	110	82,0	72,0
8					212	197	588	255	172	108	80,0	70,0
9					222	237	594	281	169	108	80,0	70,0
10					208	290	600	299	169	108	80,0	70,0
11					190	361	594	308	169	108	78,0	66,4
12					187	381	594	308	166	106	78,0	64,8
13					197	356	583	308	160	103	78,0	64,8
14					197	386	548	299	157	103	78,0	66,4
15					212	402	470	299	157	103	78,0	66,4
16					204	386	412	308	157	103	78,0	66,4
17					190	428	356	308	157	103	76,0	66,4
18					181	504	308	234	157	101	76,0	66,4
19					172	509	260	286	157	99,0	76,0	66,4
20					184	498	230	281	157	99,0	76,0	66,4
21					197	531	215	272	157	96,8	74,0	66,4
22					208	611	222	272	140	96,8	74,0	66,4
23					172	640	234	260	140	94,6	74,0	64,8
24					154	646	286	255	132	94,6	74,0	64,8
25					132	646	299	247	130	92,4	74,0	63,2
26				175	132	640	317	243	130	92,4	74,0	63,2
27				154	130	657	332	222	128	90,2	74,0	64,8
28				178	140	715	322	215	125	90,2	74,0	64,8
29				163	163	750	299	208	125	90,2	74,0	63,2
30				160	194	800	281	204	121	90,2	76,0	63,2
31					215		272	201		88,0		63,2
I					211	217	667	256	178	112	82,0	71,8
II					191	421	436	300	159	103	77,2	66,1
III					176	664	280	236	133	92,4	74,2	64,4
Средн.					192	434	455	263	157	102	77,8	67,3
Наиб.					449	805	778	317	201	119	86,0	76,0
Наим.					130	187	208	201	119	88,0	74,0	63,2

Средний годовой — , Наибольший 805 30/VI. Наименьший — .

р. Кокча — 1 км ниже моста Пулнишим, 1965 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	58,4	80,0	72,0	90,2	135	226	426	366	188	116	95,2	81,0
2	58,4	80,0	72,0	86,0	140	258	426	318	184	114	95,2	81,0
3	60,0	78,0	72,0	82,0	146	242	406	324	181	114	95,2	81,0
4	60,0	76,0	72,0	82,0	157	246	406	270	174	114	92,2	81,0
5	58,4	74,0	72,0	82,0	169	258	406	252	172	113	124	81,0
6	60,0	72,0	74,0	121	181	250	366	241	169	113	110	81,0
7	60,0	72,0	76,0	138	169	226	352	237	169	112	109	81,0
8	58,4	70,0	76,0	103	152	226	345	237	169	112	104	81,0
9	66,4	72,0	76,0	94,6	152	254	348	233	164	111	101	81,0
10	66,4	74,0	74,0	90,2	149	254	362	241	169	110	107	81,0
11	66,4	86,0	72,0	90,2	143	280	362	248	164	109	109	81,0
12	66,4	74,0	72,0	106	140	325	341	241	159	109	103	81,0
13	66,4	72,0	72,0	99,0	140	381	345	233	154	107	101	79,8
14	66,4	70,0	78,0	106	140	399	397	233	149	107	101	79,8
15	64,8	130	74,0	117	149	429	436	233	145	106	101	79,8
16	64,8	121	80,0	114	152	470	490	222	142	105	100	79,8
17	70,0	99,0	82,0	121	160	511	494	214	138	105	95,2	79,8
18	70,0	82,0	80,0	132	169	498	486	218	138	104	95,2	79,8
19	72,0	72,0	78,0	125	169	505	452	222	138	104	90,5	79,8
20	70,0	68,0	78,0	125	194	550	476	229	136	104	90,5	79,8
21	66,4	66,4	76,0	125	277	570	439	241	134	103	90,5	79,8
22	68,0	66,4	74,0	125	230	523	469	237	130	103	85,8	79,8
23	68,0	66,4	74,0	125	175	486	449	248	130	103	85,8	77,4
24	66,4	66,4	74,0	125	152	458	458	241	129	103	85,8	75,0
25	68,0	82,0	175	135	146	466	469	233	128	102	85,8	77,4
26	68,0	82,0	101	128	140	466	480	218	128	102	85,8	77,4
27	66,4	76,0	96,8	121	152	480	483	203	122	101	85,8	77,4
28	74,0	72,0	84,0	121	163	466	469	203	123	101	81,0	77,4
29	72,0		80,0	125	169	429	436	203	123	101	81,0	76,2
30	72,0		94,6	130	187	420	410	196	118	100	81,0	76,2
31	80,0		92,4		194		372	188		100		76,2
I	60,6	74,8	73,6	96,9	155	244	384	272	174	113	104	81,0
II	67,7	87,4	76,6	114	156	435	428	229	146	106	98,6	80,0
III	69,4	72,2	92,9	126	180	476	449	219	126	102	84,8	77,3
Средн.	66,0	73,3	81,4	112	164	385	421	239	149	107	95,7	79,4
Наиб.	80,0	132	197	187	299	586	497	372	188	116	147	81,0
Наим.	58,4	66,4	72,0	82,0	130	210	335	184	117	100	81,0	74,0

Средний годовой 164. Наибольший 586 20/VI. Наименьший —

р. Кундуз — 3 км ниже устья р. Нахрайн, 1964 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1					52,8	79,3	233	57,2	25,6	32,6	30,4	36,5
2					51,4	75,5	235	50,7	24,8	33,6	30,8	36,5
3					52,0	67,8	246	46,2	24,2	34,0	31,8	38,5
4					61,8	61,0	243	43,6	22,8	32,6	31,8	41,0
5					61,8	60,2	219	40,3	22,4	31,8	30,4	40,3
6					61,8	80,2	181	39,6	22,0	31,8	30,4	41,0
7					59,5	83,1	187	39,6	20,4	31,8	30,4	41,0
8					61,0	102	142	41,0	19,8	32,2	30,8	41,0
9					67,8	143	138	41,0	19,3	32,6	31,8	39,6
10					72,1	183	134	39,6	20,4	32,6	31,3	38,5
11					78,4	183	173	38,5	20,4	33,6	31,3	39,6
12					76,4	163	138	35,0	20,4	31,8	31,3	38,5
13					71,2	152	118	33,1	20,4	30,8	30,8	38,0
14					72,1	157	115	32,6	20,4	29,5	30,8	36,5
15					85,0	189	118	32,6	20,6	30,0	31,3	36,5
16					90,7	200	102	31,8	20,4	30,0	32,6	37,0
17					94,5	207	94,5	30,0	21,4	30,8	35,0	37,5
18					85,0	221	79,3	30,8	21,7	30,0	37,0	38,5
19					77,4	235	73,8	30,0	22,0	30,0	36,5	38,5
20					70,4	245	64,0	29,1	22,8	30,0	36,5	38,5
21				47,4	73,0	237	62,5	27,4	22,8	30,0	36,0	39,0
22				46,8	75,5	243	64,0	26,5	23,8	30,4	34,5	38,5
23				47,4	73,0	258	58,8	27,4	24,8	30,8	34,0	38,5
24				52,8	64,0	250	61,0	28,2	27,8	30,8	34,5	39,6
25				64,8	56,5	246	63,2	29,1	28,2	30,0	34,5	39,6
26				73,0	48,1	228	63,2	29,1	29,1	30,0	34,5	39,6
27				71,2	42,9	241	61,0	28,2	29,1	29,5	35,0	39,6
28				64,8	37,0	243	57,2	28,2	30,0	30,0	34,5	39,6
29				60,2	38,0	258	55,8	27,8	30,8	30,0	36,0	39,0
30				54,2	42,9	246	58,8	26,5	31,8	30,0	36,5	39,6
31					64,0		58,8	26,5		30,4		39,6
I					60,2	93,5	193	43,9	22,2	32,6	31,0	39,4
II					80,1	195	108	32,4	21,0	30,6	33,3	37,9
III				58,3	55,9	245	60,4	27,7	27,8	30,2	35,0	39,3
Средн.					65,1	178	118	34,4	23,7	31,1	33,1	38,9
Наиб.					95,6	268	252	58,0	31,8	34,5	37,5	41,6
Наим.					35,5	58,8	53,5	26,1	19,3	30,0	30,4	35,5

Средний годовой — — — — — , Наибольший 268 23/VI. Наименьший — — — — — .

р. Кундуз — 3 км ниже устья р. Нахрайн, 1965 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	41,0	41,0	39,0	48,1	41,6	139	246	99,1	37,5	33,6	34,5	40,3
2	39,6	42,2	39,0	46,8	39,0	167	245	91,6	36,5	33,6	34,0	39,6
3	39,0	43,6	39,6	44,8	37,0	170	226	83,1	35,5	34,5	34,5	39,6
4	38,5	43,6	38,5	44,8	35,0	167	226	74,6	35,5	34,5	35,5	40,3
5	38,5	42,9	39,0	42,9	34,0	166	221	69,6	35,0	35,5	35,5	40,3
6	38,5	42,2	41,0	47,4	73,8	163	202	67,8	34,5	39,0	37,5	39,6
7	38,5	42,2	41,0	47,4	122	148	199	64,8	34,0	41,0	38,5	40,3
8	38,0	41,6	41,0	47,4	106	142	199	61,8	33,1	41,0	38,5	40,3
9	38,5	41,0	41,0	44,8	96,8	160	199	56,5	30,8	41,0	38,5	41,0
10	38,0	41,0	41,0	42,2	87,8	164	163	54,2	30,8	41,6	38,5	40,3
11	38,0	44,8	41,0	42,2	80,2	210	149	54,2	30,4	41,0	37,5	40,3
12	37,5	45,5	41,0	41,0	72,1	233	136	53,5	29,5	40,3	37,5	39,6
13	37,5	43,6	39,6	42,2	67,0	264	141	51,4	29,1	40,3	37,5	39,6
14	37,5	43,6	40,3	42,9	62,5	280	191	48,8	29,5	39,6	38,0	39,0
15	37,5	42,2	39,6	42,2	59,5	301	202	46,8	29,5	39,6	40,3	39,0
16	38,5	42,2	39,6	42,9	56,5	306	230	45,5	30,0	38,5	41,0	38,5
17	38,5	42,2	42,2	44,2	58,0	312	223	46,2	30,4	37,5	39,6	38,5
18	39,6	43,6	42,2	46,2	62,5	310	209	46,8	30,4	37,0	39,6	40,3
19	39,0	42,9	42,2	58,8	72,1	293	191	44,8	30,8	37,5	39,6	41,0
20	38,5	42,2	42,2	72,1	73,8	289	186	44,2	30,4	37,5	39,6	41,0
21	38,5	42,2	41,6	70,4	130	293	181	45,5	30,8	37,5	39,6	40,3
22	39,0	40,3	42,2	69,6	173	301	175	45,5	31,3	37,0	39,0	40,3
23	39,0	39,6	42,2	68,7	153	324	175	46,2	31,8	36,5	39,6	40,3
24	38,5	41,0	42,9	73,8	132	295	184	47,4	32,6	36,0	41,0	41,0
25	39,0	41,0	44,8	75,5	113	268	166	47,4	33,6	36,5	39,6	41,0
26	38,5	41,0	45,5	72,1	101	272	157	46,8	34,0	35,5	39,6	41,0
27	38,5	41,0	44,8	68,7	98,0	272	153	45,5	34,0	34,0	39,6	40,3
28	38,5	39,6	44,8	62,5	92,6	264	136	45,5	34,0	32,6	39,6	41,0
29	39,0		44,8	54,2	94,5	266	132	44,2	34,0	33,1	39,6	40,3
30	39,0		47,4	47,4	96,8	260	123	41,6	34,0	33,6	40,3	39,6
31	39,6		48,8		110		110	40,3		34,0		39,6
I	38,8	42,1	40,0	45,7	67,3	159	193	64,8	35,2	37,5	36,6	40,2
II	38,2	43,3	41,0	47,5	66,4	280	186	48,2	30,0	38,9	39,0	39,7
III	38,8	40,7	44,5	66,3	118	282	154	45,8	33,0	35,2	39,8	40,4
Средн.	38,6	42,2	42,0	53,1	84,9	240	183	55,0	32,4	37,2	38,4	40,1
Наиб.	41,0	45,5	48,8	77,4	178	329	250	102	40,3	42,2	41,0	41,6
Наим.	37,0	39,6	38,5	41,0	34,0	133	107	40,3	29,1	32,6	34,0	38,5

Средний годовой — , Наибольший 329 23/VI. Наименьший — ,

р. Хульм — 27 км выше с. Ташкурган, 1965 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1,22	1,49	2,60	2,50	(2,10)	2,18	1,04	0,94	0,99	1,10	2,10	1,67
2	1,15	1,74	2,60	2,02	(1,55)	2,02	2,46	0,94	1,10	1,11	2,14	1,64
3	1,11	1,86	2,55	2,10	(1,19)	1,98	0,98	0,94	1,16	1,09	2,18	1,82
4	1,12	1,82	2,50	1,78	1,06	1,94	0,94	0,94	1,16	1,09	2,26	2,10
5	1,09	1,82	2,60	1,70	15,2	1,86	0,96	0,94	1,18	1,07	2,38	2,26
6	1,11	1,86	2,38	1,98	18,9	1,67	1,17	0,93	1,22	1,05	2,38	2,26
7	1,14	2,02	2,34	2,06	22,3	1,61	1,64	0,92	1,24	1,04	2,38	2,30
8	1,11	1,82	2,06	1,82	21,9	1,46	1,52	0,92	1,28	1,10	1,46	2,34
9	1,09	1,82	2,70	1,70	10,1	1,38	1,46	0,94	1,28	1,28	1,26	2,34
10	1,09	1,86	2,50	1,28	3,10	1,32	1,40	0,94	1,28	1,46	1,26	2,30
11	1,14	1,90	2,06	1,32	4,16	1,28	1,61	0,94	1,26	1,49	1,22	2,30
12	1,11	1,94	1,98	1,38	3,80	1,22	1,70	0,94	1,16	1,58	1,22	2,30
13	1,11	1,82	1,90	1,40	3,74	1,18	1,43	0,92	1,10	1,64	1,18	2,30
14	1,10	1,78	2,10	1,49	3,56	1,15	1,24	0,96	1,11	1,64	1,16	2,26
15	1,12	1,86	2,75	1,55	3,15	1,12	1,09	0,98	1,05	1,67	1,46	2,26
16	1,15	2,26	2,22	1,58	3,00	1,09	1,03	0,98	1,05	1,70	2,10	2,30
17	1,12	2,50	2,34	1,61	2,38	1,12	1,02	0,99	1,05	1,70	2,34	2,26
18	1,20	2,75	2,75	1,52	2,42	1,17	0,98	0,99	1,06	1,86	2,46	2,30
19	1,32	2,80	2,22	1,58	2,10	1,19	0,97	0,99	1,07	1,94	2,50	2,26
20	1,22	2,65	2,60	2,30	2,14	1,32	0,96	0,98	1,13	1,94	2,50	2,30
21	1,18	2,10	2,46	3,05	2,02	1,26	0,94	1,00	1,24	1,90	2,46	2,26
22	1,30	2,10	2,26	3,05	2,10	1,19	0,94	0,99	1,22	1,49	2,50	2,22
23	1,38	2,10	2,18	5,65	2,22	1,34	0,94	0,99	1,26	1,18	2,50	2,26
24	1,36	2,14	2,30	5,65	2,14	1,67	0,94	0,96	1,34	1,19	2,70	2,26
25	1,32	2,18	2,38	3,25	2,10	1,55	0,94	0,96	1,58	1,19	2,85	2,30
26	1,32	2,14	2,46	3,74	1,64	1,43	0,94	0,96	1,52	1,18	1,90	2,30
27	1,32	2,30	2,38	4,16	1,61	1,30	0,95	0,96	1,58	1,49	1,43	2,26
28	1,32	2,50	2,42	4,04	1,70	1,17	0,95	0,96	1,55	1,98	1,70	2,22
29	1,30		2,46	2,90	1,98	1,08	0,95	0,98	1,55	2,06	1,67	2,18
30	1,40		2,42	2,65	2,06	1,04	0,94	0,98	1,20	2,14	1,67	2,10
31	1,40		2,65		2,18		0,94	0,96		2,18		2,14
I	1,10	1,80	2,50	1,90	9,74	1,74	1,36	0,94	1,19	1,14	1,98	2,10
II	1,20	2,20	2,30	1,60	2,94	1,18	1,20	0,97	1,10	1,72	1,81	2,28
III	1,50	—	2,60	3,25	1,96	1,30	0,94	0,98	1,40	1,63	2,14	2,23
Средн.	1,21	2,07	2,39	2,43	4,83	1,41	1,16	0,96	1,23	1,50	1,98	2,21
Наиб.	1,49	2,85	3,56	11,3	28,0	2,18	4,10	1,01	1,58	2,18	2,95	2,34
Наим.	1,09	1,49	1,90	1,24	1,06	1,02	0,94	0,92	0,96	1,04	1,15	1,64

Средний годовой — . Наибольший — . Наименьший — .

Измеренные расходы воды в 1964 г.: 9/IX—0,99 м³/сек.; 10/X—0,71 м³/сек.; 20/X—1,88 м³/сек.; 1/XI—0,94 м³/сек.; 10/XII—1,60 м³/сек.

р. Балхаб — кишла. Рабатбала, 1964 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1				59,0	83,3	126	67,6	42,1	37,5	40,3	38,4	39,3
2				59,0	92,5	119	67,6	42,1	37,5	40,3	38,4	40,3
3				56,9	107	122	65,5	41,2	37,5	40,3	38,4	40,3
4				59,0	104	122	64,4	41,2	37,5	40,3	38,4	40,3
5				54,9	101	114	63,3	39,3	37,5	40,3	38,4	38,4
6				54,9	96,8	119	60,1	39,3	37,0	40,3	38,4	38,4
7				54,9	101	121	59,0	39,3	37,0	40,3	38,4	37,5
8				54,9	110	121	59,0	39,3	37,0	40,3	38,4	37,5
9				54,9	110	121	56,9	39,3	37,0	40,3	39,3	37,5
10				54,9	110	110	52,8	39,3	37,0	40,3	39,3	37,5
11				61,2	122	118	50,8	38,4	37,0	40,3	39,3	36,5
12				61,2	133	126	50,8	37,5	37,5	39,3	39,3	36,5
13				59,0	144	107	50,8	37,5	37,5	39,3	39,3	56,5
14				56,9	148	105	50,8	37,5	37,5	39,3	39,3	36,5
15				56,9	148	101	50,8	37,5	37,5	39,3	39,3	36,5
16				61,2	144	98,2	50,8	37,5	37,5	39,3	39,3	36,5
17				71,1	144	92,5	54,9	37,5	37,5	39,3	39,3	36,5
18				64,4	144	87,2	61,2	37,5	37,5	39,3	39,3	37,0
19				59,0	150	85,9	53,8	37,5	37,5	39,3	39,3	37,5
20				63,3	152	87,2	50,8	37,5	37,5	39,3	39,3	37,5
21				72,3	148	87,2	50,8	37,5	38,4	39,3	39,3	37,5
22				71,1	144	84,6	50,8	37,5	38,4	39,3	39,3	37,5
23				67,6	140	81,9	50,8	37,5	39,3	39,3	39,3	37,0
24				69,9	129	81,9	50,8	37,5	39,3	39,3	39,3	37,0
25				72,3	113	80,6	48,7	37,5	39,3	39,3	39,3	37,5
26				87,2	124	74,6	48,7	37,5	39,3	39,3	39,3	37,5
27				84,6	126	72,3	45,8	37,5	38,4	39,3	39,3	37,5
28				80,6	133	69,9	44,9	37,0	41,2	39,3	41,2	37,5
29				79,3	133	69,9	44,9	37,0	41,2	39,3	43,0	37,5
30				79,3	131	67,6	43,9	37,0	41,2	39,3	42,1	37,5
31					133		43,9	37,0		39,3		37,5
I				56,3	102	120	61,6	40,2	37,2	40,3	38,6	38,7
II				61,4	143	101	52,6	37,6	37,4	39,4	39,3	36,8
III				76,4	132	77,0	47,6	37,3	39,6	39,3	40,1	37,4
Средн.				64,7	126	99,1	53,7	38,3	38,1	39,6	39,3	37,6
Наиб.				92,5	152	133	69,9	42,1	41,2	41,2	43,0	40,3
Наим.				53,8	80,6	65,5	43,9	37,0	37,0	37,0	38,4	36,5

Средний годовой — . Наибольший 152 20/V. Наименьший — .

р. Балхаб — кишл. Рабатбала, 1965 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	37,5	37,5	35,5	39,3	50,8	143	98,0	—	33,2	31,8	30,5	30,5
2	37,5	37,5	35,5	39,3	61,2	148	89,9	—	33,2	31,8	30,5	30,5
3	37,5	37,5	36,0	39,3	79,3	148	84,5	—	33,2	31,8	30,5	30,5
4	37,5	37,0	35,5	37,5	78,1	150	81,8	40,0	33,2	31,8	30,5	30,5
5	37,5	36,5	36,5	39,3	81,9	148	83,2	40,0	33,2	33,2	30,5	30,5
6	37,5	35,5	36,5	44,9	320	148	81,8	40,0	33,2	33,2	30,5	30,5
7	37,5	36,0	37,0	50,8	340	148	81,8	38,6	31,8	34,6	30,5	30,5
8	37,5	35,5	37,5	44,9	101	148	79,1	38,6	31,8	34,6	30,5	30,5
9	37,5	35,5	37,5	43,0	89,9	143	81,8	38,6	31,8	34,6	30,5	30,5
10	37,0	35,5	38,4	41,2	79,3	143	80,4	37,2	31,8	34,6	30,5	30,5
11	37,0	36,5	37,5	40,3	78,1	146	77,8	37,2	31,8	34,6	30,5	30,5
12	37,0	36,0	37,5	40,3	74,6	147	75,0	37,2	31,8	34,6	30,5	30,5
13	37,0	35,5	37,5	41,2	113	147	72,4	37,2	31,8	34,6	30,5	30,5
14	37,0	36,5	36,5	43,0	142	148	68,3	37,2	31,8	34,6	30,5	30,5
15	37,0	37,0	41,2	46,7	140	148	67,0	35,9	31,8	34,6	30,5	30,5
16	38,4	48,7	42,1	50,8	136	147	65,6	35,9	31,8	33,2	30,5	30,5
17	38,4	40,3	42,1	54,9	134	143	62,9	35,9	31,8	33,2	30,5	29,2
18	38,4	37,5	42,1	54,9	131	140	62,9	35,9	31,8	33,2	30,5	29,2
19	38,4	36,5	41,2	52,8	133	134	58,8	34,6	31,8	33,2	30,5	29,2
20	38,4	35,0	39,3	51,8	134	126	56,2	34,6	31,8	31,8	30,5	29,2
21	37,5	35,0	39,3	52,8	136	123	54,8	34,6	31,8	31,8	30,5	29,2
22	37,5	35,0	37,5	61,2	136	117	52,1	33,2	31,8	30,5	30,5	29,2
23	37,5	35,0	37,0	63,3	136	112	52,1	27,8	31,8	30,5	30,5	29,2
24	37,0	37,5	37,5	61,2	123	108	50,8	26,4	31,8	30,5	30,5	29,2
25	36,5	37,5	44,9	56,9	120	104	49,4	34,6	31,8	30,5	34,6	27,8
26	36,5	37,5	42,1	50,8	119	104	48,0	34,6	31,8	30,5	30,5	27,8
27	36,5	36,0	39,3	47,7	123	101	46,7	33,2	31,8	30,5	30,5	27,8
28	38,4	35,5	43,0	48,7	126	98,0	46,7	33,2	31,8	30,5	30,5	27,8
29	37,5	—	44,9	48,7	125	95,3	—	31,8	31,8	30,5	30,5	27,8
30	37,0	—	52,8	48,7	132	98,0	—	31,8	31,8	30,5	30,5	27,8
31	37,5	—	44,9	—	137	—	—	31,8	—	30,5	—	27,8
I	37,4	36,4	36,6	42,0	128	147	84,2	—	32,6	33,2	30,5	30,5
II	37,7	38,0	39,7	47,7	122	143	66,7	36,2	31,8	33,8	30,5	30,0
III	37,2	36,1	42,1	54,0	128	106	—	32,2	31,8	30,6	30,9	28,3
Средн.	37,4	36,8	39,6	47,9	126	132	68,2	35,3	31,0	32,5	30,6	29,6
Наиб.	38,4	49,8	55,9	64,4	(700)	150	98,2	(400)	33,2	34,6	34,6	30,5
Наим.	36,5	35,0	35,5	37,5	48,7	98,0	(46,7)	(31,8)	31,8	30,5	30,5	27,8

Средний годовой — . Наибольший (700) 7/V. Наименьший — .

р. Сари-Пуль — 2 км выше с. Сари-Пуль, 1964 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1										5,72	7,62	7,76
2										5,59	7,48	7,20
3										5,59	7,48	7,20
4										5,46	7,48	7,48
5										5,59	7,20	7,20
6										5,59	7,20	7,20
7										6,11	7,20	7,48
8										6,37	7,20	7,34
9										6,50	7,20	7,48
10										6,50	7,20	7,06
11										6,92	7,48	6,92
12										7,20	7,62	7,34
13										7,20	7,76	7,48
14									4,01	7,20	7,76	7,48
15									4,21	7,20	7,48	7,62
16									4,43	7,48	7,48	7,62
17									4,43	7,34	7,48	7,90
18									4,87	7,20	7,48	7,76
19									5,72	7,20	7,48	7,62
20									6,24	7,20	7,48	7,62
21									6,24	7,20	7,20	7,48
22									6,24	6,92	7,20	7,20
23									6,11	7,20	7,20	7,20
24									5,98	7,06	7,06	7,20
25									5,98	7,20	7,20	7,20
26									5,98	7,20	7,20	7,20
27									6,11	7,20	7,48	7,20
28									5,98	7,20	7,20	7,20
29									5,72	7,48	8,06	6,92
30									5,72	7,48	8,06	7,76
31										7,62		7,48
I									—	5,90	7,33	7,34
II									—	7,21	7,55	7,54
III									6,01	7,25	7,39	7,28
Средн.									—	6,80	7,42	7,38
Наиб.									—	7,62	8,06	8,22
Наим.									—	5,20	7,06	6,78

Средний годовой — , Наибольший — , Наименьший —

р. Сари-Пуль — 2 км выше с. Сари-Пуль, 1965 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	7,34	7,90	7,90	11,1	8,54	7,20	6,78	6,37	4,87	7,76	7,90	6,78
2	7,06	7,90	7,76	10,6	9,34	7,20	6,92	6,37	4,87	7,76	7,90	6,78
3	7,48	7,62	7,76	10,2	9,34	6,92	8,37	6,37	5,46	7,76	7,90	7,06
4	7,06	7,90	7,76	9,86	9,18	7,20	5,85	6,64	6,92	7,76	7,76	7,06
5	7,06	7,34	7,76	9,50	9,50	7,48	5,72	6,64	7,06	7,90	7,76	7,06
6	7,34	7,20	7,76	10,8	22,8	9,18	5,85	6,50	7,06	7,90	7,62	7,06
7	7,20	7,20	7,90	10,6	21,7	9,02	5,46	6,11	7,06	7,90	7,48	7,06
8	7,20	7,20	7,76	10,6	10,2	9,02	5,20	5,85	7,20	7,76	7,34	7,06
9	7,06	7,20	7,76	9,86	6,64	8,86	5,20	5,46	7,34	7,76	7,20	7,06
10	7,06	7,34	7,62	9,68	6,64	8,70	5,20	4,43	7,34	7,90	6,92	7,06
11	7,06	7,34	7,62	9,50	5,98	8,54	5,59	4,32	7,48	8,38	7,06	7,20
12	7,06	7,34	7,62	9,68	5,85	8,54	7,48	4,32	7,48	8,54	7,34	7,06
13	7,06	7,34	7,48	9,68	5,85	8,54	7,34	4,32	7,34	8,54	7,34	6,92
14	7,06	7,06	7,62	9,86	6,11	8,38	7,20	4,21	6,78	8,54	7,20	6,92
15	7,06	10,2	8,54	9,86	6,11	8,06	7,20	4,21	5,98	8,06	7,20	6,24
16	7,06	9,86	9,18	10,2	6,11	8,22	7,20	4,21	5,46	8,06	7,20	6,24
17	7,90	9,18	9,18	10,2	6,24	6,37	7,06	4,98	6,11	8,06	7,20	6,24
18	7,90	8,86	9,34	10,2	6,37	6,37	7,06	6,24	6,11	8,22	6,92	6,11
19	7,48	7,90	9,02	9,68	7,76	5,85	6,92	5,72	6,11	8,86	6,92	6,11
20	7,62	7,62	8,86	9,18	10,0	5,85	6,50	5,72	6,24	8,70	7,06	6,24
21	7,48	7,34	8,54	9,18	11,9	5,85	5,85	5,85	6,50	8,06	7,20	6,37
22	8,22	7,34	9,50	9,86	14,4	6,11	4,43	5,85	7,20	7,90	7,20	6,64
23	7,62	7,34	8,70	10,0	11,5	5,98	4,01	5,85	7,62	7,90	7,20	6,92
24	7,06	10,2	8,22	9,18	11,9	7,34	3,83	6,37	7,76	7,76	7,20	6,78
25	7,62	8,54	8,22	8,86	10,8	7,34	3,74	6,50	7,76	7,62	7,20	6,92
26	7,62	8,54	12,9	15,1	10,2	7,34	3,83	6,50	8,06	7,48	7,34	6,92
27	7,06	8,22	11,7	10,2	9,68	7,34	3,83	5,98	8,22	7,34	7,34	6,64
28	7,62	8,22	10,9	8,54	10,0	7,34	3,92	4,32	8,06	7,48	6,92	6,50
29	7,48		10,6	8,22	8,06	6,64	3,74	4,21	7,90	7,62	6,78	6,37
30	7,34		14,9	7,90	7,90	6,64	5,85	4,21	7,90	7,76	6,78	6,37
31	7,62		12,1		7,34		5,85	4,21		8,06		6,37
I	7,14	7,48	7,77	1,03	11,4	8,1	6,1	6,1	6,5	7,82	7,58	7,00
II	7,33	8,24	8,45	9,80	6,64	7,5	7,1	4,8	6,5	8,40	7,14	6,53
III	7,52	8,21	10,6	8,70	10,3	6,8	3,9	5,4	7,7	7,72	7,12	6,62
Средн.	7,32	7,96	8,95	9,94	9,45	7,46	5,72	5,45	6,91	7,96	7,27	6,71
Наиб.	8,22	12,9	17,5	24,0	38,2	9,18	7,48	6,64	8,22	8,86	7,90	7,20
Наим.	6,64	7,06	7,48	7,90	5,46	5,85	3,74	4,21	4,87	7,34	6,78	6,11

Средний годовой — . Наибольший 38,2 6/V. Наименьший —

р. Кайсар — 2 км ниже устья р. Ширинтаго, 1964 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1						1,12	0,85	0,75	0,85	1,35	2,88	3,46
2						0,95	0,85	0,75	0,85	1,39	3,04	3,40
3						0,98	0,82	0,70	0,80	1,50	2,99	3,34
4						0,95	0,75	0,72	0,78	1,58	3,10	3,28
5						0,95	0,70	0,70	0,78	1,58	3,10	3,28
6						0,95	0,60	0,75	0,80	1,65	3,10	3,16
7						0,90	0,60	0,72	1,50	1,65	3,10	3,16
8						0,88	1,15	1,25	1,58	1,77	3,10	3,16
9						1,12	1,65	1,28	1,77	1,85	3,10	3,10
10						1,50	1,81	1,28	1,73	1,89	3,10	3,10
11						1,50	1,65	1,28	1,50	1,93	2,99	3,16
12						1,50	1,58	1,43	1,46	2,15	2,99	3,22
13						1,46	1,58	1,46	1,15	2,10	3,10	3,34
14						1,50	1,58	1,50	0,90	2,15	3,10	3,46
15						1,50	1,58	1,50	—	2,25	3,10	3,58
16						1,39	1,61	1,54	1,28	2,30	3,04	3,46
17						1,43	1,89	1,50	1,02	2,30	3,10	3,64
18						1,43	2,05	1,43	0,85	2,55	3,10	3,64
19						1,46	2,15	1,50	0,80	2,66	2,99	3,52
20						1,50	2,05	1,50	0,85	2,77	2,99	3,64
21						1,50	2,05	1,50	0,90	2,66	2,99	3,52
22						1,73	1,85	1,50	0,95	2,55	3,04	3,52
23					2,25	1,97	1,77	1,50	1,05	2,55	3,04	2,40
24					1,97	2,35	1,61	1,50	1,08	2,66	3,10	2,30
25					1,81	2,35	1,58	1,50	1,05	2,66	2,99	2,72
26					1,65	2,35	1,50	1,54	1,12	2,60	2,82	2,72
27					1,43	2,10	1,50	0,85	1,21	2,88	2,88	2,82
28					1,28	1,25	0,85	0,85	1,25	2,88	3,10	2,77
29					1,25	0,88	0,80	0,85	1,28	2,94	3,16	2,88
30					1,18	0,85	0,75	0,85	1,28	3,10	3,28	2,88
31					1,12		0,75	0,80		2,99		2,82
Средн.					—	1,41	1,37	1,19	1,12	2,25	3,05	3,18
Наиб.					—	2,40	2,25	1,58	1,08	3,10	3,34	3,64
Наим.					—	0,85	0,60	0,70	0,70	1,32	2,77	2,30

Средний годовой — . Высший — . Низший — .

р. Кайсар — 2 км ниже устья р. Ширинтаго, 1965 г.

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2,72	5,34	7,85	5,54	7,21	1,46	0,54	0,36	0,51	1,24	2,85	
2	2,60	4,82	6,72	5,21	6,86	1,15	0,51	0,39	0,48	1,32	2,80	
3	2,55	3,94	5,67	4,88	6,72	1,05	0,54	0,33	0,48	1,40	2,75	
4	2,40	4,82	5,40	3,70	6,44	1,54	0,51	0,36	0,45	1,72	2,66	
5	2,35	4,56	5,28	3,64	8,68	1,25	0,48	0,36	0,48	1,67	2,70	
6	2,60	4,82	6,86	8,68	7,35	0,98	0,51	0,36	0,51	1,80	2,66	
7	2,72	4,69	6,65	14,1	14,6	1,08	0,45	0,33	0,48	1,72	2,57	
8	2,60	5,08	6,51	9,88	11,5	1,12	0,36	0,36	0,92	1,85	2,52	
9	2,45	4,30	5,74	8,22	7,49	1,15	0,54	0,84	1,24	1,90	2,48	
10	2,35	4,12	6,02	7,14	6,86	2,05	1,44	1,04	1,72	1,85	2,57	
11	2,35	4,00	5,88	6,30	6,51	2,01	1,49	1,08	1,67	1,80	2,70	
12	2,30	3,64	5,74	6,37	5,81	1,89	1,76	1,12	1,44	1,76	2,75	
13	2,30	3,40	5,54	6,37	4,36	2,01	1,72	1,16	1,32	1,76	2,75	
14	3,16	3,46	5,40	7,07	3,82	1,85	1,76	1,24	1,08	1,80	2,75	
15	3,40	3,70	5,40	7,85	3,34	1,73	1,32	1,28	1,08	1,85	2,80	
16	5,21	10,3	6,02	8,22	3,64	1,69	1,24	1,24	1,32	1,94	2,90	
17	6,51	12,2	8,22	9,35	3,70	1,65	1,16	1,16	1,04	1,94	3,10	
18	4,06	4,95	7,85	7,78	2,94	1,67	1,28	1,20	0,76	2,03	3,35	
19	4,62	4,36	7,42	7,49	2,60	1,76	1,16	1,20	0,64	2,16	3,10	
20	4,43	3,64	6,65	6,51	1,85	1,72	1,20	1,24	0,48	2,26	2,95	
21	5,02	2,82	6,65	6,09	2,45	1,76	1,20	1,16	0,54	2,85	2,85	
22	3,64	2,60	6,51	6,02	2,66	1,67	1,12	1,20	0,51	3,05	2,80	
23	4,30	2,40	6,51	44,9	2,05	1,67	1,08	1,24	0,54	2,57	2,75	
24	4,76	4,24	6,44	19,4	1,58	1,76	1,00	1,16	0,60	2,52	2,75	
25	4,88	8,75	6,65	10,5	1,25	1,72	0,92	1,12	0,68	2,66	2,95	
26	4,50	6,65	11,5	8,75	0,90	1,67	0,88	1,04	0,76	2,75	3,10	
27	4,62	9,35	8,38	7,07	0,82	1,76	0,84	1,72	0,80	2,80	2,95	
28	4,36	8,30	7,07	5,95	2,01	1,72	0,54	1,90	0,84	2,85	2,85	
29	4,69		6,79	5,81	1,93	0,64	0,48	0,60	0,96	2,85	2,80	
30	5,67		6,16	6,93	1,46	0,48	0,42	0,54	1,16	2,75	2,75	
31	5,88		5,81		1,12		0,36	0,51		2,80		
I	2,53	4,65	6,27	7,10	8,37	1,28	0,59	0,47	0,73	1,65	2,66	
II	3,83	5,36	6,41	7,33	3,86	1,80	1,41	1,19	1,08	1,93	2,92	
III	4,76	5,64	7,13	12,1	1,66	1,48	0,80	1,11	0,74	2,76	2,86	
Средн.	3,74	5,18	6,62	8,86	4,53	1,52	0,93	0,93	0,85	2,14	2,81	
Наиб.	6,51	12,1	11,5	44,9	14,6	2,05	1,76	1,90	1,72	3,05	3,35	
Наим.	2,30	2,40	5,28	3,64	0,82	0,48	0,36	0,33	0,45	1,24	2,48	

Средний годовой —

Наибольший —

Наименьший —

Средние мутности воды по рекам Северного Афганистана за 1964—1965 гг., кг/м³

Дата	Мутность	Дата	Мутность	Дата	Мутность	Дата	Мутность
р. Кокча — 1,0 км ниже поста Пулишим							
1965							
7/II	0,53	5/V	4,31	8/VII	1,22	16/IX	0,14
6/III	0,85	19/V	2,37	15/VII	1,49	11/X	0,36
23/III	0,88	30/V	2,66	25/VII	1,32	27/XI	0,05
7/IV	32,7	14/VI	2,58	9/VIII	0,35	15/XII	0,04
27/IV	2,78	26/VI	1,78	31/VIII	0,35	—	—
р. Кундуз — 3 км ниже устья р. Нахрайн							
1965							
2/X	0,26	7/XII	0,34	—	—	—	—
р. Хульм — 17 км выше с. Ташкурбан							
1964							
10/X	0,15	20/X	1,02	1/XI	0,22	—	—
1965							
11/I	0,46	1/IV	9,70	21/VIII	0,33	23/XI	1,02
21/II	1,16	23/IV	38,2	19/IX	0,10	—	—
20/III	4,32	4/V	0,84	10/X	0,76	—	—
р. Балхаб — кишл. Рабатбала							
1964							
31/V	1,34	19/VII	2,28	13/IX	0,08	29/XI	0,18
10/VI	2,03	28/VII	0,29	25/IX	0,07	29/XII	0,06
16/VI	1,17	27/VIII	0,12	11/X	0,07	—	—
1965							
20/II	0,11	20/III	0,18	17/IV	1,33	26/IV	5,16
р. Сари-Пуль — 2,0 км выше с. Сари-Пуль							
1964							
8/X	0,25	27/X	0,22	26/XI	0,42	14/XII	4,30
1965							
14/I	0,60	5/IV	1,94	16/VIII	0,01	24/XII	0,40
23/II	0,89	19/IV	1,75	17/IX	0,21	—	—
7/III	0,86	7/V	129	14/X	0,32	—	—
30/III	34,5	19/V	2,94	13/XI	0,40	—	—
к. Кайсар — 2 км ниже устья р. Ширинтаго							
1964							
6/X	0,67	25/X	1,23	12/XII	1,14	—	—
1965							
13/I	1,21	4/IV	4,07	20/V	3,20	24/XI	2,00
6/III	11,0	18/IV	19,4	18/VIII	0,03	18/XII	2,62
29/III	11,4	6/V	25,6	14/IX	0,94	—	—

Единичные мутности воды по рекам Северного Афганистана
за 1964—1965 гг., кг/м³

Дата	Мутность	Дата	Мутность	Дата	Мутность	Дата	Мутность
р. Кокча — мост Пулишм							
1964							
8/VII	2,50	2/VIII	0,95	28/VIII	0,44	22/IX	0,12
9	1,51	3	1,12	29	0,35	24	0,14
10	1,71	4	1,13	30	0,36	25	0,09
11	3,37	5	0,95	31	0,42	26	0,11
12	2,34	6	0,27	1/IX	0,48	27	0,11
13	0,99	7	0,77	2	0,40	28	0,09
14	1,78	8	1,70	3	0,35	29	0,09
15	1,13	9	1,41	4	0,32	30	0,06
16	9,60	10	2,08	5	0,29	1/X	0,08
17	1,48	11	1,13	6	0,30	2	0,05
18	3,48	12	1,22	7	0,27	3	0,07
19	2,83	13	0,56	8	0,22	4	0,05
20	3,18	15	0,70	9	0,27	5	0,48
21	2,01	16	0,94	10	0,24	7	0,06
22	1,15	17	1,00	11	0,20	8	0,06
23	1,61	18	1,07	12	0,17	9	0,05
24	2,09	19	1,25	13	0,15	10	0,02
25	2,51	20	0,89	14	0,14	11—20	0,05
26	1,93	21	0,84	15	0,13	21—31	0,03
27	1,51	22	0,59	16	0,13	1—10/XI	0,02
28	1,45	23	0,89	17	0,16	11—19/XI	0,03
29	1,41	24	0,84	18	0,15	23—31/XI	0,05
30	1,28	25	0,50	19	0,14	20—29/XII	0,08
31	0,80	26	0,50	20	0,12	—	—
1/VIII	1,13	27	0,58	21	0,10	—	—

р. Кокча — 1,5 км ниже моста Пулишм

1965							
7—10/I	0,02	1/V	1,92	12/V	1,73	23/V	1,22
11—31	0,13	2	1,62	13	1,27	24	0,69
1—10/II	0,43	3	2,17	14	1,07	25	0,97
11—20	2,86	4	4,84	15	0,53	26	0,79
21—28	0,46	5	3,23	16	0,58	27/V	0,72
1—10/III	0,65	6	1,75	17	0,93	28	1,61
11—20	1,08	7	2,56	18	1,34	29	5,31
21—31	3,18	8	1,65	19	1,28	30	2,52
1—10/IV	5,31	9	19,3	20	0,74	31	1,22
11—20	5,15	10	11,1	21	7,95	1/VI	1,11
21—30	2,66	11	1,45	22	2,54	2	2,93

Дата	Мутность	Дата	Мутность	Дата	Мутность	Дата	Мутность
3/VI	1,08	30/VI	0,35	26/VII	0,80	21/VIII	0,21
4	1,05	1/VII	1,03	27	0,74	22	0,58
5	1,27	2	0,42	28	0,64	23	2,06
6	0,94	3	0,65	29	0,93	24	2,46
7	0,58	4	0,42	30	0,32	25	0,94
8	0,32	5	1,92	31	0,24	26	0,28
9	0,44	6	0,93	1/VIII	0,73	27	0,23
10	0,81	7	1,31	2	0,84	28	0,20
11	1,00	8	0,02	3	1,19	29	0,16
12	1,36	9	1,13	4	0,57	30	0,12
13	1,33	10	3,71	5	1,99	31	0,10
14	2,66	11	15,2	6	1,64	1—10/IX	0,13
15	0,40	12	0,65	7	0,20	11—20	0,06
16	3,35	13	0,84	8	0,13	21—30	0,10
17	1,02	14	1,69	9	1,02	1—10/X	0,11
18	1,47	15	0,59	10/VIII	1,10	11—20	0,10
19	0,80	16	0,86	11	0,01	21—31	0,09
20	0,44	17	0,63	12	0,10	1—10/XI	4,16
21	0,95	18	0,50	13	0,17	11—20	0,31
22	0,94	19	0,69	14	0,29	21—30	0,10
23	0,69	20	0,35	15	0,16	1—10/XII	0,35
24	0,71	21	0,35	16	0,22	11—20	0,06
26	0,47	22	0,09	17	0,13	21—31	0,04
27	0,51	23	0,47	18	0,18	—	—
28	0,53	24	0,24	19	0,35	—	—
29	0,44	25	0,57	20	0,26	—	—

р. Кундуз — 3 км ниже устья р. Нахрайн

1964							
24/IX	0,25	—	—	—	—	—	—
1965							
9/V	4,31	27/VI	4,23	21—30/IX	0,24	1—10/XI	0,22
15/V	1,22	5/VII	1,62	1—10/X	0,31	1—10/XII	0,08
25/V	1,72	1—10/IX	0,26	11—20/X	0,24	11—20/XII	0,19
17/VI	2,07	11—20/IX	0,13	21—31/X	0,09	21—31/XII	0,20

р. Хульм — 17 км выше с. Ташкурган

1964							
10—20/X	0,67	1—11/XI	0,61	11—20/XII	0,64	—	—
12—31/X	0,34	12—21/XI	0,34	21—31/XII	0,77	—	—

Дата	Мутность	Дата	Мутность	Дата	Мутность	Дата	Мутность
1965							
1—11/I	0,35	11—20/III	2,07	21—31/V	0,16	21—31/VIII	0,20
12—20/I	0,34	21—31/III	1,48	1—10/VI	0,23	10—20/IX	0,35
21/I—1/II	0,60	1—10/IV	(1,74)	11—20/VI	0,92	21—30/IX	0,30
2—10/II	0,68	11—20/IV	2,16	21—30/VI	1,29	1—10/X	0,30
11—20/II	1,68	21—30/IV	6,60	1—31/VII	3,40	11—20/X	0,69
21—27/II	0,82	1—10/V	21,2	1—10/VIII	0,28	21—31/X	0,34
1—10/III	1,41	11—20/V	3,46	11—20/VIII	0,56	1—10/XI	0,80

р. Сари-Пуль — 2,0 км выше с. Сари-Пуль

1964							
14/IX	0,02	23/IX	0,20	2/X	1,09	11—20/X	0,30
15	0,01	24	0,16	3	0,15	21/X—30/XI	0,54
16	0,01	25	0,14	4	0,14	11—20/XI	0,30
17	0,23	26	0,18	5	0,21	21/XI—1/XII	0,34
18	0,13	27	0,18	6	0,23	2—20/XII	0,59
19	0,24	28	0,25	7	0,31	21—31/XII	0,76
20	0,23	29	0,37	8	0,18	—	—
21	0,23	30	0,12	9	0,24	—	—
22	0,28	1/X	0,13	10	0,25	—	—
1965							
1—11/I	0,56	1—10/IV	4,15	11—20/VIII	0,15	11—20/XI	0,32
12—20/I	0,88	11—20/IV	2,10	21—31/VIII	0,97	21—30/XI	0,44
21—31/I	0,94	21—30/IV	7,90	1—20/IX	0,22	1—10/XII	0,51
1—10/II	0,75	1—10/V	21,5	21—30/IX	0,31	11—20/XII	0,69
11—28/II	2,93	11—20/V	2,59	1—10/X	0,28	21—31/XII	0,27
1—10/III	0,85	21—31/V	0,65	11—20/X	0,26	—	—
11—20/III	1,05	1—31/VII	0,58	21—31/X	0,37	—	—
21—31/III	13,0	1—10/VIII	0,15	1—10/XI	0,34	—	—

р. Кайсар — 2 км ниже устья р. Ширинтаго

1964							
10—22/X	1,12	1—10/XI	2,57	1—10/XII	2,28	21—31/XII	1,16
23—31/X	1,01	11—20/XI	1,28	11—20/XII	2,26	—	—
1965							
1—10/I	0,74	21—31/III	18,2	11—20/VIII	1,63	11—20/XI	1,50
14—20/I	14,0	1—10/IV	10,6	21—31/VIII	1,37	21—30/XI	1,48
21—31/I	3,84	11—20/IV	27,5	1—10/IX	0,54	1—10/XII	1,41
1—10/II	2,93	23—30/IV	35,4	14—20/IX	0,43	11—20/XII	1,03
11—21/II	7,58	1—10/V	29,4	21—30/IX	0,39	21—31/XII	0,76
22/II	3,27	11—20/V	4,72	10—20/X	1,15	—	—
1—10/III	5,50	1—31/VII	0,59	21—31/X	0,77	—	—
11—20/III	8,06	1—10/VIII	0,19	1—10/XI	1,23	—	—

р. Балхаб — кишл. Рабатбала

Чис- ло	1964 г.									1965 г.					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
1	0,17	0,63	0,69	1,32	0,10	0,07	0,04	0,02	0,06	0,03	0,03	0,31	0,36	1,46	1,35
2	0,64	0,56	0,28	0,73	0,13	0,06	0,04	0,03	0,06	0,02	0,03	0,07	0,31	2,52	2,35
3	0,83	8,03	1,76	0,53	0,15	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,15	0,36	1,77	1,22
4	0,15	1,05	2,00	0,62	0,16	0,04	0,04	0,04	0,06	0,02	0,12	0,06	0,26	2,20	0,97
5	0,84	6,57	2,46	0,39	0,10	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,19	0,22	1,73	1,20
6	0,25	0,86	1,71	0,40	0,17	0,07	0,07	0,05	0,05	0,02	0,05	0,21	0,34	16,4	1,09
7	1,25	0,97	2,11	0,40	0,29	0,06	0,04	0,08	0,06	0,06	0,05	0,18	1,42	31,6	0,75
8	0,94	0,67	1,90	0,39	0,14	0,06	0,03	0,04	0,06	0,04	0,04	0,37	4,64	6,52	0,60
9	0,34	0,72	2,15	1,04	0,11	0,07	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,15	0,60	3,50	1,01
10	0,37	0,78	1,11	0,32	0,12	0,07	0,04	0,04	0,04	0,05	0,01	0,20	0,59	2,80	1,04
11	1,29	0,52	1,14	0,28	0,11	0,07	0,04	0,03	0,05	0,06	0,11	0,15	0,49	3,05	1,27
12	0,22	1,69	1,37	0,27	0,10	0,06	0,04	0,08	0,06	0,04	0,05	0,14	0,53	2,97	0,92
13	3,51	3,75	0,90	0,23	0,12	0,06	0,04	0,05	0,08	0,08	0,04	0,14	0,33	2,78	0,77
14	0,70	4,03	0,46	1,91	1,09	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	0,02	0,11	0,52	3,06	0,69
15	1,68	3,48	1,67	0,26	0,09	0,04	0,05	0,05	0,06	0,03	0,11	0,21	1,53	3,14	0,56
16	1,14	0,59	(1,51)	0,36	0,07	0,04	0,03	0,09	0,06	0,04	2,42	0,14	0,94	3,31	0,39
17	6,25	3,69	1,36	1,59	0,08	0,03	0,05	0,12	0,08	0,05	0,29	0,25	1,77	3,37	0,42
18	5,22	0,53	0,83	6,83	0,08	0,05	0,05	0,06	0,11	0,02	0,23	0,06	1,30	3,72	0,36
19	5,76	4,25	0,74	2,71	0,10	0,04	0,04	0,05	0,12	0,02	0,07	0,12	1,33	4,20	0,37
20	2,70	0,94	1,01	0,32	0,10	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,11	0,11	0,89	5,08	0,38
21	1,18	0,85	0,92	0,28	0,09	0,07	0,04	0,02	0,07	0,01	0,09	0,12	0,75	6,69	0,33
22	7,89	1,62	0,94	0,52	0,10	0,04	0,05	0,04	0,08	0,04	0,10	0,32	0,55	7,41	0,33
23	3,66	1,53	0,81	0,46	0,08	0,06	0,03	0,04	0,06	0,03	0,06	0,14	8,14	5,46	0,32
24	0,57	1,48	1,74	0,33	0,16	0,05	0,04	0,04	0,06	0,01	0,17	8,91	9,16	3,84	0,30
25	5,13	0,33	1,21	0,32	0,09	0,07	0,06	0,03	0,06	0,01	0,50	2,92	7,40	3,83	0,30
26	5,34	2,23	0,86	0,27	0,08	0,05	0,02	0,03	0,05	0,04	0,19	2,64	1,18	3,16	0,25
27	1,96	0,72	0,97	0,29	0,07	0,08	0,04	0,07	0,03	0,07	0,23	0,63	4,52	3,43	0,26
28	3,73	0,33	0,69	0,24	0,07	0,08	0,05	0,07	0,04	0,06	0,13	0,32	2,55	4,04	0,23
29	0,60	0,53	0,71	0,22	0,06	0,08	0,04	0,12	0,06	0,04		2,22	2,06	4,12	—
30	0,39	0,11	—	0,18	0,07	0,06	0,04	0,07	0,04	0,02		2,43	3,47	3,74	—
31		0,85		0,13	0,07		0,07		0,04	0,02		—		3,94	

Гранулометрический состав взвешенных наносов рек Северного Афганистана за 1964—1965 гг.

Дата	Мут- ность, кг/м ³	Диаметр частиц (мм) и их содержание (в % по весу)						
		1,0—0,25	0,25— 0,10	0,10— 0,05	0,05— 0,01	0,01— 0,005	0,005— 0,001	< 0,001
1	2	3	4	5	6	7	8	9

р. Кокча

По данным единичных проб у моста Пулишм

1964

8—10/VII	1,90	6,9	21,3	36,0	7,3	18,5	3,0	7,0
11—14/VII	2,12	7,2	28,3	23,1	11,7	21,1	1,9	6,7
16/VII	9,60	3,7	12,4	24,5	15,2	26,0	4,7	13,5
17/VII	148	0,8	4,4	23,6	21,7	29,5	5,5	14,5
18—21/VII	2,88	8,8	37,2	29,0	6,5	12,5	0,5	5,5
25—27/VII	1,98	7,0	39,3	27,5	7,3	8,0	3,0	7,9
1—4/VIII	1,08	9,0	40,3	29,1	6,0	4,0	3,9	7,7
8—12/VIII	1,51	12,3	47,6	24,3	4,0	5,0	2,7	4,1
19—23/VIII	0,89	13,8	36,7	20,7	11,1	10,5	1,2	6,0
5/X	0,41	1,0	4,9	7,3	11,0	42,8	10,4	22,6

По данным единичных проб в 1,5 км ниже моста Пулишм

1965

11—31/I	0,13		4,3	7,8	26,5	41,7	6,3	13,4
1—10/II	0,43		0,9	7,1	34,0	45,5	3,3	9,2
11—20/II	2,86		0,4	2,2	19,9	52,5	10,0	15,0
21—28/II	0,46		0,5	3,3	30,1	48,8	7,8	9,5

По данным детально-суммарных проб в 1,0 км ниже моста Пулишм

1965

7/II	0,53		1,7	12,8	44,9	31,0	2,7	6,9
6/III	0,85	2,4	7,9	11,5	19,7	36,8	7,6	14,1
23/III	0,88	1,7	6,2	8,9	20,0	39,2	4,3	19,7
7/IV	32,7	0,8	7,0	13,8	30,9	29,0	3,5	15,0
27/IV	2,78	14,2	19,4	14,8	20,6	19,0	3,0	9,0
5/V	4,31	13,0	26,2	22,2	16,1	15,0	2,5	5,0
19/V	2,37	13,6	34,8	15,6	18,5	10,0	2,0	5,5
30/V	2,66	1,2	4,2	5,6	27,0	40,0	7,0	15,0
14/VI	2,58	16,6	31,8	16,8	14,3	13,5	2,5	4,5
26/VI	4,78	26,0	32,0	16,4	11,0	11,1	0,5	3,0
8/VII	1,22	16,4	41,6	19,2	10,8	8,0	2,0	2,0
15/VII	1,49	11,8	30,0	18,2	21,0	13,5	1,5	4,0
25/VII	1,32	15,0	32,0	19,2	15,3	14,0	1,0	3,5
9/VIII	0,35	11,1	21,4	14,3	21,6	21,4	1,6	8,6
31/VIII	0,35	16,0	37,6	16,2	12,0	10,5	1,3	6,4
11/X	0,36	—	13,2	48,0	17,7	16,5	2,3	2,3

Дата	Мут- ность, кг/м³	Диаметр частиц (мм) и их содержание (в % по весу)						
		1,0—0,25	0,25— 0,10	0,10— 0,05	0,05— 0,01	0,01— 0,005	0,005— 0,001	<0,001
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Река Кундуз — 3 км ниже устья р. Нахраин

По данным единичных проб

1965								
11—20/IX	0,13	2,3	8,1	10,4	41,0	26,0	3,3	8,9

По данным детально-суммарных проб

1965								
2/X	0,26		15,2	18,8	18,7	42,8	1,5	3,0
7/XII	0,34	3,5	32,6	20,7	16,0	6,8	4,4	16,0

Река Хульм — 17 км выше г. Ташкуртан

По данным единичных проб

1964								
10—20/X	0,67	0,9	0,6	4,0	10,1	63,7	9,2	11,5
1—11/XI	0,61	0,6	0,9	7,4	10,1	58,0	7,4	15,6
11—20/XII	0,64	1,5	3,6	6,5	34,6	41,8	4,0	8,0
21—31/XII	0,77		0,7	3,7	30,0	51,2	6,3	8,1
1965								
1—11/I	0,35		1,4	2,9	33,9	48,0	4,6	9,2
12—20/I	0,34		1,5	3,1	33,6	51,5	3,9	6,4
21/I—1/II	0,60		1,2	3,9	31,2	45,4	7,4	10,9
2—10/II	0,68		0,3	1,9	34,2	50,5	6,2	6,9
11—20/II	1,68		0,6	4,0	29,9	50,0	7,0	8,5
21—27/II	0,82			5,8	33,4	44,0	8,0	8,8
1—31/VII	3,40		1,2	2,2	17,6	45,0	11,0	23,0

По данным детально-суммарных проб

1964								
20/X	1,02	0,9	3,4	6,9	15,4	46,0	9,4	18,0
1/XI	0,22	0,9	4,5	18,9	14,1	48,0	2,3	11,3
1965								
21/II	0,16	2,3	3,4	12,9	34,4	28,0	4,7	14,3
20/III	4,32	1,1	4,6	17,2	33,4	25,5	4,9	13,3
1/IV	9,70	1,0	3,2	9,0	22,8	30,0	9,0	25,0
23/IV	38,2		1,2	2,6	22,7	44,5	6,5	22,5
4/V	0,84		3,9	15,0	22,2	33,4	3,9	21,6
23/XI	1,02		1,9	12,6	14,6	44,2	12,1	14,6

Река Балхаб — кишл. Рабатбала

По данным детально-суммарных проб

1964								
19/VIII	—			5,7	11,4	2,9	8,6	71,4

Дата	Мут- ность, кг/м ³	Диаметр частиц (мм) и их содержание (в % по весу)						
		1,0—0,25	0,25— 0,10	0,10— 0,05	0,05— 0,01	0,01— 0,005	0,005— 0,001	<0,001
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1964								
2/IX	—		1,5	7,8	42,7	30,8	14,1	3,1
13/IX	0,06			2,3	44,7	21,0	18,3	13,7
11/X	0,04			14,5	23,1	18,3	31,8	12,3
9/XI	—			14,7	18,3	5,8	7,4	53,8
1965								
10/III	—	0,1	1,3	12,3	34,7	12,8	22,0	16,8
25/III	—	—	0,1	4,8	39,1	14,1	21,4	20,5

р. Сари-Пуль — 2 км выше с. Сари-Пуль

По данным единичных проб

1964								
11—20/X	0,30	1,8	7,0	37,6	15,2	20,1	6,1	12,2
21/X—10/XI	0,64	2,5	10,4	23,6	27,4	26,6	2,4	7,1
11—20/XI	0,30	1,9	3,2	32,4	21,8	25,0	1,6	14,1
2/XI—1/XII	0,34		3,8	16,5	41,0	24,0	8,0	6,7
2—20/XII	0,59		0,9	14,1	44,2	25,2	6,5	9,1
21—31/XII	0,76		3,6	17,5	47,4	20,0	5,4	6,1
1965								
1—11/I	0,56		4,8	17,0	47,1	20,0	2,6	8,5
12—20/I	0,88		5,0	17,5	44,9	22,2	3,1	7,3
21—31/I	0,94	0,8	4,1	17,8	44,7	22,6	5,0	5,0
1—10/II	0,75		4,1	20,7	40,5	23,8	4,1	6,8
11—28/II	2,93	0,4	2,2	12,8	34,6	28,5	8,0	13,5
1—31/VII	0,58	0,4	6,2	20,0	44,9	21,5	2,5	4,5

По данным детально-суммарных проб

1964								
8/X	0,25	4,5	13,5	19,8	21,6	18,0	6,8	15,8
26/XI	0,42	1,7	3,9	22,8	22,2	30,3	8,0	11,1
14/XII	4,30		1,6	21,6	47,8	16,0	5,0	8,0
1965								
14/I	0,60	0,8	4,5	18,2	39,3	22,8	5,1	9,3
23/II	0,89	2,5	7,0	22,6	42,4	16,1	2,8	6,6
7/III	0,86	3,2	7,0	18,9	36,7	24,1	2,7	7,4
30/III	34,5		2,2	15,6	52,1	16,1	1,0	13,0
5/IV	1,94	1,0	6,0	20,0	35,5	19,5	4,0	14,0
19/IV	1,75	2,0	7,8	17,0	29,2	20,0	4,0	20,0
7/V	1,29	0,6	2,0	11,0	42,9	27,0	3,5	13,0
19/V	2,94	1,4	6,4	24,0	29,7	21,0	3,5	14,0

Дата	Мут- ность кг/м ³	Диаметр частиц (мм) и их содержание (в % по весу)						
		1,0—0,25	0,25— 0,10	0,10— 0,05	0,05— 0,01	0,01— 0,005	0,005— 0,001	<0,001
1	2	3	4	5	6	7	8	9

р. Кайсар — 2 км ниже устья р. Ширинтаго

По данным единичных проб

1964								
10—22/X	1,12	0,4	2,4	24,2	17,0	38,5	5,0	12,5
1—10/XI	2,57	1,0	2,4	34,0	26,6	26,0	3,0	7,0
1—10/XII	2,28		1,2	15,4	43,4	29,5	3,5	7,0
11—20/XII	2,26	4,4	1,4	22,0	29,6	25,8	8,1	8,7
21—31/XII	1,16		1,6	23,6	31,8	28,5	6,0	8,5
1965								
1—10/I	0,74	0,5	1,1	14,7	25,7	33,7	11,3	13,0
14—20/I	14,0		0,2	9,6	11,2	37,0	12,5	29,5
21—31/I	3,84		0,2	16,8	23,5	28,5	11,5	19,5
1—10/II	2,93		0,4	22,0	44,1	22,0	5,5	6,0
11—21/II	7,58		0,2	11,8	27,5	29,5	9,0	22,0
22/II	3,27			26,2	26,8	22,0	6,5	18,5
1—31/VII	0,59	0,6	2,0	5,2	24,2	42,5	6,5	19,0

По данным детально-суммарных проб

1964								
6/X	0,67	1,0	11,3	38,3	18,6	22,0	4,4	4,4
25/X	1,23	0,6	8,8	35,8	22,3	16,0	4,4	12,1
12/XII	1,14		6,8	45,0	16,8	16,0	6,6	8,8
1965								
13/I	1,21		4,7	27,3	25,9	22,5	8,3	11,3
6/III	11,0	4,0	3,4	16,0	30,6	25,0	3,5	17,5
29/III	11,4		1,2	15,3	41,0	22,0	2,5	18,0
6/V	25,6	5,0	5,8	14,2	33,0	21,5	1,0	19,5
20/V	3,20	0,2	2,6	36,2	26,5	13,0	5,0	14,5
14/IX	0,94		4,2	11,2	16,2	43,0	1,8	23,6

СОДЕРЖАНИЕ

В. Л. Шульц. Проблема Аральского моря	3
Г. Е. Глазырин, В. Н. Рейзвих. К расчету гидрографа стока при прорыве завальных озер	8
Ю. М. Денисов. Некоторые пути расчета смешанных максимальных расходов горных рек	13
Б. К. Шеремет, А. И. Хон. Схема формирования и расчет среднего стока рек Таджикистана	25
П. М. Машуков. Суточный ход уровня на малых горных реках как новый ис- точник гидрологической информации	34
Г. Е. Глазырин. Расчет внутрисуточного хода стока с ледника	42
Ю. Д. Москалев, П. М. Машуков. О резком падении расхода р. Чирчик в связи со снежными лавинами	45
П. М. Машуков. О прогнозах средних месячных расходов воды, составляемых по данным о расходах воды и температуре воздуха	50
Ю. Н. Иванов. Заиление Уртатокайского водохранилища	57
О. П. Щеглова, А. Р. Расулев. Формирование стока взвешенных наносов и смыв в бассейне р. Угам	70
Э. Г. Загиров. Соотношение между гидравлическим радиусом и средней глу- биной естественных водотоков	89
В. Л. Шульц. Левые притоки Пянджа и Аму-Дарьи	97

Труды САНИГМИ, вып. 32 (47)

Гидрология горных рек

Редактор *Г. Г. Доброумова*

Техн. редактор *Г. В. Ивкова*

Корректор *А. Ф. Кузнецова*

Сдано в набор 17/X 1967 г. Подписано к печати
29/II 1968 г. Бумага $70 \times 108^{1/16}$. Бум. л. 4,875. Печ.
л. 13,65. Уч-изд. л. 12,18. Тираж 600 экз. М-20128.
Индекс ГЛ-27. Гидрометеорологическое издательство.
Ленинград, В-53, 2-я линия, д. № 23.
Заказ. 1272. Цена 85 коп.

Сортавальская книжная типография Управления
по печати при Совете Министров КАССР.
Сортавала, Карельская, 42.

Проблема Аральского моря. Шульц В. Л. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 3—7.

Намечаемое планами развития народного хозяйства республик Средней Азии расширение орошаемых площадей приводит к уменьшению притока воды в Аральское море и тем самым к постепенному его высыханию. В среднем за 1934—1961 гг. с поверхности Аральского моря испарялось $52 \text{ км}^3/\text{год}$. В дельтах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи испаряется еще $10 \text{ км}^3/\text{год}$, т. е. 53% водных ресурсов бассейнов Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Этого количества воды хватит для орошения 8 млн. га хлопчатника. Народно-хозяйственным планом развития орошения в названных бассейнах уже к 1980 г. предусматривается такой прирост орошаемых площадей, что поверхностный приток в Аральское море сократится на $40 \text{ км}^3/\text{год}$. Такое сокращение притока повлечет за собой понижение уровня Аральского моря на 19—24 м, объем воды с 1023 км^3 сократится до $90—180 \text{ км}^3$.

Возникает вопрос: следует ли сохранить Аральское море в близком к современному состоянию или допустить его высыхание? Постепенное высыхание Аральского моря повлечет за собой ряд отрицательных (ухудшение климата в узкой прибрежной полосе, уменьшение транспортного значения, по-видимому, уменьшение добычи рыбы, проведение водохозяйственных мероприятий для разведения ондатры, нутрии и т. п.) и положительных моментов (орошение 8 млн. га хлопчатника, некоторое улучшение климата южных районов Средней Азии, добыча солей и т. п.). Автору представляется, что положительные стороны дают больший эффект, чем отрицательные, во всяком случае на ближайшие десятки лет. Однако для окончательного решения вопроса о судьбе Аральского моря требуется самый тщательный анализ. Если он покажет необходимость сохранения Аральского моря в близком к современному состоянию, то уже сейчас необходимо исследовать вопрос о переброске вод сибирских рек.

Библ. 4 назв.

К расчету гидрографа стока при прорыве завальных озер. Глазырин Г. Е., Рейз В. Н. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 8—12.

Расчет гидрографа паводочного стока при прорывах высокогорных озер в настоящее время чрезвычайно актуален, что вызвано большим ущербом, который приносит это явление природы. Примеры тому — Зарафшанский завал, прорыв озер Иссык на Тянь-Шане и Яшилкуль на Памире.

С целью описания этого явления построена математическая модель, учитывающая скорость размыва перемычки, скорость понижения уровня воды в озере и некоторые другие факторы. Получается система четырех дифференциальных уравнений, связывающих уровень воды в озере, глубину размыва перемычки, расход и площадь сечения потока, при решении которой получается гидрограф сброса.

В статье приводится описание прорыва оз. Яшилкуль (бассейн р. Исфайрамсай) 18.VI 1966 г. На ЭЦВМ «Минск-2» было сделано несколько расчетов гидрографа при различных значениях коэффициента, учитывающего скорость размыва в зависимости от расхода.

Иллюстр. 1, библ. 5 назв.

Некоторые пути расчета смешанных максимальных расходов горных рек. Денисов Ю. М. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 13—24.

В горных районах Советского Союза, таких как Кавказ, Средняя Азия, максимальные расходы воды в году формируются совместно талыми и дождевыми водами. В то же время способы расчета таких смешанных максимумов отсутствуют. В работе излагается математическая модель расчета максимальных расходов, вызванных совместным действием таяния снега и выпадения дождей.

Считается, что талые воды формируют гидрограф плавных очертаний, на который накладываются дождевые пики. Такое основание схематизируется трехпараметрической кривой со случайными параметрами. Максимальные ординаты дождевых пиков поставлены в зависимость от суточных сумм дождевых осадков. Дается способ расчета вероятности выпадения осадков различной величины. При использовании композиционного метода получен способ расчета смешанных максимальных расходов различной обеспеченности для горных рек.

Табл. 2, иллюстр. 5, библи. 2 назв.

Схема формирования и расчет среднего стока рек Таджикистана. Шеремет Б. К., Хон А. И. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 25—33.

В работе на основе схемы поступления воды на водосбор, разработанной в САНИГМИ, предлагается метод расчета средних многолетних модулей стока воды для горных районов Таджикской ССР.

Модуль стока воды ставится в зависимость от вертикального градиента водоотдачи B , высоты фронта и тыла снеготаяния z_0, z_1 и площади таяния $F(z_0) - F(z_1)$.

$$\bar{Q}_n = \frac{B}{2} (z_0 - z_1) [F(z_0) - F(z_1)]$$

Для расчета высоты фронта и тыла снеготаяния, а также площади снеготаяния по бассейнам рек Таджикистана предлагается таблица.

Табл. 2, прил. 1, иллюстр. 2, библи. 6 назв.

Суточный ход уровня на малых горных реках как новый источник гидрологической информации. Машук П. М. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 34—41.

Получение из высокогорных районов гидрометеорологических сведений, необходимых для службы прогнозов, климата и гидрорежима, весьма сложно из-за транспортных затруднений при большой пестроте распределения гидрометеорологических элементов по территории. Между тем почти любой горный ручей способен поставлять в долину хорошую информацию о погоде, снежном покрове и т. п. в его водосборе, лишь бы только суметь принять и расшифровать ее. Имеется в виду установка на горных потоках самописцев уровня и расшифровка лимниграмм.

За ряд лет были исследованы лимниграммы рек Головной и Четыксай с водосборами площадью 10 и 8 км² при средней высоте водосборов 2,70 и 1,86 км. Ледников в бассейнах этих рек нет, но снежники лежат до конца лета.

Обнаружено следующее:

1) суточный ход уровня наблюдается круглый год, но характер его меняется с сезоном, отражая особенности климата и строения водосбора;

2) в ясные дни лимниграммы имеют правильную форму и показывают большую амплитуду уровня. В такие дни весной и в начале лета суточный ход уровня определяется интенсивностью таяния снега. Во второй половине лета он сильно зависит от интенсивности испарения с зеркала реки и ее мокрой поймы, осенью — от образования льда в потоках ночью и таяния его днем. В зимнее время наблюдаются два, пока не объясненные, максимума уровня, дождевые паводки имеют длинные «шлейфы»;

3) влияние испарения на суточный ход исследовано теоретически. Было получено уравнение волны с суточным периодом в виде суммы гармонической и негармонической составляющих, зависящих от ряда факторов, в том числе от средней ширины потока. Теоретическая ширина потока оказалась близкой к измеренной. Суточный ход уровня (расхода) образует стоячую волну с пучностями и узлами на соответствующих расстояниях от истока.

Иллюстр. 1, библи. 2 назв.

Расчет внутрисуточного хода стока с ледника. Глазырин Г. Е. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 42—44.

В работе приводится схема расчета суточного гидрографа стока талых вод с горного ледника, основанная на известной схеме добегания (схема изохрон).

Таяние снега льда принимается пропорциональным температуре воздуха, суточный ход которой аппроксимируется синусоидой. Указан метод определения неизвестных параметров. В качестве примера проведен расчет суточного гидрографа стока с ледника Северный Танымас (Центральный Памир). Вычисления проводились на ЭЦВМ «Минск-2».

Иллюстр. 1, библи. 1 назв.

О резком падении расхода р. Чирчик, вызванном снежными лавинами. Москва-лев Ю. Д., Машуков П. М. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 45—49.

Рассматриваются причины резкого падения расхода р. Чирчик 23/II 1956 г. и устанавливается связь этого явления с лавинообразованием на Западном Тянь-Шане. Отмеченный расход ($21 \text{ м}^3/\text{сек.}$) является наименьшим за все время наблюдений (67 лет) на р. Чирчик. Для выяснения причин этого было проведено обследование рек Чирчик и Чаткал с самолета. Наблюдения подтвердили, что причиной уменьшения расхода р. Чирчик явились многочисленные снежные завалы в руслах р. Чаткал и его притоков. Согласно Гидрологическому ежегоднику за 1956 г., аналогичное падение уровней и уменьшение расходов наблюдалось на притоках р. Чирчик повсеместно. Характерно, что после падения уровней и расходов заметного паводка на р. Чирчик не последовало.

Обсуждается возможность объяснения зимних падений расхода р. Чирчик и ей аналогичных рек ледяными заторами и изъятием воды на ледообразование при резких похолоданиях. В качестве примера приводится падение расхода р. Чирчик в январе 1956 г., когда оно было связано ледовыми явлениями. Высказываются соображения, как различать (при анализе материалов гидрологических наблюдений) эти две основные причины уменьшения расходов горных рек. Сделан вывод о том, что массовое лавинообразование имело место и в другие годы и может быть причиной временного уменьшения расхода горных рек в будущем. Такие снижения расходов и уровней горных рек могут послужить индикатором имевших место случаев массового лавинообразования в прошлом, если не сохранилось прямых свидетельств о сходявших лавинах.

Табл. 1, иллюстр. 1, библи. 2 назв.

О прогнозах средних месячных расходов воды, составляемых по данным о расходах воды и температуре воздуха. Машуков П. М. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 50—56.

Излагается обобщение широко распространенных в Средней Азии методов предсказания средних месячных расходов воды в реках за летние месяцы по средним за весенний период расходам воды и температуре воздуха. В простейшем виде метод представлен в виде пучка ежегодных, так называемых интегральных кривых, когда на горизонтальную ось координат откладывается нарастающая сумма средних декадных (или ежедневных) температур воздуха по одной из высокогорных метеорологических станций, а на вертикальную — аналогичная сумма расходов воды.

Для перехода к количественным расчетам применяется два метода:

а) приведение суммы расходов к постоянной сумме температур. Для этого на чертеже приводят прямую, параллельную вертикальной оси и в точках пересечения ею ежегодных кривых определяют суммы расходов, которые потом используют в качестве аргументов (предикторов) прогностических связей;

б) приведение суммы расходов к единице температурной суммы. Для этого сумму расходов, например, с 1 апреля по 31 мая делят на сумму температур, взятую за тот же период, и полученные ежегодные значения частных применяют в качестве предикторов.

Второй метод лучше первого тем, что он полнее учитывает информацию и позволяет выпускать прогнозы в определенный срок. Теперь для получения предиктора обходятся без построения интегральных кривых, его просто задают аналитически, как частное от деления среднего расхода на среднюю температуру, обычно уменьшенную на некоторое постоянное число.

Применяются иные модификации описанного метода, например, суммирование температур начинают не с постоянной календарной даты, а с наступления заданной температуры и т. п.

Иллюстр. 1, библ. 2 назв.

УДК 551.482.

Зайление Уртатокайского водохранилища. Иванов Ю. Н. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 57—69.

Уртатокайское водохранилище, находящееся на правом притоке Сыр-Дарьи Каспийского бассейна объемом в 100 млн. м³, обеспечивает сезонное регулирование стока для нужд ирригации. При среднем годовом расходе наносов в 1,74 кг/сек. заиление водохранилища происходит медленно. Однако съемка водохранилища, проведенная Среднеазиатской экспедицией ГГИ в 1960 г., позволила обнаружить величину заиления, равную 1,569 млн. м³ за 19 лет работы водохранилища.

В связи с почти полной сработкой водохранилища к началу зимнего периода величина заиления оценена по данным нивелировки ложа по поперечникам. Всего было разбито 45 поперечников. При съемке проводился гранулометрический анализ отложений.

Табл. 7, иллюстр. 1.

УДК 551.482.212.3

Формирование стока взвешенных наносов и смыв в бассейне р. Угам. Щеглова О. П. и Расулев А. Р. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 70—88.

В статье рассматривается формирование стока взвешенных наносов на фоне физико-географических условий бассейна Угама (Зап. Тянь-Шань). Произведен генетический анализ стока взвешенных наносов с выделением дождевого и снегового бассейнового смыва и руслового размыва. Охарактеризовано внутригодовое распределение стока взвешенных наносов и его изменчивость. На основе выяснения генетических составляющих стока взвешенных наносов рассчитан дифференциальный модуль смыва с различных высотных зон. Полученная зависимость смыва от высоты согласуется с характером почвенно-геологических условий бассейна. Максимальная величина дифференциального смыва приурочена к области высот 1200—1500 м, характеризуемой выпадением наибольшего количества жидких осадков и широким развитием легко поддающихся размыву пестроцветных глин мезокайнозойского возраста. Второй высотный максимум смыва наблюдается в высокогорной области, где представлены эффузивные породы. Средняя часть бассейна, сложенная известняками, характеризуется наименьшим смывом.

Табл. 13, иллюстр. 4, библ. 14 назв.

УДК 551.482.211.2

Соотношение между гидравлическим радиусом и средней глубиной естественных водотоков. Загиров Э. Г. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 89—96.

В статье рассматривается вопрос, связанный с соотношением гидравлического радиуса R и средней глубины водотока h . Находится погрешность такой замены. Автором получено интерполяционное эмпирическое выражение, связывающее отношение гидравлического радиуса к средней глубине с отношением средней глубины к ширине водотока по урезам воды B .

$$\frac{R}{h} = \frac{1}{1 + \alpha \lambda^n},$$

где $\lambda = \frac{h}{R}$, α и n — параметры.

Параметры α и λ устойчивые и для большинства естественных водотоков равны соответственно 2,5 и 1,5.

Пологая, что у большинства естественных водотоков форма русла близка к параболической, получено теоретическое выражение для $\frac{R}{h} = f(\lambda)$

$$\frac{R}{h} = \frac{2}{1 + \frac{1}{6\lambda} \ln(1 + 6\lambda)}.$$

Иллюстр. 1, табл. 1, библи. 3 назв.

УДК 551.482.

Левые притоки Пянджа и Аму-Дарьи. Шульц В. Л. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 32 (47), стр. 97—148.

Изучение водного режима левых притоков Пянджа и Аму-Дарьи — рек Кокча, Кундуз, Хульм, Балхаб, Сари-Пуль, и Кайсор — впервые началось советскими специалистами (институтом «Средазгипроводхлопок», в 1964 г. в связи с составлением схемы использования водных ресурсов бассейна Аму-Дарьи.

В статье приводятся краткие гидрографические описания перечисленных рек и на основании 1—1,5 лет наблюдений освещен водный режим рек, а также мутность воды и сток взвешенных наносов. Обобщение полученных материалов показало, что левые притоки Пянджа и в особенности Аму-Дарьи отличаются от правых притоков малой удельной водоносностью.

Даже водосбор Кокчи имеет средний модуль стока около 8 л/сек. км², водосбор Кундуза (у г. Пулихумри) около 4 л/сек. км², водосбор Балхаба более 3 л/сек. км². Остальные реки, даже с поправкой на разбор воды для орошения, имеют средние модули стока менее 1 л/сек. км². Отмечается асинхронность колебаний стока рассматриваемых притоков. На основе установленной зависимости средних модулей стока от средних взвешенных высот водосборов составлена схема годового стока афганской части бассейна Аму-Дарьи. Схема не является расчетной. Для определения коэффициента вариации годового стока в неизученных створах рекомендуется использовать формулу В. Л. Шульца, полученную им для горных районов Средней Азии. Формулой можно пользоваться только для рек со средней высотой водосборов более 2,0 км.

Табл. 9, прил. 4, иллюстр. 5.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

предлагает вниманию
гидрологов, географов, гидротехников, а также студентов
гидрометеорологических институтов следующие книги

Дмитриевский Ю. Д. Внутренние воды Африки и их использование, 1 р. 81 коп.

Железняков Г. В., Данилевич Б. Б. Точность гидрологических измерений
и расчетов, 1 р. 18 коп.

Лисер И. Я. Весенние заторы льда на реках Сибири, 36 коп.

Песчанский И. С. Ледоведение и ледотехника, 1 р. 95 коп.

Хейсин Д. Е. Динамика ледяного покрова, 85 коп.

*Заказы на эти книги направляйте
по адресу: г. Ленинград, В-53, 2 ли-
ния, д. 23, Гидрометеоиздат.*