

626
В-74
39898

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК

13

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

А. И. ЕВСОВ
ПОДАТАСЛА



ОБЩЕСТВО ИМУЩЕСТВА ПЕРВОГО ПОСЛА

А. И. ЕВСОВ

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ

СУВ ПРОБЛЕМАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ГИДРОТЕХНИКА МАСАЛАЛАРИ

13-КИТОБ

ДАРЁ ЎЗАНЛАРИНИНГ ЎЗГАРИШИ
ДАРЁ СУВЛАРИДАГИ ЛОЙҚАЛАР

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ НАШРИЁТИ

ТОШКЕНТ-1963

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 13

РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ
НАНОСЫ РЕК

БИБЛИОТЕКА
ИВГП и Г

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ • 1963

39898

В сборнике рассматриваются вопросы моделирования русловых процессов некоторых проектируемых крупных гидроузлов на реках Средней Азии, разработки методов расчета заиления водохранилищ, поступления плотных потоков в отверстия водозаборных сооружений, общего размыва русла в нижних бьефах плотин и саморазмыва при спрямлении речных излучин. Анализируется опыт эксплуатации водозаборных узлов на предгорных участках рек.

Книга предназначена для научных работников и проектировщиков гидротехнической специальности.

Редакционная коллегия

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ (отв. редактор), член-корреспондент
АН УзССР М. С. ВЫЗГО, С. Г. ЗАПРОМЕТОВ, Е. Д. РОЖ-
ДЕСТВЕНСКИЙ, А. М. МУХАМЕДОВ, М. Б. БУТЫРИН,
М. В. ВАСИЛЬЕВ, И. И. ГОРОШКОВ, Н. Ф. ЦВЕТИКОВА,
Г. Г. ВАЛЕНТИНИ

Н. А. ЦВЕТКОВА

РЕЖИМ НАНОСОВ р. АМУ-ДАРЬИ

Введение

Река Аму-Дарья от других рек СССР отличается исключительно большим количеством влекомых наносов. В связи с проектированием в настоящее время ряда гидроузлов в низовьях Аму-Дарьи возникает необходимость изучения и анализа всех имеющихся материалов о режиме наносов реки, а также проведения расчетов по прогнозу заиления и общего размыва в верхнем и нижнем бьефах этих узлов.

Задачей настоящей работы является систематизация и анализ результатов многолетних наблюдений за режимом наносов среднего и нижнего течения реки от ст. Керки до ст. Чатлы. Схема расположения станций показана на рис. 1. Исследование наносного режима реки выполнено главным образом по данным гидрометрических станций УГМС, опубликованным в «Гидрологических ежегодниках». Рассмотрены также соответствующие материалы полевых экспедиций Института водных проблем и гидротехники АН УзССР по Аму-Дарье.

На гидрометрических станциях проведены систематические наблюдения и определены следующие элементы потока: скорости течения воды в точках на промеренных вертикалях створа, средние скорости течения и расходы воды, мутности в точках створа, средние мутности, фракционный состав и расход взвешенных наносов и донных отложений, изменение поперечного профиля и средней глубины реки.

Период наблюдений за наносами реки по отдельным станциям различен. Наиболее полные систематические наблюдения организованы по ст. Чатлы. На рис. 2 указана длительность периодов наблюдения по станциям нижнего и среднего течения Аму-Дарьи. Результаты наблюдений с 1910 по 1950 г. систематизированы и опубликованы в кратком виде в сборнике [1]. Предлагаемый материал является продолжением работы, начатой в 1952 г., и содержит более полные данные за 1951—1959 гг., обобщенные с полученными в предыдущие годы; таким образом, сделанные нами выводы основаны на всей совокупности наблюдений (1910—1959 гг.) по станциям Керки — Чатлы.

На основании анализа и состояния наносного режима Аму-Дарьи оказалось возможным установить некоторые гидравлические связи и характер наносного режима реки, а также наметить необходимые пути и рекомендации для дальнейшего изучения твердого стока на гидромет-станциях.

В разделах о мутности и стоке наносов рассмотрены изменения как мутности по длине реки во времени, так и мутности и скорости воды, обусловленные профилем и глубиной реки, зависимости между мут-

симости от мутности и по длине реки. С движением потока вниз по течению его нагрузка уменьшается. Такая закономерность сохраняется до ст. Ташсака; ниже нагрузка потока остается постоянной для соответствующих мутностей. Это свидетельствует о том, что гидрологический режим в отношении твердого стока для участка реки в районе Хорезмского оазиса однороден.

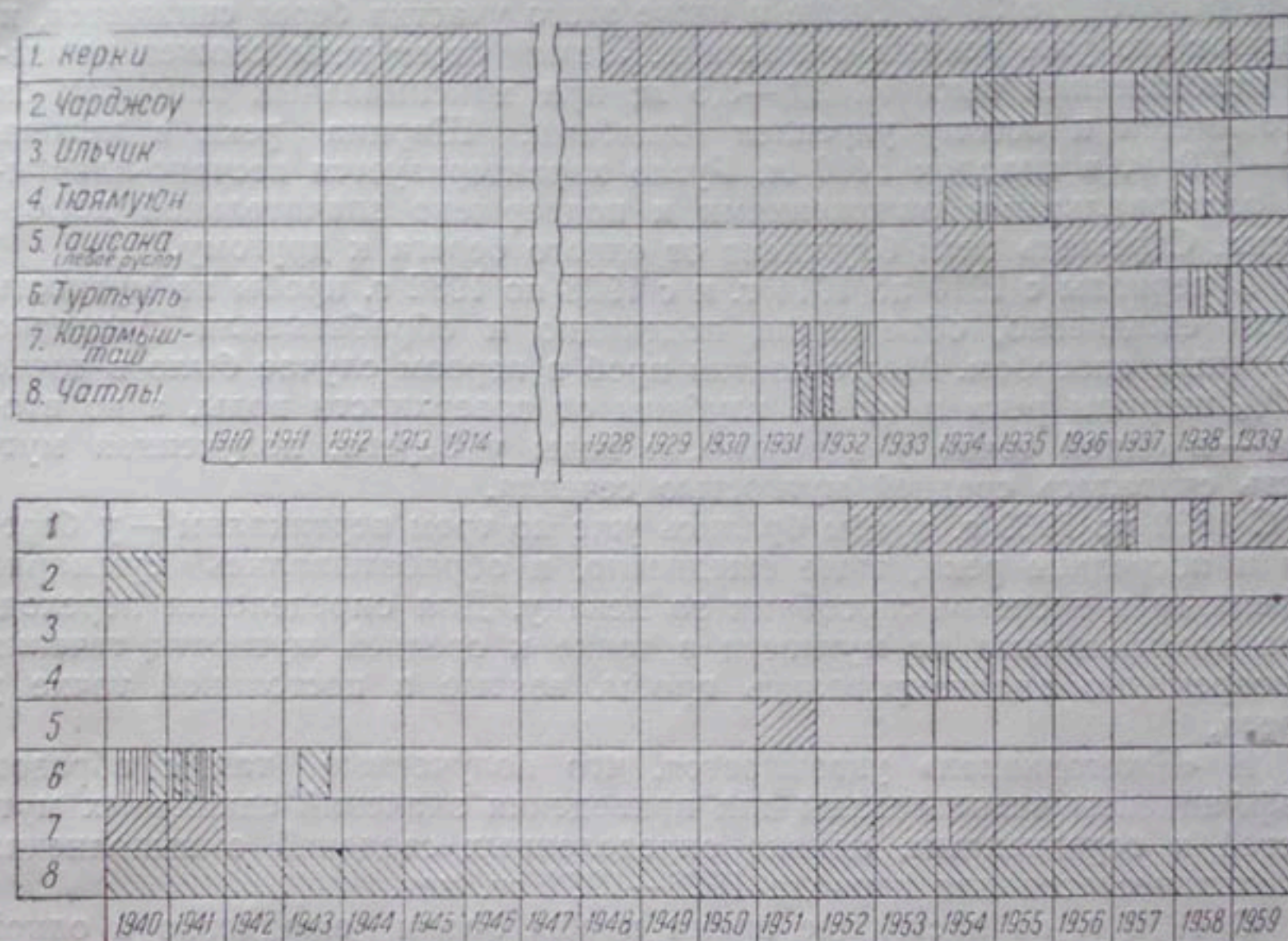


Рис. 2. График периодов наблюдений за мутностью воды р. Аму-Дарьи на различных станциях.

В § 6 проанализированы новые зависимости, появившиеся в литературе, и приведены материалы и соображения, доказывающие, что данные о количестве и крупности взвешенных наносов, приведенные в «Ежегодниках», несколько занижены вследствие того, что наблюдениями не охвачены наносы, влекомые во взвешенном состоянии близ дна. Это обстоятельство должно быть учтено при осуществлении различных водохозяйственных мероприятий. Кроме того, получено новое косвенное подтверждение известных ранее предположений о количестве влекомых рекой донных наносов.

В специальных разделах изложены материалы о составе донных отложений, объемном и удельном весе донных и взвешенных наносов.

§ 1. МУТНОСТЬ р. АМУ-ДАРЬИ

а. Изменение мутности воды во времени и по длине реки

Сведения о режиме мутности взяты из «Гидрологических ежегодников» по гидрометрическим станциям Керки, Ильчик, Тюямуюн, Чатлы; по станциям, данные с которых имелись менее чем за пять лет, обработки не производилось.

Приводим краткое описание станций, порядок и приемы определения мутности и состава наносов на них.

Гидрометрическая станция Керки работает с 1910 г. Наблюдения за мутностью собраны за периоды 1910—1914 г., 1928—1939 г. и с 1952 г. по настоящее время.

В створе станции правый берег каменистый, устойчивый, обрывистый, высотой до 30 м. Выше и ниже этого участка берег снижается, и слагают его уже речные отложения. Левый берег реки сложен речными отложениями высотой 2,5—3,5 м; при максимальных паводках он затопляется и потому укреплен дамбами. Ширина реки в межень 600—700 м, в паводок 1400 м. Русло характеризуется песчано-илистыми аллювиальными отложениями и подвержено значительной деформации. Стрежень реки блуждает от одного берега к другому.

В периоды с 1910 по 1914 г. и с 1928 по 1932 г. пробы на мутность брали ежедневно, объединяли подекадно и обрабатывали суммарно объемным способом. Место взятия проб в первом случае было в точке на $\frac{1}{5}$ ширины реки и на 0,6 глубины от поверхности воды, а во втором — в одной точке у поверхности воды у берега; полученная мутность считалась средней мутностью сечения.

С 1932 по 1939 г. пробы брались уже по трем вертикалям — у берегов и посредине реки, тоже ежедневно, и обрабатывались суммарно объемным и весовым способами за декаду. Для определения переходного коэффициента от мутности в точке к средней мутности течения одновременно анализировались пробы, взятые в постоянной точке у берега.

В «Ежегодниках» указывается, что полученные таким образом коэффициенты использованы для приведения значений единичных мутностей к осредненным, однако определенных сведений о выполнении таких пересчетов для периода 1928—1932 гг. нет.

С 1952 г. по настоящее время пробы брали ежедневно в одной точке на стрежне реки бутылками емкостью 0,5 или 1 л или батометром ГТИ и пересчитывали при помощи переходного коэффициента, снятого с хронологического графика, на среднюю мутность по сечению. Хронологический график строился на основе детальных замеров, проводимых по нескольким вертикалям по ширине реки и в нескольких точках по высоте. Каждая проба исследовалась отдельно, и лишь некоторые из них обрабатывались интегральным способом. Количество точек для построения хронологического графика за разные годы колебалось от 26 до 60.

Механический состав взвешенных наносов определялся по суммарной пробе, слитой с проб, взятых на отдельных вертикалях, и считался механическим составом по сечению.

Гидрометрическая станция Ильчик открыта с 1937 г.; систематические наблюдения за мутностью ведутся с 1955 г. В створе поста русло реки слабо извилистое, сложенное песчано-илистыми отложениями, деформируемое. Ширина реки в межень 250—300 м, в паводок 900—950 м; берега крутые, обрывистые, высотой 2,5—10 м, подвержены размыву. С 1955 г. в связи с образованием нескольких протоков водопост перенесен на 884 м вниз по течению.

Единичные пробы воды на мутность в створе нового поста брали на стрежне реки бутылкой емкостью 1 л и пересчитывали при помощи переходных коэффициентов на среднюю мутность по сечению. Детальные замеры, на основе которых выводились переходные коэффициенты, производились по нескольким вертикалям, на каждой вертикали интегральным способом.

Гидрометрическая станция Тюямуюн действует с 1924 г. Сведения по наносам имеются за 1934, 1935, 1938 гг. и с середины 1953 г. по настоящее время.

Станция расположена в теснине. Русло реки в створе станции устойчивое, несколько изогнутое в плане. Берега скалистые, крутые, с обрывами высотой до 10 м; дно реки каменистое. Ширина реки 300—350 м. Водопост находится в створе станции. Выше и ниже его русло подвержено деформации. На 1,8 км от водопоста вверх по течению установлен гидроствор, где производятся замеры профиля реки. Место отбора проб на мутность — в створе водопоста.

Порядок определения мутности тот же, что и на ст. Керки, — по хронологическому графику, построенному на основании детальных замеров.

Взятие проб на мутность в суженном устойчивом русле реки приводит к завышенным данным, так как при переходе от широкого деформируемого русла в суженное каменистое донные отложения благодаря повышенным скоростям оказываются во взвешенном состоянии, особенно в паводковый период.

Гидрометрическая станция Чатлы работает с 1910 г. Русло реки на участке станции прямое, шириной 200—900 м, берега и дно сложены песчано-илистыми отложениями, деформируемые. В гидростворе производят замеры профиля реки и берут пробы на мутность. Данные по декадным мутностям имеются с 1931 по 1933 г. (неполные) и с 1937 г. по настоящее время (полные). Об условиях замера мутности в период с 1931 по 1933 г. сведений нет. В 1937 г. мутность измеряли в одной точке сечения; попутных замеров по сечению не производилось, и связи между средней и одиночной мутностью не установлено.

С 1938 г. по настоящее время наблюдения над мутностью осуществлялись ежедневно; кроме того, измерялись расходы наносов детальным способом. На основании полученных результатов определялись переходные коэффициенты от точки к сечению и строился хронологический график.

Таким образом, за период 1910—1950 гг. мутности не только на различных станциях, но даже и на одних и тех же, но в разное время, определялись многими способами; за период 1951—1959 гг. способ определения мутности однообразен как по станциям, так и во времени.

Необходимо отметить, что данные по ст. Тюямуюн не могут характеризовать наносный режим; вследствие того, что она расположена в теснине, получаются завышенные значения мутности и крупности взвешенных наносов.

Механический состав наносов за 1951—1959 гг. определялся интегральным способом — по суммарной пробе, слитой с проб, взятых на отдельных вертикалях на разных высотах, и считался механическим составом по сечению. Крупность наносов устанавливалась с помощью фракциометра или пипетки. За время 1910—1950 г. механический состав большей частью определялся детальным способом.

Сведения о мутности по указанным станциям сведены в табл. 1*. Гидрометрические станции расположены в порядке приближения их к устью реки. По каждой станции выведены среднемноголетние значения мутности за период 1951—1959 гг., а также и за весь период наблюдений.

Кроме того, в табл. 1а по ст. Чатлы приведены значения мутности

* См. приложения в конце статьи.

за время с 1929 по 1959 г. (годы, не имеющие наблюдений, восстановлены коррелятивной связью со станциями Керки и Ташсака).

Как видно из табл. 1, увеличение мутности бывает с первой декады апреля по третью декаду августа, причем этот период разбивается на две части. Прохождение максимальной мутности в реке совпадает с первыми весенними паводками, связанными с таянием снегов на склонах гор и выпадением весенних дождей. Максимальные мутности наблюдаются с первой декады апреля по третью декаду мая.

В июле — августе мутность зависит от паводков, обусловленных таянием ледников. Она несколько меньше мутности предыдущего периода, так как стекание воды с тающих ледников происходит более крупными ручьями по уже проторенным за многие годы логам, тогда как во время весенних паводков вода стекает с водосборной площади, ослабленной за зиму метеорологическими условиями.

Наименьшие мутности отмечены с октября до конца февраля.

В табл. 2 приведены средние декадные максимальные и минимальные мутности в период их прохождения. Максимальные мутности изменяются в пределах от 2,80 до 15,60 кг/м³, минимальные от 0,15 до 1,05 кг/м³, а по ст. Чатлы — от 2,80 до 8,01 и от 0,15 до 0,99 кг/м³.

Однодневные наблюденные максимальные и минимальные мутности приведены в табл. 3 только по ст. Чатлы; по другим станциям таких данных нет.

Было бы интересно вывести среднегодовые мутности по течению Аму-Дарьи по полным годам наблюдений, проведенных на станциях: Керки за 18 лет, Ильчик за 5 лет, Тюямуюн за 3 года и Чатлы за 23 года. Однако ввиду того, что годы наблюдений на этих станциях не совпадают, проследить степень мутности по длине реки и выявить закономерность ее изменения не представляется возможным. Приблизительно изменение мутности за последнее десятилетие можно охарактеризовать лишь по трем станциям: Керки, Ильчик, Чатлы. Среднегодовые (взвешенные по расходам) значения ее составляют 4,02; 3,73 и 3,17 соответственно.

Если проследить ход мутности по отдельным годам, то можно заметить, что вниз по течению реки она не изменяется в тех случаях, когда величина среднегодовых ее значений не превышает мутности года, принятого за средний; в годы же больших мутностей происходит уменьшение ее по длине реки.

б. Зависимость мутности воды и расхода наносов от расхода воды р. Аму-Дарьи

Явной графической зависимости мутности воды от расхода воды выявить не удалось ни по одной из рассматриваемых станций.

Максимальные расходы воды приходятся на период июнь — июль, а максимальные мутности примерно на два месяца раньше, т. е. в период весенних паводков. Во время наибольших расходов воды мутность несколько снижается; наименьшим расходам (октябрь — февраль) соответствует наименьшая мутность. Таким образом, подтверждается высказанное раньше предположение о зависимости степени мутности от происхождения паводков.

в. Изменение мутности и скорости воды в зависимости от профиля и глубины реки

Данные о мутностях и скоростях воды в зависимости от профиля и глубины реки имеются в УГМС по станциям Тюямуюн и Чатлы.

По этим материалам были графически построены профили русла и эпюры скоростей и мутностей воды (из-за большого объема здесь не приводятся).

Зависимости для скоростей воды получены большей частью в виде нормальных эпюр — у поверхности скорости больше, ко дну уменьшаются; исключения составляют случаи, когда поток проходит сосредоточенным глубоким руслом (более 5 м) у одного из берегов; тогда скорости по высоте выравниваются.

Изменение величины мутности по высоте бывает различным и зависит от характера потока. Если в паводковые и летние месяцы русло имеет распластанную форму, поток проходит отдельными вальцами в количестве от 2 до 4—5. В этом случае эпюра мутности по высоте сечения напоминает сапожок, т. е. мутность увеличивается с глубиной, особенно сильно в нижней трети. В местах соприкосновения вальцов мутность выравнивается.

В осеннее, зимнее и весеннее время поток сбивается к одному из берегов, идет обычно одним вальцом; глубина его русла часто превышает 5 м. В этот период эпюры мутности имеют двойкий характер: если русло сильно заглублено и структурные вальцы расположены один над другим по высоте, то мутность потока выравнивается; когда же у берегов образуется один большой валец, эпюра мутности сохраняет форму сапожка.

§ 2. СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ р. АМУ-ДАРЬИ

Сток взвешенных наносов подсчитан по данным табл. 1 и материалам УГМС о среднедекадных расходах воды по трем станциям — Керки, Ильчик и Чатлы. За отдельные месяцы в случае отсутствия сведений по мутностям сток определялся по среднемноголетним данным. Недостающие величины по расходам воды восстановлены коррелятивной связью с соседними станциями. Подсчеты сведены в табл. 4. В табл. 5 приведен подекадно суммарный сток наносов реки.

Общее количество наносов, проносимое рекой за год и зарегистрированное на ст. Керки, в периоды с 1929 по 1938 г. и с 1951 по 1959 г. составляет в среднем 246 510 тыс. т. По месяцам этот сток распределяется следующим образом:

Мес.	тыс. т	Мес.	тыс. т	Мес.	тыс. т
I	2865	IV	24175	X	4289
II	2684	V	48096	XI	2932
III	7427	VI	50768	XII	2707.
		VII	51649		
		VIII	36261		
		IX	12558		

Наибольшее количество наносов проходит в вегетационный период. За месяцы апрель — сентябрь в среднем за многие годы прошло 223 507 тыс. т, т. е. 90,5% от годового стока.

Сток наносов, зафиксированный на ст. Ильчик в период с 1955 по 1959 г., за год составил в среднем 210932 тыс. т. В течение года его распределение таково:

Мес.	тыс. т	Мес.	тыс. т	Мес.	тыс. т
I	3140	IV	19304	X	4943
II	2198	V	27241	XI	3388
III	3741	VI	39263	XII	3622.
		VII	49687		
		VIII	40080		
		IX	14325		

На ст. Чатлы среднее годовое прохождение наносов за срок с 1927 по 1959 г. составило 133541 тыс. т со следующим распределением по месяцам:

Мес.	тыс. т	Мес.	тыс. т	Мес.	тыс. т
I	1407	IV	7806	X	4064
II	1208	V	21581	XI	4659
III	1913	VI	25592	XII	1803.
		VII	29004		
		VIII	22668		
		IX	9841		

Так же как и по ст. Керки, по станциям Ильчик и Чатлы наибольшее количество наносов проходит в вегетационный период; по Ильчику оно составляет 90,0% и по Чатлы — 87,5% от годового стока.

Периоды наблюдений по станциям Керки и Чатлы во времени совпадают не полностью; поэтому, кроме совпадающих среднегодовых стоков наносов за срок 1951—1959 гг., для сравнения со ст. Ильчик отдельно выведены величины стоков за годы 1955—1959. Подсчеты сведены в табл. 6.

Максимальный средний декадный сток наблюдается в июле. Его величины за разные периоды времени по различным станциям имеют следующие значения (тыс. т):

Станция	Период, годы	Декада	Максимальный декадный сток
Керки	1929—1938 и		
	1951—1959	2	18283,87
Чатлы	1929—1959	3	10921,93
Керки	1951—1959	2	23433,21
Чатлы		3	13448,67
Керки	1955—1959	2	22843,96
Ильчик		3	18821,66
Чатлы		3	13482,86

На участке Керки — Ильчик, где забор воды в ирригационные системы составляет незначительную величину от расхода реки, разницу в стоке наносов между этими двумя пунктами — около 23 млн. т — следует объяснить отложением наносов (период 1955—1959 гг.). Для оценки порядка величины возможных ежегодных отложений на этом участке ориентировочно допускаем, что они распределяются в русле реки равномерно; на расстоянии от ст. Керки до ст. Ильчик, равном 301 км, и ширине около 1500 м среднегодовой слой отложений при объемном весе $1,5 \text{ т/м}^3$ примерно составит

$$\Delta h = \frac{23 \cdot 10^6}{1,5 \cdot 1500 \cdot 301 \cdot 10^3} = 0,034 \text{ м},$$

или 3,4 см в год, что представляет собой величину значительную.

Приведенный расчет дает лишь грубую ориентировку, однако систематическое повышение дна Аму-Дарьи, вызываемое отложениями наносов, существует несомненно и является одной из причин неустойчивого характера и блуждания русла этой реки.

Надо полагать, что такое же явление происходит и на участке Ильчик — Тюямуюн. Если принять во внимание приведенный выше расчет, то разница в стоке на этом участке должна быть примерно равна

$$0,034 \cdot 1500 \cdot 314 \cdot 10^6 \cdot 1,5 = 24 \cdot 10^6 = 24 \text{ млн. т.}$$

На участке Ильчик — Чатлы разница в стоке составляет около 79 млн. т, а Тюямуюн — Чатлы — 55 млн. т. Обе эти величины можно отнести за счет забора наносов с водой в ирригационные системы.

§ 3. ВЫБОР И ХАРАКТЕРИСТИКА МАКСИМАЛЬНОГО, СРЕДНЕГО И МИНИМАЛЬНОГО ГОДА

Выбор характерных годов произведен по мутности и стоку наносов за весь период наблюдений до 1960 г.

Наибольшее количество наблюдений — 22 полных года (с 1937 по 1959 г.) — проводилось по ст. Чатлы; по ст. Керки собраны данные за 18 полных лет, а по остальным не более чем за 6—7 лет. Кроме того, сведения по ст. Чатлы дополнены материалами, полученными путем приведения со станций Ташсака и Керки, что увеличило период наблюдений до 31 года, с 1929 по 1959. Поэтому характерные годы определялись по данным ст. Чатлы (рис. 3).

В табл. 7 приведены сводные данные по среднегодовым мутностям, расходам воды и годовым стокам наносов для ст. Чатлы за период 1929—1959 гг. Максимальным по мутности и стоку наносов явился 1934 год, для которого среднеарифметическая годовая мутность равна $3,08 \text{ кг/м}^3$, взвешенная по расходу — $4,05 \text{ кг/м}^3$, а сток наносов составил 266 895 тыс. т. Среднегодовой расход воды за этот год также был максимальным.

Минимальным по мутности и стоку наносов оказался 1947 год, со среднеарифметической годовой мутностью $1,28 \text{ кг/м}^3$, взвешенной по расходу — $1,93 \text{ кг/м}^3$, стоком наносов — 58059,53 тыс. т и среднегодовым расходом воды — близким к минимальному.

Реальный средний год выбран по стоку наносов из годов 1937 и 1948, равноценных по данным. Учитывая, что в 1937 г. замеры были менее точными, за реальный средний приняли 1948 г.

В табл. 8 приведены подекадные мутности и стоки наносов для максимального, среднего и минимального года.

В табл. 9 приведены наблюденные мутности взвешенных наносов по фракциям для ст. Чатлы по среднему 1948 г. и минимальному 1947 г. Величины расхода и фракционной мутности и стока наносов для трех характерных лет отражены на рис. 4, 5, 6.

Данные о мутностях за 1934 г. переведены на ст. Чатлы со ст. Ташсака. Все сведения за 1947 и 1948 гг., материалы о расходах воды за 1934 г. получены непосредственно на ст. Чатлы.

§ 4. СОСТАВ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ р. АМУ-ДАРЬИ

а. Изменение фракционного состава взвешенных наносов по времени года и по длине реки

Исходные материалы по фракционному составу наносов Аму-Дарьи по станциям Керки, Ильчик, Тюямуюн, Чатлы были взяты из «Ежегодников», т. 5, и материалов БРИССа УГМС УзССР. Данные статистических наблюдений, выполненных по этим станциям, приводим ниже:

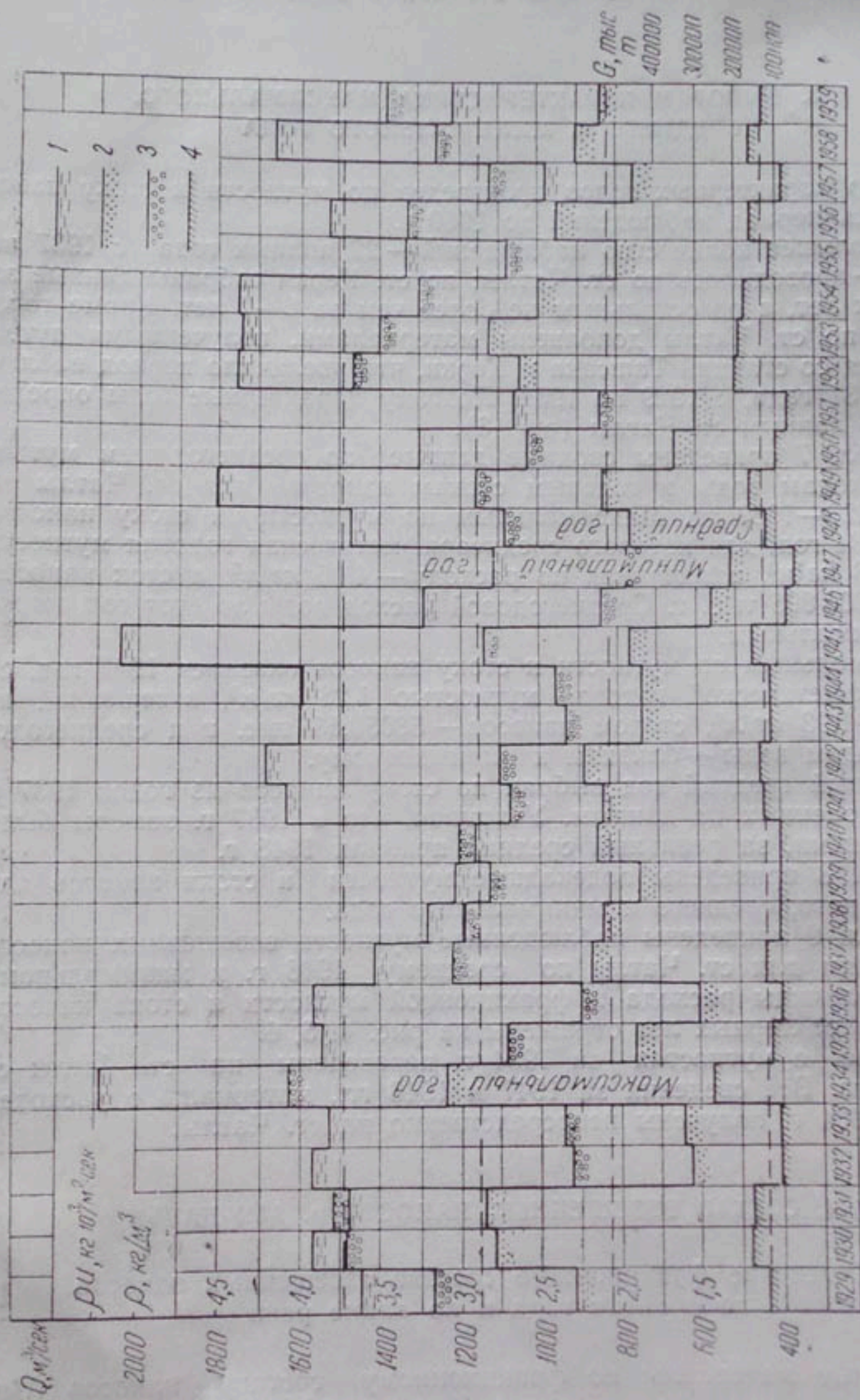


Рис. 3. График среднегодовых мутностей, расходов воды, годовых стоков наносов и произведений $р$ и Q по ст. Чатлы:
 1—среднегодовой расход воды Q , $\text{м}^3/\text{сек}$; 2—среднеарифметическая годовая мутность P , $\text{кг}/\text{м}^3$; 3—среднегодовая мутность, взвешенная по расходу воды; 4—годовой сток наносов G , тыс. т.

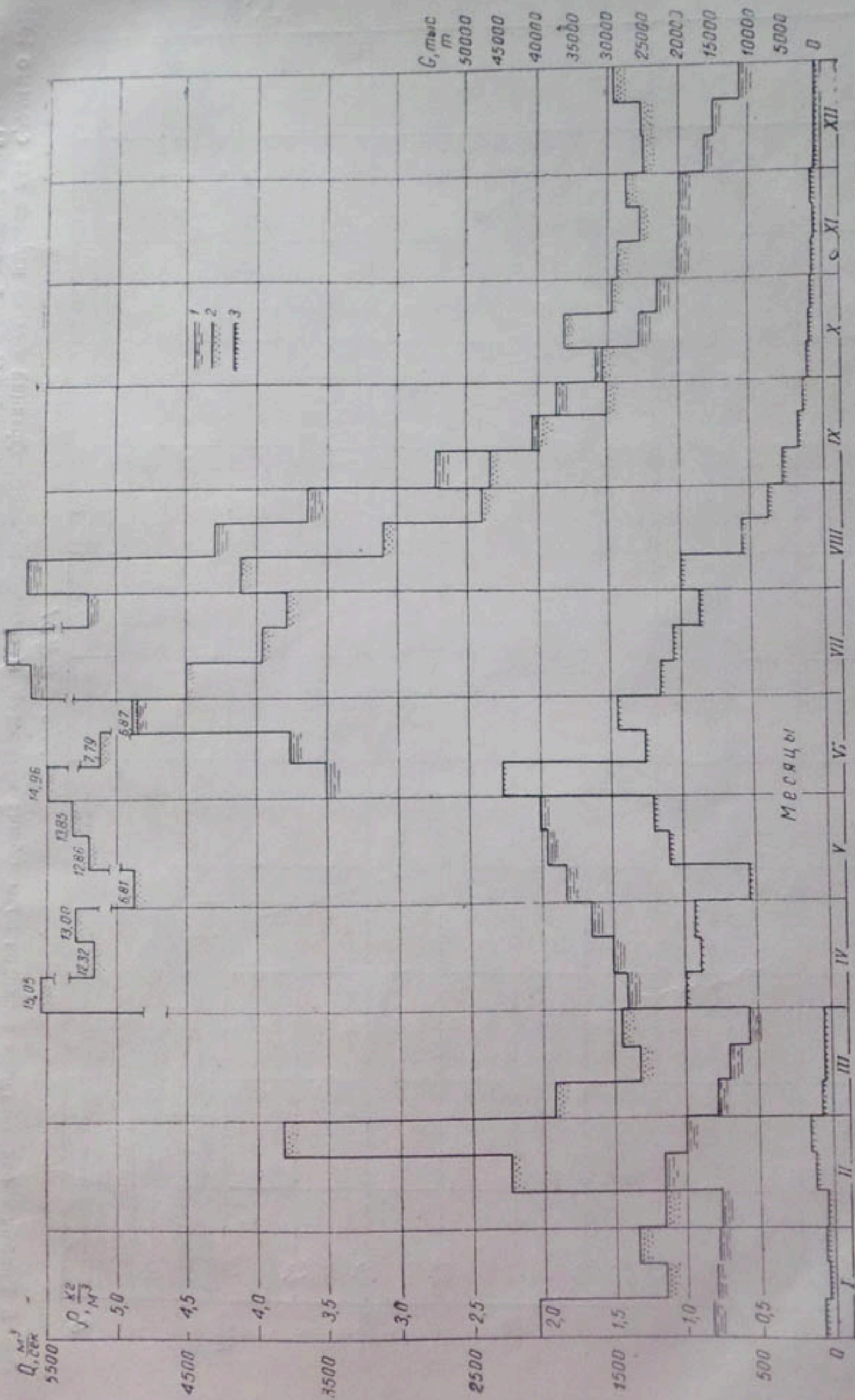


Рис. 4. График среднедекадных расходов воды, общих мутностей и стока наносов для максимального 1934 г.:

1—расход воды; 2—общая мутность; 3—сток наносов.

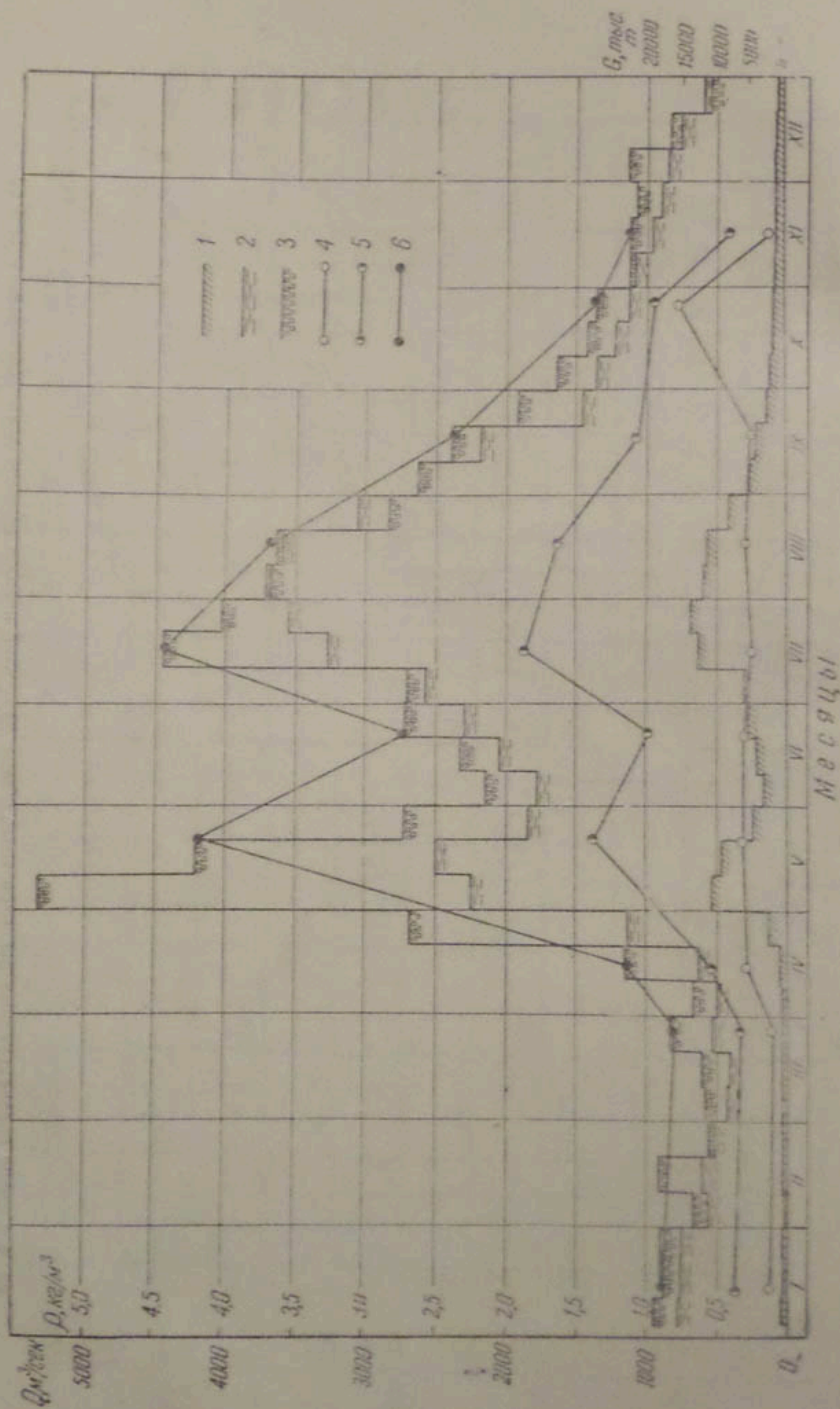


Рис. 5. График среднедекадных расходов воды, общей мутности, мутностей песчаных фракций и стока наносов для среднего 1948 г.: 1 - сток наносов; 2 - плотность воды; 3 - общая мутность; 4 - мутность песчаных фракций $> 0,25-0,01$; 5 - мутность фракций $> 0,25-0,01$; 6 - мутность фракций $> 0,25-0,01$.

39298

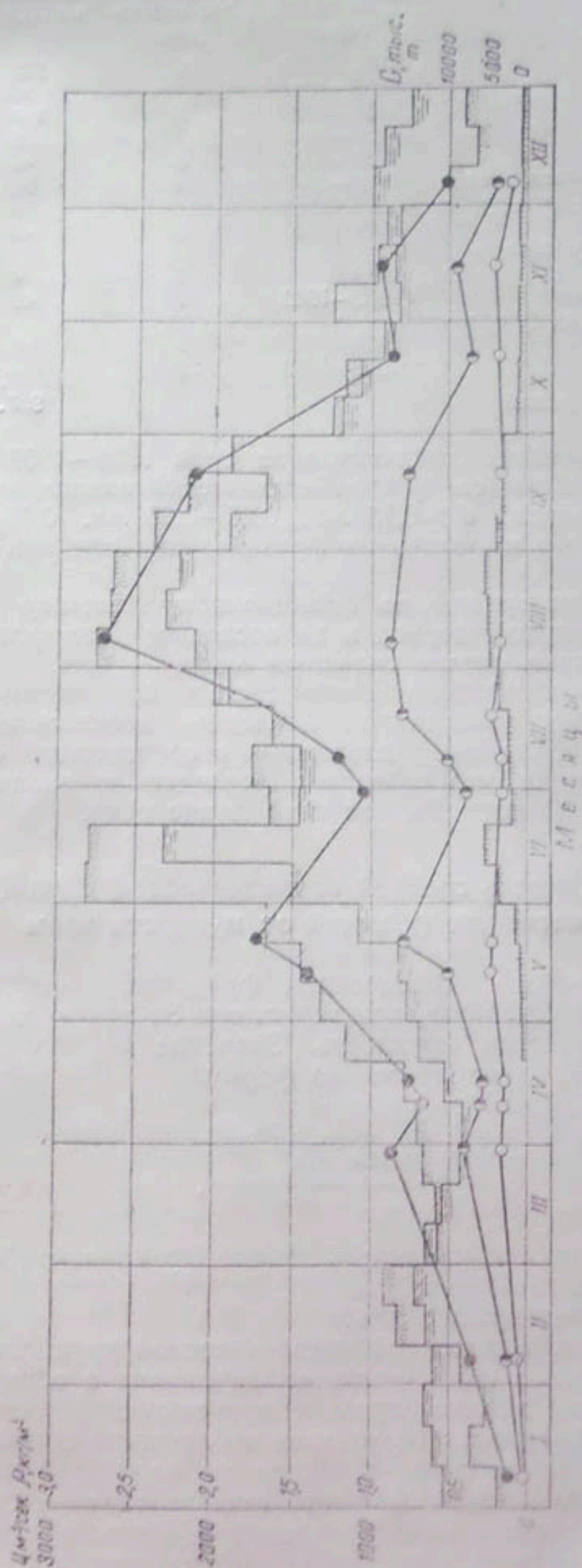


Рис. 6. График среднедекадных расходов воды, общих мутностей, мутностей песчаных фракций и стока наносов для минимального 1947 г. Условные обозначения те же, что и для рис. 5.

Станции	Период наблюдений, годы	Число лет наблюдений	Количество наблюдений
Керки	1932—1959	16	273
Чарджоу	1935—1941	4	36
Ильчик	1955—1959	5	119
Данишер	1938—1941	4	35
Тюямуюн	1934—1959	8	41
Ташсака (левое русло)	1926—1939	14	95
Ташсака (правое русло)	1923—1959	11	54
Турткуль	1939—1943	5	41
Клычбай (у головы канала)	1949	1	4
Карамышташ	1932—1942	7	42
Кипчак Бозсу (у головы канала)	1949	1	4
Чатлы	1937—1959	21	163
Всего наблюдений			907.

Пробы на механический состав за срок 1951—1959 гг. брались одинаковым способом (см. § 1). Механический анализ проб производился на 4 фракции: $d > 0,25$ мм, $0,25—0,05$ мм, $0,05—0,01$ мм и $d < 0,01$ мм. Анализ выполнен на фракциометре или при помощи пипетки.

Имеющиеся материалы по фракционному составу взвешенных наносов за предыдущий период и за последнее десятилетие по всем станциям Аму-Дарьи вполне сравнимы между собой.

Сводные данные о фракционном составе взвешенных наносов по четырем указанным станциям за последнее десятилетие сведены в табл. 10. В таблице станции расположены в соответствии с их удаленностью от устья реки, что позволяет проследить изменение фракционного состава как по времени, так и по длине реки.

6. Зависимость средней гидравлической крупности и песчаных фракций от мутности воды

Для более полного исследования фракционного состава необходимо иметь его обобщенную характеристику. За такую характеристику принята гидравлическая крупность. Значение ее, по предложению А. Н. Гостунского, определяется по формуле

$$u = \frac{\sum \frac{u_1 + 3u_2}{4} p}{100},$$

где u_1 — гидравлическая крупность данной фракции наибольшая;
 u_2 — то же, наименьшая;
 p — содержание фракций, %.

Значения средневзвешенной гидравлической крупности сведены в табл. 11. Рассматривая связь между ее значениями и общей мутностью в реке, мы выявили вполне определенную закономерность. Для уточнения этой закономерности результаты наблюдений по каждой станции были разбиты по мутностям на интервалы от 0 до 1 кг/м^3 , от 1 до 2 кг/м^3 и т. д.; для каждой градации были определены средняя величина средневзвешенной гидравлической крупности (u) и средняя арифметическая величина мутности (ρ). Результаты даны в табл. 12 и отражены на рис. 7.

Как видно из рис. 7, по каждой отдельной станции точки образуют свою кривую. Все кривые имеют общий характер и показывают, что с уменьшением мутности крупность увеличивается.

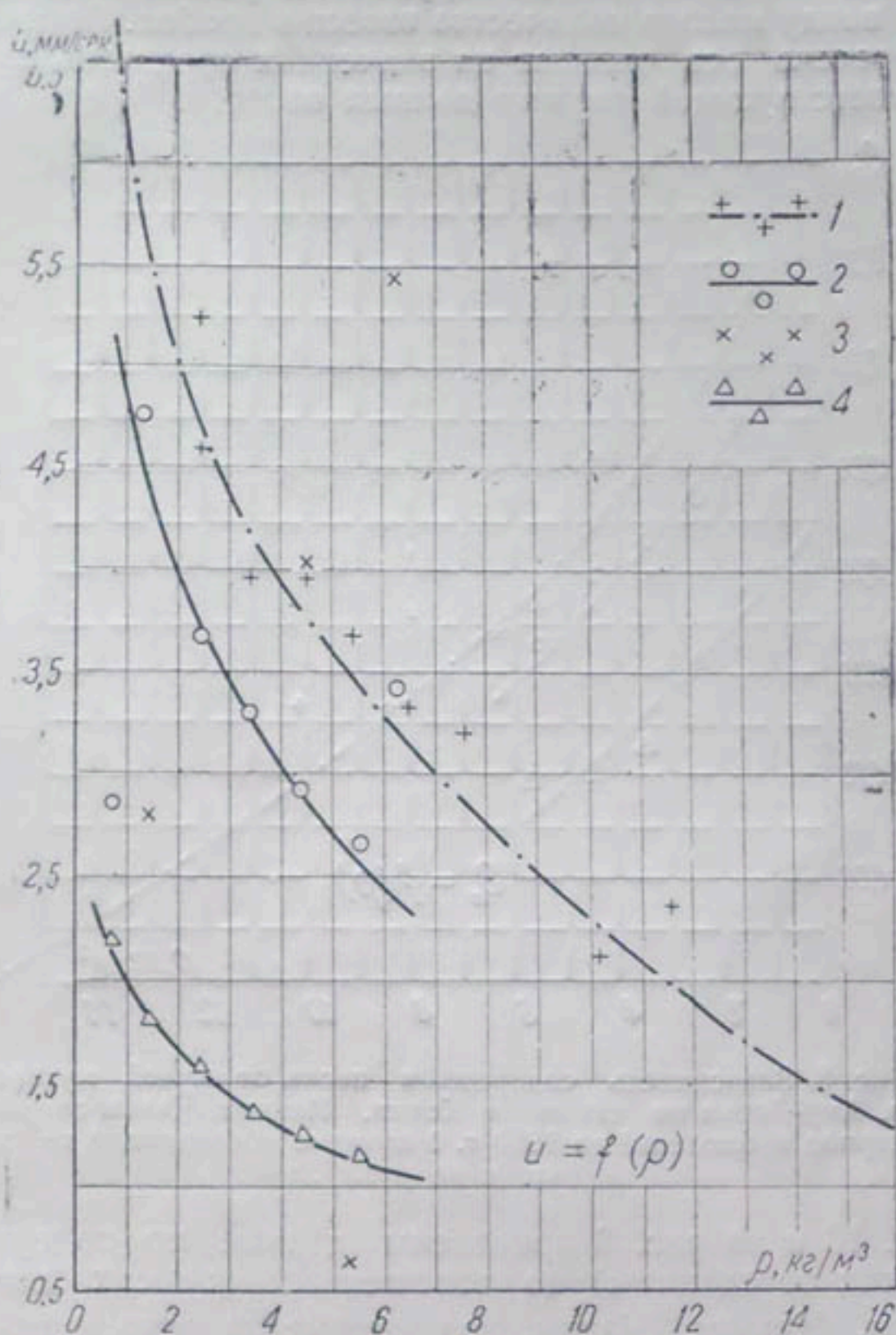


Рис. 7. Зависимость средней гидравлической крупности наносов от общей мутности по различным станциям для р. Аму-Дарьи за весь период наблюдений до 1960 г.:

1—Керки; 2—Ильчик; 3—Тюямуюн; 4—Чатлы.

По ст. Тюямуюн кривая не вырисовывается, отдельные точки разбросаны по всему полю графика и даже за его пределами. Это лишний раз подтверждает, что данные по мутности и составу наносов, взятые в суженном створе, не могут характеризовать наносный режим реки, о чем мы уже упоминали выше.

Порядок расположения кривых указывает, что с движением вниз по течению реки крупность наносов уменьшается. По станциям нижнего участка реки — Ташсака, Турткуль, Чатлы — точки сливаются в общую кривую. Кривая, полученная для ст. Чатлы, определяет гидравлическую крупность взвешенных наносов в зависимости от мутности для створа Тахиаташской плотины.

Из хода кривых видно, что с приближением общей мутности к нулю гидравлическая крупность резко возрастает. В интервале мутности от 0 до 1 кг/м^3 значение крупности, установленное анализами, ненадежно ввиду малого количества взвеси в пробах. Логически кривые должны пересечь ось ординат на значениях средневзвешенной крупности, соответствующей составу донных наносов.

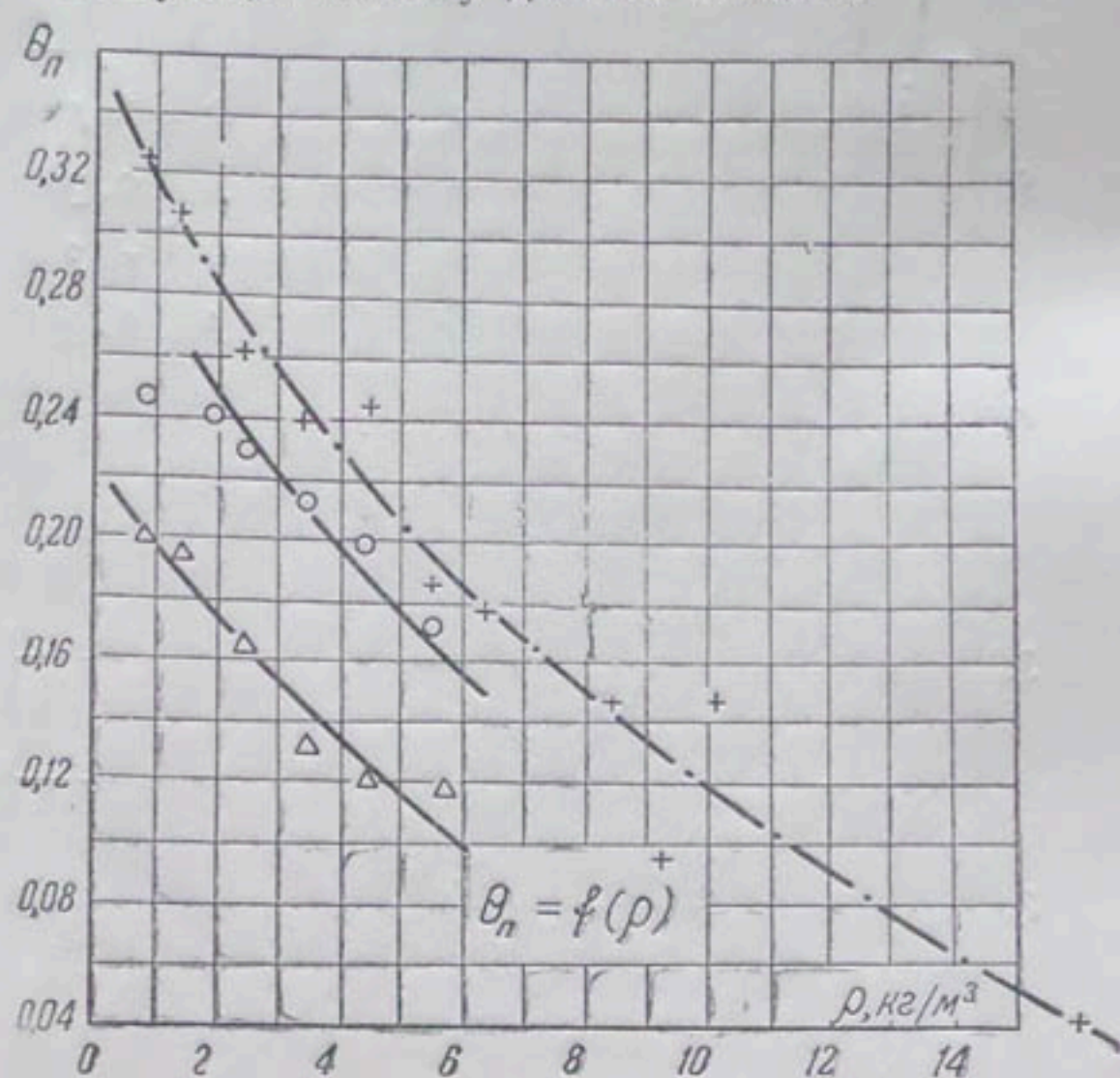


Рис. 8. Зависимость содержания песка от общей мутности р. Аму-Дарьи по станциям Керки, Ильчик, Чатлы за весь период наблюдений до 1960 г. Условные обозначения те же, что и на рис. 7.

В табл. 13 и на рис. 8 приведены данные по содержанию песка $[\theta_n]$ (в долях от единицы) во взвешенных наносах для трех станций — Керки, Ильчик, Чатлы, полученные на основании наблюдений за весь период до 1960 г.

Кривые рис. 8 расположены более скученно, но в той же последовательности, как и на рис. 7.

Из характера кривых видно, что мутность уменьшается с возрастанием относительного содержания песка в наносах. Здесь также следует ожидать, что при $\rho = 0$ все кривые будут брать начало на оси ординат при значении θ_n , соответствующем составу донных наносов.

Для створа Тахиаташской плотины кривая зависимости $\theta_n = f(\rho)$ может быть взята по ст. Чатлы.

Ход указанных выше кривых не подтверждает характера кривых, данного доктором технических наук А. Н. Гостунским в его работе „Поведение взвеси в турбулентной среде“.

§ 5. НАГРУЗКА ПОТОКА р. АМУ-ДАРЬИ

При выявлении зависимости между транспортирующей способностью потока и элементами русла пользуются обобщенной характеристикой количества и состава взвешенных наносов.

Эта характеристика имеет следующий вид:

$$\frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma} u \rho,$$

где γ_1 — удельный вес наносов;

γ — удельный вес воды;

u — средневзвешенная гидравлическая крупность;

ρ — мутность воды.

А. Н. Гостунский обозначил эту характеристику так:

$$\lambda = \delta u \rho,$$

где $\delta = \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma} u$ назвал нагрузкой потока от наносов.

В условиях Аму-Дарьи коэффициент δ — величина постоянная, равная 0,623.

В табл. 14 приведены значения $\frac{\lambda}{\delta} = \rho u$, соответствующие станциям Керки, Ильчик и Чатлы. Для выявления зависимости, существующей между нагрузкой и мутностью потока, произведения ρu сгруппированы по значениям мутности в интервалах от 0 до 1 кг/м³, от 1 до 2 кг/м³ и т. д. и для каждой группы подсчитано среднее значение ρu и ρ ; результаты подсчетов сведены в табл. 15.

На рис. 9 изображены кривые зависимости ρu от общей мутности. Для каждой станции точки объединяются в самостоятельные кривые. Порядок расположения кривых указывает, что с движением потока вниз по течению реки нагрузка его уменьшается.

Если в наше исследование мы включим большее количество станций, то окажется, что указанная закономерность сохраняется до ст. Ташсака; начиная же от Ташсака вниз по течению нагрузка потока остается постоянной для соответствующих мутностей. Это является доказательством того, что гидрологический режим в отношении твердого стока для района Хорезмского оазиса однороден.

Как видно из характера кривых, с увеличением мутности увеличивается и нагрузка потока, причем при малых мутностях она растет быстрее, чем при больших; нагрузка возрастает по мере удаления станции от устья реки.

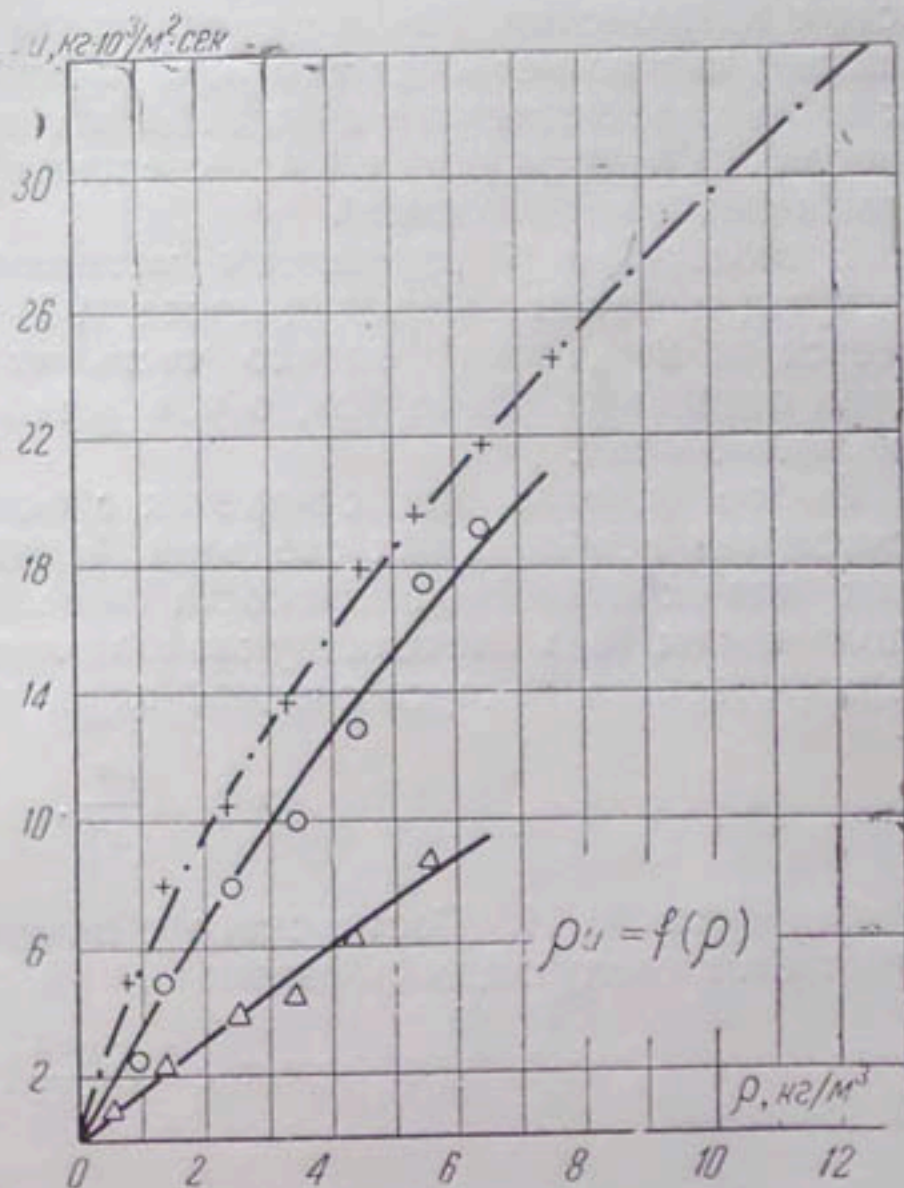


Рис. 9. Зависимость нагрузки потока от общей мутности по станциям Керки, Ильчик, Чатлы за весь период наблюдений до 1960 г. Условные обозначения те же, что и на рис. 7.

Обработанные данные по нагрузке потока, основанные на большом количестве наблюдений, не подтверждают выводов А. Н. Гостунского для Аму-Дарьи в целом, по которым с увеличением pu кривая $pu = f(p)$ возрастает, имеет максимум в точке $p \cong 3,7$, с дальнейшим же повышением значения p уменьшается. Заключение Гостунского основано на анализе малого количества материалов (ст. Ташсака и головные участки каналов: Шават, Клыч-Ниязбай и Кульарык).

Собранный нами материал не подтверждает наличия максимума для $\frac{\lambda}{\delta} = pu$ в кривых связи и показывает, что эта связь на разных участках реки различна.

§ 6. О СВЯЗИ РАСХОДА НАНОСОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПОТОКА

Установление надежных опытных связей между движением взвешенных наносов и гидравлическими элементами потока затруднительно ввиду недостатка материалов. Неизбежные случайные отклонения гидрометрических измерений, особенно имеющих отношение к количеству и составу наносов, могут быть компенсированы лишь большим числом наблюдений. Мы же располагаем лишь очень ограниченными данными как по непосредственным наблюдениям за элементами потока, так и по характеристике движения, количества и состава взвешенных наносов¹. Отсутствуют также сведения о местных уклонах уровня воды в период наблюдений.

В табл. 16 и 17 приведены материалы наблюдений по станциям Тюямуюн и Чатлы за период после 1954—1955 гг. В каждой таблице имеется по 24 „точки“; однако часть их вызывает сомнения в отношении отдельных элементов, о чем в таблицах сделаны соответствующие примечания.

Выбор формул для сравнения с опытными данными ограничен отсутствием необходимых сведений. Наиболее распространенные формулы для критической мутности взвешенных наносов могут быть использованы (без введения уклонов) лишь в общем виде (с заменой гидравлического радиуса средней глубиной)

$$pu = A \frac{v^n}{h_c^m}.$$

Формула А. Н. Гостунского с заменой уклона через скорость выражается следующим образом:

$$pu \cong 3300 \frac{n^3 v^3}{h_c^{1,6}}.$$

Полагая, что коэффициент шероховатости изменяется в пределах 0,018—0,020, после преобразования получаем

$$pu = (0,019—0,027) \frac{v^3}{h_c^{1,6}},$$

или в среднем

$$pu \cong A_1 \frac{v^3}{h_c^{1,6}} = 0,023 \frac{v^3}{h_c^{1,6}}.$$

¹ Наблюдения за движением донных наносов на станциях не производятся.

В формуле С. Х. Абальянца установлена следующая прямая связь между нагрузкой потока ρu и средней скоростью течения:

$$\rho u \cong A_2 \frac{v^3}{h_c} = 0,018 \frac{v^3}{h_c}.$$

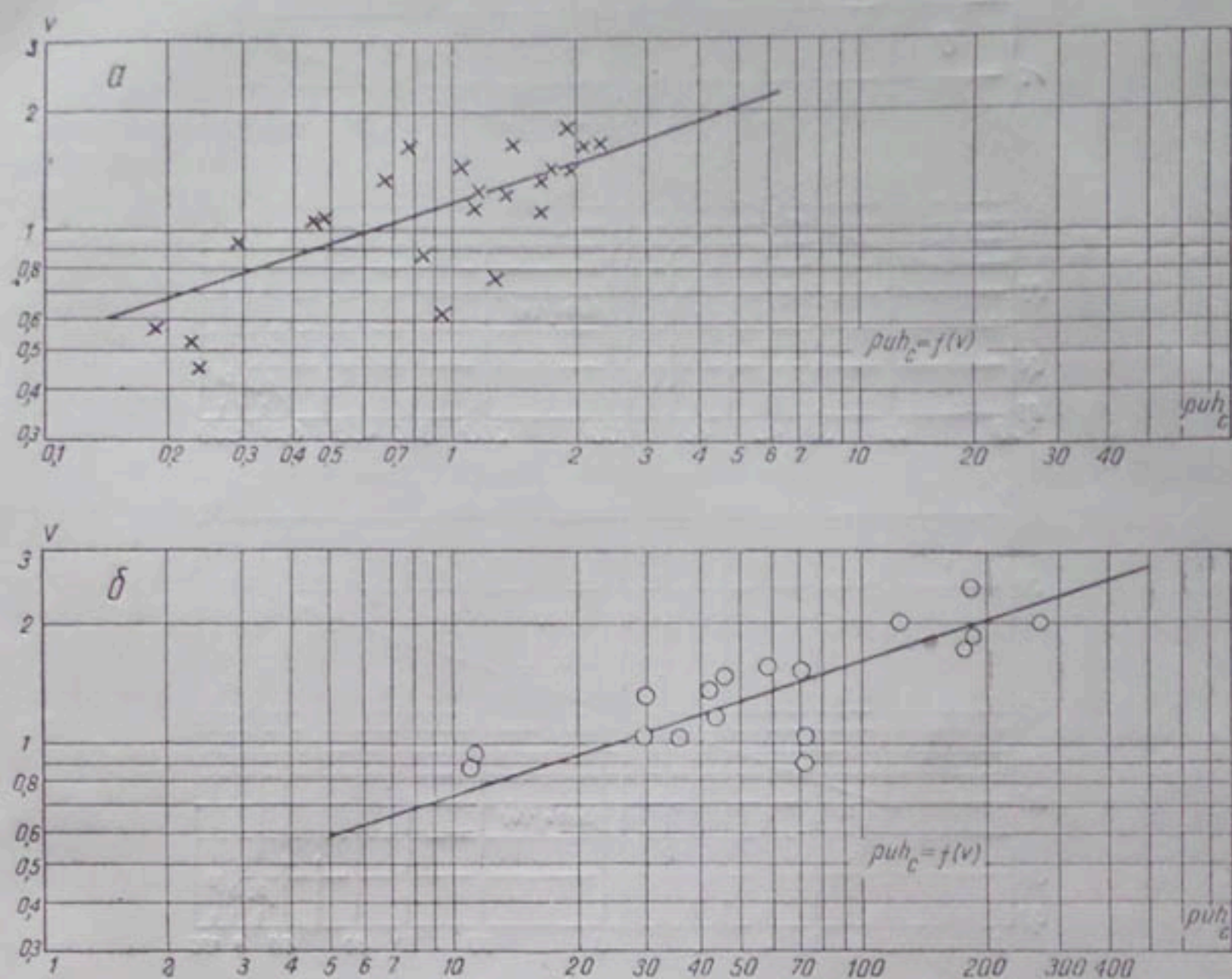


Рис. 10. Натурные точки по формуле С. Х. Абальянца:
а—для ст. Тюямуюн; б—для ст. Чатлы.

На рис. 10 нанесены натурные точки по формуле С. Х. Абальянца, а на рис. 11 — по формуле А. Н. Гостунского. При значительном разбросе точек по обеим зависимостям можно все же установить, что коэффициенты A_1 и A_2 по створу Чатлы (где разброс точек значительнее, чем по другим станциям) примерно в два-три раза меньше ($A_1 \cong 10$; $A_2 \cong 6$), а по створу Тюямуюн в полтора-два раза больше ($A_1 \cong 44$; $A_2 \cong 26$), чем по расчетным формулам. Следует также учесть, что в указанных створах, особенно по створу Чатлы, относящемуся к нижнему течению реки, нельзя предполагать недосыщения потока наносами.

Заниженное значение коэффициентов A_1 , A_2 по створу Чатлы объясняется тем, что в этом, так же как и в других створах Аму-Дарьи (кроме Тюямуюна), гидрометрические данные о мутности и, особенно, крупности взвешенных наносов значительно занижены: пробы воды на мутность на гидрометрических створах берутся начиная с 0,2 м над дном, т. е. при средней глубине 2,5—3,0 м с высоты 0,5—0,6 м от дна реки. Между тем известно, что профиль наносов имеет обычно форму „сапожка“ с максимальным насыщением и крупностью у дна потока.

Этот вывод подтверждается также сопоставлением значений средней мутности в реке, полученных участниками экспедиций САНИИРИ в отдельные годы на станциях и головных участках ближних магистральных каналов при более тщательно организованных наблюдениях.

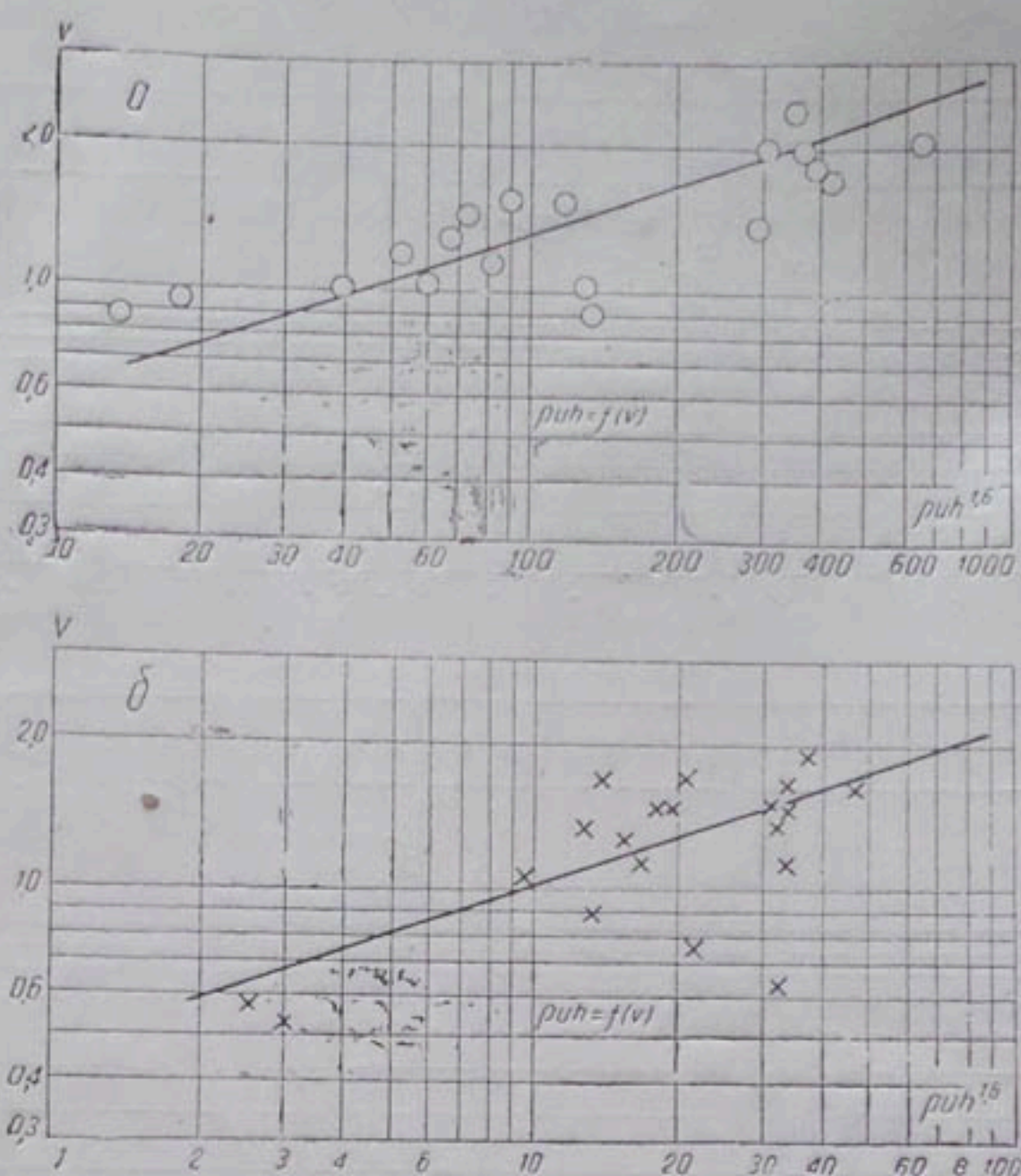


Рис. 11. Натурные точки по формуле А. Н. Гостунского:
а—для ст. Тюямуюн; б—для ст. Чатлы.

К ним относятся исследования на Кызкеткенской системе в 1952 г. и на отстойнике Кипчак Бозсу. В обоих случаях пробы воды на мутность брали начиная с 0,2 м от дна канала. Среднемесячные мутности по этим двум пунктам выражаются следующими величинами (г/л):

Год	Пункт	Июнь	Июль	Август	Среднее значение
1952	ст. Чатлы	5,16	4,18	3,26	4,20
	Кызкеткен	5,50	4,52	4,38	4,80
1939	ст. Чатлы	2,70	2,98	—	2,84
	Кипчак Бозсу	3,20	3,28	—	3,24.

В 1952 г. превышение составляет 14,3% и в 1939—14,1%. Поэтому будет правильным увеличить ранее принятое значение средневзвешенной мутности источника с округлением на 15%, а именно:

$$\rho = 3,42 \times 1,15 \approx 3,90 \text{ г/л.}$$

Анализ состава взвешенных наносов по створу Чатлы дает основание предполагать, что крупность наносов по старым данным несколько занижена вследствие недоучета взвешенных близ дна крупных фракций.

Среднемесечные многолетние значения средней гидравлической крупности по месяцам располагаются следующим образом:

	w , мм/сек		w , мм/сек
Апрель	1,42	Август	1,35
Май	1,50	Средняя за	
Июнь	1,35	5 месяцев	1,42
Июль	1,50	Среднегодовая	1,61.

Средняя гидравлическая крупность каждой фракции подсчитывалась по формуле А. Н. Гостунского

$$\bar{w}_i = \frac{w_v + 3w_n}{4},$$

где w_v , w_n — верхняя и нижняя границы гидравлической крупности фракции.

По ведомости среднемесечных сведений о фракционном составе взвешенных наносов за много лет можно видеть, что в отдельные годы, показатели водности которых мало отличаются от среднего многолетнего, равного $148 \text{ м}^3/\text{сек}$, значения средней гидравлической крупности значительно больше, чем приведенные выше. Необходимо также учитывать, что на гидрологических станциях в течение ряда прежних лет пробы мутности брали батометром Жуковского, создающим значительное сопротивление потоку, что вызывает обтекание прибора крупными фракциями; ввиду этого обстоятельства, а также трудностей взятия проб взвешенных наносов близ дна следует ожидать, что приведенные средние многолетние данные о гидравлической крупности занижены.

В табл. 18 собраны данные о фракционном составе потока за десять лет из двадцати. Часть наблюдений за их маловероятностью забракована.

Значение средней многолетней гидравлической крупности в табл. 18 на 16% выше, чем приведенное ранее, причем средний многолетний расход за выбранные 10 лет отличается от расхода за 21 год.

В упомянутых наблюдениях в головном участке канала Кызкеткен в 1952 г. получены следующие значения средней гидравлической крупности:

15.VI	5.VII	10.VII	25.VII	30.VII	10.VIII	15.VIII	Среднее значение
1,43	1,62	1,79	1,39	1,33	2,11	1,66	1,63.

Превышение против средней, указанной за IV—VIII месяцы, составляет 15,0%.

Таким образом, можно считать, что «нагрузки» потока наносами по данным гидрометрических станций не менее чем на 25% занижены против действительных значений. Исключение составляет створ Тюямуюна, где пробы воды на мутность и состав наносов берутся в теснине, в возмущенном потоке, и все наносы реки, включая влекомые в обычных условиях по дну (донные), по-видимому, переходят во взвешенное состояние и более равномерно распределяются по глубине.

Если учесть, что средняя гидравлическая крупность донных наносов (15—20 мм/сек) в 7—10 раз выше, чем взвешенных (около 2 мм/сек), и отнести весь избыток нагрузки по Тюямуюну (против значений по расчетным формулам) за счет расхода донных наносов, то приблизительно подтверждается предположение некоторых исследователей (С. Т. Алтунина, А. Г. Хачатряна и др.) о том, что количество

донных наносов, влекомых рекой, составляет около 8—10% от взвешенных.

Приводимые соображения должны быть учтены при проектировании гидроузлов и других водохозяйственных мероприятиях на Аму-Дарье.

§ 7. ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Режим донных наносов на гидрометрических станциях получил отражение лишь в сведениях о механическом составе донных отложений. Систематические наблюдения по составу отложений на гидрометрических станциях проведены по ст. Керки за период с 1952 по 1956 г., эпизодические — по станциям Бассага-Керки, Тюямуюн, Турткуль, Чатлы. Гидрометслужбой были выполнены отдельные наблюдения по следующим станциям:

	Годы	Количество проб		Годы	Количество проб
Бассага-Керки	1951	9	Турткуль	1941	3
	1952	23		1942	4
Керки	1952	16	Чатлы	1941	4
	1953	45		1942	4
	1954	43		1943	1
	1955	23		1952	4
	1956	7		1959	5
				1960	4
Тюямуюн	1955	3			
	1956	2			
	1957	1			

Данные о механическом составе донных отложений по ст. Чарджоу за 1930—1931 гг. встречаются в отчетах Амударьинской русловой станции. Однако никаких указаний на время взятия проб нет.

В течение 1951 г. получены следующие дополнительные материалы о составе донных отложений Аму-Дарьи. В период с 20.VI по 10.VII гидрологическим отделом Гидропроекта МВД СССР в створе Лавак взято 28, а Бассага-Керкинской экспедицией САНИИРИ в створе гидрометрической станции Бассага — 9 проб донных отложений. Аму-Дарьинской экспедицией САНИИРИ (1951 г.) взяты те же пробы на протяжении реки от ст. Чарджоу до пункта, расположенного на 150 км выше устья. В каждом пункте брали по несколько проб с каилов (отмелей), причем верхний слой ила или заиленного песка предварительно снимали. Взяты также отдельные пробы отложений песка с илом. Анализы производились методом пипетки.

Все материалы о механическом составе донных отложений сведены в табл. 19. Там же даны подсчитанные значения средневзвешенной гидравлической крупности. Величина гидравлической крупности при значении ее < 8 мм/сек определялась по методу Е. А. Замарина [2], т. е. по формуле

$$\bar{u} = \sum \frac{(u_1 + u_2 + \sqrt{u_1 u_2}) p}{3 \cdot 100},$$

где u_1 — нижний предел гидравлической крупности донной фракции;
 u_2 — верхний ее предел;
 p — процентное содержание данной фракции.

Если данные о средневзвешенной гидравлической крупности, за исключением проб с илом, нанести на график зависимости $\bar{u} = f(L)$

(рис. 12), где L — расстояние по длине реки, то получим, что точки довольно близко ложатся вдоль обобщающей кривой, нанесенной на рис. 12, за исключением низового участка реки от ст. Ташсака, где в зимние месяцы значения u сильно отличаются от летних.

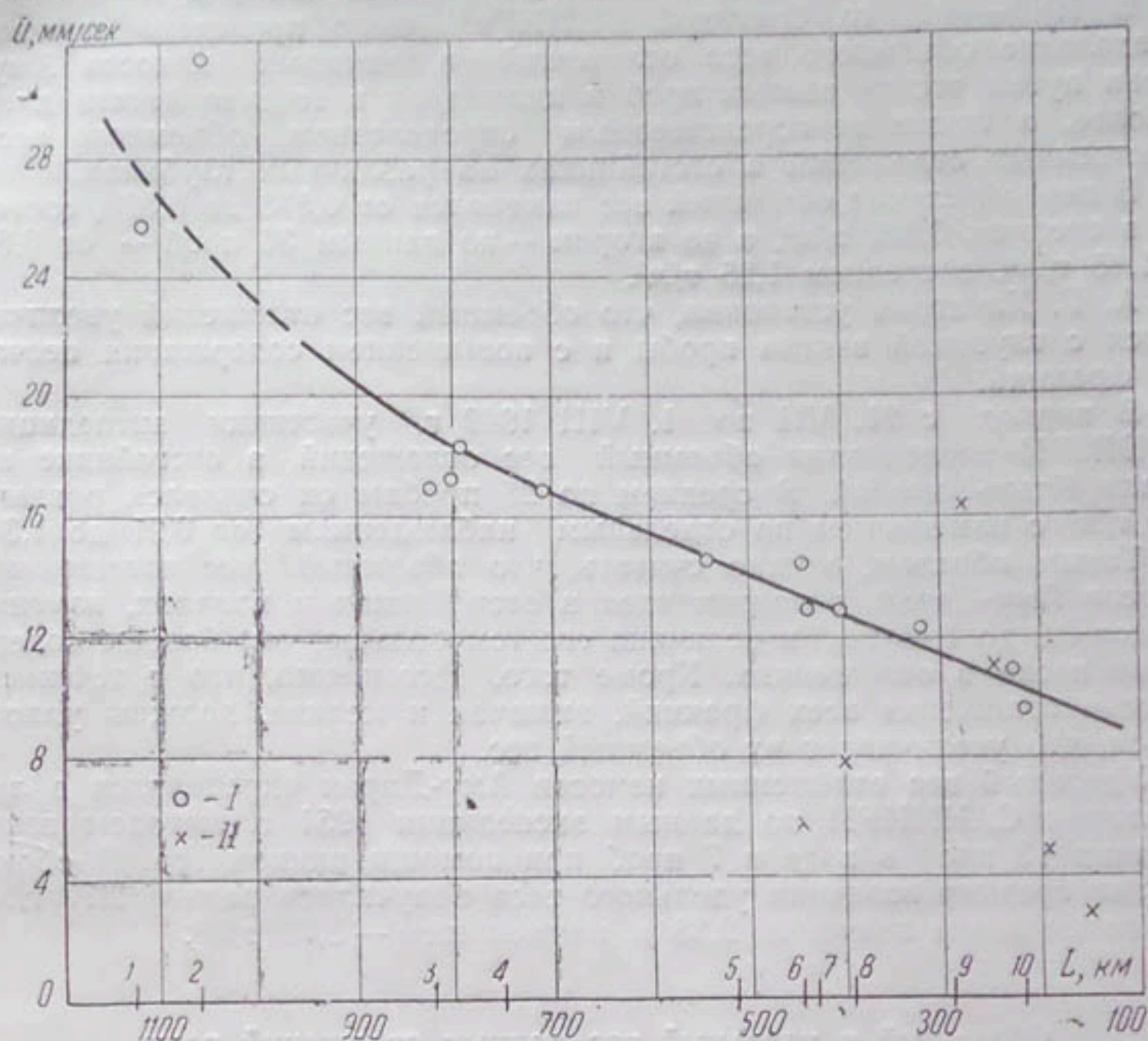


Рис. 12. График изменения гидравлической крупности донных отложений по долине р. Аму-Дарьи:

I — и летнего периода; II — и зимнего периода; 1 — Бассага Керки; 2 — Керки; 3 — Чарджоу; 4 — Ильчик; 5 — Данишер; 6 — Тюямуюн; 7 — Ташсака; 8 — Турткуль; 9 — Карамышташ; 10 — Чатлы.

Поблизости от обобщающей кривой находится точка, объединяющая гидравлические крупности по ст. Керки. По этой станции осреднено 134 замера, для которых отдельные значения u мало отличаются от средней его величины как в летний, так и в зимний период. Такое отклонение точки может быть объяснено неудачным выбором места взятия пробы; возможно, что благодаря русловым процессам в выбранном месте откладывались более крупные наносы, не характерные для осредненного их значения.

§ 8. ОБЪЕМНЫЙ И УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ВЗВЕШЕННЫХ И ДОННЫХ НАНОСОВ р. АМУ-ДАРЬИ

Объемный вес отложений взвешенных наносов

По данным измерений Керкинской гидрометрической станции средняя величина объемного веса взвешенных наносов составляет $\Delta = 0,77 \text{ т/м}^3$ при наименьшем значении — 0,30 и наибольшем — 1,18. В «Водном кадастре рек СССР» (том VII) для Аму-Дарьи объемный

вес взвешенных наносов рекомендуется принимать равным $\Delta = 0,08 \text{ т/м}^3$.

Очевидно, что эти сравнительно малые значения объемных весов получены путем отстоя взятых проб взвешенных наносов.

В 1940—1941 гг. бригадой ВНИИГиМ было проведено опытное определение объемного веса отложений взвешенных наносов Аму-Дарьи путем отстоя взятых проб в цилиндрах в течение десяти дней и более, а также непосредственным определением объемного веса естественных отложений в отстойниках на различных глубинах.

В первом случае объемный вес изменялся от 0,533 до 0,823, составив в среднем $0,652 \text{ т/м}^3$, а во втором — по данным 36 проб — от 0,88 до $1,45 \text{ т/м}^3$, в среднем $1,25 \text{ т/м}^3$.

А. Г. Хачатрян установил, что объемный вес отложений увеличивается с глубиной взятия пробы и с повышением содержания песчаных фракций.

В период с 21. VII по 1. VIII 1949 г. участники экспедиции САНИИРИ исследовали объемный вес отложений в отстойнике на канале Клыч-Ниязбай. В среднем по 25 пробам он оказался равным $1,13 \text{ т/м}^3$ с изменением по отдельным наблюдениям от 0,91 до 1,34.

Таким образом, можно считать, что объемный вес взвешенных наносов Аму-Дарьи, отложившихся в отстойниках и каналах, изменяется от 0,9 до $1,45 \text{ т/м}^3$ и величина его тем больше, чем больше содержание песка в отложениях. Кроме того, несомненно, что с течением времени отложения всех фракций, включая и мелкие, должны уплотняться, что увеличивает их объемный вес.

Удельный вес взвешенных наносов Аму-Дарьи определялся в лаборатории САНИИРИ по данным экспедиции 1951 г. методом взвешивания 13 проб в воде и 7 проб при помощи пикнометра. В обоих случаях средняя величина удельного веса получилась равной $2,77 \text{ т/м}^3$ при наибольшем значении 2,83 и наименьшем — $2,72 \text{ т/м}^3$.

Объемный и удельный вес донных отложений реки

Объемный вес донных отложений Аму-Дарьи находили по пробам, собранным Аму-Дарьинской экспедицией САНИИРИ (1951 г.) на протяжении реки от ст. Чарджоу до пункта, расположенного в 150 км от устья. Удельный вес определяли взвешиванием проб в воде. Приводим результаты этих определений:

Расстояние места взятия пробы от устья реки, км	Точка, в которой взята проба	Удельный вес отложе- ний, т/м^3	Объемный вес отло- жений, т/м^3
397	Середина каира	2,711	1,60
794	В протоке	2,684	1,60
709		2,761	—
546	Середина каира	2,586	—
440		2,923	—
322		2,858	1,40
231		2,703	—
252	Правый берег Тахиаташа	2,398	—
193	Середина каира	2,770	1,50
150	На берегу отмели	2,689	—
Среднее значение		2,75	1,50.

Таким образом, объемный вес донных отложений р. Аму-Дарьи можно считать ориентировочно равным $1,5 \text{ т/м}^3$, а удельный вес — $2,75 \text{ т/м}^3$.

Средняя величина удельного веса взвешенных и донных наносов, как видно из приведенных выше данных, практически совпадает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветкова Н. А. Наносы реки Аму-Дарьи, В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 1, АН УзССР, 1954.
 2. Замарин Е. А. Транспортирующая способность и допускаемые скорости течения в каналах, М.—Л., Госстройиздат, 1951.
 3. Хачатрян А. Г. Борьба с заилением оросительных каналов при водозаборе из равнинных рек с мелкопесчаными наносами, М., Сельхозгиз, 1948.
-

Мутности р. Аму-Дарьи по станциям

Год	Распределение по								
	I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кер-									
Среднедекад-									
1951	1,10*	1,08*	1,09*	1,16*	1,14*	1,26*	1,86*	2,08*	2,80*
1952	1,10*	1,08*	1,09*	1,16*	1,14*	1,26*	1,86*	2,08*	2,80*
1953	1,46	1,28	1,13	1,20	0,87	1,18	2,33	4,07	4,33
1954	2,51	2,48	2,00	1,51	1,45	1,69	1,69	1,54	5,32
1955	1,11	1,21	1,09	1,07	1,06	0,99	0,99	2,88	3,12
1956	1,23	1,21	1,22	1,23	1,39	1,65	3,57	3,42	3,25
1957	1,40	1,37	1,45	1,52	1,42	1,18	1,86*	2,08*	2,80*
1858	1,10*	1,08*	1,09*	1,16*	1,14*	1,26*	1,86*	2,08*	2,80*
1959	1,24	0,96	0,80	0,99	1,02	1,10	1,0	1,13	4,06
Средняя в декаду	1,49	1,42	1,28	1,25	1,20	1,30	1,92	2,61	4,02
Средняя в месяц		1,40			1,25			2,85	
Среднемноголетние значения									
Средняя в декаду	1,10	1,08	1,09	1,16	1,14	1,26	1,86	2,08	2,80
Средняя в месяц		1,09			1,19			2,27	
Иль-									
Среднедекад-									
1955	1,14	0,85	0,91	0,77	0,74	0,61	0,56	0,72	2,39
1956	0,78	0,81	1,42	1,34	0,75	0,74	0,77	1,90	1,99
1957	1,37	1,39	1,32	1,71	1,13	1,12	1,08	0,95	1,93
1958	1,93	2,53	2,55	2,42	1,82	1,20	1,22	2,24	2,17
1959	2,34	2,76	1,69	1,14	1,69	1,22	1,38	1,57	4,0
Средняя в декаду	1,51	1,67	1,58	1,47	1,23	0,98	1,00	1,48	2,50
Средняя в месяц		1,59			1,23			1,66	
Тюя-									
Среднедекад-									
1954	0,77	1,32	0,65	1,39*	1,38*	1,66*	1,87*	2,44*	2,30*
1955	1,23*	1,14*	1,26*	1,39*	1,38*	1,29	1,06	1,08	2,49
1956	1,23	0,75	1,71	1,39	1,25	1,90	2,09	3,33	2,55
1957	0,29	0,54	0,83	0,71	1,18	1,66	1,35	1,26	1,37
1958	1,80	1,92	1,89	1,76	1,35	0,96	1,38	1,37	3,01
1959	2,13	1,99	2,04	2,16	2,30	2,38	2,03	1,98	3,41
Средняя в декаду	1,24	1,30	1,43	1,50	1,52	1,64	1,58	1,86	2,57
Средняя в месяц		1,32			1,55			2,0	

Приложения
Таблица 1
(к § 1, п. а*)

Керки — Чатлы за различные годы, кг/м³

месяцам и декадам								
IV			V			VI		
1	2	3	1	2	3	1	2	3

ки

ные данные

4,00*	5,02*	5,14*	5,89*	6,17*	5,04*	5,13*	4,39*	3,95*
4,00*	5,02*	5,14*	5,89*	6,17*	5,04*	5,13*	4,39*	3,95*
3,72	4,74	3,78	5,40	5,50	5,26	6,46	5,43	5,03
5,59	7,20	6,95	10,20	7,10	4,84	7,28	6,24	4,39
2,95	5,80	2,10	6,05	7,75	5,09	4,93	6,34	4,17
5,14	5,72	5,54	4,84	3,80	4,05	4,05	2,98	3,34
1,74	1,99	3,62	3,47	3,19	1,92	6,85	4,39*	3,95*
4,00*	5,02*	5,14*	9,11	7,05	5,15	4,16	4,97	5,36
2,64	5,53	3,02	4,15	3,02	2,86	4,98	4,25	3,63
3,63	5,16	4,17	6,18	5,34	4,17	5,53	5,04	4,32
	4,32			5,23			4,96	

(1910—1939 и 1951—1959 гг.)

4,00	5,02	5,14	5,89	6,17	5,04	5,13	4,39	3,95
	4,72			5,70			4,49	

чик

ные данные

2,26	2,80	1,40	3,23	3,94	3,26	2,74	3,85	3,05
2,79	32,9	5,44	5,55	4,75	3,07	4,57	2,97	3,09
1,50	1,46	3,02	2,45	4,64	2,10	5,12	6,37	3,49
5,81	5,07	10,98	7,03	4,10	5,42	4,18	7,77	5,32
2,78	5,82	3,04	6,95	3,66	3,15	5,99	4,87	4,20
3,03	3,69	4,78	5,04	4,22	3,40	4,52	5,16	3,83
	3,83			4,22			4,50	

муюн

ные данные

5,87	6,90	10,45	11,13	6,16	5,71	9,30	7,95	4,95
2,85	5,64	3,81	6,84	8,71	4,68	5,26	7,63	5,21
4,41	5,10	8,65	11,30	8,30	6,47	8,08	4,91	4,42
1,97	2,04	4,26	2,82	5,23	2,95	5,27	7,90	5,00
6,15	6,45	11,10	10,25	8,92	6,54	4,88	9,54	8,35
3,95	7,05	9,62	11,95	6,33	3,96	9,60	5,52	3,88
4,20	5,53	7,98	9,05	7,28	5,05	7,06	7,24	5,30
	5,90			7,13			6,53	

Год	Распределение по								
	VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кер-									
Среднедекад-									
1951	3,56*	3,83*	3,63*	3,63*	3,45*	3,06*	2,55*	2,20*	1,85*
1952	3,56*	3,83*	3,63*	3,26	4,24	4,13	3,26	3,00	2,22
1953	5,41	6,36	4,99	3,63	4,21	4,19	3,59	3,07	2,62
1954	4,12	4,60	3,90	4,64	4,34	4,01	3,48	3,48	3,12
1955	3,24	3,52	3,38	5,14	5,13	4,10	2,74	2,30	2,00
1956	4,42	6,56	6,36	5,43	5,20	4,70	2,74	1,82	1,76
1957	3,56*	3,83*	3,63*	3,63*	3,45*	3,06*	2,55*	2,20*	1,85*
1958	6,53	7,37	4,66	3,63*	3,45*	3,06*	2,55*	2,20*	1,85*
1959	5,87	3,50	4,00	3,95	4,34	3,61	3,50	3,77	2,94
Средняя в декаду	4,95	5,32	4,55	4,34	4,57	4,12	3,22	2,51	2,44
Средняя в месяц		4,94			4,34			2,86	
Среднемноголетние значения									
Средняя в декаду	3,56	3,83	3,63	3,63	3,45	3,06	2,55	2,20	1,85
Средняя в месяц		3,67			3,38			2,20	
Иль-									
Среднедекад-									
1955	2,60	2,0	2,16	3,40	5,0	3,34	3,25	1,34	1,38
1956	3,05	4,51	4,76	5,07	5,09	4,43	2,89	1,3	1,83
1957	3,23	4,20	3,51	2,77	3,16	2,07	1,56	1,28	1,20
1958	6,10	6,0	6,20	5,67	5,67	3,75	2,88	3,17	2,71
1959	5,24	3,87	4,81	4,66	4,33	4,07	3,94	4,15	3,36
Средняя в декаду	4,04	4,12	4,29	4,31	4,65	3,53	2,90	2,61	2,10
Средняя в месяц		4,15			4,16			2,54	
Тюя-									
Среднедекад-									
1954	4,85	5,97	5,78	6,00	5,47	4,58	4,00	3,89	2,84
1955	5,22	4,15	4,14	5,03	8,88	10,45	4,58	3,60	2,52
1956	5,24	7,46	7,45	8,40	6,35	7,30	3,93	1,84	3,22
1957	3,93	5,12	4,83	3,03	3,57	3,44	2,39	1,78	1,60
1958	11,15	11,85	8,90	7,83	6,81	4,44	3,93	4,98	5,52
1959	4,67	4,70	4,15	3,98	5,05	5,30	5,04	5,38	5,78
Средняя в декаду	5,84	6,54	5,88	5,71	6,02	5,92	3,98	3,41	3,58
Средняя в месяц		6,09			5,88			3,66	

месяцам и декадам										
X			XI			XII			Годовые данные	
1	2	3	1	2	3	1	2	3	среднеарифметическая	взвешенная по расходу

ки

ные данные

1,46*	1,32*	1,15*	1,04*	1,07*	1,08*	0,99*	1,04*	1,01*	—	—
1,40	1,37	1,37	1,12	1,14	1,29	1,33	1,89	2,22	(2,22)	—
1,89	1,50	1,55	1,50	1,40	1,68	2,36	1,98	2,16	3,26	4,24
2,18	1,11	1,12	1,07	1,07	1,05	1,06	1,07	1,18	3,51	4,45
1,53	1,37	1,27	1,20	1,08	1,19	1,30	1,23	1,07	2,82	3,75
1,47	1,06	0,97	0,91	0,94	0,96	0,97	1,01	0,99	2,94	4,02
1,46*	1,32*	1,15*	1,04*	1,07*	1,08*	0,99*	1,04*	1,01*	2,39	—
1,46*	1,32*	1,15*	0,74	1,08	1,16	1,07	1,07	0,98	(4,03)	—
2,07	1,59	1,30	1,30	1,65	1,16	1,23	1,46	1,46	2,64	3,5
1,76	1,33	1,26	1,12	1,19	1,21	1,33	1,39	1,44	3,13**	4,02**
	1,45			1,17			1,39			

(1910—1939 и 1951—1959 гг.)

1,46	1,32	1,15	1,04	1,07	1,08	0,99	1,04	1,01	2,64***	
	1,31			1,05			1,01			

чик

ные данные

1,06	0,79	0,77	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	1,87	2,53
1,69	1,38	1,05	0,76	0,95	1,19	1,14	1,18	1,38	2,51	3,45
1,37	2,27	2,55	2,72	1,95	2,70	3,09	3,35	2,42	2,43	3,02
1,78	1,50	1,26	1,04	1,88	1,89	1,97	1,67	1,26	3,62	5,13
2,51	1,89	1,42	1,52	2,06	1,70	1,33	1,78	1,75	3,14	3,93
1,68	1,57	1,41	1,36	1,52	1,65	1,66	1,75	1,51	2,72**	3,73**
	1,55			1,51			1,64			

мую

ные данные

2,42	2,14	1,67	1,47	1,46	1,40	1,64*	1,68*	1,61*	(4,63)	—
2,35	2,32	2,32	2,32	2,32	2,30	2,33	2,37	2,10	(4,06)	—
3,37	2,20	1,93	1,95	1,93	2,03	1,49	1,28	2,10	4,10	5,75
1,93	1,64	1,56	1,40	1,25	1,51	1,50	1,61	1,33	2,50	3,5
3,64	2,85	2,67	2,35	1,86	2,65	1,58	2,21	1,60	4,85	7,24
2,19*	1,76*	1,71*	1,61*	1,53*	1,66*	1,64*	1,68*	1,61*	(4,68)	—
2,74	2,23	2,03	1,90	1,76	1,98	1,72	1,87	1,78	3,32****	5,62****
	2,33			1,88			1,79			

Год	Распределение по								
	I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Среднемноголетние значения

Средняя в декаду	1,23	1,14	1,26	1,39	1,38	1,66	1,87	2,44	2,30
Средняя в месяц		1,21			1,48			2,20	

Чат-

Среднедекад-

1951	0,35	0,34	0,33	0,22	0,26	0,31	0,41	1,08	0,84
1952	0,84*	0,75*	0,69*	0,86	0,87	0,96	0,93	1,13	1,33
1953	0,50	0,55	0,67	1,05	1,58	1,26	1,38	3,73	3,48
1954	1,01	1,52	1,08	1,52	1,20	0,98	0,34	1,07	2,17
1955	0,27	0,34	0,67	1,09	1,32	0,68	0,55	0,61	1,60
1956	0,34	0,37	0,42	0,58	0,92	0,27	1,28	1,67	1,42
1957	0,15	0,27	0,46	0,52	0,44	0,54	1,77	0,67	0,58
1958	1,26	1,10	1,18	1,20	0,89	0,68	0,63	0,69	1,09
1959	0,27	0,25	0,40	0,71	0,47	0,85	0,99	0,90	0,81
Средняя в декаду	0,52	0,59	0,65	0,86	0,89	0,73	0,92	1,28	1,47
Средняя в месяц		0,59			0,83			1,22	

Среднемноголетние зна-

Средняя в декаду	0,86	0,75	0,76	0,84	0,89	0,99	1,12	1,39	1,49
Средняя в месяц		0,79			0,91			1,33	

Среднемноголетние значения

Средняя в декаду	5,18	5,80	5,03	4,75	4,92	4,69	3,47	2,91	2,89
Средняя в месяц		5,34			4,79			3,09	

месяцам и декадам								
IV			V			VI		
1	2	3	1	2	3	1	2	3

(1934—1938 и 1954—1959 гг.)

3,61	4,87	6,57	7,53	6,99	4,97	7,12	6,98	4,85
	5,02			6,50			6,32	

лы

ные данные

0,75	0,73	1,03	1,09	2,35	3,65	6,44	2,41	1,70
2,88	4,74	6,58	5,17	6,80	2,82	4,61	5,39	5,37
4,13	3,05	3,50	4,80	5,07	5,84	4,45	5,00	4,87
4,17	5,45	4,60	6,84	4,43	3,06	4,24	5,35	4,20
1,58	3,09	2,99	1,20	5,20	5,18	3,63	4,75	3,93
1,70	3,47	4,83	7,10	4,90	3,80	5,12	3,96	3,08
0,92	0,78	1,90	2,38	3,67	2,46	5,04	7,12	3,94
4,35	4,35	5,20	6,28	3,94	2,65	2,72	3,64	4,03
2,54	4,09	2,67	5,24	4,33	1,61	4,00	3,78	2,17
2,56	3,30	3,70	4,46	4,52	3,01	4,47	4,60	3,70
	3,19			4,00			4,26	

чения (1929—1959 гг.)

2,09	2,83	3,35	3,96	4,53	4,00	4,05	3,81	3,31
	2,76			4,16			3,72	

(1934—1938 и 1954—1959 гг.)

2,19	1,76	1,71	1,61	1,53	1,66	1,64	1,68	1,61	—	—
	1,89			1,60			1,64			

Год	Распределение по								
	VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Чат-Среднедекад-									
1951	2,57	2,21	1,62	2,26	2,78	2,30	1,93	1,28	1,46
1952	4,11	3,81	4,57	3,61	3,05	3,04	2,28	2,05	2,02
1953	4,06	4,97	4,15	3,15	3,07	2,94	2,32	2,24	2,42
1954	3,31	4,14	3,83	3,50	3,22	2,82	2,30	2,48	1,81
1955	2,73	2,66	2,65	2,94	3,69	3,68	2,43	2,47	1,87
1956	3,08	4,13	4,34	4,65	3,56	3,45	2,65	1,60	1,44
1957	2,07	4,17	4,45	3,05	2,50	2,61	1,97	1,29	1,18
1958	3,74	4,03	3,86	3,06	3,09	2,03	1,69	1,62	2,02
1959	3,70	3,52	3,26	3,46	2,98	2,76	2,75	3,20	2,93
Средняя в декаду	3,26	3,74	3,64	3,30	3,10	2,85	2,26	2,02	1,81
Средняя в месяц		3,55			3,08			9,03	
Среднемноголетние зна-									
Средняя в декаду	3,02	3,24	3,14	3,03	2,96	2,64	2,15	1,86	1,67
Средняя в месяц		3,13			2,86			1,89	

месяцам и декадам									Годовые данные	
X			XI			XII			среднеарифметическая	взвешенная по расходу
1	2	3	1	2	3	1	2	3		

ды

ные данные

1,31	1,04	1,23	1,20	1,77	1,95	1,21	1,15	0,86	1,51	2,10
1,62	1,47	1,24	0,94	0,93	0,78	0,22	0,26	0,22	2,62	3,66
2,18	1,97	1,95	1,85	2,09	1,49	2,02	1,61	1,43	2,80	3,50
1,59	1,40	1,21	1,05	1,06	1,17	0,38	0,56	0,64	2,49	3,25
1,53	1,51	1,10	1,10	0,92	0,90	0,89	1,13	1,07	1,99	2,70
2,02	1,55	1,44	1,11	1,03	1,39	1,40	1,22	0,44	2,38	3,32
1,43	1,21	1,28	1,23	1,14	1,12	1,24	1,46	1,32	1,89	2,80
1,50	1,36	1,19	1,10	1,02	1,25	1,38	1,02	1,05	2,27	3,14
2,45	2,13	1,87	1,18	1,14	1,16	0,93	0,26	0,40	2,11	3,45
1,74	1,51	1,39	1,20	1,23	1,25	1,07	0,96	0,83	2,23	3,17
	1,55			1,23			0,95			

чения (1929—1959 гг.)

1,43	1,26	1,15	1,06	1,08	1,11	0,94	0,84	0,74	2,06*****	2,88*****
	1,28			1,08			0,84			

* — Месяца неполных лет наблюдений, заполненные как среднемноголетние за весь период наблюдений.

** — За 5 полных лет.

*** — За 18 полных лет.

**** — За 3 полных года.

***** — За 31 год.

Среднедекадная мутность по ст. Чатлы за период

Распределение по

Год	I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1929	1,50	1,50	1,50	2,09	2,09	2,09	3,79	3,79	3,79
1930	0,68	0,68	0,71	0,82	0,80	0,94	2,05	2,05	2,05
1931	0,99	0,85	1,20	1,72	1,10	3,45	3,29	3,49	2,51
1932	0,93	0,82	0,82	0,71	1,46	0,93	0,94	0,98	1,10
1933	0,45	0,49	0,54	0,35	0,53	0,41	0,88	1,59	1,82
1934	0,66	0,28	0,32	0,48	1,32	3,22	2,07	0,65	0,75
1935	0,72	0,84	0,91	0,76	0,86	0,61	0,89	1,49	3,00
1936	0,85	0,93	0,91	1,07	0,79	0,87	0,62	0,69	0,71
1937	0,45	0,43	0,40	1,95	0,39	0,66	0,42	1,46	0,93
1938	2,79	2,13	2,45	1,26	1,60	1,43	2,03	3,36	2,53
1939	0,37	0,51	0,21	0,36	0,58	0,81	0,77	0,69	0,66
1940	1,19	1,29	0,57	0,17	0,63	1,10	1,42	1,50	1,36
1941	1,43	1,37	1,32	1,26	1,21	0,99	1,28	1,36	1,54
1942	1,20	1,29	1,16	0,86	1,07	1,17	1,05	1,08	1,70
1943	1,25	0,34	0,65	0,63	1,13	0,93	0,81	1,34	1,81
1944	2,92	1,07	1,00	0,88	0,78	0,84	0,75	0,73	0,57
1945	0,31	0,21	0,38	0,51	0,21	0,88	0,34	1,27	1,09
1946	0,98	0,80	0,70	0,69	0,71	0,76	0,81	0,89	1,20
1947	0,18	0,55	0,27	0,39	0,81	0,90	0,56	0,57	0,65
1948	0,93	0,87	0,86	0,64	0,90	0,53	0,56	0,58	0,81
1949	0,25	0,17	0,39	0,46	0,51	0,50	0,68	1,05	1,03
1950	0,77	0,40	0,20	0,25	0,26	0,21	0,56	1,03	1,25
1951	0,35	0,34	0,33	0,22	0,26	0,31	0,41	1,08	0,84
1952	0,84	0,75	0,69	0,86	0,87	0,96	0,93	1,13	1,33
1953	0,50	0,55	0,67	1,05	1,58	1,26	1,38	3,73	3,48
1954	1,01	1,52	1,08	1,52	1,20	0,98	0,34	1,07	2,17
1955	0,27	0,34	0,67	1,09	1,32	0,68	0,55	0,61	1,60
1956	0,34	0,37	0,42	0,58	0,92	0,27	1,28	1,67	1,42
1957	0,15	0,27	0,46	0,52	0,44	0,54	1,77	0,67	0,58
1958	1,26	1,10	1,18	1,20	0,89	0,68	0,63	0,69	1,09
1959	0,27	0,25	0,40	0,71	0,47	0,85	0,99	0,90	0,81
Сред- няя в дека- ду	0,86	0,75	0,76	0,84	0,89	0,99	1,12	1,39	1,49
Сред- няя в месяц		0,79			0,91			1,33	

Таблица 1а
(к § 1, п. а*)с 1929 по 1959 г. включительно, кг/м²

месяцам и декадам

IV			V			VI		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
4,27	4,27	4,27	3,15	3,15	3,15	3,31	3,31	3,31
6,52	6,52	6,52	9,47	9,67	3,29	4,51	5,15	4,20
1,35	1,57	7,57	8,52	9,70	7,42	5,48	4,20	3,67
1,43	2,38	2,57	3,00	3,34	3,89	2,89	2,97	2,77
1,30	2,59	1,84	2,99	4,43	2,64	2,98	2,07	2,61
1,45	7,58	7,05	7,55	7,93	9,50	12,82	7,50	5,68
0,94	0,91	1,67	3,20	5,25	4,41	3,24	4,35	3,85
2,24	2,63	3,43	3,24	3,79	4,37	3,07	2,92	2,49
0,94	2,69	2,78	2,12	3,46	5,26	5,10	3,03	3,70
1,36	3,40	3,32	3,99	4,24	5,07	3,57	2,92	1,99
0,90	1,24	1,84	1,32	8,01	6,64	2,25	3,16	2,50
1,10	0,90	1,49	3,46	4,15	3,51	5,55	4,26	4,76
3,16	2,30	3,79	4,88	4,55	4,04	2,99	3,38	2,97
1,99	4,24	2,41	2,59	3,53	4,59	3,25	2,61	2,50
2,07	2,66	2,57	2,05	2,97	2,42	4,73	3,72	3,85
1,33	1,88	3,00	2,89	3,48	2,38	2,93	2,85	1,90
3,79	2,73	3,70	4,05	3,08	5,68	4,09	4,12	3,66
0,87	1,35	2,04	2,46	2,25	2,89	1,96	1,93	1,68
0,68	0,76	1,14	1,30	1,42	1,66	2,80	2,73	1,63
0,69	1,13	2,67	5,32	4,21	2,72	2,12	2,30	2,71
2,28	4,02	3,75	3,99	4,72	5,02	3,46	3,26	3,05
1,02	0,79	1,00	1,16	2,41	4,01	2,21	3,92	3,76
0,75	0,73	1,03	1,09	2,35	3,65	6,44	2,41	1,70
2,88	4,74	6,58	5,17	6,80	2,82	4,61	5,39	5,37
4,13	3,05	3,50	4,80	5,07	5,84	4,45	5,00	4,87
4,17	5,45	4,60	6,84	4,43	3,06	4,24	5,35	4,20
1,58	3,09	2,99	1,20	5,20	3,18	3,63	4,75	3,93
1,70	3,47	4,83	7,10	4,90	3,80	5,12	3,96	3,08
0,92	0,78	1,90	2,38	3,67	2,16	5,04	7,12	3,94
4,35	4,35	5,20	6,28	3,94	2,65	2,72	3,64	4,03
2,54	4,09	2,67	5,24	4,33	1,61	4,00	3,78	2,17
2,09	2,83	3,35	3,96	4,53	4,00	4,05	3,81	3,31
	2,76			4,16			3,72	

Распределение по

Год	VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1929	0,65	1,71	1,71	2,76	2,76	2,76	1,57	1,57	1,57
1930	3,29	3,00	3,39	3,87	3,98	2,00	2,09	1,79	1,34
1931	3,49	5,31	4,43	3,56	3,01	2,39	2,15	1,63	1,18
1932	1,61	2,46	2,97	2,41	1,77	1,70	1,21	0,96	0,91
1933	1,46	2,57	2,48	2,78	2,16	3,05	2,01	1,33	1,54
1934	5,38	3,55	3,29	2,97	2,79	2,67	1,91	1,68	1,45
1935	3,57	4,15	3,38	2,65	3,52	2,11	1,62	1,21	0,84
1936	1,97	2,49	2,52	1,80	1,50	1,63	1,31	1,18	1,16
1937	4,94	4,44	4,22	3,45	3,25	3,58	2,76	2,23	1,56
1938	1,70	1,59	2,22	2,65	2,03	1,95	2,14	1,73	1,30
1939	2,31	3,02	3,51	3,27	2,67	2,77	2,43	2,22	1,63
1940	3,89	2,53	2,56	3,64	3,63	3,17	2,19	2,42	2,04
1941	3,19	3,15	1,74	2,09	2,80	2,67	2,15	1,48	1,21
1942	3,57	2,73	2,52	2,95	2,98	2,97	2,99	2,89	2,78
1943	3,02	3,74	2,81	2,34	2,66	2,14	1,74	1,52	1,49
1944	3,02	3,23	3,28	3,33	3,24	2,89	2,69	2,09	1,88
1945	2,45	2,26	1,94	2,45	2,26	2,13	1,94	1,72	1,88
1946	2,89	2,03	2,64	2,51	2,54	2,84	1,94	1,49	1,27
1947	1,75	1,61	1,90	2,74	2,65	2,64	2,33	2,15	1,90
1948	2,69	4,44	4,02	3,68	3,68	2,82	2,61	2,37	1,90
1949	3,58	3,66	3,99	3,45	3,03	2,27	1,77	1,79	1,80
1950	3,02	3,22	3,02	3,16	3,23	2,93	2,99	1,97	2,05
1951	2,57	2,21	1,62	2,26	2,78	2,30	1,93	1,28	1,46
1952	4,11	3,81	4,57	3,61	3,05	3,04	2,28	2,05	2,02
1953	4,06	4,97	4,15	3,15	3,07	2,94	2,32	2,24	2,42
1954	3,31	4,14	3,83	3,50	3,22	2,82	2,30	2,48	1,81
1955	2,73	2,66	2,65	2,94	3,69	3,69	2,43	2,47	1,87
1956	3,08	4,13	4,34	4,65	3,56	3,45	2,65	1,60	1,44
1957	2,07	4,17	4,45	3,05	2,50	2,61	1,97	1,29	1,18
1958	3,74	4,03	3,86	3,06	3,09	2,03	1,69	1,62	2,02
1959	3,70	3,52	3,26	3,46	2,98	2,76	2,75	3,20	2,93
Сред- няя в дека- ду	3,02	3,24	3,14	3,03	2,96	2,64	2,15	1,86	1,67
Сред- няя в месяц		3,13			2,86			1,89	

месяцам и декадам									Сред- него- довая мут- ность
X			XI			XII			
1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1,26	1,26	1,26	0,74	0,74	0,74	0,67	0,72	0,70	2,28
1,05	1,15	1,04	1,05	1,00	0,94	0,64	0,78	0,90	2,73
0,69	0,57	1,07	0,57	0,57	0,68	0,85	1,25	0,71	2,84
1,25	0,79	0,65	0,59	0,54	0,52	0,48	0,35	0,25	1,55
1,03	1,43	0,71	0,69	0,71	0,57	0,54	0,67	0,39	1,59
1,41	0,86	0,71	0,74	0,88	0,84	0,74	0,89	1,06	3,08
0,62	0,58	0,56	0,51	0,61	1,30	0,92	1,05	0,43	1,90
1,00	0,78	0,66	0,56	0,69	0,37	0,37	0,41	0,55	1,50
1,27	1,21	1,24	1,13	1,23	2,18	1,40	0,53	1,28	2,16
1,43	1,02	1,02	0,93	1,27	1,08	1,23	0,75	0,23	2,10
1,36	1,21	1,29	1,06	1,25	1,03	1,15	1,35	1,09	1,87
1,89	1,61	1,13	1,71	1,82	1,45	1,00	0,81	0,72	2,13
1,23	1,22	1,18	1,19	1,21	1,18	1,29	1,23	1,44	2,08
2,06	1,70	1,66	1,57	1,50	1,73	1,70	1,62	1,42	2,23
1,17	1,10	0,80	1,06	0,92	0,97	1,08	0,85	0,66	1,84
1,40	1,22	1,13	1,05	1,08	1,20	0,73	0,77	0,66	1,83
1,47	0,99	1,29	1,25	1,16	1,10	1,09	0,96	1,09	1,92
1,10	1,04	0,88	0,62	0,64	0,52	0,42	0,30	0,30	1,41
1,24	1,16	0,85	1,23	0,95	0,80	0,50	0,31	0,37	1,28
1,63	1,41	1,35	1,11	1,11	1,06	1,12	0,82	0,54	1,91
1,75	1,51	1,52	1,42	1,52	1,20	1,28	0,67	0,46	2,09
1,55	1,47	1,22	1,18	0,98	1,61	0,27	0,24	0,24	1,63
1,31	1,04	1,23	1,20	1,77	1,95	1,21	1,15	0,86	1,51
1,62	1,47	1,24	0,94	0,93	0,78	0,22	0,26	0,22	2,62
2,18	1,97	1,95	1,85	2,09	1,49	2,02	1,62	1,43	2,80
1,59	1,40	1,21	1,05	1,06	1,17	0,38	0,56	0,64	2,49
1,53	1,51	1,10	1,10	0,92	0,90	0,89	1,13	1,07	1,99
2,02	1,55	1,44	1,11	1,03	1,39	1,40	1,22	0,44	2,38
1,43	1,21	1,28	1,23	1,14	1,12	1,24	1,46	1,32	1,89
1,50	1,36	1,19	1,10	1,02	1,25	1,38	1,02	1,05	2,27
2,45	2,13	1,87	1,18	1,14	1,16	0,93	0,26	0,40	2,11
1,43	1,26	1,15	1,06	1,08	1,11	0,94	0,84	0,74	
	1,28			1,08			0,84		
За 31 год									2,06

За 31 год

2,06

Таблица 2
(к § 1 п. а*)Максимальные и минимальные среднедекадные мутности по станциям
Керки — Чатлы за 1911—1959 гг.

Гидропост	Год	Максимальные			Минимальные		
		месяц	декада	$\rho, \text{кг/м}^3$	месяц	декада	$\rho, \text{кг/м}^3$
Керки	1911	V	3	6,04	I	1	0,45
	1912	V	2	6,94	XI	3	0,71
	1913	X	3	5,80	I	3	0,74
	1914	V	1	9,72	—	—	—
	1928	V	1	5,75	—	—	—
	1929	IV	1—3	4,42	XII	1	0,83
	1930	V	2	11,55	XII	1	0,83
	1931	V	1	14,09	III, X, XI	1, 2, 3	0,75
	1932	V	1	7,05	XI	1	0,52
	1933	V	2	4,78	XII	3	0,57
	1934	IV	1	15,60	I	2	0,72
	1935	V	2	5,65	XII	3	0,64
	1936	V	3	4,17	II	2	0,58
	1937	IV	2	6,94	XII	2	0,59
	1938	V	1	7,56	XI, XII	1, 2	0,59
	1939	V	2	8,73	—	—	—
	1953	VI	1	6,46	II	2	0,87
	1954	V	1	10,20	XI	3	1,05
	1955	V	2	7,75	II, III	3, 1	0,99
	1956	VII	2	6,56	XI	1	0,91
	1957	VI	1	6,85	—	—	—
	1958	V	1	9,11	XI	1	0,74
	1959	VII	1	5,87	I	3	0,80
Ильчик	1955	VIII	2	5,0	III	1	0,56
	1956	V	1	5,55	II	3	0,74
	1957	VI	2	6,37	III	2	0,95
	1958	IV	3	10,98	XI	1	1,04
	1959	V	1	6,95	II	1	1,14
Туямуюн	1934	V	2	7,87	—	—	—
	1935	V	2	4,39	—	—	—
	1938	—	—	—	—	—	—
	1954	V	1	11,13	I	3	0,33
	1955	VIII	3	11,45	II	3	0,65
	1956	VII	3	11,30	—	—	—
	1957	VI	2	7,90	I	2	0,75
	1958	VII	2	11,85	II	1	0,29
	1959	V	1	11,95	II	3	0,96
Чатлы	1933	VI	1	3,36	—	—	—
	1937	V	3	5,26	—	—	—
	1938	V	3	5,07	I	3	0,40
	1939	V	2	8,01	XII	3	0,28
	1940	VI	1	5,55	I	3	0,21
	1941	V	1	4,88	I	3	0,17
	1942	V	3	4,59	II	3	0,99
	1943	VI	1	4,73	II	1	0,86
	1944	V	2	3,48	II	1	0,63
	1945	V	3	5,68	III	3	0,57
	1946	V, VII	3, 1	2,89	I, II	2, 2	0,21
	1947	VI	1	2,80	XII	2, 3	0,30
	1948	V	1	5,92	I	1	0,18
	1949	V	3	5,02	II	3	0,43
	1950	V	3	4,01	I	2	0,17
					I	3	0,20

Гидропост	Год	Максимальные			Минимальные		
		месяц	декада	ρ , кг/м ³	месяц	декада	ρ , кг/м ³
	1951	VI	1	6,44	I	2	0,22
	1952	V	2	6,80	XII	1,3	0,22
	1953	V	3	5,84	I	1	0,50
	1954	V	1	6,84	III	1	0,34
	1955	V	2	5,20	I	1	0,27
	1956	V	1	7,10	II	3	0,27
	1957	VI	2	7,12	I	1	0,15
	1958	V	1	6,28	III	1	0,63
	1959	V	1	5,24	I	2	0,25

Наибольшая из максимальных

Керки	1934	IV	1	15,60	—	—	—
Ильчик	1958	IV	3	10,98	—	—	—
Тюямуюн	1959	V	1	11,95	—	—	—
Чатлы	1939	V	2	8,01	—	—	—

Наименьшая из минимальных

Керки	1911	—	—	—	I	1	0,45
Ильчик	1955	—	—	—	III	1	0,56
Тюямуюн	1957	—	—	—	II	1	0,29
Чатлы	1957	—	—	—	I	1	0,15

Таблица 3
(к § 1, п. а*)Максимальные и минимальные однодневные мутности р. Аму-Дарьи
по гидрометстанции Чатлы

Год	Максимальные			Минимальные		
	месяц	число	ρ , кг/м ³	месяц	число	ρ , кг/м ³
1933	V	18	8,72	—	—	—
1939	V	18	11,94	I	25	0,19
1940	VI	10	6,04	I	30	0,30
1941	V	5	6,93	—	—	—
1943	VI	6	5,67	—	—	—
1944	IV	30	5,78	—	—	—
1945	V	4	6,60	—	—	—
1946	VII	6	4,22	—	—	—
1947	VI	3	3,43	—	—	—
1948	V	5	6,70	II	4	0,26
1949	V	17	6,92	I	13	0,18
1950	V	25	5,83	II	1	0,13
1951	V	1	8,03	II	9	0,16
1952	V	17	8,65	XII	24	0,13
1953	V	26	8,41	I	2	0,32
1954	V	10	8,73	III	3	0,18
1955	V	12	9,94	I	5	0,19
1956	V	20	11,10	I	4	0,14
1957	VI	16	10,40	I	9,6	0,12
1958	V	5	3,38	III	20	0,53
1959	V	10	9,18	XII	16	0,10

Таблица 4
(к § 2)

Сток наносов р. Аму-Дарьи по станциям Керки, Ильчик, Чатлы за срок до 1959 г., тыс. т

Год	Сток наносов по месяцам и декадам											
	I			II			III			IV		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Керки

Среднедекадные данные

1951	871,52	858,45	860,38	744,75	704,95	615,93	1257,60	1786,86	2843,60	3057,63	4749,58	3592,51	7874,50	11356,93
1952	1042,95	945,66	1013,83	912,26	973,87	850,36	1547,38	2399,64	4904,06	5592,41	11334,21	15130,37	21317,38	19887,03
1953	1091,15	923,44	877,42	833,59	583,30	665,54	2384,51	4430,76	7201,66	4242,58	7371,65	5780,68	15256,51	21003,84
1954	2624,05	2678,40	1957,82	1228,97	1186,40	1191,49	1489,36	1294,63	9910,01	9949,31	16636,03	15998,34	28200,96	15826,75
1955	852,58	890,71	818,39	720,17	686,88	478,32	520,06	2363,90	3378,35	2727,20	6414,34	1832,54	11081,66	15467,76
1956	916,06	837,40	929,91	837,42	1014,81	1176,55	3639,69	3427,66	3521,23	6972,31	13047,09	16944,42	14110,34	10637,56
1957	898,73	906,70	1055,61	1030,92	907,89	618,24	1092,79	1187,90	1958,88	1199,21	1753,75	3909,60	4377,20	4272,05
1958	698,54	692,38	836,00	810,97	917,52	530,39	883,87	1232,82	2512,10	4713,98	8128,06	16067,39	32822,23	18151,77
1959	862,44	569,83	571,76	576,51	622,18	564,92	663,55	794,72	4746,11	2759,96	10368,09	5609,95	12979,87	5531,67
Средний в декаду	1095,34	1033,67	991,23	855,06	833,09	743,53	1497,65	2102,10	4552,85	4579,40	8866,98	9429,51	16446,74	13570,59
Средний в месяц	3120,24			2431,68			8152,60			2275,91			42620,68	

Среднемноголетние значения (1929—1938 и 1951—1959 гг.)

Средний в декаду	1002,30	910,43	952,52	857,33	957,33	868,91	1843,09	1922,43	3661,72	6313,24	7978,12	9883,18	14939,89	16226,14
Средний в месяц	2865,25			2683,77			7427,24			24174,54			48096,01	

За последние 5 лет

Средний в декаду	845,67	779,40	842,33	795,20	809,85	673,68	1359,99	1801,40	3223,27	3674,53	7942,27	8872,78	15074,26	10812,16
Средний в месяц	2467,40			2278,73			6384,66			20489,58			35189,27	

Ильчик

Среднедекадные данные

1955	702,24	561,85	592,41	456,61	394,02	239,39	267,12	396,72	2521,45	2185,42	3144,40	1135,40	4018,12	7289,0
1955	524,94	521,64	1065,00	816,06	423,00	384,80	460,46	1529,5	1816,72	3303,36	4717,86	12174,72	13136,85	12269,25
1957	952,15	941,03	861,96	1294,47	804,56	553,28	585,36	505,40	1441,71	1065,00	1157,78	3367,30	2560,25	6895,04
1958	1208,18	1641,97	1994,10	1638,34	1208,48	541,20	653,92	1382,08	1803,27	7779,59	8193,12	31117,32	20773,65	8642,80
1959	1726,92	1465,56	939,64	654,36	1037,66	544,12	775,56	863,50	3704,00	2763,32	9504,06	4912,64	19036,05	5786,46
Средний в декаду	1022,89	1026,41	1090,62	971,97	773,54	452,56	548,48	935,44	2257,43	3419,34	5343,44	10541,47	11904,99	8176,51
Средний в месяц		3139,92			2198,07			3741,35			1934,25			27240,93

Чатлы

Среднедекадные данные

1951	166,60	135,66	135,63	63,03	82,68	100,44	162,36	290,00	404,04	312,00	298,57	613,88	621,30	1844,75
1952	337,86	399,65	463,32	381,84	367,14	412,80	409,20	636,19	837,90	2090,88	4877,46	17252,50	13933,15	18870,0
1953	386,0	305,80	467,66	651,00	914,82	430,92	474,34	2349,90	2363,62	3151,19	2333,25	3052,00	6384,0	10444,20
1954	977,68	1444,0	1099,44	1378,64	936,00	348,88	106,76	429,17	1484,28	4503,6	7085,00	7636,00	15116,40	8527,75
1955	115,02	250,24	536,67	701,96	752,40	224,40	172,15	170,80	622,40	674,66	1674,78	1503,97	547,20	7955,00
1956	145,99	169,43	264,64	493,60	656,17	99,32	997,54	740,20	627,55	766,71	2320,51	5967,12	14109,12	9694,94
1957	35,10	111,78	290,26	228,80	260,48	279,72	973,50	175,54	145,00	244,72	189,54	628,90	1168,58	2609,37
1958	597,24	519,20	691,48	559,20	344,43	144,16	120,93	130,41	360,79	3284,25	4589,25	10374,00	15574,40	7170,80
1959	189,88	137,59	271,79	318,98	206,69	330,47	353,26	250,39	228,64	1211,10	3459,55	1986,22	9552,72	5611,68
Средний в декаду	327,93	385,93	468,99	530,78	502,31	263,46	418,89	574,74	786,02	1804,38	2980,87	5446,10	8556,32	8081,06
Средний в месяц		1182,85			1296,55			1779,65			10231,35			22424,97

Среднемноголетние значения (1937—1959 гг.)

Средний в декаду	474,16	415,57	516,80	477,57	433,49	296,96	445,78	677,78	789,64	1480,51	2510,05	3814,97	6007,29	7269,8
Средний в месяц		1406,53			1208,02			1913,20			7805,53		21581,47	

Средние за последние 5 лет

Средний в декаду	216,65	237,65	410,97	460,51	444,03	215,61	523,48	293,47	396,88	1236,35	2446,73	4092,04	8190,40	6608,56
Средний в месяц		865,27			1120,15			1213,83			7775,12			18676,73

Год	Сток наносов по месяцам и декадам														
	V			VI			VII			VIII			IX		
	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Керки															
Среднедекадные данные															
1951	14644,62	17025,12	13972,61	8477,57	14405,04	13593,83	11072,16	12946,0	13481,08	11794,46	5559,93	4071,86	2984,69		
1952	18483,09	23056,88	22419,07	22927,97	20163,69	2401,97	22336,77	11885,22	14287,10	12212,54	6562,77	4510,08	3088,10		
1953	19896,43	23912,34	24729,52	22989,92	28015,44	38849,93	24091,88	13486,18	15568,24	14017,26	8746,96	6419,00	4368,90		
1954	13891,81	30506,11	29048,43	16650,10	14452,30	19633,35	20793,80	20886,68	16872,92	14825,19	8328,61	8268,38	4933,09		
1955	11610,08	12139,03	23563,92	12610,18	9517,82	9245,49	9476,44	14300,30	14442,80	13053,74	6060,44	3974,40	2609,28		
1956	12740,57	16955,83	6668,52	8030,16	13671,59	29529,45	31552,52	20079,70	17117,57	14158,99	5776,36	2767,56	2554,67		
1957	2499,93	14085,79	13404,32	10695,72	8809,21	12539,18	11571,14	7978,80	8908,51	7689,34	2939,07	2288,56	1520,08		
1958	13303,20	10387,35	16446,33	25053,93	38929,25	52533,36	24757,35	17262,31	13634,18	7892,92	4966,01	4607,54	2739,66		
1959	6360,40	20739,11	14688,00	12958,00	27691,37	10372,32	16156,80	12968,64	15599,00	11425,04	9495,36	9511,26	6045,58		
Средний в декаду	12603,35	18756,40	18326,75	15598,73	19520,63	23433,21	19089,87	14643,76	11434,00	11896,61	6492,84	5157,63	3427,12		
Средний в месяц	42620,68		52681,88			62043,71		40974,97				15077,59			
Среднемноголетние значения (1929—1938 и 1951—1959 гг.)															
Средний в декаду	16920,98	17973,32	16987,59	15806,59	16232,41	18283,87	17132,64	13593,38	12626,21	10041,45	5733,91	4104,43	2719,82		
Средний в месяц	48096,01		50767,50			51648,92		36261,04				12558,16			
За последние 5 лет															
Средний в декаду	9302,85	14861,42	14954,22	13868,60	19723,85	22843,96	18702,85	14517,95	13940,41	10844,01	5847,45	4629,86	3093,85		
Средний в месяц	35189,27		43684,24			61270,66		39302,37				13571,16			

Ильчик

Среднедекадные данные

1955	6259,20	5775,92	12373,90	8195,35	6830,20	4044,00	4968,00	9078,00	16935,00	9268,50	7468,50	3323,22	1850,24
1956	9102,55	17096,37	6159,73	7020,48	7957,45	15601,31	23433,48	20107,62	16272,73	13976,65	6216,39	2791,53	2593,11
1957	2654,40	9420,80	21517,86	10281,54	8876,04	14154,00	11509,29	6343,30	7479,72	4839,68	2076,36	1315,84	1047,60
1958	12363,0	9496,96	17249,40	21604,52	27669,60	36234,00	35178,80	25866,54	19890,36	10443,75	5002,56	6985,11	3980,99
1959	5418,0	19874,82	17293,37	12952,80	21594,04	10363,86	19018,74	15541,10	12942,37	11412,28	9499,34	10381,85	7082,88
Средний в декаду	7159,43	12332,98	14918,86	12010,94	14585,47	16279,43	18821,66	15387,31	14704,03	9988,17	6052,63	4959,51	3312,96
Средний в месяц	27240,93	39262,48				49686,56			40079,51			14325,10	

Чатлы

Среднедекадные данные

1951	4715,80	14940,80	4362,10	1768,00	4127,42	3686,28	2572,56	3548,20	6282,80	4163,00	2383,55	1328,64	1387,00
1952	5597,70	12783,53	14445,70	19358,85	15412,50	12268,20	20894,90	10454,85	7853,75	7736,80	3369,84	2708,05	2282,60
1953	15592,80	10324,0	13600,0	16752,80	13559,40	20874,00	18799,5	8946,00	5924,10	6203,40	3758,40	3718,40	3920,40
1954	6793,20	11787,20	20330,0	12978,00	7248,9	12006,00	11356,80	9765,00	8339,80	7557,60	4163,00	5406,40	3113,20
1955	4102,20	5662,80	11875,00	11239,00	6651,20	5506,20	5909,50	6703,20	11070,00	11660,40	4131,00	3705,00	2187,90
1956	7620,29	14686,62	8656,24	5428,68	5476,58	10490,86	17530,13	17235,50	9222,68	9803,85	4624,99	2004,48	1791,59
1957	1500,60	4394,88	15521,60	8116,40	3705,30	10315,00	11570,00	4605,50	3575,00	4750,20	1735,57	807,54	599,44
1958	4452,00	3971,20	8626,80	12976,60	12977,80	17329,00	21963,40	11260,80	10382,40	3796,10	2163,20	2251,80	2424,00
1959	1713,76	8294,40	11234,76	5080,27	12115,87	9519,21	10441,28	8669,38	7157,72	6636,45	5179,68	6027,26	5366,82
Средний в декаду	5787,59	9649,49	12072,4	10410,96	9030,55	11332,75	13448,67	9020,94	7756,47	6923,09	3501,02	3106,49	2563,67
Средний в месяц	22424,97	32132,85				33811,97			23700,50			9171,18	

Средне многолетние значения (1937—1959 гг.)

Средний в декаду	8304,38	8107,49	9101,04	8383,74	8465,71	9616,31	10921,93	8674,66	7456,35	6537,01	4200,38	3249,63	2390,86
Средний в месяц	21581,47	25592,27				29003,95			22668,02			9840,87	

Средние за последние 5 лет

Средний в декаду	3877,77	7402,00	11182,90	8568,19	8185,35	10632,05	13482,86	9694,88	8281,56	7329,40	3566,89	2959,22	2473,95
Средний в месяц	18676,73	27153,09				32300,26			25305,84			9000,06	

Год	Сток наносов по месяцам и декадам												Средний годовой сток
	X			XI			XII						
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Керки													
Среднедекадные данные													
1951	1938, 82	1404, 52	1343, 72	1224, 29	1219, 28	981, 35	1024, 10	993, 11	1136, 18				—
1952	1620, 86	1479, 60	1394, 69	967, 68	932, 76	996, 42	1011, 23	1451, 70	2008, 43				—
1953	2710, 71	1969, 92	2018, 17	1710, 72	1512, 00	1988, 58	2609, 97	2275, 26	2555, 37				—
1954	2919, 46	1208, 39	1362, 49	1035, 42	1063, 15	916, 27	1007, 49	998, 44	1105, 77				—
1955	1467, 94	1145, 80	1092, 34	873, 43	674, 35	860, 18	809, 45	928, 82	788, 12				—
1956	1676, 50	934, 16	788, 21	625, 06	652, 98	675, 16	678, 84	715, 80	745, 19				—
1957	1160, 52	1007, 04	1013, 17	816, 79	787, 66	875, 27	766, 40	862, 62	926, 31				—
1958	2061, 19	1578, 42	1283, 14	574, 15	838, 87	863, 93	793, 20	831, 11	814, 04				—
1959	3272, 92	1634, 77	1140, 38	954, 72	1207, 48	948, 12	951, 13	1125, 20	1144, 76				—
Средний в декаду	2092, 10	1373, 62	1270, 70	975, 81	987, 61	1011, 70	1072, 42	1131, 34	1247, 24				261141, 68*
Средний в месяц		4736, 42			2975, 12			3451, 0					
Среднемноголетние значения (1929—1938 и 1951—1959 гг.)													
Средний в декаду	1694, 55	1325, 37	1268, 71	966, 98	967, 08	997, 87	842, 48	920, 34	944, 10				246510, 03**
Средний в месяц		4288, 63			2931, 93			2706, 92					
За последние 5 лет													
Средний в декаду	1927, 81	1260, 04	1063, 45	768, 83	832, 27	844, 53	799, 81	892, 71	883, 68				233911, 22**
Средний в месяц		4251, 30			2445, 63			2576, 20					

Суммарный сток наносов р. Аму-Дарьи по станциям Керки, Ильчик, Чатлы за годы 1951 — 1959, тыс. м

Год	Распределение по месяцам и декадам											
	I			II			III			IV		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Керки												
1951	871,52	1729,97	2590,35	3335,10	4040,05	4655,98	5913,58	7700,44	10544,04	13601,67	18351,25	21943,76
1952	1042,95	1988,61	3002,44	3914,70	4888,57	5738,93	7286,31	9685,95	14590,01	20182,42	31516,63	46647,00
1953	1091,15	2014,59	2892,01	3725,60	4308,90	4974,44	7358,95	11789,71	18991,37	23233,95	30605,60	36386,28
1954	2624,05	5302,45	7260,27	8489,24	9675,64	10867,13	12356,49	13651,12	23561,13	33510,44	50146,47	66144,81
1955	852,58	1743,29	2561,68	3281,85	3968,73	4447,05	4967,11	7331,01	10709,36	13436,56	19850,90	21683,44
1956	916,06	1753,46	2683,37	3520,79	4535,60	5712,15	9351,84	12779,50	16300,73	23273,04	36320,13	53264,55
1957	898,73	1805,43	2861,04	3891,96	4799,85	5418,09	6510,88	7698,78	9657,36	10856,57	12610,32	16519,92
1958	698,54	1390,92	2226,92	3037,89	3855,41	4395,80	5269,67	6502,49	9014,59	13728,57	21856,63	37924,02
1959	862,44	1432,27	2004,03	2580,54	3202,72	3767,64	4431,19	5225,91	9972,02	12731,98	23100,07	28710,02
Ильчик												
1955	702,24	1264,09	1856,50	2313,11	2707,10	2946,52	3213,64	3610,36	6131,81	8317,23	11461,63	12597,03
1956	524,94	1046,58	2111,58	2927,64	3350,64	3735,44	4195,90	5725,40	7542,12	10845,48	15563,34	27738,06
1957	952,15	1893,18	2755,14	4049,61	4854,17	5407,45	5992,81	6498,21	7939,92	9004,92	10162,70	13530,0
1958	1208,18	2850,15	4844,25	6482,59	7691,07	8232,27	8886,19	10268,27	12071,54	19851,13	28044,25	59161,57
1959	1726,92	3192,48	4132,12	4786,48	5824,14	6368,26	7143,82	8007,32	11711,32	14474,64	23978,70	28891,34
Чатлы												
1951	166,60	302,26	437,89	500,92	583,60	684,04	846,40	1136,40	1540,44	1852,44	2151,01	2764,89
1952	337,86	737,51	1200,83	1582,67	1949,81	2362,61	2771,81	3408,0	4245,90	6336,78	11214,24	28466,74
1953	386,0	691,80	1159,46	1810,46	2725,28	3156,20	3630,54	5980,44	8344,06	11495,25	13828,50	16880,50
1954	977,68	2421,68	3521,12	4899,76	5835,76	6184,64	6291,40	6720,57	8204,85	12708,45	19793,45	27429,45
1955	115,02	365,26	901,93	1603,89	2356,29	2580,69	2752,84	2923,64	3546,04	4220,70	5895,48	7399,45
1956	145,99	315,42	580,06	1073,66	1729,83	1829,15	2826,69	3566,89	4194,44	4961,15	7281,66	13248,78
1957	35,10	146,88	437,14	665,94	926,42	1206,14	2179,64	2355,18	2500,18	2744,90	2934,44	3563,34
1958	597,24	1116,44	1807,92	2367,12	2711,55	2855,71	2976,64	3107,05	3467,84	6752,09	11341,34	21715,34
1959	189,88	327,47	599,26	918,24	1124,93	1455,40	1808,66	2059,05	2287,69	3499,09	6958,64	8944,86
											5230,94	
											61269,89	
											33708,70	
											51073,60	
											15902,65	
											37052,84	
											7341,29	
											44460,54	
											24109,26	

Год	Распределение по месяцам и декадам											
	V			VI			VII			VIII		
	3	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Керки												
1951	55819,81	72844,93	86817,54	95295,11	109700,15	123293,98	134336,14	147312,14	160793,22	172587,68	178147,61	182219,47
1952	106334,50	129391,38	151810,45	174738,42	194902,11	219504,08	241840,85	253726,07	268013,17	286225,71	286788,48	281298,56
1953	92543,06	116455,40	141184,92	174174,84	192220,28	231070,21	255162,09	268648,27	284216,21	298233,77	306980,73	317768,63
1954	124064,33	154570,44	183618,87	200268,97	214721,27	234354,62	255148,42	268648,27	292908,02	307733,21	316051,82	324330,20
1955	59842,94	71981,97	95545,89	108156,07	117673,89	126919,38	136395,82	150696,12	165138,92	178192,66	184253,10	188227,50
1956	90753,02	107708,85	114377,37	122407,53	136079,12	165608,57	197161,09	217240,79	234358,36	248517,35	254293,71	257061,27
1957	27669,10	41754,89	55159,21	65854,93	74664,14	87203,32	98774,46	106753,26	115661,77	123351,11	126290,18	128578,74
1958	102201,22	112588,57	129034,90	154088,83	193018,08	245551,44	270308,79	287571,10	301205,28	309098,20	314064,21	318671,75
1959	53582,02	74321,13	89009,13	101962,13	129053,50	140025,82	156182,62	169151,26	184750,26	196175,30	205670,66	215181,92
Ильчик												
1955	30163,35	35939,27	48313,17	56508,52	63338,72	67382,72	72350,72	81428,72	93363,72	107632,22	115100,72	118423,94
1956	62246,71	79343,08	85502,86	92523,34	100480,79	117082,10	140515,58	160623,20	176895,93	190872,58	197088,97	199880,50
1957	25639,69	35060,49	56578,35	66859,89	75735,93	89889,93	101399,22	107742,52	115222,24	120061,90	122138,26	123454,10
1958	100941,04	110438,00	127687,40	149291,92	176961,52	213195,52	243374,32	274240,86	294131,22	304574,97	309577,53	316562,64
1959	59131,85	79006,67	96300,04	109252,84	130846,88	141210,74	160229,48	175770,58	188712,95	200125,23	209624,57	220006,42
Чатлы												
1951	9946,74	24887,54	29249,64	31017,64	35145,06	38831,34	41403,90	44952,10	51231,90	55397,90	57781,45	59110,09
1952	66867,59	79651,12	94096,32	113455,17	128867,67	141135,87	162030,77	172485,62	180339,37	188076,17	191446,01	194154,06
1953	49301,50	59625,50	73225,50	89978,30	103537,70	124411,70	143211,20	152157,20	158081,30	164284,70	168043,10	171761,50
1954	57866,80	69654,00	89984,00	102962,00	110210,90	122216,90	133573,70	143338,70	151678,50	159236,10	163399,10	168805,50
1955	20004,85	25667,65	37542,65	48781,65	55432,85	60939,05	66848,55	73551,75	84621,75	96282,15	100413,15	104118,15
1956	44673,13	59359,75	68015,99	73444,67	78921,25	89412,11	106942,24	124177,74	133400,42	143204,27	147829,26	149833,74
1957	8841,89	13236,77	28758,37	36874,77	40580,07	50895,07	62465,07	67070,57	70645,57	75395,77	77131,34	77938,88
1958	48912,54	52883,74	61510,54	74487,14	87464,94	104793,94	126757,34	138018,14	148400,54	152196,64	154359,84	156611,64
1959	25823,02	34117,42	45352,18	50432,45	62548,32	72067,53	82508,81	91178,19	98335,91	104972,36	110152,04	116179,30

Год	Распределение по месяцам и декадам												Суммарный итог	
	X			XI			XII							
	2	3	1	2	3	1	2	3						

Таблица 6
(к § 2)

Среднегодовой сток наносов с распределением по месяцам
за отдельные периоды, тыс. *m*

Стан- ция	Период	Распределение по месяцам												За год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Керки	1929—1933 и 1951—1959	2865	2684	7427	24175	48096	50768	51649	36261	12558	4289	2932	2707	246411
Чатлы	1939—1959	1407	1208	1913	7806	21581	25592	29004	22668	9841	4064	2659	1803	129546
Керки	1951—1959	3120	2432	8153	22876	42621	52682	62044	40975	15078	4736	2975	3451	261142
Чатлы		1183	1297	1780	10231	22425	32133	23812	23700	9171	4599	2748	1848	134927
Керки	1955—1959	2467	2279	6385	20490	35189	43684	61271	39302	13571	4251	2446	2576	233911
Ильчик		3140	2198	3741	19304	27241	39263	49687	40080	14325	4943	3388	3622	210932
Чатлы		1865	1120	1214	7775	18677	27153	32300	25306	9000	4424	2196	1707	132737

Таблица 7
(к § 3)

Среднегодовые мутности воды, годовые стоки наносов и среднегодовые
расходы воды по ст. Чатлы за период 1929—1959 гг.
(дополнительные данные со станций Керки и Ташсака)

Год	Q, м³/сек	Мутность воды, кг/м³				Годовой сток нано- сов, тыс. т
		годовая		среднедекадная		
		среднеариф- метическая	взвешенная по расходу	максималь- ная	минималь- ная	
1929	1449	2,28	3,16	4,27	0,67	135000
1930	1564	2,78	7,31	9,67	0,64	179000
1931	1474	2,84	3,77	9,70	0,57	173000
1932	1566	1,55	2,30	3,89	0,25	100700
1933	1522	1,59	2,35	4,43	0,35	100000
1934	2090	3,08	4,05	12,82	0,23	266895
1935	1540	1,90	2,70	5,25	0,43	121000
1936	1560	1,50	2,25	3,79	0,37	96700
1937	1410	2,18	3,04	5,26	0,40	132167
1938	1280	2,10	2,97	5,07	0,23	102585
1939	1210	1,87	2,82	8,01	0,21	103039
1940	1160	2,13	3,00	5,55	0,17	106784
1941	1630	2,08	2,68	4,88	0,99	138259
1942	1685	2,23	2,75	4,59	0,86	149069
1943	1605	1,84	2,32	4,73	0,63	119002
1944	1590	1,83	2,39	3,48	0,57	121291
1945	2040	1,92	2,84	5,68	0,21	162244
1946	1290	1,41	2,10	2,89	0,30	75040
1947	1110	1,28	1,93	2,80	0,18	58059
1948	1470	1,91	2,71	5,32	0,53	128444
1949	1805	2,09	2,89	5,02	0,17	166784
1950	1300	1,63	2,56	4,01	0,20	100391
1951	1060	1,51	2,10	6,44	0,22	69853
1952	1750	2,62	3,66	6,80	0,22	202835
1953	1740	2,80	3,50	5,84	0,50	192978
1954	1750	2,49	3,25	6,84	0,34	179984
1955	1330	1,99	2,70	5,20	0,27	113729
1956	1520	2,38	3,32	7,10	0,27	160315
1957	980	1,89	2,80	7,12	0,15	856649
1958	1660	2,27	3,14	6,28	0,63	166665
1959	1215	2,11	3,45	5,24	0,25	132327
Среднее за 31 год	1495	2,06	2,88	—	—	133541

Таблица 8
(к § 3)

Мутности и стоки наносов р. Аму-Дарьи для характерных лет по ст. Чатлы

Ме- сяц	Де- ка- да	Максимальный 1934 год			Средний реальный 1948 год			Минимальный 1947 год		
		мут- ность, кг/м ³	сток наносов, тыс. т		мут- ность, кг/м ³	сток наносов тыс. т		мут- ность, кг/м ³	сток наносов, тыс. т	
			средне- декад- ный	суммар- ный		средне- декадный	суммарный		средне- декадный	суммар- ный
I	1	0,66	421	421	0,93	610,58	610,58	0,18	81,49	81,49
	2	0,23	126	547	0,87	563,01	1173,59	0,35	177,51	259,00
	3	0,32	224	771	0,87	605,65	1779,24	0,27	161,15	420,15
II	1	0,48	321	1092	0,64	295,28	2074,52	0,39	200,15	620,30
	2	1,32	710	1802	0,90	459,56	2534,08	0,81	443,70	1064,60
	3	3,22	1875	3677	0,53	183,53	1717,61	0,90	441,68	1505,68
III	1	2,07	1135	4812	0,56	199,34	2916,95	0,56	304,34	1810,02
	2	0,65	476	5288	0,58	201,45	3118,40	0,57	263,97	2073,99
	3	0,75	536	5824	0,81	389,53	3507,93	0,65	259,46	2338,45
IV	1	1,45	2010	7834	0,69	280,20	3788,13	0,68	240,88	2574,33
	2	7,58	7950	15784	1,13	603,37	4391,50	0,76	336,20	2910,53
	3	7,5	10100	25884	2,67	2576,28	6968,28	1,14	663,86	3574,39
V	1	7,85	11900	37784	5,32	10512,15	17480,48	1,30	830,04	4404,43
	2	7,53	13480	51264	4,21	989,96	26570,39	1,42	974,14	5378,57
	3	9,80	17050	68314	2,72	4704,86	31275,25	1,66	1672,32	7050,89
VI	1	12,82	38800	107114	2,12	3213,36	34493,51	2,80	3609,45	10660,34
	2	7,50	24400	131514	2,30	4022,09	38515,60	2,78	5562,85	16223,19
	3	5,67	23800	155314	2,71	5340,82	43356,42	1,63	2020,94	18244,13
VII	1	5,38	27700	183014	2,69	5966,12	49822,54	1,75	2162,16	20406,29
	2	3,55	18950	201964	4,44	12475,19	62297,73	1,61	2260,44	22666,73
	3	3,29	14800	216764	4,02	13616,65	75914,38	1,90	3607,91	26274,64
VIII	1	2,97	14420	231184	3,68	11764,22	87678,60	2,74	4767,86	31042,50
	2	2,79	10250	241434	3,63	11318,98	98997,58	2,65	5270,66	36313,16
	3	2,67	8400	249334	2,82	8128,83	107426,41	2,64	5565,09	41878,25
IX	1	1,91	4500	254334	2,61	5330,91	122457,32	2,38	3878,82	45757,07
	2	1,68	2945	257279	2,87	4414,80	116872,12	2,15	3098,48	48856,55
	3	1,45	2345	259624	1,90	2354,05	119226,17	1,90	3082,92	51938,47
X	1	1,41	1932	261556	1,63	1899,82	121125,99	1,24	1264,20	53202,67
	2	0,86	948	262504	1,41	1475,29	122601,28	1,16	1058,37	54261,04
	3	0,71	705	263209	1,35	1434,44	12435,72	0,85	728,67	54989,71
XI	1	0,74	637	263846	1,11	1052,07	125087,79	1,23	853,36	55843,07
	2	0,88	760	264606	1,11	913,97	126001,76	0,95	684,55	56527,62
	3	0,84	707	265313	1,06	808,69	126810,45	0,80	611,62	57159,24
XII	1	0,74	515	265828	1,12	812,85	127623,30	0,50	416,02	57555,26
	2	0,89	577	266385	0,82	529,94	128153,24	0,81	244,81	57800,07
	3	1,06	510	266895	0,54	230,99	128444,23	0,37	258,46	58058,53
Годовая мутность		3,08	—	266895	1,91	—	128444,23	1,28	—	58058,53

Таблица 9
(к § 3)

Распределение фракций (%) для соответствующих мутностей
за 1947—1948 гг. по ст. Чатлы

Год	Дата	Диаметр частиц, мм				$\rho_{\text{ср}}$	$\rho_{\text{п}}, > 0,25$	$\rho, 0,05$ 0,01	$\rho, < 0,01$
		> 0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	< 0,01	кг/м ³			
1947	7. I	—	12,4	30,1	57,6	0,17	0,02	0,05	1,10
	6. II	—	14,6	27,0	58,4	0,39	0,06	0,10	0,23
	27. III	—	18,0	31,2	50,8	0,90	0,16	0,28	0,46
	9. IV	—	20,1	26,9	53,0	0,68	0,14	0,18	0,36
	15. IV	—	18,3	22,6	59,1	0,76	0,14	0,17	0,45
	12. V	—	16,1	21,0	62,9	1,43	0,23	0,30	0,90
	20. V	—	11,8	35,5	52,7	1,75	0,21	0,62	0,92
	28. VI	—	13,8	25,7	60,5	1,05	0,14	0,27	0,64
	7. VII	—	12,6	32,1	55,3	1,22	0,15	0,39	0,67
	18. VII	—	13,1	38,7	48,2	1,61	0,21	0,62	0,78
	7. VIII	—	6,1	26,8	67,6	2,74	0,17	0,72	1,85
	20. IX	—	7,0	29,1	68,9	2,15	0,15	0,63	1,37
	21. X	—	20,0	21,7	58,3	0,85	0,17	0,18	0,50
	15. XI	—	19,2	29,5	51,3	0,95	0,18	0,28	0,49
1948	6. XII	—	15,6	21,2	63,2	0,51	0,08	0,11	0,32
	13. I	—	12,4	30,5	57,1	0,87	0,11	0,27	0,50
	26. III	—	12,8	28,7	58,2	0,80	0,10	0,23	0,47
	14. IV	—	24,5	22,7	52,8	1,12	0,28	0,25	0,59
	20. V	—	7,0	25,9	67,1	4,20	0,29	1,09	2,82
	21. VI	—	10,7	25,4	63,9	2,70	0,29	0,69	1,72
	15. VII	—	5,5	36,2	58,3	4,45	0,25	1,61	2,59
	16. VIII	—	9,2	35,0	55,8	3,68	0,34	1,29	2,05
	17. IX	—	10,3	34,4	55,8	2,37	0,24	0,82	1,31
	25. X	—	50,6	19,4	30,0	1,35	0,68	0,26	0,40
	15. XI	—	9,8	25,5	64,7	1,12	0,11	0,29	0,72

Изменения фракционного состава наносов по станциям

Год	I				II				III			
	Диаметр частиц											
	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01
Кер												
1951	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1953	17,1	57,4	14,1	11,4	9,8	86,8	2,0	1,4	3,6	18,5	59,2	18,7
	11,3	56,9	22,0	9,8	11,3	52,1	16,7	19,9	6,8	17,1	34,0	42,1
	12,1	55,9	21,8	10,2	8,2	43,4	29,9	18,5	1,4	15,8	61,6	21,2
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1954	3,9	44,1	42,9	9,1	6,0	38,7	40,7	14,6	9,9	53,7	21,7	14,7
	—	—	—	—	14,0	42,1	30,5	13,4	10,0	34,8	36,1	19,1
	—	—	—	—	9,3	41,3	37,4	12,0	5,2	12,8	70,1	11,9
	—	—	—	—	—	—	—	—	2,7	29,1	53,5	14,7
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1955	—	—	—	—	0,6	32,7	39,9	26,8	13,5	26,7	27,4	32,4
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1956	2,9	26,5	46,0	14,6	6,9	30,8	32,9	29,4	4,2	21,1	37,6	37,0
	—	—	—	—	—	—	—	—	2,9	17,3	43,6	36,2
	—	—	—	—	—	—	—	—	4,3	17,5	31,8	46,4
1957	17,3	38,8	15,6	28,3	8,3	31,0	33,3	27,4	9,8	29,7	44,3	16,2
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1959	16,4	23,9	38,6	21,1	12,5	29,2	58,3	—	4,8	25,0	70,2	—
	0,4	14,4	55,4	29,8	12,7	32,8	37,9	16,6	1,8	30,8	24,8	42,6

Таблица 10
(к § 4, п. а*)

Керки—Чатлы за различные годы по месяцам, %

IV				V				VI			
наносов, мм											
>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01
кн											
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,9	17,7	60,2	19,2	2,3	27,0	47,7	23,0	3,3	28,4	56,3	12,0
0,9	16,1	58,6	24,4	2,2	26,6	53,2	18,0	1,7	32,4	53,8	12,1
4,9	16,8	65,0	13,3	2,7	28,4	56,4	12,5	2,1	38,5	50,2	9,2
3,5	25,8	54,0	16,7	1,0	24,5	55,6	18,9	—	—	—	—
—	—	—	—	2,1	23,2	62,3	12,4	—	—	—	—
2,7	24,8	66,7	5,8	1,5	14,9	57,5	26,1	2,4	26,3	46,7	24,6
1,9	26,9	65,0	6,2	13,2	11,9	53,3	21,6	1,5	37,1	36,9	24,5
0,9	13,9	71,8	13,4	4,5	34,4	47,8	13,3	2,5	43,3	35,1	19,1
1,4	9,2	67,6	21,8	3,2	32,0	50,3	14,5	3,3	45,0	42,1	9,6
—	—	—	—	2,7	24,0	46,2	27,1	4,0	32,8	47,5	15,7
0,9	10,5	21,4	67,2	1,6	21,7	39,4	37,3	0,8	20,6	45,3	33,3
0,3	12,2	26,8	60,7	0,4	8,2	29,1	62,3	0,3	11,9	37,6	50,2
—	—	—	—	2,4	15,6	27,1	54,9	—	—	—	—
—	—	—	—	1,1	12,2	31,0	55,7	—	—	—	—
—	—	—	—	2,4	25,6	38,5	33,5	7,2	31,9	34,6	26,3
—	—	—	—	6,8	21,2	46,1	25,9	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,4	21,8	52,1	24,7	4,2	20,6	57,6	17,5	3,2	15,2	29,9	51,7
7,3	21,6	44,2	26,9	1,9	12,9	66,5	18,7	0,9	8,6	69,0	21,5
1,3	11,1	66,1	21,5	1,9	14,8	62,5	20,8	3,3	23,2	32,3	41,2
0,5	20,8	58,3	20,4	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	2,5	18,0	48,1	31,4	4,4	27,9	44,8	22,9
—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	23,4	47,8	23,8
—	—	—	—	—	—	—	—	6,0	22,7	46,8	24,5
1,2	16,0	41,8	41,0	0,5	20,0	45,9	33,6	4,2	27,8	50,0	18,0
3,4	19,8	47,	29,4	—	—	—	—	—	—	—	—

Год	VII				VIII				IX				Кер
	Диаметр частиц												
	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	
1951	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	—	—	—	1,6	21,0	61,0	16,4	3,5	33,7	45,9	16,9	—
	—	—	—	—	0,9	37,4	43,1	18,6	8,8	43,8	28,3	19,6	—
	—	—	—	—	0,8	22,2	58,7	18,3	2,4	31,0	45,4	21,2	—
	—	—	—	—	1,1	18,2	8,4	72,3	—	—	—	—	—
1953	2,3	42,1	46,5	9,1	3,6	65,9	15,9	14,6	9,0	33,8	46,1	11,1	—
	2,8	27,1	59,0	11,1	5,6	18,9	58,3	17,2	3,3	40,7	45,5	10,5	—
	1,3	33,2	53,4	12,1	7,5	32,5	49,6	10,4	3,8	31,5	52,1	12,6	—
	3,7	37,9	42,2	16,2	5,6	31,0	53,1	10,3	2,1	20,7	61,8	15,4	—
	2,4	29,9	58,5	9,2	5,5	38,9	44,8	10,8	3,3	41,8	44,3	10,6	—
1954	2,7	30,0	47,7	19,6	1,4	30,6	55,3	12,7	1,9	31,5	48,3	18,3	—
	3,1	25,7	49,3	21,9	1,7	36,2	46,7	15,4	5,1	35,5	48,1	11,3	—
	3,1	36,1	40,2	20,6	1,3	37,2	45,0	16,5	3,0	33,0	48,6	15,4	—
	0,5	29,2	51,8	18,5	3,3	26,5	53,7	16,5	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1955	2,1	16,3	45,4	36,2	2,1	18,2	40,7	39,0	2,4	21,9	37,8	37,9	—
	11,5	19,2	37,5	31,8	1,4	20,3	36,4	41,9	5,2	21,2	34,9	38,7	—
	8,3	23,2	40,7	27,8	—	—	—	—	3,4	22,8	38,3	35,5	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1956	2,3	22,3	54,9	20,5	4,2	22,8	58,9	14,1	1,0	35,7	34,3	29,0	—
	1,1	19,4	50,6	28,5	3,9	19,7	50,2	26,2	1,2	21,5	43,1	34,2	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1957	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	3,7	34,6	47,6	14,1	19,8	19,2	36,9	24,1	—	—	—	—	—
	9,2	27,9	42,0	20,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1959	1,1	25,8	54,5	18,6	1,9	25,5	34,8	37,8	1,5	30,2	39,4	28,9	—
	7,4	17,1	49,8	25,7	7,2	30,9	38,4	23,5	4,4	24,0	38,8	32,8	—

X				XI				XII			
наносов, мм											
>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01
кн											
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15,1	45,8	26,4	12,8	15,5	49,2	20,3	15,0	12,2	47,8	26,3	13,7
0,4	18,6	55,9	25,1	—	—	—	—	10,7	41,3	32,3	15,7
7,0	24,3	41,4	27,3	—	—	—	—	7,0	46,1	35,0	11,9
2,5	19,3	58,5	19,7	—	—	—	—	—	—	—	—
3,4	27,7	55,6	13,3	4,3	32,2	46,6	16,9	4,3	26,3	46,9	22,5
3,7	36,2	50,3	9,8	4,8	48,8	34,7	11,7	9,8	38,7	35,4	16,1
2,6	37,3	47,8	12,3	—	—	—	—	6,0	43,1	33,4	17,5
2,9	29,5	55,3	12,3	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,1	50,0	36,3	8,6	3,9	8,2	65,0	22,9	8,6	32,1	44,0	15,3
7,1	32,9	45,5	14,5	4,9	38,2	18,4	38,5	5,2	35,8	39,1	19,9
3,0	10,6	45,6	40,8	7,9	18,1	59,7	14,3	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,4	18,1	48,8	32,7	—	—	—	—	6,1	31,2	31,4	31,3
1,2	21,5	39,2	38,1	—	—	—	—	—	—	—	—
3,2	19,1	34,1	43,6	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21,3	27,1	28,3	23,3	8,5	22,2	39,7	29,6	13,2	24,4	21,9	40,5
6,8	29,4	27,3	36,5	—	—	—	—	17,7	30,2	29,6	22,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	15,9	32,9	25,6	25,6	6,5	25,8	41,4	26,3
—	—	—	—	16,2	31,9	25,9	26,0	3,2	28,4	50,9	17,5
—	—	—	—	8,3	35,8	26,3	29,6	7,8	36,5	30,8	24,9
5,3	26,7	40,5	27,5	13,8	25,1	32,8	28,3	1,5	45,0	27,3	26,2
0,9	8,7	48,1	42,3	4,4	30,1	65,5	—	—	—	—	—

Год	I				II				III			
	Диаметр частиц											
	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01

Иль												
1955	—	—	—	—	—	21,1	38,5	40,4	0,5	15,4	24,7	59,4
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1956	—	—	—	—	22,8	33,0	24,0	20,2	1,6	18,3	51,5	28,6
	—	—	—	—	—	—	—	—	37,7	23,3	15,3	23,7
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1957	4,8	17,4	49,1	28,7	4,6	34,2	29,3	31,9	0,3	15,3	40,9	43,5
	0,2	13,7	43,6	42,5	—	—	—	—	3,5	11,1	28,0	57,4
	—	—	—	—	—	—	—	—	1,6	19,1	30,2	49,1
	—	—	—	—	—	—	—	—	34,7	12,9	8,5	43,9
1958	2,0	37,0	31,5	29,6	—	34,0	30,4	35,6	—	25,1	19,3	55,6
	2,0	27,2	37,4	33,4	4,20	30,5	32,5	32,8	—	14,4	32,3	63,3
1959	18,4	33,5	14,1	34,0	29,9	33,1	37,0	2,8	32,5	23,9	40,8	—
	12,9	38,3	22,2	26,6	8,2	38,3	24,5	29,0	1,7	36,8	28,2	33,3

Тюя-												
1955	—	—	—	—	—	—	—	—	4,8	29,0	33,9	32,3
1956	—	—	—	—	—	—	—	—	24,6	26,3	18,0	31,1
1957	—	—	—	—	—	—	—	—	16,4	29,6	26,9	27,1
1958	—	—	—	—	—	—	—	—	8,2	40,5	29,8	21,5
1959	—	—	—	—	—	—	—	—	2,9	36,8	22,0	38,3

Чат												
1952	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2	17,5	14,7	67,6
1953	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1954	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14,6	55,8	29,6
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1955	—	—	—	—	—	—	—	—	0,1	42,2	46,7	11,0
1956	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1957	—	—	—	—	—	10,6	33,8	55,6	0,1	9,3	31,4	59,2
	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	13,2	26,6	59,2
1958	—	—	—	—	4,4	21,2	27,5	46,9	0,5	23,1	24,7	51,7
1959	—	—	—	—	0,5	11,1	22,2	66,2	—	12,1	25,8	62,1

Продолжение таблицы 1

IV				V				VI			
наносов, мм											
>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01
чик											
0,2	14,6	25,5	59,7	0,7	10,7	44,2	44,4	0,8	9,2	34,6	55,4
2,0	18,0	28,7	51,3	—	4,9	31,3	63,8	—	8,1	41,5	50,4
—	—	—	—	—	4,6	32,0	63,4	0,1	8,2	47,8	43,9
—	—	—	—	—	3,6	27,0	69,4	—	—	—	—
4,4	28,1	25,2	42,3	1,2	19,3	20,2	59,3	—	18,3	44,9	36,8
—	2,6	26,9	70,5	0,1	8,8	28,7	62,4	—	18,4	43,5	38,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,5	17,3	28,1	54,1	0,2	8,8	35,0	56,0	0,3	5,9	39,0	54,8
1,0	8,1	23,4	67,5	0,2	11,7	35,3	52,8	0,2	36,5	36,5	26,8
—	—	—	—	0,7	11,8	32,1	55,4	0,2	11,1	34,9	53,8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,0	14,9	2,10	81,0	1,4	27,9	34,3	36,4	1,50	27,3	38,2	33,0
0,1	10,7	27,9	61,3	1,3	24,0	34,4	40,3	2,70	19,4	45,4	32,5
12,6	35,9	20,6	30,9	13,2	27,8	25,2	33,8	2,7	26,7	43,2	27,4
9,5	25,2	39,2	26,1	11,0	20,0	26,2	42,8	2,0	28,1	39,4	30,5
мюон											
22,5	19,9	23,6	54,0	2,7	17,1	28,2	52,0	12,7	24,2	37,0	26,1
—	—	—	—	—	—	—	—	5,7	51,0	26,0	17,3
16,9	28,4	22,0	32,7	0,7	21,9	30,3	47,1	10,6	24,4	30,8	34,2
1,6	42,7	32,8	22,9	9,4	39,4	22,1	29,10	11,4	36,1	34,4	18,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
лы											
—	32,3	24,2	43,5	—	29,0	22,1	48,9	—	25,1	28,8	46,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	9,8	34,2	56,0	—	8,0	51,2	40,8
—	—	—	—	—	2,1	38,5	59,4	—	—	—	—
—	9,8	32,3	57,9	0,2	12,8	34,9	52,1	0,1	15,9	38,4	45,6
0,1	13,9	42,4	43,6	0,1	21,1	27,3	51,5	0,1	16,9	30,2	52,8
—	16,7	42,4	40,9	—	—	—	—	—	—	—	—
—	7,2	21,6	71,2	0,3	17,8	29,8	52,1	0,3	17,4	35,2	47,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	12,0	35,9	52,1	—	12,1	32,7	55,2	—	12,6	29,3	58,1
—	14,6	27,6	57,8	—	12,3	35,0	52,7	—	11,0	37,9	51,5

Год	VII				VIII				IX			
	Диаметр частиц											
	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01
Иль												
1955	—	9,6	43,6	46,8	—	8,0	39,1	52,9	3,4	25,8	34,3	36,5
	0,1	11,5	45,7	42,7	1,0	25,7	39,6	33,7	2,7	20,5	36,0	40,8
	—	9,1	40,8	50,1	0,5	28,0	38,1	33,4	1,7	11,0	42,4	44,9
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1956	—	13,6	45,4	41,0	—	18,2	40,1	41,7	0,4	13,8	39,3	46,5
	—	8,1	45,8	46,1	0,2	13,2	38,8	47,8	7,5	26,3	29,5	36,7
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1957	0,1	9,6	42,5	47,8	5,9	14,6	38,7	40,8	1,0	26,6	27,9	44,5
	0,4	14,8	48,2	36,6	3,8	30,7	30,0	35,5	2,2	31,0	32,2	34,6
	—	12,5	48,8	38,7	0,2	13,1	35,1	51,6	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	1,80	30,0	43,2	25,0	4,80	35,0	35,9	27,3	0,1	28,9	34,8	26,2
	2,10	39,0	43,8	15,1	1,40	23,9	34,3	40,4	10,2	32,5	29,3	28,0
1959	1,6	25,2	41,6	31,6	0,8	25,4	36,4	37,4	4,6	29,0	31,6	34,8
	2,7	28,0	33,5	35,8	11,5	31,9	25,8	30,8	0,7	31,2	29,0	39,1
Тюяму												
1955	0,2	3,6	27,8	68,4	11,5	30,4	33,6	24,5	4,9	32,3	32,4	30,4
1956	4,4	45,0	34,6	16,0	5,0	38,7	30,1	26,2	4,6	43,4	26,7	25,3
1957	8,5	31,2	31,0	29,3	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	2,9	40,1	40,8	16,2	15,0	44,9	22,1	18,0	—	—	—	—
1959	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Чат												
1952	—	19,8	60,3	19,9	—	15,0	23,0	62,0	—	14,6	27,6	57,8
1953	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1954	—	8,2	41,6	50,2	—	0,6	41,6	57,8	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1955	—	15,6	41,8	42,6	—	16,5	44,2	39,3	—	—	—	—
1956	0,1	17,2	33,6	49,1	0,1	15,0	31,8	53,1	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1957	0,3	29,3	29,2	41,2	—	20,0	35,0	45,0	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	—	15,9	34,4	49,7	—	13,2	34,9	51,9	—	—	—	—
1959	—	12,7	40,0	47,3	—	9,4	31,2	59,4	—	—	—	—

X				XI				XII			
наносов, мм											
>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01
чик											
1,7	19,8	34,3	44,2	0,1	18,4	35,8	45,7	0,2	18,5	40,0	41,3
0,9	29,2	30,8	39,1	0,1	18,3	35,2	46,4	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	15,4	42,0	42,6	—	—	—	—	5,2	33,6	28,7	32,5
0,7	14,5	35,6	49,2	—	—	—	—	5,8	38,4	28,2	27,6
2,2	24,8	32,8	40,2	—	—	—	—	—	—	—	—
5,4	37,9	26,6	30,1	0,6	41,3	31,0	27,1	0,6	37,8	45,7	15,9
—	0,9	29,0	70,1	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2	40,8	27,5	29,5	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,7	28,5	30,9	35,9	5,7	40,2	16,0	38,1	—	63,9	5,0	31,1
0,4	18,4	42,7	38,5	12,3	40,5	19,6	27,6	6,20	34,1	36,2	23,5
0,8	38,7	31,3	29,2	0,8	23,7	43,5	32,0	3,7	45,5	26,7	24,1
3,6	27,4	34,1	34,9	—	—	—	—	—	—	—	—
юн											
11,2	34,8	25,3	28,7	16,2	44,9	18,6	20,3	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
лы											
—	35,7	17,5	46,7	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	14,6	27,9	57,5	—	—	—	—
—	—	—	—	1,3	18,8	29,8	50,1	—	—	—	—

Изменения средней гидравлической крупности (μ) во времени и по течению реки по станциям
Керки, Ильичи, Тюймуюн, Чатлы за период 1951—1959 гг.
(в числителе — дата, в знаменателе — число μ)

Год	Распределение по месяцам, мм/сек											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Керки												
1951	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	—	—	—	—	—	—	4 2,99	8 4,80	3 10,12	29 10,54	8 9,32
	—	—	—	—	—	—	—	14 4,17	16 7,57	11 2,29	—	17 8,09
	—	—	—	—	—	—	—	21 2,80	24 4,14	21—22 5,18	—	27 7,19
	—	—	—	—	—	—	—	28 2,23	—	31 3,15	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1953	5 11,87	5 11,87	4 3,48	7 3,15	6 3,73	5 4,29	4 5,05	3 7,70	5 6,84	5 4,26	21 4,98	8 4,40
	15 9,73	14 9,23	23 5,06	15 2,25	12 3,69	11 4,04	10 3,99	9 4,25	11 5,37	11 5,13	30 6,65	16 7,54
	26 9,94	26 7,35	30 2,43	21 3,83	18 4,06	22 4,76	16 3,98	15 6,19	17 4,74	17 4,82	—	29 6,54
	—	—	—	27 4,10	27 3,07	—	22 5,25	21 5,36	23 3,15	24 4,24	—	—
	—	—	—	—	30 3,40	—	28 4,11	27 6,02	29 5,48	—	—	—
1954	23 5,91	3 6,27	7 8,92	3 3,79	6 2,36	4 3,69	3 4,17	6 3,59	13 4,02	2 6,84	4 3,04	14 6,53
	—	13 10,76	15 7,25	9 3,68	11 7,70	10 4,33	10 3,92	12 4,37	19 5,54	18 6,06	14 5,58	25 5,60

1955	23	23	15	17	16	22	18	25	26	24	21
	7,61	4,12	2,13	5,25	5,28	4,85	4,31	4,57	2,43	5,82	5,44
	—	27	27	23	22	28	25	—	—	—	—
	—	4,12	1,84	4,56	5,77	3,38	4,09	—	—	—	—
	—	—	—	29	28	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	3,59	4,91	—	—	—	—	—	—
	22	11	6	3	10	5	12	3	5	—	21
	3,60	7,43	1,50	2,93	2,56	2,64	2,79	3,23	2,20	—	5,44
	—	—	18	14	23	16	12	10	12	—	—
	—	—	1,47	1,14	1,51	7,49	2,70	4,11	2,76	—	—
	—	—	—	24	—	29	—	26	26	—	—
	—	—	—	2,58	—	6,39	—	3,69	3,24	—	—
	—	—	—	26	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	1,80	—	—	—	—	—	—	—
1956	20	2	—	14	30	13	3	17	15	26	14
	3,89	3,83	—	3,58	5,93	3,34	4,10	4,0	12,77	5,53	8,67
	—	10	—	29	—	27	28	29	30	—	29
	—	3,01	—	4,83	—	2,59	3,65	2,78	5,49	—	11,39
	—	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	3,48	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1957	18	1	6	3	5	—	—	—	—	—	—
	11,93	6,75	2,94	3,88	2,84	—	—	—	—	—	—
	—	—	15	15	12	—	—	—	—	—	—
	—	—	5,05	2,36	1,61	—	—	—	—	—	—
	—	—	23	27	19	—	—	—	—	—	—
	—	—	1,97	2,53	3,65	—	—	—	—	—	—
	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	2,55	—	—	—	—	—	—	—	—

Год	Распределение по месяцам, мм/сек											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1958	—	—	—	—	29 2,96	5 4,58 11	18 4,97 24	4 12,37	—	—	1 10,76 11	2 5,13 12
	—	—	—	—	—	4,39 23	6,33	—	—	—	10,82 21	4,22 26
	—	—	—	—	—	4,70	—	—	—	—	6,66	6,57
	5 10,24 29 1,89	10 8,92 24 8,06	7 4,50 31 3,78	8 2,25 30 3,46	29 2,40	27 4,52	8 3,22 24 5,44	8 3,37 19 5,89	8 3,70 30 4,17	12 4,77 24 1,49	14 9,09 27 4,82	11 4,86
1959	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1955	—	16 2,27	26 1,84	2 1,65 15 2,66	6 1,58 12 0,70 30 0,55 24 0,68	10 1,42 22 1,06 29 1,15	10 1,22 22 1,45 28 1,15	4 1,03 17 3,09 28 3,11	3 3,95 19 3,20 27 1,97	8 2,75 26 3,52	11 2,04 25 2,02	29 2,11
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1956	—	9 14,01	17 2,68 31 21,92	4 4,48 27 2,68	15 2,44 25 1,09	14 2,05 25 2,05	16 1,61 28 1,09	9 2,01 27 1,60	10 1,74 29 5,48	8 1,76 15 1,89 27 3,40	—	4 5,32 25 6,0
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Ильчик

1957	$\frac{18}{3,76}$	$\frac{13}{5,16}$	$\frac{4}{1,85}$	$\frac{16}{2,04}$	$\frac{6}{1,16}$	$\frac{9}{0,95}$	$\frac{1}{1,25}$	$\frac{8}{4,43}$	$\frac{17}{3,10}$	$\frac{3}{5,78}$	$\frac{15}{6,35}$	$\frac{23}{6,11}$
	$\frac{26}{1,68}$	—	$\frac{6}{2,56}$	$\frac{27}{1,33}$	$\frac{25}{1,44}$	$\frac{22}{3,79}$	$\frac{13}{1,89}$	$\frac{19}{4,53}$	$\frac{19}{3,99}$	$\frac{17}{0,31}$	—	—
	—	—	$\frac{16}{2,63}$	—	$\frac{31}{1,62}$	$\frac{25}{1,38}$	$\frac{28}{1,92}$	$\frac{30}{1,57}$	—	$\frac{28}{4,90}$	—	—
	—	—	$\frac{25}{19,33}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	$\frac{9}{4,48}$	$\frac{13}{3,45}$	$\frac{17}{2,54}$	$\frac{4}{2,21}$	$\frac{8}{3,41}$	$\frac{9}{3,40}$	$\frac{8}{3,81}$	$\frac{1}{5,33}$	$\frac{13}{3,02}$	$\frac{11}{4,66}$	$\frac{10}{6,05}$	$\frac{12}{9,83}$
	$\frac{22}{3,58}$	$\frac{26}{4,68}$	$\frac{31}{1,61}$	$\frac{15}{1,26}$	$\frac{28}{3,0}$	$\frac{21}{3,15}$	$\frac{27}{4,78}$	$\frac{31}{3,03}$	$\frac{30}{7,07}$	$\frac{24}{2,19}$	$\frac{30}{8,52}$	$\frac{22}{5,77}$
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1959	$\frac{10}{11,93}$	$\frac{10}{4,81}$	$\frac{14}{4,30}$	$\frac{8}{8,22}$	$\frac{14}{9,01}$	$\frac{8}{3,83}$	$\frac{9}{3,27}$	$\frac{5}{2,96}$	$\frac{8}{4,67}$	$\frac{16}{4,19}$	$\frac{24}{2,85}$	$\frac{28}{5,87}$
	$\frac{30}{8,57}$	$\frac{25}{6,84}$	$\frac{23}{4,33}$	$\frac{28}{6,17}$	$\frac{27}{7,26}$	$\frac{25}{3,68}$	$\frac{25}{3,89}$	$\frac{24}{7,47}$	$\frac{29}{3,44}$	$\frac{26}{4,17}$	—	—

Тюямуюн

1955	—	—	$\frac{25}{4,76}$	$\frac{25}{2,99}$	$\frac{26}{2,83}$	$\frac{22}{8,51}$	$\frac{11}{0,63}$	$\frac{10}{7,36}$	$\frac{14}{5,11}$	$\frac{11}{7,62}$	$\frac{18}{10,38}$	—
1956	—	—	$\frac{20}{15,32}$	—	—	$\frac{20}{7,14}$	$\frac{16}{6,13}$	$\frac{15}{5,73}$	$\frac{2}{6,02}$	—	—	—
1957	—	—	$\frac{31}{10,70}$	$\frac{24}{10,80}$	$\frac{31}{2,56}$	$\frac{17}{6,46}$	$\frac{29}{6,32}$	—	—	—	—	—
1958	—	—	$\frac{20}{6,08}$	$\frac{14}{4,87}$	$\frac{24}{7,38}$	$\frac{24}{7,88}$	$\frac{21}{5,15}$	$\frac{27}{9,97}$	—	—	—	—
1959	—	—	$\frac{20}{4,73}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Год	Распределение по месяцам, мм/сек											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1952	—	—	$\frac{25}{1,86}$	$\frac{15}{3,25}$	$\frac{6}{2,92}$	$\frac{19}{2,59}$	$\frac{12}{2,28}$	$\frac{13}{1,61}$	$\frac{16}{1,59}$	$\frac{13}{3,54}$	—	—
1953	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1954	—	—	$\frac{29}{1,76}$	—	$\frac{5}{1,18}$	$\frac{28}{1,11}$	$\frac{27}{1,07}$	$\frac{27}{0,36}$	—	—	—	—
1955	—	—	—	—	$\frac{26}{0,48}$	—	—	—	—	—	—	—
1956	—	—	$\frac{23}{4,36}$	$\frac{28}{1,17}$	$\frac{17}{1,54}$	$\frac{27}{1,82}$	$\frac{29}{1,78}$	$\frac{26}{1,87}$	—	—	—	—
1957	—	—	—	$\frac{11}{1,65}$	$\frac{11}{2,25}$	$\frac{19}{1,86}$	$\frac{13}{1,91}$	$\frac{13}{1,70}$	—	—	—	—
1958	—	—	$\frac{15}{1,15}$	$\frac{4}{0,86}$	$\frac{3}{2,02}$	$\frac{10}{2,02}$	$\frac{3}{3,10}$	$\frac{6}{2,15}$	—	—	—	—
1959	—	—	$\frac{30}{1,82}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	$\frac{18}{2,56}$	$\frac{16}{1,40}$	$\frac{17}{1,39}$	$\frac{9}{1,42}$	$\frac{30}{1,76}$	$\frac{27}{1,50}$	$\frac{14}{1,60}$	—	—	—
	—	—	$\frac{26}{1,35}$	$\frac{10}{1,60}$	$\frac{23}{1,42}$	$\frac{29}{1,32}$	$\frac{28}{1,49}$	$\frac{24}{1,12}$	$\frac{5}{2,48}$	—	—	—

Таблица 12

(к § 4, п. 6*)

Таблица 13

(к § 4, п. 6*)

Значения n в зависимости от ρ

ρ , кг/м ³	n , мм/сек	Количество замеров
-------------------------------	-----------------	-----------------------

К е р к и

0,859	6,59	14
1,416	5,94	75
2,470	4,57	41
3,430	3,94	28
4,480	3,97	41
5,390	3,66	20
6,490	3,31	12
7,620	3,20	6
—	—	—
—	—	—
10,150	2,13	1
11,60	2,36	1
16,00	1,05	2

И л ь ч и к

0,866	2,846	9
1,435	4,770	37
2,520	3,660	33
3,460	3,280	15
4,430	2,915	11
5,530	3,450	9
6,260	3,42	3

Т ю я м у ю н

—	—	—
1,45	2,79	8
2,45	5,23	11
3,65	6,55	5
4,495	4,04	8
—	—	—
6,22	5,44	2
7,05	8,51	1
8,57	7,36	1
—	—	—
10,10	7,88	1
11,20	6,46	1

Ч а т л ы

0,75	2,19	4
1,44	1,80	43
2,47	1,58	34
3,40	1,37	29
4,45	1,26	15
5,53	1,17	3

Значения θ_n в зависимости от ρ

$\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	θ_n , в долях от едини- цы	Количество замеров
---	--	-----------------------

К е р к и

0,85	0,325	25
1,41	0,309	67
2,45	0,263	42
3,46	0,239	24
4,50	0,245	36
5,50	0,185	12
6,42	0,178	15
7,90	0,168	4
8,45	0,147	3
9,31	0,096	2
10,15	0,148	1
16,00	0,042	1

И л ь ч и к

0,86	0,247	8
1,44	0,240	28
2,52	0,230	33
3,44	0,213	13
4,42	0,198	11
5,52	0,170	5

Ч а т л ы

0,76	0,198	4
1,45	0,195	43
2,45	0,164	31
3,42	0,131	28
4,43	0,121	17
5,68	0,118	14

Изменение производства ρu во времени по гидрометрическим станциям Керки, Ильчик, Чатлы за период 1951—1959 гг.
(в числителе — дата, в знаменателе — произведение ρu)

Год	Распределение по месяцам											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1951	Керки											
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	4	8	3	29	8
	—	—	—	—	—	—	—	8,94	14,50	14,55	14,60	11,75
	—	—	—	—	—	—	—	14	16	11	—	17
1952	—	—	—	—	—	—	—	17,75	23,60	2,83	—	16,65
	—	—	—	—	—	—	—	21	24	21,22	—	27
	—	—	—	—	—	—	—	12,58	9,90	8,13	—	16,92
	—	—	—	—	—	—	—	28	—	31	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	12,53	—	3,46	—	—
1953	5	5	14	7	6	5	4	3	5	5	21	8
	15,73	15,80	17,20	7,75	22,35	29,9	22,55	25,25	24,35	8,77	6,65	10,80
	15	14	23	15	12	11	10	9	11	11	30	16
	12,75	6,96	11,60	11,18	19,70	22,60	26,9	16,40	17,60	8,76	14,78	13,80
	26	26	30	21	18	22	16	15	17	17	—	29
	10,58	8,96	15,25	19,45	23,05	24,95	22,85	25,30	13,80	7,04	—	14,73
	—	—	—	27	27	—	22	21	23	24	—	—
	—	—	—	11,43	14,03	—	27,05	26,30	10,10	6,65	—	—
	—	—	—	—	30	—	28	27	29	—	—	—
	—	—	—	—	20,10	—	20,90	27,70	10,43	—	—	—
23	3	7	3	6	4	3	6	13	2	4	14	
14,90	11,05	14,25	23,25	27,4	28,60	15,35	16,95	14,55	19,85	2,77	2,77	6,98
—	13	15	9	11	10	10	12	19	18	14	14	25

1954	—	23	15	17	16	22	18	25	26	24	—
	—	27	27	23	22	28	25	—	—	—	—
	—	—	—	29	28	—	—	—	—	—	—
1955	—	11	6	3	10	5	12	3	12	—	21
	—	7,13	6,46	8,50	13,85	8,05	13,25	10,75	4,41	—	6,36
	—	—	18	14	23	16	28	10	—	—	—
1956	—	—	6,30	10,75	6,38	18,80	7,53	12,15	—	—	—
	—	—	—	26	—	29	—	26	—	—	—
	—	—	—	7,95	—	19,60	—	5,76	—	—	—
1957	20	2	—	14	30	13	3	18	15	26	14
	4,90	9,00	—	13,20	14,65	7,15	30,40	6,91	27,30	5,75	8,49
	—	10	—	29	—	27	28	29	30	—	29
1958	—	28	—	22,25	—	16,65	12,75	6,61	5,88	—	11,05
	—	8,81	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	18	1	6	3	5	—	—	—	—	—	—
	17,55	7,48	4,42	6,52	20,10	—	—	—	—	—	—
	—	—	15	15	12	—	—	—	—	—	—
1958	—	—	23	27	19	—	—	—	—	—	—
	—	—	9,18	3,74	17,85	—	—	—	—	—	—
	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	—	—	5,53	29	5	18	4	—	—	1	2
	—	—	—	13,30	18,53	38,8	60,8	—	—	9,45	5,33
	—	—	—	—	11	24	—	—	—	11	12
1958	—	—	—	—	20,20	29,0	—	—	—	11,48	4,90
	—	—	—	—	23	—	—	—	—	21	26
	—	—	—	—	22,30	—	—	—	—	7,46	6,05

Год	Распределение по месяцам											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1959	5	10	7	8	29	27	8	8	8	12	14	11
	12,0	5,71	3,74	6,14	5,92	20,0	24,25	13,65	12,30	7,44	16,35	6,93
	29	24	31	30	—	—	24	19	30	24	27	—
	1,53	10,25	15,85	9,34	—	—	23,95	33,60	9,62	2,10	4,48	—
1955	16	16	26	2	6	10	10	4	3	8	11	29
	1,69	1,69	2,89	4,01	3,35	3,96	3,38	2,17	10,95	2,94	1,53	1,64
	—	—	—	15	12	22	22	17	19	26	25	—
	—	—	3,35	—	4,03	3,49	3,95	11,80	9,25	3,27	1,62	—
	—	—	—	—	30	29	28	28	27	—	—	—
	—	—	—	—	1,35	3,24	2,09	6,94	2,48	—	—	—
	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	2,50	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	27	15	14	16	9	10	8	—	4
	—	9	17	15,90	11,10	5,65	7,05	8,63	3,99	2,73	—	6,28
	—	—	31	—	25	25	28	27	29	15	—	25
	—	—	48,8	—	2,90	6,02	4,91	5,69	16,52	2,45	—	8,16
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,33	—	—
	18	13	4	16	6	9	1	8	12	3	15	23
	5,26	6,92	1,76	3,18	1,82	4,45	3,49	10,01	4,44	5,38	11,32	18,1
	26	—	16	27	25	22	13	19	19	17	—	—
	2,03	—	2,45	4,82	2,93	13,15	8,98	13,95	4,87	0,76	—	—
	—	—	25	—	31	25	28	30	—	28	—	—
	—	—	37,7	—	3,08	4,74	6,87	3,89	—	13,95	—	—

1958	9	$\frac{9,77}{9,77}$	13	$\frac{8,11}{8,11}$	17	$\frac{7,16}{7,16}$	4	$\frac{9,95}{9,95}$	8	$\frac{20,85}{20,85}$	9	$\frac{17,43}{17,43}$	8	$\frac{20,03}{20,03}$	1	$\frac{31,05}{31,05}$	13	$\frac{11,05}{11,05}$	11	$\frac{7,26}{7,26}$	10	$\frac{9,91}{9,91}$	12	$\frac{13,75}{13,75}$
	22	$\frac{9,48}{9,48}$	26	$\frac{5,72}{5,72}$	31	$\frac{2,83}{2,83}$	15	$\frac{5,12}{5,12}$	28	$\frac{19,05}{19,05}$	21	$\frac{16,15}{16,15}$	27	$\frac{24,95}{24,95}$	31	$\frac{9,63}{9,63}$	30	$\frac{15,43}{15,43}$	14	$\frac{2,19}{2,19}$	30	$\frac{12,25}{12,25}$	22	$\frac{8,83}{8,83}$
	10	$\frac{53,9}{53,9}$	10	$\frac{7,79}{7,79}$	14	$\frac{5,51}{5,51}$	8	$\frac{19,25}{19,25}$	14	$\frac{25,7}{25,7}$	8	$\frac{24,1}{24,1}$	9	$\frac{18,55}{18,55}$	5	$\frac{12,7}{12,7}$	8	$\frac{16,67}{16,67}$	16	$\frac{7,52}{7,52}$	24	$\frac{4,25}{4,25}$	28	$\frac{8,04}{8,04}$
1959	30	$\frac{11,9}{11,9}$	25	$\frac{7,32}{7,32}$	23	$\frac{5,81}{5,81}$	28	$\frac{19,55}{19,55}$	27	$\frac{15,5}{15,5}$	25	$\frac{14,85}{14,85}$	25	$\frac{22,05}{22,05}$	24	$\frac{29,08}{29,08}$	29	$\frac{10,05}{10,05}$	26	$\frac{5,52}{5,52}$	—	—	—	—

Читлы

1951	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1953	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1954	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1955	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1956	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1957	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1958	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1959	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Значения ρ_{II} в зависимости от ρ

$\rho, \text{кг/м}^3$	$\rho_{II}, \frac{\text{кг} \cdot 10^3}{\text{м}^3/\text{сек}}$	Количество замеров	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\rho_{II}, \frac{\text{кг} \cdot 10^3}{\text{м}^3/\text{сек}}$	Количество замеров
Керки			Ильчик		
0,87	4,90	26	0,87	2,52	9
1,40	7,85	69	1,42	4,95	31
2,46	10,30	42	2,53	7,82	32
3,35	13,60	28	3,51	10,02	14
4,50	17,80	40	4,40	12,85	11
5,40	19,40	20	5,48	17,40	8
6,50	21,65	12	6,35	19,05	1
7,62	24,40	6	Чатлы		
8,45	31,00	3	0,61	0,98	26
11,60	27,40	1	1,39	2,30	38
			2,55	3,86	26
			3,43	4,50	25
			4,42	6,31	15
			5,55	8,68	5

Зависимость произведения $rho h_c^{1,6}$ от u по ст. Тюямуюн

Год	Дата		$Q, \text{ м}^3/\text{сек}$		$Q_c, \text{ м}^3/\text{сек}$	$\omega, \text{ м}^2$	$u_c, \text{ м/сек}$	$B, \text{ м}$	$h_c, \text{ м}$	ρu	$\rho u h_c$	$\rho u h_c^{1,6}$
	по графику	по таблице	по графику	по таблице								
1955	25. III	25. III	1340	1340	1340	1303,55	1,028	822	1,585	18,65	29,56	39,6
	25. IV	25. IV	1000	1000	1000	1130,6	0,881	817	1,381	7,97	11,00	13,6
	26. V	26. V	2530	2530	2530	1972,28	1,28	817	2,41	12,05	29,04	53,0
	22. VI	22. VI	4710	4710	4710	2471,40	1,909	824	3,999	60,00	179,94	374
	11. VII	11. VII	4320	4320	4320	2465,10	1,751	818	3,013	3,33	10,03	—*
	10. VIII	10. VIII	4500	4500	4500	2436,25	1,85	818	2,979	63,10	187,97	384
	14. IX	14. IX	2390	2390	2390	2001,70	1,190	820	2,459	18,15	44,63	81,5
	11. X	11. X	1220	1220	1220	1814,10	0,672	816	2,221	18,30	40,64	—**
	18. XI	18. XI	1120	1120	1120	774,41	1,445	383	2,020	23,05	46,56	74,0
	20. III	20. III	871	871	871	1477,47	0,592	402	3,660	52,4	191,78	—**
1956	15. VIII	15. VIII	3940	3940	3915	2867,25	1,371	811	3,54	35,2	124,61	292
	27. IX	27. IX	1660	1660	1670	1632,7	1,020	770	2,120	16,95	35,93	59,5
	31. III	31. III	920	928	924	910,45	1,018	392	2,315	31,8	73,62	129,0
	24. IV	24. IV	938	898	918	1053,6	0,870	423	2,498	28,65	71,57	131,0
1957	31. V	31. V	1580	1410	1495	1573,95	0,950	688	2,287	4,66	10,66	18,7
	17. VI	17. VI	5030	5140	5085	2119,50	2,399	820	2,610	72,3	188,70	358,0
	29. VII	29. VII	2430	2590	2510	1617,85	1,550	807	2,000	29,7	59,4	94,0
	20. III	20. III	1180	849	1014	771,80	1,314	398	1,940	22,15	42,97	67,0
1958	14. IV	14. IV	2630	2580	2605	1541,1	1,690	779	1,981	5,12	10,14	—*
	24. V	24. V	2120	2060	2090	1388,25	1,508	634	2,190	32,2	70,52	118
	24. VI	24. VI	5730	5730	5730	2870,00	1,995	819	3,510	79,5	279,04	645
	21. VII	21. VII	8790	8410	8600	3182,60	1,998	826,5	3,860	32,45	125,26	306
	27. VIII	27. VIII	2700	2660	2680	1560,0	1,715	423,0	3,690	48,8	180,07	428
	20. III	20. III	598	646	622	569,25	1,112	475,0	1,199	8,03	9,63	—*

* Величина сомнительна, малое ρu .** Величина сомнительна, малое u при значительном Q .

Таблица 17
(к § 6)Зависимость произведения $\rho u h_c^{1,6}$ от v по ст. Чатлы

Год	Дата		$Q, \text{ м}^3/\text{сек}$		$Q_{\text{ср}}, \text{ м}^3/\text{сек}$	$\omega, \text{ м}^2$	$v_{\text{ср}}, \text{ м}/\text{сек}$	$B, \text{ м}$	$h_{\text{ср}}, \text{ м}$	ρu	$\rho u h_c$	$\rho u h_c^{1,6}$
	по графику	по таблице	по графику	по таблице								
1954	26. III	29. III	570	893	732	653	1,12	371	1,76	6,44	11,35	16,6
	8. V	5. V	3280	1930	2605	2354	1,11	806	2,91	5,57	16,26	33,0
	25. V	26. V	2420	2780	2600	2403	1,08	813	2,96	1,61	4,76	9,80
	27. VII	27. VII	3200	3180	3190	1894	1,67	807	2,35	3,36	7,88	13,8
	28. VIII	27. VIII	2660	2970	2815	1604	1,75	809	1,98	1,09	2,16	—*
1955	25. III	23. III	408	262	335	1302	0,26	822	1,58	3,09	4,87	—**
	25. IV	28. IV	504	454	479	1008	0,44	817	1,32	1,80	2,38	2,80
	21. V	17. V	1140	1650	1395	1855	0,75	825	2,25	5,68	12,80	21,6
	22. VI	27. VI	4440	2820	3630	2478	1,47	824	3,40	5,78	19,70	44,3
	29. VII	29. VII	1680	1750	1715	1943	0,88	819	2,12	3,88	8,21	13,5
	22. VIII	26. VIII	3610	3680	3645	2244	1,62	818	2,74	8,31	22,80	45,5
1956	20. VII	13. VII	3690	2420	3055	2075	1,47	819	2,54	6,97	17,75	32,8
	15. VIII	13. VIII	3220	2720	2970	2148	1,38	811	2,55	6,08	16,12	30,6
1957	22. II	22. II	806	804	805	1398	0,58	882	1,58	0,75	1,85	2,50
	30. III	30. III	—	248	248	480	0,52	318	1,51	1,47	2,22	2,90
	3. V	3. V	762	753	758	620	1,22	348	1,78	6,38	11,35	15,4
	10. VI	10. VI	1870	1960	1915	1160	1,64	632	1,83	11,45	21,00	31,5
	3. VII	3. VII	2040	2010	2025	1395	1,44	648	2,16	8,62	18,65	31,0
1958	12. II	12. II	472	495	483	784	0,62	412	1,90	4,80	9,12	13,8
	16. III	16. III	1740	1650	1695	998	1,70	561	1,78	7,85	14,00	20,4
	17. V	17. V	1720	1870	1795	1302	1,44	533	2,44	4,45	10,75	19,4
	9. VI	9. VI	1540	1290	1415	1085	1,31	493	2,20	2,96	6,51	12,9
	30. VII	30. VII	4800	4670	4735	2530	1,87	910	2,79	6,78	18,90	37,2
	21. XI	14. XI	728	717	723	777	0,93	440	1,76	1,60	2,82	—*

* Величина сомнительна, малое ρu .** Величина сомнительна, большая ω при малом Q .

Т а б л и ц а 18
(к § 6)

Фракционный состав потока по ст. Чатлы

Год наблюдения	Среднегодовой расход воды, м³/сек	При диаметре фракций, мм				Средняя гидравлическая крупность, мм/сек
		> 0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	< 0,01	
		в гидравлической крупности, мм/сек				
		≥ 7	7—2	2—0,2	0,2—0	
1938	1290	—	38,0	27,4	34,6	3,34
1952	1750	—	23,9	33,2	42,9	2,22
1939	1210	—	23,8	23,7	52,5	2,15
1957	980	—	18,5	30,2	51,3	1,76
1956	1520	—	17,2	33,1	49,7	1,66
1944	1590	—	17,3	26,2	56,5	1,63
1937	1400	0,1	15,8	31,2	52,9	1,56
1940	1160	—	15,9	26,3	57,8	1,51
1949	1810	—	14,8	27,8	57,4	1,43
1955	1330	—	14,2	38,4	47,4	1,44
Средне- много- летнее значение %	1404		20,0 100	29,7 80,0	50,3 50,3	1,87

Т а б л и ц а 19
(к § 7)

Механический состав донных отложений по станциям Керки — Чатлы за период наблюдений до 1960 г., %

Дата	Диаметр частиц, мм					и, мм/сек
	> 0,25	0,25 0,10	0,10 0,05	0,05 0,01	< 0,01	

Б а с с а г а - К е р к и, 1126 км от устья

1951 г.

20. IV	6,8	44,1	45,3	1,9	1,9	14,59
30. IV	30,4	52,6	11,6	5,4	—	22,24
10. V	11,0	76,1	12,9	—	—	20,68
20. V	41,3	51,6	5,8	1,3	—	25,36
30. V	—	—	70,7	23,3	6,0	С илом
10. VI	21,7	64,0	11,1	—	3,2	23,48
20. VI	—	91,0	3,3	4,6	1,1	19,55
30. VI	8,2	66,8	20,0	2,2	2,8	18,25
10. VII	7,1	72,0	17,0	0,3	3,6	18,75

Дата	>2	2-1	1-0,5	0,5-0,2	<0,2	и, мм/сек
1962 г.						
8.I	—	—	2,28	15,46	82,26	22,97
19.I	—	—	1,25	20,20	78,55	23,40
31.I	0,1	0,2	3,10	18,48	78,30	24,48
13.II	0,32	0,73	7,34	10,98	80,63	26,18
24.II	—	0,02	0,40	18,80	80,78	24,00
4.III	—	0,02	1,50	24,0	74,48	24,37
14.III	—	0,03	1,62	29,70	68,65	25,64
27.III	—	—	0,76	25,79	73,45	24,30
6.IV	—	—	1,30	28,77	69,93	25,14
17.IV	—	—	0,72	32,51	66,77	25,73
24.IV	—	0,03	2,71	52,97	44,29	31,17
9.V	0,08	0,24	6,47	28,35	64,28	28,26
17.V	0,56	0,24	8,76	45,93	44,51	34,22
31.V	—	0,03	2,81	42,87	54,29	29,15
7.VI	0,01	0,07	4,32	30,18	65,42	27,25
16.VI	—	0,01	1,54	27,35	71,10	25,06
27.VI	0,01	0,02	1,05	27,98	70,94	25,01
30.VI	0,01	0,07	5,25	44,62	50,05	30,90
6.VII	0,01	0,06	4,06	27,15	68,72	26,47
13.VII	6,37	0,13	0,78	28,80	63,92	37,35
20.VII	0,21	0,2	8,45	47,94	43,20	33,82
22.VII	0,09	0,57	12,77	51,96	34,61	37,29
Средняя						25,83

Дата	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,2	<0,2	и, мм/сек
------	------	-----	-----	-------	---------	------	-----------

Керки, 1061 км от устья

1962 г.							
4.VIII	0,38	0,19	0,60	13,12	34,92	50,79	35,06
14.VIII	0,07	0,03	0,87	9,52	32,20	57,31	31,73
21.VIII	—	—	0,03	2,45	26,40	71,12	26,42
28.VIII	—	0,01	0,04	1,59	22,76	75,58	24,26
8.IX	—	0,01	0,02	1,37	38,02	60,58	27,29
16.IX	—	—	0,03	4,75	42,94	52,28	30,38
24.IX	—	0,03	—	0,83	25,18	73,96	24,28
3.X	—	—	0,01	1,92	32,52	65,55	26,43
11.X	—	—	0,03	1,39	24,69	73,89	24,46
22.X	0,35	0,02	0,42	16,67	45,38	36,16	39,02
31.X	—	—	—	8,25	19,23	72,52	26,37
10.XI	—	—	—	11,93	32,87	55,20	31,90
20.XI	0,12	0,42	0,84	10,27	48,99	39,36	36,76
29.XI	—	—	0,04	2,20	24,08	73,68	24,62
8.XII	—	0,49	0,76	15,77	49,90	33,08	39,56
17.XII	—	0,60	0,90	9,44	45,44	43,02	35,36

Дата	20—10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,2	<0,2	u , мм/сек
1953 г.								
5.I	—	—	—	—	2,75	62,25	35,0	33,32
15.I	—	—	—	—	3,29	50,01	46,7	30,88
26.I	—	—	—	0,22	9,65	42,55	47,58	32,92
5.II	—	—	—	0,05	3,78	29,32	66,85	26,75
14.II	—	—	—	0,05	6,51	28,24	65,20	27,99
26.II	—	—	—	0,13	10,52	46,55	42,80	34,17
5.III	—	—	0,10	0,38	17,62	52,63	29,27	39,91
14.III	—	—	—	0,13	11,33	55,47	33,07	36,50
23.III	1,23	0,27	0,26	0,46	8,80	39,93	49,05	39,83
30.III	—	—	—	0,26	11,98	26,34	61,42	30,39
7.IV	—	—	0,17	0,35	8,38	32,70	58,40	30,69
15.IV	—	—	—	0,16	6,46	28,88	64,50	28,23
21.IV	—	—	—	—	4,04	23,58	72,38	25,60
27.IV	—	0,13	0,18	0,52	11,32	32,73	55,12	32,97
6.V	0,15	0,20	0,16	0,50	13,17	36,95	48,87	35,79
12.V	—	—	—	0,02	7,95	34,85	57,18	30,14
18.V	—	—	—	0,04	8,65	24,05	67,26	28,22
27.V	—	—	—	0,03	8,66	38,34	52,97	31,29
30.V	—	—	—	0,05	9,55	37,40	53,0	31,59
11.VI	—	—	—	0,09	6,96	38,70	54,25	31,64
22.VI	—	0,01	0,11	0,34	9,96	38,08	51,50	32,58
4.VII	—	0,02	0,14	0,53	11,26	35,42	52,63	33,05
10.VII	—	0,08	0,01	0,08	11,96	50,52	37,35	36,02
22.VII	—	—	—	0,01	5,00	35,65	59,34	28,72
28.VII	—	—	0,3	0,03	9,34	36,02	54,58	31,22
3.VIII	—	—	—	0,08	8,82	37,38	53,72	29,75
9.VIII	—	—	—	0,14	15,90	48,92	35,04	37,12
15.VIII	—	—	—	0,05	8,38	42,23	49,34	32,0
21.VIII	0,15	0,05	0,15	0,20	13,15	36,30	50,00	34,72
27.VIII	—	—	0,01	0,02	8,47	41,52	49,98	31,92
5.IX	0,08	0,04	0,08	0,14	18,79	46,54	34,33	39,37
11.IX	—	—	—	0,08	20,40	30,32	49,20	35,76
17.IX	—	0,01	—	0,04	6,25	47,20	46,50	31,84
23.IX	—	0,01	0,01	0,06	6,97	43,87	49,08	33,58
29.IX	—	—	—	0,05	8,66	35,95	55,34	30,74
5.X	—	0,03	0,03	0,20	11,55	35,90	52,29	32,73

Дата	20—10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,2	<0,2	u , мм/сек
------	-------	------	-----	-----	-------	---------	------	-----------------

1953 г.

11.X	—	—	—	0,02	9,63	42,85	47,50	32,77
17.X	—	—	—	0,04	9,18	37,60	53,18	31,43
24.X	—	0,05	0,05	0,18	16,92	34,90	47,90	35,50
4.XI	—	—	—	0,02	11,17	42,35	46,46	33,50
21.XI	—	—	—	0,01	4,75	29,80	65,44	27,30
30.XI	—	—	—	0,08	10,00	32,38	57,54	30,79
8.XII	—	—	—	—	4,46	38,40	57,14	29,08
16.XII	—	—	—	0,05	19,55	40,30	40,10	37,64
29.XII	—	—	—	—	18,53	28,65	52,82	34,52

Дата	20—10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	,05—0,2	<0,2	u , мм/сек
1954 г.								
23. I	—	—	0,02	0,06	8,46	43,60	47,86	32,43
3. II	—	—	0,02	0,05	17,57	38,09	44,27	36,09
13. II	—	0,06	0,02	0,20	26,52	41,69	31,51	42,10
23. II	—	—	0,02	0,10	18,69	41,84	39,35	37,55
7. III	—	—	0,08	0,12	14,01	30,27	55,52	32,81
15. III	—	0,04	0,01	0,04	8,51	39,28	52,12	31,54
23. III	—	—	0,05	0,10	4,80	24,80	70,25	26,51
27. III	—	—	0,02	0,14	11,23	28,67	59,94	30,78
3. IV	—	—	0,02	0,09	10,04	30,32	59,53	30,70
9. IV	—	—	0,04	0,11	8,57	24,50	66,78	28,49
15. IV	—	—	—	0,05	9,04	26,97	63,94	29,11
21. IV	0,04	0,05	0,06	0,21	9,25	34,54	55,85	33,37
27. IV	0,03	0,02	0,04	0,26	9,60	34,27	55,78	31,51
6. V	—	—	0,03	0,25	18,14	45,30	36,28	38,44
11. V	—	—	—	—	2,46	30,32	67,22	26,23
17. V	—	—	0,05	0,05	11,41	45,42	43,07	34,48
23. V	—	—	0,03	0,20	8,57	35,00	56,20	30,82
29. V	—	—	—	0,05	6,12	51,60	42,23	32,77
4. VI	—	—	0,10	0,10	10,35	38,85	50,60	32,59
10. VI	—	—	—	0,07	6,27	40,46	53,20	30,53
16. VI	—	—	—	0,02	11,77	49,44	38,77	35,33
22. VI	10,07	0,03	0,02	0,07	12,92	39,74	47,15	34,34
28. VI	—	—	—	0,04	5,85	35,81	58,30	29,25
3. VII	—	—	—	—	7,76	33,34	58,90	29,70
10. VII	—	—	—	0,01	6,25	28,00	65,74	27,82
22. VII	—	—	—	0,16	11,63	37,05	51,16	32,64
28. VII	—	—	—	—	5,47	31,87	62,66	28,13
6. VIII	—	—	0,02	0,06	4,26	26,19	69,47	26,44
12. VIII	—	—	0,06	0,20	4,88	27,71	67,15	27,30
18. VIII	—	—	—	—	8,72	34,98	56,30	30,60
25. VIII	—	—	—	0,03	6,62	40,19	53,16	30,60
13. IX	—	0,06	0,12	0,30	8,78	49,60	41,14	34,58
19. IX	—	—	—	—	4,34	42,96	52,70	29,95
25. IX	—	—	—	—	3,41	31,26	65,33	26,92
2. X	—	—	—	—	5,44	38,19	56,37	29,48
10. X	—	—	0,10	0,66	14,16	41,58	43,50	35,96
18. X	—	—	0,04	0,09	12,02	31,60	56,25	31,63
26. X	—	—	0,07	0,08	20,47	44,30	35,08	39,18
4. XI	0,07	0,05	0,06	0,16	15,47	39,09	45,10	35,22
14. XI	—	—	—	0,03	11,54	51,12	37,31	35,33
24. XI	—	0,01	0,01	0,09	19,29	58,36	22,24	41,41
14. XII	—	—	0,02	0,19	20,63	52,10	27,06	40,91
25. XII	—	—	0,10	0,42	16,12	38,99	44,37	36,11

Дата	20—10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,2	<0,2	u , мм/сек
------	-------	------	-----	-----	-------	---------	------	-----------------

1955 г.

3.I	—	—	0,01	0,25	16,40	49,19	34,15	38,09
13.I	—	—	0,03	0,19	23,41	40,69	35,68	40,01
2.II	—	—	0,05	0,13	18,65	58,54	22,63	41,21
22.II	—	—	0,07	0,31	22,60	37,84	39,28	39,12
11.III	—	0,11	0,05	0,15	11,70	38,51	49,48	33,61
24.III	—	—	0,01	1,13	23,70	36,34	38,82	40,32

Дата	10—5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,2	0,2—0,1	0,1—0,05	<0,05	u , мм/сек
------	------	-----	-----	-------	---------	---------	----------	-------	-----------------

1955 г.

6.IV	—	—	0,07	2,85	49,62	28,63	8,50	10,33	27,78
18.IV	—	—	0,01	0,31	57,69	21,67	9,16	11,16	27,90
3.V	—	0,02	0,05	0,52	62,74	29,97	2,48	4,22	31,13
14.V	—	0,02	0,05	0,19	68,77	24,27	8,86	7,84	28,66
26.V	—	0,01	0,04	0,34	46,08	27,20	16,92	9,41	24,79
10.VI	0,09	0,04	0,12	2,80	62,45	27,65	2,70	4,15	32,74
16.VII	—	0,08	0,16	2,64	67,41	19,40	4,44	5,87	33,12
29.VII	0,38	—	0,02	0,39	65,60	28,78	2,04	2,89	33,27
12.VIII	0,05	0,01	0,03	0,18	57,69	24,77	9,35	7,92	28,54
28.VIII	—	—	—	0,12	52,78	35,31	3,81	7,98	27,88
3.IX	0,88	0,17	0,42	2,74	70,63	20,24	2,13	2,79	38,11
10.IX	—	—	0,01	0,16	57,88	31,05	5,62	5,28	29,29
26.IX	—	—	0,16	3,05	50,62	25,00	13,88	7,29	28,12
12.X	—	—	0,03	0,04	41,29	34,07	17,65	6,92	23,94
5.XI	—	—	0,03	0,10	38,42	27,28	21,24	12,93	21,97
26.XI	—	—	0,04	2,15	50,05	30,06	12,58	5,12	27,91
21.XII	—	—	0,03	0,47	47,71	24,36	20,78	6,65	25,32

1956 г.

20.I	0,01	0,01	0,55	3,23	53,30	27,30	9,90	5,70	30,06
9.II	—	—	0,01	0,86	44,40	28,80	11,30	14,63	24,48
2.III	—	—	—	1,31	42,92	24,37	21,57	9,83	23,92
10.III	—	—	0,01	0,49	65,90	26,88	4,57	2,15	31,83
28.III	—	—	0,04	3,80	63,91	23,50	6,10	2,65	32,94
14.V	—	—	—	0,01	54,33	26,65	10,26	8,75	27,23
29.V	0,10	—	1,36	4,75	62,28	15,50	10,90	5,20	33,97

Средняя 31,87

Год	2—1	1—0,5	0,5—0,2	0,2—0,1	0,1—0,05	0,05— 0,02	0,02— 0,01	<0,01	u , мм/сек
-----	-----	-------	---------	---------	----------	---------------	---------------	-------	-----------------

Чарджоу, 826 км от устья

1930/31	—	22,00	75,00	1,50	1,50	—	—	—	45,58
	—	—	28,10	69,10	2,80	—	—	—	24,12
	—	—	2,00	18,00	56,25	15,00	8,75	—	6,12
	—	—	1,75	15,50	35,25	37,75	9,75	—	4,89
	—	0,25	34,75	13,00	13,00	23,25	9,75	—	17,33
	—	0,25	22,00	30,50	30,00	11,00	6,25	—	16,51
	—	—	1,20	18,80	52,50	14,75	12,75	—	5,84

Год	2—1	1—0,5	0,5—0,2	0,2—0,1	0,1—0,05	0,05— 0,02	0,02— 0,01	<0,01	Π , мм/сек
-----	-----	-------	---------	---------	----------	---------------	---------------	-------	-------------------

Чарджоу, 826 км от устья

	10,00	0,23	7,27	21,75	20,50	22,00	11,25	—	21,32
	—	—	—	0,20	1,05	61,75	37,00	—	С илом
	—	—	15,20	16,55	18,00	39,50	10,75	—	10,67
	—	—	—	0,90	3,60	45,50	50,00	—	С илом
	—	—	0,50	1,75	4,75	28,00	65,00	—	
	—	—	—	—	0,50	27,50	72,00	—	
	—	—	—	0,25	1,50	3,50	94,75	—	

Средняя 16,93

Дата	>0,25	0,25— 0,15	0,15—0,10	0,10—0,05	0,05— 0,01	<0,01	Π , мм/сек
------	-------	---------------	-----------	-----------	---------------	-------	-------------------

1951 г.

807 км от устья

21.VIII	5,15	26,45	39,14	21,92	6,05	1,39	16,10
	37,21	40,33	11,43	4,90	4,37	1,76	25,76
	—	28,40	46,25	23,10	1,19	1,06	15,12
	—	21,30	38,74	34,70	5,26	—	13,85
	—	27,00	45,00	23,61	3,08	1,31	15,60

Средняя 17,30

794 км от устья

1951 г.

22.VIII	—	25,15	40,13	31,65	1,55	1,52	14,85
	18,07	55,80	14,58	4,63	5,63	1,29	22,83
	7,54	50,75	19,02	20,56	—	2,13	19,78
	—	28,52	47,33	23,02	0,30	0,83	16,29

Средняя 18,40

709 км от устья

1951 г.

23.VIII	—	15,70	38,50	40,40	5,40	—	12,74
	27,27	44,16	10,00	2,39	5,70	0,88	23,96
	7,43	40,17	38,26	10,87	1,71	1,56	18,91
	—	24,20	44,10	23,70	7,10	0,90	14,78
	—	22,60	29,80	31,50	5,20	0,90	15,16
	—	0,30	23,00	58,60	16,80	1,30	С илом
	16,66	19,82	43,23	16,37	2,89	1,03	18,76
	5,19	15,60	42,90	34,74	0,60	1,07	14,66

Средняя 17,00 2

546 км от устья

1951 г.

25.VIII	8,49	14,56	36,52	34,23	5,25	0,95	14,60
	6,78	2,54	30,41	38,34	17,75	4,18	С илом

Дата	$<0,25$	$0,25-0,15$	$0,15-0,10$	$0,10-0,05$	$0,05-0,01$	$<0,01$	$u, \text{мм/сек}$
------	---------	-------------	-------------	-------------	-------------	---------	--------------------

546 км от устья

1951 г.

25.VIII	—	—	11,30	67,30	20,10	1,30	С илом
	—	25,30	40,30	27,10	5,40	1,90	14,65

Средняя 14,63

Дата	$1-0,5$	$0,5-0,25$	$0,25-0,1$	$0,1-0,05$	$<0,05$	$u, \text{мм/сек}$
------	---------	------------	------------	------------	---------	--------------------

Тюямуюн, 446 км от устья

1955 г.

20.VII	0,43	1,36	4,0	25,10	69,11	3,00
22.VIII	0,23	25,13	10,24	31,56	32,84	15,76
14.IX	—	0,70	0,70	12,70	85,90	1,50

Дата	$1-0,5$	$0,5-0,2$	$0,2-0,1$	$0,1-0,05$	$0,05-0,01$	$0,01-0,005$	$0,005-0,001$	$<0,001$	$u, \text{мм/сек}$
------	---------	-----------	-----------	------------	-------------	--------------	---------------	----------	--------------------

1956 г.

14.IV	—	10,27	18,67	37,97	30,28	1,44	0,97	0,40	10,34
20.X	—	6,07	4,73	42,27	49,37	2,20	0,93	0,43	2,99

1957 г.

31.III	—	4,76	43,13	26,92	22,76	1,63	0,20	0,60	11,77
--------	---	------	-------	-------	-------	------	------	------	-------

Дата	$>0,25$	$0,25-0,15$	$0,15-0,10$	$0,10-0,05$	$0,05-0,01$	$<0,01$	$u, \text{мм/сек}$
------	---------	-------------	-------------	-------------	-------------	---------	--------------------

440 км от устья

1951 г.

27.VIII	—	21,30	30,10	46,10	2,40	0,10	13,19
	14,10	38,10	25,40	21,50	—	0,90	19,92
	13,30	28,60	30,30	26,80	0,90	0,10	18,31
	—	14,70	36,80	47,50	1,00	—	12,61
	—	—	25,40	66,00	8,40	0,20	6,57
	—	3,40	25,60	65,70	4,80	0,50	7,34

Средняя зимнего периода 5,84

Средняя летнего периода 14,52

Дата	>0,25	0,25	0,05	0,01	$\bar{n}$, мм/сек
------	-------	------	------	------	--------------------

1941 г. Турткуль, 403 км от устья

18. III	0,2	83,6	11,8	4,40	7,89 В межень
20. VI	29,1	62,1	7,0	1,80	11,36
9. VIII	—	42,80	52,60	4,60	С илом

1942 г.

28. III	0,70	96,40	2,90	—	13,75
29. VII	2,30	87,0	10,70	—	13,05
16. X	—	90,8	9,20	—	12,79
29. X	—	95,6	4,40	—	13,64

Средняя 12,92

Дата	>0,25	0,25 0,15	0,15—0,10	0,10—0,05	0,05 0,01	<0,01	$\bar{n}$, мм/сек
------	-------	--------------	-----------	-----------	--------------	-------	-----------------------

1951 г. 322 км от устья

31. VIII	—	24,19	39,95	28,68	4,94	2,24	14,41
	0,50	5,50	31,10	60,50	2,40	—	10,34
	—	20,50	39,0	32,20	8,30	—	13,56
	—	7,40	27,60	61,40	2,60	1,0	10,17
	—	20,0	33,00	39,30	7,10	0,60	12,93

Средняя 12,30

1951 г. Карамышташ, 281 км от устья

1. IX	25,30	32,40	32,10	8,60	—	1,60	23,83
	18,40	29,10	33,80	17,80	—	0,90	21,10
	11,0	12,70	27,40	44,50	3,60	0,80	14,56
	—	—	25,0	67,50	6,50	1,0	6,58

Средняя 16,50

1951 г. 252 км от устья

2. IX	—	3,70	35,50	54,40	5,40	1,0	10,05
	—	5,60	33,80	56,60	3,30	0,70	10,40
	—	20,40	35,80	40,40	3,40	—	13,50
	—	11,32	27,03	44,76	13,66	3,23	10,14

Средняя 11,00

Дата	0,5— —0,25	0,25— —0,10	0,10— —0,05	0,05— —0,01	0,01	0,01— —0,005	0,005— —0,002	<0,002	$\bar{n}$, мм/сек
------	---------------	----------------	----------------	----------------	------	-----------------	------------------	--------	-----------------------

1951 г. Лавак, 227 км от устья

Поперечник 2

1,50	21,9	72,6	1,1	2,9	—	—	—	8,82
—	47,1	50,0	1,0	1,90	—	—	—	13,13

Дата	0,5— —0,25	0,25— —0,10	0,10— —0,05	0,05— —0,01	0,01	0,01— —0,005	0,005— —0,002	<0,002	<i>и</i> , мм/сек
------	---------------	----------------	----------------	----------------	------	-----------------	------------------	--------	----------------------

1951 г.

Л а в а к, 227 км от устья

П о п е р е ч н и к 2

16—17.VIII	1,20	20,0	75,60	1,2	2,0	—	—	—	9,52
	2,40	24,0	70,6	1,90	1,10	—	—	—	10,57
	—	5,2	52,20	1,10	1,5	—	—	—	5,05
	—	4,0	94,4	0,90	0,70	—	—	—	4,34
	5,2	35,2	58,1	0,80	0,7	—	—	—	13,35
	—	9,8	86,9	1,50	1,80	—	—	—	5,59
	10,8	20,6	61,9	2,2	4,5	—	—	—	12,88

П о п е р е ч н и к 5a

16—17.VIII	—	0,7	9,3	21,0	—	37,0	8,0	24,0	С и л о м
	2,5	23,1	67,9	1,6	4,9	—	—	—	10,16
	11,6	60,6	23,1	0,9	3,8	—	—	—	19,22
	13,5	67,1	16,5	1,1	1,8	—	—	—	21,00
	—	8,1	87,8	1,1	3,0	—	—	—	5,34
	1,9	25,0	67,5	2,0	3,6	—	—	—	10,38
	4,4	32,8	60,6	1,0	1,2	—	—	—	12,65
	2,6	25,0	70,0	1,0	1,4	—	—	—	10,83
	3,0	6,1	88,4	0,5	2,0	—	—	—	7,99
	—	2,5	94,3	2,5	0,7	—	—	—	4,60

П о п е р е ч н и к 9

16—17.VIII	—	0,9	10,1	27,0	—	21,5	20,5	20,00	С и л о м
	10,00	57,90	28,6	1,6	1,9	—	—	—	18,42
	9,6	34,8	50,6	0,6	4,4	—	—	—	14,76
	—	30,2	65,6	1,1	3,1	—	—	—	10,65
	3,1	45,6	46,9	1,4	3,0	—	—	—	14,10
	4,4	53,8	40,6	1,0	0,2	—	—	—	15,99
	1,0	31,2	63,8	1,4	2,6	—	—	—	11,18
	—	13,10	82,5	1,5	2,9	—	—	—	5,96
	2,5	5,0	87,5	1,6	3,4	—	—	—	5,74

С р е д н я я 10,9

Дата	>0,25	0,25 0,05	0,05 0,01	<0,01	<i>и</i> , мм/сек
------	-------	--------------	--------------	-------	-------------------

Ч а т л ы, 215 км от устья

1941 г.

27.III	—	94,4	5,6	—	13,27
28.V	—	98,2	1,8	—	13,76
2.X	—	95,2	4,8	—	13,38
25.XI	—	95,7	4,3	—	13,44

1942 г.

5.III	—	43,3	33,1	23,6	4,42
22.V	—	96,6	3,4	—	13,55
20.VII	—	84,2	15,8	—	11,95
5.X	—	23,2	50,1	26,7	2,49

Дата	$>0,25$	$0,25$ $0,05$	$0,05$ $0,01$	$<0,01$	u , мм/сек
------	---------	------------------	------------------	---------	--------------

1943 г.

24.VII	—	57,6	40,1	2,3	5,58
--------	---	------	------	-----	------

Дата	$0,5$ $0,25$	$0,25$ $0,05$	$0,05$ $0,01$	$<0,01$	u , мм/сек
------	-----------------	------------------	------------------	---------	--------------

1952 г.

19.IV	0,07	71,38	24,57	3,98	6,97
29.V	—	31,43	46,62	21,95	3,30
19.VI	—	38,60	48,60	12,80	3,99
28.VIII	0,01	16,88	50,34	32,77	1,95

Дата	$0,5-0,2$	$0,2-0,1$	$0,1-0,05$	$0,05-0,01$	$0,01-0,005$	$0,005-0,001$	$<0,001$	u , мм/сек
------	-----------	-----------	------------	-------------	--------------	---------------	----------	--------------

1959 г.

26.III	38,50	22,00	15,00	10,85	5,10	7,50	1,05	20,47
10.IV	8,40	27,50	13,50	16,95	8,10	18,80	6,75	9,44
23.V	25,70	18,05	17,85	24,25	5,20	5,90	3,05	14,93
29.VI	19,50	25,40	22,85	23,35	4,50	2,45	1,95	14,11
24.VIII	6,25	21,20	17,55	41,70	5,30	5,65	2,35	6,47

1960 г.

16.IV	26,33	29,95	22,50	19,52	0,85	0,70	0,15	17,68
24.VI	7,20	27,15	26,60	26,20	4,35	6,30	2,20	9,79
29.VII	6,45	26,70	35,25	28,25	1,35	1,55	0,45	9,97
30.VII	—	0,20	20,15	59,90	8,05	9,45	2,25	1,34

Средняя 9,64

Дата	$>0,25$	$0,25-0,15$	$0,15-0,10$	$0,10-0,05$	$0,05-0,01$	u , мм/сек
------	---------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

195 км от устья

1951 г.

5.IX	$\left\{ \begin{array}{l} 2,20 \\ — \\ — \\ — \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 14,10 \\ 16,00 \\ 3,56 \\ — \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 78,99 \\ 65,80 \\ 70,10 \\ 80,70 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 2,63 \\ 16,5 \\ 24,7 \\ 18,44 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 2,08 \\ 1,82 \\ 1,64 \\ 0,86 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,64 \\ 6,32 \\ 3,82 \\ 3,76 \end{array} \right.$	Под слоем ила
------	--	--	---	--	---	---	---------------------

Средняя 4,74

151 км от устья

1951 г.

5.IX	$\left\{ \begin{array}{l} — \\ 5,93 \\ — \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,70 \\ — \\ 1,22 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 27,70 \\ 79,77 \\ 18,15 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 58,80 \\ 8,55 \\ 70,41 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 12,80 \\ 5,75 \\ 10,22 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,73 \\ 5,01 \\ 1,45 \end{array} \right.$	Под слоем ила
------	---	--	--	---	---	---	---------------------

Средняя 2,73

В. А. СКРЫЛЬНИКОВ

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ЗАИЛЕНИЯ ПОДПЕРТЫХ БЬЕФОВ ГИДРОУЗЛОВ¹

В подпертых бьефах, ввиду нарушения бытового уровня режима, скорости течения воды уменьшаются. В соответствии с этим уменьшается и транспортирующая способность потока, что приводит к отложению наносов на участке подпора. Интенсивность заиления бьефов может характеризоваться величиной осветления (доля наносов, задерживаемых подпертым бьефом), которая зависит в основном от емкости бьефа, расхода воды, проходящей через бьеф, количества взвешенных наносов и их фракционного состава. При составлении прогноза заиления проектируемых бьефов гидроузлов важно установить расчетным путем степень осветления бьефа. Предложенные ранее [1] рекомендации по расчету степени осветления в заиляемых бьефах сводились к графическому определению величины осветления. График строился на основании ограниченного количества натурных данных. В связи с этим автором были проанализированы дополнительные материалы полевых исследований заиления в подпертых бьефах Фархадского и Хишрауского гидроузлов, а также проведены лабораторные исследования по определению степени осветления.

Имеющиеся данные позволяют установить зависимость, с помощью которой расчетным путем может быть определена величина осветления ε . В общем виде зависимость степени осветления от указанных выше четырех основных факторов может быть получена в результате следующих предположений.

Первоначальная емкость бьефа включает в себя объем русла, по которому в бытовом состоянии потоком транспортируются все частицы взвешенных наносов. Поэтому можно считать, что при отсутствии подпора объем бьефа будет равен объему этого русла; степень осветления в данном случае равна нулю. В результате полного заиления свободная емкость бьефа W_n становится равной объему русла W'_p , по которому взвешенные наносы полностью выносятся в нижний бьеф.

Таким образом, при $W_n = W'_p$, степень осветления $\varepsilon = 0$, т. е. в случае $\frac{W'_p}{W_n} = 1$ $\varepsilon = 0$. Когда же $W_n > W'_p$, отношение $\frac{W'_p}{W_n} < 1$. При зна-

¹ В настоящей работе дается анализ большого фактического материала по заилению бьефов и теоретический вывод расчетных формул заиления, в результате чего предлагается методика расчета заиления верхних бьефов гидроузлов. Автором не рассматриваются существующие методы расчета, за исключением предложений В. С. Лапшенкова, имеющих непосредственное отношение к данной работе.

чениях $\frac{W'_p}{W_n} < 1$ степень осветления будет увеличиваться от 0 до 1. Следовательно, зависимость степени осветления от отношения $\frac{W'_p}{W_n}$ можно записать в следующем общем виде:

$$\varepsilon = f\left(\frac{W'_p}{W_n}\right). \quad (1)$$

Гидравлические элементы русла W'_p , транспортирующего все фракции взвешенных наносов, определяются по формулам С. Т. Алтунина [1], которые учитывают расход воды, мутность и гидравлическую крупность взвешенных наносов.

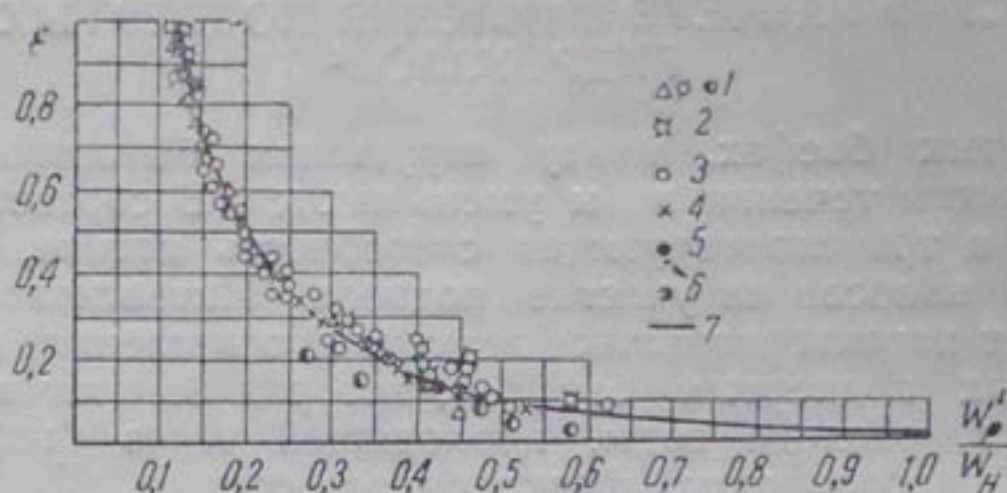


Рис. 1. Изменение степени осветления ε в зависимости от отношения $\frac{W'_p}{W_n}$:

1—Фархадский; 2—Хишрауский бьефы; 3—модельные данные; 4—Учкурганский бьеф (расчет по методу А. И. Гостунского); 5—бьеф БСП (расчет по методу А. И. Гостунского); 6—Фархадский бьеф (расчет по методу А. Н. Гостунского); 7—расчет по зависимости (3).

Объем русла необходимо вычислять по длине распространения свободной емкости бьефа. Для выявления характера изменения степени осветления ε в зависимости от отношения $\frac{W'_p}{W_n}$ следует нанести на график полученные по натурным и лабораторным данным значения ε и $\frac{W'_p}{W_n}$. Натурный или лабораторный бьеф в зависимости от количества промерных створов разбивается на участки. За расчетный участок принимается бьеф, располагающийся выше промерного створа. Для каждого участка имеется объем русла W'_p , полученный расчетом, объем бьефа W_n и объем заиления по величинам которого из формулы $\varepsilon = \frac{W_3}{G}$ (W_3 — объем заиления, за единицу времени — час, месяц, год; G — сток наносов за то же время, m^3) устанавливается степень осветления.

Для лабораторных данных ε и $\frac{W'_p}{W_n}$ объем русла W'_p определяли опытным путем. На рис. 1 представлены значения ε и $\frac{W'_p}{W_n}$, полученные для подпертых бьефов Фархадского, Хишрауского гидроузлов.

а также результаты лабораторных исследований, выполненных в прямолинейном лотке.

Как видно из рис. 1, общая направленность точек соответствует уравнению следующего вида:

$$\varepsilon = a \left(\frac{W'_p}{W_n} \right)^c \cdot e^{b \left(\frac{W'_p}{W_n} \right)}, \quad (2)$$

где e — основание натуральных логарифмов.

Возможность применения формулы (2) в нашем случае проверена методом выравнивания.

Для определения параметров a , c , b уравнения (2) был использован метод наименьших квадратов. Численные значения параметров, полученные по указанному методу, равны

$$a=0,236; c=-0,83; b=-2,87.$$

Зависимость (2) после подстановки в нее полученных параметров примет вид:

$$\varepsilon = 0,236 \left(\frac{W'_p}{W_n} \right)^{-0,83} \cdot e^{-2,87 \left(\frac{W'_p}{W_n} \right)}. \quad (3)$$

Расчетные значения ε по уравнению (3) приводятся в виде кривой на рис. 1. На этот же график наложены данные, полученные расчетом по методу А. Н. Гостунского для подпертых бьефов Фархадского и Учкурганского гидроузлов и бассейна суточного перерегулирования на р. Нарын (БСП). Из этого же рисунка следует, что значения ε , полученные по зависимости (3), дают хорошее совпадение с данными, вычисленными по методу А. Н. Гостунского.

Выражением (3) необходимо пользоваться при определении степени осветления бьефов, имеющих отношение $\frac{W'_p}{W_n} = 0,118 \div 1$. При этом степень осветления изменяется в пределах $1 \div 0,013$; предел, равный 0,013, практически может быть принят равным 0. Однако указанные выше пределы отношения ($0,118 \div 1$) не ограничиваются практическими возможностями. При проектировании бьефов особенно большой емкости отношение $\frac{W'_p}{W_n}$ может быть меньше 0,118. Поэтому остается неясным вопрос о характере изменения ε для бьефов, имеющих отношение $\frac{W'_p}{W_n} < 0,118$. Как видно из рис. 1, характер изменения степени осветления в зависимости от отношения $\frac{W'_p}{W_n}$ можно разделить на две зоны.

Первая зона охватывает значения $\frac{W'_p}{W_n} < 0,118$. Степень осветления при этом равна 1. Вторая охватывает значения $\frac{W'_p}{W_n} = 0,118 \div 1$. Степень осветления изменяется в пределах $1,0 \div 0$.

Таким образом, в бьефах, имеющих отношение $\frac{W'_p}{W_n} < 0,118$, заиление будет происходить в две стадии.

В первой стадии бытовые наносы полностью откладываются в верхнем бьефе. Во второй — объем отложений выражается уменьшающейся долей твердого стока.

По мере заиления бьефа, имеющего $\frac{W'_p}{W_n} < 0,118$, свободная от отложений емкость его уменьшается. Отношение $\frac{W'_p}{W_n}$ при этом увеличивается и приближается к величине 0,118. Степень осветления остается почти постоянной, равной 1 до момента, когда указанное отношение достигает величины 0,118. Дальнейшему увеличению отношения $\frac{W'_p}{W_n}$ от 0,118 до 1 соответствует изменение ε от 1,0 до 0. Следовательно, показателем перехода от первой стадии ко второй является отношение $\frac{W'_p}{W_n} = 0,118$, которое может быть принято равным 0,12, при этом ε по формуле (3) равна 0,97. Указанное отношение будет наблюдаться при определенных значениях расхода воды, мутности потока, фракционном составе наносов и объеме подпертого бьефа.

Поскольку в паводок в бьефе создается наибольшая проточность потока, а, следовательно, происходит наибольший вынос наносов в нижний бьеф, величину объема русла W'_p необходимо определять для среднепаводкового расхода воды и соответствующих этому периоду мутности и фракционному составу наносов.

Для подтверждения указанной закономерности мы провели лабораторные исследования процесса заиления на двух моделях, выбранных произвольно и отличающихся емкостью и формой бьефа в плане. Начальная емкость бьефа 1 составляет 11,4 м³, предельно заиляемый объем $W_0 = 10,93$ м³, длина бьефа — 14 м.

Бытовое русло шириной порядка 0,7 м сопрягалось с бьефом шириной 3,5 м на расстоянии 2,5 м. В качестве наносов применяли лессовидный суглинок в количестве 0,1 м³/час.

Бьеф 2 имеет емкость 5,15 м³. В плане бьеф постепенно расширяется от 1 до 2,5 м на расстоянии 13 м.

Ниже приведены данные об изменении степени осветления лабораторных бьефов 1 и 2 в зависимости от относительной величины заиления $\frac{W_3}{W_0}$ (W_3 — суммарный объем заиления, м³; W_0 — предельно заиляемый объем бьефа).

Бьеф 1		Бьеф 2	
$\frac{W_3}{W_0}$	ε	$\frac{W_3}{W_0}$	ε
0,097	0,983	0,037	0,92
0,186	0,98	0,108	0,89
0,259	0,88	0,161	0,915
0,356	0,97	0,23	0,91
0,463	0,965	0,284	0,90
0,537	0,92	0,35	0,92
0,642	0,96	0,41	0,92
0,741	0,885	0,47	0,845
0,794	0,57	0,505	0,75

0,888	0,51	0,543	0,69
—	—	0,589	0,6
—	—	0,637	0,585
—	—	0,676	0,525
—	—	0,741	0,45.

Эти показатели нанесены на рис. 2 и 3 соответственно бьефам 1 и 2.

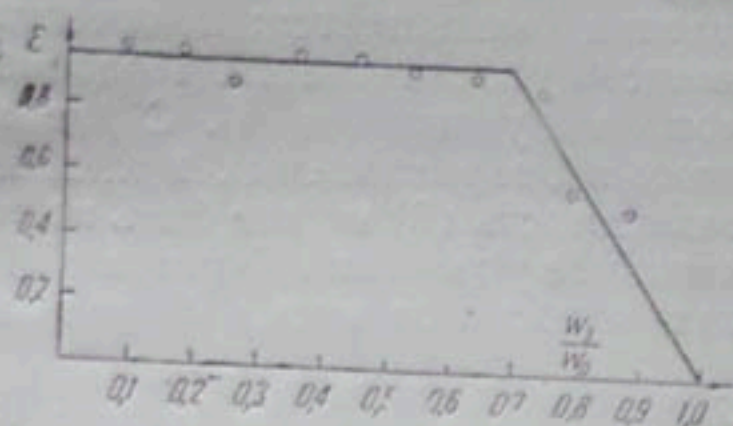


Рис. 2. Изменение степени освещения ε лабораторного бьефа 1 в зависимости от относительной величины заиления $\frac{W_3}{W_0}$.

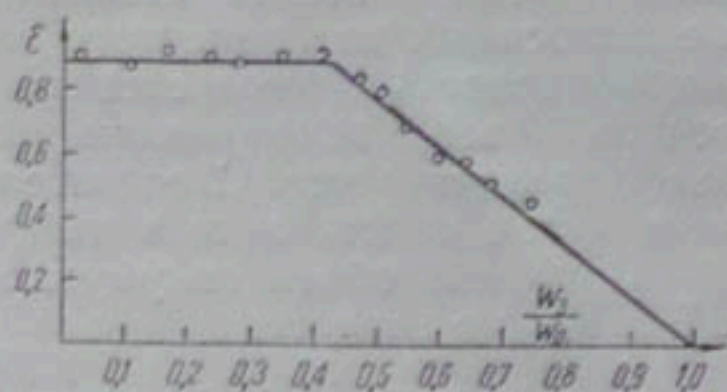


Рис. 3. Изменение степени освещения ε лабораторного бьефа 2 в зависимости от относительной величины заиления $\frac{W_3}{W_0}$.

Как видно из рис. 2 и 3, степень освещения ε до определенного момента не зависит от объема аккумулированных наносов в бьефе, что соответствует первой стадии заиления. Затем степень освещения по мере заиления бьефа изменяется по прямой, выражающейся уравнением

$$\varepsilon = \varepsilon' - K \frac{W_3}{W_0}. \quad (4)$$

Значение параметра K может быть определено из граничных условий. При объеме заиления W_3 , равном предельно заиляемому объему W_0 , степень освещения $\varepsilon = 0$. При этом из выражения (4) находим $K = \varepsilon'$. Тогда уравнение (4) примет вид

$$\varepsilon = \varepsilon' \left(1 - \frac{W_3}{W_0}\right). \quad (5)$$

Изменение ε по зависимости (5) будет происходить только в бьефах, имеющих вторую стадию заиления. Такая же зависимость, полученная несколько иным путем [2] В. С. Лапшенковым, рекомендуется им для определения содержания наносов в сбрасываемой из подпертого бьефа воде.

При выводе основного уравнения аккумуляции наносов В. С. Лапшенков использовал зависимость количества выносимых из подпертого бьефа наносов от объема заиления:

$$S = S' + KV, \quad (6)$$

где S — расход наносов, выносимых потоком из подпертого бьефа;
 V — количество аккумулированных в подпертом бьефе наносов к тому моменту времени, когда определяется S ;
 K — параметр бьефа.

Подставляя зависимость (6) в дифференциальное уравнение

$$dV = (S_0 - S) dt, \quad (7)$$

путем решения последнего при допущении $K = \frac{1}{E}$ В. С. Лапшенков

получает уравнение аккумуляции наносов в подпертых бьефах гидроузлов:

$$V_3 = V_n \left(1 - e^{-\frac{t}{E}}\right). \quad (8)$$

Анализируя зависимость (5), нетрудно заметить, что с увеличением объема заиления степень осветления уменьшается; количество же выносимых из подпертого бьефа наносов увеличивается. Подобная закономерность наблюдается при рассмотрении уравнения (6). С увеличением объема аккумуляции расход наносов, сбрасываемых в нижний бьеф, увеличивается. Следовательно, зависимость (8) может быть получена путем подстановки в дифференциальное уравнение формулы (5).

Принимая объем аккумулярованных наносов за время dt равным dW_3 , можно записать

$$dW_3 = \varepsilon G dt \quad (9)$$

(G — расход наносов в бытовых условиях в единицу времени). Подставив в зависимость (9) значение ε по формуле (5), находим

$$dW_3 = \varepsilon' \left(1 - \frac{W_3}{W_0}\right) G dt = \frac{W_0 - W_3}{\frac{W_0}{\varepsilon' G}} dt.$$

Разделим в этом уравнении переменные

$$\frac{dW_3}{W_0 - W_3} = \frac{dt}{\frac{W_0}{\varepsilon' G}}.$$

Обозначим $\frac{W_0}{\varepsilon' G}$ через E . Интегрируя данное уравнение, получим

$$-\ln(W_0 - W_3) + \ln C = \frac{t}{E}.$$

При потенцировании этого уравнения имеем

$$C e^{-\frac{t}{E}} = W_0 - W_3. \quad (10)$$

Определим значение постоянной интегрирования C . При времени аккумуляции наносов $t = 0$ объем заиления $W_3 = 0$. Следовательно, из зависимости (10) находим $C = W_0$.

Подставив значение C в выражение (10), получим уравнение (8)

$$W_3 = W_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{E}}\right).$$

Зависимостью (8) необходимо пользоваться при расчетах заиления бьефов, у которых наблюдается вторая стадия заиления, так как при выводе этого уравнения применяется формула (5), справедливая только для указанных бьефов. Отметим, что в работе [4] формула (8) рекомендуется для расчетов объемов отложений в бьефах большой емкости. Однако с этим нельзя согласиться потому, что в бьефах большой емкости заиление будет происходить в две стадии.

Чтобы произвести расчет первой стадии заиления, необходимо знать свободную от отложений емкость бьефа, начиная с которой будет наблюдаться вторая стадия заиления. Очевидно, этой емкостью будет такая, при которой степень осветления ε изменяется от 0,95 до 0.

Для определения свободной емкости бьефа второй стадии заиления необходимо знать характер изменения степени осветления по мере заиления бьефа. Нанесем на график рис. 4 данные об изменении степени осветления в зависимости от свободной емкости подпертого бьефа Фархадского гидроузла по годам заиления, а также значения степени осветления расчетных участков, вычисленных по формуле (3) для начальных условий бьефа. Из рис. 5 видим, что изменение степени осветления по мере заиления бьефа происходит по кривой, полученной расчетом (уравнение 3) для начальных условий бьефа.

Следовательно, степень осветления свободной емкости бьефа для промежуточных положений заиления может быть определена по этой кривой.

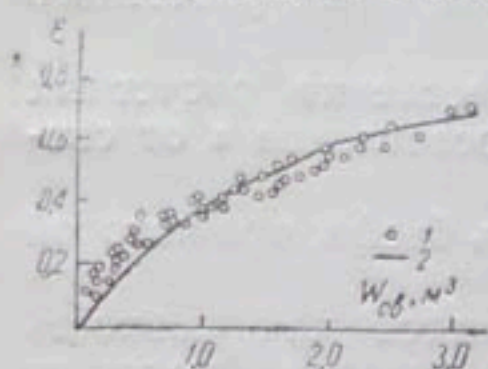


Рис. 5. Изменение степени осветления ε в зависимости от свободной емкости подпертого бьефа в прямолинейном лотке:

1—модельные данные; 2—расчет по зависимости (3).

По графику рис. 4 можно определить емкость бьефа, при которой будет наблюдаться вторая стадия заиления. Такой емкостью для подпертого бьефа Фархадского гидроузла является емкость 150 млн. м^3 , начиная с которой степень осветления изменяется от 0,95 до 0.

Характер изменения степени осветления в зависимости от свободной емкости бьефа подтверждается также данными лабораторных исследований, проведенных в прямолинейном лотке (см. рис. 5).

Ввиду того, что зависимость (3) получена по материалам заиления бьефов, имеющих постепенное расширение в сторону плотины, построить расчетный график $\varepsilon = f(W_{св})$ с помощью

формулы (3) для бьефов со значительным расширением в местах сопряжения с бытовым руслом, не представляется возможным. В этих случаях свободный объем бьефа второй стадии определяется следующим образом.

Как известно, показателем перехода от первой стадии заиления ко второй является отношение $\frac{W'_p}{W_n} = 0,12$. При известном значении W'_p , вычисляемом в пределах длины первоначального распространения кривой подпора, определяется

$$W'_n = \frac{W'_p}{0,12}. \quad (11)$$

Однако для малых бьефов свободный объем второй стадии заиления, определяемый выражением (11), будет приближенным, несколько завышенным против фактического, поскольку по мере заиления бьефа в какой-то степени изменяется длина распространения свободной емкости, в пределах которой определяется W'_p .

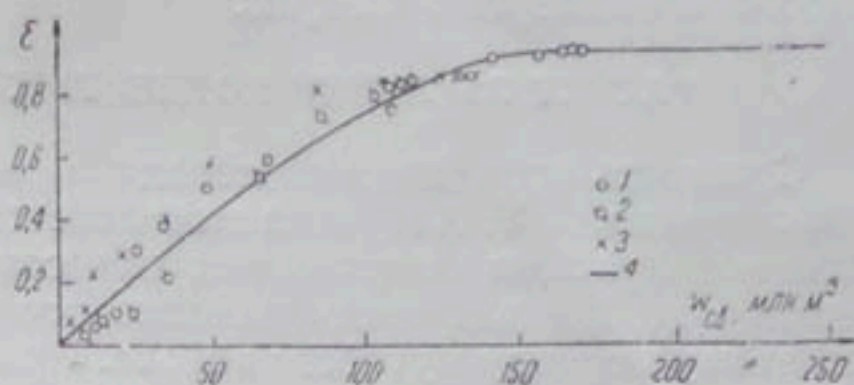


Рис. 4. Изменение степени осветления ε в зависимости от свободной емкости подпертого бьефа Фархадского гидроузла:

1—1949; 2—1951; 3—1952 гг.; 4—расчет при помощи зависимости (3).

В результате проведенного анализа имеющегося материала по заилению бьефов выявлены закономерности процесса отложения наносов, позволяющие установить методику расчета аккумуляции наносов в подпертых бьефах.

РАСЧЕТ ЗАИЛЕНИЯ ПОДПЕРТЫХ БЬЕФОВ ГИДРОУЗЛОВ

Сущность предлагаемой методики расчета сводится к следующему. По формулам С. Т. Алтунина вычисляется объем русла, транспортирующего все фракции взвешенных наносов в пределах начальной длины кривой подпора для средненаводкового расхода воды и соответствующей этому периоду мутности потока. При известном значении проектной емкости определяется отношение $\frac{W'_p}{W_n}$. Это отношение может быть меньше или больше 0,12.

1 случай. $\frac{W'_p}{W_n} < 0,12$. Заиление будет происходить в две стадии.

Аккумуляция наносов рассчитывается в следующей последовательности.

1. Подпертый бьеф разбивается на расчетные участки. Для каждого участка определяется емкость бьефа, расположенная выше расчетного створа (предложение В. С. Лапшенкова).

2. По формуле (3) определяется степень осветления расчетных участков и строится график зависимости степени осветления ε от свободной емкости бьефа: $\varepsilon = f(W_{св})$ (см. рис. 4,5).

3. По графику $\varepsilon = f(W_{св})$ вычисляется емкость бьефа, при которой будет наблюдаться вторая стадия заиления.

4. Объем заиления первой стадии определяется как разность начального объема бьефа и емкости, при которой будет наблюдаться вторая стадия заиления:

$$W_3^I = W_n - W'_n. \quad (12)$$

5. Время заиления первой стадии устанавливается с учетом цикличности колебаний стока или же путем деления величины W_3^I на средний многолетний сток наносов. Расчетный цикл выбирается по имеющимся данным наблюдений за стоком реки [1].

Объем отложений каждого года I стадии заиления с учетом цикличности стока определяется умножением степени осветления бьефа, которая для первой стадии может быть принята равной 0,95÷1, на годовой сток наносов. Затем суммируются расчетные объемы заиления. Расчет производится до тех пор, пока суммарный объем заиления будет равен объему заиления первой стадии W_3^I .

6. Для оставшейся емкости рассчитывается вторая стадия заиления. Определяется степень осветления свободной емкости бьефа по графику $\varepsilon = f(W_{св})$. Умножая полученную степень осветления на годовой сток наносов соответствующего года расчетного цикла, получим объем заиления первого года второй стадии. Расчет таким способом производится до момента, когда общий объем заиления первой и второй стадии будет равен предельно заиленному объему, т. е. W_0 .

Для бьефов большой емкости, имеющих значительное расширение в местах сопряжения с бытовым руслом, заиление рассчитывается следующим образом.

По формуле (11) определяется свободный объем бьефа W'_n , начиная с которого будет происходить вторая стадия заиления.

Объем отложений и срок заиления первой стадии устанавливаются по описанному выше способу.

Заиление второй стадии рассчитывается по методу В. С. Лапшенкова.

II случай. $\frac{W'_p}{W_n} \geq 0,12$. Заиление бьефа будет происходить согласно закономерности второй стадии заиления. Прогноз аккумуляции в этом случае производится по методу В. С. Лапшенкова. Степень осветления бьефа ϵ' , входящая в расчетные формулы указанного метода, может быть определена по формуле (3).

В тех случаях, когда бьеф имеет постепенное расширение от бытового русла в сторону плотины, расчет заиления может быть выполнен по методу автора, описанному выше, т. е. путем построения графика

$$\epsilon = f(W_{cb})$$

ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Проверка надежности предлагаемого метода произведена путем сравнения вычисленных результатов с фактическими данными.

Расчет заиления Фархадского подпертого бьефа. Первоначальный объем бьефа W_n равен 253 млн. m^3 . Сток насосов за расчетный цикл следующий:

Годы	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
Сток насосов, $m^3 \cdot 10^6$	7,85	13,5	34	17,10	23	50	47	51	32,7.

Объем отложения за период эксплуатации бьефа (1946—1955гг.), по данным полевых исследований, приводится ниже:

Годы	1945—1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
Объем отложений, $m^3 \cdot 10^6$	23,17	7,03	13,05	22,93	16,65	20,05	43,27	33,59	26,6	10,6.

В результате выполнения условий первых двух пунктов предлагаемого метода построен график зависимости $\epsilon = f(W_{cb})$ (см. рис. 4). По этому графику определяется емкость бьефа, начиная с которой будет наблюдаться вторая стадия заиления. Так, при емкости 150 млн. m^3 степень осветления начинает постепенно убывать, следовательно, с этого момента будет наблюдаться вторая стадия заиления. Объем заиления первой стадии будет равен $W_3^1 = 253 - 150 = 103$ млн. m^3 .

Заиление первой стадии с учетом цикличности колебания стока рассчитывали так:

t , лет	Натурные годы	Годовой сток наносов G , млн. m^3	Объем отложений ϵG , млн. m^3	Суммарный объем заиления, млн. m^3
1	1946	—	23,17	23,17
2	1947	7,85	7,45	30,62
3	1948	13,5	12,8	43,42
4	1949	24	22,8	66,22
5	1950	17,1	16,2	82,42
6	1951	23	21,8	104,22

Примечание. Степень осветления ϵ равна 0,95.

Как видим, суммарный объем заиления на 1951 г. составляет 104,22 млн. m^3 , что почти соответствует объему первой стадии, равному 103 млн. m^3 . Это указывает на то, что начиная с 1952 г. будет проходить вторая стадия заиления.

Заилнение второй стадии рассчитывали, как показано в табл. 1. Результаты расчета первой и второй стадии заилнения нанесены на рис. 6. На этот же график наложены натурные объемы заилнения. Из рис. 6 видно, что предлагаемый расчет заилнения по двум стадиям с учетом цикличности колебания стока дает хорошее совпадение с фактическим заилнением.

Таблица 1

t , лет	Натурные годы	Свободный объем бьефа, млн. m^3	Степень осветления ε (по графику рис. 4)	Годовой сток наносов G , млн. m^3	Объем отложений $\varepsilon \cdot G$, млн. m^3	Суммарный объем заилнения от начала работы узла, млн. m^3
7	1952	148,78	0,94	50	47	151,22
8	1953	101,78	0,77	47	36,2	187,42
9	1954	65,58	0,52	51	26,5	213,92
10	1955	39,08	0,31	32,7	10,1	224,02

Расчет заилнения подпертых бьефов модели (бьеф 1). Бьеф имел расширение в месте сопряжения с бытовым руслом от 0,7 до 3,5 м на участке в 2,5 м.

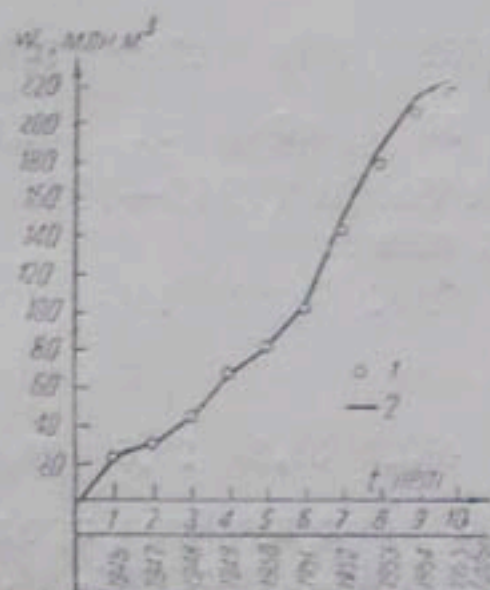


Рис. 6. Объемы заилнения подпертого бьефа Фархадского гидроузла:

1—натурные данные; 2—расчет по методу автора.

Таблица 2

Бьеф 1		Бьеф 2	
время заилнения, час.	объем заилнения, m^3	время заилнения, час.	объем заилнения, m^3
10,83	1,062	3,7	0,179
20,83	2,04	8,7	0,502
29,83	2,83	13,7	0,749
40,83	3,898	19,7	1,067
52,83	5,078	24,7	1,316
61,83	5,898	29,7	1,62
74,83	7,05	34,7	1,906
85,83	8,12	39,7	2,176
95,83	8,69	44	2,342
115,83	9,71	49	2,524
127,83	10,34	54	2,733
—	—	59	2,955
—	—	64	3,139
—	—	74	3,444

Первоначальная емкость бьефа составляла 11,4 m^3 , объем русла, транспортирующего все фракции взвешенных наносов в пределах емкости бьефа при расходе воды 6 л/сек—0,47 m^3 . В качестве наносов применяли лессовидный суглинок в количестве 0,1 m^3 /час. Изменения объемов отложений по времени заилнения для бьефа 1 и 2 показаны в табл. 2.

Бьеф 2. В плане бьеф постепенно расширяется в сторону плотины от 0,7 до 2,5 м. Первоначальная емкость бьефа равняется 5,15 m^3 , объем русла, транспортирующего все фракции взвешенных наносов в пределах емкости бьефа,—0,505 m^3 .

Количество подаваемого на модель лессовидного суглинка в течение первых 30 час. работы модели составляет в среднем 0,0598 m^3 /час. В последующий период заилнения наносы подавались в объеме, рассмотренном ниже.

Сделаем расчет заиления для бьефа I предлагаемым методом. Определим отношение $\frac{W'_p}{W_n}$. При $W_n = 11,4 \text{ м}^3$ и $W'_p = 0,47 \text{ м}^3$, $\frac{W'_p}{W_n} = 0,041$.

Так как $\frac{W'_p}{W_n} < 0,12$, заиление будет происходить в две стадии.

Устанавливаем объем бьефа, начиная с которого наблюдается вторая стадия заиления. При этом отношение $\frac{W'_p}{W_n}$ должно быть равным 0,12. Отсюда $W'_n = \frac{W'_p}{0,12} = \frac{0,47}{0,12} = 3,9 \text{ м}^3$.

Объем заиления первой стадии будет составлять

$$W'_a = W_n - W'_n = 11,4 - 3,9 = 7,5 \text{ м}^3.$$

Определим время заиления первой стадии. Средняя степень осветления может быть принята равной 0,96. Срок заиления $t = \frac{W'_a}{\epsilon G} = \frac{7,5}{0,1 \cdot 0,96} = 79 \text{ час.}$

Вычисляем объем отложений и время заиления второй стадии согласно методу В. С. Ланшенкова по формуле (8)

$$V_s = V_n \left(1 - e^{-\frac{t}{E}}\right),$$

где V_n — предельно заиляемый объем;

E — характеристика заиляемости, определяемая из формулы $E = \frac{V_n}{\epsilon' G}$, здесь ϵ' — первоначальная степень осветления бьефа;

G — сток наносов, м^3 .

Предельно заиляемый объем второй стадии будет равен

$$V_n = 3,9 - 0,47 = 3,43 \text{ м}^3.$$

Характеристика заиляемости бьефа —

$$E = \frac{3,43}{0,1 \cdot 0,95} = 36,1 \text{ час.}$$

Результаты расчета объемов отложений по формуле (8) для второй стадии, а также суммарный объем заиления от начала работы бьефа приведены в табл. 3.

Таблица 3

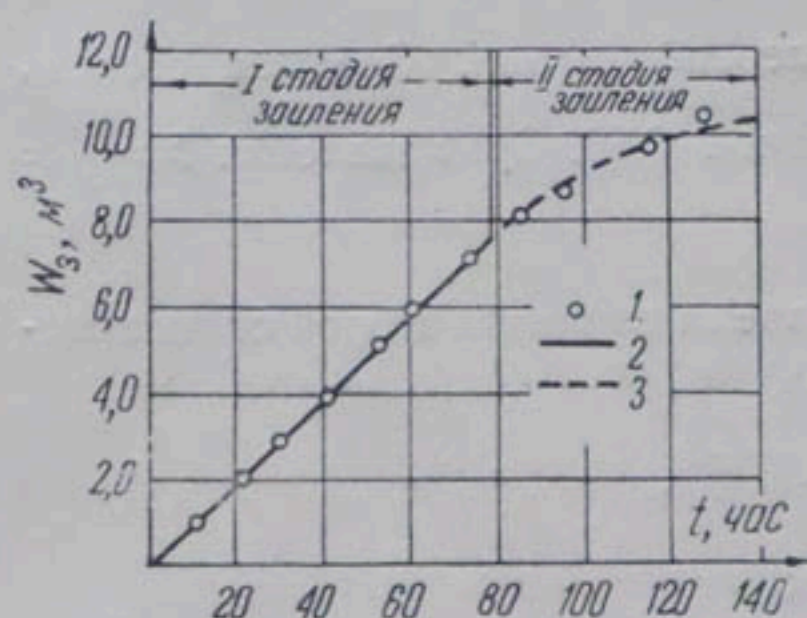
Время заиления второй стадии, час.	$\frac{t}{E}$	$e^{\frac{t}{E}}$	$\frac{1}{e^{\frac{t}{E}}}$	$1 - \frac{1}{e^{\frac{t}{E}}}$	V_s	Суммарное время от начала заиления бьефа, час.	Объем заиления с учетом первой стадии, м^3
10	0,277	1,32	0,757	0,243	0,834	89	8,33
20	0,554	1,735	0,576	0,424	1,45	99	8,95
30	0,830	2,29	0,436	0,564	1,93	109	9,43
40	1,11	3,03	0,33	0,67	2,30	119	9,8
50	1,385	4,0	0,25	0,75	2,57	129	10,07
60	1,66	5,25	0,19	0,81	2,78	139	10,28

Данные табл. 3 нанесены на рис. 7. Как видно из рис. 7, расчет заиления по двум стадиям дает хорошее совпадение с фактическим заилением.

Приведем расчет заиления для бьефа 2. При объеме бьефа $W_n = 5,15$ м и объеме русла $W'_p = 0,505$ м³ отношение $\frac{W'_p}{W_n} = 0,098$. Так как $\frac{W'_p}{W_n} < 0,12$, заиление будет происходить в две стадии.

В результате выполнения первых двух пунктов предлагаемого метода построен график зависимости $\varepsilon = f(W_{св})$ (рис. 8). Из рис. 8 видно, что степень осветления начинает изменяться с емкости бьефа в 3,5 м³, которая принимается за свободную емкость второй стадии. Объем заиления первой стадии будет равен

$$W_3^I = W_n - W'_n = 5,15 - 3,5 = 1,65 \text{ м}^3.$$



Степень осветления по расчету для первой стадии должна быть порядка 0,95, по данным же опытов она составляет 0,91. Это значение ε было принято при расчетах заиления.

При часовом стоке наносов (для первой стадии), равном 0,0598 м³, срок заиления первой стадии составляет

$$t = \frac{1,65}{0,91 \cdot 0,0598} = 30,4 \text{ час.}$$

Расчет второй стадии заиления приводится в табл. 4. Результаты расчета заиления первой и второй стадии бьефа 2 по методу автора представлены на

рис. 9. На этот же рисунок наложены экспериментальные данные

Таблица 4

t, час.	Свободный объем бьефа, м³	Степень осветления ε (из графика рис. 8)	Сток наносов G, м³	Объем заиления, м³	Суммарное время с учетом первой стадии, час.	Суммарный объем заиления с учетом первой стадии, м³
5	3,5	0,91	0,32	0,291	35,4	1,94
5	3,209	0,9	0,32	0,288	40,4	2,229
4,3	2,91	0,86	0,208	0,179	44,7	2,408
5	2,731	0,82	0,264	0,216	49,7	2,624
5	2,515	0,78	0,35	0,273	54,7	2,897
5	2,232	0,71	0,38	0,27	59,7	3,07
5	1,962	0,64	0,35	0,224	64,7	3,30
5	1,738	0,58	0,354	0,205	69,7	3,505
5	1,533	0,53	0,354	0,187	74,7	3,69

объемов отложений (см. табл. 2), которые хорошо совпадают с расчетными данными.

Заиление I Тедженского водохранилища. Полная проектная емкость водохранилища при отметке горизонта воды перед плотиной, равной 258,0, составляет 148 млн. m^3 .

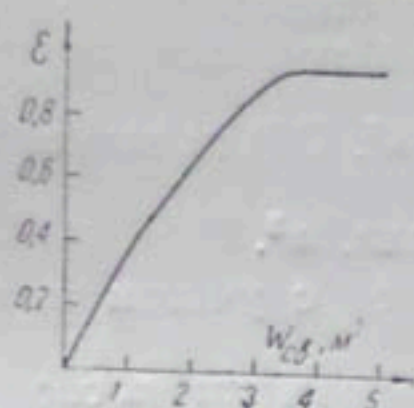


Рис. 8. Расчетная кривая изменения степени осветления в зависимости от свободной емкости модельного бьефа 2.

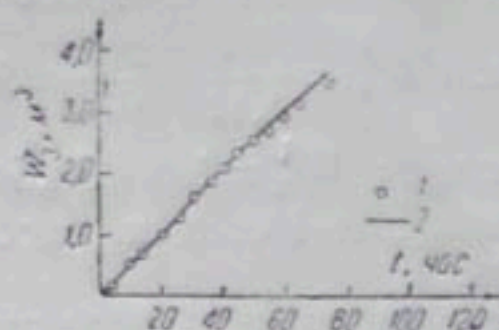


Рис. 9. Объемы заиления подпертого бьефа модели 2:

1—модельные данные; 2—расчет по методу автора.

За период эксплуатации с 1950^{*} по 1957 г., по данным проектного Института Туркменгипроводхоза, сток наносов в верхнем (по посту Ата-Яб) и нижнем бьефе плотины характеризовался величинами, приведенными ниже.

Годы	Сток наносов, млн. m	Сток наносов в н/б плотины, млн. m	Объем заиления, млн. m
1950	2,286	0	2,286
1951	4,359	0,015	4,344
1952	12,532	0,017	12,515
1953	7,137	0,011	7,126
1954	17,248	0,027	17,221
1955	8,93	0,01	8,92
1956	23,685	0,028	23,657
1957	27*	0,035	26,965

Как видим, твердый сток почти полностью осаждается в водохранилище.

Общий объем заиления за упомянутый период составляет 103,034 млн. m , или при объемном весе наносов $\gamma = 1,3 \text{ т/м}^3$ равен 79,2 млн. m^3 .

На рис. 10 приводятся годовые стоки воды за период с 1929 по 1957 г. За указанный период наблюдается цикличность колебания стока. Так, на рис. 10 можно выделить три цикла.

Произведем расчет заиления по предлагаемой методике. Объем русла, транспортирующего все частицы взвешенных наносов в пределах начальной емкости бьефа, вычисленный по формулам С. Т. Алтунина, равен 2,82 млн. m^3 .

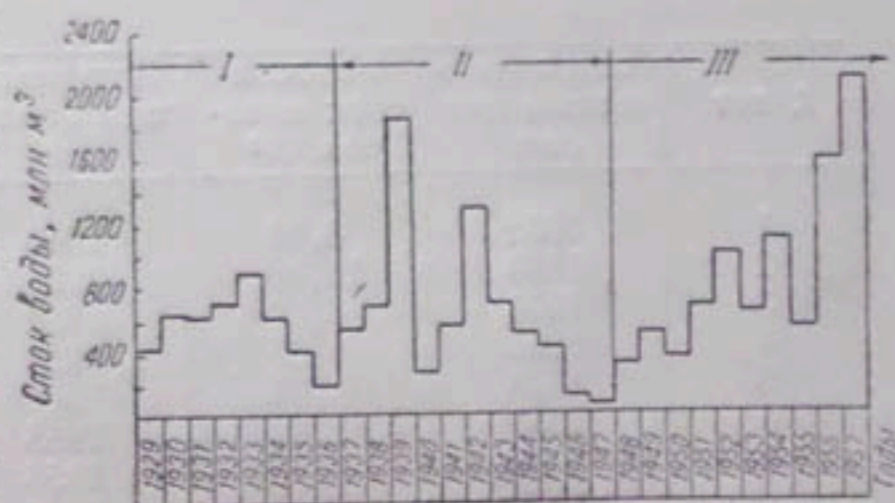


Рис. 10. График колебания годовых стоков р. Теджен по г/посту Ата-Яб.

* Приводится приближенный сток, взятый по кривой зависимости стока наносов от стока воды.

Отношение $\frac{W'_p}{W'_n} = \frac{2,82}{148} = 0,019$. Так как указанное отношение меньше 0,12, заиление будет происходить в две стадии. Объем бьефа, начиная с которого будет наблюдаться вторая стадия заиления, равен $W'_n = \frac{W'_p}{0,12} = \frac{2,82}{0,12} = 23,5$ млн. m^3 . Объем заиления первой стадии составляет $W'_3 = 148 - 23,5 = 124,5$ млн. m^3 .

Сроки заиления I стадии рассчитываются с учетом цикличности колебаний стока.

В момент составления проекта проектировщики располагали результатами наблюдения с 1929 по 1944 г., охватывающими неполный I и полный II циклы (рис. 10).

Желая сверить данные, полученные нашим методом, с фактическими данными заиления гидроузла, мы рассматривали период с начала составления проекта. Вследствие того, что проектирование и строительство происходит в течение определенного периода, при рассмотрении расчета мы должны исключить из принимаемого в расчет цикла указанный период. Предположим, что гидроузел вступит в эксплуатацию после 6 лет проектирования и строительства. Начало проектирования относится к 1944 г., конец строительства — к 1950. Для расчета необходимо исключить 3 года второго цикла и 3 года нового цикла, принимаемого для расчета.

Допустим также, что после вступления в эксплуатацию гидроузла будет наблюдаться I неполный цикл. Тогда, исключив 3 года из принимаемого цикла, получим, что расчет заиления необходимо начинать с 1932 г. Так как каждый цикл имеет продолжительность 11 лет, то расчет необходимо производить на оставшееся количество лет цикла, т. е. с 1932 по 1939 гг.

Затем должны следовать новые циклы, например II и др.

В табл. 5 приведены результаты расчета сроков и объемов заиления I стадии по методу, предложенному автором.

Таблица 5

t , лет	Годы по расчетным циклам	Годовой сток наносов, m^3	Натурные годы заиления	Объем заиления, $m^3 \cdot 10^6$	Суммарный объем заиления, $m^3 \cdot 10^6$
1	1932	8,24	1950	8,24	8,24
2	1933	11,40	1951	11,40	19,34
3	1934	6,39	1952	6,39	25,73
4	1935	3,6	1953	3,6	29,33
5	1936	1,34	1954	1,34	30,67
6	1937	5,92	1955	5,92	36,59
7	1938	9,25	1956	9,25	45,84
8	1939	19,4	1957	19,4	65,24
9	1937	5,92	1958	5,92	71,02
10	1938	9,25	1959	9,25	80,32
11	1939	19,4	1960	19,4	99,52
12	1940	1,0	1961	1,0	100,52
13	1941	5,92	1962	5,92	106,44
14	1942	15,4	1963	15,4	121,84

Как видно из табл. 5, суммарный объем заиления на 1963 г. достигает величины 121,84, что почти соответствует объему заиления первой стадии, полученному расчетом выше (124,5 млн. m^3). Это указывает на то, что в 1964 г. будет наблюдаться вторая стадия заиления, объемы и сроки заиления которой определяются по методу В. С. Лап-

шенкова. Поскольку суммарный объем заиления (см. табл. 4) меньше расчетного на 2,66 млн. м³, предельно заиляемый объем второй стадии заиления необходимо определять с учетом этой разницы:

$$V_{II} = (23,5 + 2,66) - 2,82 = 23,34 \text{ млн. м}^3.$$

Степень осветления второй стадии принимается порядка 0,95.

Расчет заиления необходимо выполнять для следующих лет: 1942—1946 гг. (второй цикл), 1929—1936 гг. (первый цикл) согласно расчетным циклам.

Средний сток наносов за указанные годы составляет 5,25 млн. м³, который и принимается в расчет.

Характеристика заиляемости определится по формуле

$$E = \frac{V_{II}}{\epsilon' G} = \frac{23,34}{0,95 \cdot 5,25} =$$

$$\frac{23,34}{5,0} = 4,65 \text{ лет,}$$

объем заиления—по формуле (8).

Результаты расчета по методу В. С. Лапшенкова второй стадии заиления представлены в табл. 6.

Таблица 6

$t, \text{ лет}$	$\frac{t}{E}$	$\frac{t}{e^E}$	$\frac{1}{\frac{t}{e^E}}$	$1 - \frac{1}{\frac{t}{e^E}}$	V_3	Суммарный объем заиления с учетом I ста- дии, млн. м ³
1	0,213	1,23	0,814	0,186	4,32	126,16
2	0,43	1,53	0,655	0,345	8,0	129,84
3	0,645	1,91	0,524	0,476	10,9	132,74
4	0,86	2,36	0,425	0,575	13,2	135,04
5	1,075	2,93	0,342	0,658	15,1	136,94
6	1,29	3,63	0,276	0,724	16,6	138,44
7	1,50	4,46	0,224	0,776	17,8	139,64
8	1,72	5,59	0,179	0,821	18,9	140,74
9	1,94	6,96	0,143	0,857	19,7	141,54
10	2,15	8,6	0,116	0,884	20,3	142,14

Данные табл. 5 и 6 нанесены на рис. 11. На этом же рисунке отражены данные табл. 7.

Как видно из рис. 11, расчет способом автора удовлетворительно совпадает с натурными данными. Полное заиление по расчету следует ожидать в 1973 г.

Расчет заиления Ташкепринского водохранилища на р. Мургаб. Водохранилище вступило в нормальную эксплуатацию в 1941 г. Но уже с 1939 г. (еще в период строительства) происходило накопление воды в нем примерно до 50% его проектного объема. Первоначальный объем водохранилища при отметке 321,31 составил 166 млн. м³. Показатели стока наносов р. Мургаб по г/посту Тахтабазар с поправ-

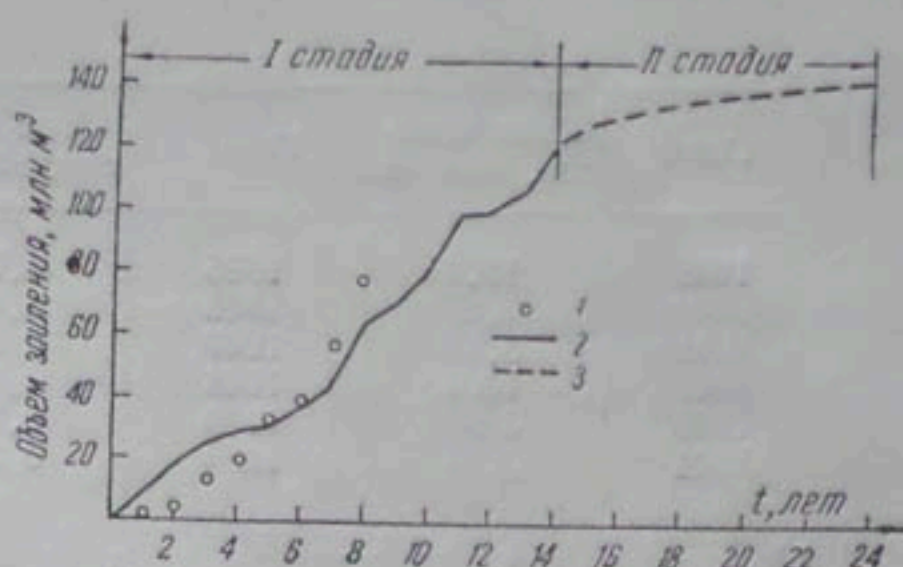


Рис. 11. Изменение объемов заиления I Тедженского водохранилища:

1—натуральные данные; 2—расчет I стадии заиления по методу автора; 3—расчет II стадии заиления по методу В. С. Лапшенкова.

кой на сток р. Кушка, впадающей ниже указанного г/поста, за период с 1939 по 1955 г. приведены в табл. 7.

Суммарный сток за период эксплуатации с 1939 по 1955 г., т. е. за 17 лет, составляет 121,69 млн. т, или 93,5 млн. м^3 ; объем заиления Ташкепринского водохранилища, определенный на основании топографических съемок, — 92,7 млн. м^3 .

Таблица 7

Годы	Сток наносов, млн. т	Годы	Сток наносов, млн. т	Годы	Сток наносов, млн. т
1939	15,2	1945	4,7	1951	9,99
1940	3,27	1946	3,0	1952	9,13
1941	8,15	1947	2,8	1953	9,10
1942	10,6	1948	4,19	1954	12,2
1943	3,99	1949	9,55	1955	6,5
1944	3,03	1950	6,29		

На основании приведенных данных можно утверждать, что за 17 лет в водохранилище произошло почти полное отложение наносов,

что соответствует первой стадии заиления.

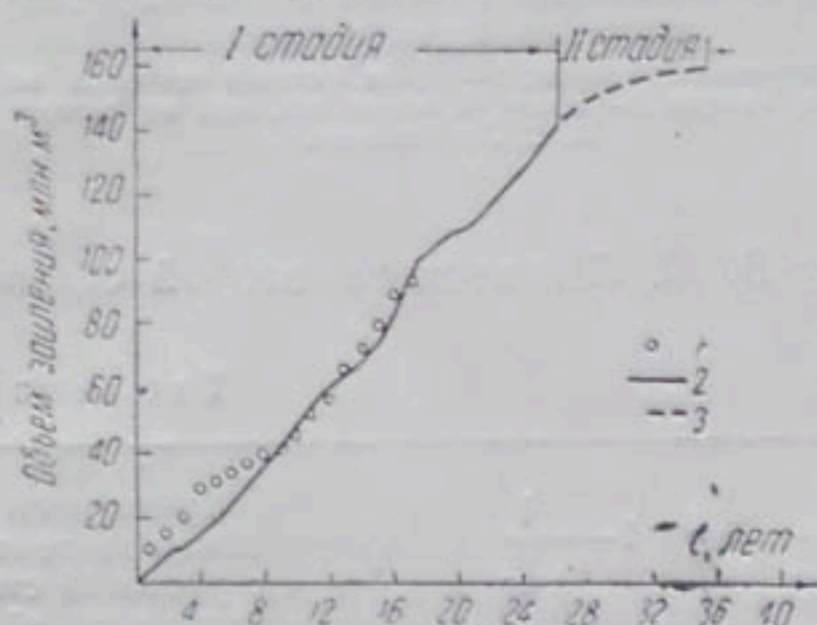


Рис. 12. Объемы заиления Ташкепринского водохранилища на р. Мургаб:

1 — натурные данные; 2 — расчет I стадии заиления по методу автора; 3 — расчет II стадии заиления по методу В. С. Лапшенкова.

Расчет заиления первой стадии по методу автора произведен аналогично расчету I Тедженского водохранилища с учетом цикличности колебаний стока. В расчет приняты только известные при проектировании циклы. Расчет второй стадии выполнен по методу В. С. Лапшенкова. На рис. 12 наложены расчетные и натурные данные, дающие хорошее совпадение. Полное заиление по расчету следует ожидать в 1973 г.

Султанбентское водохранилище на р. Мургаб. Султанбентское водохранилище вступило в

эксплуатацию в 1910 г. Полное заиление водохранилища наступило в 1928 г., т. е. через 19 лет. Первоначальная длина бьефа равна 25 км. Для среднемноголетнего среднепаводкового расхода воды в $100 \text{ м}^3/\text{сек}$, мутности потока для этого периода $\rho = 7,9 \text{ кг}/\text{м}^3$ и средней гидравлической крупности состава взвешенных наносов $\bar{U} = 1,83 \text{ мм}/\text{сек}$ объем русла $W'_p = 2,73 \text{ млн. м}^3$.

Отношение

$$\frac{W'_p}{W_n} = \frac{2,73}{73,5} = 0,037.$$

Следовательно, заиление будет происходить в две стадии.

Свободный объем второй стадии вычисляется так:

$$W'_n = \frac{W'_p}{0,12} = 22,7 \text{ млн. м}^3.$$

Объем заиления первой стадии равен $W_1^1 = 73,5 - 22,7 = 50,8$ млн. m^3 , при среднем стоке наносов за период с 1910 по 1928 г. — 5 млн. m^3 . Срок заиления первой стадии $t_1 = \frac{50,8}{5} = 10$ лет.

Расчет второй стадии произведен по методу В. С. Лапшенкова. При времени заиления второй стадии $t = 9$ лет объем отложений составляет 17,6 млн. m^3 .

При общем сроке заиления $t = 19$ лет объем заиления равен 68,4 млн. m^3 . Расчетный объем отличается от фактического на 3%.

ВЫВОДЫ

1. Интенсивность заиления бьефов и водохранилищ характеризуется величиной осветления ε , которая зависит от отношения $\frac{W_p'}{W_n}$. В зависимости от величины упомянутого отношения, заиление может происходить в одну или в две стадии. В тех случаях, когда $\frac{W_p'}{W_n} = 0,12 - 1$, степень осветления изменяется от 0,97 до 0. Следовательно, в таких бьефах объем отложений выражается уменьшающейся долей твердого стока, что соответствует второй стадии заиления. Степень осветления бьефов второй стадии заиления может быть определена по формуле (3). Для бьефов, имеющих отношение $\frac{W_p'}{W_n} < 0,12$, заиление будет происходить в две стадии. В первой стадии бытовые наносы полностью откладываются в верхнем бьефе. По мере заиления бьефа отношение $\frac{W_p'}{W_n}$ уменьшается. После того, как указанное отношение достигнет величины 0,12, в бьефе в последующий период будет наблюдаться вторая стадия заиления. Степень осветления бьефа второй стадии по мере его заиления изменяется по уравнению (5). Следовательно, граница стадий устанавливается величиной отношения $\frac{W_p'}{W_n} = 0,12$, которая подтверждается материалами трех натуральных бьефов и двух лабораторных.

2. Автором подтверждена методика расчета заиления бьефов, предложенная В. С. Лапшенковым.

3. Ввиду того, что при выводе формулы (8) была использована зависимость (5), справедливая только для бьефов, имеющих вторую стадию заиления, метод В. С. Лапшенкова необходимо применять при расчетах указанных бьефов. Расчет заиления второй стадии по методу В. С. Лапшенкова дает хорошее совпадение с фактическими данными.

4. Расчет сроков и объемов отложений первой стадии заиления выполняется по методу автора, описанному выше.

5. Для бьефов, имеющих постепенное расширение от бытового русла в сторону плотины, расчет заиления второй стадии может быть выполнен по методу автора путем построения расчетного графика $\varepsilon = f(W_{cb})$ с помощью зависимости (3).

6. Приведенные данные о заилении верхних бьефов, а также результаты расчета аккумуляции наносов по предлагаемой методике свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика хорошо отражает процесс заиления в подпертых бьефах. Поэтому она может быть вполне

использована при составлении прогноза заиления в верхних бьефах проектируемых гидроузлов, имеющих постоянный горизонт воды перед плотиной.

7. Существующие, а также предлагаемый метод не учитывают процесса образования донного потока. В случае же образования в бьефах донных потоков расчет заиления необходимо производить по соответствующей методике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скрыльников В. А. Расчет заиления подпертых бьефов гидроузлов. Учет цикличности колебаний стока при расчете заиления подпертых бьефов гидроузлов. Вопросы энергетики, гидротехники и горного дела, Ташкент, 1961.
2. Лапшенков В. С. Вопросы прогноза аккумуляции наносов в подпертых бьефах гидроузлов. Автореферат канд. диссертации, Ташкент, 1960.
3. Скрыльников В. А. О некоторых упрощенных методах расчета заиления подпертых бьефов гидроузлов, Вопросы гидротехники, вып. 6, 1962.
4. Алтуни С. Т. Заиление водохранилищ и размывов русла в нижнем бьефе плотин, В сб. „Русловые процессы“, М., АН СССР, 1958.

А. В. БОЧАРИН

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПОСТУПЛЕНИЯ ПЛОТНЫХ ПОТОКОВ В ВОДОЗАБОРНЫЕ ОТВЕРСТИЯ¹

В практике проектирования и эксплуатации водохранилищ, расположенных на реках, несущих большое количество взвешенных наносов, прудов-охладителей теплоэлектростанций, водозаборов промышленного и коммунального водоснабжения, расположенных на дельтовых участках рек, впадающих в соленые водоемы, приходится учитывать образование плотных потоков. Как показывает опыт эксплуатации ряда зарубежных объектов вышеперечисленного назначения, плотные потоки образуются за счет разницы в плотностях поступающего потока и аккумулируемого объема воды. При этом разница в плотности может быть обусловлена насыщением потока твердыми компонентами, например, взвешенными наносами, или растворимыми компонентами, например, соленой водой, или разностью температур воды.

Образующийся плотный поток может двигаться отдельным слоем в сторону общего падения, достичь водозаборного отверстия и при определенных условиях поступить в него.

Количественное и качественное поступление плотных потоков в водозаборное отверстие играет большую роль при расчете заиления водохранилища, поступления наносов в нижний бьеф узла, эффективности прудов-охладителей, выборе створа водозабора водоснабжения и т. д.

Условия поступления плотных потоков исследовали за рубежом и частично в Ленинградском политехническом институте*. В результате предложен ряд эмпирических графиков связи вида

$$\frac{\Delta\gamma_{сбр}}{\Delta\gamma_1} = \frac{S_{сбр}}{S_1} = f\left(\frac{z_l}{\frac{\sqrt[3]{q^2}}{g'}}\right) \quad (1)$$

и для круглых отверстий

$$\frac{\Delta\gamma_{сбр}}{\Delta\gamma_1} = \frac{S_{сбр}}{S_1} = f\left(\frac{z_l}{\frac{\sqrt[5]{Q^2}}{g'}}\right), \quad (2)$$

¹ Работа выполнена под руководством канд. техн. наук А. М. Мухамедова. В исследованиях и обработке материалов принимал участие мл. н. сотр. Я. С. Мухамедов.

* Н. П. Кулеш под руководством И. И. Леви.

где

$$\Delta \gamma_{сбр} = \gamma_{сбр} - \gamma_1,$$

$$q = \frac{Q}{b}; \quad g' = g \frac{\Delta \gamma_1}{\gamma_1};$$

γ ; γ_1 ; $\gamma_{сбр}$ — объемный вес чистой воды, плотного потока и сбросного расхода;

S_1 и $S_{сбр}$ — насыщение плотного потока и сбросного расхода;

b — ширина сбросного отверстия;

z_l — расстояние от центра сбросного отверстия до поверхности плотного потока.

Поскольку предложенные графики имеют эмпирическую основу, вполне естественно, что они существенно расходятся.

Нами предпринята попытка решить задачу поступления плотных потоков в водозаборные отверстия на основе теории потенциального движения жидкости. При этом приняты следующие допущения:

1) движение установившееся;

2) плотность потока постоянна по высоте и времени;

3) силами трения, вызванными вязкостными напряжениями, пренебрегаем;

4) площадь сбросного отверстия пренебрежимо мала по сравнению с площадью живого сечения плотного потока. Действующими на единицу объема плотного потока, аккумулируемого в бьефе с координатами x и z , будут являться силы: тяжести (F_T), взвешивания ($F_{вз}$), всасывания ($F_{вс}$) и инерции ($F_{ин}$) (рис. 1а).

Применяя принцип Даламбера для проекций сил на координатные оси, имеем*

$$\left. \begin{aligned} \sum F_z &= (F_T - F_{вз}) - F_{вс} \cdot \cos \varphi + F_{z ин} = 0 \\ \sum F_x &= -F_{вс} \cdot \sin \varphi + F_{x ин} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Выражаем

$$F_T - F_{вз} = \gamma_1 - \gamma = \Delta \gamma_1, \quad (4)$$

$$F_{x ин} = \frac{\gamma_1}{g} \cdot \frac{dv_x}{dt}, \quad (5)$$

$$F_{z ин} = \frac{\gamma_1}{g} \cdot \frac{dv_z}{dt}, \quad (6)$$

* За положительное принято отвечающее направление координатных осей.

$$F_{\text{вс}} = \frac{\gamma_1}{g} \cdot \frac{du}{dt}; \quad (7)$$

здесь v_x и v_z — соответствующие проекции результирующей скорости движения плотного потока;

u — потенциал скорости сбросного отверстия.

Последний, как известно, выражается в виде

$$u = \frac{Q}{2\pi r^2} = \frac{q_0}{r^2}; \quad (8)$$

где

$$q_0 = \frac{Q}{2\pi}; \quad (9)$$

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}. \quad (10)$$

Принимая

$$dt = \frac{dx}{v_x} = \frac{dz}{v_z} = \frac{dr}{u}, \quad (11)$$

имеем

$$F_{x \text{ ин}} = \frac{\gamma_1}{g} v_x \frac{dv_x}{dx}; \quad F_{z \text{ ин}} = \frac{\gamma_1}{g} v_z \frac{dv_z}{dz},$$

$$F_{\text{вс}} = -\frac{2\gamma_1 q_0^2}{gr^5}.$$

Подставляя выражения (8) — (11) в уравнение (3), получаем

$$\left. \begin{aligned} \Delta\gamma_1 - \frac{2\gamma_1 q_0^2}{gr^5} \cdot \cos \varphi + \frac{\gamma_1 v_z \cdot dv_z}{g dz} &= 0 \\ -\frac{2\gamma_1 q_0^2}{gr^5} \cdot \sin \varphi + \frac{\gamma_1 v_x \cdot dv_x}{g dz} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Из рис. 1а следует

$$z = r \cdot \cos \varphi \text{ и } x = r \cdot \sin \varphi,$$

откуда

$$dz = dr \cdot \cos \varphi \text{ и } dx = dr \cdot \sin \varphi \quad (13)$$

или окончательно

$$\left. \begin{aligned} g' dr \cdot \cos \varphi - \frac{2q_0^2}{r^5} dr \cdot \cos^2 \varphi + v_z \cdot dv_z &= 0 \\ -\frac{2q_0^2}{r^5} dr \cdot \sin^2 \varphi + v_x \cdot dv_x &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Уравнения (14) являются основными уравнениями движения плотного потока к сбросному отверстию в дифференциальной форме. Интегрируя их для условий $\gamma_1 = \text{const}$; $\varphi = \text{const}$, получаем

$$\left. \begin{aligned} g' \cdot r \cdot \cos \varphi + \frac{q_0^2}{2r^4} \cdot \cos^2 \varphi + \frac{v_z^2}{2} &= C_z \\ + \frac{q_0^2}{2r^4} \cdot \sin^2 \varphi + \frac{v_x^2}{2} &= C_x \end{aligned} \right\}. \quad (15)$$

Граничными условиями последнего уравнения будут являться $r = 0$ и предельный радиус влияния сбросного отверстия $r_{\text{пр}}$.

Единица объема плотного потока, расположенная на расстоянии $r = r_{\text{пр}}$ от центра сбросного отверстия, находится в состоянии относительного покоя, или иначе

$$v = v_x = v_z = 0; \quad (16)$$

тогда

$$C_z = g' r_{\text{пр}} \cdot \cos \varphi - \frac{q_0^2}{2r_{\text{пр}}^4} \cdot \cos^3 \varphi, \quad (17)$$

$$C_x = - \frac{q_0^2}{2r_{\text{пр}}^4} \cdot \sin^2 \varphi \quad (18)$$

или

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2} = \sqrt{q_0^2 \left(\frac{1}{r^4} - \frac{1}{r_{\text{пр}}^4} \right) - 2g' (r_{\text{пр}} - r) \cos \varphi}. \quad (19)$$

Численное значение величины $r_{\text{пр}}$ определяем из условия равенства всасывающей силы сбросного отверстия и проекции на r результирующих сил взвешивания и тяжести, т. е.

$$\Delta \gamma_1 \cdot \cos \varphi = \frac{2\gamma_1 \cdot q_0^2}{g \cdot r_{\text{пр}}^5}, \quad (20)$$

откуда

$$r_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{2q_0^2}{g' \cdot \cos \varphi}}. \quad (21)$$

Уравнение (19) является основным уравнением движения плотного потока к сбросному отверстию в явной форме.

Составим уравнение баланса расходов избытка плотности (или насыщения), подходящего к сбросному отверстию и выходящему из него

$$\Delta \gamma_{\text{сбр}} \cdot Q = \Delta \gamma_1 \cdot \Delta Q, \quad (22)$$

где ΔQ — расход, поступающий из зоны аккумуляции плотного потока. Как известно, он выражается так:

$$\Delta Q = v \Delta \omega;$$

здесь $\Delta \omega$ — площадь эквипотенциальной поверхности, отвечающая потенциалу скорости v .

Тогда расчетная формула относительного избытка (или насыщения) плотности будет иметь вид

$$\frac{\Delta \gamma_{\text{сбр}}}{\Delta \gamma_1} = \frac{S_{\text{сбр}}}{S_1} = \frac{v \Delta \omega}{Q}. \quad (23)$$

Методика расчета v и $\Delta \omega$ применительно к различным конструктивным схемам сбросных отверстий рассматривается ниже.

а. СБРОСНОЕ ОТВЕРСТИЕ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ПЛОЩАДИ

Под отверстием сосредоточенной площади подразумеваются отверстия, для которых имеет место отношение $\frac{b}{h} < 2 \div 3$, т. е. когда их можно рассматривать как одиночный точечный сток.

Пусть поверхность плотного потока объемным весом γ_1 находится на расстоянии z_1 от центра сбросного отверстия O (рис. 1б). Для определения уравнения эквипотенциальной поверхности можно воспользоваться известным соотношением между функцией линии эквипотенциальной поверхности (Φ) и потенциалом скорости (v_p)

$$\Phi = \int v_p \cdot dr = \text{const.} \quad (1a)$$

Поскольку точное интегрирование его практически невозможно, решаем его приближенно.

Принимаем эквипотенциальную поверхность потока как часть площади сферы с расчетным радиусом R , ограниченной центральным углом $\varphi_{\text{пр}}$, т. е.

$$\Delta\omega = 2\varphi_{\text{пр}} \cdot R^2$$

и

$$v_p = \sqrt{q_0 \left(\frac{1}{R^4} - \frac{1}{R_{\text{пр}}^4} \right) - 2g'(R_{\text{пр}} - R) \cdot \cos \varphi_{\text{сп}}}, \quad (2a)$$

где $\varphi_{\text{пр}}$ — предельный угол поступления потока в сбросное отверстие, образуемый осью Oz и радиусом, соединяющим центр сбросного отверстия со следом пересечения плоскости плотного потока и поверхности радиуса $r_{\text{пр}}$.

Из рис. 1б следует

$$r_{\text{пр}} = \frac{z_1}{\cos \varphi_{\text{пр}}}. \quad (3a)$$

Из уравнения (21) имеем

$$r_{\text{пр}} = \sqrt[5]{\frac{2q_0^2}{g' \cos \varphi_{\text{пр}}}}.$$

Решая последние уравнения, получаем

$$\cos \varphi_{\text{пр}} = \sqrt[4]{\frac{z_1 \cdot g'}{2q_0^2}} = \left(\frac{z_1}{z_{\text{пр}}} \right)^{5/4} \quad (4a)$$

или

$$\varphi_{\text{пр}} = \arccos \left(\frac{z_1}{z_{\text{пр}}} \right)^{5/4},$$

где $z_{\text{пр}}$ — предельная высота всасывания плотного потока в сбросное отверстие, определяемая выражением

$$z_{\text{пр}} = \sqrt[5]{\frac{2q_0^2}{g_1}} \quad (\cos \varphi = 1), \quad (5a)$$

R_{np} — среднее значение предельного радиуса влияния сбросного отверстия в пределах изменения центрального угла φ от нуля до φ_{np} .
Численное значение R_{np} определим из уравнения (21), представляя его в виде

$$R_{np} = \frac{1}{\varphi_{np}} \int_0^{\varphi_{np}} \frac{z_{np}}{\sqrt[5]{\cos \varphi}} \cdot d\varphi = \frac{z_{np}}{z_l / \cos \varphi - z_l} \int_{z_l}^{z_l / \cos \varphi_{np}} \sqrt[5]{\frac{r}{z_l}} \cdot dr; \quad (6a)$$

здесь

$$\cos \varphi = \frac{z_l}{r}. \quad (7a)$$

Интегрирование уравнения (6a) дает

$$R_{np} = z_{np} \frac{5(1 - \cos^{5/4} \varphi_{np})}{6(1 - \cos \varphi_{np}) \cos^{1/4} \varphi_{np}} = z_{np} f_1 \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right), \quad (8a)$$

где

$$f_1 \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right) = \frac{5 \left[1 - \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right)^{1/4} \right]}{6 \left[1 - \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right)^{1/4} \right] \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right)^{1/4}}, \quad (9a)$$

φ_{cp} — средний центральный угол, отвечающий значению R_{np} .
Из уравнения (21) следует

$$\cos \varphi = \frac{2q_0^2}{g' R_{np}^5} = \frac{z_{np}^5}{R_{np}^5}. \quad (10a)$$

Расчетный радиус принятой сферы определится как среднее из диапазона его изменения от z_l до r_{max} .

Из рис. 16 имеем

$$r = \frac{z_l}{\cos \varphi} = z_l \cdot \sec \varphi. \quad (11a)$$

Поскольку величина r линейно связана с величиной $\sec \varphi$, то очевидно, что расчетный радиус будет отвечать среднему арифметическому изменению $\sec \varphi$ в пределах его изменения от единицы до $\sec \varphi_{np}$, т. е.

$$R = \frac{1}{2} z_l (1 + \sec \varphi_{np}) = \frac{z_l (1 + \cos \varphi_{np})}{2 \cos \varphi_{np}} \quad (12a)$$

или после подстановки значения $\cos \varphi_{np}$ —

$$R = z_l \frac{1 + \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right)^{1/4}}{2 \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right)^{1/4}} = z_l f_2 \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right), \quad (12'a)$$

где

$$f_2\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right) = \frac{1 + \left(\frac{z_l}{z_{np}}\right)^{5/4}}{2 \left(\frac{z_l}{z_{np}}\right)^{5/4}}. \quad (13a)$$

Расход плотного потока, поступающего в сбросное отверстие, определится следующим образом:

$$\Delta Q = 2\varphi_{np} \cdot R^2 \sqrt{q_0^2 \left[\frac{1}{R^4} - \frac{1}{R_{np}^4} \right] - 2g'(R_{np} - R) \cos \varphi_{cp}} \quad (14a)$$

или после соответствующей подстановки и последующих преобразований —

$$\Delta Q = 2q_0 f_2 \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right), \quad (14'a)$$

где

$$f_2\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right) = \arccos\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right)^{5/4} \sqrt{1 + \left[\frac{z_l f_2\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right)}{z_{np} f_1\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right)} \right]^4 \left[4 \frac{z_l f_2\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right)}{z_{np} f_1\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right)} - 5 \right]}. \quad (15a)$$

Поскольку при подходе плотного потока к сбросному отверстию потенциальное движение жидкости будет нарушаться вследствие образования пульсационных вихрей, то следует написать

$$\Delta Q = 2q_0 f_2 \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right) \cdot k_1; \quad (16a)$$

здесь k_1 — коэффициент, учитывающий пульсацию скорости вблизи отверстия.

Очевидно, что он зависит как от скорости в сечении сбросного отверстия, так и от гидравлических условий входа, ξ , т. е.

$$k_1 = f(v_{cp}; \xi), \quad (17a)$$

где ξ — коэффициент, учитывающий условие входа.

Расход чистой воды, поступающей в сбросное отверстие, определится так:

$$Qr = 2(\pi - \varphi_{np}) q_0. \quad (18a)$$

Полный расход сбросного отверстия получится как сумма обоих расходов:

$$Q = 2q_0 f_2 \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right) + 2(\pi - \varphi_{np}) q_0. \quad (19a)$$

Подставляя выражение (19a) в уравнение (23), получаем

$$\frac{\Delta \gamma_{сбр}}{\Delta \gamma_1} = \frac{S_{сбр}}{S_1} = \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{1}{1 + \frac{\pi - \varphi_{np}}{f_2\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right)}} = f\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right). \quad (20a)$$

Определение насыщения и расхода плотного потока значительно упрощается с применением графоаналитического метода. В этом случае при определенных значениях сбросного расхода и относительной плотности (или насыщения) плотного потока по формуле (5а) определяют предельную высоту влияния сбросного отверстия. Имея высоту поверхности плотного потока относительно центра сбросного отверстия z_p , вычисляют отношение $\frac{z_l}{z_{пр}}$ и по графику

$$\frac{z_l}{z_{пр}} = f\left(\frac{z_l}{z_{пр}}\right) = \frac{\Delta\gamma_{сбп}}{\Delta\gamma_l} = \frac{\Delta Q}{Q}$$

определяют искомую величину.

Ниже приведены численные данные $f\left(\frac{z_l}{z_{пр}}\right)$ в диапазоне изменения $\frac{z_l}{z_{пр}} = 0 \div 1$, которые могут служить для практических расчетов:

$z_l / z_{пр}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$f(z_l / z_{пр})$	0,5	0,43	0,39	0,35	0,3	0,25	0,2	0,14	0,064	0,028	0

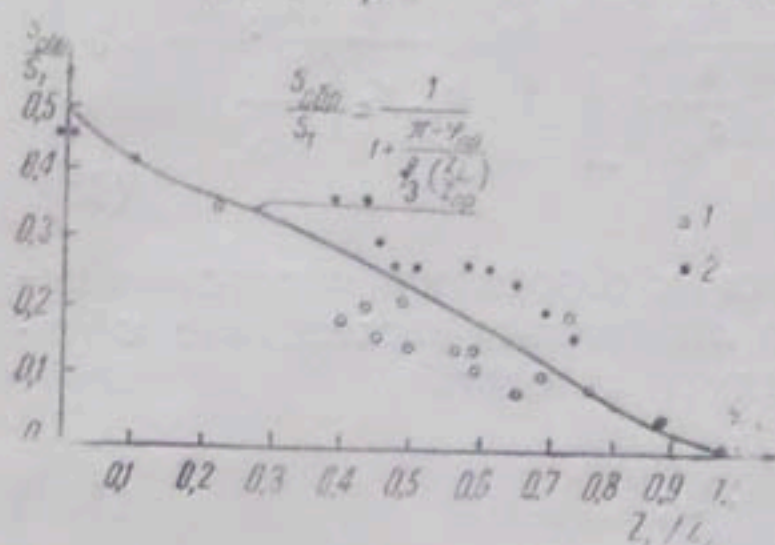


Рис. 2. График сравнения расчетной кривой относительного насыщения сбросного расхода с опытами ПНИИГ для отверстия $\omega = 2 \times 2 \text{ см}^2$ ($z_l \leq 0$): 1—вода, насыщенная взвесью, 2—соленая вода.

На рис. 2 приведен график связи $\frac{z_l}{z_{пр}} = f\left(\frac{z_l}{z_{пр}}\right)$ при $k_1 = 1,0$, на который нанесены экспериментальные точки опытов Пекинского научно-исследовательского института гидротехники (ПНИИГ). Опыты проводили в лотке $B \times H = 0,5 \times 0,6 \text{ м}$. Сбросные отверстия площадью $\omega_1 = 1 \times 1 \text{ см}^2$ и $\omega_2 = 2 \times 2 \text{ см}^2$ последовательно располагали на различной высоте от дна лотка. В качестве плотного потока использовали соляной раствор с плотностью 7 г/л и воду, насыщенную мелкими взвешенными наносами (до 14 кг/м^3).

Как видно из вышеизложенного, область определенности полученных решений отвечает условию, когда поверхность плотного потока лежит на оси или ниже оси сбросного отверстия ($z_l \leq 0$).

Для оценки поступления плотного потока, когда его поверхность располагается выше оси сбросного отверстия, воспользуемся понятием об устойчивом протекании плотного потока. Как известно, устойчивое протекание плотного потока зависит от его плотности, скорости и глубины, и в этом случае поверхность раздела предоставляет отчетливо заметную плоскость. При возрастании скорости нарушается устойчивое протекание, что проявляется в образовании продольных волн возмущения, которые вклиниваются в толщу чистой воды, способствуя интенсивному перемешиванию плотного потока. Аналогичную картину можно наблюдать и при подходе плотного потока к сбросному отверстию. В силу неравномерного режима движения плотного потока граничная поверхность его при подходе к сбросному отверстию будет иметь форму кривой спада, определяющей переход от нормальной к критической глубине плотного потока. Принимая, аналогич-

но предыдущему, движение плотного потока к сбросу как частный случай потенциального движения жидкости — движение к стоку, схеме поступления плотного потока в сбросное отверстие можно представить следующим образом.

Если при подходе плотного потока к сбросному отверстию его скорость меньше критической (равно, как глубина больше критической), то, принимая радиус сферы поступления равным критической глубине, получаем оптимальные условия поступления плотного потока в сброс, т. е. насыщение сбросного расхода отвечает насыщению плотного потока. Если при подходе плотного потока его глубина меньше критической, то произойдет нарушение его устойчивого протекания, что приведет к смешиванию плотного потока с вышележащими слоями чистой воды и, следовательно, к уменьшению плотности поступающего расхода. При этом очевидно, что вновь образованная глубина и плотность будут соответствовать своему критическому режиму движения плотного потока.

Как известно, критическому режиму движения отвечает условие минимума удельной энергии, т. е.

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial h} = 0. \quad (21a)$$

Для эквипотенциальной поверхности радиусом z_i выражение удельной энергии будет иметь вид

$$\mathcal{E} = z_i + \frac{q_i^2}{2g' z_i^4}, \quad (22a)$$

откуда

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial z_i} = 1 - \frac{2q_0^2}{g' h_k^5} = 0 \quad (23a)$$

или

$$h_k = \sqrt[5]{\frac{2q_0^2}{g'}} = z_{пр}. \quad (24a)$$

С учетом влияния пульсационных вихрей сбросного отверстия имеем

$$h_k = k_2 \cdot z_{пр}. \quad (25a)$$

Составим уравнение баланса избытка плотности (или насыщения), подходящего к сбросному отверстию и выходящего из него (рис. 3),

$$Q \cdot \Delta \gamma_{сбр} = \Delta Q \cdot \Delta \gamma_1, \quad (26a)$$

где

$$Q = 2\pi q_0, \quad (27a)$$

$$\Delta Q = 2 \left(\frac{\pi}{2} + \varphi \right) q_0. \quad (28a)$$

Из рис. 3 следует

$$\varphi = \arcsin \frac{z_i}{h_{кр}} = \arcsin \frac{z_i}{k_2 \cdot z_{пр}} \quad (29a)$$

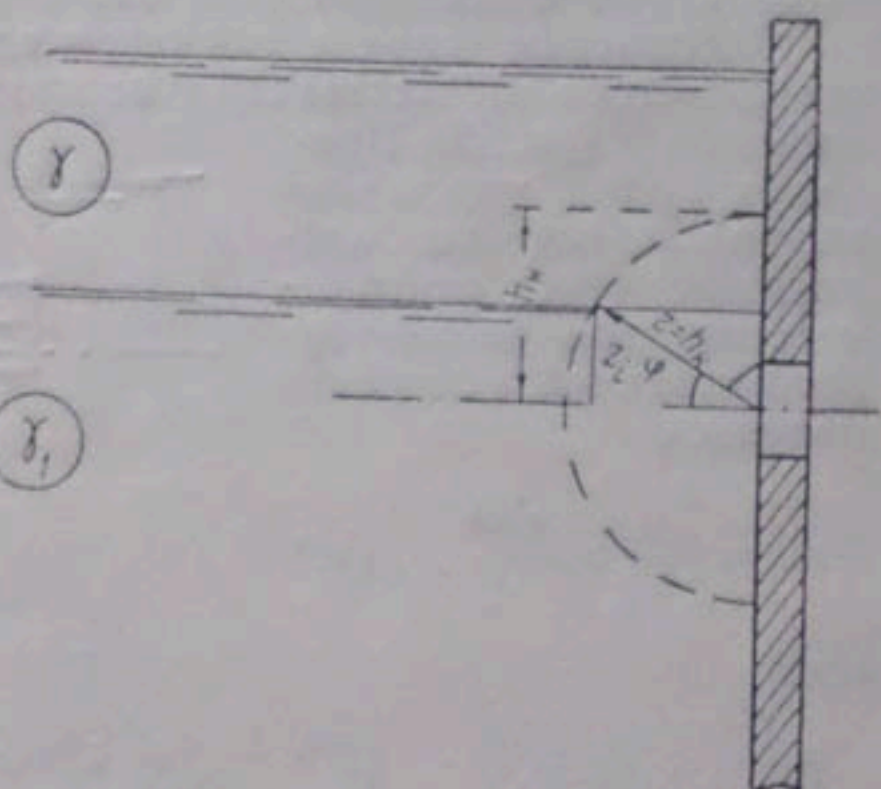


Рис. 3. Расчетная схема поступления плотного потока в водозаборное отверстие ($z_i > 0$).

или окончательно получаем

$$\frac{\Delta \gamma_{сбр}}{\Delta \gamma_1} = \frac{S_{сбр}}{S_1} = \frac{0,5 \pi + \arcsin \frac{z_i}{k \cdot z_{пр}}}{\pi}. \quad (30a)$$

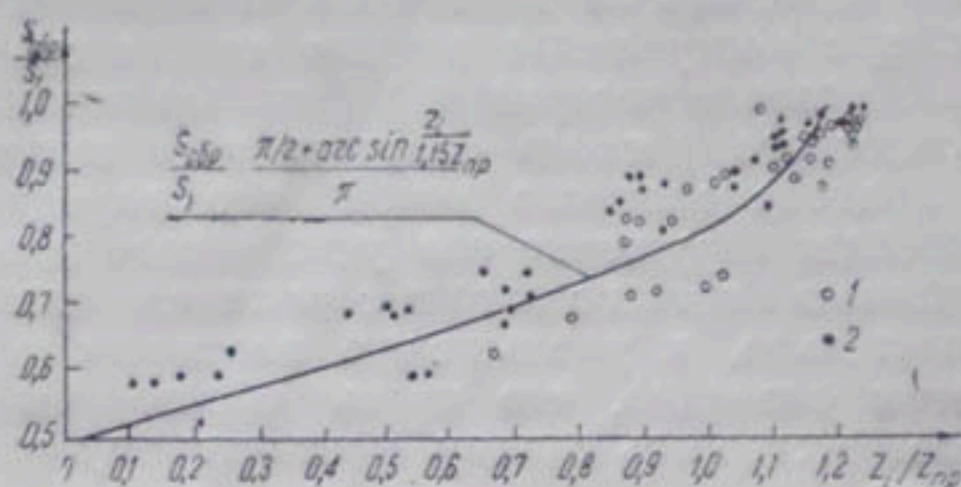


Рис. 4. График сравнения расчетной кривой относительного насыщения сбросного расхода с данными опытов ПНИИГ для отверстия сосредоточенной площади $\omega = 2 \times 2 \text{ см}^2$ ($z_i > 0$):

1—вода, насыщенная взвесью; 2—соленая вода.

На рис. 4 представлен график сравнения опытных данных ПНИИГ с расчетной кривой относительной плотности сбросного расхода, определяемой уравнением (30a) при $k_2 = 1,15$. Условия опытов идентичны вышеприведенным.

6. СБРОСНОЕ ОТВЕРСТИЕ В ВИДЕ ЩЕЛИ

Поступление плотного потока в щелевое сбросное отверстие представляем как

результат воздействия определенного количества точечных стоков, образующих потенциальное поле.

Рассмотрим условия движения единицы объема плотного потока, находящегося на расстоянии r от продольной оси сбросного отверстия шириною b (рис. 5). Принимая для упрощения расчетное сечение, проходящее через центр отверстия, для элементарного потенциала скорости получаем

$$du = \frac{q db}{2\pi r_x^2} = \frac{q_0 db}{r_x^2}, \quad (16)$$

где

$$q = \frac{Q}{b}; \quad q_0 = \frac{q}{2\pi}. \quad (26)$$

Из рис. 5 следует

$$db = r [\operatorname{tg}(\varphi + d\varphi) - \operatorname{tg}\varphi] = r d(\operatorname{tg}\varphi) = \frac{r d\varphi}{\cos^2\varphi}, \quad (36)$$

$$r_x = \frac{r}{\cos\varphi}. \quad (46)$$

Подставляя полученное выражение (46) в уравнение (16), имеем

$$du = \frac{q_0}{r} \cdot d\varphi. \quad (56)$$

Поскольку для другой половины отверстия можно получить аналогичное и имея в виду, что суммируются лишь вертикальные проек-

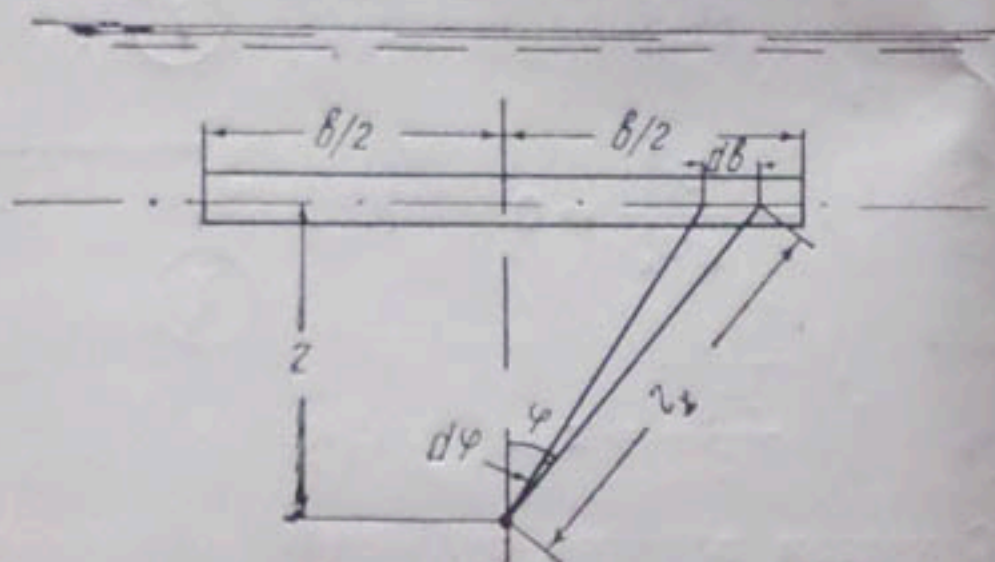


Рис. 5. Расчетная схема определения потенциала скорости водозаборного отверстия в виде щели.

ции потенциала скорости, получаем

$$du = \frac{2q'_0}{r} \cdot \cos\varphi \cdot d\varphi, \quad (66)$$

а результирующий потенциал скорости будет

$$u = \frac{2q'_0}{r} \int_0^{\arctg r/2b} \cos\varphi \cdot d\varphi = \frac{2q'_0}{r} \cdot \frac{b}{\sqrt{b^2 + 4r^2}}. \quad (76)$$

Так как r практически намного меньше b , то приближенно можно написать

$$u \approx \frac{2q_0}{r}. \quad (86)$$

Из полученного выражения потенциала скорости для щели видно, что расчет плотности, поступающей в сброс, можно производить на единицу ширины щели, которая образует потенциальное поле, определяемое последним уравнением. Здесь метод расчета является частным случаем расчета поступления в одиночный сток. Поскольку он достаточно подробно освещен в первой части настоящей работы, ниже приводим лишь окончательные результаты, минуя промежуточные преобразования, которые идентичны вышеизложенным.

1. Для $z_i < 0$ —

$$z_{np} = \sqrt{\frac{4q_0^2}{g'}}, \quad (96)$$

$$f_1\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right) = \frac{3\left(1 - \frac{z_i^2}{z_{np}^2}\right)}{4\left(1 - \frac{z_i^{3/2}}{z_{np}^{3/2}}\right) \frac{z_i^{1/2}}{z_{np}^{1/2}}}, \quad (106)$$

$$f_2\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right) = \frac{1 + \left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)^{3/2}}{2\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)^{3/2}}, \quad (116)$$

$$f_3\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right) = k_1 \cdot \arccos\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)^{3/2} \sqrt{1 + \left[\frac{z_i f_2\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)}{z_{np} f_1\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)}\right]^2 \left[2 \frac{z_i f_2\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)}{z_{np} f_1\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)} - 3\right]}, \quad (126)$$

$$f\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right) = \frac{1}{1 + \frac{\pi - \pi_{np}}{f_3\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)}}. \quad (136)$$

Ниже приведены значения расчетной кривой относительной плотности для диапазона изменения $\frac{z_i}{z_{np}} = 0 \div 1$ (при $k_1 = 1$):

z_i / z_{np}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$f(z_i / z_{np})$	0,5	0,325	0,3	0,27	0,23	0,18	0,14	0,09	0,05	0,007	0

На рис. 6а дан график связи $\frac{z_i}{z_{np}} = f\left(\frac{z_i}{z_{np}}\right)$ при $k_1 = 2,0$, на который нанесены экспериментальные точки опытов ПНИИГ. Опыты проводили в том же лотке с отверстиями $b \times h = 50 \times (0,2 \div 0,3)$ см², последовательно располагаемыми на различной высоте от дна. В качестве плотного потока использовали воду, насыщенную мелкими взвешенными наносами (до 14 кг/м³).

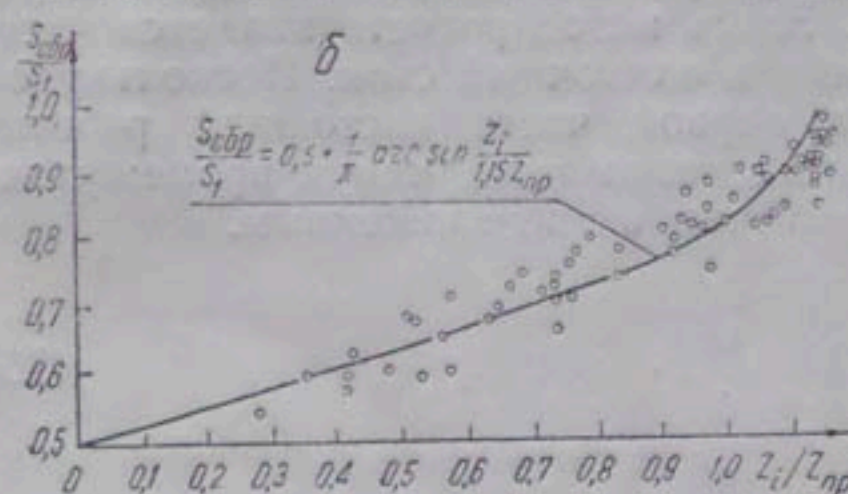
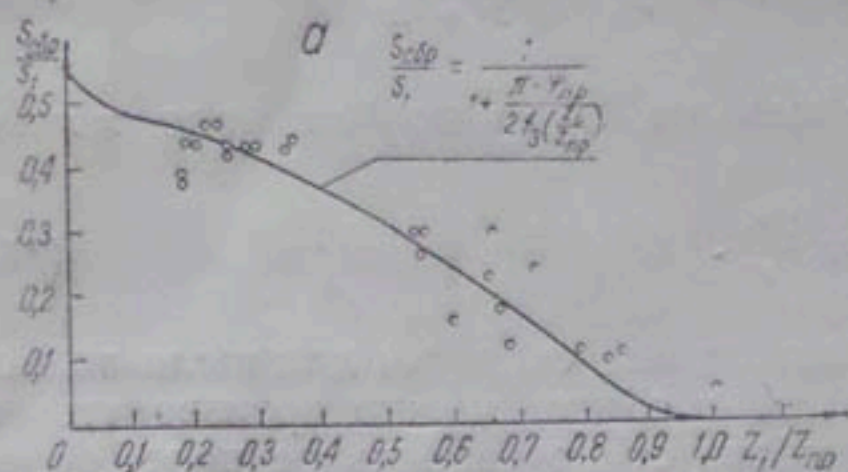


Рис. 6. График сравнения расчетной кривой относительного насыщения сбросного расхода с опытами ПНИИГ для отверстия в виде щели:

а— $z_i \leq 0$; б— $z_i > 0$; 1—вода, насыщенная взвесью.

2. Для условий $z_i > 0$ —

$$\frac{\Delta \gamma_{сбр}}{\Delta \gamma_1} = \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{z_i}{h_{кр}}}{\pi}, \quad (146)$$

где

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{4q_0^2}{g'}} = k_2 \cdot z_{np}. \quad (156)$$

На рис. 6б приведен график сравнения опытных данных ПНИИГ с расчетной кривой относительной плотности сбросного расхода, определяемого уравнением (146) при $k_2 = 1,15$. Условия опытов идентичны вышеприведенным.

В. ДВА СИММЕТРИЧНО РАСПОЛОЖЕННЫХ СБРОСНЫХ ОТВЕРСТИЯ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ПЛОЩАДИ

Рассмотрим задачу поступления плотного потока в сбросные отверстия I и II, расположенные на расстоянии $2B$ друг от друга и с расходом каждого, равным Q (рис. 7а).

Принципиально возможны два метода расчета. В первом случае можно определить результирующий потенциал скорости как векторную сумму потенциалов скорости каждого стока в области их взаимного влияния.

Поскольку модули составляющих векторов равны по величине и симметричны относительно оси Oz , то их результирующая будет направлена по оси симметрии. В этом случае эквипотенциальная поверхность представляет собой плоскость, ограниченную с обеих сторон дугами радиусом r_{np} .

Так как указанный метод требует громоздких вычислений, то целесообразно производить расчет, исходя из условий, что потенциал скорости каждого стока уменьшается на величину, равную проекции вектора потенциала скорости смежного стока на направление данного

вектора, т. е.

$$v_1 = v - \Delta v'. \quad (1в)$$

Из рис. 7а следует

$$\Delta v' = v \cdot \cos(180 - 2\varphi) = -v \cos 2\varphi. \quad (2в)$$

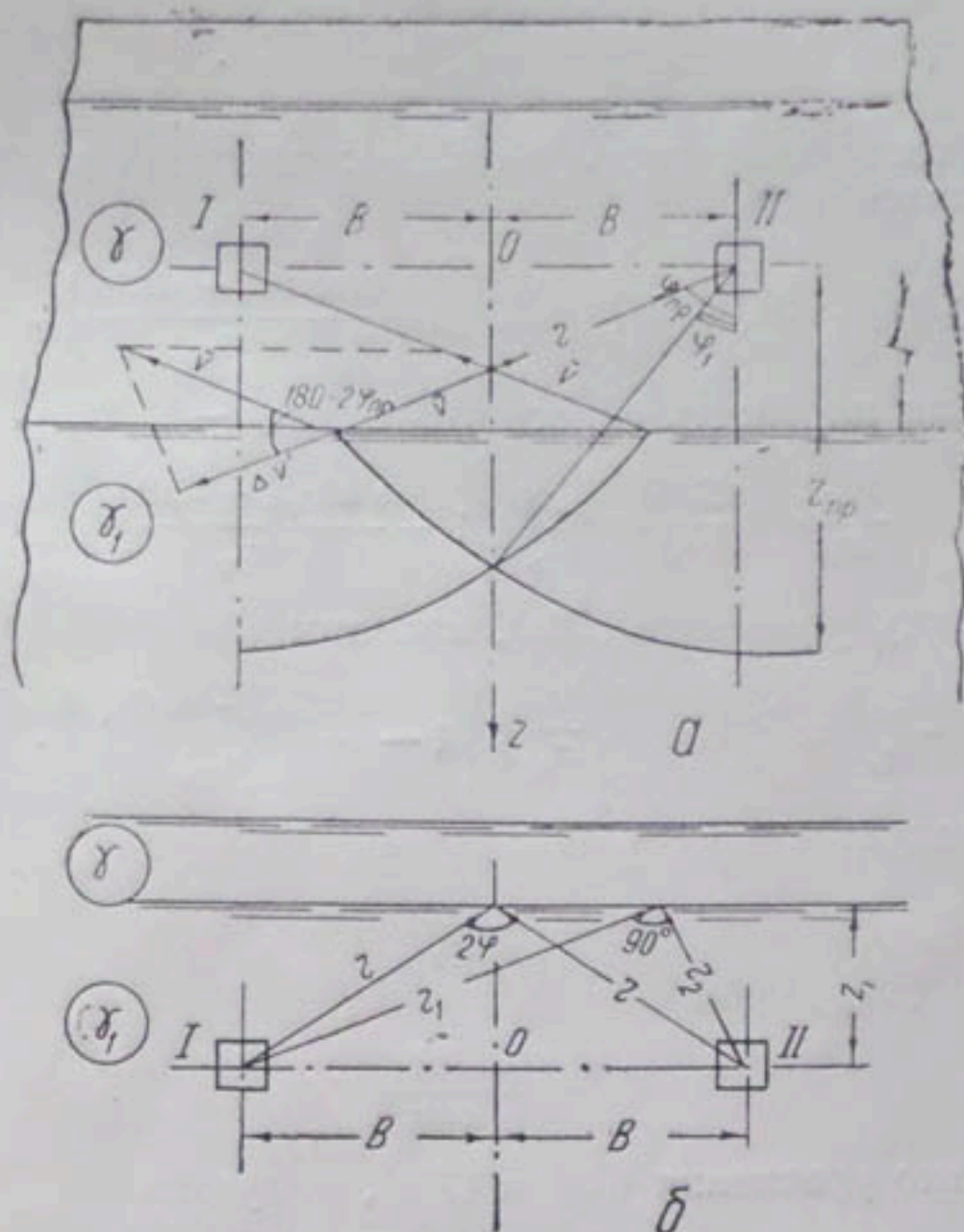


Рис. 7. Расчетная схема поступления плотного потока в два симметричных отверстия сосредоточенной площади:

$a-z_1 < 0$; $b-z_1 > 0$.

Поскольку область взаимного воздействия потенциалов скорости обоих стоков ограничена центральным углом $(\varphi_{np} - \varphi_1)$, то средняя величина Δv_1 определится следующим образом:

$$\Delta v' = \frac{v_p}{2\varphi_{np} - 2\varphi_1} \int_{180-2\varphi_1}^{180-2\varphi_{np}} \cos 2\varphi \cdot d\varphi \quad (3в)$$

или после преобразований —

$$\Delta v' = \frac{v_p (\sin 2\varphi_{np} - \sin 2\varphi_1)}{4 (\varphi_{np} - \varphi_1)}. \quad (3'в)$$

Расход, отвечающий указанному потенциалу скорости, выразится следующим образом:

$$\Delta Q' = \frac{2 (\varphi_{np} - \varphi_1) \cdot R^2 \cdot v_p (\sin 2\varphi_{np} - \sin 2\varphi_1)}{4 (\varphi_{np} - \varphi_1)} =$$

$$= \frac{R^2}{2} v_p \cdot (\sin 2\varphi_{np} - \sin 2\varphi_1). \quad (4в)$$

Решая выражение (4в) совместно с уравнением (14а), получаем

$$\Delta Q' = \frac{\Delta Q (\sin 2\varphi_{np} - \sin 2\varphi_1)}{4\varphi_{np}}. \quad (4'в)$$

Суммарный расход плотного потока, поступающий в сбросное отверстие, определится как

$$\Sigma \Delta Q = \Delta Q - \Delta Q' = \Delta Q \left(1 - \frac{\sin 2\varphi_{np} - \sin 2\varphi_1}{4\varphi_{np}} \right), \quad (5в)$$

а относительная плотность сбросного расхода —

$$\frac{\Delta \gamma_{сбр}}{\Delta \gamma_1} = \frac{\Sigma \Delta Q}{Q} = \frac{\Delta Q}{Q} \left[1 - \frac{\sin 2\varphi_{np} - \sin 2\varphi_1}{4\varphi_{np}} \right] \quad (6'в)$$

или, имея в виду уравнение (20а), находим

$$\frac{\Delta \gamma_{сбр}}{\Delta \gamma_1} = \frac{S_{сбр}}{S_1} = f \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right) \left[1 - \frac{\sin 2\varphi_{np} - \sin 2\varphi_1}{4\varphi_{np}} \right]. \quad (6в)$$

Из рис. 7а следует

$$r = \frac{B}{\sin \varphi_1}. \quad (7в)$$

По уравнению (21) имеем

$$r = \frac{z_{np}}{\sqrt[5]{\cos \varphi_1}}. \quad (7'в)$$

Решая совместно уравнения (7в) и (7'в), получаем

$$\frac{z_{np}}{B} = \frac{\sqrt[5]{\cos \varphi_1}}{\sin \varphi_1}. \quad (7''в)$$

Из уравнения (4а) определяем

$$\varphi_{np} = \arccos \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right)^{5/4}, \quad (8в)$$

откуда

$$\sin 2\varphi_{np} = \sqrt{1 - \left[2 \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right)^{5/2} - 1 \right]}. \quad (8'в)$$

Отметим, что решение, полученное для пары стоков, можно распространить на решение аналогичной задачи для любого количества сбросных отверстий, расположенных на одном уровне и имеющих одинаковые значения сбросных расходов. В этом случае величина относительной плотности для крайних отверстий отвечает изложенному решению, а для остальных она определится выражением

$$\frac{\Delta \gamma_{сбр}}{\Delta \gamma_1} = \frac{S_{сбр}}{S_1} = f \left(\frac{z_l}{z_{np}} \right) \left[1 - \frac{\sin 2\varphi_{np} - \sin 2\varphi_1}{2\varphi_{np}} \right]. \quad (9в)$$

Практически расчет поступления плотных потоков удобно производить графоаналитически, используя графики связи

$$\sin 2\varphi_{np} = F\left(\frac{z_l}{z_{np}}\right), \quad (10в)$$

$$\sin 2\varphi_1 = f\left(\frac{z_{np}}{B}\right), \quad (11в)$$

вычисленные по уравнению (7в) и (8в). При этом первоначально вычисляют относительную плотность сбросного расхода из условия независимой работы сбросных отверстий. Далее, используя графики связи, вычисляют значения

$$\sin 2\varphi_{np}; \varphi_{np}; \sin 2\varphi_1, \quad (12в)$$

из уравнения (9в) или (6в) окончательно определяют искомую величину.

Необходимо иметь в виду, что если

$$\sin 2\varphi_1 > \sin 2\varphi_{np}, \quad (13в)$$

то расчет следует производить из условий независимой работы обоих стоков.

Для упрощения расчета ниже приведены данные для построения графиков связи (10в) и (11в), которые могут быть использованы для практических расчетов:

z_l / z_{np}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7		
$\sin 2\varphi_{np}$	0	0,11	0,266	0,432	0,605	0,763	0,898	0,984		
φ_{np}	90	87	82,20	77,10	71,30	65,10	58,10	50,10		
z_l / z_{np}		0,8	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1,0		
$\sin 2\varphi_{np}$		0,99	0,842	0,783	0,702	0,589	0,432	0		
φ_{np}		40,50	28,50	25,50	22,10	18,10	12,50	0		
φ_1	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
$\sin 2\varphi_1$	0	0,1736	0,3420	0,5	0,6428	0,766	0,866	0,9397	0,9848	
z_{np}/B	~	11,46	5,75	3,84	2,89	2,32	1,95	1,69	1,48	
φ_1	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$\sin 2\varphi_1$	1	0,9848	0,9397	0,866	0,766	0,6428	0,5	0,342	0,1736	0
z_{np}/B	1,32	1,2	1,10	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,62	0

Для условий $z_l > 0$ расчетная скорость будет отвечать векторной сумме составляющих скоростей, т. е.

$$v = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 \cdot v_2 \cdot \cos(180 - \beta), \quad (14в)$$

в которой v_1 и v_2 — потенциалы скорости соответствующих стоков; β — угол между направлением их векторов.

Принимаем расчетную скорость отвечающей сечению, в которой результирующий вектор имеет максимальный модуль.

Для сечения, проходящего через ось симметрии, имеем (рис. 76)

$$v = \sqrt{\frac{q_0^2}{r^2} + \frac{q_0^2}{r^2} - \frac{2q_0^2}{r^2} \cos(180 - 2\varphi)} \quad (15в)$$

или после преобразований —

$$v = \frac{q_0}{z_i^2} \cdot \frac{2}{\left(1 + \frac{B^2}{z_i^2}\right)^{3/2}} = \frac{q_0}{z_i^2} \cdot a_1, \quad (15'в)$$

где

$$a_1 = \frac{2}{1 + \left(\frac{B^2}{z_i^2}\right)^{3/2}}. \quad (16в)$$

Для сечения, отвечающего $2\varphi = 90^\circ$, имеем (рис. 76)

$$v^2 = \frac{q_0^2}{r_1^4} + \frac{q_0^2}{r_2^4} \quad (17в)$$

или после преобразований —

$$v = \frac{q_0}{z_i^2} \sqrt{1 - \frac{z_i^2}{2B^2}} = \frac{q_0}{z_i^2} \cdot a_2; \quad (17'в)$$

здесь

$$a_2 = \sqrt{1 - \frac{z_i^2}{2B^2}}.$$

Из анализа множителей a_1 и a_2 видно:

при $\frac{z_i}{B} < 1$ —

$$a_2 > a_1; \quad (18в)$$

при $\frac{z_i}{B} > 1$ —

$$a_2 < a_1, \quad (19в)$$

откуда следует, что для условий (18 в) расчетная скорость определится выражением (17'в), т. е.

$$\mathcal{E} = z_i + \frac{q_0^2}{2g'z_i^4} \left(1 - \frac{z_i^2}{2B^2}\right), \quad (20в)$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial z} = 1 - \frac{2q_0^2}{g'h_k^5} \left(1 - \frac{h_k^2}{2B^2}\right) = 0 \quad (21в)$$

или после преобразований —

$$h_k = z_{пр} \sqrt[5]{1 - \frac{h_k}{2B^2}} = a'_2 \cdot z_{пр}, \quad (21'в)$$

где

$$a'_2 = \sqrt[5]{1 - \frac{h_k}{2B^2}}. \quad (22в)$$

Поскольку $\frac{h_k}{B} \leq 1$, то абсолютное значение изменяется в диапазоне

$$a'_2 = 0,95 \div 1 \quad (23в)$$

или приближенно можно принять

$$h_k = z_{np},$$

а с учетом вышеприведенных рассуждений —

$$h_k = k_2 \cdot z_{np}. \quad (24 \text{ в})$$

Для условий (19 в) расчетная скорость определится выражением (15' в), т. е.

$$\Theta = z_i + \frac{2q_0^2 z_i^2}{g'(z_i^2 + B^2)^3}, \quad (25 \text{ в})$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial z} = z_i - \frac{2q_0^2}{g' h_k^5} \cdot \frac{4 \left(1 - \frac{B^2}{2h_k^2}\right)}{\left(1 - \frac{B^2}{h_k^2}\right)}, \quad (26 \text{ в})$$

и

$$h_k = z_{np} \sqrt[5]{\frac{4 \left(1 - \frac{B^2}{2h_k^2}\right)}{1 + \frac{B^2}{h_k^2}}}. \quad (26' \text{ в})$$

Поскольку явного точного решения последнее уравнение не имеет, то его удобно решать графоаналитически по графику связи

$$\frac{B}{z_{np}} = f\left(\frac{B}{h_k}\right).$$

Ниже приведены данные для построения указанной связи в диапазоне изменения $\frac{B}{h_k} = 1 \div 0$:

B/h_k	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
B/z_{np}	0	0,13	0,2548	0,36	0,46	0,54	0,5936	0,63	0,659	0,6654	0,675.

В заключение следует отметить, что общие принципы, положенные в основу расчета поступления плотных потоков в сбросные отверстия различных конструктивных схем, позволяют оценить их практическую эффективность.

Анализируя результаты вычислений относительной плотности, можно констатировать, что для идентичных условий относительная плотность сбросных расходов отверстия сосредоточенной площади примерно на 30% больше отверстия в виде щели.

Эффективность работы пары сбросных отверстий для условий $z_i < 0$ снижается прямо пропорционально величине центрального угла φ_1 . Для условий $z_i > 0$; $\frac{z_i}{B} < 1$ эффективность практически не изме-

няется, для условий $\frac{B}{z_i} < 0$ в области изменения $\frac{B}{h_k} = 0 \div 0,6$ эффективность их увеличивается, что видно из вышеприведенных соотношений B/h_k и B/z_{np} ($h_k < z_{np}$), а в остальном диапазоне уменьшается.

Приведенный анализ может служить основой для сравнительной оценки конструктивных схем водозаборных отверстий.

Как видно из вышеизложенного, определяющей характеристикой поступления плотного потока являются предельная и критическая высоты плотного потока. Последняя была предметом целого ряда исследований. В частности, Гариэль получил $h_k = 1,25 \cdot z_{пр}$, Крайя — $h_k = (1,32 \div 1,42) z_{пр}$, Д. Харлеман — $h_k = 1,5 z_{пр}$, Н. П. Кулеш — $h_k = (1,6 \div 1,7) \cdot z_{пр}$. Эти исследователи связывали увеличение критической глубины с увеличением скорости в сечении сбросного отверстия. Однако сравнительная оценка скорости сечения сбросного отверстия в опытах Н. П. Кулеша и ПНИИГ показывает, что диапазон изменения скоростей в обоих случаях одинаков, тогда как величина h_k для них различна. Нам кажется, что в основе расхождения экспериментальных данных лежит методически неверная оценка насыщения плотного потока. Как правило, за расчетное насыщение плотного потока принималась его средняя величина, отнесенная ко всей глубине плотного потока. Фактически же поступление плотного потока ограничено предельной глубиной $z_{пр}$, исходя из которой необходимо исчислять его насыщение. Поэтому основная доля указанных расхождений может быть отнесена за счет различия в габаритах экспериментальных установок, величине и эпюре насыщения по высоте и в методе его осреднения и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулеш Н. П. „Гидротехника и мелиорация“, 1959, № 12.
2. Лев И. И. „Известия ВНИИГ“, 1960, т. 65.
3. Вопросы плотных потоков и их практическое приложение (на китайском языке), Пекин, 1959.

В. С. ЛАПШЕНКОВ, Е. И. ДУБИНЧИК

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ р. СЫР-ДАРЬИ У ЧАРДАРИНСКОГО ГИДРОУЗЛА

В связи с возведением сооружений Чардаринского гидроузла возникла необходимость изучения деформаций русла р. Сыр-Дарья. В условиях этого объекта проработка вопросов деформаций русла, а также очертания и компоновки оградительных и защитных сооружений путем расчетов оказалась затруднительной. Поэтому решили обратиться к модельным исследованиям, которые и были проведены в гидравлической лаборатории „Саогидропроекта“.

В районе строительства Чардаринского гидроузла Сыр-Дарья имеет низкие, вровень с высокими уровнями воды, берега. Обилие наносов в воде определило режим потока: почти всюду поток разделен островами на два и три протока; в большинстве острова молодые, они не успевают зарастать даже травянистой растительностью; поток сильно меандрирует, меандры подвижные: вдали от современного потока имеется множество стариц и старых сухих русел. Уклон потока — 0,00025.

Вблизи гидроузла на правом берегу имеется возвышенность, сложенная сравнительно прочной глиной. В настоящее время поток почти под прямым углом подходит к юго-восточному склону возвышенности Чардара, под влиянием глинистого берега круто поворачивает влево и далее следует в северо-северо-западном направлении. На участке, где правый берег сложен глиной, ширина реки наименьшая — всего 220 м, в то время как выше и ниже этого участка она составляет с островами и протоками до 1 км (рис. 1). Приводим фракционный состав донных отложений на стрежневой части русла:

$d, \text{мм}$	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	<0,1
$p, \%$	1,1	1,9	12	80	5.

Бетонные сооружения гидроузла строят под защитой перемычки. Строительство ее внесло в режим реки значительные изменения. Перемычка в начальный момент стеснила русло на $\frac{2}{3}$ ширины. В результате исследований на размываемой модели участка р. Сыр-Дарья предполагалось дать прогноз русловых деформаций, оценить очертание перемычки, а также расположение и размеры защитных сооружений.

Трудности моделирования участков рек с мелкопесчаным руслом общеизвестны. Результаты расчета модели по изложенным в литературе методам настолько отличались друг от друга, что оценить их достоверность не было возможности. Поскольку в результате изучения необходимо было получить не только качественные, но и количественные

венные показатели, мы решили провести методические исследования с целью отработки метода исследований. При этом в основе поисков

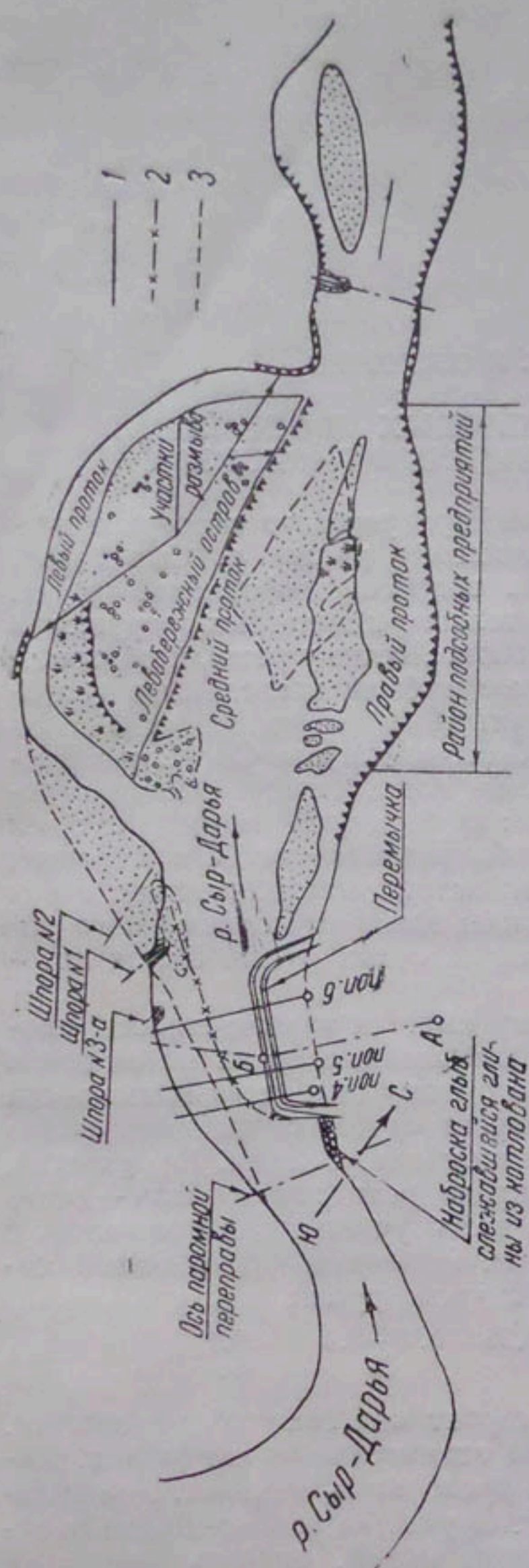


Рис. 1. Русловые деформации на участке р. Сыр-Дарья в районе строительства Чардаринского гидроузла:

1—урезы после завершения деформаций строительного периода; 2—линия наибольших глубин у перемычки; 3—урезы до возведения перемычки и шпор.

лежала идея „натурального“ моделирования [1, стр. 457; 2, стр. 302] в соединении с экстраполяцией. В качестве главного критерия моделирования было принято число Фруда (при числах Рейнольдса, значительно превышающих критическое). Цель проведения методической серии опытов заключалась в отыскании связей главных элементов потока и русла с размером модели (масштабом) или с расходом воды, соответствующим руслоформирующему. Руслоформирующий расход в натуре (при наполнении русла вровень с бровками берегов и островов) равен $3100 \text{ м}^3/\text{сек.}$ При этом расходе ширина и средняя глубина русла, вычисленные при условии протекания потока одним руслом, соответственно составляют 376 и 4,62 м; число Фруда равно 0,071.

При проведении опытов было принято условие: руслоформирующие наносы на модели будут такими же, как и в натуре (см. вышеприведенный фракционный состав). Заготовленный на побочных в русле Сыр-Дарьи у Чиназа песок укладывали в короткий (6,5 м) русловой лоток. По предварительно сделанной прямолинейной канаве пропускали различные расходы, соответствующие (в разных масштабах) натурному руслоформирующему. Поток воды, пускаемый на модель, насыщали руслообразующими наносами (тот же песок, что и уложенный в лоток). Степень насыщения подбирали из условия равенства

чисел Фруда на каждой модели 0,07—0,075.

Как правило, устойчивое русло образовывалось путем размыва дна и прибрежной части русла. При проведении опытов измеряли и вычисляли следующие элементы: продольный уклон водной поверхности, ширину потока по урезам, отметки дна и среднюю глубину, сред-

ную скорость течения, максимальную глубину размыва у схематизированной шпоры. Опыты проведены последовательно при расходах воды: 6, 12, 24 и 48 л/сек. Основные результаты этой серии опытов

Параметр	Расход воды, м ³ /сек			
	0,006	0,012	0,024	0,048
Ширина по урезу, м	0,775	1,073	1,535	2,070
Средняя глубина, м	0,043	0,054	0,071	0,091
Средняя скорость, м/сек	0,181	0,206	0,221	0,225
Максимальная глубина у шпоры, м	0,205	0,310	0,410	0,470
Продольный уклон	0,00103	0,000955	0,000875	0,000800
Мутность, г/л	0,00	0,29	0,32	0,35
Число Фруда после окончания формирования	0,075	0,079	0,071	0,073

приводим в таблице. По ним определены зависимости ширины и средней глубины потока от расходов воды (рис. 2)

$$B = 8,6 \cdot Q^{0,47}, \quad (1)$$

$$H = 0,262 \cdot Q^{0,35}. \quad (2)$$

Остальные элементы получились равными:

максимальная глубина размыва у схематизированной шпоры —

$$h = 1,47 \cdot Q^{0,35}, \quad (3)$$

площади живого сечения —

$$\omega = 2,25 \cdot Q^{0,82}, \quad (4)$$

средняя скорость течения воды —

$$v = 0,444 \cdot Q^{0,18}. \quad (5)$$

Ширина русла Сыр-Дарьи и средняя глубина, вычис-

ленные по этим зависимостям, соответственно равны 375 м и 4,35 м, что очень близко к величинам, вычисленным по данным натуры. Число Фруда при этих параметрах — 0,083. Следовательно, полученные зависимости описывают ряд модельных потоков, подобных друг другу и натуре.

Таким образом, определение главных параметров модели сводилось к выбору руслоформирующего расхода на модели (который будет имитировать расход в натуре 3100 м³/сек) и вычислению линейных масштабов. Из полученных с помощью эксперимента зависимостей следует:

плановый масштаб модели равен

$$\lambda_l = \lambda_Q^{0,47}, \quad (6)$$

вертикальный масштаб —

$$\lambda_h = \lambda_Q^{0,35}. \quad (7)$$

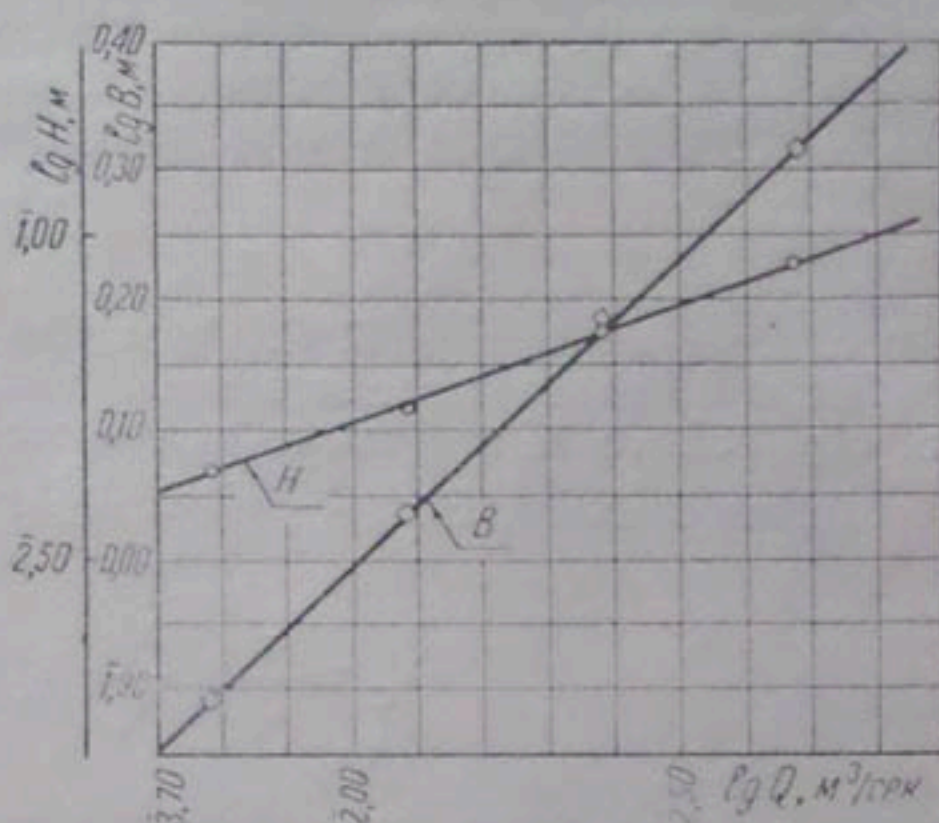


Рис. 2. Зависимость ширины и средней глубины потока от расходов воды при проведении методической серии опытов, $Fr=0,071-0,079$.

„Искажение“ уклона выводится из этих же зависимостей

$$\lambda_h = \lambda_l^{0,75}. \quad (8)$$

Масштаб расходов воды, по данным эксперимента, составляет

$$\lambda_Q = \lambda_l \cdot \lambda_h^{1,51}, \quad (9)$$

что можно считать равным таковому же из принятого для потоков гравитационного подобия

$$\lambda_Q = \lambda_l \cdot \lambda_h^{1,50}.$$

Следовательно, неравенство уклонов модели и натуры при таком способе моделирования есть не искажение уклона, а естественное требование подобия.

Необходимо здесь отметить, что зависимость (8) ранее получена теоретически Н. А. Ржаницыным [3, стр. 177]. Такая же зависимость получается из теоретических исследований В. М. Маккавеева и А. В. Караушева [4, стр. 179], если принять равенство

$$\lambda_n = \lambda_d^{1/2},$$

что следует из формул Г. С. Чекулаева, Штриклера, Чанга.

Если в основу моделирования потока положить формулу Шези [5, стр. 75], то из нее также получается зависимость (8).

Действительно, $Fr = \frac{C^2 \cdot H \cdot i}{g \cdot H} = \frac{C^2 \cdot i}{g}$. Поскольку $Fr = idem$, то

$$\lambda_c^2 = \frac{1}{\lambda_i} = \frac{\lambda_l}{\lambda_h}; \quad \lambda_c^2 = \frac{\lambda_h^{2y}}{\lambda_n^2}.$$

Если материал русла на модели и в натуре одинаков, то формально одинаков и коэффициент шероховатости. При $y = 1/6$ получим

$$\lambda_l = \lambda_h^{1+2y} \text{ или } \lambda_h = \lambda_l^{0,747}.$$

Аналогичная связь вертикального и горизонтального масштабов получена Буше и Ле-Меотэ [6, стр. 129].

Небезынтересно здесь отметить, что степень влияния расхода воды на морфометрию потока, полученная экспериментально (1), (2), (4) и (5), подтверждается зависимостями А. Н. Гостунского, который обобщил материалы по большому числу рек [7, стр. 41]:

$$B = 1,5 \cdot i^{-0,16} \cdot Q^{0,56} = f_1(Q^{0,56}), \text{ в опыте — } f_1(Q^{0,47});$$

$$H = 0,11 \cdot i^{-0,13} \cdot Q^{0,31} = f_2(Q^{0,31}), \text{ в опыте — } f_2(Q^{0,35});$$

$$\omega = 0,165 \cdot i^{-0,29} \cdot Q^{0,87} = f_3(Q^{0,87}), \text{ в опыте — } f_3(Q^{0,82});$$

$$v = 6,1 \cdot i^{0,29} \cdot Q^{0,13} = f_4(Q^{0,13}), \text{ в опыте — } f_4(Q^{0,18}).$$

В связи с тем, что работу проводили и зимой, были построены две русловые модели: малая (на которой работали в тепляке 6×7 м зимой) и большая (на открытой площадке). Масштабы были приняты:

для малой модели — горизонтальный — 1:380
 вертикальный — 1:76
 для большой модели — горизонтальный — 1:180
 вертикальный — 1:49.

Малая модель предназначалась для быстрого получения предварительных результатов. Проведенные работы показали, что благодаря повышенной точности измерений и возможности более тщательного проведения опытов в помещении, данные измерений на большой и малой моделях — равной точности. Результаты работ на обеих моделях совершенно одинаковы.

Модели выполнялись следующим образом: в сырдарьинском песке на месте русла грубо выбирали углубление, в него пускали поток воды с расходом, соответствующим руслоформирующему, затем граблями производили доводку. При доводке в соответствии с планом обрисовали урезы, углублением русла регулировали уклон с приближением его к вычисленному.

При формовке русла обеих моделей и имитации бытового режима реки было отмечено, что некоторые участки моделей не удается сформировать подобно натурным. Так, в значительной мере на моделях была неустойчивой восточная сторона большого острова между левым и средним протоками. Поскольку натуральный остров был сложен из легко размываемого материала, то незначительная размываемость его в натуре объяснилась влиянием развитой корневой системы тугайной растительности острова. Поэтому на модельных островах была посеяна пшеница. Такое закрепление позволило также следить и за деформациями берега. Вторым местом кажущегося несоответствия моделей натуре был берег правого протока в районе подсобных предприятий: на моделях он сильно размывался.

Однако было установлено, что размыв имел место и в натуре, строители в значительной мере укрепили этот участок берега. На моделях этот берег укрепляли тонкой (1—1,5 мм) коркой цементного раствора.

После воспроизведения бытовых условий на моделях отсыпалась перемычка. На рис. 3 приведены поперечные сечения русла в районе перемычки (лабораторные и натурные). При сопоставлении результатов следует иметь в виду, что в 1960 г. в Сыр-Дарье расходы воды были значительно меньше расхода $3100 \text{ м}^3/\text{сек}$, принятого при исследованиях. Затем на модели воспроизводились защитные шпоры, предотвращающие развитие левого протока.

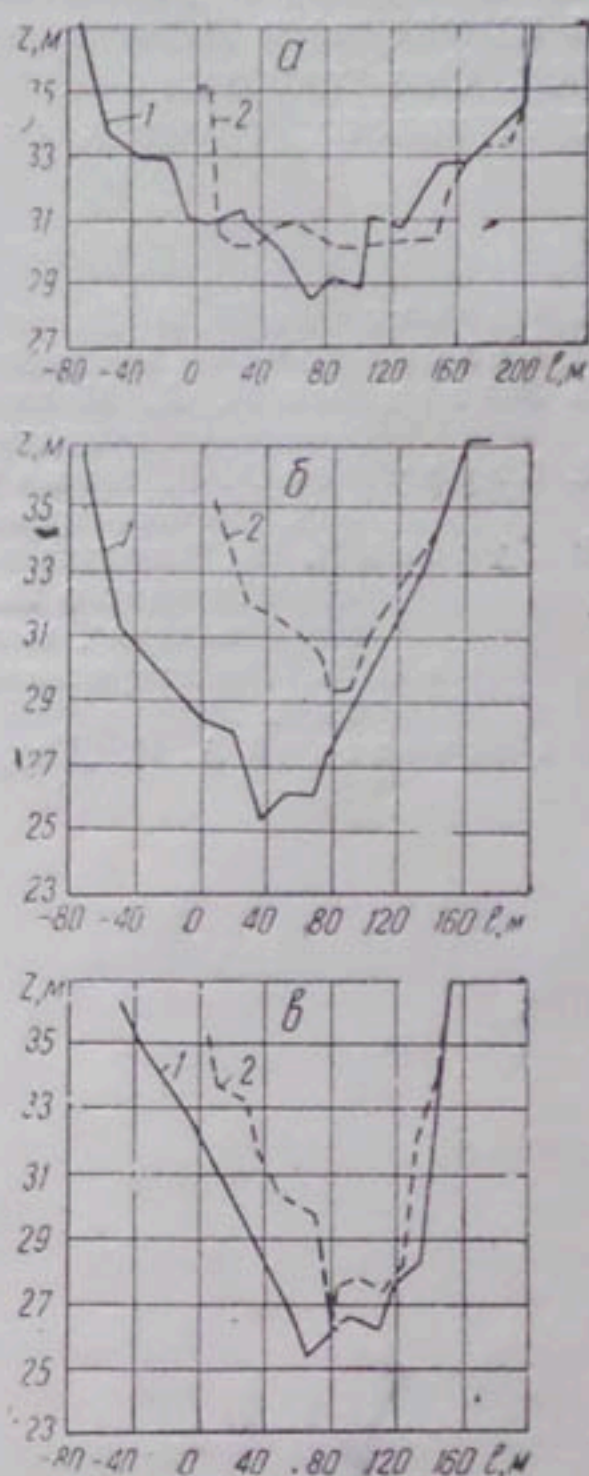


Рис. 3. Поперечные профили в районе перемычки:

а — поп. 6; б — поп. 5; в — поп. 4;
 1 — модель; 2 — натура в 1961 г.

В результате проведенных исследований в конце 1959 г. был составлен прогноз русловых деформаций на последующие годы. Этот прогноз в основном подтвердился (шпора № 1 была возведена строителями со значительным опозданием). Кроме этого, модельные исследования позволили отказаться от строительства шпоры № 2, сократить объем шпоры № 3 (3-а), определить условия судоходства в районе подсобных предприятий и отказаться от защиты берега в этом районе.

Можно считать, что принятая методика исследований себя оправдала, поэтому ее рекомендуется применять при моделировании бытового и измененного (защитными и оградительными сооружениями) режимов рек. Она также не исключает использования в качестве руслообразующих наносов грунтов, отличных от натуральных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великанов М. А. Динамика русловых потоков, Л., Гидрометиздат, 1949
2. Великанов М. А. Динамика русловых потоков, т. II, М., ГИТТЛ, 1955 г.
3. Ржаницын Н. А. Моделирование естественных русловых потоков на размываемых моделях, В сб. „Русловые процессы“, М., АН СССР, 1958.
4. Караушев А. В., Панчурин Н. А. Сборник задач по гидравлике, ч. II, М., изд. „Речной транспорт“, 1957.
5. Сурова Н. Н. Методика исследования модели участка русла Аму-Дарьи в районе проектируемого Тахиаташского водозаборного гидроузла, В сб. „Вопросы гидротехники“, вып. 6, Ташкент, АН УзССР, 1962.
6. Леви И. И. Моделирование гидравлических явлений, М.—Л., Госэнергоиздат, 1960.
7. Гостунский А. Н. „Гидротехническое строительство“, 1959, № 8.

Э. М. ПИЛОСОВ, В. А. СКРЫЛЬНИКОВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЩЕГО РАЗМЫВА РУСЛА р. ВАХШ

В горной части р. Вахш началось строительство Нурекской ГЭС. Плотиной высотой порядка 300 м создается водохранилище емкостью около 10 млрд. м³. Наносы р. Вахш в течение длительного периода будут задерживаться в водохранилище. Поступление в нижний бьеф осветленного потока (ненагруженного наносами) вызовет размыв русла Вахша и Аму-Дарьи на большом протяжении. В результате размыва произойдет некоторое понижение дна и горизонта воды Аму-Дарьи в головах существующих бесплотинных водозаборных сооружений (Сазыккуль, Чоршанга, Каракумский канал и другие, расположенные ниже по течению).

Общий размыв Вахша ниже Нурекской плотины распространится до подпертого бьефа Головной ГЭС, построенной на этой же реке ниже Нурекской ГЭС. Из верхнего бьефа Головной ГЭС также будет поступать осветленная вода, поэтому общий размыв Вахша будет продолжаться вниз по течению.

Дно русла Вахша на участке от Нурекской плотины до Головной ГЭС и ниже до поселка Джиликуль протяжением 180 км сложено из галечника, и размыв здесь будет незначительным. Ниже поселка Джиликуль до слияния с р. Пяндж дно русла Вахша песчаное; на этом участке размыв может достигнуть больших размеров и распространиться до существующих водозаборных сооружений на Аму-Дарье.

Для прогноза возможных изменений уровня воды Вахша и Аму-Дарьи в связи со строительством Нурекской ГЭС в соответствии с заданием САОГИДЭПа и программой исследований в отделе русел рек Института водных проблем и гидротехники АН УзССР в 1961 г. предусматривалось выполнение расчета и модельных исследований общего размыва песчаного участка русла Вахша. Изучение общего размыва Аму-Дарьи предполагается выполнить в 1963 г.

План рассматриваемого участка русла Вахша приведен на рис. 1. Целью лабораторных работ 1961 г. было сопоставление результатов приближенного расчета общего размыва русла по методам С. Т. Алтунина и САОГИДЭПа с данными модельных исследований. Для проведения расчета и лабораторных опытов по общему размыву сотрудниками отдела русел рек и САОГИДЭПа в 1960 г. были выполнены натурные гидрологические исследования на участке длиной 20 км, материалы которых были приняты в качестве исходных данных. Ниже приводятся результаты расчета общего размыва и модельных исследований приустьевых участков русла Вахша.

РАСЧЕТ ОБЩЕГО РАЗМЫВА

Общий размыв русла и понижение уровня воды в нижнем бьефе плотины определяются характеристикой грунта, слагающего русло, и режимом расходов воды. Для бьефов, которые не регулируют сток воды, за расчетный расход принимается руслоформирующий паводковый расход продолжительностью 5—6 дней. В случаях регулирования стока водохранилищем расчетный расход устанавливается по графику попусков воды в нижний бьеф.

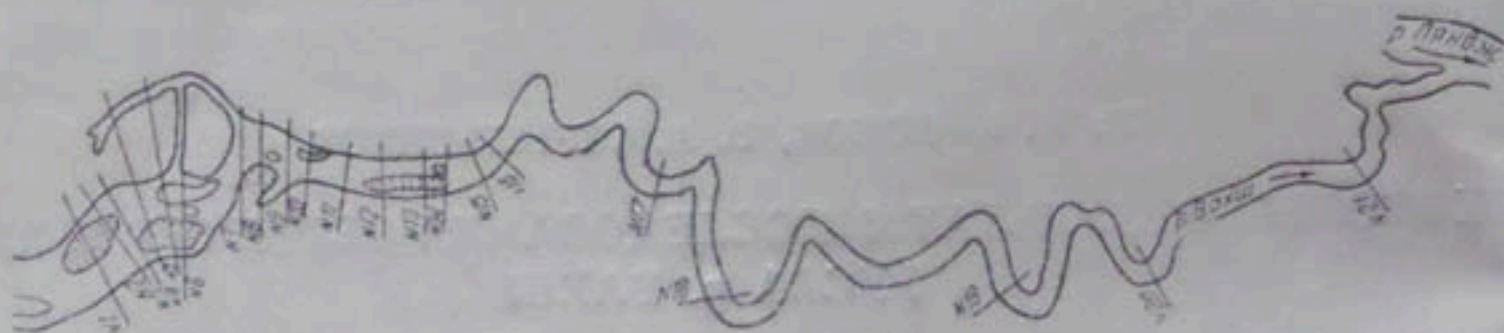


Рис. 1. План исследуемого участка р. Вахш с указанием промерных створов.

Ввиду того что до вступления в эксплуатацию Нурекской ГЭС будет работать Головная ГЭС, расчет и лабораторные исследования общего размыва русла Вахша в 1961 г. производились для условий работы только Головной ГЭС.

Таблица 1

Номер створа	L	$H_{\text{ср}}$	B	$\omega,$ м^2	$v,$ м/сек	I	n
	M						
7	5605	2,6	490	1170	2,0	0,00026	0,015
13	2620	4,0	302	1200	1,9	0,00016	0,015
16	31 350	2,9	590	1700	1,3	0,00027	0,026
19	16 100	3,7	400	1500	1,5	0,00023	0,025
21							

Верхний бьеф Головной ГЭС почти не нарушает режима расходов воды в половодье, поэтому при расчетах, как указывалось выше, необходимо принять руслоформирующий расход воды Вахша на этом участке. По данным многолетних наблюдений, руслоформирующий расход Вахша для среднего по водности года составляет $2200 \text{ м}^3/\text{сек}$. Фактически же замеренный расход воды по данным САОГИДЭПа в 1960 г. при прохождении паводка составил $2300 \text{ м}^3/\text{сек}$, что близко к руслоформирующему. 1960 г. в многолетнем разрезе является средним по водности годом.

В табл. 1 приводятся гидравлические элементы русла Вахша при паводковом расходе $2300 \text{ м}^3/\text{сек}$, которые мы использовали при расчете общего размыва.

Расчет по методу С. Т. Алтунина. Критический уклон водной поверхности в нижнем бьефе плотины после размыва русла, по Алту-

нину, определяется приближенно по формуле

$$I_{кр} = \sqrt[3]{\left(\frac{k d_{ср}}{q}\right)^2}, \quad (1)$$

где $k = 0,000011$ для рек Средней Азии;

q — погонный расход;

$d_{ср}$ — диаметр наносов, слагающих русло.

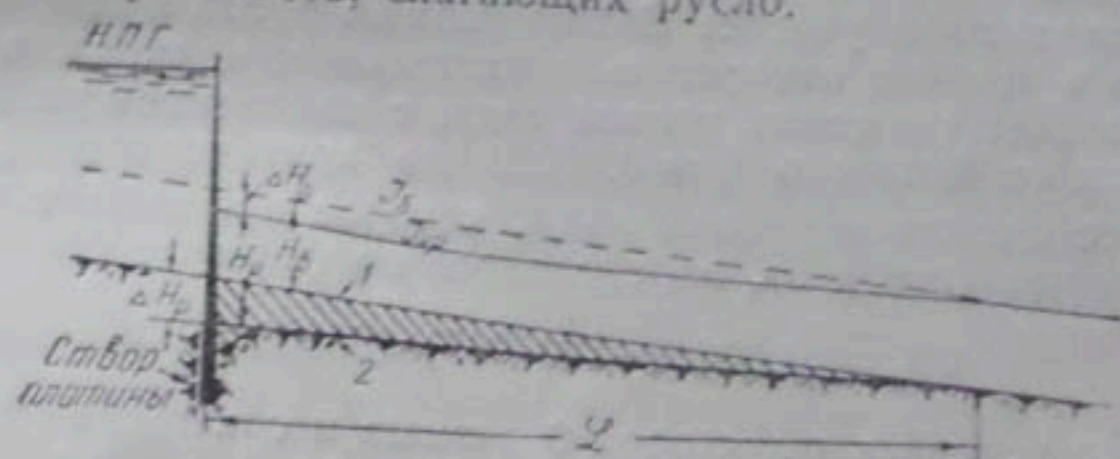


Рис. 2. Расчетная схема общего размыва русла в нижнем бьефе плотины:

1 — дно до размыва; 2 — дно после размыва.

Предельно возможную величину снижения горизонта воды в начальном створе после размыва можно установить из формулы

$$\Delta H_0 = (I_0 - I_{кр}) L; \quad (2)$$

здесь I_0 — бытовой уклон до размыва;

$I_{кр}$ — критический уклон, при котором прекращается размыв;

L — длина участка общего размыва.

Принятая расчетная схема приводится на рис. 2.

Глубина воды в размытом русле определяется по зависимости, полученной нами из формулы Шези

$$H_p = \left(\frac{qn}{V I_{кр}} \right)^{\frac{1}{\frac{3}{2} + y}}, \quad (3)$$

где n — коэффициент шероховатости;

y — показатель степени $\approx 1,3 \sqrt{n}$.

Понижение дна в начальном створе после размыва русла устанавливается по формуле

$$\Delta H_p = H_p + \Delta H_0 - H_0, \quad (4)$$

в которой H_0 — глубина воды до размыва (бытовая);

H_p — глубина воды в размытом русле.

Бытовой уклон водной поверхности в паводок — $I_0 = 0,00022$. Средний диаметр донных отложений составляет 0,3 мм.

Средняя ширина русла на длине 60 км, по имеющимся данным, равна 430 м. Погонный расход при указанной ширине будет $q = \frac{Q}{B}$;

$$q = \frac{2300}{430} = 5,4 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

При среднем диаметре донных отложений $d = 0,3$ мм критический уклон по формуле (1) будет составлять

$$I_{кр} = \left(\frac{0,000011 \cdot 0,3}{5,4} \right)^{3/2} = 0,00007.$$

Как указывалось выше, общий размыв мы рассматривали только на участке Вахша длиной 60 км до слияния с р. Пяндж. В действительности размыв может распространяться и на Аму-Дарью. Влияние общего размыва Вахша на размыв русла Аму-Дарьи будет изучаться в дальнейшем.

На исследуемом участке Вахша размыв русла будет происходить постепенно в течение относительно длительного периода, в результате чего произойдет снижение уровня воды с изменением уклонов водной поверхности от бытового $I_0 = 0,00022$ до критического $I_{кр} = 0,00007$. Наибольшее снижение уровня воды, которое произойдет в начальном створе размыва (створ 9), определяется по формуле (2)

$$\Delta H_0 = (0,00022 - 0,00007) \times 60000 = 9 \text{ м.}$$

Вниз по течению от створа 9 размыв и снижение уровня воды постепенно будут уменьшаться. Глубина воды в этом створе после размыва вычисляется по формуле (3). При $y = 1,3 \sqrt{n}$ и коэффициенте шероховатости $n = 0,025$ эта глубина составит

$$H_p = \left(\frac{5,4 \cdot 0,025}{\sqrt{0,00007}} \right)^{\frac{1}{1+1,3}} = 5,13 \text{ м.}$$

Понижение дна в начальном створе размыва (створ 9) находят по формуле (4)

$$\Delta H_p = 5,13 + 9 - 3,1 = 11,03.$$

Объем смыва дна при $\Delta H_p = 11,03 \text{ м}$ будет

$$W = \frac{11,03 \times 430}{2} \times 60000 = 142 \text{ млн. м}^3.$$

Продолжительность размыва устанавливается из условий прохождения бытового стока донных наносов для среднего по водности года. По данным русловой станции САОГИДЭПа, годовой сток донных наносов на 1960 г., являющийся средним по водности, составил $G = 12,5 \text{ млн. м}^3$. Отсюда время размыва определяется из выражения $t = \frac{W}{G}$; $t = \frac{142}{12,5} = 11 \text{ лет}$. Указанный срок определен без учета части наносов,двигающихся во взвешенном состоянии.

Расчет изменения величины размыва и снижения уровня воды по длине рассматриваемого участка по методу С. Т. Алтунина приводится в табл. 2.

Указанные величины размыва получены при рассмотрении работы только Головной ГЭС. После вступления в эксплуатацию Нурекской ГЭС и регулирования стока Вахша водохранилищем в нижний бьеф будут поступать расходы воды меньше, чем при работе Головной ГЭС, поэтому глубины размыва по длине реки будут меньше значений, приведенных в табл. 2.

Расчет по методу САОГИДЭПа. Критический уклон, при котором размыв прекратится, определяется по следующей формуле:

$$I_{кр} = \left[\frac{(k_a \cdot k_z \cdot \alpha)^{\frac{1}{m}}}{A \cdot Q^{0,5}} \right]^{\frac{1}{\frac{1}{m} - 0,2}}, \quad (5)$$

где α — отношение средней глубины потока к максимальной;
 A, m, k_a — параметры формы русла, по Алтунину.

По данным Алтунина, $m = 0,6$.

Значение k_a может быть определено из формулы Алтунина

$$k_a = \frac{B^m}{H}. \quad (6)$$

При значениях $B = 430 \text{ м}$,
 $H = 3,1 \text{ м}$ —

$$k_a = \frac{430^{0,6}}{3,1} = \frac{37,6}{3,1} = 12,1.$$

Параметр k_z может быть вычислен из следующего выражения:

$$k_z = \frac{1}{\gamma_w} \left(\mu^{\frac{\delta-1}{\delta}} \cdot \gamma_n \cdot \bar{d} \right); \quad (7)$$

здесь $\mu = 0,5$;

δ — удельный вес наносов;

γ_n — объемный вес наносов;

γ_w — объемный вес воды;

$\bar{d}$ — средний диаметр донных отложений.

При численных значениях $\delta = 2,65 \text{ т/м}^3$, $\gamma_n = 1,9 \text{ т/м}^3$, $\bar{d} = 0,0003 \text{ м}$
определяем значение параметра $k_z = \frac{0,5 \cdot 1,65}{2,65} \cdot 1,9 \cdot 0,0003 = 0,000177$.

Значение уклона находим по формуле (5)

$$I_{кр} = \left[\frac{(12,1 \cdot 0,000177 \cdot 0,75)^{\frac{1}{0,6}}}{1 \cdot 2300^{0,5}} \right]^{\frac{1}{\frac{1}{0,6} - 0,2}} = \left[\frac{(0,00159)^{1,67}}{48} \right]^{0,682} = 0,000048.$$

Предельную величину снижения горизонта воды в начальном створе размыва (створ 9) находят по формуле (2)

$$\Delta H_0 = (I_0 - I_{кр}) L = (0,0002 - 0,000048) \times 60000 = \\ = 0,000172 \times 60000 = 10,3 \text{ м}.$$

Глубину воды в размыве определяют по формуле (3)

$$H_p = \left(\frac{5,4 \cdot 0,025}{V 0,000048} \right)^{0,589} = 5,75 \text{ м}.$$

Таблица 2

Номер створа	Расстояние от устья $L, \text{ км}$	Снижение горизонта воды на створах $\Delta H_0, \text{ м}$	Понижение дна на створах $\Delta H_p, \text{ м}$
Устье	0	0	0
21	6	0,9	1,10
20	13,9	2,08	2,56
19	22,10	3,32	4,07
18	37,60	5,64	6,92
17	43,45	6,51	7,98
16	53,45	8,0	9,82
15	54,30	8,15	10,0
14	55,37	8,30	10,18
13	56,07	8,40	10,32
12	57,24	8,60	10,51
11	58,46	8,76	10,75
10	59,68	8,95	10,98
9	60,00	9,00	11,03

Предельная величина понижения дна по формуле (4) составит

$$\Delta H_p = 5,75 + 10,3 - 3,1 = 12,95 \text{ м},$$

объем смыва —

$$W = \frac{B \cdot \Delta H_p \cdot L}{2} = \frac{430 \cdot 12,95}{2} \cdot 60000 = 167 \text{ млн. м}^3,$$

время смыва —

$$t = \frac{167}{12,5} = 13 \text{ лет.}$$

Таблица 3

Номер створа	Расстояние от устья L , км	Снижение горизонта воды на створах ΔH_0 , м	Понижение дна на створах ΔH_p , м
Устье	0	0	0
21	6	1,03	1,29
20	13,9	2,38	3,0
19	22,10	3,8	4,78
18	37,60	6,45	8,13
17	43,45	7,45	9,36
16	53,45	9,17	11,5
15	54,30	9,32	11,7
14	55,37	9,5	11,95
13	56,07	9,64	12,10
12	57,24	9,84	12,35
11	58,46	10,02	12,6
10	59,68	10,25	12,9
9	60,00	10,3	12,95

Результаты расчета размыва по длине реки по методу САОГИДЭПа приведены в табл. 3.

В табл. 4 даны результаты расчета общего размыва русла в начальном створе (створ 9). Как видно из нее, величины снижения горизонта воды по методу С. Т. Алтунина получаются меньше на 1,3 м, чем по методу САОГИДЭПа.

Формулы С. Т. Алтунина и САОГИДЭПа для критических уклонов являются

приближенными, поэтому для уточнения величин уклонов мы провели лабораторные исследования и по результатам этих исследований определили возможные снижения уровня воды при работе Головной ГЭС.

Таблица 4

Метод	Q , м ³ /сек	ω , м ²	$v_{кр}$, м/сек	$I_{кр}$	ΔH_0 , м	t , лет
С. Т. Алтунина	2300	2200	1,04	0,00007	9	11
САОГИДЭПа	2300	2470	0,93	0,000048	10,3	13

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Моделирование русла Вахша производили на участке длиной 20 км по методике С. Т. Алтунина и И. Я. Орлова. Соотношение основных масштабных множителей определяли по зависимости И. Я. Орлова

$$\alpha_h = \sqrt{\alpha_v \cdot \alpha_d \cdot \alpha_\sigma}, \quad (8)$$

где α_h — вертикальный масштаб;

α_v — плановый масштаб;

α_d — масштаб крупности наносов;

α_σ — масштаб относительного удельного веса наносов.

Масштабные множители для других гидравлических элементов определяют по следующим зависимостям:

масштаб расхода воды

$$\alpha_q = \alpha_n \cdot \alpha_h^{1,5}, \quad (9)$$

масштаб уклонов

$$\alpha_i = \frac{\alpha_h}{\alpha_n}, \quad (10)$$

масштаб времени

$$\alpha_t = \frac{\alpha_n}{V^{\alpha_h}}, \quad (11)$$

масштаб скорости

$$\alpha_v = \alpha_h^{0,5}. \quad (12)$$

При моделировании, как и в расчетных схемах, принято, что ширина потока при размыве существенно не меняется.

На модели было проведено две серии опытов.

I серия. В качестве наносов на модели применяли паровозную изгарь со средним диаметром $d = 0,56$ мм и удельным весом $\delta = 1,5$ т/м³.

II серия. В качестве наносов на модели использовали песок со средним диаметром $d = 0,337$ мм. Диаметр натурального песка — 0,3 мм. Приводим фракционный состав примененных на модели наносов:

Изгарь

$d, \text{мм}$	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	<0,1	$d_{\text{ср}}, \text{мм}$
$p_p, \%$	60	26	8	6	—
$p_i d_i$	45	9,75	1,4	0,6	0,567
$\sum p d$	—	56,7	—	—	—

Песок

$d, \text{мм}$	0,5—0,25	0,25—0,1	<0,1	$d_{\text{ср}}, \text{мм}$
$p_p, \%$	83	11,5	5,50	—
$p_i d_i$	31,2	2,01	0,55	0,337
$\sum p_i d_i$	—	33,71	—	—

Ниже даны численные значения масштабных множителей для I и II серий опытов:

Материал	α_d	α_n	α_v	α_h	α_q	α_i	α_v
Изгарь	0,536	3,3	600	33	113	500	0,055
Песок	1,12	1,0	600	26	79	500	0,0433

Русло модели I серии опытов формировалось расходом воды 20 л/сек, который соответствует натурному 2300 м³/сек, замеренному на исследуемом участке в 1960 г. Для этого расхода имеются натурные гидравлические элементы Вахша. Для второй серии опытов расход воды на модели составляет 29 л/сек.

В результате формирования русла как в I серии опытов, так и во II получено удовлетворительное сходство модельных и натуральных поперечных и продольных профилей (рис. 3,4,5).

После получения удовлетворительного сходства модели и натуры через модель в I и II сериях опытов пропускали воду без наносов расходами соответственно 20 и 29 л/сек (2300 м³/сек), принятыми в расчете общего размыва. Как указывалось выше, расчет производили для условия осветления потока бьефом Головной ГЭС без регулирования бытового стока ввиду малой емкости ее бьефа.

Исследование общего размыва на модели с учетом регулирования стока Нурекской ГЭС проводили в 1962 г. Поскольку принятый для модельных исследований участок реки имеет ограниченную длину, недостаточную для изучения глубины размыва, на модели изучали только критические уклоны, которые сопоставляли с расчетными.

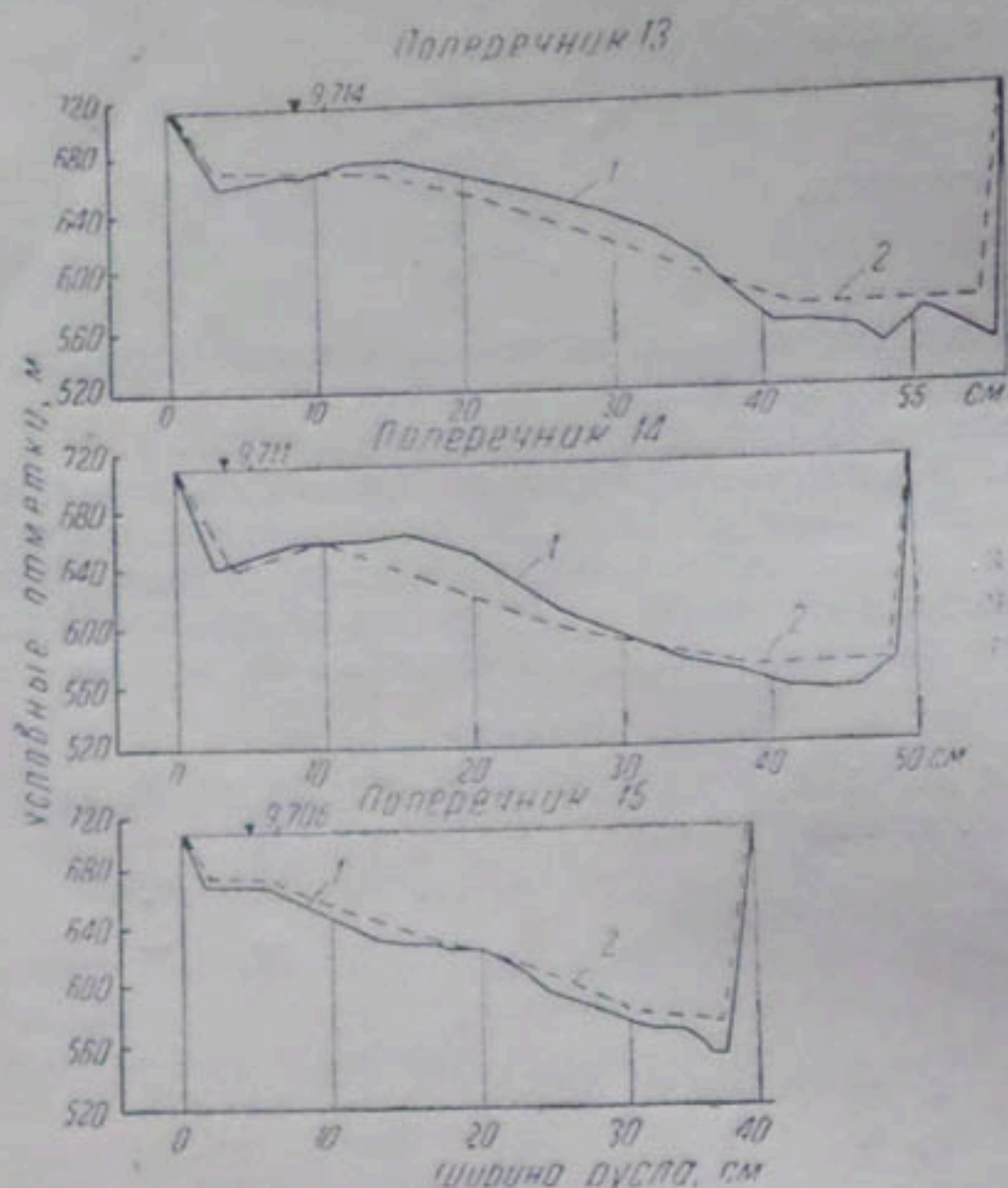


Рис. 3. Совмещенные поперечные профили модели и природы I серии опытов:

1—дно русла по натурным данным; 2—дно русла в результате формирования на модели.

Методика исследований заключалась в следующем. В конце модели устанавливали регулирующее сооружение, позволяющее поддерживать необходимый горизонт воды. После формирования бытового русла расходами воды 20 и 29 л/сек на модель поступала вода без наносов теми же расходами. Горизонты воды в конце исследуемого участка поддерживали постоянными для каждого расхода. Опыт продолжался до момента установления критического уклона, при котором прекращался размыв. Определение на модели критического уклона только по одному опыту является недостаточным. Поэтому проводили несколько опытов для установления средней величины критического уклона.

Следует отметить, что при короткой длине модели общий размыв ограничивался регулирующим сооружением.

Так как размыв распространится за пределы модели, то в конце исследуемого участка произойдет некоторое снижение горизонта воды. Не зная величины этого снижения, мы задавались им в пределах возможного снижения. Для каждого снижения опыт продолжали до

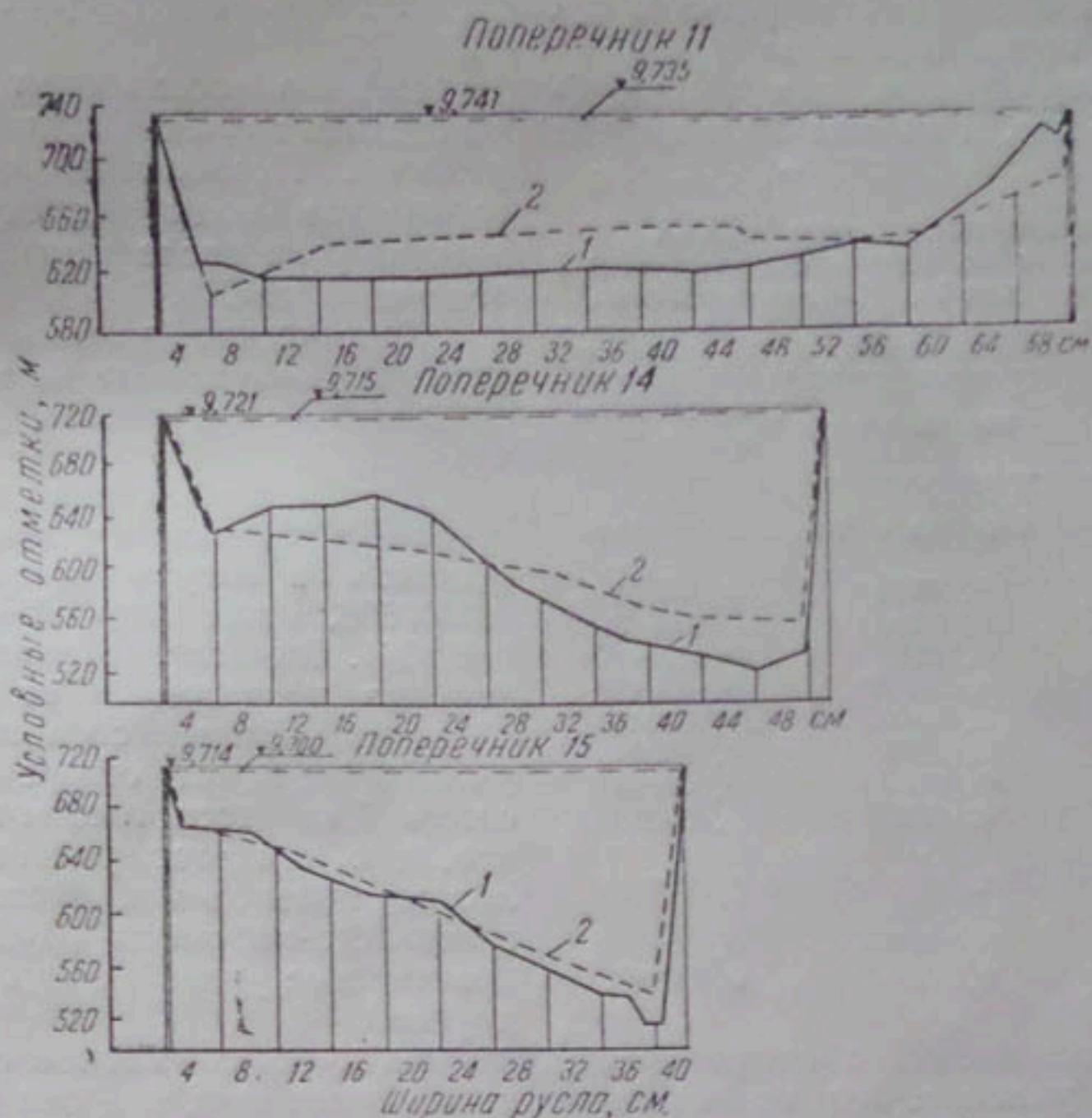


Рис. 4. Совмещенные поперечные профили модели и природы
II серии опытов:

1—дно по натурным данным; 2—дно русла в результате формирования из модели.

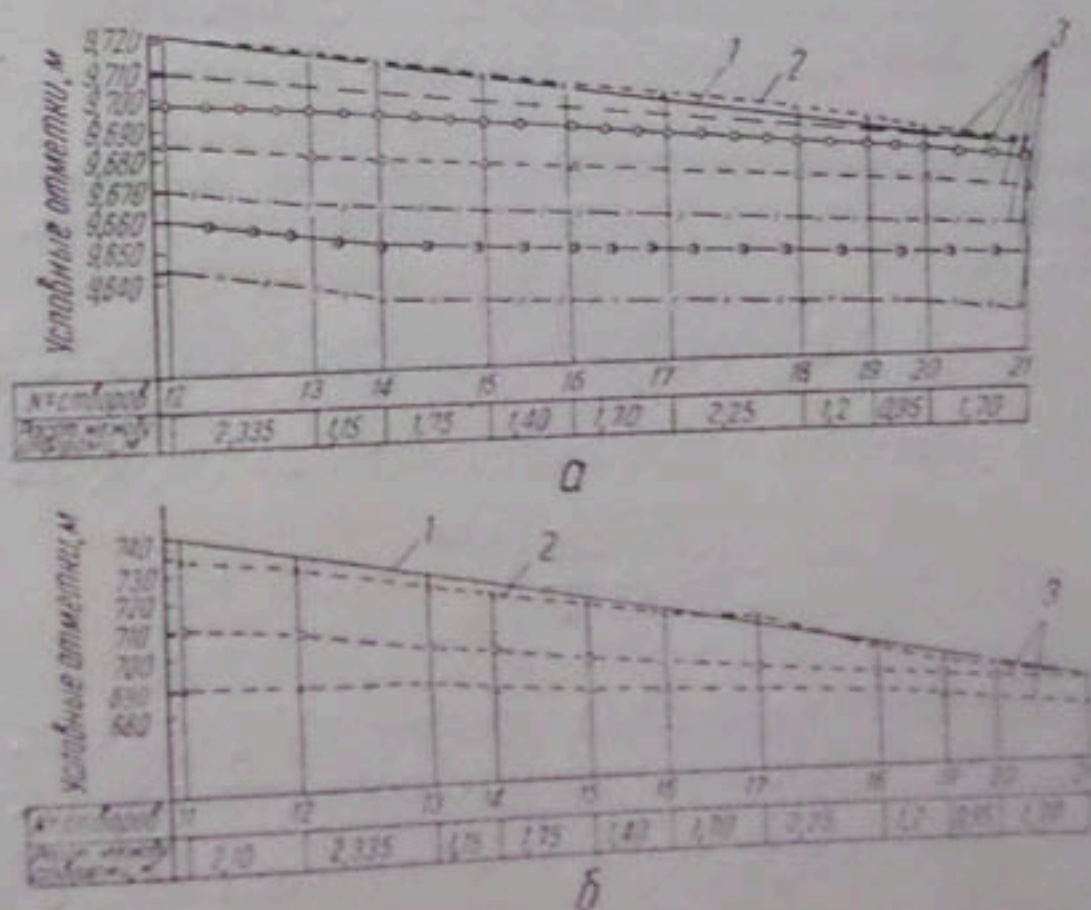


Рис. 5. Продольный профиль горизонта воды I (а)
и II (б) серии опытов:

горизонт воды: 1—по натурным данным; 2—в результате формирования из модели; 3—при размыве русла.

момента прекращения размыва русла, после чего вновь производили съемку горизонтов воды.

Таким образом, для изгари было проведено восемь опытов, для песка — два, и из них были определены средние значения критических уклонов. Продольные профили горизонтов воды исследуемого участка реки после размыва приведены на рис. 5.

Таблица 5

Критические уклоны водной поверхности на модели с пересчетом в натуру для I и II серии опытов

Номер опыта	Уклон водной поверхности	
	на модели	с пересчетом в натуру
I серия опытов с изгарью		
1	0,00165	0,000091
2	0,00124	0,000068
3	0,00116	0,0000636
4	0,000827	0,0000455
5	0,000827	0,0000455
6	0,00099	0,0000545
7	0,00107	0,000059
8	0,00107	0,000059
II серия опытов с песком		
1	0,00149	0,0000644
2	0,00133	0,0000577

Критические уклоны после размыва, полученные на модели по двум сериям опытов, даны в табл. 5.

Для первой серии опытов средний критический уклон с пересчетом в натуру равен $I_{кр} = 0,0000608$, для второй — $I_{кр} = 0,000061$. Вычисление указанных уклонов производили от створа 13 и ниже. Вышерасположенный участок реки от створа 13 до створа 7 из рассмотрения исключен, так как этот участок является переходным, сложенным гравелисто-песчаным грунтом, и критические уклоны здесь будут другими.

Сопоставление значений расчетных критических уклонов со значениями уклонов, полученными на модели, показывает, что они близки между собой. За расчетный мы принимаем уклон, полученный на модели, равный 0,000061, для которого и производится окончательно расчет общего размыва Вахша.

РАСЧЕТ ОБЩЕГО РАЗМЫВА РУСЛА р. ВАХШ для $I_{кр}$, полученного на модели

Предельная величина снижения горизонта воды Вахша для начального створа размыва (створ 9) при критическом уклоне, полученном на модели, составит

$$\Delta H_0 = (I_0 - I_{кр}) L = (0,00022 - 0,000061) \times 60000 = 9,54 \text{ м.}$$

Глубину воды в размытом русле определяем из формулы (3)

$$H_p = \left(\frac{5,4 \cdot 0,025}{\sqrt{0,000061}} \right)^{0,589} = 5,35 \text{ м.}$$

Средняя бытовая глубина воды до размыва $H_0 = 3,1$ м. Предельная величина понижения дна в начальном створе размыва составит

$$\Delta H_p = H_p + \Delta H_0 - H_0 = 5,35 + 9,54 - 3,1 = 11,79 \text{ м.}$$

Вниз по течению реки глубина размыва и снижение горизонта воды будут постепенно уменьшаться. Численное изменение этих величин на длине 60 км приводится в табл. 6.

Указанные в таблице данные будут в дальнейшем уточняться на модели при исследовании всего приустьевого участка реки длиной 60 км.

Необходимо оговориться, что методы, по которым произведены расчеты, разработаны в предположении, что берега не размываются.

При таком допущении заглубление русла и понижение уровня воды будут более интенсивными. В действительности берега тоже подвергаются размыву, интенсивность размыва дна уменьшится и процесс понижения уровня воды будет более замедленным. Окончательное положение дна реки и уровня воды вследствие некоторого размыва русла в ширину изменяется незначительно. Кроме того, предполагается, что размываемый грунт по составу является одинаковым на всей глубине размыва.

В результате проведенных лабораторных исследований получены:

- 1) удовлетворительное сходство поперечных профилей и гидравлических элементов модельного и натурального русла;
- 2) близкое совпадение расчетных критических уклонов размыва с данными модельных исследований;
- 3) величина понижения дна и уровня воды.

В связи с тем, что длина исследуемого участка русла Вахша является недостаточной для установления характера и объема деформаций по времени размыва, лабораторные исследования 1961 г. необходимо считать предварительными.

Для установления характера и объема русловых деформаций, снижения уровня воды Вахша и увязки их со временем размыва в 1962 г. в отделе русел рек предполагается провести модельные исследования приустьевого участка Вахша до слияния с р. Пяндж (протяженностью 60 км) с учетом работы и Головной ГЭС, и Нурекской ГЭС.

Таблица 6

Номер створа	Расстояние от устья L , км	Снижение горизонта воды на створах ΔH_0 , м	Понижение дна на створах ΔH_p , м
Устье	0	0	0
21	6	0,954	1,179
20	13,9	2,21	2,73
19	22,10	3,61	4,46
18	37,60	5,96	7,38
17	43,45	6,9	8,53
16	53,45	8,49	10,48
15	54,30	8,63	10,65
14	55,37	8,79	10,85
13	56,07	8,92	11,0
12	57,24	9,10	11,20
11	58,46	9,3	11,49
10	59,68	9,49	11,70
9	60,00	9,54	11,79

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтуниин С. Т. Регулирование русел, М., Сельхозгиз, 1956.
2. Леви И. И. Динамика русловых потоков, Л., Госэнергоиздат, 1957.
3. Алтуниин С. Т. Заиление водохранилищ и размыв русла в нижнем бьефе плотин, В сб. „Русловые процессы“, М., АН СССР, 1958.
4. Лапшенков В. С. Новый метод определения сроков занесения подпертых бьефов, Информационное сообщение № 51 САОГИДЭПа, Ташкент, САОГИДЭП, 1954.

Г. А. ЦОЙ

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ САМОРАЗМЫВАЮЩЕГОСЯ РУСЛА В ГРАВЕЛИСТО-ГАЛЕЧНИКОВЫХ ГРУНТАХ

Саморазмывающиеся русла устраивают при спрямлении излучин [3], разработке сбросных каналов ирригационной сети, а также строительстве отводящих трактов гидроэлектростанции. Вопросы формирования поперечного профиля саморазмывающегося русла и его расчет в литературе освещены очень слабо. Имеются лишь отдельные методы (разработанные Ю. А. Ибад-Заде [1], И. А. Бузуновым), по которым можно определить поперечные размеры саморазмывающегося русла в песчаных и суглинистых грунтах.

Между тем в Средней Азии часто приходится выполнять спрямления в гравелисто-галечниковых грунтах, где процесс размыва идет несколько иначе, чем в мелкозернистых грунтах, и в результате вымыва мелких фракций происходит самоотмостка дна крупными камнями.

Анализ материалов полевых и лабораторных исследований саморазмывающихся русел рр. Ангрен и Чирчик показал, что в гравелисто-галечниковых грунтах профиль берега имеет очертание, близкое к параболе типа

$$y = \frac{1}{4m^2h} x^2, \quad (1)$$

где m — заложение откоса по урезу воды, $m = \operatorname{ctg} \varphi$;

h — максимальная глубина потока;

x, y — текущие координаты.

В результате указанных исследований также установлено, что по мере размыва русла происходит естественная самоотмостка дна крупными камнями ложа и берегов, которые препятствуют дальнейшему понижению дна.

После самоотмостки размыв распространяется только в ширину.

Для удобства расчета весь процесс формирования нового русла можно разделить на два периода.

В первый период происходит размыв пионерного прокопа как в глубину, так и в ширину. Конец периода характеризуется прекращением размыва прокопа в глубину в результате самоотмостки дна или достижения последним отметки дна реки в местах сопряжения.

Во второй период размыв идет только в ширину и размываемый берег перемещается последовательно параллельно самому себе. Конец периода характеризуется полным прекращением размыва по всему периметру.

При разработке излагаемой методики расчета в качестве исходного положения мы приняли дифференциальное уравнение деформации русла с учетом его расширения

$$B \frac{\partial p}{\partial l} - \frac{\partial \Omega}{\partial t} = 0, \quad (2)$$

где B — ширина русла по урезу воды, которая принимается постоянной по длине;

p — погонный расход наносов;

l — длина размываемого участка;

Ω — общая площадь поперечного сечения русла;

t — время.

В пределах размывающегося прокопа нагрузка потока увеличивается по длине [4]. Речной поток, поступающий на размываемый прокоп с нагрузкой p_0 , пополняется за счет продуктов размыва и выходит из этого участка уже с нагрузкой $p > p_0$, т. е.

$$p = p_0 + p_d, \quad (3)$$

где p_d — дополнительная нагрузка, в результате размыва.

Показателем этой переменной части нагрузки может быть принята энергетическая характеристика потока. Исходя из такого предположения Б. П. Курбанов [2] предложил выразить удельную интенсивность размыва в виде одночленной показательной функции от относительного превышения фактического числа Фруда над его величиной для критического состояния

$$A = \beta \left(\frac{v^2}{v_p^2} - 1 \right)^2; \quad (4)$$

здесь A — интенсивность размыва, $см/сут$;

v — средняя скорость потока, $м/сек$;

v_p — граничная средняя скорость потока ($м/сек$), при превышении которой начинается размыв данного грунта;

β — параметр; для случаев, рассмотренных в работе Б. П. Курбанова [2], $\beta = 0,13 \text{ см/сут}$.

Таким образом, дополнительная нагрузка потока в размывающемся прокопе небольшой длины определяется величиной

$$p_d = \beta \left(\frac{v^2}{v_p^2} - 1 \right)^2 l^n,$$

где l — расстояние от начала прокопа до рассматриваемого створа;

n — показатель степени, характеризующий изменение дополнительной нагрузки по длине.

Подставляя найденное значение p_d в уравнение (3), получим

$$p = p_0 + \beta \left(\frac{v^2}{v_p^2} - 1 \right)^2 l^n. \quad (5)$$

Для решения исходного уравнения (2) среднюю скорость потока в формуле (5) заменяем $\frac{Q}{\omega}$, а ω и Ω для принятого параболического сечения (рисунок) можно выразить в функции от h

$$p = p_0 + \beta \left(\frac{M^2}{h^4} - 1 \right)^2 l^n,$$

$$\Omega = \frac{8}{3} m h^2 + 4 m h \delta,$$

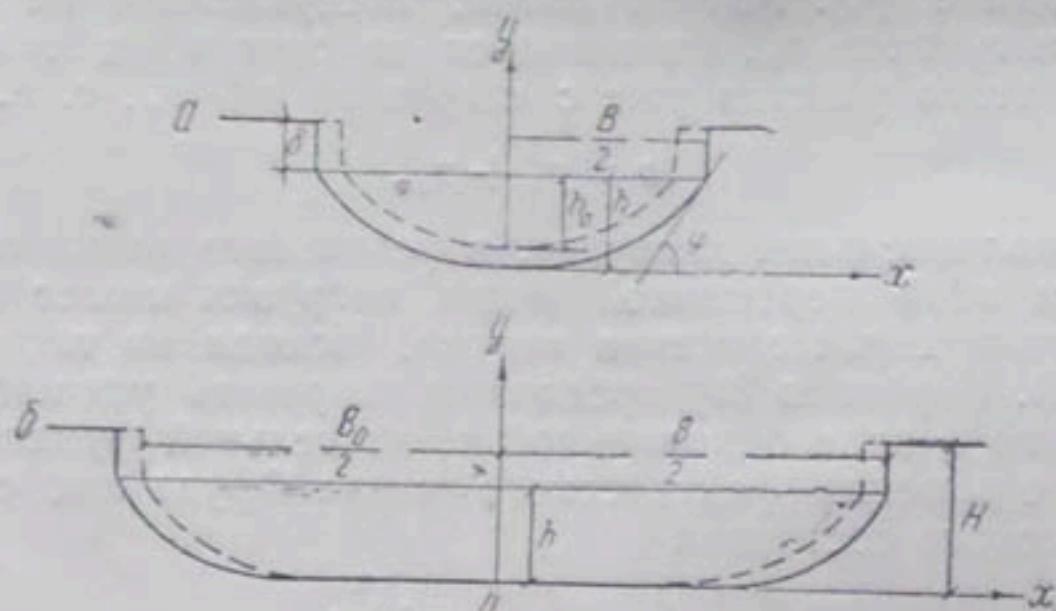
где δ — высота надводной части откоса,

$$M = \frac{3Q}{8m v_p},$$

Q — расход воды

$$\frac{\partial p}{\partial l} = \beta n l^{n-1} \left(\frac{M^2}{h^4} - 1 \right)^2,$$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} = \left(\frac{16}{3} m h + 4 m \delta \right) \frac{\partial h}{\partial t}.$$



Расчетные схемы:

a — для первого периода; b — для второго периода.

Подставляем значения $\frac{\partial p}{\partial l}$ и $\frac{\partial \Omega}{\partial t}$ в уравнение (2)

$$B \beta n l^{n-1} \left(\frac{M^2}{h^4} - 1 \right)^2 - \left(\frac{16}{3} m h + 4 m \delta \right) \frac{\partial h}{\partial t} = 0. \quad (6)$$

Полученное неоднородное линейное уравнение в частных производных решается путем составления вспомогательного обыкновенного уравнения

$$\frac{dt}{\frac{16}{3} m h + 4 m \delta} = \frac{dh}{4 m h \beta n l^{n-1} \left(\frac{M^2}{h^4} - 1 \right)^2}. \quad (7)$$

Интегрируем уравнение (7)

$$t = \frac{4}{3} \int \frac{dh}{\beta n l^{n-1} \left(\frac{M^2}{h^4} - 1 \right)^2} + \delta \int \frac{dh}{\beta n l^{n-1} \left(\frac{M^2}{h^4} - 1 \right)^2 h} + C,$$

$$\beta n l^{n-1} t = \frac{4}{3} \int \frac{h^8}{M^4} \left(1 - \frac{h^4}{M^2} \right)^{-2} dh + \delta \int \frac{h^7}{M^4} \left(1 - \frac{h^4}{M^2} \right)^{-2} dh + C,$$

$$\beta n l^{n-1} t = \frac{4}{3} \int \frac{h^8}{M^4} \sum_{i=0}^{l=\infty} (1+i) \frac{h^{4i}}{M^{2i}} dh + \delta \int \frac{h^7}{M^4} \sum_{i=0}^{l=\infty} (1+i) \frac{h^{4i}}{M^{2i}} dh + C.$$

Окончательное решение уравнения (7) имеет вид

$$\beta n l^{n-1} t = \frac{4}{3} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1+i}{(4i+9)M^{2i+4}} h^{4i+9} + \frac{4}{3} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1+i}{(4i+8)M^{2i+4}} h^{4i+8} + C. \quad (8)$$

Биномиальный ряд, сумму которого выражают первые два члена правой части уравнения (8), достаточно быстро сходится. Поэтому для приближенного расчета можно ограничиваться первыми пятью членами.

При известном Q и характеристике грунта первые два члена правой части последнего уравнения являются функциями от h . Обозначим их через $\Phi(h)$. Тогда

$$\beta n l^{n-1} t = \Phi(h) + C.$$

При $t=0$, $h=h_0$ и $C = -\Phi(h_0)$ уравнение (8) принимает следующий вид:

$$\beta n l^{n-1} t = \Phi(h) - \Phi(h_0). \quad (9)$$

Имея характеристику грунта, начальные условия и гидрограф, который разбивается на расчетные интервалы с постоянным расходом, определяем по уравнению (9) величину h . Остальные гидравлические элементы находим по следующим формулам [5]:

ширина по урезу воды —

$$B = 4mh; \quad (10)$$

площадь живого сечения —

$$\omega = \frac{8}{3} mh^2; \quad (11)$$

смоченный периметр —

$$\chi = 2h \left(k + m^2 \operatorname{arsh} \frac{1}{m} \right), \quad (12)$$

$$k = \sqrt{m^2 + 1};$$

гидравлический радиус —

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (13)$$

средняя скорость потока —

$$v = \frac{Q}{\omega}. \quad (14)$$

Очертание поперечного профиля русла строится по уравнению (1)

$$y = \frac{1}{4m^2h} x^2.$$

Для получения расчетных зависимостей во второй период задачу несколько упрощаем, приняв

$$\omega = Bh,$$

$$\Omega = BH,$$

где h — глубина потока в конце первого периода;

H — глубина врезки.

Такое упрощение возможно потому, что во второй период сечение приобретает форму, близкую к прямоугольной. В этом случае

исходное уравнение (2) примет вид

$$B\beta nl^{n-1} \left(\frac{M^2}{B^2} - 1 \right)^2 - H \frac{\partial B}{\partial t} = 0; \quad (15)$$

в данном случае

$$M = \frac{Q}{h v_p}.$$

Решая уравнение (15) таким же путем, как и уравнение (6), получим

$$\frac{\beta nl^{n-1}}{H} t = \sum_{i=0}^{i=\infty} \frac{1+i}{2i+4} \left(\frac{B}{M} \right)^{2i+4} + C, \quad (16)$$

Обозначим первое слагаемое правой части уравнения (16) через $\Phi(B)$. Тогда

$$\frac{\beta nl^{n-1}}{H} t = \Phi(B) + C.$$

При $t=0$, $B=B_0$ и $C=-\Phi(B_0)$ уравнение (16) принимает следующий вид:

$$\frac{\beta nl^{n-1}}{H} t = \Phi(B) - \Phi(B_0). \quad (17)$$

Имея характеристику грунта, гидрограф и элементы русла в конце первого периода, по уравнению (17) определяем ширину русла B , а затем и остальные гидравлические элементы потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ибад-Заде Ю. А. „Гидротехника и мелиорация“, 1949, № 9.
2. Курбанов Б. П. „Изв. АН УзССР“, 1952, № 1.
3. Цой Г. А. Спрямление излучин в связи с регулированием русел рек, Труды ТИИИМСХ, вып. 15, Ташкент, 1960.
4. Цой Г. А. Спрямление устья реки Чирчик, Труды ТИИИМСХ, вып. 18, Ташкент, 1961.
5. Шаблинский В. В., Бурлаков В. Е. „Гидротехника и мелиорация“, 1953, № 9.

А. М. МУХАМЕДОВ, Н. Н. СИВЕЦ

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРХНЕЗЕРАВШАНСКОГО ВОДОЗАБОРНОГО ГИДРОУЗЛА

ВВЕДЕНИЕ

Одной из сложных задач в гидротехнике является забор из реки воды, освобожденной от донных и крупных взвешенных наносов. Наносы существенно нарушают плановое водопользование, так как, отлагаясь в каналах, уменьшают их пропускную способность, для восстановления которой ежегодно требуются значительные затраты.

Изучение и обобщение опыта эксплуатации построенных водозаборных сооружений наряду с экспериментальными исследованиями их новых моделей в лабораториях необходимы для правильного выбора схем водозаборных сооружений и назначения режима их работы при проектировании.

Настоящая работа имеет целью дать анализ и обобщение опыта эксплуатации двустороннего плотинного водозабора, действующего с 1930 г. на предгорном участке реки, а также произвести обзор результатов экспериментальной разработки мероприятий по реконструкции этого водного узла в соответствии с возникшими задачами.

Как показала практика, при существующем состоянии водозаборного узла нельзя удовлетворить плановый забор воды в регулятор и успешно бороться с донными наносами. Мероприятия по улучшению водозабора в регуляторы, проводившиеся ранее, не дали необходимых результатов. Перед специалистами встала необходимость проведения реконструкции узла для обеспечения нормальной работы системы.

С этой целью в проектной организации «Средазгипроводхлопок» был разработан ряд схем по усовершенствованию водного узла, а в отделе русел рек ИВПиГ (бывшая лаборатория регулирования русел рек в Институте сооружений) АН УзССР проведено испытание новых схем. Сотрудниками этого же отдела была предложена наиболее приемлемая схема реконструкции гидроузла, в последующем принятая к осуществлению.

В задачу лабораторных исследований входила разработка рациональной схемы перестройки водного узла с точки зрения как обеспечения нормального забора воды в регуляторы и недопуска наносов в них, так и максимального использования конструктивных элементов существующей плотины с наименьшими затратами средств при ее переустройстве¹.

¹ Результаты лабораторных исследований публикуются в сборнике докладов Всесоюзного координационного совещания по гидравлике нижнего бьефа гидроузлов и пропуска наносов через сооружения, состоявшегося в октябре 1962 г. в Ташкенте.

Ниже излагаем результаты анализа опыта эксплуатации гидроузла до его реконструкции и некоторые обобщения режима работы так называемого индийского типа водозабора.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОУЗЛА ЗА 30 ЛЕТ

Описание узла и его элементов

Узел сооружений расположен на предгорном участке реки, в суженной части поймы, где со стороны правого берега подходят отроги Туркестанского хребта, а со стороны левого — конгломератный массив высотой до 15 м. До строительства плотины ширина активной поймы реки в этом месте составляла всего 800 м, тогда как выше и ниже сужения она достигала 2 км.

Узел, рассчитанный на пропуск максимального паводкового расхода $Q_p = 1350 \text{ м}^3/\text{сек}$, питает два магистральных канала — левобережный и правобережный. Проектный расход каждого из каналов — $110 \text{ м}^3/\text{сек}$, однако фактический водозабор левого не превышает $70 \text{ м}^3/\text{сек}$, а правого — $45 \text{ м}^3/\text{сек}$, причем до 1940 г. правый канал не был полностью построен и регулятор забирал еще меньше воды.

Общая схема узла с показанием отходящих от него магистральных каналов показана на рис. 1а.

В узел входят следующие сооружения:

- 1) глухая водосливная плотина (рис. 2а);
- 2) два (левобережный и правобережный) промывных шлюза, расположенных в одну линию с гуськом водослива (рис. 2б);
- 3) два (левобережный и правобережный) головных регулятора магистральных каналов (рис. 2в и г);
- 4) верховая правобережная струенаправляющая дамба;
- 5) правобережная вододержательная дамба;
- 6) головные участки обоих каналов.

Общая длина плотины между гранями устоев, включая оба промывных шлюза и быки отдельных стенок, составляет 223 м. Водосливная часть плотины состоит из глинобетонного понура, бетонного гуська водослива, водобойного колодца и рисбермы. Гусек имеет длину 139 м (по проекту 140 м) и отметку гребня 71,50 (см. рис. 2а). В теле гуська устроена галлерей (потерна) размерами $1,2 \times 1,0 \text{ м}$, которая должна была служить для осмотра плотины и сообщения левого берега с правым. Однако ввиду сильной фильтрации через кладку потерна быстро заполнилась водой и вышла из строя. Поэтому для перехода через плотину в верхнем бьефе построили подвесной пешеходный мостик. В паводок 1942 г. этот мостик снесло водой и взамен его в 1945 г. был сооружен новый мостик, уже в нижнем бьефе.

Для обеспечения дополнительного подпора при меженных горизонтах на гребне водослива сделаны специальные пазы, в которые по мере надобности устанавливаются стойки, служащие для закладки шандор (расстояние между стойками, т. е. длина шандор, 2 м, рис. 3). Закладка шандор позволяет повышать меженный горизонт воды в верхнем бьефе узла на 50 см.

Водобойный колодец длиной 14,7 м заложен на отметке 68,75, на 25 см ниже отметки слива. В конце колодца находится порог из зубьев шириной 2 м и высотой 0,45 и 0,75 м. Полная глубина колодца составляет 0,75 м. Так как эта глубина оказалась недостаточной, для улучшения гашения энергии (при расходах через водослив более $350 \text{ м}^3/\text{сек}$), а также в целях борьбы с истиранием подошвы водослива

в начале колодца были установлены гребенчатые гасители (трамплины). Гасители, сооруженные в первые годы эксплуатации плотины, имеют полный профиль, а остальные, с неполным профилем, предназначены для предохранения подошвы водослива от истирания. Весь колодец облицован гранитными плитами.

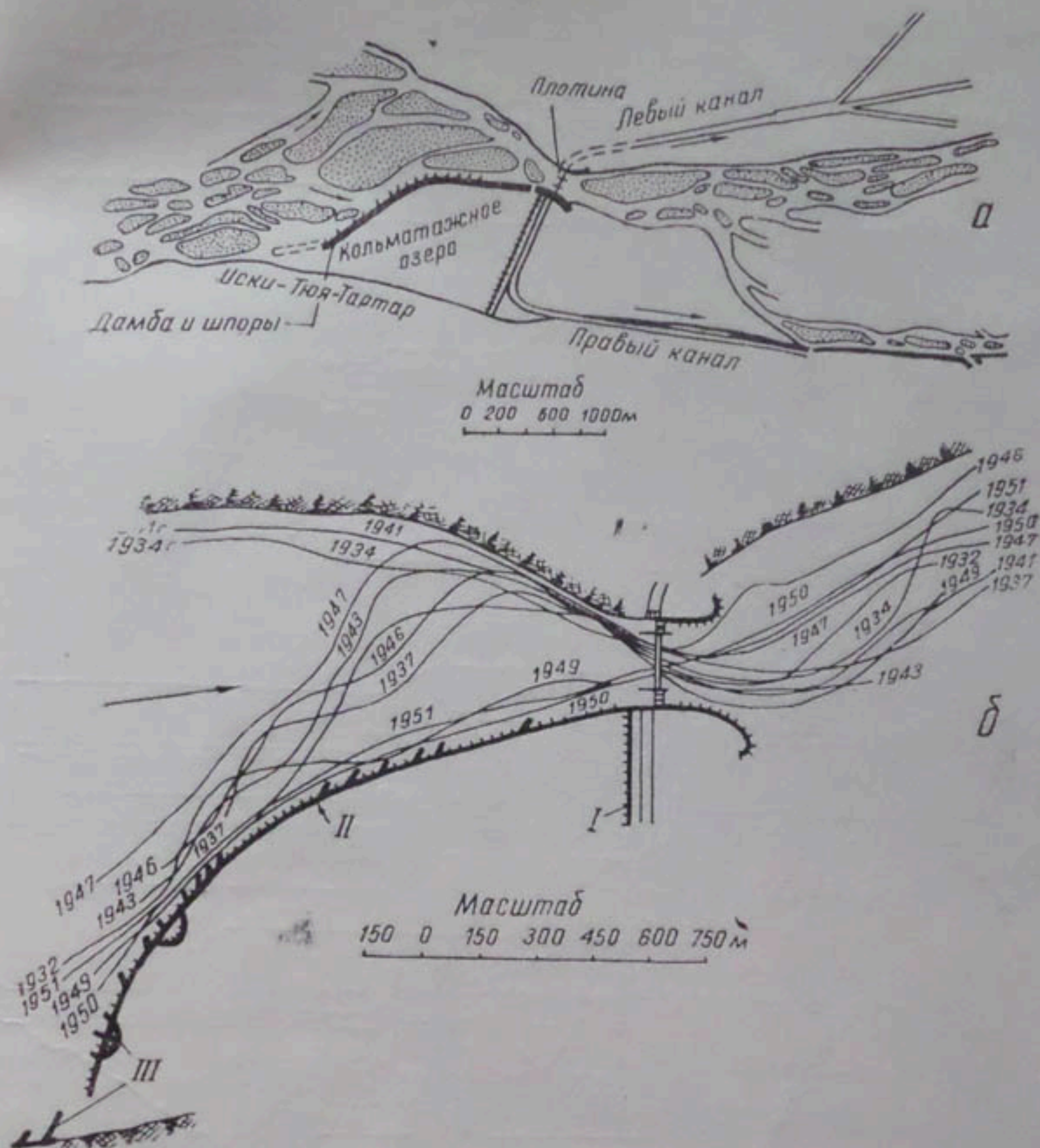


Рис. 1. План реки у плотины:

а—по съемке 1939 г. (в межень); б—с показанием оси главного русла по материалам инструментальных съемок; I—водоудержательная дамба; II—струенаправляющая дамба; III—защитные сооружения.

Непосредственно за зубьями находится бетонный водобой длиной 40 м, с отметкой поверхности 69,00.

К началу 1937 г. в первый период работы плотины, когда ввиду полного задержания наносов в верхнем бьефе сброс воды через плотину происходил без донных наносов вследствие плохого гашения энергии и общего понижения дна в нижнем бьефе, крепление рисбермы было сильно разрушено. Во время капитального ремонта нижнего бьефа плотины в 1937 г. в местах разрушенного старого крепления слива, выполненного бетонными плитами, были установлены бетонные

тетраэдры, промежутки между которыми заполнялись рваным камнем. В 1939—1940 гг. были сооружены также другие виды креплений, из которых наилучшим образом оправдал себя продольный деревянный настил.

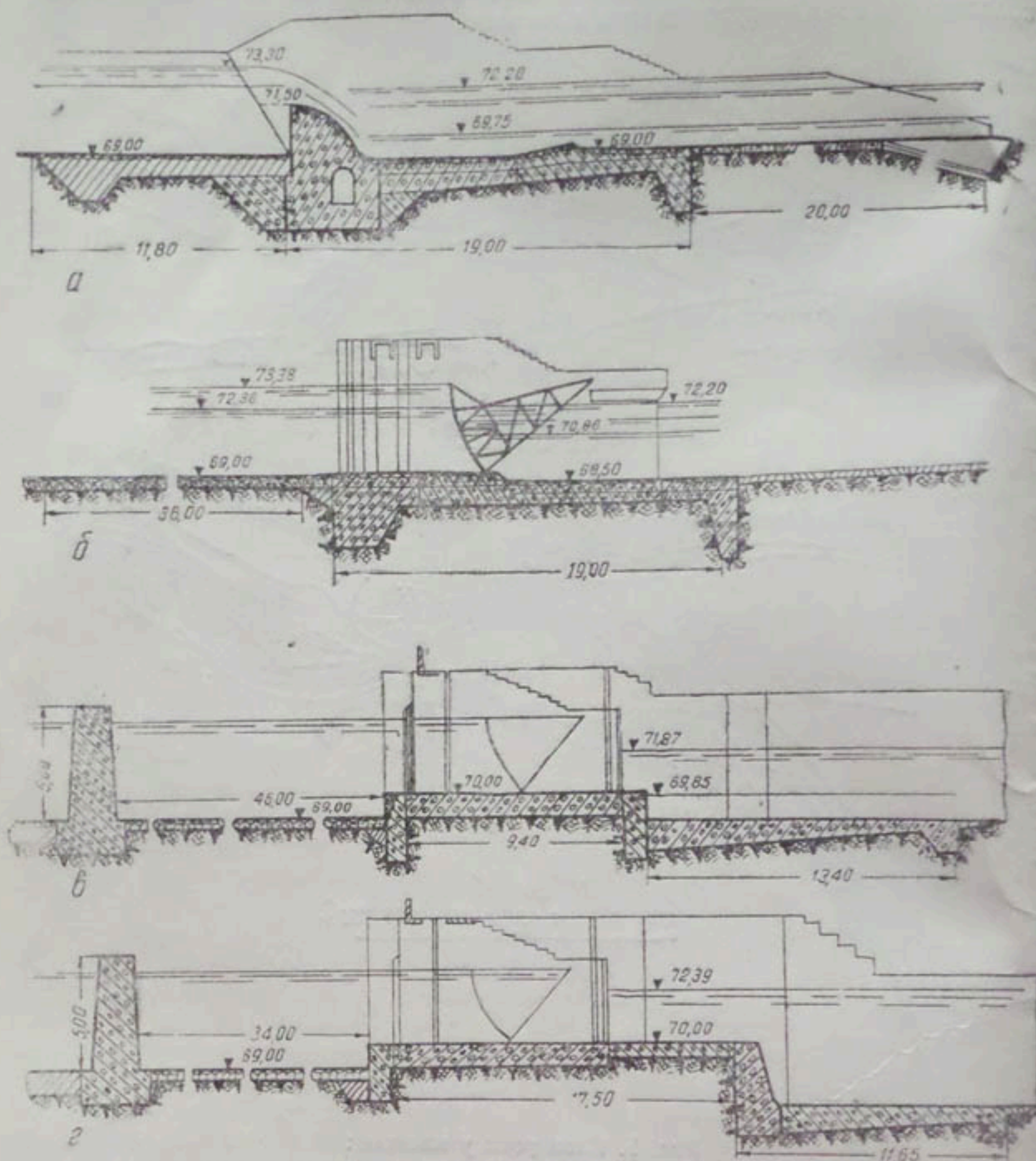


Рис. 2. Разрезы по сооружениям узла:
а—водосливной плотине; б—промывному шлюзу; в—правобережному головному регулятору; г—левобережному головному регулятору.

Прилегающие к гуську водослива левобережный и правобережный промывные шлюзы по конструкции идентичны и различаются между собой лишь числом отверстий. Полная длина левобережного промывного шлюза по фронту — 34 м. Шлюз состоит из трех отверстий пролетом в 10 м, разделенных между собой двумя бычками толщиной по 2 м.

В правобережном шлюзе, достигающем по фронту 46 м, имеется четыре отверстия пролетом 10 м каждое, разделяющихся тремя быч-

ками толщиной по 2 м. Отверстия шлюзов перекрываются секторными щитами длиной 10 м, высотой 4 м при высоте бычка 7,75 м.

Промывные шлюзы отделяются от водосливной части плотины отдельными стенками, имеющими в верхнем бьефе длину 62,5 м и в нижнем — 20 м. Отделенные стенками пространства перед регуляторами носят название карманов и служат для осаждения донных наносов на подходе к регуляторам. Когда накопление наносов достигает высоты, превышающей допустимую, их отложения посредством открытия шлюзов смываются в нижний бьеф плотины.

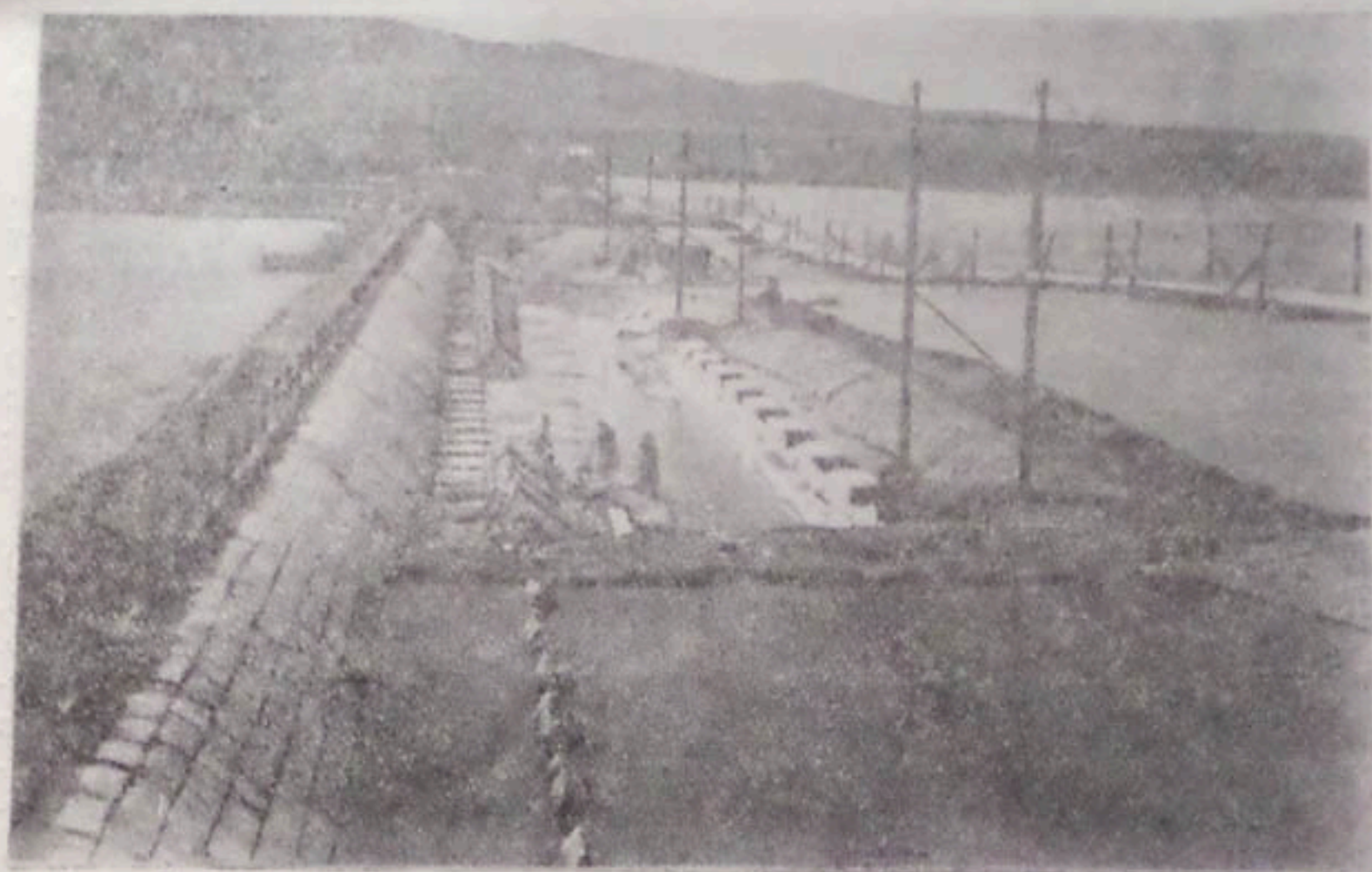


Рис. 3. Вид нижнего бьефа водосливной плотины в период ремонта весной 1951 г.

Дно карманов и порог промывных шлюзов расположены на отметке понура водослива 69,0; бетонная облицовка дна карманов до некоторой степени может рассматриваться как водонепроницаемый понур промывных шлюзов.

Длина флютбета шлюзов — 19,0 м, толщина кладки — от 1,5 до 1,0 м; верхний зуб заложен на глубину 3,5 м, низовой — на 4,0 м (см. рис. 2а).

Оба регулятора по конструкции подобны между собой и, кроме ширины отверстия, различаются лишь устройством сливных частей (см. рис. 2в, г).

Правобережный регулятор имеет 8 пролетов по 3,7 м каждый с общей длиной по фронту 33,8 м, левобережный — 7 пролетов по 3,7 м с общей длиной по фронту 29,5 м.

Регулирование забора воды производится щитами и шандорами; во избежание завлечения донных наносов в регулятор вода проходит через шандорный порог, высота которого изменяется в зависимости от забираемого расхода и высоты отложений в кармане. Более точное регулирование подаваемого расхода осуществляется щитами.

Отметка порогов обоих регуляторов составляет 70,0, что на 1 м выше отметки дна карманов и порогов промывных шлюзов.

Правобережный канал на первом километре пересекает пойму, изрезанную староречьями и рукавами, поэтому здесь он заключен в дамбы. Далее он выходит на косогор высокого отрога Туркестанского хребта, вдоль которого с уклоном 0,0008 идет до пикета 50, где от него отделяется правая ветка.

По проекту предполагалось, что на первых 3,5 км канал будет работать с подпором, представляя собой отстойник, осаждающий песчаные фракции, которые через специальный сброс на ПК 35 должны сбрасываться в реку. До настоящего времени этот отстойник не построен и канал эксплуатируется обычным путем.

Левобережный канал имеет холостой бетонированный участок длиной 2 км, простирающийся до вододелителя, где от канала влево отходит один, а вправо — два арыка. Проникновение гальки и песка в этот канал недопустимо, так как он подает воду на ГЭС.

Верховая правобережная струенаправляющая дамба по проекту должна была создать плавный подход потока к сооружению и одновременно нести оградительные функции, защищая правый берег от разрушения. Длина ее предполагалась в 3 км с криволинейным очертанием в плане. На первых 100 м дамба располагалась перпендикулярно оси плотины; на следующих 600 м ось ее составляла с осью плотины угол в 16° в направлении правого берега, на остальной длине по пологой однообразной кривой дамба примыкала к верхней террасе правого берега. Фактически дамба была построена на длину около 2,5 км, т. е. не доходила до коренного берега на 500 м.

Выше конца струенаправляющей дамбы (считая по течению реки) проектом предусматривалась установка шпор временного характера, которые должны были постепенно отклонять реку в левое русло. Шпоры также не были построены, и в 1940—1943 гг. (после распространения подпора до конца дамбы) начался интенсивный размыв правого берега выше дамбы, создавший реальную угрозу обхода дамбы и всего узла справа. Опасность была локализована своевременными защитными работами, производившимися ежегодно.

Наконец, для обеспечения плавного протекания потока вдоль левого берега в проекте намечалось выправить русло у конгломератного выступа левого берега особыми шпорами, образующими плавную линию берега, составляющую с гранью левого устоя угол в $16^\circ 40'$. И это мероприятие выполнено не было.

С низовой стороны плотины правый и левый берег предохраняются от размыва низовыми струенаправляющими дамбами, одновременно содействующими лучшему сопряжению слива с естественным руслом. Угол, образуемый каждой из дамб с осью плотины, составляет 103° . Длина правобережной дамбы, защищающей правобережный канал, равна 300 м, а левобережной, служащей защитой зоны переходного участка левобережного канала, — 150 м (см. рис. 1б).

Правый устой плотины расположен на нижней террасе поймы, затопляемой в высокую воду. Кроме того, пойма подвержена затоплению вследствие подпора у плотины, что создает опасность обхода рекой плотины справа.

В качестве защитного мероприятия проектом предусмотрена правобережная вододержательная дамба длиной 1 км, которая должна проходить от правого устоя до высоких отметок берега, перекрывая как нижнюю, так и верхнюю террасу и примыкая непосредственно к предгорьям правого берега (см. рис. 1).

Основные размеры дамбы следующие: ширина поверху 4,0 м, откосы в пределах нижней террасы, где напор (Н) достигает 2—2,4 м, —

двойные, в пределах верхней террасы ($H = 1 \div 1,5$ м) — полуторные. Отметка гребня дамбы принята на 1,5 м выше максимального подпертого горизонта перед плотиной.

Тело дамбы насыпано из лесса; в основании — замок из глинобетона; смоченный откос и его подошва укреплены габионными тюфяками толщиной 0,5 м. Во избежание разрушения дамбы продольными течениями при заливе водой пространства между ней и струенаправляющей дамбой было намечено устройство двух поперечных шпор из габионной кладки. Шпоры не построены.

В проекте предусматривался также кольматаж пониженных мест между правобережной верховой, струенаправляющей и вододержательной дамбами. Для этого в начале струенаправляющей дамбы была устроена труба на расход в 10—15 м³/сек, а ниже ее, на расстоянии 100 м от плотины, — выпускной шлюз. По проектным соображениям, вода из реки должна была, поступая через трубу, заливать низину и, откладывая глинистые и песчаные частицы, постепенно ее кольматировать. Поэтому низина за дамбой получила название кольматажного озера. Осветленную воду предполагалось сбрасывать через выпускной шлюз в верхний бьеф плотины.

В 1943 г. вследствие сильного навала реки на правый берег выше струенаправляющей дамбы труба была подмыта и разрушена, и в низину устремился расход порядка 100 м³/сек. Из-за незначительной пропускной способности выпускного шлюза горизонты в кольматажном озере поднялись значительно выше проектных (не достигли отметки гребня вододержательной дамбы всего на 0,3 м), и только благодаря спаду горизонтов в реке и отходу реки от правого берега в начале струенаправляющей дамбы катастрофа была предотвращена. Для того чтобы избежать повторения такой опасности, в струенаправляющей дамбе рядом с выпускным шлюзом устроен водослив шириною по гребню 35 м с отметкой гребня, равной отметке нормального подпертого горизонта в верхнем бьефе плотины.

Описание русла реки в районе гидроузла

Бассейн реки отличается большим разнообразием горных пород, в той или иной степени отражающихся на величине мутности и составе донных наносов. Относительно невысокая мутность притоков реки объясняется наличием в их бассейнах метаморфизованных сланцев, не дающих мелкозернистых продуктов выветривания. Среднегодовая мутность самой реки на выходе из гор (по данным Г. И. Шамова) равняется 1,390 кг/м³. Такая повышенная мутность обусловлена наличием в нижних частях бассейна меловых и третичных отложений, представленных глинами, мощными толщами мергелей и песчаников. Кроме того, само русло реки проходит в пределах террас, сложенных отложениями ледниковых морен, легко поддающихся размыву.

В многолетний период наблюдений максимальный паводковый расход составил 900 м³/сек (1925 г.), а минимальный меженный — до 30 м³/сек. Нарастание расходов может доходить до 280 м³/сек за сутки. Гидрограф реки в створе узла за период с 1930 по 1950 г. показан на рис. 4.

На подходе к узлу река часто меняет свое направление, что подтверждается данными съемок, проводившихся службой эксплуатации за время работы узла. Следует, однако, отметить, что после строительства узла и струенаправляющей дамбы (т. е. начиная с 1930 г.) главное русло в верхнем бьефе плотины гораздо чаще располагалось вдоль левого берега, чем у правого (см. рис. 1б).

Изменение отметок дна в бытовых условиях характеризуется совмещенным поперечным профилем реки в гидрометрическом створе за 1943 г. (рис. 5). Из рис. 5 видно, что во время нарастания паводка, т. е. с 30 мая по 10 июля, отметки дна понижались от 0,6 до 1,5 м, а в период спада паводка повышались от 0,9 до 1,6 м.

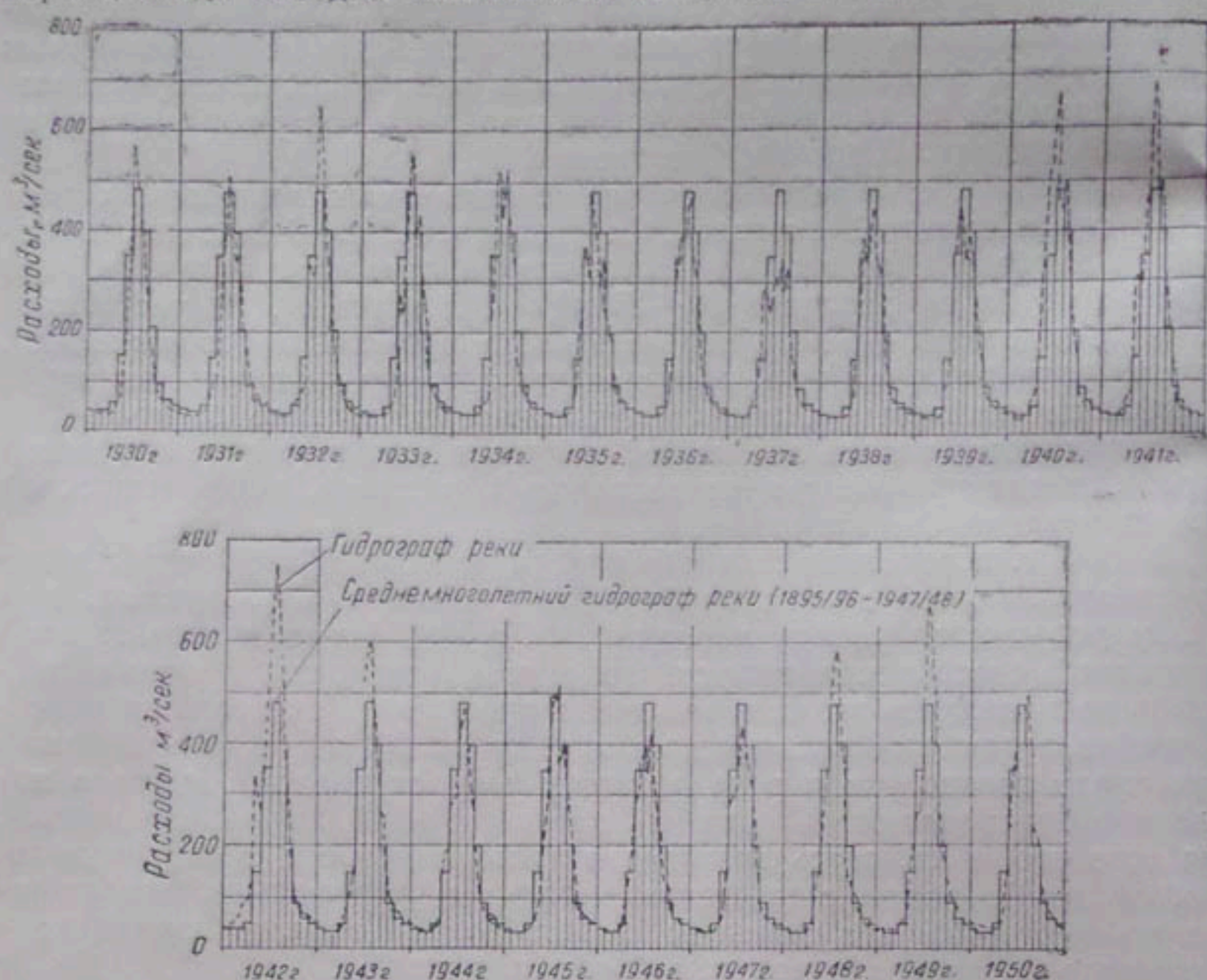


Рис. 4. Гидрографы реки в створе узла с 1930 по 1950 г.

По многолетним данным наибольшие скорости течения воды в паводок доходят до 3—4 м/сек. Средняя по сечению скорость находится в пределах 1,8—2,5 м/сек. Максимальная скорость, как правило, совпадает с поверхностной, реже располагается на глубине 0,10—0,20 м. Соотношение средней и максимальной скоростей $\left(\frac{v_{\text{ср}}}{v_{\text{макс}}}\right)$ колеблется от 0,6 до 0,75 при больших расходах и от 0,45 до 0,55—при малых.

Максимальные скорости наблюдаются в местах наибольших глубин, а изотакхи (кривые равных скоростей) весьма хорошо совпадают с конфигурацией живого сечения русла, наиболее сгущаясь в глубоких местах.

Отношение донной скорости к средней для больших расходов составляет 0,5—0,65 и для малых 0,4—0,5.

Относительная мутность колеблется от 0,0053 кг/м³ в межень до 1,9 кг/м³ в паводок.

В период с 1937 по 1942 г. среднедекадные расходы взвешенных наносов в межень снижались до 0,016 кг/сек, а при прохождении паводка достигали 2000 кг/сек (1-я декада июля 1942 г.). В паводок размеры фракций диаметром менее 0,05 мм составляли 70—90%, фракций 0,25—0,05 мм — 10—25% и крупные — 0,25 мм — до 4,0%.

При скоростях менее 1,5—2,0 м/сек более крупные фракции из взвешенных наносов перемещаются по преимуществу в нижних слоях потока. При скоростях более 2—2,5 м/сек происходит сильное перемешивание, вследствие чего распределение крупности по глубине более равномерно.

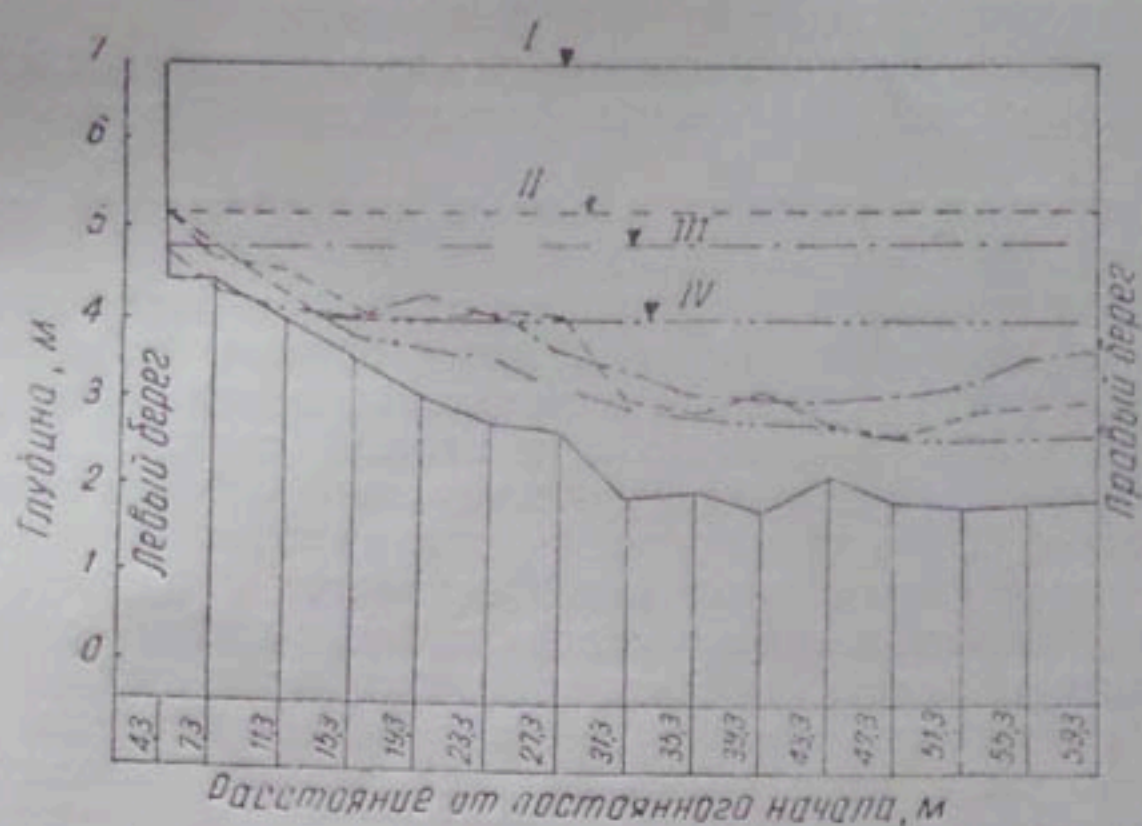


Рис. 5. Совмещенные профили реки на гидрометрическом створе за 1943 г.:

I—уровень 6,92 м, 10. VII; II—5,22 м, 30.V; III—4,34, 11.X; IV—4,22 м, 7. I.

Донные наносы состоят главным образом из гальки, гравия и крупного песка. Приблизительно их сток можно принять равным 0,01% от стока воды или около 5% от стока взвешенных наносов¹. Движение гравия начинается при скоростях порядка 1,5 м/сек (или при расходах воды $Q > 100 \text{ м}^3/\text{сек}$) и происходит во время всего периода паводка; основная же масса (95%) донных наносов передвигается в пик паводка, т. е. в течение июня — августа.

Крупность галек, переносимых рекой, достигает 30 см, преимущественно же встречается галька размером от 5 до 10 см.

Наибольшая глубина русла реки в естественных условиях не превосходит 3,0—3,5 м и лишь в местах резких стеснений (например, у головы водоотбойных шпор) достигает 4,0—4,5 м. Колебание горизонтов воды (от паводковых до меженных) в среднем составляет 2,0 м. Уклон реки на участке от гидрометрического створа до узла, т. е. на длине 43 км, равен $i = 0,00475$, а в районе самого узла $i = 0,0043$.

Изменение состояния гидроузла за период эксплуатации и проводимые защитно-регулирующие работы

Рассматриваемый узел имеет ряд серьезных недостатков, затрудняющих эксплуатацию. Главнейшие из них следующие:

- 1) неустойчивость водозабора, особенно на правый берег;
- 2) попадание большого количества наносов в правобережный регулятор из-за отсутствия необходимых расходов для промывки карманов;

¹ По данным съемок русла в верхнем бьефе плотины, за период с 1930 по 1934 г. ежегодно откладывалось около 215 тыс. т. наносов. При объемном весе 1,4 это составляет около 154 тыс. м³. Указанный объем можно принять за среднегодовой сток донных наносов.

3) включение промывных шлюзов в пропуск паводковых расходов; при расходах более $700 \text{ м}^3/\text{сек}$ донные наносы крупных фракций проникают в головные регуляторы и далее в каналы;

4) интенсивное отложение наносов в нижнем бьефе узла, вызывающее подтопление промывных шлюзов, затрудняющее промывку карманов и сильно снижающее ее эффективность;

5) разрушение бетонной кладки гуська водослива вследствие выщелачивания цементного раствора фильтрующейся сквозь его толщу водой;

6) недостаточная толщина и высота правобережной струенарправляющей и вододержательной дамб.

Отложение наносов в зоне подпора в верхнем бьефе узла привело к тому, что на подходе к узлу русло реки, блуждая по пойме, прижалось к правому берегу. Размыв незащищенную его часть, река перелилась через дамбу, стремясь обойти плотину справа.

Неустойчивость водозабора представляет собой основной недостаток плотины. Выше конца дамбы поток проходит главным образом у правого берега, затем резко перебрасывается к левому. В межень и даже при больших летних расходах в большинстве случаев поток прижат к левому берегу, что создает невозможность подачи к правому регулятору не только расхода воды, обеспечивающего промывку кармана от наносов, но и планового расхода, необходимого для орошения. Вследствие этого служба эксплуатации вынуждена производить подпитывание правобережного канала через старые неинженерные головы.

Ранее предполагалось, что повышение гуська водослива создаст лучшие гидравлические условия для подхода воды к правобережному регулятору. Однако произведенное весной 1947 г.¹ наращение гуська на $0,20 \text{ м}$ с укладкой деревянного бруса на всю длину водослива показало, что наносы стали отлагаться как перед правобережным карманом, так и в самом кармане в еще большем количестве, а завлечение наносов в регулятор также увеличилось².

Попытка перенести гусек водослива в створ водораздельных стенок отстойных карманов путем постройки барража из местных материалов не дала эффекта, так как барраж ввиду слабости конструкции не мог противостоять паводкам (рис. 6).

Прижимаясь основным потоком к левому берегу, река при спадах воды откладывает основную массу наносов у правого берега, заполняя ими правобережный промывной карман плотины. Поэтому в паводковый период приходится производить весьма частые промывки правого кармана от донных наносов (рис. 7). Неравномерный подход воды к водосливу создает и вредные условия его работы, в частности очень большую динамическую нагрузку на левую часть сооружения.

В паводок погонные расходы воды, проходящие через левую часть, в 3—4 раза превышают средние по ширине и достигают $15 \text{ м}^3/\text{сек}/\text{пог.м}$ вместо предусмотренного проектом $5 \text{ м}^3/\text{сек}/\text{пог.м}$, при этом горизонт воды у левой раздельной стенки оказывается на 1 м выше, чем у правой.

Вследствие неравномерного распределения расходов воды по фронту плотины вода в левом кармане начинает переливаться через щиты промывных шлюзов уже при расходах $650\text{—}700 \text{ м}^3/\text{сек}$. Чтобы

¹ Такие работы проводились и в последние годы эксплуатации.

² Последние годы в левобережный канал попадали галечнико-гравелистые наносы, которые транспортировались до первых ирригационных отводов.

избежать опасных горизонтов, приходится одновременно с забором воды в регулятор приоткрывать щиты левобережного промывного шлюза. Однако образующиеся при этом в левобережном кармане завихрения воды создают условия для завлечения донных наносов в левобережный регулятор¹.

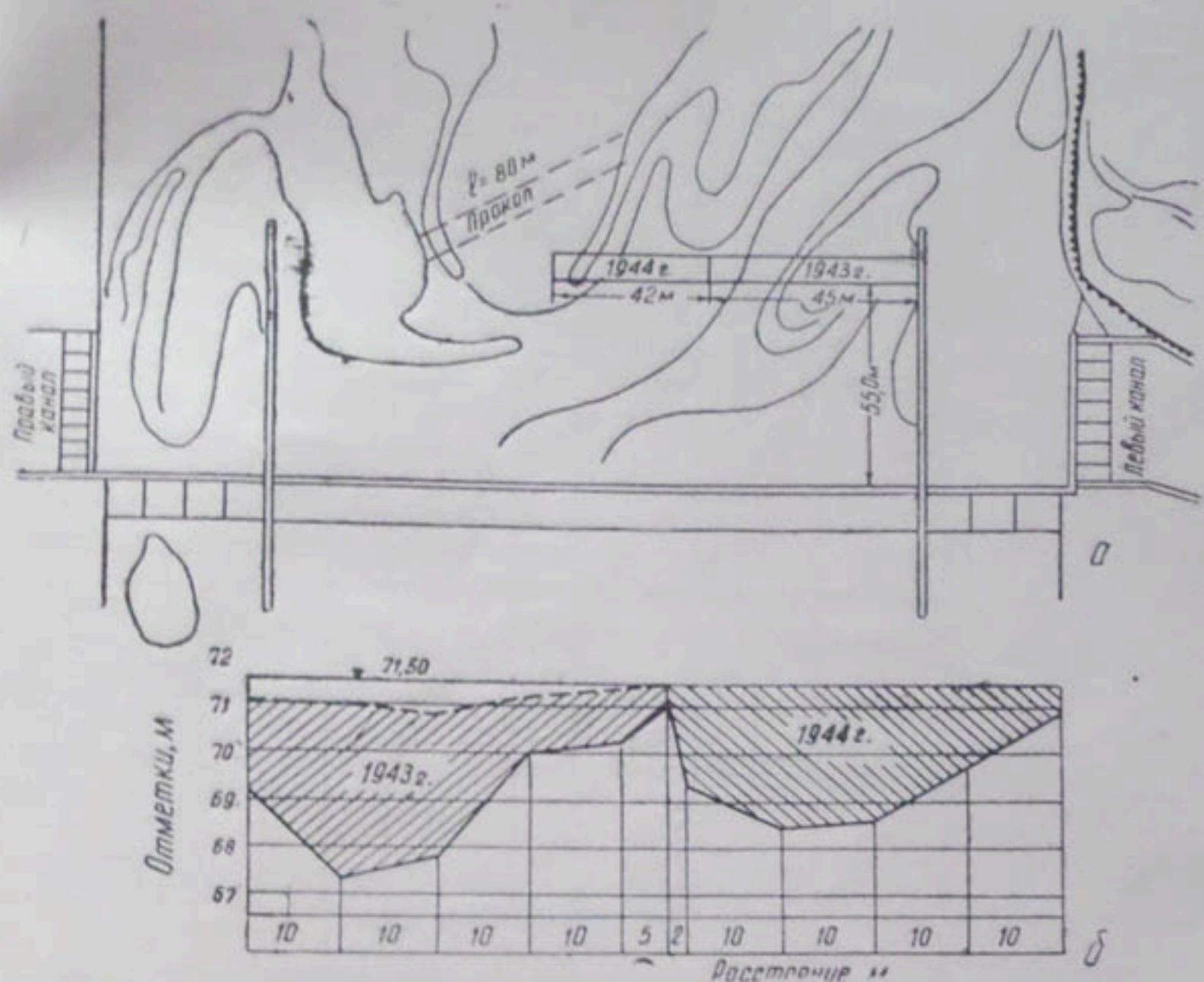


Рис. 6. Схема постройки барража на гидроузле в 1943–1944 гг. (по данным Самаркандского облводхоза):

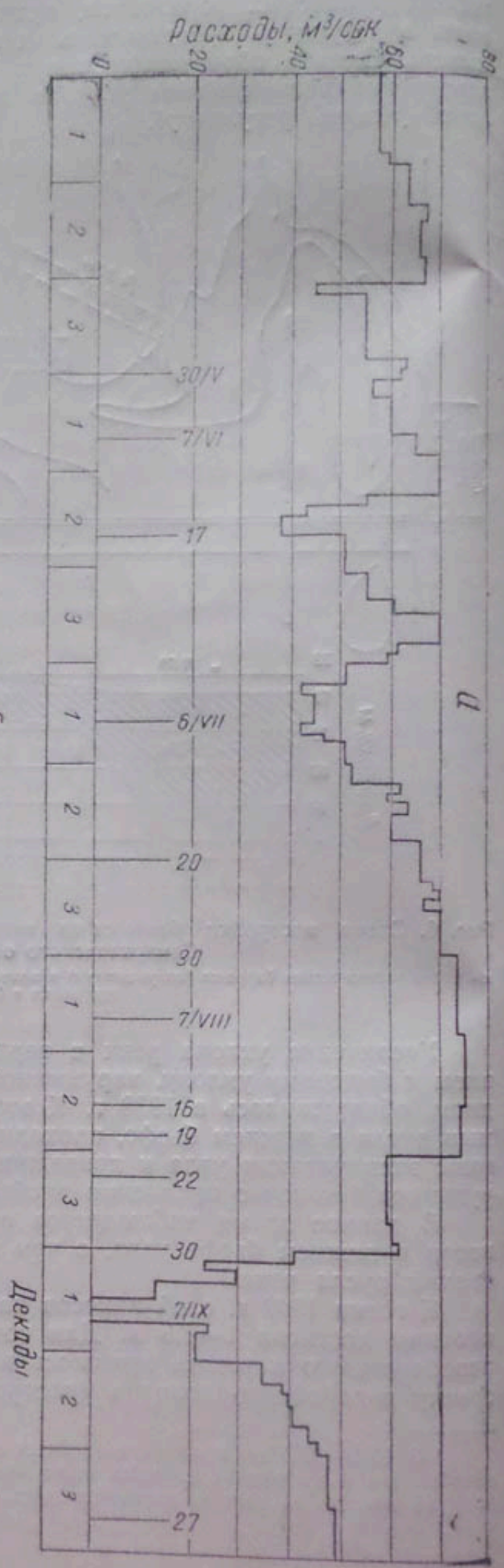
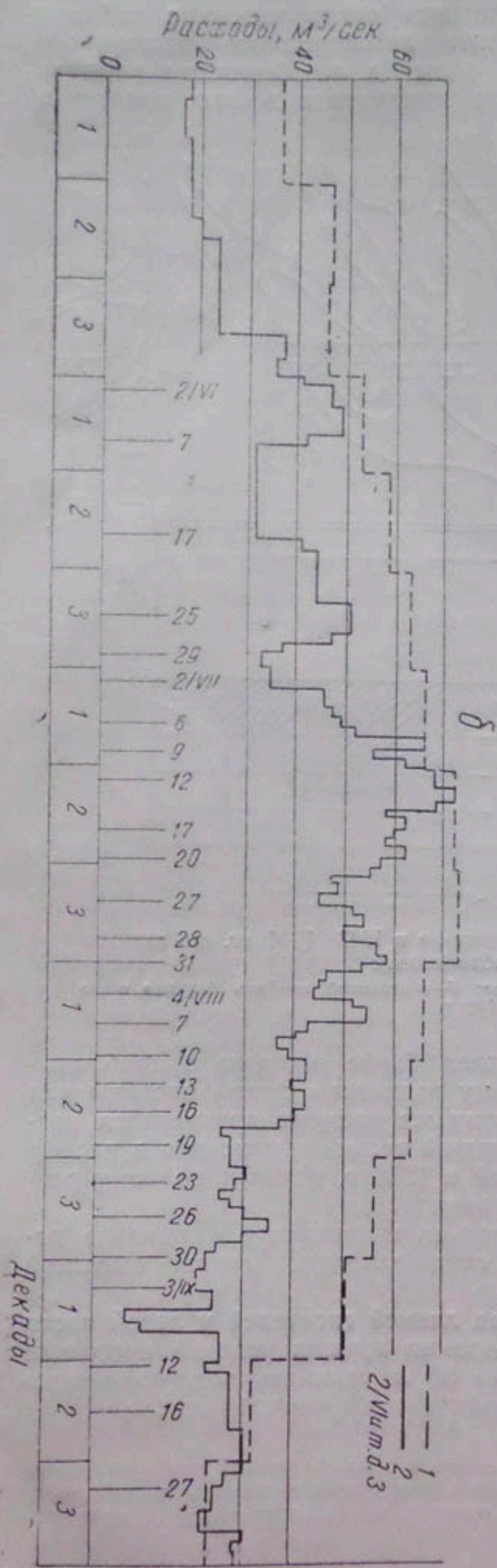
а—схема расположения барража (полузапруды) в плане; б—продольный профиль барража после постройки в 1944 г.

Увеличение уклона реки в верхнем бьефе плотины с приближением к бытовому уклону, нарушенному поднятием гуська плотины над дном, обнаружилось в 1938 г. К этому же времени прекратился размыв русла в нижнем бьефе, проходивший весьма интенсивно в первые годы эксплуатации узла и приведший в 1936 г. почти к полному разрушению бетонного крепления рисбермы.

В данное время наблюдается весьма интенсивное отложение наносов в нижнем бьефе узла, о чем свидетельствуют данные высотной съемки русла реки.

К осени 1949 г. слой наносов над линией гасителей у левой части плотины достигал 1–1,5 м. Для создания лучших условий промывки левобережного кармана пришлось на 50 м удлинить водораздельную стенку водобойного колодца (постройкой таштуганной дамбы).

¹ В 1959–1961 гг. попадание крупных наносов в левобережный канал оказалось неизбежным и работники службы были вынуждены транспортировать поступающую воду по каналу до первых ирригационных отводов, где производилась ее механическая очистка.



При строительстве правобережной струенаправляющей дамбы указывалось, что «это лучшее, что можно было предпринять для этой цели» и что «она не дает реке обойти плотину справа», но все же, как показал опыт эксплуатации, дамба оказалась недостаточной длины и недостаточного профиля.

В самом деле, после окончания формирования верхнего бьефа к 1938 г. начался подмыв верхней части дамбы, а паводки 1941 и 1942 г. дали уже перелив воды слоем 10—15 см через верх ее в 600 м выше плотины. В последующие маловодные годы перелива не наблюдалось, но в 1949 г. он возобновился слоем 30—40 см по всей длине дамбы. Одновременно река, прижавшись к незащищенному правому берегу, стала сильно его размывать, стремясь обойти дамбу справа.

Впервые за время эксплуатации плотины в кольматажное озеро поступали расходы до 50 м³/сек. Габионная часть дамбы оказалась разрушенной, и если бы не были приняты серьезные меры в паводковый период, большая часть реки вошла бы в кольматажное озеро.

В 1949 г. в полной мере сказались дефекты струенаправляющей дамбы. Начало ее не было примкнуто к коренному берегу, кроме того, она имела недостаточный поперечный профиль, так как была построена без учета возможного повышения горизонтов воды в верхнем бьефе в процессе его занесения. Поэтому дамба была погребена наносами, а горизонт воды поднялся выше ее поверхности. Совершенно ясно, что служба эксплуатации не только не нашла способов улучшить эксплуатационные качества плотины, но не сумела даже приостановить ежегодное ухудшение работы плотины и ее разрушение.

Исключение составила лишь гранитная облицовка гуська плотины в месте сопряжения с водобойным колодцем, сохранявшаяся в удовлетворительном состоянии.

Переформирование русла в верхнем и нижнем бьефах за период эксплуатации

Многочисленные съемки русла и записи в журнале эксплуатации гидроузла за период с 1930 по 1960 г., а также специальные исследования, проведенные сотрудниками быв. САНИИРИ и Управления эксплуатации Министерства водного хозяйства УзССР, позволяют выделить основные периоды в формировании русла в верхнем и нижнем бьефах плотины.

До постройки плотины (согласно материалам проекта) река часто перемещалась от одного берега к другому, разделялась на ряд рукавов и вновь сливалась в одно русло. Изменения в движении потока происходили большей частью в период паводка и тем неожиданнее, чем быстрее нарастал и спадал паводок.

Период с 1930 по 1937 г. Первоначально кривая подпора распространялась вверх по течению на 700 м, чем создавались благоприятные условия для отложения донных наносов на этом участке. К 1937 г. слой отложений у плотины почти достигал уровня горизонта среднего паводкового расхода, причем наносные отложения распределялись по всей ширине подводящего русла. К этому времени река делилась на рукава и только непосредственно перед плотинной протекала одним руслом вдоль левого берега.

Рис. 7. График водозабора левого (а) и правого (б) каналов за вегетационный период 1943 г.:

1—расходы плановые; 2—расходы фактические; 3—даты промывок кармана.

В нижний бьеф в течение первых семи лет эксплуатации плотины донные (галечниковые) наносы не проникали. Все крупные фракции откладывались в верхнем бьефе, в нижнем же в этот период происходил интенсивный размыв русла со снижением горизонтов воды по

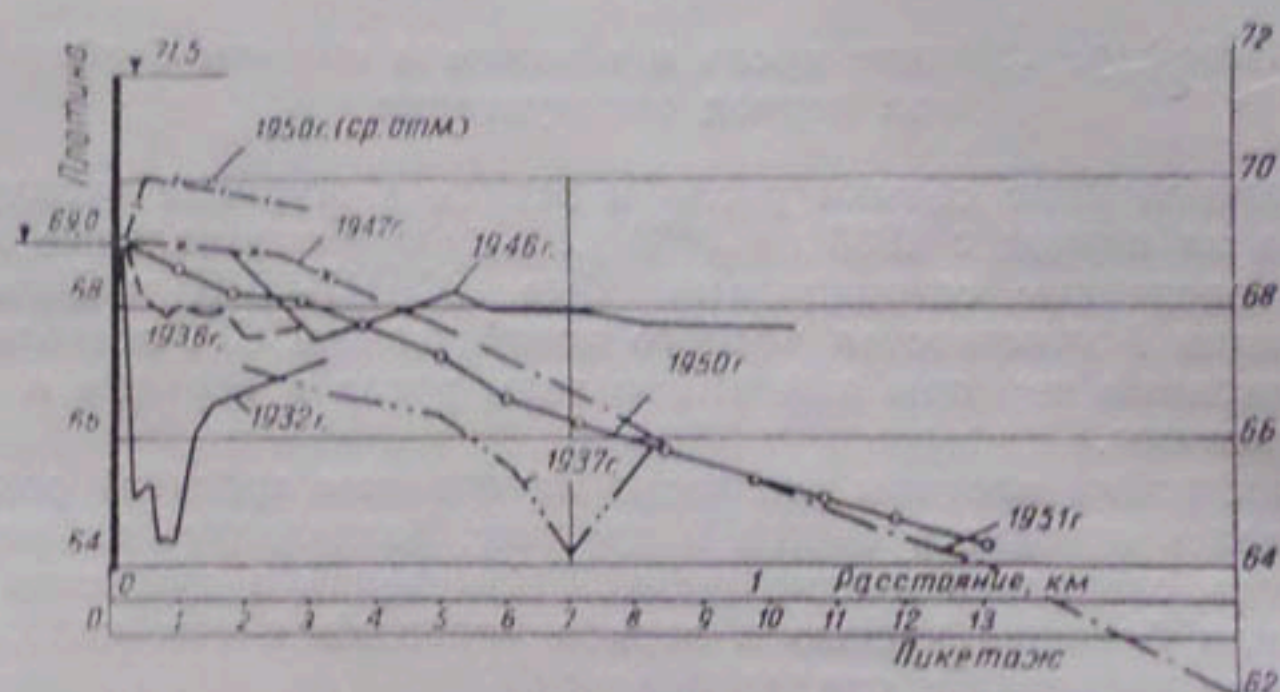
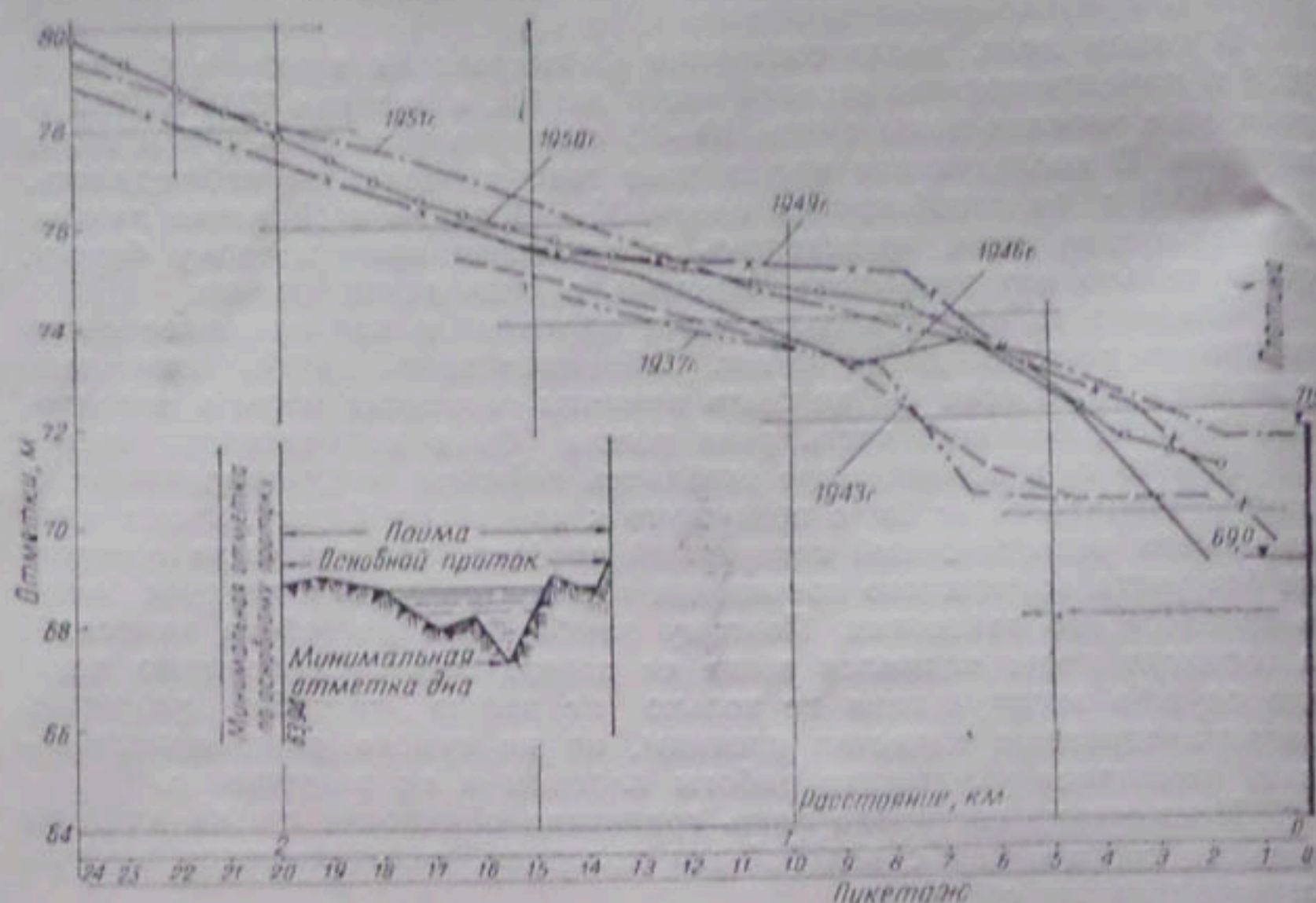


Рис. 8. Совмещенный профиль русла реки у плотины по минимальным отметкам дна основного протока с 1943 по 1951 г. Точки минимальных отметок дна и расстояния между ними взяты по трассе основных протоков каждого года (на верхнем рисунке — верхний бьеф, на нижнем — нижний).

сравнению с бытовыми примерно на 1 м. Так как в проекте узла снижение горизонтов воды в расчете затопления прыжка не учитывалось, на рисберме образовался отогнанный прыжок, причинивший значительный размыв дна за рисбермой (рис. 8). Наибольшая глубина этого местного размыва достигала 6 м, создавая угрозу подмыва всего сооружения. В 1936—1937 гг. были организованы большие работы по ослаблению местного размыва.

Период с 1937 по 1949 г. Примерно к 1938 г. гряда отложений донных наносов подошла вплотную к водосливу, после чего наносы стали поступать в нижний бьеф плотины. В этот период поток в большей своей части протекал вдоль левого берега, и только в 1949 г. он сваливался к правому берегу (см. рис. 16). В отдельные годы протекание потока характеризовалось следующими данными.

1937 г. Стрежень потока проходит вдоль левого берега; выше левого кармана поток поворачивает вправо, перед карманом образуется отмель.

1938 г. Стрежень потока располагается главным образом у левого берега. Поток вдоль правого берега значительно увеличивается и удовлетворяет потребности водозабора правого регулятора.

1939 г. С нарастанием паводка разрабатывается и увеличивается проток у правого берега; от левобережного протока отделяется два рукава, перерезающие отмель в верхнем бьефе и направляющиеся к правому берегу. Однако уже к концу паводка расход протока правого берега резко снижается.

1940 г. Материалов наблюдений не имеется.

1941 г. В начале паводка (27. V — при расходе $418 \text{ м}^3/\text{сек}$) начинает хорошо работать правобережный проток; 4. VII при расходе в реке $500 \text{ м}^3/\text{сек}$ его расход достигает $300 \text{ м}^3/\text{сек}$. Основная масса воды на расстоянии 600 м от плотины сваливается влево.

1942 г. Река снова подходит к узлу со стороны левого берега.

1943 г. Поток сосредоточивается у левого берега и только в конце июля примерно половина расхода реки проходит вдоль правой дамбы.

В период межени 1942/43 и 1943/44 гг. службой эксплуатации узла был возведен описанный выше барраж по линии концов водораздельных стенок (от левой к правой на длину 87 м) (см. рис. 6). Барраж способствовал улучшению водозабора в правобережный регулятор при левобережном подходе реки к узлу, теряя свое значение при протекании потока вдоль правой дамбы. Зимой 1944/45 г. после разрушения паводком барраж был вновь отстроен, но 30. VIII 1945 г. опять разрушен на длину 40—45 м от раздельной стенки, после чего больше не восстанавливался.

В начале паводка 1944 г. поток концентрируется главным образом у левого берега, но уже 18. VII 1944 г. он отклоняется к правому берегу в 300 м от узла вверх по течению; 28. VII поток снова принимает левое направление.

В 1945 и 1946 гг. основной расход перед плотиной протекает вдоль левого берега и только в 1,5—2,0 км выше узла подходит к правому берегу.

В паводок 1948 г. непосредственно перед узлом образовывается проток вдоль правого берега. Выше по течению, на расстоянии 1,3 км от узла, весь расход реки подходит к правой дамбе, а в 1 км выше узла поток делится на два русла; основная масса воды сваливается влево и подходит к левому конгломератному берегу в 350 м выше узла, а второстепенная идет вдоль правой струенаправляющей дамбы к правобережному регулятору.

1949 г. Отмечается дальнейшее развитие потока вдоль правого берега; свал потока к правому берегу происходит значительно выше, на расстоянии 2,0 км от узла, т. е. выше конца струенаправляющей дамбы, что вызывает необходимость проведения значительных берегозащитных работ. Поток вдоль левого берега, в верхней части, сокращается до минимума и на подходе к узлу пополняется через мелкие протоки, отделившиеся от основного правобережного протока.

Таким образом, с 1937 по 1948 г. основной поток реки на подходе к плотине прижимался к левому берегу, причем закономерно (почти ежегодно) в паводок значительные расходы (в отдельные годы до половины паводкового расхода) неожиданно прорывались к правому берегу и через некоторый период так же неожиданно снова отклонялись влево. С 1949 по 1950 г. включительно основной поток протекал вдоль правого берега; вдоль левого берега сохранялся поток, пропускавший 10—35% расхода реки.

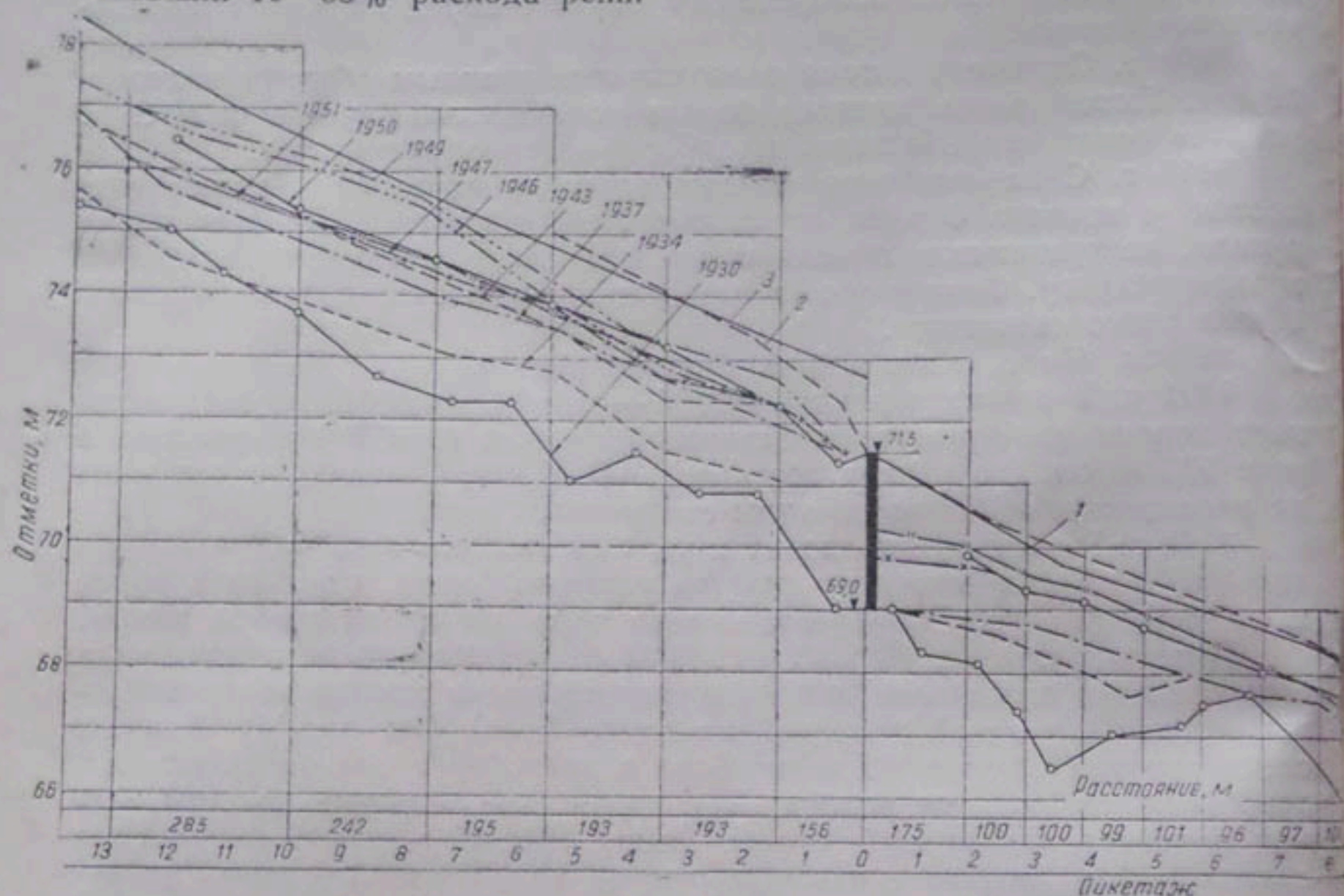


Рис. 9. Продольный профиль изменения средних отметок дна реки за ряд лет с указанием горизонта и наибольших отметок отмелей за 1950 г.: 1—горизонт при $Q=335 \text{ м}^3/\text{сек}$ (1950 г.); 2—наибольшие отметки отмелей (1950 г.); 3—горизонт при $Q=440 \text{ м}^3/\text{сек}$ (1950 г.).

Многочисленные изменения направлений протоков легко могут быть объяснены образованием перед сооружением призмы наносных отложений, начинающейся на расстоянии 1—1,2 км выше плотины и заканчивающейся у ее водослива (рис. 8, 9, 10). Значительные уклоны на спаде паводка дают возможность потоку легко разрабатывать протоки в любом направлении. Легкость и многообразие причин возникновения протоков объясняется также наличием в призме отложений верхнего бьефа большого количества мелких фракций наносов (песка), накопившихся главным образом в первые годы эксплуатации. Из рис. 10 следует, что главное русло, по которому перемещались основные массы донных наносов, занимает сравнительно небольшую ширину поймы. Следовательно, те участки поймы, где река не протекала, заносились более мелкими наносами. Об этом также свидетельствуют значительные песчаные отмели в зоне сооружения и меньшее количество их на отдаленных от этой зоны участках реки.

После полного занесения верхнего бьефа поверхность призмы отложений покроется наиболее крупными фракциями донных наносов, в то время как более мелкие будут проноситься в нижний бьеф.

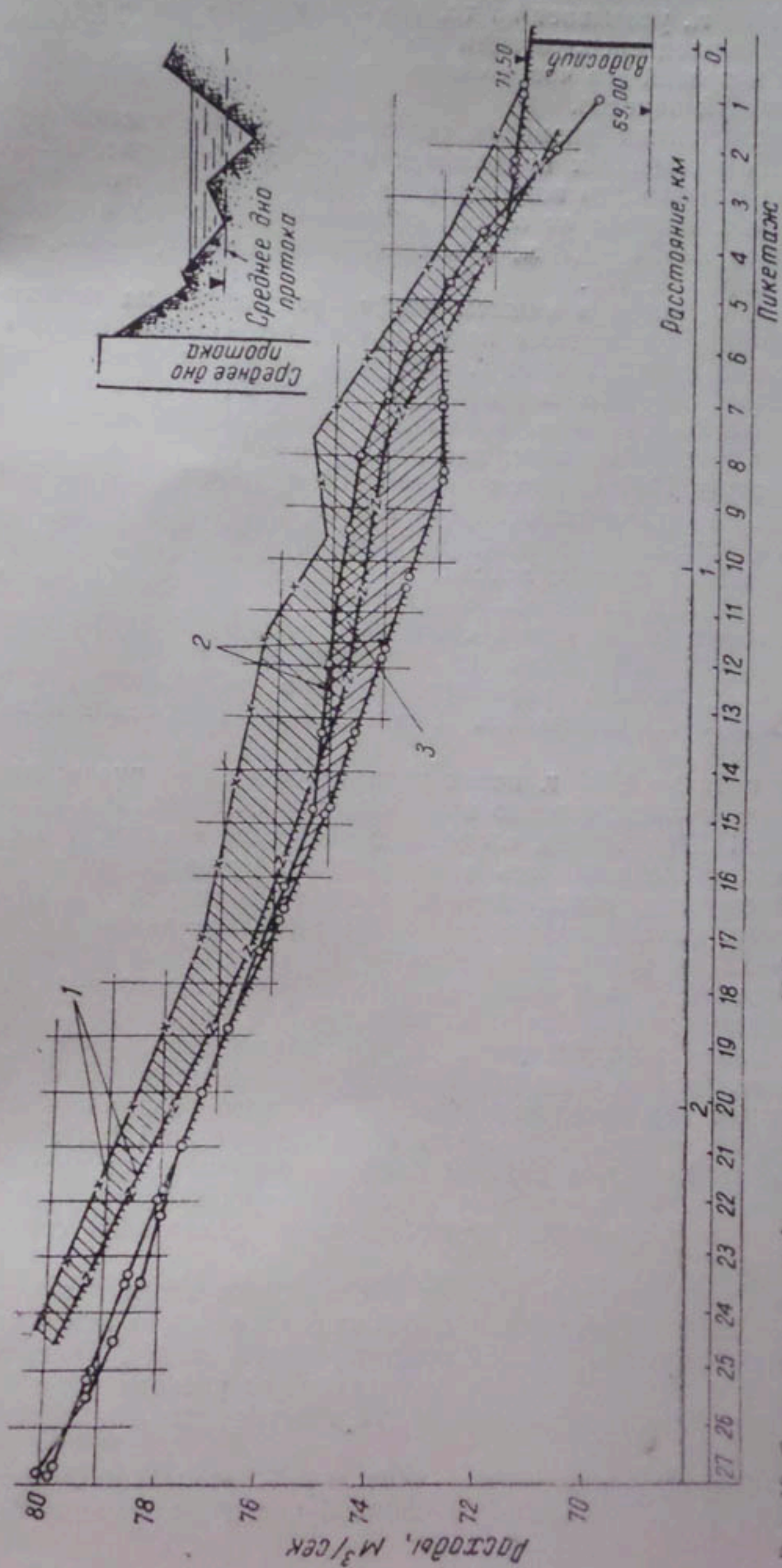


Рис. 10. Совмещенные профили дна протоков 1949 и 1950 гг. Точки отметок дна и расстояния между ними взяты на трассе протоков:

1—дно до и после паводка 1949 г. (трасса основного протока 1950 г., правого); 2—дно до и после паводка 1950 г. (трасса бывшего основного протока 1949 г., левого); 3—разность положений дна основных протоков 1949 и 1950 г. (трассы потоков не совпадают).

Устойчивый свал основного потока реки к правому берегу, начавшийся после 1948 г., указывает на то, что левая часть русла за восемнадцатилетний период эксплуатации уже выложена крупными камнями, тогда как в правой его части отложения состоят главным образом из мелких фракций наносов.

Для характеристики размеров отложений данные съемок русла вычерчены на совмещенных продольных профилях (см. рис. 9). Как видно, средняя отметка дна поймы реки в верхнем бьефе относительно дна, условно проведенного от порога сооружения (69,0 м) с уклоном 0,004, поднялась на 2,5—2,7 м, а минимальная (дно протоков) — на 0,9—2,0 м (см. рис. 8, 10).

После 1937 г. поток в нижнем бьефе разделился на несколько рукавов и отходил от плотины почти прямо, без свалов влево или вправо. С начала паводка 1940 г. обнаружился свал реки в левую сторону. Прижим потока к левому берегу распространился на длину 1,5 км ниже плотины; в то же время на правой стороне происходило интенсивное отложение крупных наносов.

С конца июля 1942 г. поток отклонился к правому берегу, а в первых числах августа снова повернул влево.

В 1944 г. в начале паводка поток сваливался влево, но с 18 июля началась разработка правого потока.

С 1. VIII 1949 г. наблюдалось интенсивное отложение донных наносов в нижнем бьефе, о чем свидетельствовало уменьшение перепада между горизонтами воды на водосливе и в колодце, а также затруднения с промывкой карманов. Однако в многоводные годы (например, в 1945 г.) отмечалось значительное понижение нижнего бьефа.

К концу паводка 1947 г. поток разделился на два русла: правое и левое, причем непосредственно ниже плотины образовалась большая отмель. 30. VIII 1947 г. вода, сливаясь с рисбермы в левой и средней части плотины, сосредоточилась в один поток, превратившийся в сужающийся быстроек, продолжавшийся до глубокого плёса за пределами низовых оградительных дамб. В результате размыва дна из воды на 15—20 см обнажились верхние части гребней трамплинов.

На следующий день в нижнем бьефе правобережного промывного шлюза благодаря разработке отводящего русла улучшились условия транспортирования наносов при промывке. Ниже левобережных промывных шлюзов отмель из отлагающихся наносов продолжала возрастать, затрудняя перемещение наносов от шлюзов (за водобойными колодцами после промывок оставался слой наносов до 1,2 м).

13 сентября 1947 г. в нижнем бьефе правобережных промывных шлюзов разработалось правильное отводящее русло, соединяющееся с основным руслом реки ниже правобережной раздельной стенки на отметках 69,5—69,8.

При промыве наносов в нижнем бьефе левого промывного шлюза 7 и 21. VIII 1948 г., вследствие высоких отметок дна ниже шлюза, наблюдался перелив воды через направляющую стенку, являющуюся продолжением раздельной стенки, а уменьшение расхода реки способствовало отложению промытых наносов в непосредственной близости за шлюзами.

21 сентября 1948 г. в связи с длительной промывкой левого кармана трамплины у левой стороны сливной части погрузились в отложения.

25 февраля 1949 г. произведена нивелировка по створу начал направляющих частей направляющих стенок промывных шлюзов (в нижнем

бьефе), в результате которой выявлено, что нижний бьеф левобережного промывного шлюза завален наносами в среднем на высоту 1,35 м (рис. 11), а левая сторона сливной части плотины — в среднем на высоту 0,35 м.

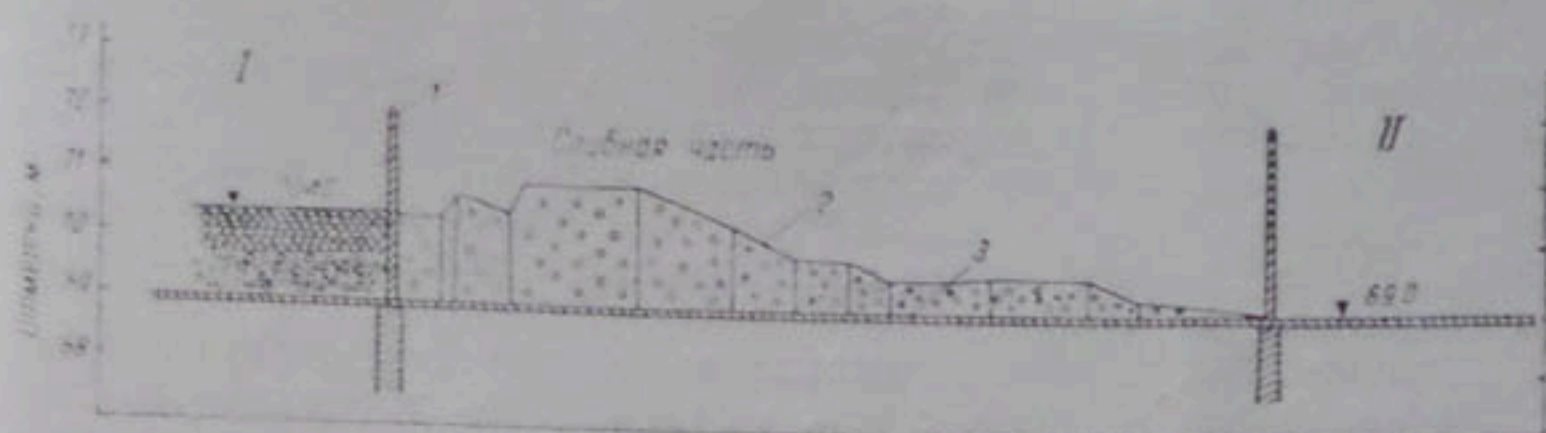


Рис. 11. Поперечник в нижнем бьефе сливной части плотины на 25 февраля 1949 г. по створу в 20 м от плотины:

I — нижний бьеф левого кармана; II — нижний бьеф правого кармана; 1 — направляющая стенка нижнего бьефа; 2 — линия залегания наносов; 3 — дорожка рисбермы.

В марте этого же года в нижнем бьефе у левобережного промывного шлюза была удлинена направляющая раздельная стенка, благодаря чему при промывке левого кармана, произведенной 5. VI 1949 г., в нижнем бьефе были смыты наносы.

Таким образом, анализ наблюдений, проведенных работниками эксплуатации, и контрольные нивелировки свидетельствуют о том, что в нижнем бьефе на ширине до $\frac{1}{3}$ фронта плотины происходит большое скопление наносов (песка и гальки). Верх отложений достигает отметок 71,00, что только на 0,5 м ниже отметки водослива плотины (71,5).

При бытовом уклоне реки, равном 0,0043, повсеместное поднятие ее поймы в нижнем бьефе достигает 1,5 м.

Отметки дна основных протоков за весь период работы плотины поднялись на 0,6—1,0 м. В отдельные годы наблюдались смыв и вторичное отложение наносов; при этом величина намыва и размыва зависели от силы паводка и условий протекания (сбойности потока).

Возникновение больших завалов в непосредственной близости от сооружения объясняется наличием местного перераспределения расходов и скоростей по ширине русла. Ввиду избыточной ширины русла, обусловленной фронтом плотины, река протекала лишь по части русла, а на остальном его протяжении обычно образовывались отмели. Поэтому сужение русла в нижнем бьефе узла весьма желательно.

Для подтверждения этого соображения можно сослаться на опыт отводящего русла ниже левобережного кармана: после удлинения в 1949 г. раздельной стенки нижнего бьефа удалось смыть скопившиеся там наносы до отметки рисбермы.

Последний период работы гидроузла (1950—1960 гг.)

В 1950 и 1951 гг. поток протекает главным образом со стороны правого берега, оmyвая правобережную струенанправляющую дамбу (рис. 12). Однако уже в 1951 г. с началом паводка перед входом в правобережный карман образуется галечниковая отмель, а несколько позже выше него появляется пережат (рис. 13а и б), миновав который основное русло реки сосредоточивается в центре гидроузла. Водозабор на правый канал становится значительным, так как смыв наносов перед входом в карман дал положительные результаты. Во время промыва 12 и 18. VII удалось расширить горловину вдоль регулятора

и раздельной стенки, а также частично смыть наносы в нижнем бьефе.

В дальнейшем поток, на пути которого в районе шпоры № 14 встретилась отмель в виде переката, разделился на рукава. Большая часть расхода отошла влево, направляясь на водослив, что ухудшило водозабор в правый канал. Путем снятия части заложённых в отверстиях правобережного регулятора шандор удалось со значительным завлечением гальки подать воду в канал. Проведенные промывки кармана улучшили условия водозабора, так как были сильно смыты отмели, образовавшиеся перед карманом и в нижнем бьефе, где русло углублялось (рис. 13в—е).

В марте 1952 г. была перекрыта часть правобережного протока и сделан прокоп на перекате с тем, чтобы создать перемычку на водосливе для ремонта нижнего бьефа и подвода воды в левый канал (рис. 14а). По окончании ремонта для обеспечения водой правого канала выше раздельной стенки была снята перемычка и построена регулирующая таштуганная шпора (рис. 14б).

С увеличением расхода (7. V 1952 г.) в реке началось изменение нижнего бьефа — углубление и сужение отводящего русла, которое отошло влево от правого берега.

В верхнем бьефе остров выше сливной части покрылся водой, подход потока в левый карман оказался очень благоприятным (рис. 14в). С увеличением расхода воды в паводок в июне ($Q_p = 500—550 \text{ м}^3/\text{сек}$) главное течение в районе верхнего участка струенаправляющей дамбы устремилось к правому берегу. Произошел прорыв воды в кольматажное озеро. Положение защитных шпор резко ухудшилось и они подверглись настолько сильным деформациям, что пришлось применять меры по усилению работ против размыва и разрушения. Несмотря на то, что главное русло реки проходило вдоль правого берега, расход воды при подходе потока к правому карману заметно сократился, так как река все более и более отходила влево, что усложнило водозабор в правый канал при спаде расходов и горизонтов в реке. Так, 3 августа 1952 г. при расходе реки $440 \text{ м}^3/\text{сек}$ вместо $85 \text{ м}^3/\text{сек}$ в правый канал можно было забирать только $66 \text{ м}^3/\text{сек}$. Для обеспечения планового водозабора было решено вдоль правого берега на отмели устроить прокоп длиной 70 м, шириной 10 м и глубиной 0,9 м, разобрать шпору, отбивающую поток влево, и открыть вход в кольматажное озеро с тем, чтобы подпитывать правобережный проток перед карманом через кольматажный сброс.

С дальнейшим падением расхода воды в реке возникало затруднение также и при снабжении водой левого берега, так как водозабор в левый канал составлял 33% и при расходе левого протока $170 \text{ м}^3/\text{сек}$ происходило заплывание гальки в левый карман.

В межень во избежание перебоев в плановом водозаборе на водосливе для создания подпора устанавливались щиты.

В 1953 г. основной проток сильно отошел к левому берегу. Благодаря устройству прокопа водозабор на правый канал был обеспечен. Характер протекания протока этого года показан на рис. 14г—е. Однако к 18. VII 1953 г. в районе шпоры № 14 поток стал смещаться влево и прорвал прокоп. Чтобы поддержать нормальное состояние русла, на подходе к карману частично были открыты промывные шлюзы и при водозаборе в правый канал $75 \text{ м}^3/\text{сек}$ в карман поступал расход $110 \text{ м}^3/\text{сек}$. Для наилучшей организации водозабора был частично

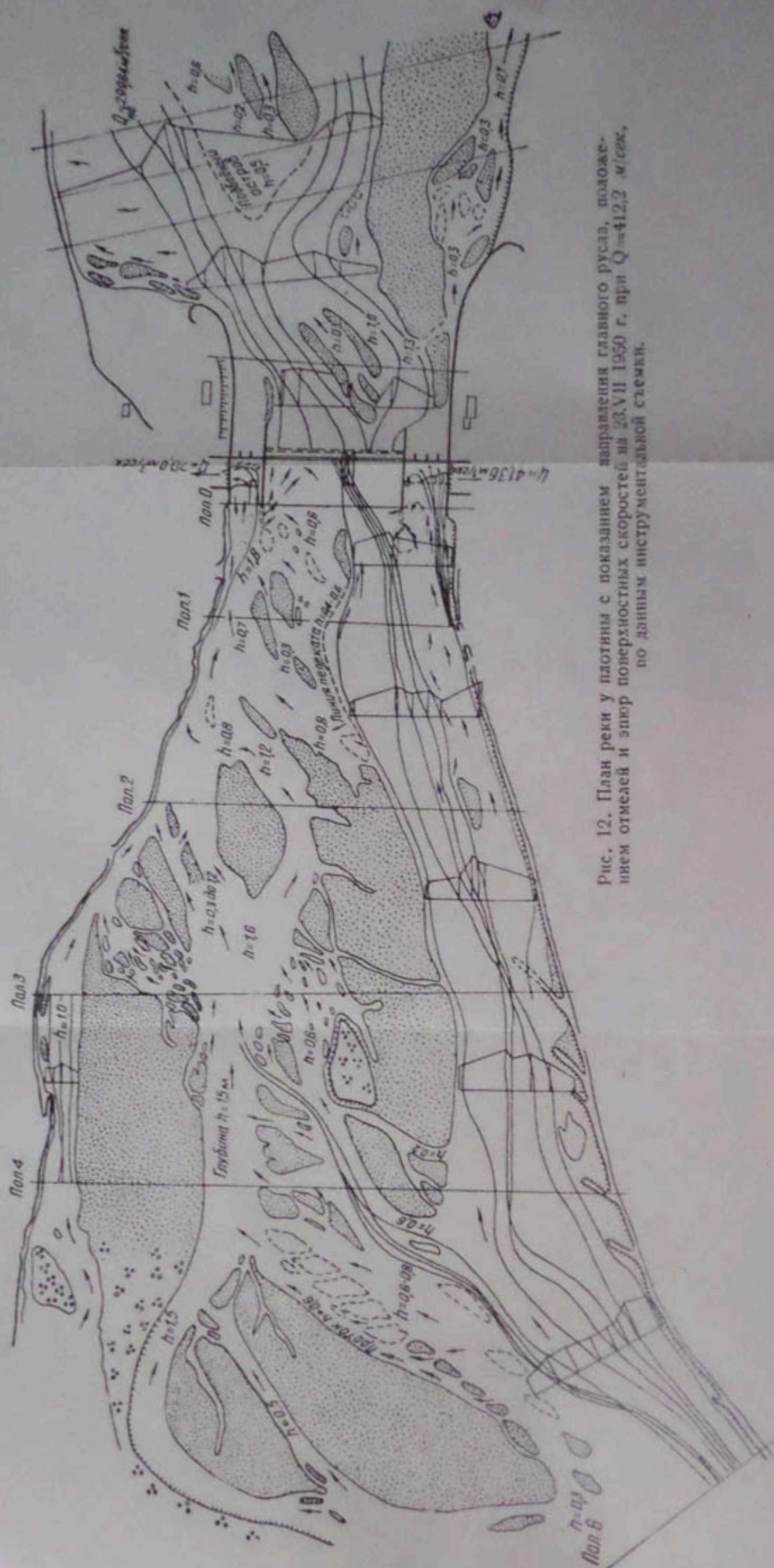


Рис. 12. План реки у плотины с показанием направления главного русла, положением отмелей и эюр поверхностных скоростей на 23.VII 1950 г. при $Q = 412.2 \text{ м}^3/\text{сек}$, по данным инструментальной съемки.

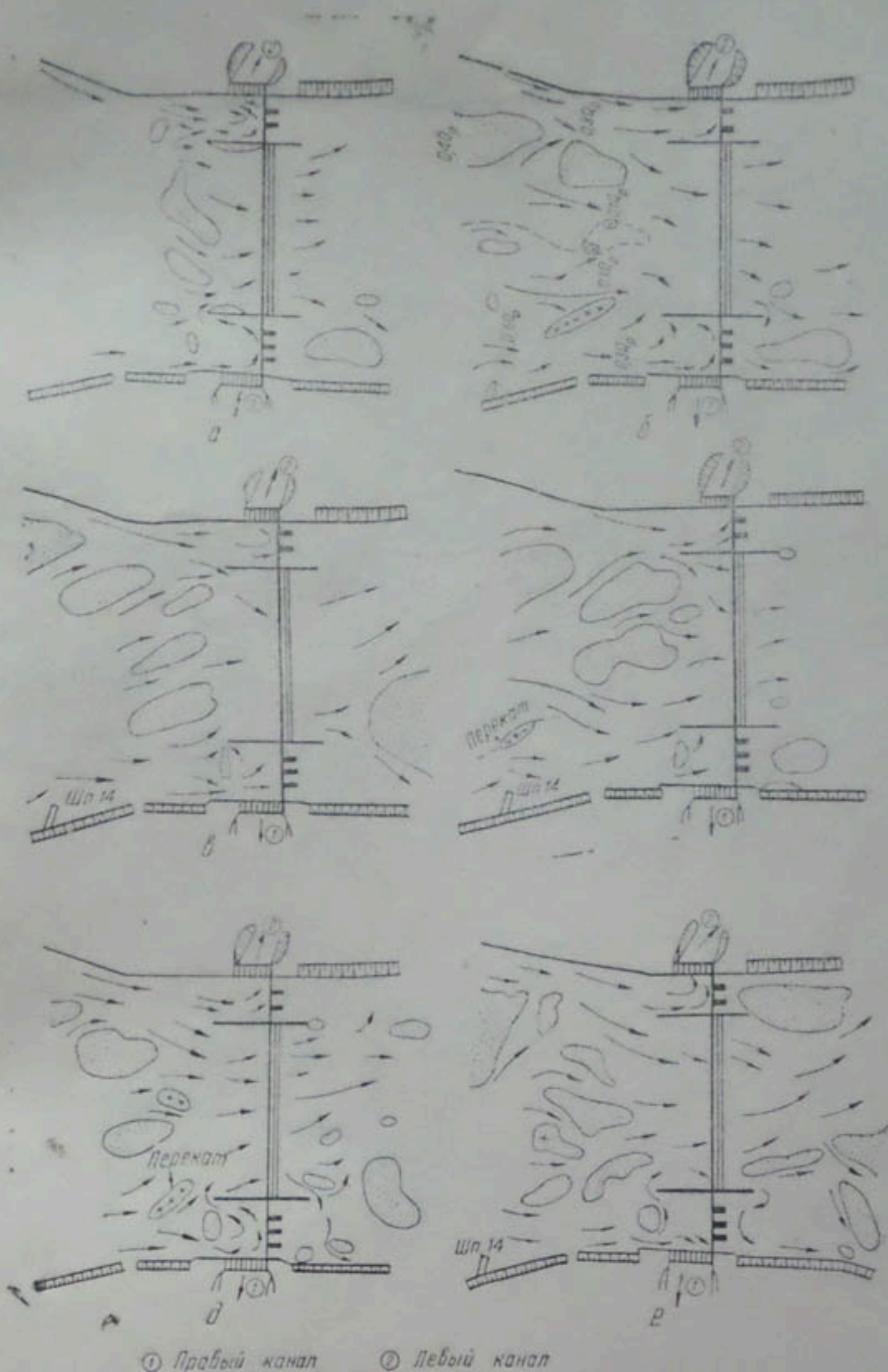
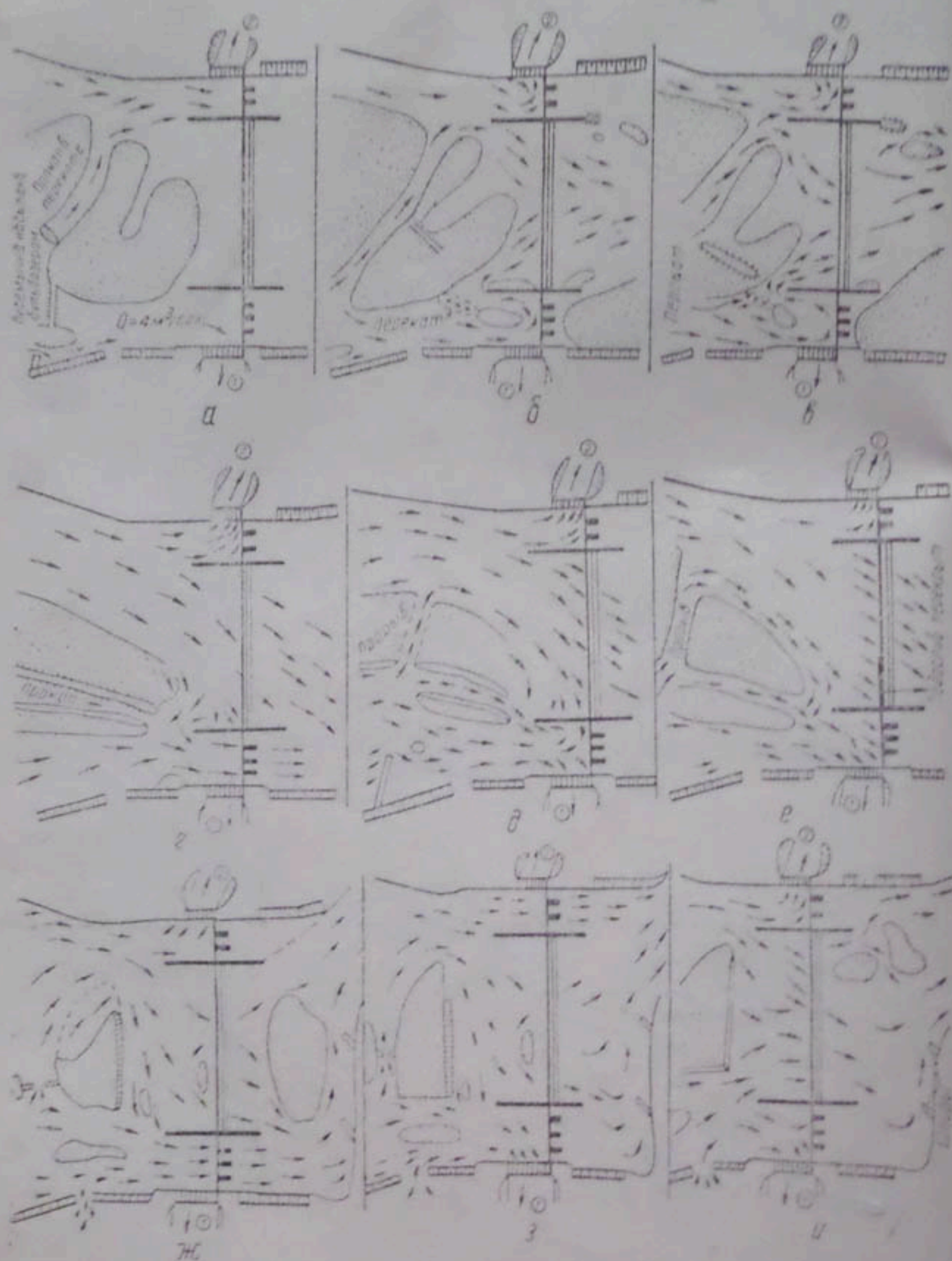


Рис. 13. Схематические планы узла с показанием протекания потока в паводок 1951 г.:

а—положение бьефов на 20.VI, $Q_p = 154 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—18,3 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—48,3 $\text{м}^3/\text{сек}$; б—положение бьефов на 29. VI, $Q_p = 343 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—20 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—28,5 $\text{м}^3/\text{сек}$; в—положение бьефов на 5.VII, $Q_p = 286 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—33 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—47 $\text{м}^3/\text{сек}$; г—положение на 18.VII, $Q_p = 278 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—27 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—61 $\text{м}^3/\text{сек}$; д—положение на 24.VII, $Q_p = 326 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—58 $\text{м}^3/\text{сек}$, в том числе через старую голову 21 $\text{м}^3/\text{сек}$; е—положение на 14.VIII, $Q_p = 290 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—36 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—66 $\text{м}^3/\text{сек}$.



© Лабов канал / © Лабов канал

Рис. 14. Схематические планы узла с показанием протекания потока (а, б, в — в 1952 г.; г, д, е — в 1953 г.; ж, з, и — в 1954 г.).

а — перекрытия правобережного прокопа из 11.III, $Q_p = 43 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—4 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—39 $\text{м}^3/\text{сек}$; б — понижение бьефов из 16.IV, $Q_p = 116 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—17 $\text{м}^3/\text{сек}$; 2—18 $\text{м}^3/\text{сек}$; в — понижение на 7.V, $Q_p = 142 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—11,5 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—59,7 $\text{м}^3/\text{сек}$; г — при промыве правого кармана 7.VII; д — понижение на 18.VII; е — понижение на 26.VII; ж — при промыве правого кармана 5.VII, $Q_p = 380 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—58 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—39 $\text{м}^3/\text{сек}$; з — при промыве левого кармана 11.VII, $Q_p = 485 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—69 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—35 $\text{м}^3/\text{сек}$; и — понижение бьефов из 26.VII после прорыва реки влево, $Q_p = 145 \text{ м}^3/\text{сек}$, 1—75 $\text{м}^3/\text{сек}$, 2—71 $\text{м}^3/\text{сек}$.

(на длине 30 м) перекрыт водослив (рис. 14е) с правой стороны. Работа узла в 1954 г. характеризуется рис. 14ж—и.

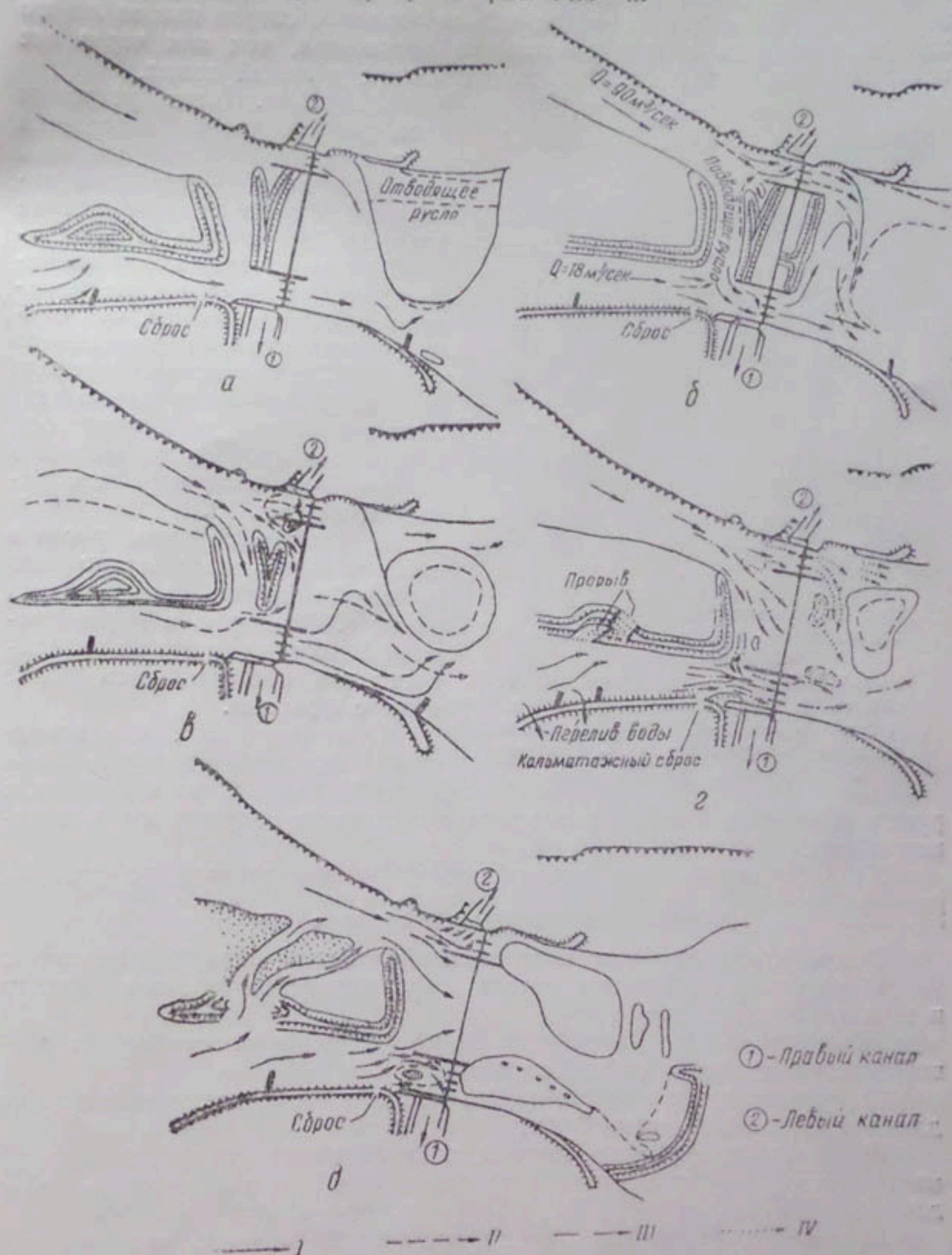


Рис. 15. Схематические планы узла с показанием протекания потока за 1955 г.:
 а—положение бьефов на 1.IV, $Q_p = 52 \text{ м}^3/\text{сек}$; 1— $\sim 2 \text{ м}^3/\text{сек}$; 2—до $50 \text{ м}^3/\text{сек}$; б—положение на 11.V, $Q_p = 95 \text{ м}^3/\text{сек}$; 1— $\sim 15 \text{ м}^3/\text{сек}$; 2— $\sim 80 \text{ м}^3/\text{сек}$; в—положение на 30.V, $Q_p = 300 \text{ м}^3/\text{сек}$; 1— $37 \text{ м}^3/\text{сек}$; 2— $89 \text{ м}^3/\text{сек}$; г—положение на 16.VI, $Q_p = 275 \text{ м}^3/\text{сек}$; 1— $48 \text{ м}^3/\text{сек}$; 2— $79 \text{ м}^3/\text{сек}$; д—положение на 11.VII, $Q_p = 325 \text{ м}^3/\text{сек}$; 1— $65 \text{ м}^3/\text{сек}$; 2— $84 \text{ м}^3/\text{сек}$; I—русло при нормальной работе; II—русло при промыве; III—промывка правого кармана 16.VI 1955 г.; IV—промывка левого кармана 19.VI 1955 г.

В паводок 25—26. VII русло реки на расстоянии 400—500 м выше узла повернуло вправо; 40% всего расхода реки стало поступать к

правому берегу, что существенно улучшило его водозабор. В этот период в нижнем бьефе поток свалился вправо и старая голова левого канала оказалась в затруднительном положении, так как через нее производилось дополнительное подпитывание в левый канал.

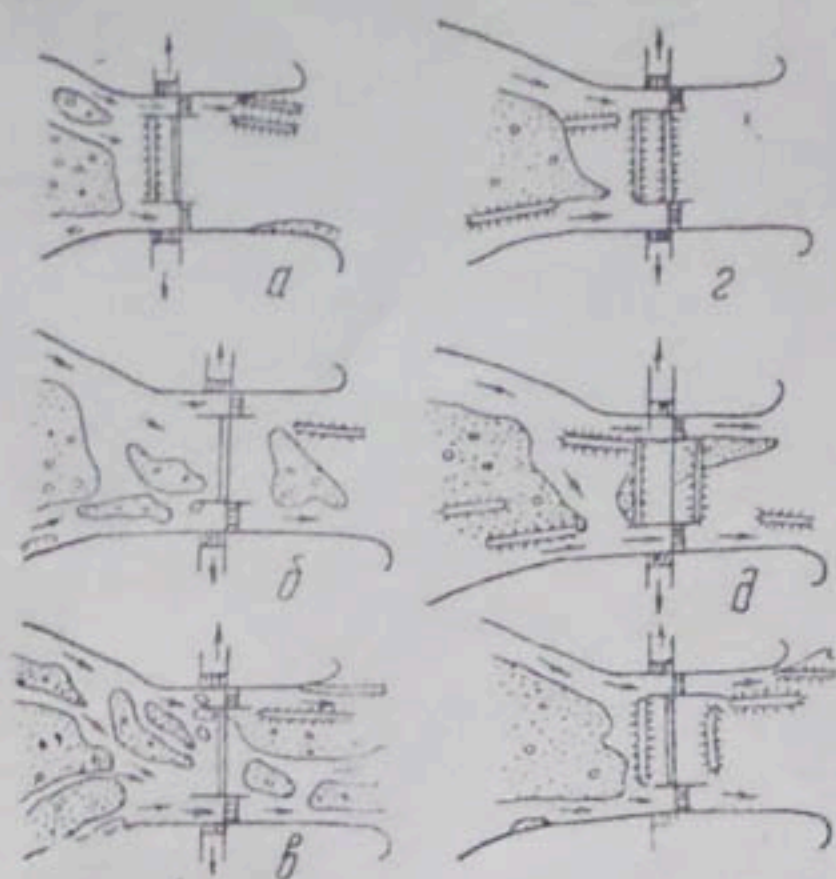


Рис. 16. Схематические планы узла с показанием протекания потока за последние годы:

а—28.V 1959 г., $Q_p = 328 \text{ м}^3/\text{сек}$; б—26.VI 1960 г., $Q_p = 470 \text{ м}^3/\text{сек}$; в—26.X 1960 г., $Q_p = 56 \text{ м}^3/\text{сек}$; г—3.V 1961 г., $Q_p = 120 \text{ м}^3/\text{сек}$; д—16.VII 1961 г., $Q_p = 412 \text{ м}^3/\text{сек}$; е—23.VII 1961 г., $Q_p = 315 \text{ м}^3/\text{сек}$.

русла в нижнем бьефе являлось продолжением полученного в верхнем бьефе.

Характер протекания потока последних лет показан на рис. 16.

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 1950 и 1951 гг.

В программу полевых исследований входили следующие задачи:

- 1) изучение протекания потока и формирования русла в верхнем и нижнем бьефе гидроузла;
- 2) анализ данных эксплуатации по условиям водозабора в правобережный и левобережный каналы;
- 3) съемка русла поперечниками после паводка выше плотины на длине 4 км и ниже ее на 2 км;
- 4) двукратная съемка течения поверхностных струй (поплавков) мензулой на подходе к плотине на длине 1600 м и в нижнем бьефе на длине 300 м;
- 5) двукратные наблюдения за промывкой наносов из карманов;
- 6) изучение характера протекания потока через водослив плотины и преобразования энергии в нижнем бьефе;
- 7) двукратная съемка мгновенных уровней воды в верхнем бьефе на длине 4 км и в нижнем бьефе на длине 2 км;
- 8) взятие проб наносов из отложений в русле реки и на головных участках каналов (левобережного и правобережного).

Результаты двукратных (1950—1951 гг.) полевых исследований были положены в основу моделирования гидроузла в лаборатории и при разработке схемы реконструкции узла.

В 1955 г. были устроены прокопы, сооружена перемычка вдоль сливной части плотины. Эта перемычка обеспечивала подачу воды в каналы при расходе реки до $160 \text{ м}^3/\text{сек}$. С нарастанием расхода выше этого предела происходило усиленное завлечение гальки в каналы, что особенно недопустимо для левого канала. С прибыванием расхода реки перемычка размывалась. Условия работы узла этого года и характер протекания потока в период промывки карманов показаны на рис. 15.

В период размыва русла в нижнем бьефе плотины дно было выложено крупными фракциями наносов. Наоборот, в первый период занесения русла на поверхности дна откладывались более мелкие фракции.

Отметим также, что вследствие занесения верхнего бьефа до уровня водослива направление

Протекание потока и формирование русла в верхнем и нижнем бьефе гидроузла

Проанализируем среднемесячные расходы воды за 1949/50 гидро-геологический год и сопоставим их с среднемноголетними данными за 1895/96—1947/48 гг. (табл. 1).

Как видно из таблицы, 1949/50 г. по водности можно отнести к среднемного-летнему. По замерам, про-веденным 31 июля 1950 г., максимальный расход воды в реке в этом году составил $535 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Изменения среднемесяч-ных расходов воды в створе узла за период его работы, т.е. с 1930 по 1950 г., пока-заны выше на рис. 4.

Как уже было указано, с 1949 г. главное русло ре-ки располагалось вдоль пра-вобережной струенаправля-ющей дамбы, где протекало около 70% всего расхода (см. рис. 12). В левом русле

на подходе к регулятору проходило около 30% воды. При этом около 10% в левобережный проток поступало из главного русла, а остальные 20% стекали через второстепенные мелкие протоки. Такое случайное сочетание расходов по протокам благоприятно отразилось на условиях водозабора в каналы — в паводок 1950 г. происходил лобовой водо-забор в карманы. При этом в левобережный регулятор забиралось $70 \text{ м}^3/\text{сек}$ и в правобережный — $45 \text{ м}^3/\text{сек}$, т. е. меньше планового на $25 \text{ м}^3/\text{сек}$. Недостающие расходы поступали через старые подпиты-вающие головы, расположенные ниже плотины.

Несмотря на то, что в 1950 г. в правобережный канал можно было забрать весь необходимый расход, водозабор через подпитывающие головы все же продолжался, так как это мероприятие уменьшало завлечение донных наносов в правобережный карман и регулятор. Характеристикой возможной интенсивности завлечения наносов в кар-маны могут служить коэффициенты, вычисляемые из отношения водо-забора от каждого регулятора канала к расходам протоков, из кото-рых вода поступает в карман (для широкого, делящегося на протоки верхнего бьефа).

В условиях подхода потока в 1950 г., коэффициент водозабора из левого протока в левобережный канал за вегетационный период для среднего по водности года определяется из выражения

$$\frac{\Sigma Q_{\text{заб}}}{1 \Sigma Q_{\text{прот}}} = \frac{\Sigma Q_{\text{заб}}}{0,25 \Sigma Q_p} = \frac{628,0}{980,0} = 64,0\%.$$

Коэффициент водозабора из правого протока в правобережный канал соответственно составляет

$$\frac{\Sigma Q_{\text{заб}}}{0,75 \Sigma Q_p} = \frac{354}{2940} = 12,4\%.$$

Т а б л и ц а 1

Среднемесячные расходы за 1949/50
гидрологический год

Месяц	Расход, $\text{м}^3/\text{сек}$		Отклонение, %
	в 1949/50 г.	среднемно- голетний	
X	109	92	+18
XI	76	60	+27
XII	58	48	+21
I	51	41	+21
II	49	37	+32
III	41	37	+11
IV	40	52	-23
V	120	149	-19
VI	365	350	+ 4
VII	468	478	- 2
VIII	414	396	+ 5
IX	182	202	-10

Для изучения характера протекания потока в пределах сооружений служба эксплуатации проводила наблюдения за изменением горизонта воды. В 1949 г. установлено превышение горизонтов в кармане и за раздельной стенкой, которое в июле достигло 40 см и в августе — 15 см. Следовательно, у входа в левобережный карман существовал резкий спад водной поверхности в сторону водослива, т. е. на входе в карман горизонт воды был выше, чем с правой стороны раздельной стенки, вследствие чего в потоке возникала интенсивная поперечная циркуляция донных струй в сторону водослива, уводящая донные наносы в сторону от кармана.

Таблица 2

Отметки колебаний горизонта воды на сооружениях

Берег	Но- мер точки	При подходе основного потока					
		в III декаду июля вдоль левого берега			в III декаду августа вдоль правого берега		
		водоза- бор в ре- гулятор, м ³ /сек	средний горизонт, м	разница горизон- тов, м	водоза- бор в ре- гулятор, м ³ /сек	средний гори- зонт, м	разница горизон- тов, м
Ле- вый	{ 1 9 }	67,0	{ 73,1 72,70 }	0,40	77,0	{ 72,75 72,60 }	0,15
Пра- вый	{ 1 9 }	43,0	{ 72,85 72,85 }	0,0	47,0	{ 73,20 72,72 }	0,48

Таким образом, при лобовом подходе потока к карманам и малых погонных расходах воды (меньше примерно в два раза, чем проходит в русло) завлечения донных наносов в карман почти не происходит. Это подтверждается произведенными промерами кармана, а также фактом редких промывок его в это время. Такая же картина наблюдалась в 1950 г. и в правобережном кармане, где разница в горизонтах воды между точками 1 и 9 (табл. 2) достигала в августе 48 см¹.

Из сопоставления изменения горизонтов воды в кармане можно судить о местных явлениях в нижнем бьефе водослива в зависимости от свала потока и от расположения отмелей и отводящего русла. Так, в период нарастания паводка 1949 г. поток со стороны левого берега подходил к водосливу. В нижнем бьефе ввиду сосредоточения отводящего русла (рис. 17) вдоль правой раздельной стенки (у левой стенки в это время наблюдались образования значительной отмели с высокими отметками) высокие горизонты со стороны левой раздельной стенки превышали горизонты у правой на 0,7—0,8 м.

Наоборот, при спаде паводка расположение русла и отмелей в нижнем бьефе вследствие изменения (см. рис. 12, 17) в 1950 г. условий подхода потока к сооружению со свалом основного протока к правому берегу изменилось на зеркально противоположное и сохранялось в таком виде в течение всего года.

¹ Точка 1 находится на береговой стороне при входе в карман, а точка 9 — за раздельной стенкой кармана.

Описанные условия протекания потока в значительной мере объясняют причины возникновения отмелей вдоль фронта плотины, занимающих иногда до $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ ее длины (рис. 17 и 18), а также образования размывов у оголовков отдельных стенок (рис. 19).

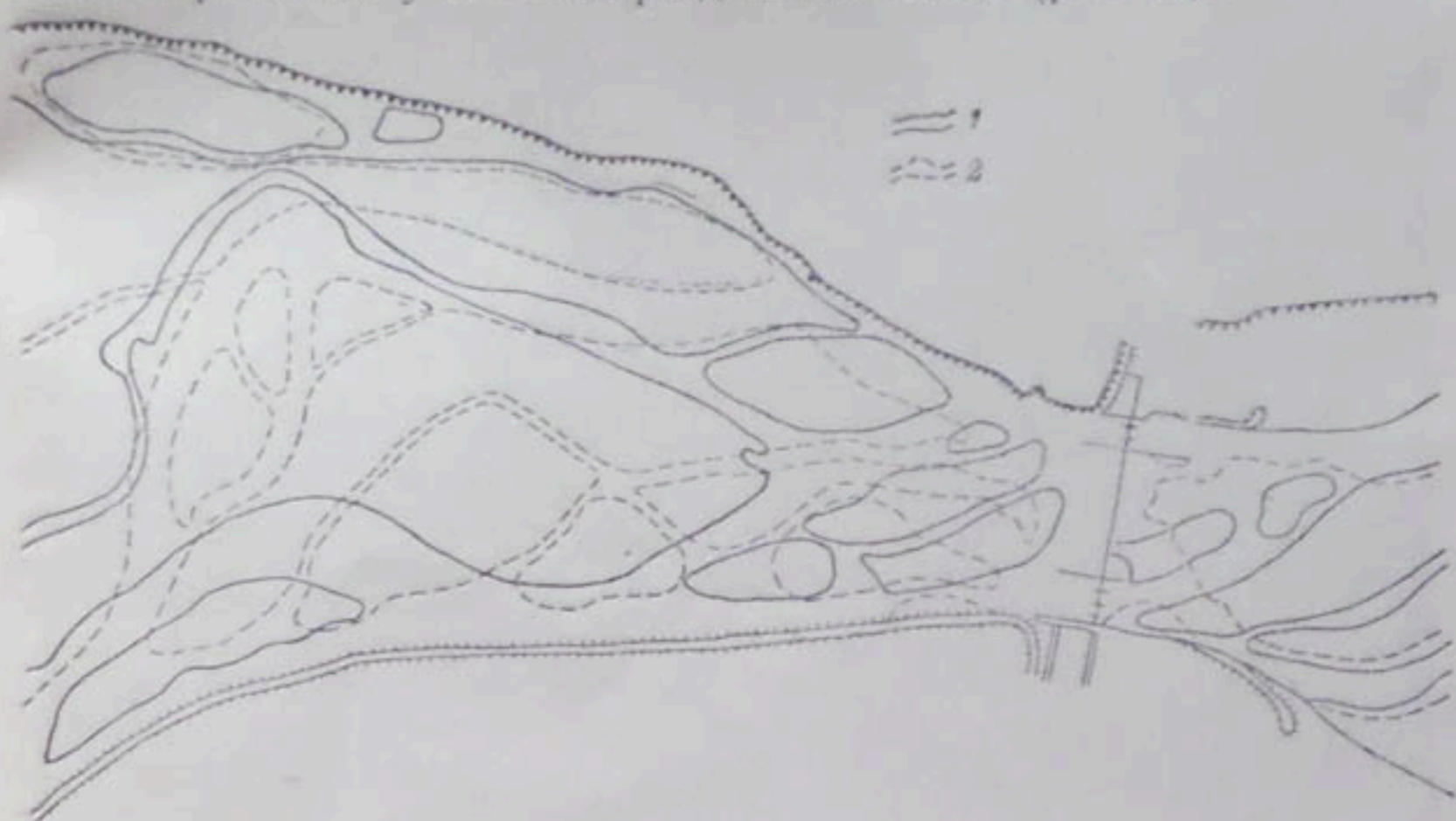


Рис. 17. Совмещенный план протоков реки:
1—протоки в апреле 1950 г.; 2—в апреле 1949 г.



Рис. 18. Занесение нижнего бьефа у правой стороны водослива.

Фракционный состав донных наносов, слагающих русло, по пробам 1939 г. и по пробам из шурфов в 1950 и 1951 гг. отражен на рис. 20. Из сопоставления кривых следует, что в 1939 г. дно слагалось из более крупных наносов, чем в 1950 г.

Кривая гранулометрического состава проб, взятых в 1951 г. в протоках, в отличие от 1950 г. совпадает с кривой 1939 г. (средней из

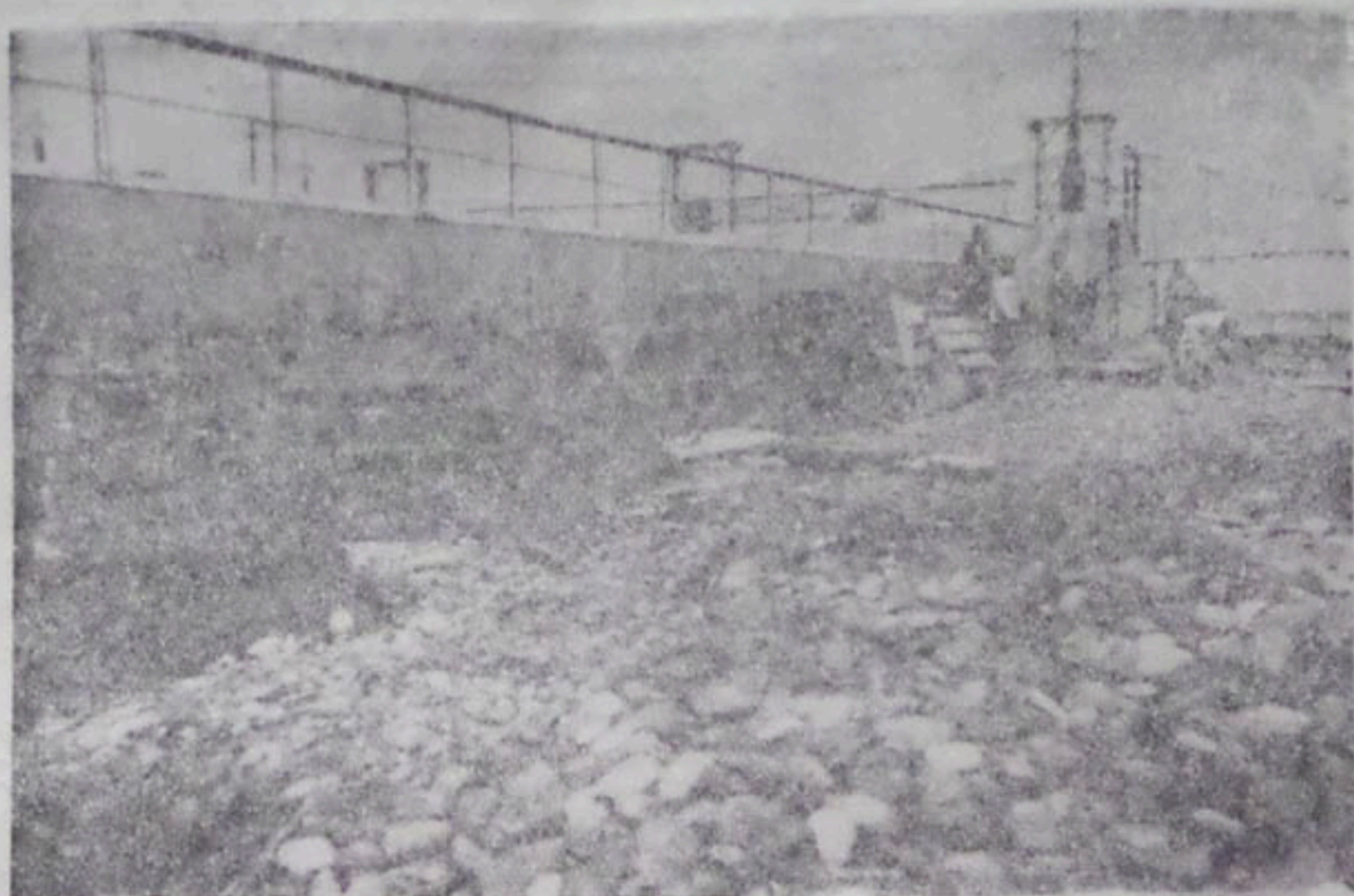


Рис. 19. Бетонные тетраэдры, уложенные в голову отдельных стенок перед паводком 1951 г.

проб, взятых на ширине действующей поймы), что свидетельствует о преобладании в бьефах сооружения более мелких фракций в момент взятия проб.

В табл. 3 и 3а приведены данные о наносах, взятых из шурфов в протоках в 1950 и 1951 гг.

Режим работы гидроузла

На гидроузле средний суммарный водозабор за вегетационный период в 1944—1945 гг. составлял 651 млн. м³ и за 1947, 1948 и 1949 гг. — 982 млн. м³.

В табл. 4 даны коэффициенты водозабора и перегрузки потока донными наносами, сбрасываемыми в нижний бьеф плотины. Как видно из табл. 4, коэффициент перегрузки за период 1947—1949 гг. увеличился, что объясняется повышением водозабора: в средний по водности год водозабор достигал 25,1%, а в маловодный возрастал до 29,8%; перегрузка для среднего года поднялась с 1,20 до 1,33. Вследствие перегрузки потока донными наносами накопление их у плотины должно продолжаться. Частичного смыва отложений в пределах главного русла можно ожидать только в период пика многоводного паводка, когда коэффициент перегрузки приближается к единице.

Режим работы гидроузла зависит исключительно от условий протекания потока в верхнем бьефе и величины расхода воды в реке.

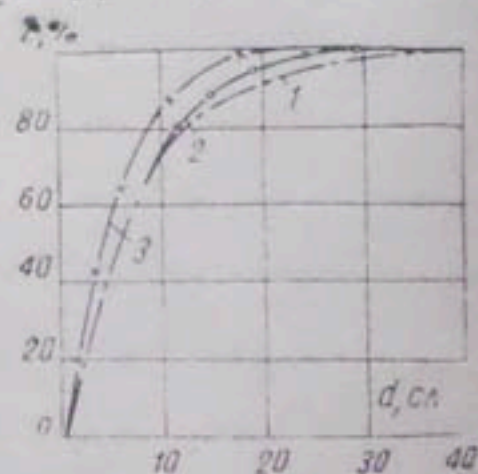


Рис. 20. Кривая гранулометрического состава наносов реки: 1 — исследования 1939 г.; 2 — то же 1951 г.; 3 — то же 1950 г.

Гранулометрический состав проб отложений донных наносов в бьефах гидроузла за 1950 г.
Глубина взятия пробы 0,5 м

Дата взятия пробы	Общий вес про- бы, кг	Место взятия пробы	Расстоя- ние от плоти- ны, м	Содержание фракций (мм) по весу, %						d_{cp}	d_{max} мм
				<2	2--(4×4)	(4×4)—9	9—30	30—50	>50		
Верхний бьеф											
26.VII	256,6	На 30 м ниже 3-го створа и в 23 м от пра- вого берега	705	12,22	3,14	6,36	26,89	26,85	25,34	40	140
	229,8	На 60 м ниже 3-го створа и в 10 м от пра- вого берега	675	21,80	1,79	2,21	36,26	20,14	17,77	33	150
	211,44	На 26 м ниже 3-го створа и в 7 м от пра- вого берега	709	11,91	1,54	2,05	21,77	30,09	32,64	44	120
	215,10	На 10 м ниже 3-го створа у правого берега	725	31,02	4,04	6,96	33,26	16,75	5,97	17	100
Нижний бьеф											
25.VII	339,38	Около бычка правого промывного шлюза	—	0,07	0,21	5,46	42,55	29,12	22,59	45	170
	449,54	В 1-м створе, в 16 м от правого берега	65	52,17	1,83	2,30	7,10	14,32	22,28	47	305
	292,53	В 3-м створе, в 160 м от правого берега	400	7,17	4,05	56,16	20,78	8,80	3,04	11	120
	247,10	На 16 м ниже 3-го створа и в 200 м от пра- вого берега	390	4,11	10,70	10,59	25,50	27,79	21,81	38	100
22.VII	208,78	На 85 м ниже 3-го створа и в 250 м от пра- вого берега	445	8,54	8,76	11,79	19,39	29,58	21,94	32	90
	50,70	Правобережный канал, в 50 м от сооружения	50	10,85	—	—	35,38	29,12	24,65	44	155
	52,24	ПБК, в 160 м от сооружения	160	6,81	2,78	7,16	34,07	27,36	21,82	42	140
	53,62	ПБК, в 500 м от сооружения	500	20,05	4,40	7,19	32,73	17,53	18,10	31	165
Средний фракционный состав проб верхнего и нижнего бьефа плотины за 1950 г.				13,0	2,0	5,0	34,0	24,0	22,0	34,77	115

Гранулометрический состав проб отложений донных наносов в бьефах гидроузла за 1951 г.
Глубина взятия пробы 0,5 м

Но- мер пробы	Дата взя- тия пробы	Об- щий вес про- бы, кг	Место взятия пробы	Рассто- яние от плоти- ны, м	Содержание фракций (мм) по весу, %								$d_{\text{ср}}$	$d_{\text{макс}}$
					<2	2-4	4-10	10-30	30-50	50-80	80-150	>150	мм	
Верхний бьеф														
1	9.IV	135,7	В правом кармане, в 15 м от правого бе- рега и в 35 м от промывного шлюза	35	18,9	1,5	1,1	11,4	19,2	12,2	16,3	19,4	74	320,0
2		126,6	В правом кармане, в 13 м от правого бе- рега и в 10 м от промывных шлюзов	10	17,0	1,0	3,5	17,0	22,0	13,1	9,9	16,5	65	280,0
3		136,6	В правом кармане, в 25 м от сбросных шлюзов и в 20 м от правого берега	25	18,3	1,2	1,8	13,6	19,5	12,0	10,4	23,2	71	260,0
4		117,7	На левом берегу правобережного протока, в 50 м от правого берега, в створе по- перечника № 1	170	14,5	1,3	4,7	15,7	16,2	17,4	14,0	15,2	69	300,0
5	10.IV	135,8	Там же, в створе поперечника № 2	330	11,6	3,0	3,3	11,0	14,7	16,5	11,1	28,5	88	350,0
6		102,0	Там же, в створе поперечника № 3	550	10,3	3,9	4,4	13,3	8,3	15,2	15,5	31,0	85	200,0
Правобережный канал														
7	12.IV	178,5	Дно ПБК, в 35 м от регулятора	—	3,6	0,7	1,7	18,7	28,5	23,2	14,0	9,6	61	200,0
Нижний бьеф														
8	12.IV	134,2	На правом берегу протока, в створе № 2, в 200 м от левого берега	200	6,5	1,5	4,1	14,9	14,3	20,3	17,9	20,5	76	300,0
9		117,2	Там же, в створе № 3, в 200 м от левого берега	300	6,2	3,84	4,35	21,2	18,8	20,6	11,8	13,2	61	300,0
10		120,2	Там же, в створе № 4, в 150 м от левого берега	400	7,9	1,7	3,9	17,1	13,0	18,7	17,5	20,2	74	280,0
Средний фракционный состав проб верх- него и нижнего бьефов (пробы № 4, 5, 6, 8, 9, 10)														
					9,6	2,5	4,1	15,2	14,8	18,2	14,7	21,4	75	290

Проектные предложения по компоновке узла себя не оправдали. Вследствие незарегулированности подпертой отметки воды в верхнем бьефе горизонты в створе плотины с возрастанием расхода реки, естественно, увеличиваются, и, следовательно, напор на водосливе меняется от нуля (при минимальном водозаборе в регуляторы) до 2 м (при сбросе через плотину 670 м³/сек расхода реки). С полным занесением верхнего бьефа до отметки 71,5 м и с приближением уклона реки в верхнем бьефе к бытовому имеющийся порог плотины высотой 2,5 м постепенно потерял свое значение по подъему воды и обеспечению водозабора.

Таблица 4

Коэффициенты водозабора и перегрузки потока донными наносами в нижнем бьефе

Год	Сток реки, млн. м ³		Средний сток водо- забора		Сброс в ниж- ний бьеф, млн. м ³	Коэффициент перегрузки ($\frac{\text{сток в/бьефа}}{\text{сток н/бьефа}}$)
	за год	за веге- тацион- ный пе- риод (IV—IX)	млн. м ³	%		
Максимальный	6240	5160	651	12,6	4509	1,14
Минимальный	4110	3300	651	19,7	2649	1,25
Средний	4790	3910	651	16,7	3259	1,20
Максимальный	6240	5160	982	19,0	4178	1,23
Минимальный	4110	3200	982	29,8	2318	1,42
Средний	4790	3910	982	25,1	2928	1,33

Вследствие повсеместного поднятия отметки дна русла верхнего бьефа (до 71,5 м) дно промывных карманов оказалось на 2,5 м ниже, что создало для них постоянную угрозу завала со стороны накапливающихся у входа в карман гряд донных наносов.

Единственными регулируемыми сооружениями при водозаборе являются отдельные стенки карманов, работающие как водозахватные шпоры регуляторов, тогда как длинная водосливная часть играет роль закрепленного дна реки. Прохождение основного расхода реки то у левого, то у правого берега вызывает неравномерное распределение воды в створе плотины и значительно ухудшает условия водозабора и работу отдельных частей сооружений. Только при расходах воды в реке больше 500—600 м³/сек наблюдается более или менее равномерное протекание потока по всей ширине верхнего бьефа и нормальные условия водозабора. При расходах меньше 400—500 м³/сек основная часть расхода (70—80%) сосредоточивается в отдельных протоках, протекающих вдоль одного из берегов.

Каждый подход главного потока к линии фронта сооружений создает различные условия в работе карманов, а следовательно, и регуляторов. Ввиду того что скорости воды в кармане при работе регулятора и закрытых промывных шлюзах значительно меньше, чем скорости воды в реке за отдельной стенкой, т. е. на подходе к водосливу, горизонты воды в кармане за счет скоростного напора оказываются несколько выше горизонта в реке.

В самом кармане горизонты воды для различных точек не одинаковы и меняются в зависимости от угла входа потока в карман

(см. табл. 2), что свидетельствует о крайне неравномерном распределении скоростей по вертикали, влияющем на неравномерное отложение наносов по всей площади карманов. Эти ненормальности усиливаются или ослабевают в зависимости от величины и размера паводкового расхода и подхода левобережного протока к входу в карман. Если, например, поток течет вдоль правой дамбы и в кармане образуется водоворот с направлением течения вдоль регулятора, то наносы откладываются вдоль раздельной стенки; при этом вдоль фронта регулятора образуются большие скорости. Для уменьшения попадания наносов в каналы, как уже указывалось, служба эксплуатации укладкой шандор повышала высоту порогов в отверстиях регуляторов.

Поскольку во второстепенных протоках вследствие их малой транспортирующей способности отсутствует движение крупных донных наносов, протекание потока в кармане при питании его из таких протоков происходит значительно спокойнее, с меньшими скоростями, что способствует отложению мелких песчаных фракций. Наши наблюдения 20. VII 1950 г. за отложениями песчаных наносов в левом и гравелистых — в правом кармане узла подтверждают высказанное выше положение.

Таким образом, режим работы карманов обусловлен исключительно величиной расхода воды в реке, его распределением по протокам, а также подходом протоков к карманам.

По проекту, карманам плотины, рассчитанным на осаждение в них более крупных фракций взвешенных наносов, предназначалась роль отстойников с периодической промывкой, на время которой регуляторы каналов закрывались. Максимальные скорости в кармане при этом не должны были превосходить $0,8—1,0 \text{ м}^3/\text{сек}$. Промывка карманов предполагалась как истечение через водослив, обладающий широким порогом, с расположением сжатого сечения в пределах бычков. Фактически наблюдается образование перепада в начале кармана, что вынуждает рассматривать весь карман как длинный водослив с широким порогом с двумя перепадами.

Образованию двойного перепада способствует увеличение высоты занесения русла перед входом в карман. Минимальная величина перепада при входе в карман наблюдается в тех случаях, когда расход реки (подводящего протока) перед карманом равен расходу, отвечающему пропускной способности кармана и прямому подходу потока к последнему, что случается очень редко.

Как показали промывки, возможны два вида сопряжения кармана с нижним бьефом: по типу затопленного прыжка вследствие подтопления со стороны нижнего бьефа и по типу отогнанного прыжка. В первом случае, наблюдающемся в природе чаще, глубина воды в кармане примерно равна глубине на водобое шлюза, что уменьшает пропускную способность шлюзов по сравнению с проектной (в проекте горизонты воды в карманах и в реке принимались одинаковыми). В проектной схеме предусматривалось, что к началу промывки по всему дну кармана простирается равномерный слой наносных отложений толщиной 1 м, в конце же промывки — наносные отложения совершенно отсутствуют.

Исходя из этих предположений и считая распределение скоростей по сечению кармана равномерным, составители проекта определяли скорости для моментов начала и конца промывки.

Фактически расчетная схема промывки в природе не выдерживается. В условиях эксплуатации промывки карманов обычно производятся по мере надобности. Составление графиков промывок не имеет смыс-

ла, так как невозможно учесть продолжительность межпромывных периодов, которые зависят не только от величины и характера изменения расходов реки и каналов и их соотношения, но в особенности от изменения условий подходов отдельных рукавов реки к карманам. Мерилом, определяющим потребность в промывке, является начало завлечения донных наносов в регулятор. Для обнаружения завлечения наносов применяется метод простого прослушивания шума от ударов гальки о щиты и другие металлические части, так как малейшее появление в регуляторе гальки вызывает явно слышимый стук.



Рис. 21. Занесение правого кармана наносами после паводка 1950 г. (промывка в период спада паводка не дала результата ввиду высоких отметок дна в нижнем бьефе промывных шлюзов).

За период с 1941 по 1943 г. в правобережном канале, на участке от пикета 0 до пикета 5 отложилось около 8200 м^3 галечниковых наносов (не считая крупных камней, которые периодически убирали из русла и укладывали на берегу). Эта цифра свидетельствует о незначительном завлечении галечниковых наносов в канал, что объясняется положительным действием раздельной стенки и промывок.

Продолжительность промывки обычно колеблется от 1,5 до 3 часов, за исключением времени, потребного на манипуляцию с затворами. При промывке карманы полностью очищаются от наносов до проектных отметок.

Время конца промывки определяется по окончанию стука гальки в шлюзах и по характеру движения воды в кармане.

Промежутки между промывками составляют от 1 до 17—20 дней. Так, в паводок 1942 г. при левобережном подходе основного протока наносы в левом кармане промывались через каждые 15—20 дней, в то время как в правом кармане из-за косого подхода потока со стороны левого берега — через 1—2 суток.

Очередность и длительность промыва карманов зависит от величины их занесения; обычно промыв начинается с более занесенного кармана. Иногда производится одновременная промывка обоих кар-

манов; если же, например, происходит сильное забрасывание наносами правого кармана, то первым промывают левый карман и далее переходят к правому.

Результаты промывок левобережного кармана были всегда хорошими, так как ввиду лобового подхода потока в верхнем бьефе к карману удавалось смыть наносы полностью. Эффект от промывок правобережного кармана был хуже, что в большой степени объясняется величиной подходящего к карману потока и его направлением.

Наблюдались случаи, когда промывка не позволяла сколько-нибудь существенно смыть наносы, лежащие в самом кармане. Следует заметить, что часто промывка производится не только для целей смыва наносов, отложившихся в самом кармане, но также и для того, чтобы разработать русло выше кармана и улучшить условия подхода потока к карману (рис. 21).

Подмеченные факты неустойчивого протекания потока в зависимости от соотношения расхода потока и водозабора подсказывают необходимость регулирования равномерного поступления воды по всей входной ширине кармана, а также отвлечения наносов в сторону плотины.

Частые промывки крайне неудобны, так как нарушают водоподачу. На рис. 7а и б приведены графики водозабора каналов за вегетационный период 1943 г. с указанием промывок карманов.

Роль правобережной струенаправляющей дамбы и мероприятия по ее поддержанию

В период полевых исследований узла служба эксплуатации проводила работы по поддержанию водоотбойной шпоры у правого берега, корень которой был расположен в 540 м от плотины и сопрягался с основной струенаправляющей дамбой под углом 30°.

В зимне-весенний период 1950 г. служба эксплуатации удлинила эту шпору примерно на 80 м. Однако в июне 1950 г. нараставший паводок смыл большую часть шпоры, оставив лишь участок длиной 30 м.

Большие работы проводились также по поддержанию и удлинению правобережной струенаправляющей дамбы. Как указывалось, в период строительства эта дамба не была доведена до смыкания с коренным берегом, и заглубление крепления в дно оказалось недостаточным. Уложенные на откосы и дно габионные и железобетонные тюфяки легко поддавались разрушению потоком. Вследствие этого для защиты дамбы были установлены сипайные шпоры. Однако прочность этих шпор также была неудовлетворительной. На такие работы ежегодно расходовалось много денежных средств, рабочей силы и материалов (рис. 22 и 23). По мере подъема дна и горизонтов воды в верхнем бьефе появилась необходимость наращивания дамбы по высоте. Так, например, в 1950 г. высота дамбы была увеличена на 40—50 см.

Для укрепления и защиты правой струенаправляющей дамбы в 1950 и 1951 гг. планировались следующие объемы регулировочных работ:

	1950 г.	1951 г.
Таштуганная кладка, м ³	7872	8597
Чимовая кладка, м ³	426	—
Сипай, шт.	51	57.

Заготовка материалов производилась весной в период межени. Булыжник для таштуганной кладки собирали вручную по дну, а хво-

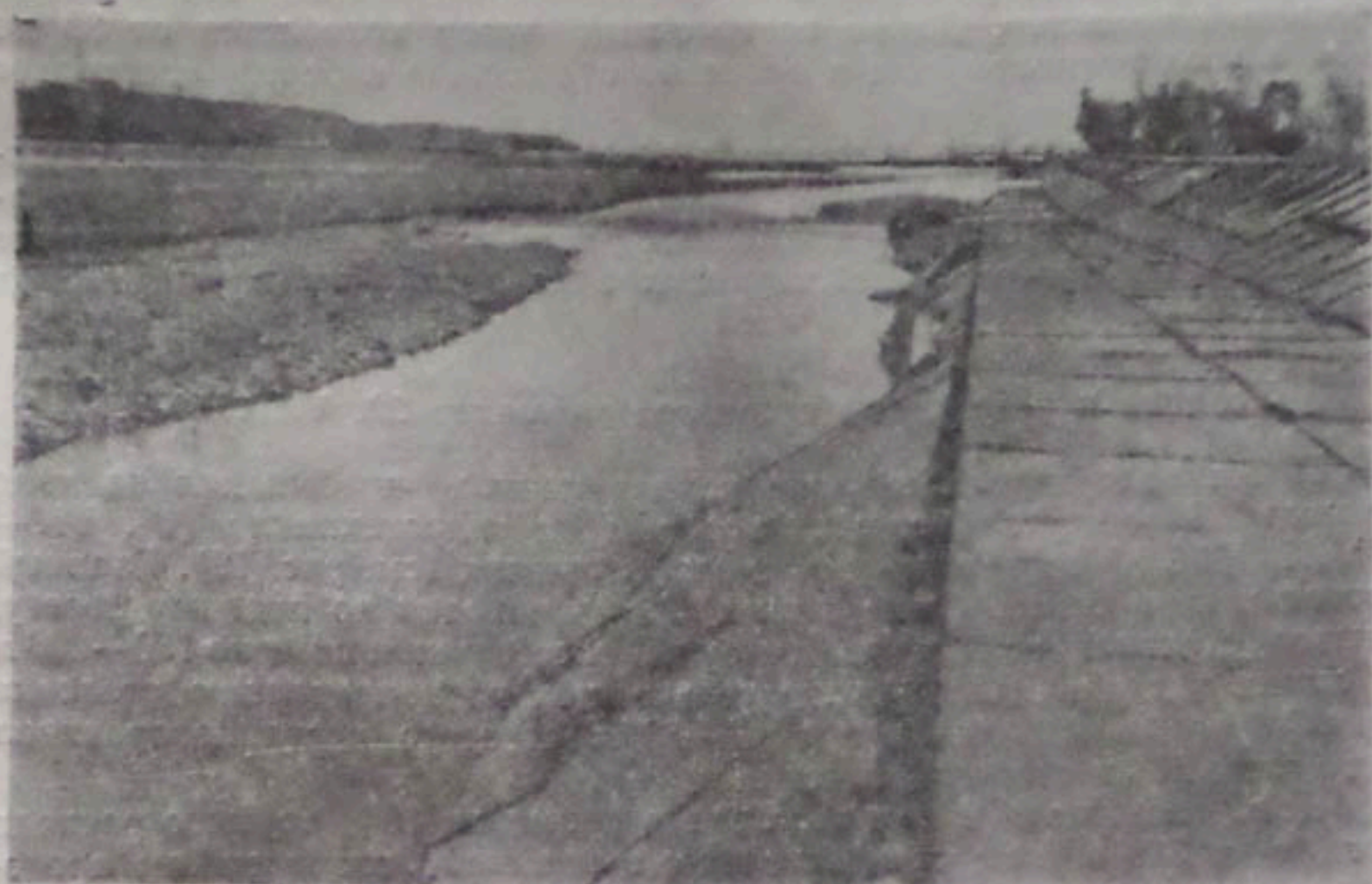


Рис. 22. Разрушение правой струенаправляющей дамбы на расстоянии 400 м от сооружения.

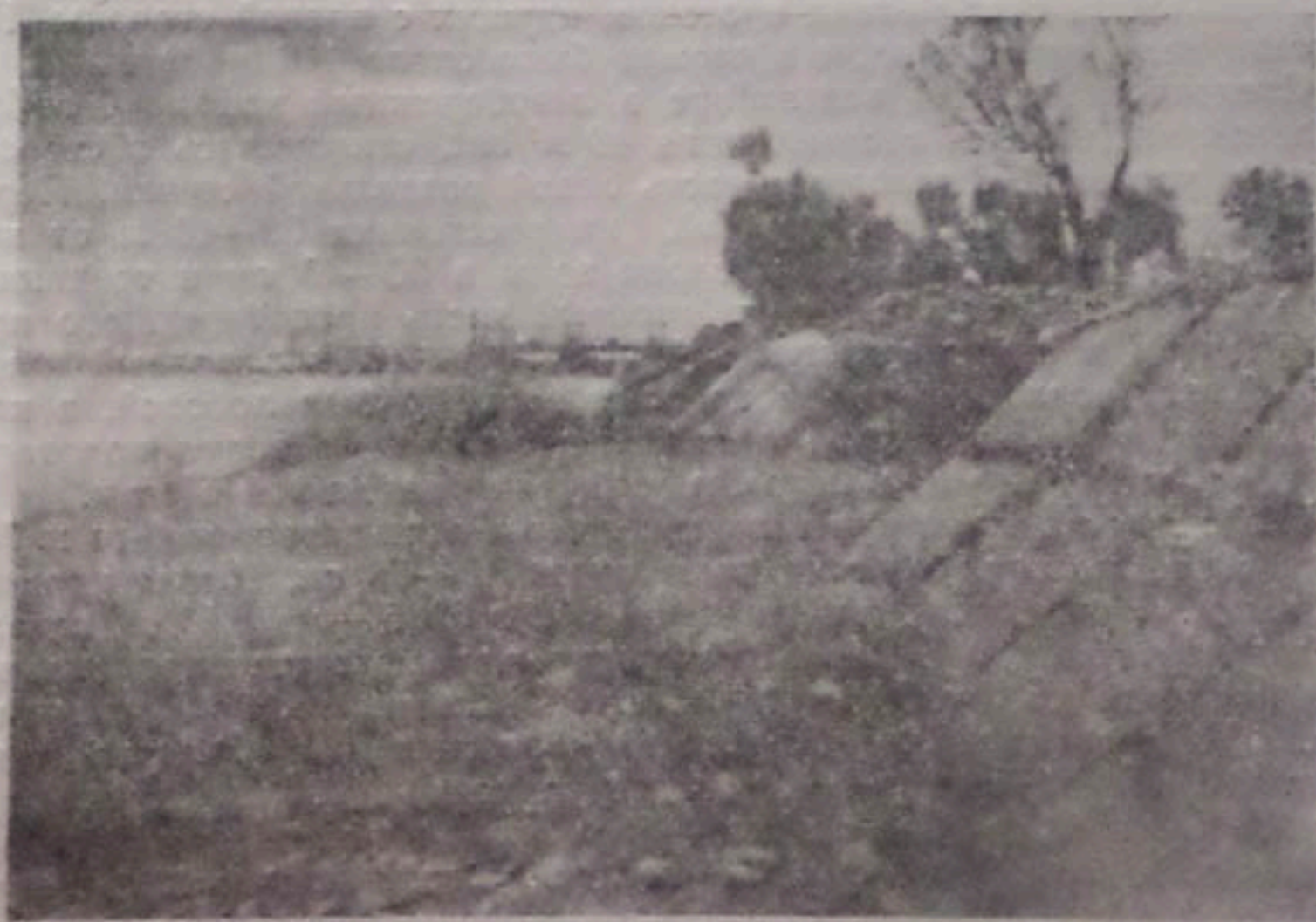


Рис. 23. Разрушение правой струенаправляющей дамбы выше отверстий кольматажного озера.

рост привозили из тугайных зарослей с левого берега; работы были назначены на период апрель — июнь.

Так как многие дамбы и шпоры возводились в аварийном порядке, некоторые из них не были согласованы с общим расположением сооружений в плане; размеры и направление отдельных шпор имеют случайный характер. Длина построенных шпор колеблется от 30 до 10 м, а угол расположения в плане по отношению к берегу составляет $30-60^\circ$.

За весь период эксплуатации в верхнем бьефе узла усилия службы были направлены главным образом на укрепление струенаправляющей дамбы, постройку временных защитных шпор, сооружение искусственных протоков, действующих в короткий меженьный период одного сезона.

Условия и результаты промывок карманов 22. VII 1950 г.

Протекание потока в русле реки в период пребывания на узле бригады Института водных проблем и гидротехники (18. VII—1. VIII 1950 г.) оставалось почти без изменения (см. рис. 12). Главный проток реки в створе (поперечнике) № 4 проходил по правому берегу, омывал струенаправляющую дамбу на расстоянии примерно 180—200 м от линии плотины, далее стремительно шел по направлению оголовка правой раздельной стенки и в 40—50 м от этого места поворачивал под углом 30° в сторону плотины.

Количество воды в нем составляло примерно 80% от всего расхода реки, т. е. $329 \text{ м}^3/\text{сек}$; следовательно, в крайнем левобережном протоке расходы воды были около $83 \text{ м}^3/\text{сек}$. По мере приближения потока к плотине расходы воды перераспределялись. Больше половины правого протока ($170 \text{ м}^3/\text{сек}$) отходило к середине русла, образуя центральное русло, а расход левого протока при подходе к сооружению увеличивался за счет мелких протоков, идущих с правой стороны. Количество воды перед входом в карман было около $110 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Следовательно, при водозаборе в левобережный канал $70 \text{ м}^3/\text{сек}$ оставшаяся часть воды, составлявшая $40 \text{ м}^3/\text{сек}$, отклонялась в сторону плотины, ударяясь в головную часть левой раздельной стенки. Перед правобережной раздельной стенкой, на расстоянии 35—40 м от нее, образовалась отмель, покрытая слоем воды в 30—40 см и соединяющаяся с гребнем переката, через который часть правобережного протока уходила в сторону плотины. При заборе воды в правый канал ($48,5 \text{ м}^3/\text{сек}$) подход потока к правому карману был лобовой, в кармане поток проходил вдоль линии регулятора, образуя водоворот против часовой стрелки с выходом у начала раздельной стенки.

Благодаря набегу струи в кармане через верх затворов 6-го и 7-го отверстий происходил перелив воды слоем 10—15 см. Щиты промывного шлюза № 4 были открыты на 0,49 м, а № 5 — на 0,17 м, остальные отверстия закрыты. Такое положение щитов уместно при сильном течении потока по линии регулятора, так как при этом оттягиваются донные токи с наносами. Скоростной режим в кармане для целей осаждения взвешенных наносов оказался совершенно неудовлетворительным. Сильное течение потока (перед входом в карман поверхностные скорости достигали $2,5 \text{ м}/\text{сек}$) создавало взмучивание и водовороты в левой части кармана; скорость со стороны регулятора доходила до $1,6 \text{ м}/\text{сек}$, а со стороны стенки наблюдались обратные течения, достигающие до $0,8-1 \text{ м}/\text{сек}$.

Протекание потока в левом кармане было нормальным (см. рис. 12). Скорости со стороны раздельной стенки не превышали $0,9-0,92 \text{ м}/\text{сек}$. В обоих карманах промерами были определены объе-

мы отложения. По пробам из отложений было установлено, что в левом кармане оказался песок, а в правом — галька.

Открытие щитов производилось с учетом подхода потока к карману так, чтобы в процессе промыва не допустить неравномерного распределения скоростей по сечению.

Процесс промыва правого кармана происходил следующим образом.

Таблица 5

Порядок процесса промывки правого кармана

Но- мер щита	Открытие, час.—мин.		Высота подъема щита, м	Но- мер щита	Закрытие, час.—мин.	
	начало	конец			начало	конец
5	10—00	10—20	2,60	7	2—05	2—10
4	10—20	10—40	2,40	6	2—10	2—15
6	11—00	11—20	2,60	5	2—20	2—25
7	11—32	11—47	2,70	4	2—25	2—30

К 10 часам утра были закрыты щиты регулятора (начало закрытия 9 ч. 45 м.). Первым было открыто 5-е отверстие шлюза, против водоворотной мертвой зоны, с тем, чтобы вызвать течение и выправить скорости потока. Вслед за этим открыли 4-й щит. С 10 час. 40 мин. до 11 часов вели наблюдение за смывом наносов (критерий — выравнивание течения потока в кармане). В 10 час. 25 мин. горизонт во входной части кармана упал до 1 м.

В начале промыва вода в кармане была чистая, без взмучивания; в нижнем бьефе наблюдалось сильное взмучивание. Скорости потока по линии раздельной стенки достигли 2,76—2,94 м/сек; это означало, что в кармане они увеличились почти в два раза.

С падением горизонта и увеличением скорости начался смыв наносов. В передней части кармана по поверхности воды отмечены небольшие волны в виде гребешков, которые уже к 11 час. 55 мин. вплотную подошли к отверстиям № 5 и № 4. С исчезновением волн уклон выравнивался. В 11 часов было открыто отверстие № 6, а затем — № 7. Порядок открытия щитов указан в табл. 5.

С открытием отверстия № 5 шел интенсивный смыв наносов из кармана с образованием на поверхности потока гребешков высотой до 30—40 см. Струя потока протекала параллельно стенкам карманов, скорости выровнились по ширине.

Горизонт воды упал дополнительно в начале кармана на 12, а в конце — на 20 см. Горизонт нижнего бьефа можно было считать равным горизонту воды в кармане. Частично в карман вода заходила со стороны плотины, и отмель перед стенкой увеличилась в размерах. В 11 час. 50 мин. полностью были открыты все щиты шлюза. Горизонты почти не менялись. Наблюдался смыв в русле реки перед карманом. В 13 час. 45 мин., в конце промыва, в нижнем бьефе начался смыв ранее отложившихся наносов с образованием гребешков на рисберме и водобое. При полном открытии всех отверстий шлюза скорости потока вначале достигали 3,92 м/сек, а в конце упали до 2,93 м/сек. В нижнем бьефе скорость воды была равна 2,41 м/сек и в среднем — в два раза меньше, чем в кармане, что способствовало отложению там более крупных фракций наносов.

При промывке в нижнем бьефе не наблюдалось отогнанного прыжка, отверстия работали с подтоплением.

Ориентировочный расход воды через шлюз составлял $200 \text{ м}^3/\text{сек}$ при расходе реки $374 \text{ м}^3/\text{сек}$. Горизонт воды в кармане во время промывки снизился по сравнению с горизонтом реки на $0,55 \text{ м}$. Эту величину можно принять за перепад перед входом в карман.

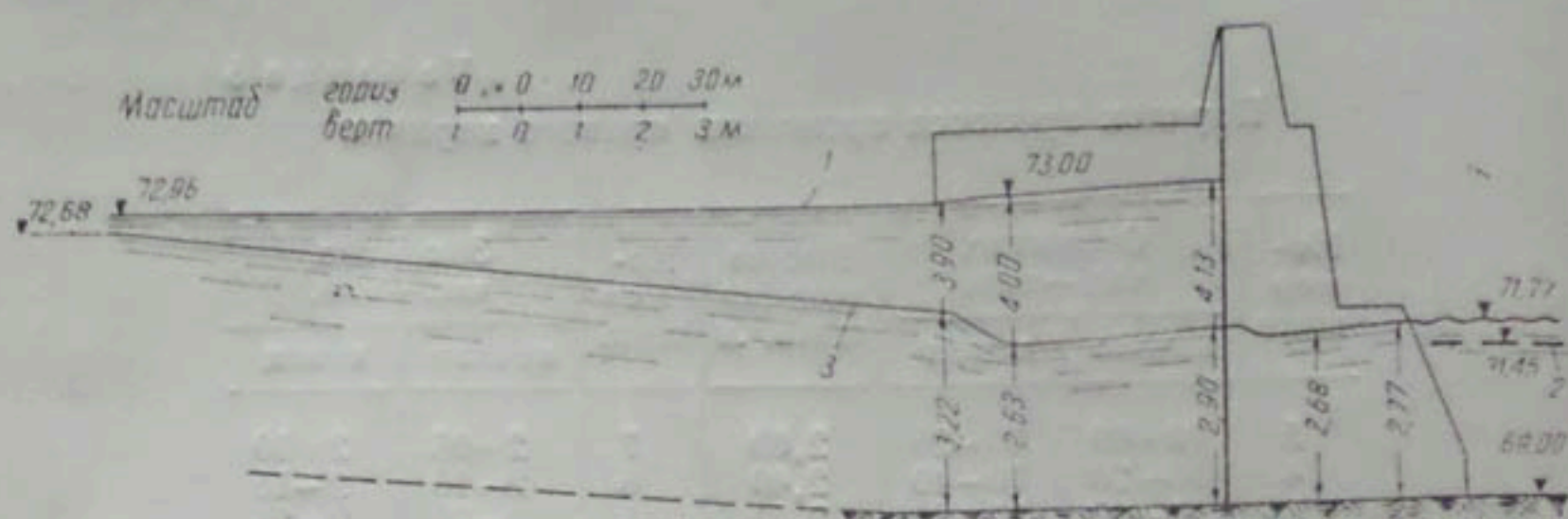


Рис. 24. Гидравлическая схема протекания потока через правый промывной шлюз до и в период промыва наносов за 22—23.VII 1950 г:

1—подпертый горизонт при $Q_p \approx 390 \text{ м}^3/\text{сек}$; 2—горизонт нижнего бьефа до промыва; 3—горизонт при промыве.

При промывке правого кармана в верхнем и нижнем бьефах была произведена съемка мгновенных уровней воды со стороны правого берега. Схематический продольный профиль протекания потока показан на рис. 24. При промывке с длительностью 3—4 часа длина распространения кривой спада достигала 400 м . На расстоянии 183 м от линии щитов промывного кармана уровень упал на 28 см . Следовательно, можно предполагать, что размыв русла при промыве кармана с полным открытием всех отверстий шлюза в продолжение 4 часов, с расходом правого протока $300 \text{ м}^3/\text{сек}$ и реки — $390—400 \text{ м}^3/\text{сек}$ распространялся на $350—400 \text{ м}$.

Характер протекания потока в верхнем бьефе при промыве правого кармана с делением расхода по протокам на основании визуального наблюдения отражен на рис. 25а. После промыва протекание потока в кармане изменилось в противоположную сторону, т. е. при подходе к карману поток, ударяясь в оголовок раздельной стенки, протекал по линии стенки и поворачивал к регулятору. Установилось так называемое нормальное течение. Чистая промывка длится примерно 3 часа — до момента полного открытия шестого отверстия шлюза.

В 7 часов вечера слышались удары гальки о щиты у отверстий № 4 и 5, а также в отверстиях регулятора № 8 и 9 вблизи отверстия № 7 шлюза, вследствие чего были немедленно заложены шандоры. Этот факт явно доказывал, насколько интенсивно наносы после промывки завлекались в карман, причем начали они откладываться со стороны регулятора.

К утру 23. VII прежнее положение в течении воды в кармане возобновилось, что подтверждало подход новой гряды наносов к входной части кармана.

Промывка левого кармана началась открытием щита № 1 (с левой стороны) с тем, чтобы смыть отмель у правого отверстия регулятора во входной части кармана. Порядок открытия щитов дан в табл. 6. Регулятор закрыт в 14 час. 30 мин.

С открытием шлюзов № 1 и 2 горизонт в кармане упал на 0,90 м, после подъема всех щитов почти не изменился. Средняя глубина в кармане при промыве установилась в 2,1 м.

В начале промыва наблюдался отогнанный прыжок. Этому способствовала шпора в нижнем бьефе от конца низовой раздельной стенки, выводящая поток к стержню основного протока нижнего бьефа. Таким образом, подтопления снизу при промыве не было, и это усиливало эффект промыва. Отложений в нижнем бьефе не оказалось.

Величина наибольшей скорости потока при промыве доходила до 4,09—4,70 м/сек, но вследствие интенсивного поступления воды со стороны плотины с резким поворотом у оголовка раздельной стенки скорость в этой точке падала до 2,43—1,81 м/сек. В нижнем бьефе скорости достигали 4,17—4,60 м/сек.

Глубина воды в нижнем бьефе при отогнанном прыжке составляла 1,30 м, а при некотором подъеме горизонта перед концом промыва — 1,70 м. В самом конце кармана в нижнем бьефе она выровнилась и доходила до 1,9—2,0 м. Поток имел волнистую поверхность, волны достигали 20—30 и даже 60—80 см. Течение было бурным. Через 1 час 20 мин. после начала промыва началось завлечение гравелистых наносов в карман. При этом усиленно разрабатывался проток, идущий со стороны плотины вокруг конца раздельной стенки в левый проток (рис. 25б).

При промыве правого кармана мутность потока во времени изменилась от 1,14—1,97 до 7,39—7,69 г/л; следовательно, во время промыва мутность увеличивается почти в 3,5—4 раза против бытовых мутностей потока (в паводок).

В фракционном составе изменения произошли за счет среднего песка с диаметром частиц 1,0—0,25 мм (с 2 до 40—50% при промыве).

Так, если у бычков в начальный момент мутность достигала 8,33—8,82 г/л, то уже в 10—20 м от линии бычков в различных точках нижнего бьефа мутности были примерно одинаковы и равны 4,37—5,30 г/л, т. е. в два раза меньше, чем у бычков.

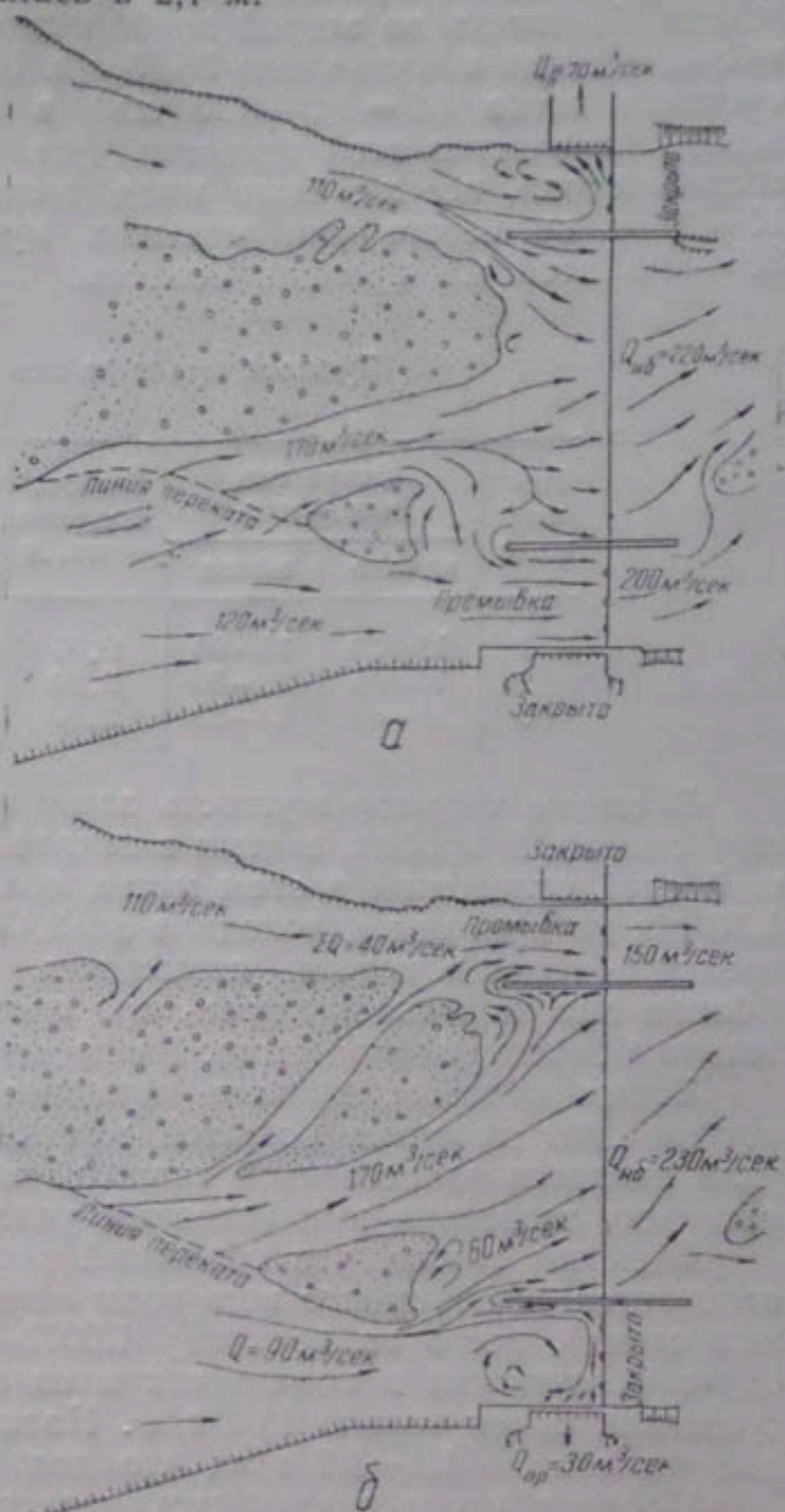


Рис. 25. Характер протекания потока при промыве кармана плотины 22.VII 1950 г.:

а — правого, в 12 час.; б — левого, в 16 час. По мере промыва стержень потока перемещается вправо.

В нижнем бьефе левого кармана было взято две пробы: одна — при спокойной воде до открытия щита при мутности 0,87 г/л, а другая — в момент открытия щита для оценки начального взмучивания потока. Мутность во второй пробе оказалась наибольшей из всех промывов наносов и составляла 35,53 г/л. Несмотря на то, что содержание среднего песка ($d = 1,0-0,25$ мм) в потоке с 0,3% повысилось до 18,4%, количество этой фракции, еще не успевшей перемешаться в толще потока, все же было мало, тогда как в точках на расстоянии 10—20 м от бычка при меньших мутностях (4,63—5,30 г/л) было 30—40% этой же фракции наносов.

Т а б л и ц а 6

Процесс промыва левого кармана

Но- мер щита	Открытие, час.—мин.		Высота подъема щита, м	Но- мер щита	Закрытие, час.—мин.	
	начало	конец			начало	конец
1	15—30	16—00	2,60	3	7—20	7—25
2	16—15	16—30	2,60	2	7—25	17—30
3	16—40	16—50	2,60	1	17—30	17—35

В самом кармане мутность заметно изменялась у входа в отверстия шлюза. В пробах, взятых в начале кармана, несмотря на наибольший слой отложений в этом месте, она колебалась в пределах 1,38—1,78 г/л до промыва и доходила до 2,43 г/л при промыве. Содержание среднего песка в потоке повысилось от 0,6—4,7% до 14,2—16,1%. Вблизи дна кармана мутность при промыве, естественно, была значительно больше; однако наносы еще не успевали перемешаться.

Таким образом, промыв карманов при благоприятном подходе потока дает довольно большой эффект и при описанной компоновке узла является единственной защитой от завлечения наносов и, следовательно, занесения ими головных участков каналов.

Отметим также, что объемный вес жидкой массы (суспензии) отличается от объемного веса воды очень мало (конечно, лишь в верхних слоях), всего на величину 1,0003—1,0044 т/м³. Даже при самой большой мутности в момент открытия щита (35,53 г/л) объемный вес суспензии равен только 1,04 т/м³. Наличие же донных наносов может довести его до 1,1—1,2 т/м³, что должно быть учтено при расчетах.

Подводя итоги сказанному, подчеркнем еще раз следующие положения:

1) при благоприятном подходе потока промыв можно производить с малой длительностью и большим эффектом;

2) смыв наносов в карманах при достаточном количестве воды в подводимом к карману протоке происходит интенсивно и дает удовлетворительные результаты;

3) длительный промыв нецелесообразен при больших расходах в реке (и, следовательно, в подводящем протоке), так как смыв, распространяясь вверх по течению, вызывает перенос крупных наносов и завлечение их в карман, что снижает эффект промыва самого кармана. Не следует его применять в паводок, когда река сильно насыщена наносами; для создания в правом кармане благоприятных условий промыва с отогнанным прыжком необходимо увеличить длину нижней раздельной стенки, как это сделано в нижнем бьефе левого кармана, что позволит лучше транспортировать промытые наносы от плотины.

ВЫВОДЫ ИЗ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Вследствие большой ширины подводящего и отводящего русла реки отмечено блуждание потока. Ввиду занесения верхнего бьефа и подъема дна в уровень с гребнем водосливной плотины последняя на распределение воды между отводами влияния не оказывает; фактически происходит бесплотинный водозабор из протоков реки. Раздельные стенки выполняют роль водозахватных шпор при бесплотинном водозаборе. К 1951 г. в верхнем бьефе отложилось наносов около 2 100 000 м³. Длина призмы отложений достигала 3750 м.

В нижнем бьефе, подвергавшемся размыву в первые годы работы сооружения, наблюдалось отложение наносов и подъем дна выше бытовых отметок. Величина поднятия дна протоков у сооружения к 1951 г. была 0,6—1,0 м, а объем отложений наносов в нижнем бьефе достигал 900 000 м³; отложения распространялись на 1500 м. Таким образом, общий объем отложений наносов в верхнем и нижнем бьефах плотины к 1951 г. составлял около 3 000 000 м³; длина призмы отложений в обоих бьефах примерно равнялась 5250 м.

2. Невозможность регулирования горизонта воды в верхнем бьефе затрудняет водозабор в регуляторы и промывку карманов. На промыв наносов и разработку протоков для подвода воды в регулятор тратится слишком много воды. Ввиду различных подходов потока (в зависимости от величины расхода воды в реке) к карману в последнем почти все время происходит неравномерное распределение скоростей потока и, следовательно, неравномерное отложение наносов.

Это явление особенно усиливается в паводок; условия для работы карманов в качестве отстойников даже для крупных наносов неудовлетворительны.

3. Борьба с попаданием наносов в каналы на практике осуществляется с трудом. Достаточного осаждения наносов в карманах не достигается вследствие большой взмученности потоков и неравномерного распределения скоростей в них.

Поперечная циркуляция перед карманом, вызываемая положительным действием раздельной стенки, не возникает; при отходе потока к середине русла промывка одного из карманов не обеспечивается из-за завала его нижнего бьефа и неблагоприятного подхода потока к карману. Укладка шандорных порогов в отверстиях регулятора не исключает необходимости частых и продолжительных промывок карманов с отключением водозабора. В результате перечисленных недочетов защита каналов от попадания наносов неудовлетворительна.

4. Точного прогноза времени заиления и частоты промыва карманов сделать пока не удалось, вследствие непостоянного подхода к ним главного протока. Поэтому принятую службой эксплуатации методику, а также сроки промывки карманов в зависимости от фактического их занесения можно считать правильными.

Процесс промывки карманов протекает достаточно эффективно, когда подход потока благоприятен и обеспечивается удовлетворительный промывной расход.

5. Для того, чтобы располагать требуемым водозабором в оба канала, служба эксплуатации проводит регулирование (выправление) русла, укладку шандор на водосливе, периодическую промывку карманов и другие мероприятия. Однако как показал многолетний опыт, эти мероприятия не достигают цели и обходятся довольно дорого.

6. Правобережная струенаправляющая дамба не выполняет своей положительной роли вследствие того, что она не была доведена до коренного берега, имеет недостаточную высоту, слабое крепление откоса и недостаточное его заглубление.

7. В условиях предгорного участка реки и низконапорной плотины узел имеет ряд конструктивных элементов, существование которых оправдано опытом эксплуатации. К ним относятся регуляторы, карманы с раздельной стенкой и промывными шлюзами, очертание струенаправляющей дамбы.

Для того чтобы увеличить водозабор в оба канала и устранить указанные выше недостатки, узел реконструируется.

СОДЕРЖАНИЕ

Н. А. Цветкова. Режим наносов р. Аму-Дарьи	5
В. А. Скрыльников. К вопросу о расчете заиления подпертых бьефов гидроузлов	87
А. В. Бочарин. Основы расчета поступления плотных потоков в водозаборные отверстия	105
В. С. Лапшенков, Е. И. Дубинчик. Опыт моделирования русловых деформаций р. Сыр-Дарьи у Чардаринского гидроузла	123 ✓
Э. М. Пилосов, В. А. Скрыльников. Некоторые результаты исследования общего размыва русла р. Вахш	129
Г. А. Цой. Приближенный метод определения поперечных размеров саморазмывающегося русла в гравелисто-галечниковых грунтах	140
А. М. Мухамедов, <u>Н. Н. Сивец.</u> Опыт эксплуатации Верхнезеравшанского водозаборного гидроузла :	145

Редактор *А. В. Баклицкая*
Технический редактор *З. П. Горьковая*
Корректор *Л. А. Самсонова*

P01501. Сдано в набор 28/VI-1963 г. Подписано к печати 20/VIII-1963 г. Формат
 $70 \times 108^{1/16} = 5,87$ бум. л.—16,1 печ. л. Уч.-изд. л. 11,6 (1 вкл.) Изд. № 753/63.
Тираж 650. Цена 97 к.

Типография Издательства АН УзССР, Хорезмская, 9. Заказ 933.
Адрес Издательства: ул. Куйбышева, 15.