

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
Ордена Трудового Красного Знамени Научно-
Исследовательский институт ирригации им. В. Д. Журина
С А Н И И Р И

ТРУДЫ САНИИРИ

Выпуск 124

Русловые процессы

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ им. В. Д. ЖУРИНА
САНИИРИ

ТРУДЫ САНИИРИ

Выпуск 124

Русловые процессы

ТАШКЕНТ—1970

В сборнике даются результаты исследований по русловым процессам; предлагается методика моделирования русла, даются исследования скоростей потока на участке дейгиша, для борьбы с ним; освещается эффективность противоселевых мероприятий.

Книга рассчитана на научных сотрудников, проектировщиков, работников водохозяйственных организаций, преподавателей и студентов институтов гидротехнического профиля.

Редакционная коллегия

Ф. Н. Наджимов (*отв. ред.*), Р. А. Алимов, Х. А. Аскарлов, К. И. Белоцерковский, Г. Г. Валентини, И. И. Горошков, А. А. Кадыров, С. И. Кеберле, Н. Т. Лактаев, В. С. Лапшенков, А. М. Мухамедов, У. Ю. Пулатов (*зам. отв. ред.*), А. А. Рачинский (*зам. отв. ред.*), И. Б. Хамадов, Х. И. Якубов.

РУСЛА РЕК И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Водозабор из рек осуществляется в самых разнообразных условиях протекания их от предгорий до низовий (с различным режимом, мощностью потока и крупностью наносов), что требует от проектировщиков разработки столь же разнообразных схем компоновки гидроузлов в целом и конструкций, входящих в их сооружения, которые проектируются нередко при недостаточной гидрологической изученности источников питания и быта реки на участках намечаемого строительства. Поэтому проектирование и строительство объектов не обходится без лабораторных исследований модели гидроузла и прилегающего участка реки, что позволяет восполнить недостающие данные о режиме реки, проверить устойчивость и обтекание отдельных, наиболее ответственных элементов узла.

Методика расчета размываемых моделей русел рек и сооружений на них несовершенна и требует дальнейшей разработки, особенно моделей русел низовий рек с песчаными наносами, когда приходится воспроизводить горизонтальные размеры потока в одном масштабе, вертикальные — в другом, крупность наносов — в третьем.

Задача настоящих исследований — разработать теоретически обоснованную методику моделирования естественных русел не только для предгорных участков, но и, главным образом, для условий среднего течения и низовий рек.

Естественные водотоки — реки и ручьи формируют свое русло в процессе взаимодействия между потоком и размываемым ложем. В результате такого взаимодействия устанавливается равновесие между силой влечения и сопротивляемостью ложа, т.е. устойчивый равномерный режим в данном створе или на участке реки.

Чтобы установился равномерный режим, требуется продолжительное время для формирования русла одним расходом воды. Расходы же в реках непрерывно меняются, поэтому рус-

ло успевает сформироваться лишь при больших расходах, когда поток обладает наибольшей мощностью и формирует русло в наименее короткий промежуток времени. Это особенно характерно для рек или участков рек с крупными наносами, где при меженных расходах поток протекает по сформированному паводковыми расходами руслу, отмошенному крупными наносами, которые приходят в движение при самых больших расходах. Наибольшей руслоформирующей способностью поток обладает, когда горизонт максимальный, но не выходит из берегов на пойму. Расход, соответствующий этому горизонту, называется руслоформирующим.

На участках рек с песчаным дном русло может быть сформировано и при меженных расходах, хотя процесс происходит медленнее, чем в паводок. В сформированном естественном русле элементы потока — линейные и гидравлические — составляют устойчивые связи с постоянными числовыми параметрами, приемлемыми для любого естественного водотока, независимо от его размеров, характера протекания потока, количества и крупности транспортируемых наносов. Такие связи выражают закономерности рассматриваемого явления и, следовательно, удовлетворяют законам динамического подобия потоков.

Размываемая модель участка реки представляет собой также естественное русло, ту же реку, лишь очень малых размеров, где поток формирует русло в процессе взаимодействия с размываемым ложем без вмешательства человека. Здесь проявляются те же закономерности, что и в естественном водотоке.

І. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

І. Закон динамического подобия

Выражение силы в общем виде

$$\mathcal{P} = mj = \rho l^3 t^{-2} \quad (I)$$

Для двух подобных материальных систем это выражение представлено Ньютоном в виде масштабных множителей

$$\alpha_p = \alpha_p \alpha_p^4 \alpha_t^{-2} \quad (2)$$

или, если заменить отношение множителя линейных размеров в квадрате к множителю времен в квадрате множителем скорости в квадрате, выражение (2) напишется в виде

$$\alpha_p = \alpha_p \alpha_l^2 \alpha_v^2, \quad (3)$$

где $\mathcal{P}$ — сила;
 m — масса;
 j — ускорение;
 ρ — плотность;
 l — линейный размер;
 t — время;
 α — масштабный множитель.

2. Критерий подобия

Водные потоки относятся к материальным системам, находящимся под воздействием силы тяжести как главной, определяющей по отношению к другим внешним и внутренним силам.

Для таких систем уравнение силы, действующей в вертикальном направлении (веса), имеет вид

$$\mathcal{P}_i = mg = \rho l^3 g = \delta l^3, \quad (4)$$

или в масштабных множителях для двух подобных систем

$$\alpha_p = \alpha_p \alpha_g \alpha_l^3 = \alpha_\delta \alpha_l^3, \quad (5)$$

где g — ускорение силы тяжести;
 $\delta = \rho g$ — вес единицы объема.

Из сравнения равенства (3) и (5) получим

Перейдя к элементам потока, находим

$$\frac{V_H^2}{V_M^2} \cdot \frac{g_M}{g_H} \cdot \frac{\ell_M}{\ell_H} = 1, \quad (6)$$

или

$$\left(\frac{V^2}{g\ell} \right)_H = \left(\frac{V^2}{g\ell} \right)_M$$

(Индексы "H" и "M" обозначают "натура" и "модель").

Безразмерное выражение (6) известно под названием числа Фруда

$$\frac{V^2}{g\ell} = idem, \quad (6')$$

где

V — скорость потока,

ℓ — характерный линейный размер потока.

Выражение (6') может иметь различный физический смысл в зависимости от того, какой линейный размер потока и какая скорость будут в него входить. Подставив в качестве линейного размера глубину потока и соответственно скорость на данной вертикали, получим критерий кинетичности потока неограниченной ширины

$$\frac{V^2}{gh} = idem. \quad (6'')$$

Для характеристики кинетичности потока в целом (лоток, труба, естественное русло) в качестве характерного линейного размера в выражении (6') подставляем гидравлический радиус и среднюю в сечении скорость. Выражение принимает вид

$$\frac{V_{cp}^2}{gR} = idem \quad (6''')$$

Для характеристики потерь энергии от сопротивлений трения по длине потока вместо полной силы тяжести (веса) $\mathcal{P}$, действующей в вертикальном направлении, следует принять ее составляющую, действующую вдоль потока $\mathcal{P}i$, где i — уклон потока.

Тогда вместо равенства (4) получим

$$P_2 = P_1 i = \rho g i \ell^3 = \gamma \ell^3 i, \quad (7)$$

а вместо равенства (5) соответственно

$$\alpha_{P_2} = \alpha_P \alpha_g \alpha_i \alpha_\ell^3. \quad (8)$$

Совместное решение (3) и (8) даст

$$\frac{\alpha_P}{\alpha_{P_2}} = \frac{\alpha_V^2}{\alpha_g \alpha_i \alpha_\ell^3} = 1. \quad (9)$$

Переходя к элементам потока, будем иметь

$$\frac{V_H^2}{V_H^2} \cdot \frac{i_H}{i_H} \cdot \frac{\ell_H}{\ell_H} \cdot \frac{g_H}{g_H} = 1, \text{ откуда } \left(\frac{V^2}{g \ell i} \right)_H = \left(\frac{V^2}{g \ell i} \right)_H,$$

или

$$\frac{V^2}{g \ell i} = idem. \quad (10)$$

Безразмерное выражение (10) характеризует потери энергии на трение по длине потока ограниченной ширины (призматического). В этом случае характерный линейный размер — произведение горизонтального линейного размера потока на уклон поверхности воды (разность отметок на участке ℓ).

Основные линейные параметры естественных русловых потоков: длина замеряемого участка $\mathcal{L}$, средняя ширина зеркала B (частное от деления площади зеркала между двумя створами на замеряемом участке на длину), средняя глубина H_{cp} (частное от деления объема воды между упомянутыми створами на площадь зеркала), средний смоченный периметр χ , гидравлический радиус R .

Поэтому выражение (10) можно представить в виде функции отношений линейных размеров

$$\frac{V^2}{g \ell i} = \frac{V_{cp}^2}{g \ell i} = f \left[\frac{\mathcal{L}}{B} \cdot \frac{H_{cp}}{R} \right]. \quad (11)$$

Таблица I

Данные полевых наблюдений на реках

Река	Ширина		Глубина		Скорость, м/сек:			Q м³/сек	Уклон, i	$K_0 = \frac{V^2}{QBS}$
	реки по:	урезу:	средняя: макси- мальная:	средняя: макси- мальная:	средняя: макси- мальная:	средняя: макси- мальная:	средняя: макси- мальная:			
	М	Н _{ср}	Н _{ср}	Н _{макс}	Н _{ср}	Н _{макс}	Н _{ср}			
I	2	3	4	5	6	7	8	9		
Сох	29	1,6	2,1	3,9	6,5	183	0,01	5,2		
Пост Сохский	28	1,8	2,8	2,96	4,0	150	0,01	3,2		
Сох	39	2,5	3,0	2,64	4,8	257	0,0045	4,0		
Пост Сарыкурганский	39	1,8	2,1	3,1	5,6	251	0,0045	5,2		
Кугарт-Сай										
Пост Джиргитальск	41	1,3	3,5	3,45	4,1	184	0,01	3,0		
Исфайрам-Сай										
Пост Курганский	20	1,5	1,9	3,0	3,9	91	0,01	5,0		
Нарын	59	2,6	3,5	2,54	3,8	391	0,0026	4,2		
г. Нарын	57	2,5	3,4	2,7	3,9	380	0,0030	4,3		
	57	2,1	2,8	2,26	3,5	270	0,0030	3,05		
Нарын по ст. Сары-Камыш	103	3,2	4,3	3,36	-	1160	0,0026	4,2		
Нарын	64	2,7	3,5	2,75	3,9	477	0,003	4,0		
Пост Кока-Джарты	64	2,3	3,0	2,5	3,8	401	0,003	3,3		
Чирчик										
Пост Чимбалынский	75	3,4	5,3	3,3	5,2	840	0,003	4,95		

Продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Чирчик	III	2,5	3,5	3,1	4,4	844	0,003	3,0
Пост Нижне-ходжикент	IO8	2,1	3,4	3,14	4,2	709	0,003	3,15
Нарын	I36	5,0	7,3	3,1	4,5	2120	0,0015	4,8
Пост Учкурганский	I31	4,5	6,6	2,94	4,1	1730	0,0015	4,4
Сырдарья								
Пост Сарайский	I54	5,4	7,4	1,88	3,0	1570	0,00056	4,2
Сурхандарья								
Пост Мангузарский	91	1,8	2,5	2,3	2,9	371	0,0012	4,8
Сурхандарья								
Пост Арпапайский	I24	1,4	2,6	1,84	3,2	319	0,00064	4,9
Талас								
с.Кировское	36	1,0	1,2	2,2	3,4	77	0,004	3,5
Чирчик								
Пост Чиназ	I37	2,9	6,5	2,0	2,6	789	0,0009	3,3
Карадарья	II5	2,4	4,5	3,2	4,5	853	0,003	-
Кампырват	II5	2,3	4,6	3,0	4,7	761	0,003	-
Чу	44	2,1	3,0	1,9	2,9	172	0,0016	5,1
Пост Константиновский	43	1,7	2,6	1,9	2,8	146	0,0016	5,3
Ангрен	62	2,4	3,4	1,5	2,4	224	0,0007	4,8
Пост Самарский	62	2,2	3,2	1,4	2,2	190	0,0007	4,7
Сырдарья, пост Кзыл-Орда	252	4,22	8,0	1,16	2,0	1200	0,00016	3,45
Сырдарья, пост Казалинский	I65	4,4	6,6	1,24	2,0	900	0,00017	3,5

Продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Амударья, пост Чатлы	780	2,40	4,55	1,6	-	8000	0,00008	4,07
Дунай у г.Вены	267	4,5	5,8	2,5	-	3287	0,00056	4,2
Волга у г.Камышина	1520	13,5	-	2,35	-	48000	0,00008	4,6
	1480	11,0	14,3	2,17	-	37000	0,00008	4,02
Волга у г.Ульяновска	1000	-	-	-	-	37000	0,00012	-
Амударья	900	4,0	8,7	1,8	-	6500	0,00008	4,5
Пост Ильданский	760	3,2	8,9	1,36	-	3270	0,00008	3,2
Модель р.Амударья	0,37	0,0	-	0,12	-	0,00082	0,00094	4,3
Ангрен, пост Туркменский	30	0,76	-	3,48	-	30	0,0099	4,6
Модель р.Ангрен	1,0	0,027	-	0,60	-	0,8168	0,009	4,0
Модель р.Кугарт-Сай	0,59	0,025	-	0,46	-	0,006	0,0104	3,92
Чу с.Маленфан	34	0,99	-	1,33	-	58,7	0,0013	4,0
	32,5	1,06	-	1,36	-	46,5	0,0012	4,8
	32,5	0,97	-	1,29	-	40,2	0,0014	3,92
Чу, пост Таш-Уткуль	54,1	1,59	-	0,97	-	84	0,00067	-

Среднее

4,1

Приняв $\mathcal{L}$ кратной ширине реки $\mathcal{L} = k^2 B$ или $\frac{\mathcal{L}}{B} = k^2$, получим

$$\frac{V_{ср}^2}{g B l} = K_0 f\left(\frac{H_{ср}}{R}\right), \quad (II')$$

где $K_0 = k^2$.

Выражение (II') представляет собой общий вид морфометрической связи между элементами в естественных русловых потоках с установившимся режимом.

В естественных водотоках со сформированным руслом смоченный периметр по величине близок к ширине по зеркалу ($B \approx \chi$), а средняя глубина — к гидравлическому радиусу ($H_{ср} \approx R$), или их отношения близки к единице $\frac{\chi}{B} = \frac{H_{ср}}{R} \approx 1$ (изменяются в пределах от 1,005 до 1,1). Поэтому выражение (II') в применении к естественным руслам, в том числе и к размываемым моделям, можно считать величиной постоянной, равной

$$\frac{V^2}{g B l} = K_0 = const. \quad (I2)$$

Данные полевых наблюдений на реках (табл. I), а также лабораторных опытов на размываемых пространственных русловых моделях как равнинных, так и предгорных участков позволили нам определить числовую величину коэффициента в выражении (I2).

Упомянутые выше данные полевых наблюдений приведены в таблице I, согласно которым числовая величина близка к 4.

Тогда уравнение (I2) приобретает значение расчетной формулы

$$\frac{V_{ср}^2}{g B l} = 4, \quad (I3)$$

которую можно представить графически (рис. I).

Таким образом, формула (I3) является выражением закономерности формирования естественных русел. Физический смысл этой закономерности — падение горизонта на уча-

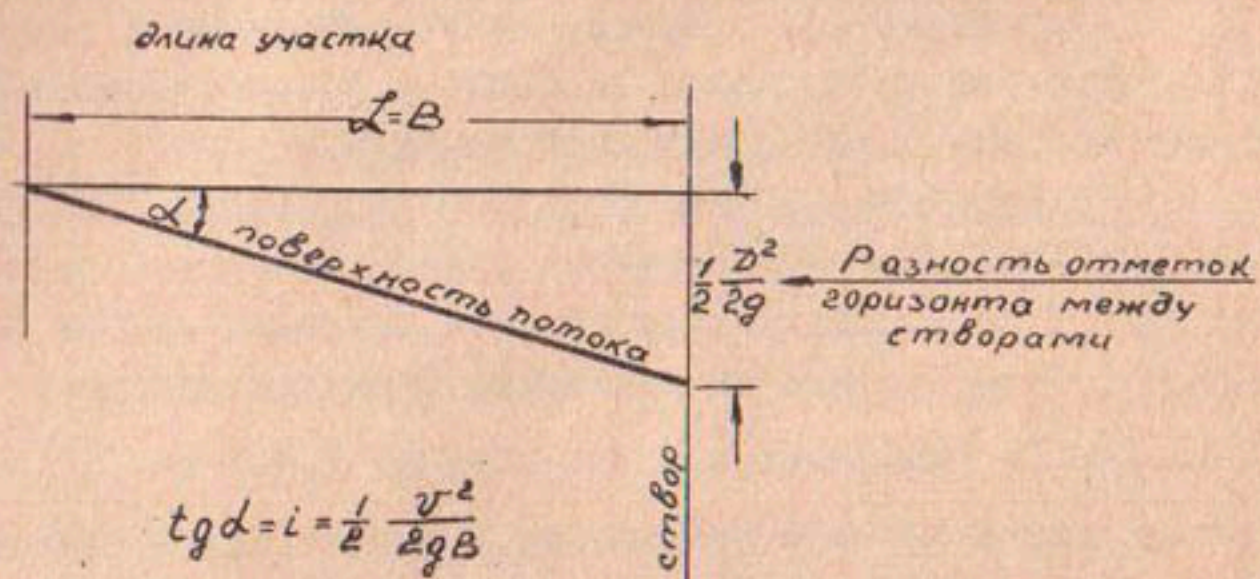


Рис. I.

стке, длина которого равна ширине реки, соответствует половине скоростного напора.

Непосредственно из формулы (13) определяется любой из входящих в это выражение элементов потока в сформированном естественном русле при остальных данных. Например, для определения средней скорости требуется лишь два замера: ширины реки по зеркалу и уклона потока. А если добавить промер глубины в створе для определения площади живого сечения, получим и величину расхода воды, не прибегая к вертушечным замерам.

Скорость —

$$V_{cp} = 2\sqrt{gBi} \quad (14)$$

Ширина по зеркалу —

$$B = \frac{V_{cp}^2}{4gi} \quad (15)$$

Заменив среднюю скорость расходом $V_{cp} = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{BH_{cp}}$ получим

$$B = \left(\frac{Q}{2H_{cp}\sqrt{gi}} \right)^{2/3} \quad (16)$$

уклон

$$i = \frac{V^2}{4gB} \quad (17)$$

Зависимость (13) требует тщательности замеров элементов потока естественных русел (что не всегда соблюдается).

Во-первых, замеры должны проводиться на участке реки, представляющем одно русло, без каких-либо признаков деления его на протоки в открытом виде или в виде подводных отмелей (осередков).

Во-вторых, должна быть замерена ширина зеркала, имеющего течение в берегах, и не должны замеряться разливы или отмирающие части (застойные зоны).

П. МОДЕЛИРОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

І. Коэффициент подвижности

Поток расходует энергию на преодоление сопротивлений ложа в вихрях и водоворотах, а также на перенос твердых частиц-наносов. В результате взаимодействия между потоком и его ложем устанавливается равновесие сил влечения и сопротивления, т.е. определенный постоянный (устойчивый) режим для данного расхода воды, характеризующийся устойчивостью гидравлических элементов и расхода наносов. Изменение расхода воды влечет за собой изменение мощности потока, а следовательно, размывающей и транспортирующей способности его. При достаточной мощности потока частицы наноса, составляющие дно водотока, приходят в движение и влекаются по дну или взвешиваются и уносятся потоком. Дно размывается. При недостаточной для влечения частиц мощности потока эти частицы выпадают из взвеси и осаждаются на дно.

На отдельных реках или участках одной реки количество транспортируемых потоком наносов неодинаково. Оно зависит от транспортирующей способности потока и сопротивляемости дна, т.е. от крупности наносов. На участках рек с песчаным дном транспортирующая способность потока обычно почти при всех расходах воды оказывается достаточной для влечения песка по дну и даже во взвешенном состоянии, т.е. она почти всегда больше предельного значения не только для влечения наносов по дну, но и для их взвешивания. Например, в нижнем течении рек Амударья и Сырдарья наносы, будучи очень мелкими, движутся как по дну, так и во взвешенном состоянии в больших количествах. Русло этих рек в одних местах размывается, в других-наилается, блуждает.

На предгорных участках рек крупность наносов изменяется в широких пределах от песка до крупного булыжника. Самые крупные частицы наноса приходят в движение только при наибольших расходах воды, повторяющихся один раз в

несколько лет, при меньших же расходах, т.е. при меньшей размывающей способности потока, движутся мелкие частицы, а взвешиваются еще более мелкие.

Таким образом, в любом водотоке между гидравлическими элементами потока, крупностью и количеством транспортируемых наносов существует связь, выражающая соотношение между силой влечения потока и силой сопротивления размыву аллювиального ложа. Такая связь может быть получена теоретически из уравнения динамического подобия.

Представим кубический линейный размер выражения (7) в виде объема воды в потоке

$$\ell^3 = R \chi \mathcal{L} = \omega \mathcal{L},$$

где R — гидравлический радиус:

χ — смоченный периметр;

$\omega = R \chi$ — поперечное (живое) сечение потока;

$\mathcal{L}$ — длина измеряемого участка потока.

Тогда вместо (7) получим

$$\mathcal{P}_3 = \rho g R \chi \mathcal{L} \quad (18)$$

Равенство (18) есть не что иное, как выражение влекущей силы потока, оказывающей воздействие на площадь ложа размерами $\chi \mathcal{L}$.

Сила влечения, отнесенная к единице упомянутой площади ложа, будет равна

$$S = \rho g R i = \gamma R i \quad (19)$$

Влекущая сила, оказывающая воздействие на лежащую на дне частицу наноса диаметром d , равна

$$\mathcal{P}_4 = \xi \gamma R i \frac{\pi d^2}{4}, \quad (20)$$

где ξ — коэффициент, учитывающий взвешивающее влияние потока, а также неравномерность воздействия турбулентного потока на частицу.

Сила, противодействующая сдвигу частицы -

$$T = \psi(\delta_n - \delta) \frac{\pi d^3}{6}, \quad (21)$$

где δ_n и δ - объемный вес частицы и воды;
 ψ - коэффициент, учитывающий сопротивление частицы сдвигу от трения о другие частицы и от расположения ее среди других.

В момент предельного равновесия частицы между покоем и движением силы $\mathcal{P}_4$ и T равны между собою

$$\xi \delta R i \frac{\pi d^2}{4} = \chi(\delta_n - \delta) \frac{\pi d^3}{6}.$$

Представив равенство в безразмерном виде, получим

$$\frac{\mathcal{P}_4}{T} = \frac{\delta}{\delta_n - \delta} \frac{R i}{d} = \frac{3}{2} \frac{\xi}{\psi} = \varphi_{10},$$

или

$$\frac{\delta R i}{d(\delta_n - \delta)} = \text{const} = \varphi_{10}. \quad (22)$$

Очевидно, что безразмерное выражение (22) не зависит от режима, формы, размеров потока, крупности и удельного веса наносов и представляет собой числовое выражение соотношения сил влечения и трения, характеризует устойчивость частиц наноса, сопротивляемость их воздействию силы влечения, сдвигу.

Из выражения (22) следует, что диаметр частиц, находящихся в предельном равновесии, пропорционален влекущей силе, а коэффициент пропорциональности - постоянная числовая величина, т.е. моменту сдвига частицы независимо от ее диаметра и удельного веса, соответствует постоянное число φ_{10} . При значении φ_1 , большем предельного имеет место движение частиц, при меньшем - покой.

С увеличением глубины или уклона, или одновременно обоих этих элементов потока (влекущей силы), установившееся в момент сдвига частиц данной крупности равно-

зесие сил влечения и трения нарушится, и эти частицы придут в движение. В этом соотношении установится новое равновесие сил, при котором избыток влекущей силы будет способствовать перемещению пришедших в движение частиц. При дальнейшем увеличении числа φ_i все большее количество частиц данного диаметра будет приходить в движение, причем количество движущихся частиц увеличивается не только абсолютно, но и на единицу расхода волю. В то же время будут приходить в движение крупные частицы, а в предельном равновесии окажутся еще более крупные.

По данным наших опытов $\varphi_{10} = 0,04$. По Б.А.Фидману (для плоского потока) $\varphi_{10} = 0,04$. По В.Н.Гончарову (для плоского потока) $\varphi_{10} = 0,36$. По данным опытов Я.В.Бодрякина — также в пределах только что упомянутых значений.

Следовательно, безразмерное выражение (22) является не только критерием моделирования подвижности наносов (устойчивости аллювиального ложа), но и константой, т.е. в любом естественном потоке частицы наноса диаметром d и удельным весом σ придут в движение, когда отношение (22) достигнет числовой величины 0.04. Итак.

$$\frac{\sigma R i}{d(\sigma_s - \sigma)} = \varphi_{10} = 0,04 = const = idem. \quad (24)$$

2. Придонная скорость

Важным гидравлическим элементом в связях, отражающих закономерности руслоформирования, является придонная скорость. Ее выражение пропорционально сдвигающему напряжению или выражению так называемой динамической скорости

$$V_d^2 = K_\alpha g R i.$$

а в безразмерном виде τ_2

$$\frac{V_d^2}{g R i} = K_\alpha. \quad (25)$$

K_α , как и K_σ в безразмерном выражении (12), является независимой числовой константой, т.е. в любом есте-

ственном русловом потоке, в том числе и на русловой размываемой модели, величина безразмерного выражения (25) остается неизменной

$$\frac{V_{\partial}^2}{gRl} = const,$$

т.е. безразмерный комплекс (25) представляет одну из закономерностей руслоформирования.

Числовая величина K_q равна 50. Выражение (25) приобретает, таким образом, расчетное значение в виде

$$\frac{V_{\partial}^2}{gRl} = 50, \text{ или } V_{\partial} = \sqrt{50gRl} \quad (26)$$

3. Предельная величина отношения $\frac{B}{D}$ в естественных русловых потоках

Сам факт существования естественных русловых потоков предполагает наличие закономерностей, в силу которых устанавливаются определенные связи между гидравлическими элементами, характеризующие быт реки. Характеристикой формы поперечного сечения потока служит отношение ширины к глубине $\frac{B}{D}$.

Представив выражения (13) и (26) в виде безразмерного отношения квадратов скоростей, находим

$$\frac{V_{ср}^2}{V_{\partial}^2} = \frac{K_q g B l}{K_q g R l} = \frac{4B}{50R} = \frac{B}{12,5R} \quad (27)$$

Но, как известно, скорости в зависимости от режима потока или уменьшаются от поверхности ко дну, или остаются одинаковой величины на всей глубине. Отношение средней скорости к донной можно написать в виде

$$\frac{V_{ср}}{V_{\partial}} \geq 1$$

Тогда (27) примет вид

$$\frac{V_{cp}^2}{V_0^2} = \frac{B}{12,5R} \geq 1,$$

или

$$\frac{B}{R} \geq 12,5.$$

В пределе будем иметь

$$\frac{B}{12,5R} = 1, \quad \text{или} \quad \frac{B}{R} = 12,5 \quad (28)$$

Следовательно, равенство (28) представляет предельную величину отношения ширины к глубине в естественных русловых потоках.

Кратко остановимся на известной формуле Шези

$$V_{cp} = c \sqrt{Ri},$$

которая обычно применяется для расчета средней скорости движения потока в инженерных каналах или лотках с заранее заданным поперечным профилем, шероховатостью и уклоном. Эта формула на вид эмпирическая, потому что в коэффициенте c скрыта размерность.

Коэффициент c , как известно, выражают эмпирическим равенством $c = \frac{R^{\frac{2}{3}} y}{n}$, где n — коэффициент Маннинга, y — коэффициент Н.Н.Павловского. Величина того и другого задается в зависимости от качеств поверхности ложа, определить которые для условий естественных русел почти невозможно.

Сравнивая формулы (14) и Шези, получаем

$$\frac{2\sqrt{gBi}}{c\sqrt{Ri}} = \frac{2}{c}\sqrt{\frac{gB}{R}} = 1, \quad \text{или} \quad c = 2\sqrt{\frac{gB}{R}}. \quad (29)$$

Формула (29) показывает, что коэффициент c для естественных русел раскрывается, т.е. отпадает. Поэтому формулу Шези для определения средней скорости в естественных потоках нужно считать устаревшей.

4. Предельные значения скоростей

Представив равенство (24) в виде

$$\frac{258 \rho_s \rho_i}{d(\rho_n - \rho_s)} = \frac{258 \rho_i}{\rho d(\sigma - 1)} = 1,$$

где ρ_n и ρ_s — плотности частицы наноса и воды,

$\sigma = \frac{\rho_n}{\rho_s}$ — удельный вес частицы, и умножив числитель и знаменатель на 2, видим, что отношение коэффициента подвижности к своему предельному значению, соответствующему моменту сдвига частицы, есть то же, что и отношение квадратов придонной скорости к своему предельному значению

$$\frac{258 \rho_i}{d(\rho_n - \rho_s)} = \frac{25 \cdot 258 \rho_i}{2 \rho d(\sigma - 1)} = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{V_d^2}{V_{d0}^2} = 1, \quad (30)$$

или

$$\frac{V_d^2}{2 \rho d(\sigma - 1)} = \text{const} = 1. \quad (31)$$

Вообще же величина равенства (30) может быть больше или меньше единицы; при числовой величине большей единицы частицы данного диаметра находятся в движении, при меньшей — в покое.

Таким образом, формула (31) показывает, что число Фруда, в котором числитель — квадрат донной скорости, а линейный размер — диаметр частицы наноса в момент сдвига частицы, есть число постоянное, равное 2, т.е. удельная кинетическая энергия в придонном слое потока в момент сдвига частицы равна произведению диаметра этой частицы на ее удельный вес без единицы.

Правильность этого вывода подтверждается данными опытов Я.В.Бодряшкина, проведенными им в лаборатории ТИИМСХ специально для изучения подвижности наносов. В лотке 14 см шириной дно выкладывалось песком определенной крупности (фракция между двумя ситами), подбирался расход воды, уклон, глубина, фиксировался момент сдвига частиц (табл.2, рис.2).

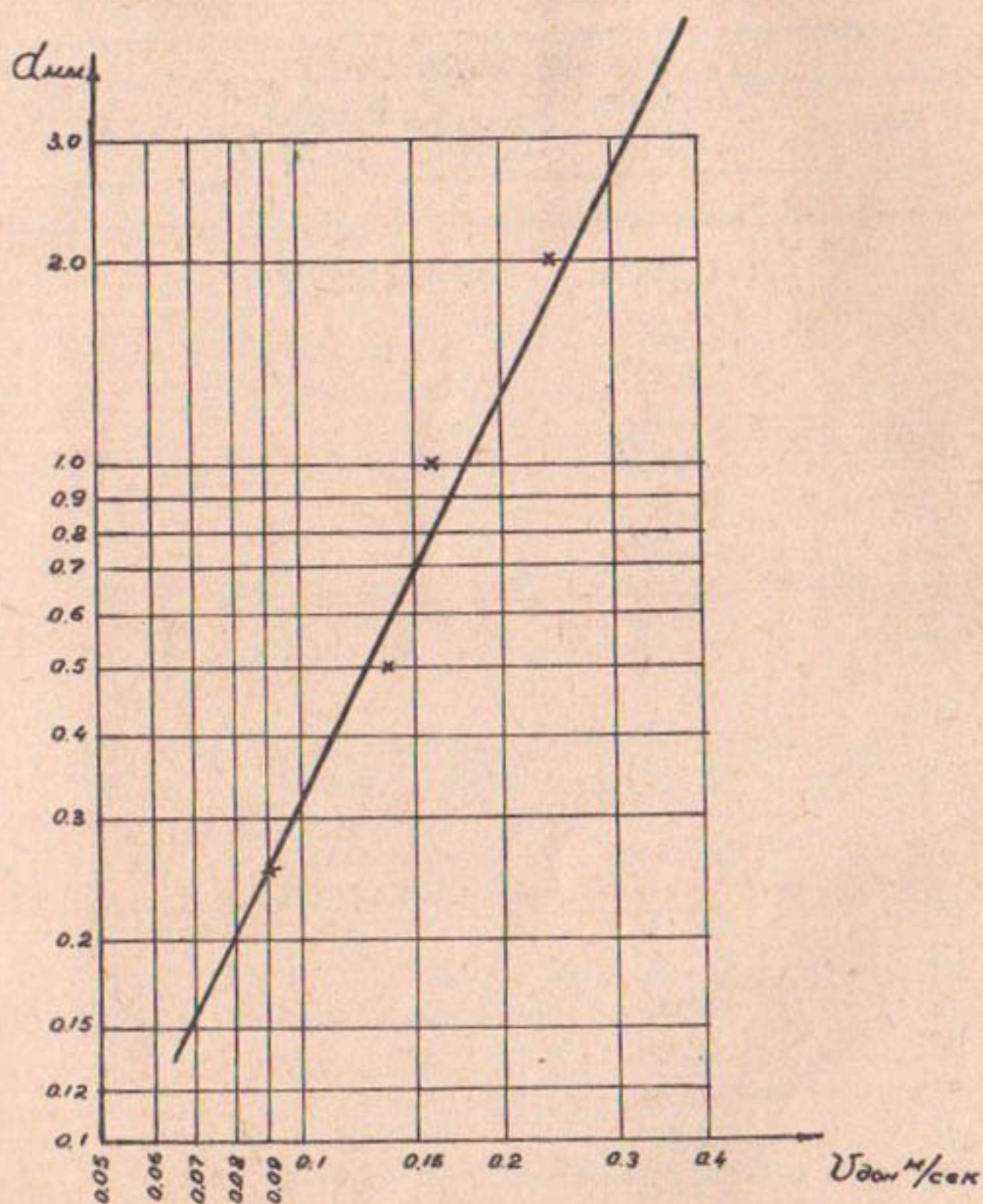


Рис.2.Кривая зависимости предельной придонной скорости от диаметра наносов.

Таблица 2

	Скорость донная, м/сек				
Опыт	замерения	по формулам			$\frac{5\sqrt{2gRi}}{\sqrt{2gd(6-1)}}$
	V	$\sqrt{2gd(6-1)}$	:	$5\sqrt{2gRi}$	
I	2	3	4	5	

$d = 0,25$ мм, $\rho i = 0,0000178$

I	0,07			
3	0,07			
5	0,09			
7	0,09			
9	0,10			
II	0,09			
13	0,09			
16	0,10			
18	0,10			
19	0,09			
Среднее	0,089	0,090	0,093	1,03

$d = 0,50$ мм $\rho i = 0,0000317$

20	0,11			
24	0,13			
31	0,13			
38	0,15			
44	0,14			
47	0,15			
48	0,14			
Среднее	0,135	0,128	0,125	0,98

$d = 1,0$ мм, $\rho i = 0,0000613$

58	0,16			
67	0,15			
68	0,16			
Среднее	0,157	0,180	0,173	0,97

Продолжение таблицы 2

I	:	2	:	3	:	4	:	5
		$d = 2,0 \text{ мм,}$		$\rho i = 0,0001115$				
74		0,24						
75		0,22						
76		0,23						
80		0,25						
83		0,24						
95		0,26						
Среднее		0,24		0,234		0,234		0,94

Итак, выражение предельной придонной скорости

$$V_o = \sqrt{2gd(\sigma-1)} \quad \text{м/сек.} \quad (32)$$

Столь же важное значение в руслоформирующих связях имеет понятие предельной средней скорости V_o . Выражение для этой скорости

$$V_o = 0,2c\sqrt{d(\sigma-1)}. \quad (33)$$

Если заменить коэффициент Шези C его выражением (29), формула (33) напишется в виде

$$V_o = 0,4\sqrt{g\frac{B}{R}d(\sigma-1)}. \quad (34)$$

5. Формула для учета транспорта наносов

Полученная нами расчетная формула по определению количества транспортируемых речным потоком наносов

$$g_t = \frac{1}{4} \left(\frac{25\rho i}{d(\sigma-1)} - 1 \right) \text{ кг/м}^3 \quad (35)$$

представляет аналитическое выражение кривой $g_t = f(\varphi_i)$, для построения которой использованы данные большого коли-

чества замеров на реках и размываемых моделях (рис.3). Здесь в скобках – критерий подвижности (24). Были использованы также аналогичные кривые по данным опытов с заменителями песка – паровозной изгарью крупностью до 3 мм и удельным весом 1,8; и древесных опилок средней крупностью $d_{cp} = 1,15$ и удельным весом 1,1.

Работы по дальнейшему совершенствованию методики моделирования русловых процессов показали, что на искаженных русловых моделях участков больших рек с песчаным руслом, таких как Амударья, в среднем и нижнем течении – имеющих большое масштабное уменьшение и искажение (речь идет о рассчитанном искажении, а не произвольном), поток не принимает той нагрузки наносами, которую несет поток реки на моделируемом участке. Удельное количество наносов в $кг/м^3$ на таких моделях меньше натурального во столько раз, во сколько искажены линейные размеры, т.е. во сколько раз уменьшаются отношения $\frac{\rho}{d}$ и $\frac{B}{\rho}$ и увеличивается уклон i' по сравнению с натурой.

Сравнивая участки нижнего течения двух рек с песчаными отложениями – Амударья и Сырдарья, замечаем, что при почти одинаковых крупности песка и уклоне потока, при сопоставимых руслоформирующих расходах Амударья транспортирует удельное количество наносов в два-три раза больше, чем Сырдарья, а величина коэффициента подвижности φ_i на Сырдарье больше, чем на Амударье.

В чем же причина? Оказывается, величина отношений равенства (27) на Сырдарье значительно меньше, чем на Амударье, что очень важно для транспорта наносов, характеризующих распределение скоростей по глубине, следовательно, взвешивающую способность потока. Учитывая это, мы ввели в формулу безразмерное отношение, представляющее коэффициент взвешивания

$$g_t = \kappa \frac{V_{gcp}^2}{V_{\partial}^2} \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_{10}} - 1 \right) \text{ кг/м}^3, \quad (36)$$

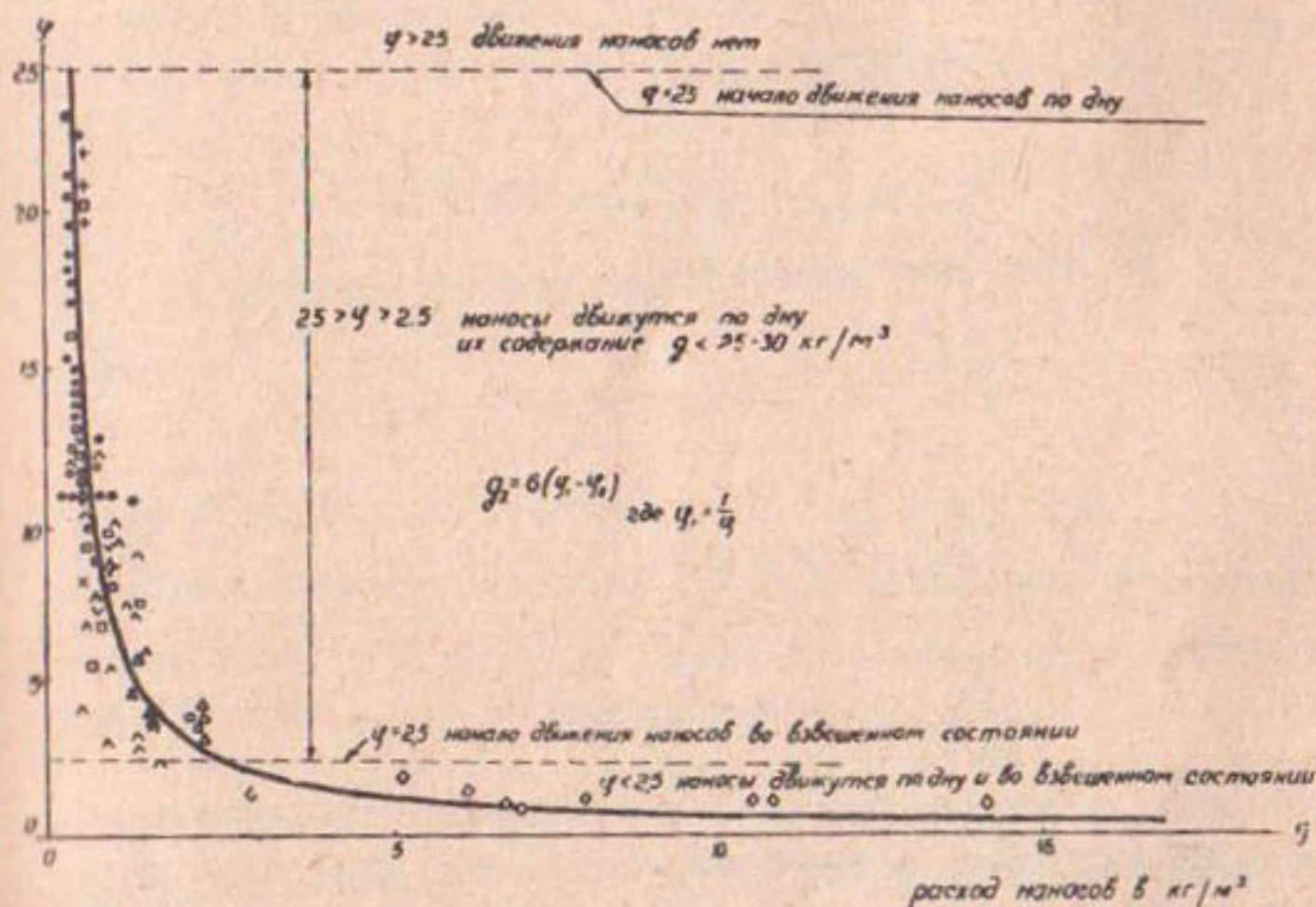


Рис.3. Кривая $q = f(\psi)$:

- - Ангрен, 1953г; ● - Карадарья, 1938-1948гг; + - Карадарья, 1949г;
- ◐ - Сох, 1949г; ◑ - Карадарья, 1936г; (лабораторные исследования САНИИРИ 1935г); ∇ - Шарихансай; ∧ - шлак, 1947г.; Δ - опилки, 1940
- × - зола рисовой шелухи; (лабораторные исследования САНИИРИ 1952г); ◇ - зола рисовой шелухи; (лабораторные исследования САНИИРИ 1952г.); *
- песок типа Дарбаза; (лабораторные исследования САНИИРИ 1953г.).

и в расчетном виде

$$g_t = 0,0005 \frac{V_{cp}^2}{g R_i} \left(\frac{25 R_i}{\alpha (6-1)} - 1 \right) \text{ кг/м}^3. \quad (37)$$

или

$$g_t = 0,02 \frac{B}{R} (\psi_i - 0,04).$$

6. Расчет русловых моделей

Безразмерные выражения

$$\frac{V_{cp}^2}{g R_i} = const = 4, \quad (38)$$

$$\frac{V_{\sigma}^2}{g R_i} = const = 50, \quad (39)$$

$$\frac{V_{\sigma}^2}{g \alpha (6-1)} = const = 2 \quad (40)$$

являются основными связями, выражающими закономерности руслоформирования и имеющими законченный расчетный вид. Они применимы для расчета любого естественного руслового потока, в том числе и лабораторного – размываемой русловой модели, и служат основными критериями моделирования. Эти три вида числа Фруда содержат все три линейных размера потока и его ложа – ширину, глубину и крупность наносов.

Отношение первого из них ко второму представляет коэффициент взвешивания, предельную величину относительной ширины и предельное искажение масштабов модели. Отношения второго к третьему – предельную величину коэффициента подвижности.

При неискаженном моделировании масштабные множители всех трех линейных размеров равны между собой

$$\alpha_g = \alpha_h = \alpha_d, \quad (41)$$

поэтому достаточно задаться одним из них. Однако это не всегда возможно. Невозможно уменьшить, например, ширину р. Амударьи до лабораторных размеров и в том же масштабе крупность мелкого песка, составляющего ложе этой реки. В этом случае применяется искажение масштабов линейных размеров.

Но искажение это произвольное. Оно рассчитывается на основании закономерностей руслоформирования. Одна из закономерностей такова

$$\frac{B}{R} = A \frac{R}{d(\sigma-1)} = N \frac{1}{i}. \quad (42)$$

Здесь безразмерные отношения — ширина к глубине $\frac{B}{R}$, глубина к диаметру наносов $\frac{R}{d}$ и обратная величина гидравлического уклона $\frac{1}{i}$ пропорциональны между собой, и имеют один и тот же масштабный множитель.

На неискаженной размываемой русловой модели числовые величины этих отношений равны натурной, т.е. их масштабные множители равны единице. На искаженной модели отношения равенства (42) меньше натуральных, т.е. их масштабные уменьшения больше единицы и равны между собой

$$\alpha \frac{B}{R} = \alpha \frac{R}{d(\sigma-1)} = \alpha \frac{1}{i} > 1 \quad \text{или} \quad \frac{\alpha B}{\alpha R} = \frac{\alpha R}{\alpha d(\sigma-1)} = \frac{\alpha R}{\alpha h} > 1. \quad (43)$$

Рассматриваемые отношения, представленные в виде безразмерных комплексов

$$\frac{B d (\sigma-1)}{R^2} = A; \quad \frac{B i}{R} = N \quad \text{и} \quad \frac{R i}{d (\sigma-1)} = \frac{N}{A} = \varphi,$$

являются основными критериями моделирования естественных русловых потоков

$$\frac{B d (\sigma-1)}{R^2} = idem, \quad (44)$$

$$\frac{B i}{R} = idem, \quad (45)$$

$$\frac{Ri}{d(\sigma-1)} = idem, \quad (46)$$

а их масштабные множители равны единице

$$\frac{\alpha_\beta \cdot \alpha_\alpha \cdot \alpha_{(\sigma-1)}}{\alpha_\rho^2} = 1, \quad (47)$$

$$\frac{\alpha_\beta \cdot \alpha_i}{\alpha_\rho} = 1, \quad (48)$$

$$\frac{\alpha_\rho \cdot \alpha_i}{\alpha_\alpha \cdot \alpha_{(\sigma-1)}} = 1. \quad (49)$$

Первый из этих критериев представляет связь основных линейных размеров руслового потока и принимается за основу расчета соотношения между масштабными уменьшениями линейных размеров, величина которых при искаженном моделировании различна. Так как необходимость искажения вызывается невозможностью уменьшать плановые размеры и крупность наносов в одном масштабе, то задаются обычно величинами масштабов двух упомянутых размеров, а третий — масштаб глубин — определяют

$$\alpha_h = \sqrt{\alpha_\beta \alpha_\alpha \alpha_{(\sigma-1)}} \quad (50)$$

(масштабный множитель удельного веса $\alpha_{(\sigma-1)}$ больше единицы только в случае применения вместо песка заменителей с меньшим удельным весом).

7. Пределы искажения

Равенство (42) требует, чтобы расчетная величина отношения ширины к глубине не была меньше предельного. Следовательно, предельная величина искажения должна быть

$$n_{\text{пред}} \leq \frac{B}{12,5 R}. \quad (51)$$

В случае игнорирования этой закономерности русло модели сформируется не по расчету, а следовательно пере-

счет количественных данных опытов в натуре по принятым масштабным множителям будет неверным.

Пример. Требуется рассчитать модель участков р. Амударьи в нижнем течении.

Из равенства (51) получаем предел искажения

$$n = \alpha \frac{B}{R} = \frac{300}{12,5} = 24.$$

По формуле при $\alpha_d = 1$ (натурный песок) в заданном масштабе $\alpha_g = 500$, получим

$$\alpha_p = \sqrt{\alpha_g \alpha_d \alpha_{(g-1)}} = 22,4; \quad n = \frac{\alpha_g}{\alpha_p} = 22,4 < 24.$$

В масштабе $\alpha_g = 2000$ — $\alpha_p = 45$, $n = 45 > 24$.
В данном случае, чтобы искажение не превышало предельной величины, необходимо определить масштаб диаметра наносов из равенства

$$\alpha_d = \frac{\alpha_g}{n_{\text{пред}}^2} = \frac{2000}{24^2} = 3,5.$$

Соотношение между линейными масштабами можно выразить также в виде равенства

$$\alpha_g = n \alpha_h = n^2 \alpha_d, \quad (52)$$

где

$$n = \frac{\alpha_g}{\alpha_h} = \sqrt{\frac{\alpha_g}{\alpha_d}} \geq 1 \quad - \text{величина искажения.}$$

Масштабы гидравлических элементов и времени выражаются через масштабы линейных размеров:

диаметра наносов — $\alpha_d = \frac{\alpha_p^2}{\alpha_g}$;

донной скорости — $\alpha_{v_0} = \frac{\alpha_p}{\sqrt{\alpha_g}}$;

средней скорости — $\alpha_{v_{cp}} = \sqrt{\alpha_p}$;

площади поперечного сечения — $\alpha_{\omega} = \alpha_g \alpha_p$;

расхода воды — $\alpha_Q = \alpha_{\omega} \alpha_{v_{cp}} = \alpha_g \alpha_p^{3/2}$;

времени движения потока $- \alpha_t = \frac{\alpha_b}{\sqrt{\alpha_p}};$

уклона $- \frac{\alpha_p}{\alpha_b};$

отношения скоростей $- \frac{\alpha_{vce}}{\alpha_{vs}} = \sqrt{\frac{\alpha_p}{\alpha_b}} = \alpha_c;$

числа $- R_c \alpha_{Re} = \alpha_R^{\frac{3}{2}};$

насыщенности потока $- \alpha_{gt} = \frac{\alpha_b}{\alpha_p}.$

А.М.МУХАМЕДОВ, Р.Р.АБДУРАУПОВ, В.Е.ТУЗОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ
У РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ АМУ-БУХАРСКОГО КАНАЛА
2-ой ОЧЕРЕДИ

В настоящее время водозабор в Аму-Бухарский машинный канал осуществляется через реконструированное головное сооружение Аму-Каракульского канала, которое расположено в 12 км выше Чарджоуского железнодорожного моста и отнесено от точки водозабора на 2,8 км. Подводящее русло головного сооружения проходит непосредственно вдоль подножия возвышенности Юмаланды.

При отходе русла реки от правого берега забор воды производится в 6 км выше головного сооружения через прорезь, постоянно очищаемую от речных наносов земснарядами. Смещение русла реки влево до 1,5 км от существующего входа в прорезь осложняет водозабор в Аму-Бухарский канал, особенно в зимний и весенний периоды. Амударья на этом участке сильно деформируется и разделяется на рукава, в которых в течение короткого времени может происходить существенное изменение расходов воды. Например, при замерах 22/УШ-62 г. у правого берега проходило 60% общего расхода, а при замерах 13/Х-1962 г. — только 36%.

Согласно проработок "Узгипрводхоза" водозабор для второй очереди Аму-Бухарского канала для большей части года составляет 11-45% от расхода воды в рукаве. В вегетационный период процент водозабора снижается до 5-7%, поскольку река в это время как правило протекает одним руслом. Следовательно, при бесплотинном водозаборе более 20% затруднений приходится на невегетационный период. В данных условиях необходим плотинный или шпорный водозабор. Целесообразным оказалось устройство нового головного сооружения (несколько выше входа в существующую прорезь) со струенаправляющей дамбой в русле из свай-оболочек, обеспечивающей постоянное протекание потока одним руслом у водозабора (рис.1).

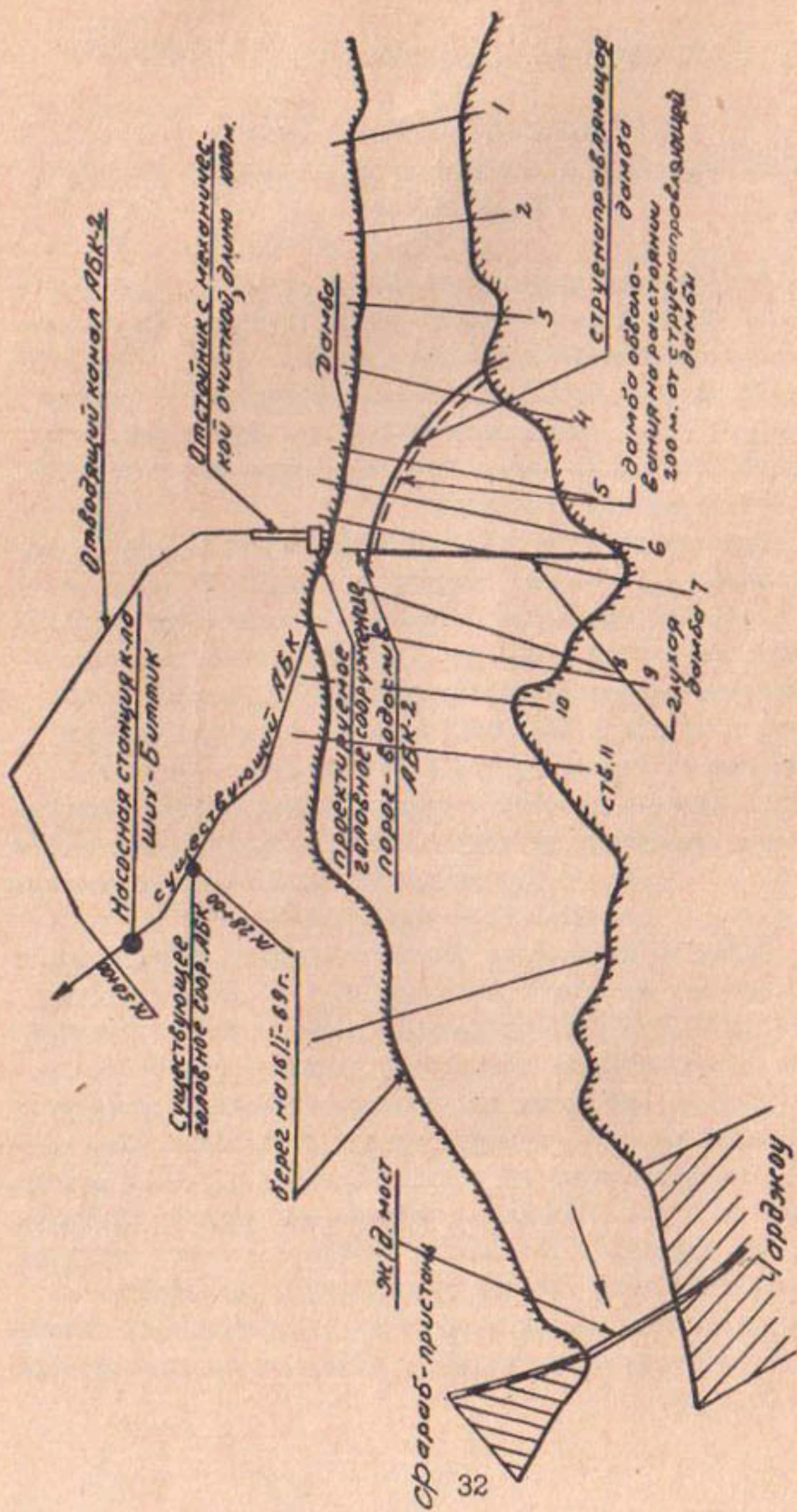


Рис. 1. План реки и регулировочных сооружений АБК-2

В условиях Амударьи проработка регулировочных и выправительных сооружений расчетным путем и прогнозирование русловых процессов без специальных исследований — задача сложная и почти неразрешимая. Поэтому были выполнены модельные исследования сооружений и прилегающего участка русла реки.

Главное сооружение нового водозабора предполагается установить в 4,8 км выше входа в подводящее русло существующего водозабора и в 0,7 км выше входа в прорезь, через которую в настоящее время производится забор воды в канал.

В состав проектируемого головного водозабора АБК-2 входят следующие сооружения:

а) головной регулятор, обеспечивающий 100%-ный забор воды при бытовых горизонтах в реке, соответствующих 99% обеспеченности;

б) судоходный шлюз для пропуска земснарядов из реки в отстойник канала и обратно в реку;

в) подводящий канал к главному регулятору;

г) отстойник с механической очисткой и сбросом пульпы в реку ниже подводящего канала;

д) головной участок магистрального канала от отстойника до существующего АБК;

е) поверхностная система из направляющих щитов Потапова для защиты водозабора от наносов;

ж) струенаправляющая дамба криволинейного очертания в плане, направляющая поток реки к правому берегу (к месту водозабора). Она ликвидирует блуждание потока реки и исключает необходимость устройства прорези;

з) водосливной порог длиной около 700 м, располагаемый поперек зарегулированного дамбой русла и несколько ниже входа в подводящий канал головного регулятора, гребень которого в левой части на протяжении 500 м устанавливается на отметке меженного горизонта реки, а правая часть на 2–2,5 м ниже, что позволит удерживать поток у входа в регулятор, и создать благоприятные условия для водозабора в межень.

Исследования на русловой модели ставились с целью:

1) установления правильного очертания в плане и возможно наименьшей длины левобережной и правобережной сквозных струенаправляющих дамб и определения наибольшей глубины размыва вдоль них;

2) установления длины и отметок водосливного порога, характера протекания потока через водослив, характера протекания потока через водослив, характера распределения погонных расходов и глубины размыва вдоль порога;

3) определения максимально возможного забора воды из реки в канал через головной регулятор при разных расходах в реке;

4) установления наиболее экономичной конструкции струенаправляющих дамб из следующих вариантов: из свай оболочек, расположенных в один и два ряда (в шахматном порядке) без и с креплением у них основания, без и с заилителями между сваями — оболочками.

Для решения поставленных вопросов в 1968 и 1969 гг. кроме методических экспериментов в районе головного сооружения АБК-2 были выполнены модельные исследования русла р. Амударья как в бытовых условиях, так и при струенаправляющей дамбе водосливного порога с различными величинами расходов воды. Для определения наибольшей глубины размыва дна рассмотрены обычные и наихудшие (лобовые) схемы подхода потока к сооружениям. Струенаправляющая дамба моделировалась: сквозного (с однорядным и двухрядным расположением свай-оболочек в шахматном порядке) и глухого типов, с радиусами кривизны в плане $R = 4000$ м и $R = 2500$ м. Конструкция водосливного порога также моделировалась в сквозном и глухом вариантах. Сквозной тип порога имел только ступенчатый профиль, а глухой — ступенчатый и переменный. В обеих конструкциях порога было по одной ступени с разностью отметок в 2,5 м. Верхняя ступень имела длину 500 м, а нижняя — 200 м. В глухой конструкции длина порога-водослива переменного профиля — 700 м.

Методика моделирования. Степень правильности намеченных мероприятий и их воздействие на поток определяется,

главным образом, сходством русловых процессов в бытовых условиях и на модели. Поэтому, прежде чем переходить на решение основных вопросов, необходимо уточнить методику моделирования. Изучая русловые процессы в лаборатории, можно получить не только качественное но и количественное сходство натуры и модели, что определяется подобием гидравлики потока и формы русла при соблюдении условия подвижности наносов. Моделирование русловых процессов и гидравлической структуры потока в равнинных реках с соблюдением геометрического подобия не всегда давало вполне удовлетворительные результаты, хорошо совпадающие с натурой. Для обеспечения подобия происходящих явлений модели с натурой исследователи моделировали глубину в более крупном масштабе по сравнению с шириной, т.е. искажали масштаб модели.

Допустимость искажения масштабов можно объяснить тем, что отношение глубины потока к его ширине H/B в условиях р.Амударья для больших расходов воды значительно меньше, чем для малых. Следовательно, маленький поток создает относительно большие глубины (H/B), как бы искажая свой вертикальный масштаб. Это означает, что морфометрическая связь в виде $\frac{\sqrt{B}}{H}$ не может оставаться постоянной. Она может меняться, как это подтверждается трудами Н.А.Ржаницина и К.И.Россинского /1/. На русловых моделях САНИИРИ в качестве наносов применяются: натуральный песок, паровозная изгарь, кальцинированные опилки и др.

Амударьинский песок по геометрическому масштабу моделировать нельзя, так как модельные наносы получаются слишком мелкими (порошок) и теряют свойство сыпучих тел. В таких случаях в качестве заменителя песка используется материал с уменьшением удельного веса без уменьшения диаметра. Поскольку диаметр наносов не может быть уменьшен, то фактически масштаб модели остается искаженным. Следовательно, когда дно и берега реки сложены из песка, не поддающегося геометрическому моделированию, независимо от изменения удельного веса натурального материала, для обеспечения подвижности песка на модели необходимо искажать вертикальный масштаб.

Искажение масштабов необходимо еще и потому, что при использовании в лабораторных условиях того же песка, которым сложено ложе реки, при любой глубине с малой скоростью на модели наблюдаются донные рифели (гряды), наличие которых приводит к увеличению сопротивления движению потока по сравнению с натурой. Так, по исследованиям В.Н.Гончарова и Г.И.Шамова, характер движения и форма рифелей (гряд) зависит от относительной критической скорости u/u_0 и мутности. При $u/u_0 = 2$, происходит влечение по дну, при $u/u_0 = 3$ гряда разрушается и дно сглаживается, а при $u/u_0 \geq 5$ гряда исчезает и наносы движутся одновременно у дна и в толще потока, т.е. часть наносов переходит во взвесь. На модели увеличить отношение u/u_0 до значительных величин (как в натуре) невозможно. Но изменяя подачу расхода наносов, можно установить глубину и скорости потока на модели, отвечающие принятому числу Фруда по натуральным данным, даже при условии $(\frac{u}{u_0})_{мод.} < (\frac{u}{u_0})_{нат.}$. Моделирование по числу Фруда и по сопротивлению должно обеспечить подвижность материала модели, т.е. должно быть соблюдено условие $\frac{u}{u_0} > 1$ (рекомендация Леви и Россинского). Сущность вышеизложенного требует, чтобы значение безразмерного показателя кинетичности $F_r = \frac{u^2}{gh}$ при обязательном соблюдении подобия формы русла было одинаковым для модели и природы. Отсюда можно получить масштаб расхода воды

$\alpha_q = \alpha_b \cdot \alpha_h^{1.5}$. Получают его также из условия подобия сопротивляемости дна русла по уравнению равномерного установившегося режима движения потока, т.е. из

$$Q = bH \frac{1}{n} H^{\frac{2}{3}} \sqrt{HJ}, \quad \text{откуда получим: } \alpha_q = \alpha_b \cdot \alpha_h^{1.5+y} \alpha_i^{0.5}$$

Из равенства масштаба расходов по числу Фруда и уравнению равномерного движения получим $\alpha_b \alpha_h^{1.5} = \frac{\alpha_b \alpha_h^{1.5+y} \alpha_i^{0.5}}{\alpha_n}$ отсюда: $\alpha_n = \alpha_b \alpha_h^y \alpha_i^{0.5}$.

Как видно, последнее равенство имеет два неизвестных при заданной величине α_g . Поэтому непосредственное использование значения масштабов глубины и уклонов для определения масштаба коэффициента шероховатости невозможно без предварительных методических исследований. Шероховатость обычно определяется диаметром частиц и формой движения песчаных наносов. Так как в модельном русле могут наблюдаться донные рифели (гряды), то вполне естественно, что масштаб глубины будет искажен. В САНИИРИ сложилась некоторая методика моделирования для условий реки Амударья.

Одним из наиболее распространенных методов приближенного моделирования размываемых русел является метод, выработанный С.Т.Алтуниным и И.Я.Орловым. Он основан на использовании морфометрической зависимости $\theta^m = kH$, из которой было получено соотношение горизонтального и вертикального масштабов модели $\alpha_h = \alpha_g^m$

где m — переменный показатель степени, определяемой по зависимости $m = 0,72 \left[\frac{\alpha(5-1)}{HJ} \right]^{0,1}$

Для условий Амударьи показатель степени " m " принимаем равным 0,65

α_g и α_h — соответственно плановый и вертикальный масштабы модели.

При численном значении $\alpha_g = 500$, который принят из условия размеров модельной площадки, вертикальный масштаб будет равен 57, $\alpha_h = \alpha_g^{0,65} = 500^{0,65} = 57$

И.Я.Орлов предлагает определять вертикальный масштаб из условия подвижности применяемого на модели материала по формуле $\alpha_h = \sqrt{\alpha_g \alpha_d \alpha(5-1)}$.

В качестве донных наносов был использован сырдарьинский песок со средним диаметром $d = 0,34$ мм. При удельном весе $2,7 \text{ т/м}^3$ коэффициент подвижности наносов, по Орлову И.Я., получится

$$\alpha_{(5-1)} = \frac{(5-1)_H}{(5-1)_h} = \frac{2,7-1}{2,7-1} = 1.$$

Средний диаметр наносов Амударьи в районе водозабора Аму-Бухарского канала, по данным проб буровых скважин, принят 0,3 мм. Тогда коэффициент крупности наносов равен

$$\alpha_d = \frac{\alpha_n}{\alpha_n} = \frac{0,3}{0,34} = 0,882$$

Вертикальный масштаб с учетом подвижности материала, принимаемого на модели для планового масштаба $\alpha_g = 500$, будет

$$\alpha_g = \sqrt{500 \cdot 1 \cdot 0,882} = 21.$$

Как видно, масштабный множитель глубины, полученный из условия подобия числа Фруда и коэффициента сопротивления, а также подвижности наносов и морфометрической связи, получается различный. Значение вертикального масштаба с учетом подвижности, по Орлову И.Я. и Алтунину С.Т., дает значительно больший расход воды на модели, что затрудняет проведение опытов, и, с другой стороны, неизвестно как будет изменяться число Фруда и коэффициент сопротивления. Вертикальный масштаб связан с расходом наносов, подаваемых в поток на модели. Таким образом, уточнение значения вертикального масштаба (при заданной величине масштаба длины) в данном случае заключалось в определении расхода наносов, обеспечивающего подобие числа Фруда в определенных значениях коэффициента сопротивления на модели. Для примера рассмотрим изменение расхода воды при различных значениях масштаба глубины, для чего составим график $\alpha_n = f(q)$, исходя из масштаба расхода воды при постоянном масштабе ширины $\alpha_b = 500$. Задаваясь масштабами глубины 50, 45, 40, 35, 30, составим график $\alpha_n = f(Q)$. Из графика $\alpha_g = f(q)$ при $F_g = const$, и $H = const$, $Q = const$. Для р. Амударья расход воды на модели может изменяться в зависимости от вертикального масштаба в больших пределах. Однако изменение скорости, глубины потока и числа Фруда будет неизвестно. Поэтому в каждом случае необходимо провести методические опыты, учитывая наличие материала, размеры лабораторной площади и производительность насосной установки.

Для нахождения оптимального соотношения масштабов мы провели опыты, практический смысл которых сводился к

отысканию таких скоростей и глубин потока, при которых соблюдались подвижность наносов, равенство числа Фруда, а также сходство формы русла в профиле и в плане.

В методических опытах значения ширины русла на модели принимались в соответствии с расходами в натуре по графику $Q = f(B)$, но уменьшенные по масштабу ширины в 500 раз. Приняв ширину русла для данного расхода воды на модели постоянной, в поток подавали различные расходы наносов.

В каждом опыте после получения баланса наносов и установления горизонтов в намеченных двух створах измерялись средняя глубина, скорость, площадь поперечных сечений русла. По гидравлическим элементам потока модели мы определяли число Фруда. По данным гидравлических элементов потока составили графики $q = f(F_2, \rho)$, (рис.2),

$\rho = f(F_2, q)$, $q = f(h, \rho)$. Как известно, гидравлические элементы потока в натуре также связаны с расходами воды. Поэтому мы составили графики измерения числа Фруда ширины и глубины потока в зависимости от расхода воды для природы.

Значение числа Фруда принимается из графика

$Q = f(F_2)$ и соответствующие расходам глубина и ширина - на графиков $Q = f(B, h)$. Глубину и ширину потока, а также расход воды мы уменьшили согласно принятым масштабам. Из графиков $q = f(h, \rho)$, $q = f(F_2, \rho)$ и $\rho = f(F_2, h)$, составленных на основании методических опытов по значениям числа Фруда в натуре, находили величину насыщенности потока или же расхода наносов на модели. По полученным таким способом величинам расхода наносов был составлен график твердого расхода от расхода воды на модели. В результате оптимальная величина вертикального масштаба, отвечающего всем требованиям принципа моделирования размываемого русла реки при заданном масштабе ширины $L_B = 500$ н.в. установлена $L_h = 40$.

Поскольку точное воспроизведение деформируемых русел невозможно, то для решения поставленных задач воспользовались методом приближенного моделирования, т.е. по

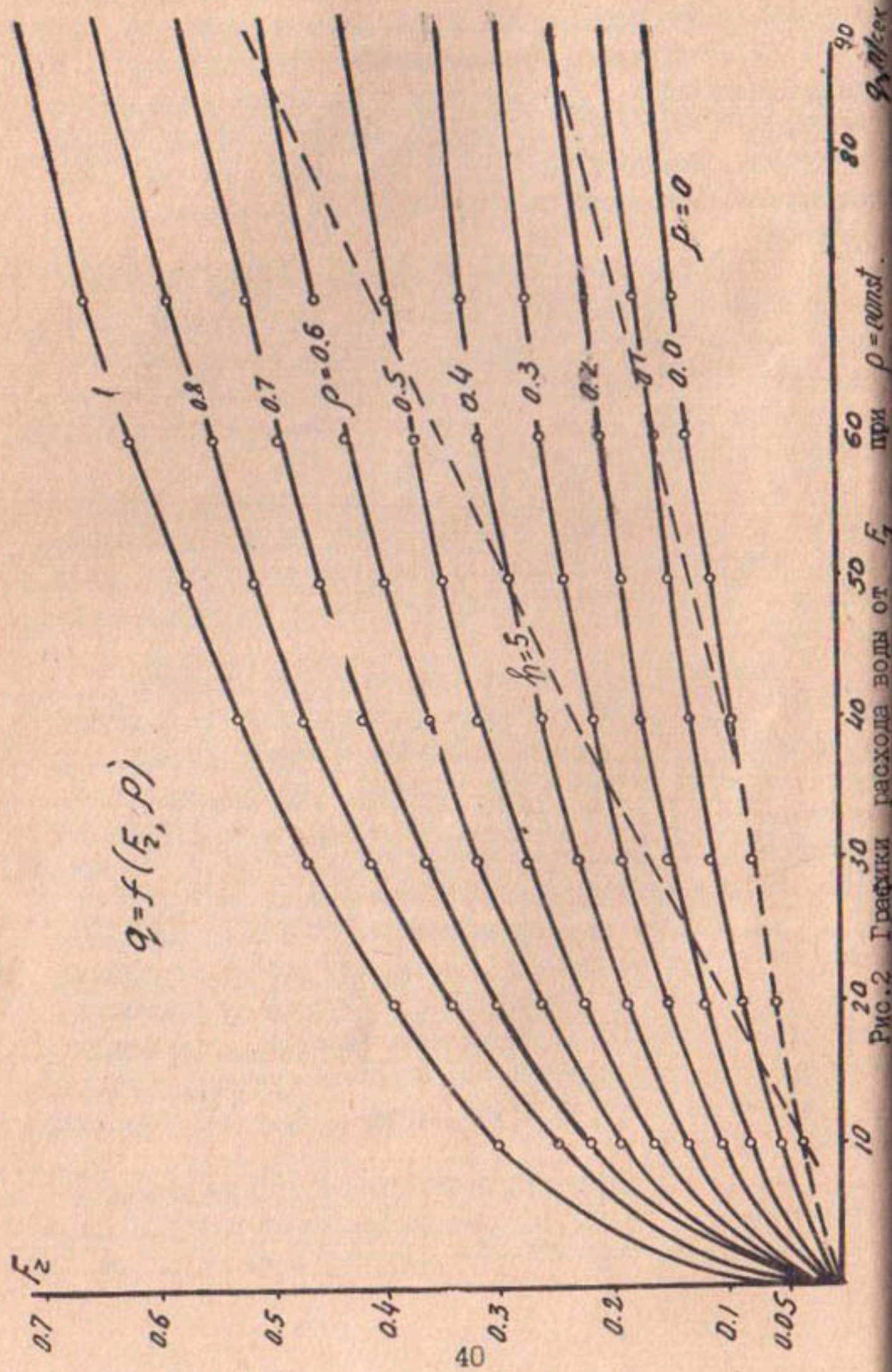


Рис. 2 Графики расхода воды от F_2 при $\rho = \text{const.}$

средним гидравлическим элементам потока.

Для того чтобы на модели получить достоверные данные о русловых процессах, происходящих вдоль дамбы, диаметр свай-оболочек необходимо моделировать таким образом, чтобы режим обтекания потоком свай-оболочек в натуре сохранялся и на модели. Значительное уменьшение сооружения влечет за собой и соответствующее уменьшение скорости потока, вследствие чего на модели у сквозной шпory может возникать ламинарный режим обтекания, вместо турбулентного в натуре. Оптимальный диаметр свай-оболочек струенаправляющей сквозной дамбы на модели определен исходя из условия, при котором поток набегает перпендикулярно и равномерно по всему фронту сквозной дамбы. Тогда коэффициент стеснения можно принять $K_0 = 1$, как максимальное возможное перекрытие потока. Угол установки шпory (дамбы) с учетом криволинейности в плане в среднем принимаем $\theta = 30^\circ$.

При определении скорости в сжатом сечении между сваями среднюю бытовую скорость потока на подходе к шпore принимаем $V_0 = 3,5$ м/сек, исходя из максимального расхода воды — 0,1% обеспеченности. Коэффициент застройки сквозной дамбы принимаем по проекту $\rho = 0,5$.

Величина оптимального диаметра стержня модели сквозной дамбы по рекомендации Р.У.Уркинбаева устанавливается следующим образом: вначале определяется коэффициент местного сопротивления по формуле

$$\xi = \beta \sqrt[3]{\left(\frac{\rho}{1-\rho}\right)^{3/2}} K_0 \sin \theta = 1,79 \sqrt[3]{\left(\frac{0,5}{1-0,5}\right)^{3/2}} \cdot 1 = 1,27$$

где β — коэффициент формы свай, для круглых свай, равный 1,79.

Средняя скорость потока в сжатом сечении между сваями вычисляется по формуле:

$$V_{сж} = V_0 = (1 + 2,2 K_0 \rho^{1/2}) V_0 = 3,5 (1 + 2,2 \cdot 1 \cdot 0,5^{1/2}) = 6,24 \text{ м/сек.}$$

Тогда число Рейнольдса в натуре будет

$$R_{натур.} = \frac{V_{сж} \cdot S}{D} = \frac{6,24 \cdot 1,6}{0,000011} = 9100000.$$

а граничное значение числа Рейнольдса

$$Re_{cr} = \frac{2800}{\sqrt{1,27}} = 248$$

Затем устанавливается масштабный коэффициент расстояния между шпор по формуле:

$$\alpha_s = \left(\frac{Re_{cr}}{Re_{нат}} \right)^{2/3} = \left(\frac{2480}{9100000} \right)^{2/3} = \frac{1}{240},$$

тогда просвет между сваями на модели будет:

$$S_m = \frac{S_n}{240} = \frac{1600}{240} = 6,7 \text{ мм.}$$

Так как коэффициент застройки в натуре принят 0,5, то диаметр свай-оболочек на модели также будет $\alpha_n = 6,7$ мм.

Оптимальный диаметр свай-оболочек сквозного порога водослива, обеспечивающий автомодельность обтекания потоком, установлен также по вышеизложенной методике - $d = 9$ мм при коэффициенте застройки 0,76. Водосливной порог из свай-оболочек длиной около 700 м, проходящий поперек зарегулированного криволинейной в плане сквозной дамбой русла, расположен несколько ниже входа в подводящий канал головного регулятора АБК-2. Порог левой части водослива на протяжении 500 м располагается на отметке меженного горизонта реки, и правая - на 2,5 м ниже левой части, что позволит в межень прижать поток к входу в регулятор и обеспечить забор воды в размере 100% при бытовых горизонтах, соответствующих 99% обеспеченности.

Водосливной порог на модели исследован в трех вариантах:

1. Сквозной из свай-оболочек.
2. Глухой из листового железа (с учетом принятых отметок гребня в проекте (ступенчатый)).
3. Глухой с учетом рельефа в виде ныряющей стенки.

В первой серии опытов изучалось формирование русла с установлением струенаправляющей дамбы из свай-оболочек в два ряда, расположенных в шахматном порядке криволинейного очертания в плане глухого водосливного порога (второй вариант). В этой серии выполнено 8 опытов, в которых

расходы менялись от $525 \text{ м}^3/\text{сек}$ до $11300 \text{ м}^3/\text{сек}$.

По мере увеличения расхода воды размыв дна вдоль струенаправляющей сквозной дамбы перед и за водосливным порогом увеличивался. В верхнем участке струенаправляющей дамбы, где уровни воды перед шпорой достаточно высоки, наблюдалось проникновение расхода через дамбу, а в нижнем участке, в местах низкого уровня воды перед дамбой, расход воды выходил назад в основное русло. Это явление наблюдалось в опытах как при наличии траверсов, так и без них. Наличие траверсов создает дополнительный подпор, что уменьшает размыв у дамбы. Скорость течения за струенаправляющей сквозной дамбой зависит от расхода воды. Чем больше уровень воды в основном русле, тем интенсивнее проникновение расхода воды за струенаправляющую дамбу. Так как скорость течения за струенаправляющей дамбой меньше, чем скорость основного потока, то всегда будет существовать перепад уровня, который препятствует проникновению расхода в нижнем участке, создавая, таким образом, искусственно водяную подушку (рис.3). На участке, где величина перепада достаточна для выхода воды обратно в русло, перед шпорой образуются наибольшие водовороты с вертикальной осью, уходящие в ширину основного потока и отклоняя его.

Пока ширина потока была меньше ширины русла, регулируемого сквозной дамбой, уровни воды в створах оставались почти такими же, как в натуре. По мере увеличения расхода пропускная способность регулируемого русла становилась недостаточной. Поэтому при пропуске больших расходов наблюдался подпор значительной величины, в связи с чем уровни воды на створах в верхнем бьефе были выше, чем в бытовых условиях. Это, в свою очередь, привело к дополнительному проникновению воды за струенаправляющую дамбу и усилению размывов вдоль нее, а также в верхнем и нижнем бьефах водосливного порога. В связи с повышением уровня на створах в верхнем бьефе пришлось нарастить левобережную дамбу обвалования.

Так как гребень водосливного порога по длине имеет разные отметки, то при переливе потока через него образо-

вался перепад, переменный по длине порога. Вследствие этого непосредственно перед водосливным порогом образовалось винтовое движение воды в направлении, где перепад уровней меньше. Величина подпора и разница его вдоль порога в зависимости от расхода воды были различными. В соответствии с этим интенсивность винтового движения и величина размывов перед и за водосливным порогом также различались.

Во второй серии опытов изучалось формирование русла при наличии струенаправляющей дамбы криволинейного очертания из свай-оболочек в один ряд и водосливного порога из свай-оболочек, коэффициент застройки которых 0,76. Радиус кривизны струенаправляющей дамбы $R = 4000$ м.

С целью изучения характера размыва вдоль струенаправляющей дамбы был рассмотрен вероятный случай наихудшего подхода потока к криволинейной дамбе. Почти все расходы подавались с левой части поймы и течение воды происходило вдоль левого берега и струенаправляющей дамбы примерно до створа 5. Затем оно постепенно переходило к правому берегу, а после створа 8 поток опять переходил на левую сторону поймы, в направлении Чарджоуского моста. Такие потоки на модели проходили в основном при малых расходах. По мере роста расхода размыв у криволинейной дамбы и водосливного порога увеличивался, но значительно меньше, чем размыв у глухого водосливного порога, полученный в опытах первой серии. Величина подпора также была меньше, чем в предыдущей серии опытов, так как часть расходов проходила через тело водосливного порога. Почти во всех опытах наблюдалось отложение наносов в левой части водосливного порога.

В третьей серии опытов изучалось формирование регулируемого русла сквозной струенаправляющей дамбой криволинейного очертания в плане из свай-оболочек, установленных в один ряд, и глухой струенаправляющей дамбы, выполненной из листового железа. При этом в сквозном варианте водосливной порог выполнен из свай-оболочек со ступенчатым профилем гребня, а в глухом варианте — из листового железа с переменным профилем гребня. Отметки гребня глухого порога назначались в соответствии с изменением отмет-

ки дна в бытовых условиях, гребень водослива у левого берега был на 5 м выше, чем у правого. В этой серии выполнено 10 опытов.

Для получения максимальных величин глубины размыва вдоль струенаправляющей дамбы искусственно создавались условия для резкого свала потока с различными расходами воды. В соответствии с этим плановое расположение русла исполнено таким образом, чтобы поток до створа 5 протекал вдоль правого берега, а на участке между створами 5-6 резко поворачивал к струенаправляющей дамбе и от нее отходил к правому берегу. Ниже шестого створа течение проходило вдоль правого берега, а после створа II постепенно поворачивало влево — в направлении Чарджоуского моста (рис. 4).

Ширина потока на повороте у струенаправляющей дамбы была в 3 раза меньше, чем на подходном прямолинейном участке русла.

Для выяснения влияния кривизны и конструкции струенаправляющей дамбы на величину размыва при лобовом подходе потока опыты проводились с радиусом кривизны $R = 4000$ м и $R = 2500$ м. Конструкция дамбы была сквозной (из свай-оболочек) и глухой (из листового железа), траверсы были также сквозными и глухими. По мере роста расхода воды и уменьшения радиуса кривизны в зависимости от конструкции величина размыва дна у струенаправляющей дамбы, а также водосливного порога увеличивались.

Однако величина размыва у водосливного порога меньше, чем у глухой в первой серии опытов, но значительно больше, чем в опытах второй серии, где порог был из свай-оболочек. Сопряжение потока над порогом происходило без образования прыжка.

Анализ опытов и рекомендации

I. Как известно, большая амплитуда колебаний расходов и уровней воды в сочетании с малой устойчивостью русла р. Амударья создают условия для изменения глубины и ширины потока и его блуждания в пойме. Эти естественные условия не всегда могут обеспечить устойчивое и постоянное течение

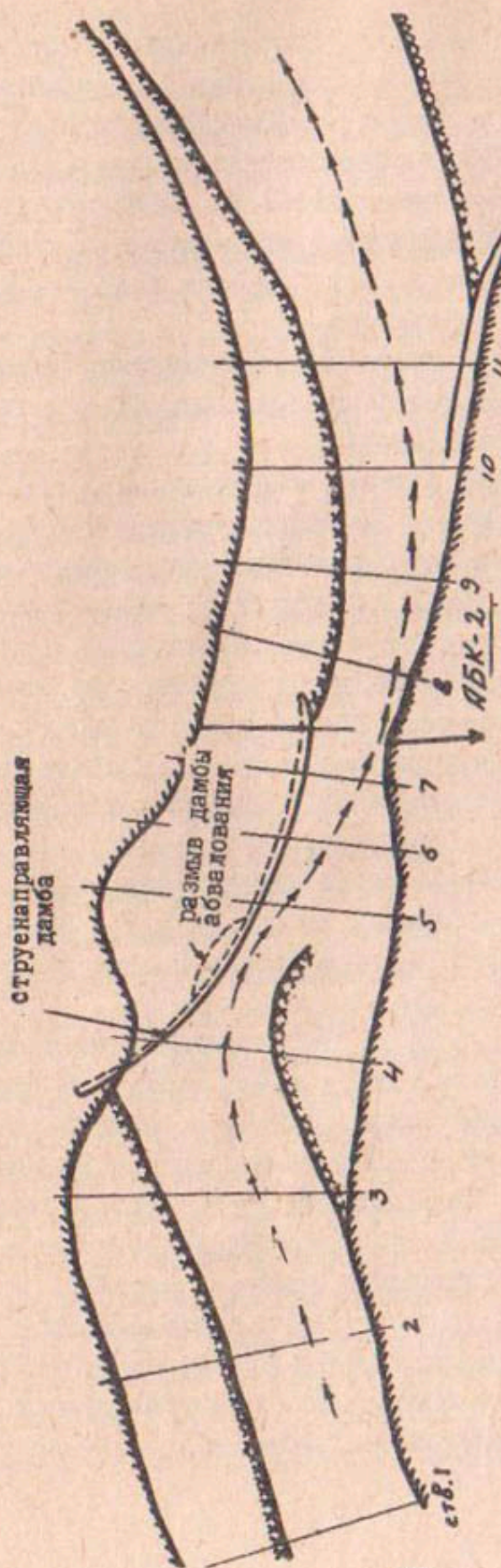


Рис. 4. План течения свального потока при $Q = 3750 \text{ м}^3/\text{сек}$

М 1:50000

I-II - створы

— берег без наличия регулировочных сооружений

XXXXX - с наличием регулиров. сооружений

— направление фарватера

существующее головное
сооружение АБК

перед водозабором, поэтому свободное блуждание потока перед водозабором должно быть зарегулировано выправительными сооружениями. Этим требованиям полностью отвечает рекомендация института "Узгипроводхоз" по выправлению русла струенаправляющей дамбой криволинейного очертания в плане. Струенаправляющая дамба полностью ликвидирует блуждание потока перед водозабором, и, как показали наши опыты, направляет поток к месту водозабора.

Таким образом, основную идею выправления потока и обеспечения устойчивого протекания расхода перед водозабором следует считать правильной.

2. С точки зрения подмыва сооружения при неблагоприятном подходе потока к струенаправляющей дамбе опасным может быть блуждание потока перед зарегулированным участком реки, особенно на подходе к струенаправляющей дамбе.

На вышележащем участке поток, блуждая, будет подходить к струенаправляющей дамбе в одни периоды со стороны левого берега, в другие — со стороны правого берега. В процессе таких изменений подхода поток может набегать на дамбу. Если радиус кривизны струенаправляющей дамбы уменьшить, то подход потока к дамбе приближается к левому, что может привести к усилению размыва дна у дамбы и левого берега за линией струенаправляющей дамбы. На модели при произвольном пропуске расхода опасного подхода потока к струенаправляющей дамбе не наблюдается.

Как видно из плана реки, ее выпуклый правый неразмываемый берег в районе 3-го створа может направить поток прямо к струенаправляющей дамбе. Учитывая такой вероятный характер образования потока с помощью короткой земляной дамбы, начиная с конца выпуклого правого берега поток искусственно был направлен влево — к струенаправляющей дамбе. В результате к струенаправляющей дамбе он подходил под углом почти 90° . Независимо от величины расхода воды и радиуса кривизны струенаправляющей дамбы при набегании потока величины размыва во всех опытах были значительными и почти одинаковыми. Это объясняется тем, что набегающий поток,

размывая дно, отклоняется вправо и в конце поворота образует ширину в три раза меньше ширины потока на прямом подходе участку. Максимальная величина глубины размыва возможна до 20 м. При других подходах (левом и среднем) потока к струенаправляющей дамбе максимальные глубины размыва будут 10 + 12 м.

3. С точки зрения гидравлики потока, на верхнем участке струенаправляющей дамбы наблюдается проникновение части расхода через дамбу и за ней образуется поток, протекающий параллельно основному. При этом из-за наличия разности в скоростях перед и за струенаправляющей дамбой образуется перепад уровня в разных направлениях.

В начальном участке, где наблюдается проникновение расхода за дамбу, происходит размыв дна и в конечном участке, где вода входит обратно в главное русло, наблюдается завал наносами. Существование перепада уровня мешает проникновению дополнительного расхода в нижнем участке дамбы, создавая, таким образом, искусственную водяную подушку. Наличие траверсов способствует уменьшению скорости увеличению уровня за струенаправляющей дамбой, тем самым уменьшает размывающую способность потока и защищает откос левой земляной дамбы от размыва.

4. Как показали опыты, величина размыва дна и размеры потока за дамбой при однорядной и двухрядной системах свай-оболочек одинаковы и не зависят от сквозности и многорядности струенаправляющей дамбы. Максимальная ширина потока за дамбой наблюдается около 350 м в том месте, где происходит интенсивный размыв дна. При увеличении количества траверсов и уменьшении их сквозности перед ними увеличивается перепад в результате чего величина потока и скорости за дамбой уменьшаются. При наличии глухих траверсов увеличивается перепад, прекращается движение воды, почему размыв не распространяется в ширину и не доходит до откоса дамбы обвалования. При этом откос грунта за струенаправляющей дамбой после размыва дна получается более крутой, чем в других опытах, но по величине примерно такой же (5), какой был принят институтом "Узгипроводхоз".

Поэтому здесь целесообразно принимать струенаправляющую дамбу из свай-оболочек однорядную с коэффициентом застройки 0,5 с четырьмя глухими траверсами.

5. С точки зрения планового течения струенаправляющая дамба с радиусом кривизны 4000 м отклоняет поток на правый берег против водозабора при любом его подходе к струенаправляющей дамбе. При меньшем радиусе ($R = 2500$ м) кривизны поток отклоняется резко и встреча его с правым берегом происходит значительно выше точки водозабора, а перед фронтом водозабора происходит усиленное взмучивание потока, способствующее поступлению значительного количества наносов в регулятор АБК-2. При большом радиусе кривизны (рекомендовано принять радиус кривизны $R = 4000$ м) отклонение потока происходит более плавно и встреча потока с правым берегом происходит в месте водозабора.

Наличие струенаправляющей дамбы и кривизны правого берега на подходе к порогу создает криволинейный подход потока и условие для возникновения поперечной циркуляции перед порогом. В результате образовавшейся поперечной циркуляции происходит интенсивный размыв дна перед порогом около правого берега.

6. Рассмотрено три схемы порога. Первая из них скопирована из листового железа. На длине 200 м от правого борта образуется перепад уровня, который меньше, чем на остальной части порога. В этих условиях повышенная часть порога действует на поток как глухая шпора, образуя местную циркуляцию перед порогом и способствует значительному размыву дна. С другой стороны, схема ступенчатого порога по его длине значительно уменьшает пропускную способность зарегулированного русла, создавая подпор на вышележащем участке и за порогом, в нижнем бьефе образуется (при большом расходе) волнообразный прыжок. Величина размыва дна непосредственно перед порогом достигает до 20 м, а в нижнем бьефе (на 50–100 м ниже от створа порога) – до 15 м. При сквозной схеме водосливного порога ступенчатого профиля она значительно меньше и равна 10 ÷ 12 м. При этом поверхность воды над порогом гладкая и сопряжение потока с нижним

бьефом происходит без прыжка. Однако здесь в период межени из-за сквозности порога может происходить свободное блуждание потока в пределах длины порога, что в случае отхода потока от правого берега приводит к ухудшению водозабора.

Поверхность отмели в бытовых условиях плавно понижается от левого берега к правому. Учитывая такой рельеф дна, третью схему порога (рекомендуемая) сконструировали из листового железа в виде ныряющей стенки с отметкой гребня: у левого берега выше на 5 м, чем у правого. Как показали опыты, эта схема дает наиболее удовлетворительные результаты. Поверхность потока над порогом остается ровной – сопряжение происходит без образования прыжка и волны, и не наблюдается больших размывов, а также подпоров на участке перед регулировочным сооружением. Значительный размыв перед порогом можно ожидать лишь при прохождении самого большого расхода, соответствующего 0,1% обеспеченности – около 19 м.

7. В связи со строительством струенаправляющей дамбы и порога-водослива русло реки в районе головного водозабора АБК-2 сужается до 700 м. Эта ширина на 100–150 м больше ширины потока при обычных расходах реки и меньше необходимой ширины потока при расходе 0,1% обеспеченности.

При большом расходе пропускная способность русла, зарегулированного струенаправляющей дамбой, обеспечивается за счет размыва дна (углублением потока). При меньшем расходе дно русла перед водозабором выравнивается за счет отложения наносов. В результате такого колебания отметок дна, уровни воды во всех опытах изменялись в соответствии с изменением расхода воды. Сравнение опытных данных графика $Q = f(H)$ показало, что наиболее близкие с натурными уровнями удовлетворительные результаты – данные опытов третьей серии, где форма порога – водослива принята в виде ныряющей глухой стенки (рекомендуемый). Остальные схемы порога – водослива дают либо большой перепад (что нежелательно для судоходства) и большой размыв, либо создают условия для блуждания потока перед водозабором (при сквозной схеме порога).

8. Как известно, малые протоки реки в зимних условиях часто покрываются льдом и забиваются шуговыми массами.

В результате свободная поверхность воды, по которой проходит шуговый фарватер, сужается, а сбойность течения реки повышается и, следовательно, вероятность отхода потока от точки водозабора в зимних условиях также повышается. Если волна холода продолжительная, в суженных местах шугового фарватера зеркало воды может полностью покрыться шуговыми скоплениями и шугоход останавливается, стесняя живое сечение потока. Образуется зажор. Все это повышает гидравлические сопротивления русла на участке и создает подпорный режим течения. На вышележащем участке уменьшается уклон, что приводит к дополнительному скоплению шуги.

Наибольшие интенсивные русловые процессы происходят в период формирования ледостава и при зажорных скоплениях. Вследствие стеснения живого сечения зажором повышается скорость течения, что может привести к интенсивному размыву дна. Однако ограниченное дно русла порогом-водосливом в районе водозабора АБК-2 не дает потоку возможности углубиться до значительных величин. В результате образуется дополнительный подпор и может произойти интенсивное скопление шуги в створе водозабора АБК-2, что может затруднить условия эксплуатации в зимних условиях. Изложенные русловые процессы в зимних условиях должны быть рассмотрены специально.

9. Независимо от условия подхода к струенаправляющей дамбе поток будет проходить вдоль правого берега, и лишь после створа IO будет поворачивать влево — в сторону Чарджоуского моста. Это будет способствовать образованию отложений наносов вдоль правого берега при сбросе пульпы землесосами в период очистки подводящего канала АБК-2.

При изменении расхода воды в реке может происходить блуждание потока в нижнем бьефе, в результате могут образоваться протоки, нежелательные для мостового перехода. Блуждание потока перед мостом может привести к размыву берегов, что требует регулирования русла и защиты берегов от размыва. Эти последние вопросы также должны быть рассмотрены специально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мухамедов А.М., Абдураупов Р.Р. Некоторые результаты лабораторных исследований по регулированию потока и выправлению русла Амударьи системой сквозных шпор в районе Ташсакинского гидроузла, Труды САНИИРИ, вып.120, 1970.

О КИНЕМАТИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ р.АМУДАРЬЯ

Все существующие морфологические и кинематические зависимости для естественных русел рек получены из раздельного рассмотрения или морфологии или кинематики потока.

В 1950 г. Г.В.Железняковым предложены кинематико-морфологические зависимости, основанные на совместном решении морфологии и кинематики речного потока.

В настоящей статье мы попытались использовать это предложение Г.В.Железнякова и дать кинематико-морфологические зависимости для р.Амударья.

Для размываемых русел в 1950 г. Г.В.Железняковым предложен критерий динамического подобия в виде /3/

$$F_{\gamma} = \frac{V^2 \gamma^2}{g} = \frac{V^2 B}{h^2 g} = \frac{V^2}{g h} \cdot \frac{B}{h}, \quad (1)$$

где $\gamma = \frac{\sqrt{B}}{h}$ - морфологический параметр В.Г.Глушкова /1/;

V - средняя скорость;

g - ускорение силы тяжести;

B - ширина реки;

h - средняя глубина потока.

Первые подсчеты параметра F_{γ} сделаны им в 1962 г. для изучения относительного дефицита средней скорости потока (F_{γ}) при неустановившемся движении воды /4/. Выяснилось, что амплитуда F_{γ} велика за счет нестационарности движения.

Далее в 1965 г. по материалам измерений гидравлических параметров Каракумского канала им.В.И.Ленина для выявления критерия F_{γ} /4/ было выделено пять гидростворов с различными грунтовыми условиями, для которых за 1960-1963 гг. подсчитано около девятисот значений F_{γ} /5/. На всех гидростворах значения F_{γ} не вышли за пределы

единицы и в среднем изменились от 0,2 до 0,7 при расходах F_{Σ} от 60 до 200 м³/сек было отмечено, что на участках канала с легкоразмываемыми мелкопесчаными грунтами критерий F_{Σ} возрастает с увеличением расхода воды, а на участках, где его русло сложено связными грунтами, убывает.

Для исследования критерия динамического подобия нами были использованы материалы измерений за различные годы на гидрометрических створах р.Амударья в среднем и нижнем течении.

Выбор створов диктовался стремлением охватить характерные условия движения потока в Амударье. Выбраны гидрометрические створы Керки, Чарджоу, Турткуль и Чатлы. На рассматриваемых гидростворах, русло реки прямолинейное. Берега и дно сложены песчаноилистыми отложениями и подвержены деформации. Периодически появляются и исчезают отмели и временные острова, образуя ряд протоков. Среднегодовая мутность у вышеуказанных гидростворов колеблется в пределах 2,56–15,6 кг/м³. Ширина изменяется от 130 до 3000 м. Наибольшие измеренные расходы воды 9060 м³/сек, наименьшие 25 м³/сек. Уклон – 0,000052 ± 0,00067; средняя глубина – 0,8 ± 4,15 м; средняя скорость – 0,36 ± 2,66 м/сек; максимальная скорость – 0,6 ± 3,5 м/сек; средний диаметр донных отложений 0,1 ± 0,3 мм.

По данным гидростворов Керки, Чарджоу, Турткуль и Чатлы нами подсчитано около шестисот значений F_{Σ} и построен график F_{Σ} от Q с обозначением точек по гидрологическим створам (рис. I).

Как видно из рис. I, амплитуда изменений F_{Σ} велика, по-видимому, за счет неустойчивости русла Амударьи, так как здесь рассматривались блуждающие участки реки, обуславливаемые: значительными скоростями течения; составом грунта, размеры частиц которых гораздо меньше критических для данных скоростей; легкой размываемости берегов; большим содержанием наносов.

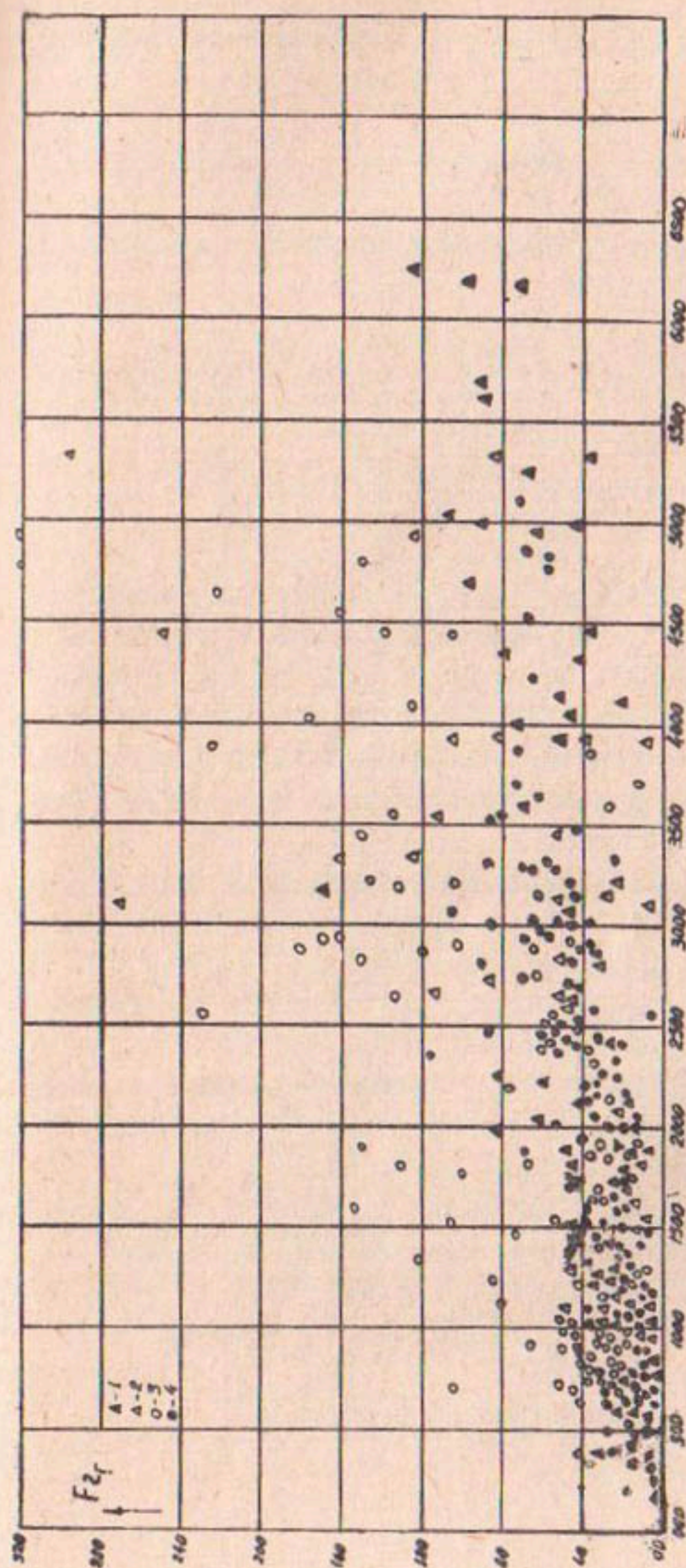


Рис. I Зависимость критерия подобия F_{zr} от расхода воды для р. Амударьи

I - г.п. Керки - 1928, 1929, 1953, 1956 гг

2 - г.п. Чарджоу - 1936, 1937, 1939, 1940 гг

3 - г.п. Турткуль - 1939, 1940, 1941, 1942 гг

4 - г.п. Чатлы - 1936, 1955, 1956, 1957, 1960, 1965, 1966 гг

Подставляя в (I) $V = \frac{Q}{B h_{cp}}$, Г.В.Железняков получил формулу /5/

$$\frac{Q}{g B h_{cp}^3} = C_r, \quad (2)$$

где C_r — числовое значение параметра F_{z_r} для данного участка реки;

Q — расход воды.

Вводя обозначение $M = \frac{1}{C_r^{1/4}}$ в формулу (2) и произведя соответствующие преобразования, имеем

$$\frac{h_{cp} (g B)^{1/4}}{Q^{1/2}} = M_r. \quad (3)$$

Позднее К.В.Гришанин такие же вычисления проделал применительно к равнинным рекам Европейской части СССР и Западной Сибири /2/. Для определения M_r им были использованы материалы измерений на 35 гидрометрических створах 24 равнинных рек. По каждому створу были взяты три расхода воды: наибольший, наименьший и близкий к середине интервала измеренных расходов.

Подсчеты, произведенные по формуле (3), дали среднее значение $M_r = 0,9$. Но эта величина справедлива для ограниченного числа равнинных рек Европейской части СССР и Западной Сибири. Для других рек в дальнейшем необходимо устанавливать значение M_r .

Переменный параметр M_r неразрывно связан с кинематикой движения потока. На нем сказывается всякое изменение скоростей по ширине и глубине потока.

Для исследований связи между параметром M_r и относительным дефицитом средней скорости потока, характеризующим его кинематику по натурным данным УГМС, мы построили график зависимости M_r (подсчитанные по формуле (3I) от D для р.Амударья (рис.2).

Значение D подсчитано по формуле

$$D = \frac{V_{max} - V_{cp}}{V}, \quad (4)$$

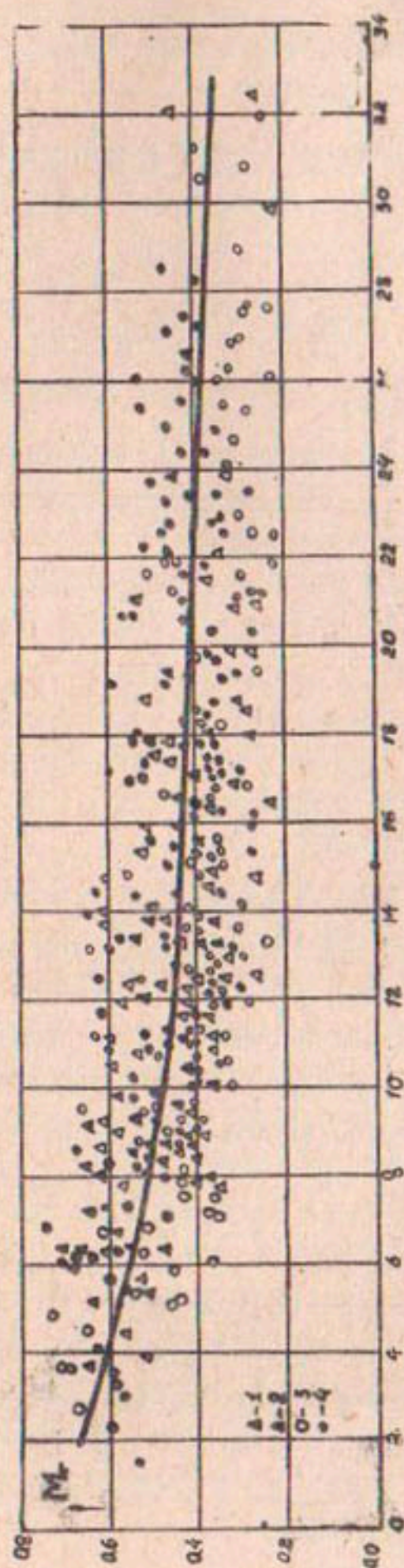


Рис. 2. Зависимость критерия подобия M_r от относительного дефицита средней скорости потока D для реки Амударья

1 - г.п. Керки - 1928, 1929, 1953, 1956 гг;
 2 - г.п. Чарджоу - 1936, 1937, 1939, 1940 гг;
 3 - г.п. Турткуль - 1939, 1940, 1941, 1942 гг.;
 4 - г.п. Чатлы - 1936, 1955, 1956, 1957, 1960, 1965, 1966 гг.

где V_{max} — максимальная скорость потока;
 $V_* = \sqrt{gh_{cp}J}$ — динамическая скорость потока в живом сечении;

J — продольный уклон поверхности воды.

По Г.В. Железнякову, D зависит от коэффициента Шези

$$D = \frac{1}{K} + \frac{C}{C_0}, \quad (5)$$

где C — коэффициент Шези;
 C_0 — некоторое нижнее значение коэффициента Шези.
 Для параметра K Г.В. Железняковым предложена формула [7]

$$K = \frac{\sqrt{g}}{C_*} \quad (6)$$

где

$$C_* = \frac{\sqrt{g} + C}{2,3 + 0,3 \frac{C}{\sqrt{g}}} \quad (7)$$

Для рек в среднем $K = 0,54$ и $C_0 = 9,1 \text{ м}^{0,5}/\text{сек}$,
 а для среднего и нижнего течения р. Амударья в среднем по нашим подсчетам $K = 0,4$ и $C_0 = 7 \text{ м}^{0,5}/\text{сек}$.

По расположению средней линии графика связи (рис. 2) можно увидеть нелинейную зависимость M_r от D .

На основании этой связи можно получить

$$M_r = \frac{0,82}{D^{4,25}} \quad (8)$$

Значение M_r в среднем изменилось от 0,25 до 0,70.

Наибольшие значения M_r дают наименьшие D , которые для Амударьи имеют очень большую амплитуду (от 2 до 32).

На основе (I) получили

$$M_r = \frac{g^{\frac{1}{4}}}{V^{\frac{1}{2}} J^{\frac{1}{2}}} \quad (9)$$

Подставляя (9) в (8), найдем выражение для параметра В.Г.Глушкова, справедливое для Амударьи

$$\Gamma = \frac{\sqrt{Dg}}{Q_{70}V_{cp}}. \quad (10)$$

Эту формулу можно назвать кинематико-морфологической /7/, так как она выражает связь морфологического параметра Γ с дефицитом средней скорости потока D .

Полученная нами зависимость в дальнейшем позволяет определить параметр В.Г.Глушкова, который в свою очередь даст возможность установить гидравлические элементы русла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушков В.Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований, Изд-во АН СССР, М., 1961.
2. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков, Гидрометеиздат, Л., 1969.
3. Железняков Г.В. Гидравлическое обоснование методов речной гидрометрии, Изд-во АН СССР, М.-Л., 1950.
4. Железняков Г.В. Относительный дефицит средней скорости неустановившегося открытого потока, Труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта, вып.176, 1963.
5. Железняков Г.В., Аннаев С.А. Формирование русла Каракумского канала, Вестник сельскохозяйственной науки, 1967, № 5.
6. Железняков Г.В. О критерии динамического подобия потоков с размываемым руслом, Доклады Всесоюзной орден Ленина Академии сельскохозяйственных наук им.В.И.Ленина, Изд-во "Колос", М., 1969, № 10.
7. Железняков Г.В. О применении кинематико-морфологических зависимостей речного потока при изысканиях мостовых переходов, Труды I-й Всесоюзной научно-технической конференции по гидравлике дорожных водопропускных сооружений, Изд-во "Высшая школа", М., 1969.

А.М.МУХАМЕДОВ, Х.А.ИРМУХАМЕДОВ,
В.Е.ТУЗОВ, И.В.КОГТЕВА

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И КИНЕМАТИКИ ПОТОКА В ЗОНЕ ДЕЙГИША

На р.Амударья часто происходит одна из разновидностей русловой деформации — интенсивный размыв берегов (дейгиш).

Вопросу изучения дейгиша посвящено много работ /1,2, 5,6,7/, в которых сделаны попытки объяснить причины образования и механизм дейгиша, но не исследованы изменения гидравлических элементов и кинематика потока на его участке.

Изучение кинематических характеристик потока в зоне дейгиша имеет большое значение при рассмотрении этого сложного явления, а уточнение их поможет в какой-то мере вскрыть механизм дейгиша.

В данной работе сделана попытка по данным натурных исследований проанализировать изменения гидравлических элементов и кинематику потока на участке дейгиша.

Исходными материалами послужили данные полевых исследований Амударьинской экспедиции отдела русел рек за 1961—1962 гг. в районе канала Ташсака и за 1965—1967 гг. в районе канала Клычниязбай, а также материалы Экспедиции № 15 Института "Ленгидропроект" за 1966—1967 гг.

Исследования гидравлических элементов потока в зоне дейгиша

Участок реки в районе канала Ташсака

В натурных исследованиях на участке дейгиша в районе 8-го км канала Ташсака основное внимание было уделено плановым съемкам русла (4—5 км); были сделаны промеры глубин по 19 створам и в некоторых случаях производились поплавочные съемки поверхностных струй. Часть результатов этих исследований изложена раньше /5/.

Для выявления кинематических характеристик и измене-

ния гидравлических элементов потока на участке дейгиша нами были обработаны все гидравлические элементы потока по 19 поперечникам при изменении расхода реки от 458 до 3540 м³/сек. Совмещенные плановые съемки русла и поперечные профили характерных створов на участке дейгиша приведены на рисунках 1 и 2.

В период дейгиша 1961 г. в районе 8 км канала Ташсака, на длине 2500 м осуществлялось крепление берега крупными хворостяными фашинами, пригруженными бетонитами, поэтому подводный откос размываемого берега постоянно находился под прикрытием береговой опояски. Хотя крепление берега и не прекращало естественного хода руслового процесса, но видоизменяло и усложняло его: прижимало перемещающийся стрежень речного потока к закрепленному берегу, увеличивало кривизну потока и рост глубин у берега.

При резком свале потока в направлении берега донные наносы перемещаются в этом же направлении, концентрируются на откосе надвигающейся призмы наносов и частично выпадают /5/.

При этом происходит деформация (размыв) берегов русла против оставшихся скоплений наносов, что приводит к боковому смещению русла и увеличению его размеров в поперечнике. Но так как берег реки, где происходил свал потока, был закреплен, поток не мог расширить русло. Поэтому русловые изменения, связанные со стеснением потока, выражались, прежде всего, в росте глубин, т.е. в образовании размывов из-за увеличения погонного расхода на участке свала потока к берегу. Однако участок не везде был хорошо закреплен, и в некоторых местах образовались характерные глубокие береговые вымоины, угрожающие обрушению берегового откоса нижележащих участков берега. Такие места срочно закреплялись и положение левого берега оставалось неизменным.

При дейгише поперечная форма русла реки на участке размываемого берега имеет свои специфические особенности /5/. Так, на участке подхода поперечный профиль имеет корытообразную форму (рис.2, поперечник 5), ниже размываемого берега — параболическую (рис.2, поперечник 19). На участке дейгиша происходит переход корытообразной формы русла парабо-

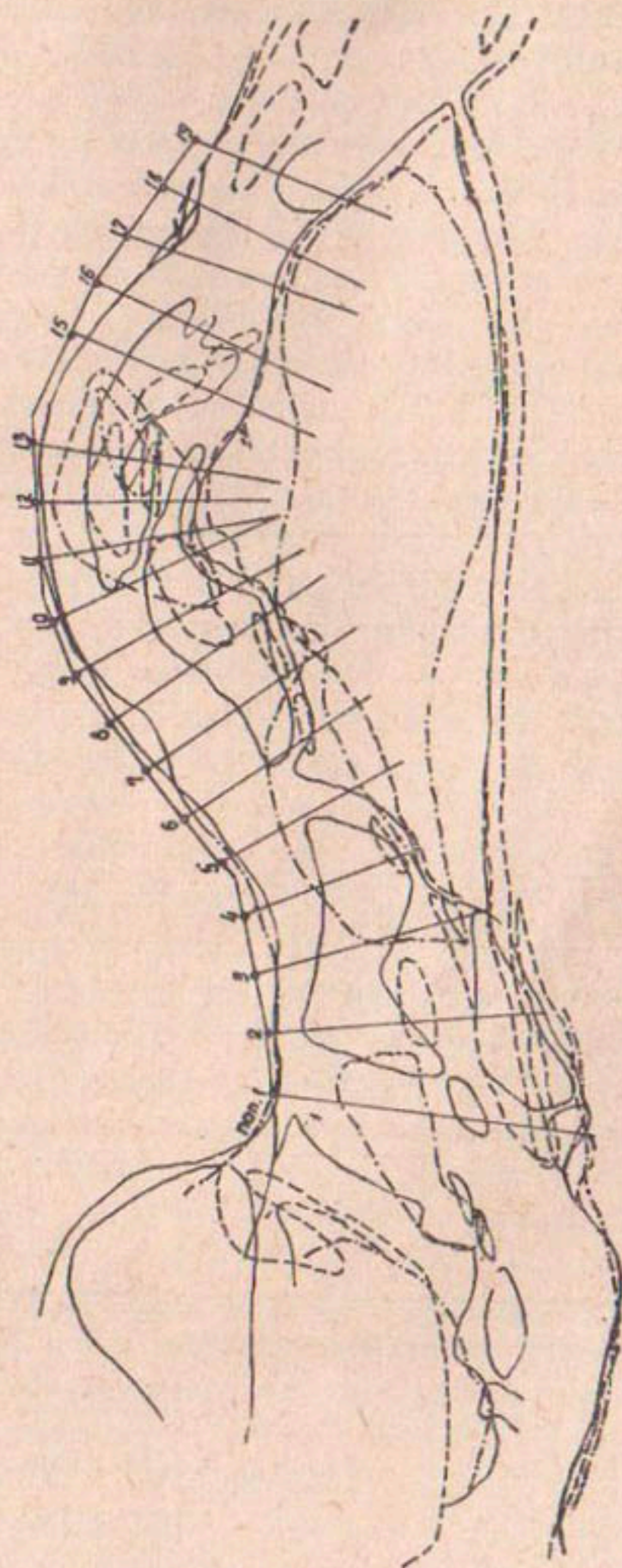
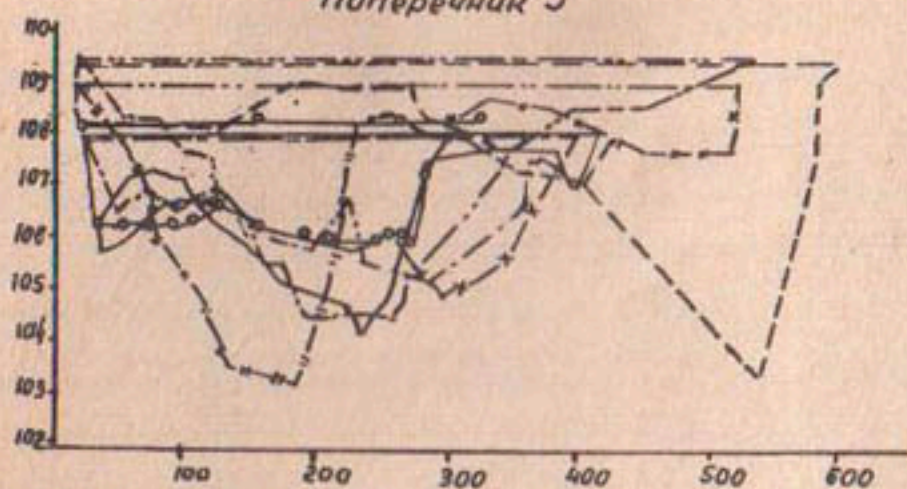
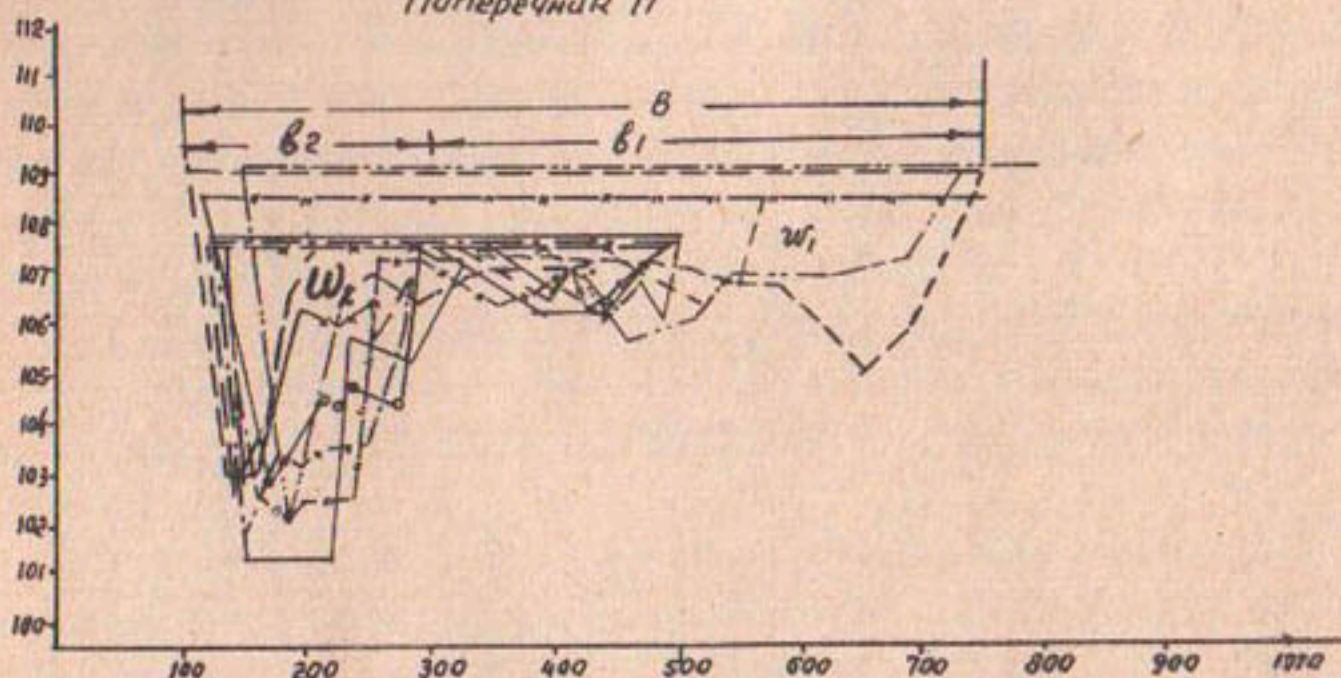


Рис. I. План участка р. Амударья в районе 8 км канала Ташсака
при расходах реки $Q = 458 - 631 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Поперечник 5



Поперечник 17



Поперечник 9

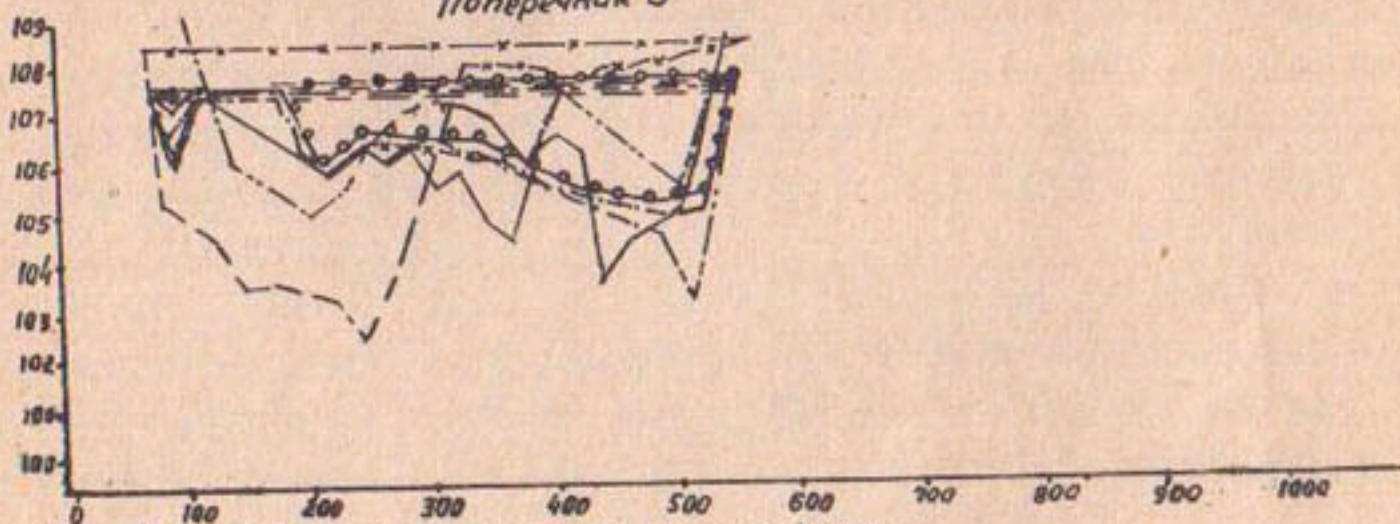


Рис. 2 Совмещенные поперечные профили

—	$Q = 602$	- - -	$Q = 1596$
- · - · -	$Q = 512$	- " -	$Q = 2306$
- - -	$Q = 458$	- - -	$Q = 3540 \text{ м}^3/\text{сек}$
- -	$Q = 631$		

лическую (рис.2, поперечник I7).

Протяженность переходного участка зависит от угла свала потока и расхода воды в реке: чем больше расход воды и угол свала потока, тем больше участок размываемого берега и наоборот. В начале переходного участка (участок дейгиша) глубоководная часть русла (β_2) имеет незначительную ширину, а мелководная (β_1), наоборот, охватывает значительную часть русла. В конце переходного участка глубоководная часть (β_2) достигает максимума и в отдельных случаях охватывает всю ширину русла. Такое же положение наблюдалось и в отношении ω_2 и ω_1 .

Анализ натуральных данных позволил установить, что дейгиш на этом участке реки начинался между створами 8-10 и продолжался до 17-18. Район от 13 до 17 створа подвергался наиболее интенсивному размыву, здесь и наблюдались максимальные глубины. Ниже размыв прекращался и поток протекал равномерно по всей ширине русла.

На основании натуральных данных на рис.3 приведены изменения гидравлических элементов потока вдоль участка дейгиша. Графики связи $h, \beta, \omega, V_{cp}, F_x$ и H_{max} от относительного расстояния $\frac{l}{z}$ показали, что на подходном участке эти элементы потока малоизменчивы. На участке дейгиша наблюдались их резкие изменения. Средняя глубина потока h на подходном участке при различных величинах расхода воды изменялась в пределах 1,2-1,8 м. На участке дейгиша, начиная со створа 8, глубина потока увеличивается до 3,0 м и ниже зоны размыва составляет порядка 1,5-2,0 м.

Ширина потока β на подходном участке изменяется от 300 до 450 м, со створа 8 начинает уменьшаться и в створах 12-16 доходит до 120-150 м, а ниже участка дейгиша начинает увеличиваться и доходит до 400 м. Погонный расход в зоне размыва в 2-3 раза больше, чем на подходном участке. Площади живого сечения потока изменяются следующим образом: на подходном участке $\omega = 500 + 700 \text{ м}^2$, в центре дейгиша $\omega = 350 + 450 \text{ м}^2$ и ниже увеличиваются до 700-750 м^2 .

Увеличение погонных расходов и уменьшение живого сечения приводят к повышению скоростей потока на участке дей-

гиша. Средние скорости потока в начале $V_{ep} = 0,8-1,2$ м/сек, на участке дейгиша доходят до $1,2-1,6$ м/сек, затем резко дают до $0,7-0,8$ м/сек (рис.3).

На участке дейгиша число Фруда (F_r) оказалось примерно в $1,5-2,0$ раза больше, чем на подходном участке реки. В результате увеличения скоростей потока (погонные расходы) в центре дейгиша происходил наибольший размыв дна русла. Максимальные глубины потока H_{max} наблюдались именно там, где скорости потока (или число Фруда) имели наибольшие значения, а поперечные профили русла переходили от корытообразной к параболической формам (рис.2,3).

Анализ натуральных данных отношений ширины и площади сечения глубоководной части к общей ширине и площади сечения русла ($\frac{b_p}{b}$ и $\frac{\omega_p}{\omega}$) показал, что эти отношения постепенно увеличиваются и на участке интенсивного дейгиша $\frac{b_p}{b}$ доходит до $0,7-0,8$, а $\frac{\omega_p}{\omega}$ до $0,8-0,9$; дальше они снижаются и русло начинает приобретать параболическую форму.

Радиусы кривизны динамической оси потока на этом участке реки оказались равными $r = 3500$ м.

Анализ гидравлических элементов показал, что интенсивность дейгиша, с одной стороны, тесно связана с основными параметрами подходного русла, т.е. зависит от величины погонного расхода, скорости потока и др. (анализ был сделан только для жидкого стока, без учета твердого).

Особенно важен в условиях р.Амударья учет наносов, который играет большую роль в формировании русла. Однако отсутствие данных о количестве донных наносов, транспортируемых потоком, не дает возможность проанализировать изменения их по ширине и длине исследуемого участка реки и изучить их влияние на явление дейгиша.

Размыв русла начинается тогда, когда скорость потока превысит среднюю допустимую скорость, и прекращается, как только поперечное сечение русла увеличится на столько, что скорость течения снова уменьшится до неразмывающей.

Этим можно объяснить, что на участке дейгиша при

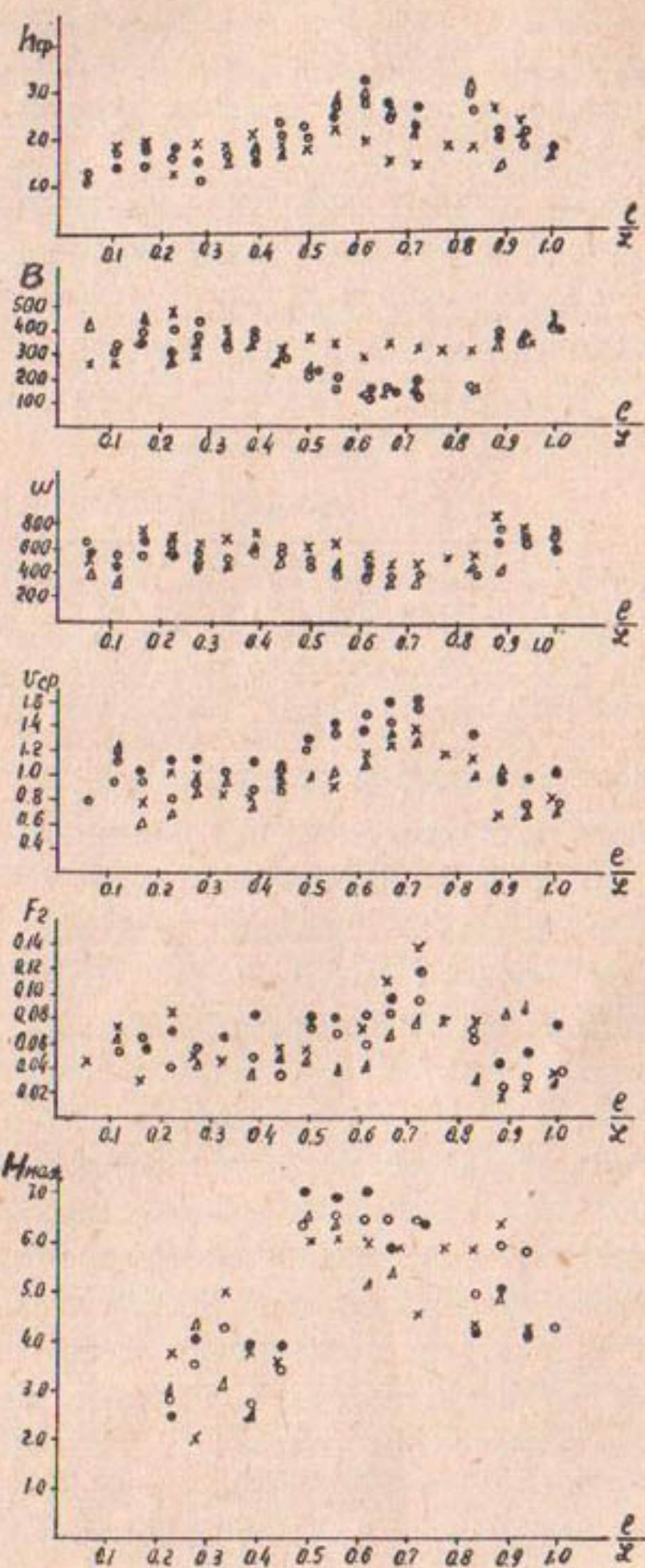


Рис. 3 Графики зависимости $h_{cp}, B, \omega, v_{cp}, F_2, H_{max} = f\left(\frac{l}{L}\right)$

вышеуказанных расходах реки не происходило значительного углубления дна русла. Здесь можно предполагать, что донные скорости потока оказались примерно равными, неперемещающим наносы, скоростям.

Несмотря на малый расход реки, вероятно, было перемещение некоторого количества донных наносов. Если определить величину допускаемой скорости потока для донных наносов по формуле И.И.Леви, то при средней крупности частиц $d_{доп} = 0,23$ мм и средней глубине потока 1,5–2,0 м эта величина будет изменяться в пределах

$$V_0 = 0,3 \div 0,35 \text{ м/сек.}$$

В действительности скорости потока на подходе к дейгишу (рис.3) изменяются от 0,8 до 1,10 м/сек, а в центре дейгиша – до 1,2 – 1,5 м/сек. Следовательно, отношение средней скорости потока к допускаемой составляет на подходе на участке $\frac{V}{V_0} = 2-3$, на участке дейгиша $\frac{V}{V_0} = 4-5$.

По схеме А.М.Мухамедова и В.Е.Тузова [5] перемещение наносов объясняется следующим образом.

Русло реки на участке дейгиша разделено на три зоны. В первой зоне водный поток сваливается с переката с большими скоростями, движется к размываемому берегу под некоторым углом и встречается с потоком, который протекает вдоль берега. При встрече двух потоков с разными скоростями и различными направлениями движения по отношению к размываемому берегу во второй зоне происходит резкое перераспределение скоростей и изменение направления движения потока, что приводит к перераспределению движения донных наносов, отчего во второй зоне происходит частичное выпадение их и размеры третьей зоны по ширине уменьшаются. Стрежень потока смещается в сторону размываемого берега, отчего прибрежные скорости течения увеличиваются и размыв становится более интенсивным. Грунт с подводного откоса третьей зоны в виде донных и взвешенных наносов перемещается вниз по течению и полностью выносится за пределы размываемого участка.

Таким образом, в первой зоне происходит транспорт наносов, движущихся по реке в состоянии влечения по дну; во второй — имеет место их частичное отложение; в третьей происходит процесс размыва берега, за счет чего восстанавливается прежняя нагрузка потока донными наносами. Во второй зоне перемещение наносов вниз по течению происходит по откосу благодаря донной поперечной циркуляции, возникающей из-за перелома линии дна от первой зоны ко второй. По этой гипотезе, в результате отложения наносов на откосе надвигающейся призмы, происходит дейгиш, т.е. имеет место размыв в результате отложений.

При поперечном свале поток, встречаясь с берегом, изменяет свое направление, сохраняя при этом почти прежнюю скорость. Поток направляется ко дну и, находясь в водной среде, постепенно расширяется. У дна он поворачивает в сторону от берега и размывает дно до тех пор, пока скорость течения здесь уменьшится до ее предельного значения.

В начале участка дейгиша, где погонный расход сваливаемого потока мал, глубина в глубоководной части невелика (рис. 2, поперечник 5). По мере увеличения погонного расхода свалившегося потока глубина его в глубоководной части увеличивается. На подходе к месту максимального размыва основная часть потока успевает сваливаться на берег, и к ней присоединяется поток, протекающий вдоль берега, образуя более мощную поперечную циркуляцию, способствующую увеличению глубины размыва.

Часть потока, образующая свал к берегу, в начальном участке дейгиша несет наносы в количестве, соответствующем средней скорости течения, т.е. обладает определенной транспортирующей способностью. Наносы, перемещающиеся на этом отрезке полосы русла, попадают на откос надвигающейся призмы. В зависимости от интенсивности поперечной циркуляции, образовавшейся в глубоководной части русла у берега, эти наносы или скатываются по откосу ко дну русла, или перемещаются по нему вниз по течению.

В центре размыва, где сваливается весь поток, наносы, перемещающиеся по мелководной части, доходят до бровки

призмы и скатываются по откосу, но не доходят до дна русла. Интенсивная поперечная циркуляция и обратные донные скорости у откоса призмы поддерживают наносы во взвешенном состоянии и выносят их за пределы дейгиша, где они начинают отлагаться по всей ширине русла. Поэтому профиль русла за пределами дейгиша начинает приобретать параболическую форму.

Основные гидравлические элементы потока на участке реки 8 км канала Ташсака, полученные по натурным данным съемки русла дали возможность проанализировать их изменения вдоль участка дейгиша и выяснить некоторые причины размыва дна.

2. Участок реки в районе канала Клычниязбай также наиболее подвержен воздействию дейгиша, где угрозе разрушения, в результате размыва левого берега, подвергался сам канал и его головное сооружение.

Полевые исследования явления дейгиша на этом участке, протяженностью 4000 м из них 2900 – выше и 1100 – ниже водозабора, проводились экспедицией отдела русел, совместно с Экспедицией № 15 Ленгидропроекта в течение 1966–1967 гг. Исследуемый участок был разбит на 50 промерных поперечников.

В 1966 г. по поперечным створам выполнено 4 серии промеров русла реки. В двух – промеры выполнены по всем 50 поперечникам и на всю ширину русла, в других – охвачена часть поперечников. Каждый промер продолжался в течение 2–3 дней.

Были выполнены две поплавочные съемки для определения направлений поверхностных струй. По пяти поперечным створам выполнены две серии измерений скорости потока и отобраны пробы влекомых наносов у дна.

В 1967 г., вследствие изменения направления течения, вызванного прохождением основного расхода реки по прорези, основные исследования велись на прорези и частично на участке, ранее наблюдавшегося дейгиша.

Интенсивный дейгиш на участке реки в районе водозабора в канал Клычниязбай начался в 1964 г. Для защиты головного сооружения канала и берега от размыва применяли метод сплошного крепления крупными хворостяными фашинами, при-

груженными бракованными железобетонными изделиями. 24 июля 1965 г. дейгиш на этом участке возобновился и разрушил крепление, уложенное в начале года. Интенсивность размыва берегов при этом в отдельные дни доходила до 10 м в сутки.

Для защиты берега кроме сплошного крепления были установлены 6 шпор из железобетонных тетраэдров. Размывая берега речной поток постепенно уменьшал расстояние между рекой и шпорами, строительство которых к этому времени не было закончено.

Для сохранения недостроенных шпор, срочно возобновились берегозащитные работы. Для этого было намечено уложить вдоль размываемого берега 15 тыс.м³ хвороста и 3 тыс.м³ железобетонных изделий.

За интенсивным дейгишем, продолжавшимся с 24 июля 1966 г., по 7 августа велись постоянные наблюдения. Съёмки русла были начаты после прекращения дейгиша, когда берег уже был закреплён хворостяными фашинами и шпорами. Поэтому при различных расходах реки откос левого берега на всех поперечных профилях получается примерно одинаковый.

Русловыправительная прорезь была открыта 29 октября 1966 г. В феврале-марте по прорези протекало около 25-40% от общего расхода реки (до 100 м³/сек).

С увеличением расхода воды по реке через прорезь стал проходить расход до 2500 м³/сек. В 1967 г. на этом участке было сделано 4 серии промеров глубин. После каждого промера по обработанным данным составлен план и поперечные профили русла.

На основании натурных съёмок русла 1966-1967 гг. при различных расходах воды были определены основные гидравлические элементы потока по характерным створам на участке дейгиша.

С помощью исследований натурных данных было установлено, что на этом участке реки дейгиш начинался между створами 42-40 и продолжался до 8-10, т.е. до головного сооружения канала Клычниязбай. Ниже размыв прекращался и поток протекал равномерно, охватывая всю ширину русла.

Анализ изменения гидравлических элементов потока вдоль участка дейгиша показывает, что средняя и максимальная глубины (h и H_{max}) потока зависят от величины расхода воды. Они постепенно увеличиваются вниз по течению до створа IO, ниже которого восстанавливается бытовая глубина.

Если на подходном участке средняя глубина была $h = 1,5 \div 3,0$ м, то на участке интенсивного дейгиша доходила до $h = 6 \div 9,75$ м, а ниже до $h = 1,5 \div 2,5$ м.

Максимальная глубина в начале участка дейгиша была $H_{max} = 2 \div 6,0$ м, в центре дейгиша $H_{max} = 13 - 24$, а ниже $H_{max} = 2,5 \div 5$ м. Ширина русла по створам мало изменяется, а вдоль участка дейгиша наблюдается резкое сужение. Если в начале ширина русла $B = 700 \div 800$ м, то в центре дейгиша постепенно сужаясь достигает до $B = 200-300$ м, затем увеличивается до $B = 600 \div 700$ м. Аналогичная картина наблюдается при исследовании площадей живого сечения потока ω , которые на участке дейгиша уменьшаются примерно в 1,5 раза, по сравнению с подходным участком, затем резко увеличиваются до 2 раз.

Так как расходы в 1967 г. на участке дейгиша были определены ориентировочные, то распределение скоростей потока V_{cp} и числа Фруда F_r в створах изменяются не одинаково.

На подходном участке средние скорости потока составляют $V_{cp} = 0,75 - 1,3$ м³/сек, затем увеличиваются до 1-2 м/сек, а на участке интенсивного дейгиша (зона максимального размыва), за счет увеличения площади живого сечения потока, снижаются до 0,5 м/сек. Ниже скорости снова восстанавливаются до бытовых (0,5-1,0 м/сек). Тоже наблюдается и с числом Фруда.

Скорости и кинетичность потока имеют максимальные значения в зоне свала потока на размываемый берег, т.е. в зоне мелководной части русла. В зоне интенсивного размыва средние скорости потока и число Фруда для всего сечения русла резко падают.

Результаты обработки гидравлических элементов потока на участке дейгиша в районе канала Клычниязбай показали.

1. С изменением величины расхода водотока наблюдается значительное переформирование русла на подходном участке и на участке самого дейгиша. С увеличением расхода глубина и ширина русла на участке дейгиша значительно больше, чем при малых расходах реки. Кроме того, граница раздела между маловодной и глубоководной частями русла также перемещается и изменяются отметки верхней части этой границы на подходе к месту размыва.

При малых расходах на подходном участке образуются отмели и островки, русло разделяется на протоки. На участке дейгиша поток протекает по неширокому, но глубокому руслу.

2. Гидравлические элементы потока и форма поперечных сечений русла на подходном участке также зависят от величины расхода водотока.

Особенно резко увеличивается глубина потока и уменьшается ширина русла. Ниже участка дейгиша гидравлические элементы потока и поперечные сечения русла восстанавливаются до бытовых величин.

3. В начале участка дейгиша погонный расход сваливаемого потока мал, поэтому размыв дна у берега невелик. По мере возрастания этого расхода глубина потока в глубоководной части русла увеличивается. На подходе к центру размыва весь поток сваливается на берег, к нему присоединяется прибрежный поток, что образует более мощную поперечную циркуляцию, которая способствует увеличению глубины размыва.

При больших величинах расхода водотока поперечная циркуляция в центре дейгиша охватывает всю ширину русла и глубина достигает до 20–24 м. В отличие от участка реки в районе 8-го км канала Ташсака, здесь радиус динамической оси потока меньше ($r = 450\text{--}500$ м). Более крутая излучина реки в районе канала Клычниязбай значительно усиливает интенсивность поперечной циркуляции.

Исследование кинематических параметров потока в зоне дейгиша

На основании данных натурных измерений попытались получить кинематические параметры потока на участке дейгиша, которые позволят в какой-то мере уточнить закономерность растекания потока и его влияние на размываемость дна и берегов русла.

В течение октября 1966 г. на характерных створах участка дейгиша в районе канала Клычниязбай дважды выполнены измерения скорости потока по вертикалям.

На участке исследований протяженностью 4 км измерения скоростей выполнялись на 5 створах: из них 38 и 31 расположены выше участка; 25 и 20 в центре дейгиша, где происходит свал потока к берегу, и створ 10 — в конце участка дейгиша (рис. 4).

По этим поперечникам было произведено нивелирование уровней воды и промерены глубины. Каждый створ был разделен на 4–7 вертикалей. Скорости измеряли гидрометрической вертушкой, которая укреплялась на гидрометрический груз, опускалась и поднималась тросом при помощи лебедки.

Первое измерение скоростей выполнено за период с 4 по 8 октября. По полученным данным графоаналитическим методом был определен расход воды в реке, который колебался от $Q = 947$ до $1085 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Второе измерение — с 21 по 25 октября по тем же пяти створам. Расход воды за этот период изменялся от $Q = 910$ до $1010 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Положение промерных поперечников в плане и распределение скоростей по ширине русла показано на рис. 4, а на рис. 5 показаны эпюры распределения скоростей на вертикалях и по ширине русла, из которых видно, что распределение продольных скоростей по вертикали отличается неравномерностью, придонные скорости значительно меньше поверхностных.

Причем перед участком размыва (поперечник 38), наибольшие величины скоростей оказались вдоль правого бе-

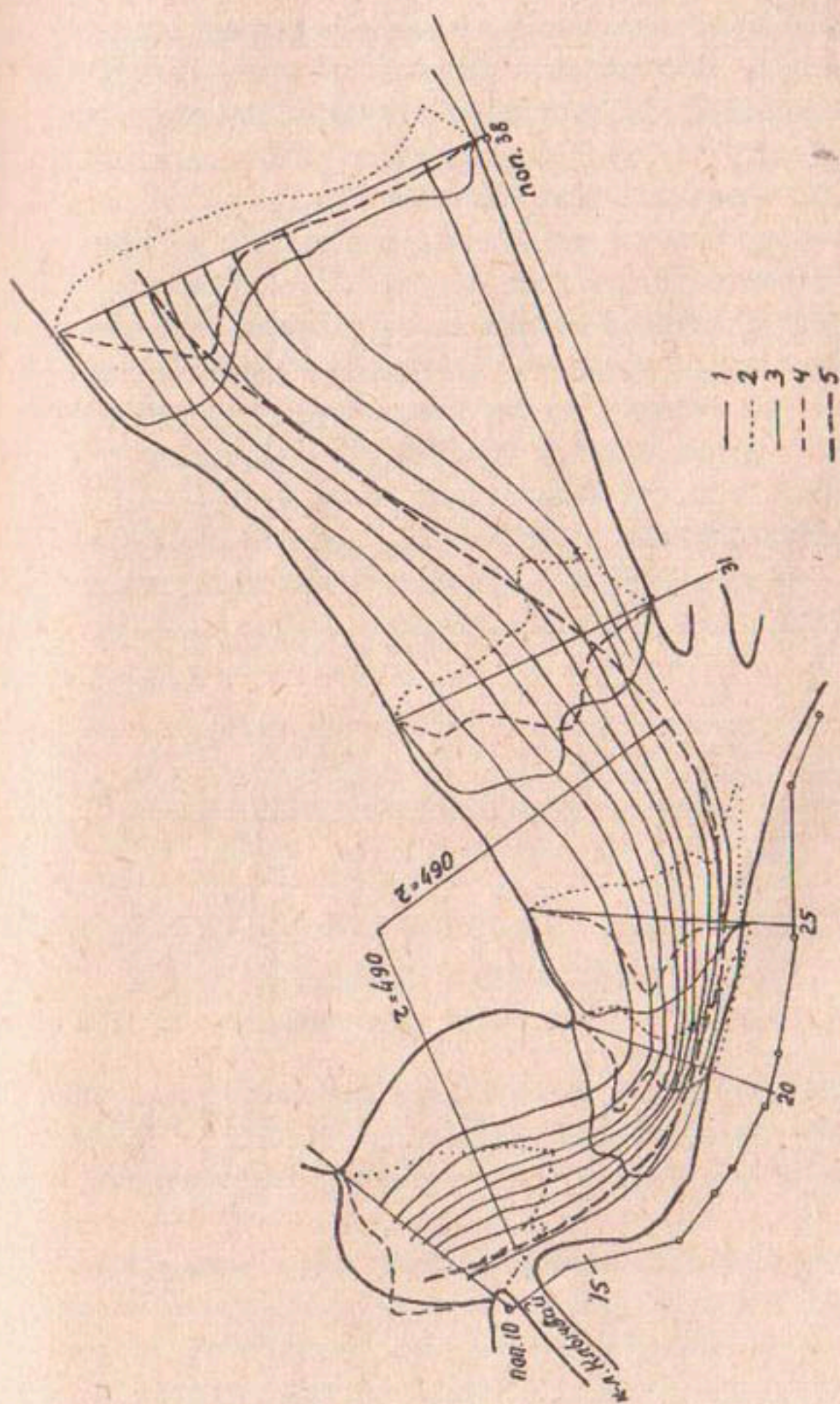


Рис. 4 План участка р. Амударья в районе канала Клычнйзбай
1 - скорости; 2 - глубины; 3 - границы струй; 4 - наносы;
5 - динамическая ось.

рега, в центре дейгиша максимальная скорость потока находится вдоль правого мелководного берега, а не в зоне максимальных глубин.

На основании измеренных скоростей и глубин потока по вертикалям были определены погонные расходы Q в створах по ширине русла. Наибольшие величины Q оказались вдоль левого берега в глубоководной части русла, т.е. во второй и третьей зоне по схеме дейгиша.

Ниже района размыва максимальные погонные расходы оказались по середине русла (рис.4 и 5). По величинам средней скорости и глубине потока на вертикалях были вычислены значения числа Фруда F_r по створам (рис.5). Распределение F_r по ширине створов неравномерно, с наибольшим значением их вдоль правого берега, где наблюдались большие скорости, т.е. на мелководной части русла.

На участке дейгиша значение F_r намного меньше, чем на подходном участке. В табл. I приводятся максимальные и средние значения числа Фруда по створам.

Таблица I

Попе- речники	Q , м ³ /сек	V_{cp} , м/сек	h_{cp}	$F_{r\,cp}$	V_{max}	h	$F_{r\,max}$
38	978	1,0	1,48	0,069	1,71	1,75	1,17
31	1007	1,0	2,54	0,04	1,43	1,10	1,189
25	947	1,29	2,38	0,071	1,53	2,34	0,14
20	1020	1,47	3,19	0,069	1,57	1,5	0,21
10	1085	0,75	4,7	0,0012	1,03	6,2	0,0174

Как видно из табл. I максимальные значения числа Фруда в стрекне потока превышают средние примерно в 2-3 раза, за исключением створа 10, который находится за пределами дейгиша.

При измерении скоростей на вертикалях с 4 по 8 октября 1966 г. батометром Жуковского отбирались пробы влекомых наносов у дна. На рис.4 и 5 показано распределение донных наносов по ширине русла. Как видно из этих рисунков,

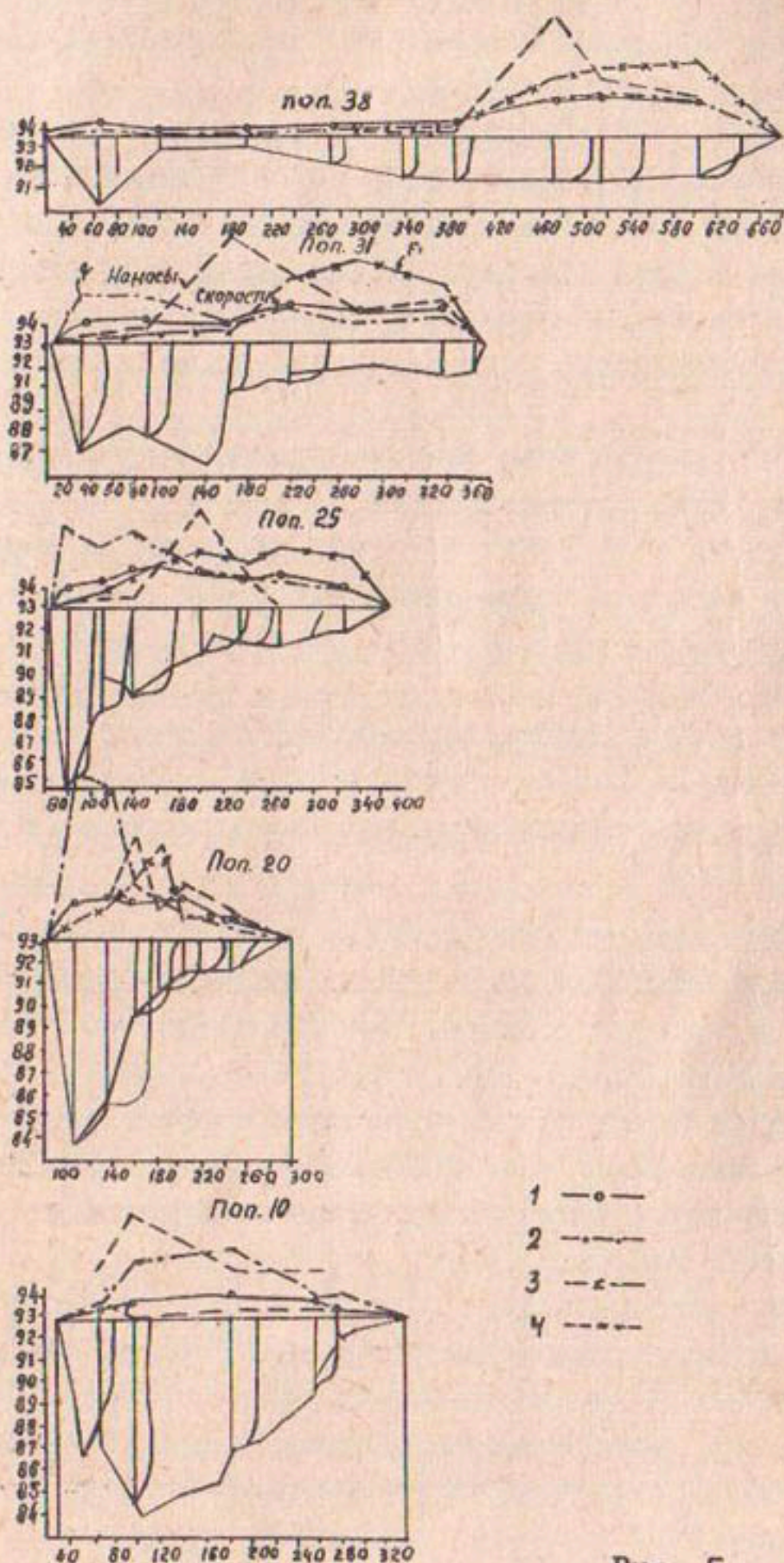


Рис. 5.

Поперечные профили и распределение продольных составляющих скоростей при $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{сек.}$

1 — скорость; 2 — расход; 3 — число Фруда; 4 — наносы.

место максимально насыщенного придонного слоя наносами совпадает с распределением максимальных скоростей, и находится в мелководной части русла.

29/У, 10/УП и 29/УП- 1967 г. Экспедицией № 15 Ленгидропроекта на участке р.Амударья в районе канала Клыч-ниязбай были также произведены измерения скоростей потока по вертикалям в трех створах. На основании этих измерений графоаналитическим методом мы определили расход воды и установили основные гидравлические элементы потока по створам.

Скорости и направления течения производились измерителем течения ГР-42, установленным на катере.

На основании полученных значений скорости по вертикалям и глубине потока мы определили изменения погонных расходов по ширине русла, по которым установили величины расхода воды по створам.

По эпюре распределения погонных расходов по ширине русла была определена ширина струй, несущих одинаковые расходы q , которые могут быть выражены через скорости и живые сечения $q = V \cdot h \cdot b$,

где b - ширина элементарной струи с расходом $q = 100 \text{ м}^3/\text{сек}$. При расходе реки $Q = 900$ и $1000 \text{ м}^3/\text{сек}$ получили примерно 9-10 струй, несущих равные расходы. Графическим путем были определены изменения ширины этих струй по течению /4/.

Разбив весь поток на элементарные струи с расходом $100 \text{ м}^3/\text{сек}$, получили схему течения потока на исследуемом участке реки. На рис.4 показано плановое распределение скоростей и очертание плановых струй.

Распределение показывает, что на участке подхода (рис.4) основной поток находится у правого берега, затем начинается снал его к вогнутому берегу, где он и сосредоточивается проходя участок дейгиша, ниже створа 20 за выступом всегда образуется водоворотная зона и наблюдается отложение наносов.

Из приведенных данных следует, что распределение скоростей и погонных расходов по ширине потока все время

изменяется вдоль участка исследований. Например на подходном участке максимум скоростей и погонные расходы находятся ближе к правому выпуклому берегу. Однако далее начинается их переформирование, и максимальные значения этих величин постоянно передвигаются в зону дейгиша к вогнутому берегу (рис. 4, 5, створы 15 и 20).

На выходе из участка дейгиша (створ 10) скорости и погонные расходы резко перераспределяются и наибольшие значения уже сходятся в середине русла. Искривление плановых струй начинается еще на подходном участке, но радиус кривизны здесь меньше, чем за зоной дейгиша. Границы струй в области размыва близки к концентрическим окружностям с радиусом порядка 450–500 м.

При изучении кинематических параметров потока в зоне дейгиша большой интерес представляет установление интенсивности поперечной циркуляции. Этим вопросом занимались многие исследователи. В дальнейшем изложении мы будем пользоваться работой И.Л.Розовского /8/.

Как известно, появление поперечной циркуляции вызывает значительные изменения скоростной структуры потока в зоне дейгиша.

Интенсивность поперечной циркуляции вдоль исследуемого участка можно оценить распределением поперечных скоростей потока по глубине и ширине русла. Для определения поперечных составляющих скорости воспользуемся расчетной формулой Розовского И.Л. /8/

$$V_z = \frac{1}{\alpha^2} V_{cp} \frac{h}{r} \left[F_1(\eta) - \frac{\sqrt{g}}{\alpha l} F_2(\eta) \right], \quad (I)$$

где α — параметр логарифмической формулы распределения скорости (постоянная Кармана);

V_{cp} — средняя скорость по вертикали;

h — глубина потока на вертикали;

r — радиус изгиба;

l — коэффициент Шези;

$F_1(\eta)$ и $F_2(\eta)$ — функции от относительной глубины, для которых автором составлены таблицы и графики.

Как видно из формулы (I) величина V_γ прямо пропорциональна отношению $\frac{h}{\gamma}$, средней скорости V_{cp} и имеет обратную зависимость от коэффициента Шези-С, т.е. от шероховатости дна русла. Кроме того, при определении значения V_γ следует установить величину параметра логарифмической формулы распределения скорости α . Оказывается, параметр α , который прежде считался универсальной постоянной, равной $\sim 0,4$ по данным новых исследований является переменной величиной. Г.В.Железняков /3/ на основании многочисленных опытных материалов и обобщений предложил формулу для определения параметра α

$$\alpha = \frac{2}{1 + \gamma_*} + 0,30, \quad (2)$$

где γ_* — отношение средней скорости к динамической. При этом для плоской задачи под γ_* принимается отношение

$$\gamma_* = \frac{u_b}{u_*} = \frac{u_b}{\sqrt{gh_*}}, \quad (3)$$

где u_b — средняя скорость на вертикали;
 u_* — динамическая скорость на вертикали с глубиной.
 При пространственной задаче

$$\gamma_* = \frac{V}{V_*} = \frac{V}{\sqrt{gh_{cp}}}, \quad (4)$$

где V — средняя скорость потока;
 h_{cp} — средняя глубина.

В.Г.Талмаза /9/ для условия пространственной задачи предложил другую формулу

$$\alpha = \frac{1,5\sqrt{g}}{\rho} = 0,314 \quad (5)$$

Как видно из вышеприведенного, параметр α зависит от шероховатости русла (т.е. от V_* и ρ).

Таким образом по данным измерений нам необходимо было определить значение параметра α для каждого конкрет-

ного случая. Это и было сделано по зависимостям (2 и 5) на основании измеренных гидравлических элементов потока на участке р.Амударья в районе канала Клычниязбай. Значения φ_* установлены для каждой вертикали по зависимости /3/, а для всего сечения — по зависимости /4/. Примерно такие же величины получаются, если при вычислении параметра $\mathcal{K}$ пользоваться зависимостью /5/. Для створа 25 при $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{сек}$ гидравлические элементы потока равны

$$h_{cp} = 2,38 \text{ м}, \quad V = 1,29 \text{ м/сек}, \quad \gamma = 0,000160 \text{ и } \ell = 68.$$

По формуле (4) тогда получаем $\varphi_* = 21,2$,

по зависимости (2) $\mathcal{K} = 0,39$,

по зависимости (5) $\mathcal{K} = 0,383$.

Результаты вычисления параметра $\mathcal{K}$ показали, что значение $\mathcal{K}$ зависит от глубины потока и величина параметра $\mathcal{K}$, при глубинах потока от 0,8 до 10 м меняется от 0,35 до 0,7. Однако большая часть вычисленных значений параметра $\mathcal{K}$ при глубинах потока до 5 м оказалась в пределах 0,35 + 0,45.

Для дальнейших расчетов параметр $\mathcal{K}$ для подходного участка мы приняли $\mathcal{K} = 0,4$. С другой стороны, для исследуемого участка реки значение коэффициента Шези-С оказалось также непостоянным. Результаты вычисления показали, что в зависимости от глубины потока коэффициент ℓ изменяется от 25 до 90. Поэтому при определении значений V_z по зависимости (I), величина ℓ была установлена для каждого створа и в расчетах было принято ее среднее значение. Установив значение параметра $\mathcal{K}$ и коэффициента Шези, по зависимости (I) были вычислены поперечные составляющие скорости потока по всем створам исследуемого участка при различных расходах водотока.

Приводим пример расчета по данным измерений за 4-8 октября 1966 г. для створа 20 при $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{сек}$, $B = 220 \text{ м}$,
 $h_{cp} = 3,19 \text{ м}$, $r = 490 \text{ м}$ (рис.5), $V_{cp} = 1,47 \text{ м/сек}$, $\ell_{cp} = 60$.
 Так как $\frac{h_{cp}}{r} = 0,066$, $\frac{B}{h} = 69$ и $\ell > 50$, то Розовский И.Л. рекомендует пользоваться зависимостью (I).

Вер- ти- каль	$h,$ м	$V,$ м/сек	η	0,01	0,1	0,2	0,3
			$F_1(\eta)$	-1,87	-1,28	-0,852	-0,487
			$F_2(\eta)$	-1,71	-0,782	-0,35	-0,08
1	9	1,65	V_{z_1}	-0,32	-0,223	-0,152	-0,09
2	7,5	1,84	V_{z_2}	-0,29	-0,206	-0,141	-0,083
3	3,4	1,72	V_{z_3}	-0,132	-0,095	-0,0645	-0,038
4	2,3	1,69	V_{z_4}	-0,082	-0,059	-0,0406	-0,0238
5	1,5	1,8	V_{z_5}	-0,056	-0,04	-0,0275	-0,0162
6	1,4	1,04	V_{z_6}	-0,0305	-0,0218	-0,015	-0,0087

Таблица 2

0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I
-0,151	0,123	0,373	0,615	0,853	1,068	1,261
-0,093	0,215	0,294	0,348	0,389	0,421	0,436
-0,0307	0,018	0,062	0,108	0,151	0,19	0,228
-0,0285	0,0166	0,0575	0,10	0,14	0,176	0,21
-0,013	0,0076	0,0262	0,0455	0,064	0,081	0,096
-0,0082	0,0048	0,0164	0,0295	0,04	0,051	0,06
-0,0055	0,0032	0,0112	0,0195	0,0274	0,0344	0,041
-0,003	0,00175	0,0011	0,0105	0,0148	0,0187	0,022

Тогда получим $V_z = 0,0127 V_{cp} \cdot h [F_1(\eta) - 0,13 F_2(\eta)]$

Значения V_z для створа 20 приведены в табл.2, там же даны значения функций $F_1(\eta)$ и $F_2(\eta)$.

Аналогично были подсчитаны поперечные составляющие скорости других створов и расходов воды. На рис.6 показано распределение поперечных составляющих скорости по сечению русла в характерных створах при $Q = 1250 \text{ м}^3/\text{сек}$. Из рисунка видно, что во всех створах отчетливо наблюдается выраженная односторонняя поперечная циркуляция с поверхностными скоростями, направленными к левому берегу, и придонными, направленными к откосу надвигающейся призмы наносов. Значения поперечных составляющих скорости по отдельным вертикалям створа - 32 составили 10-15% от продольных составляющих, а в створе 26 - до 20 + 25% от u_s по вертикали. Наибольшие значения V_z оказались на вертикали I в створе 15, где у дна $V_{zq} = 52 \text{ см/сек}$, а у поверхности $V_{zn} = 37,5 \text{ см/сек}$, что составляет примерно 25+30% от средней скорости по вертикали $u_s = 1,8 \text{ м/сек}$, или же 35-38% от средней скорости по сечению $V_{cp} = 1,4 \text{ м/сек}$.

За зоной дейгиша (створ 10) V_{zq} и V_{zn} имеют уже сравнительно малые значения и составляют не более 10% от продольной скорости по вертикали. Характерно для всех эпюр увеличение поперечной скорости у дна на расстоянии около 0,01. Кроме того, из приведенных данных наглядно видно, что в центре размыва поперечные составляющие скорости имеют наибольшие значения.

В 1967 г. измерены одновременно величины и направления скорости при помощи измерителя течения ГР-42. Вектора скоростей на поверхности потока направлены к левому берегу, а вектора скоростей придонных слоев - в сторону правого берега, что является следствием образования здесь односторонней поперечной циркуляции. Для определения составляющих скорости Розовским И.Л. /8/ предложены формулы

$$V_{np} = V \cdot \sin \varphi, \quad V_z = V \cdot \cos \varphi$$

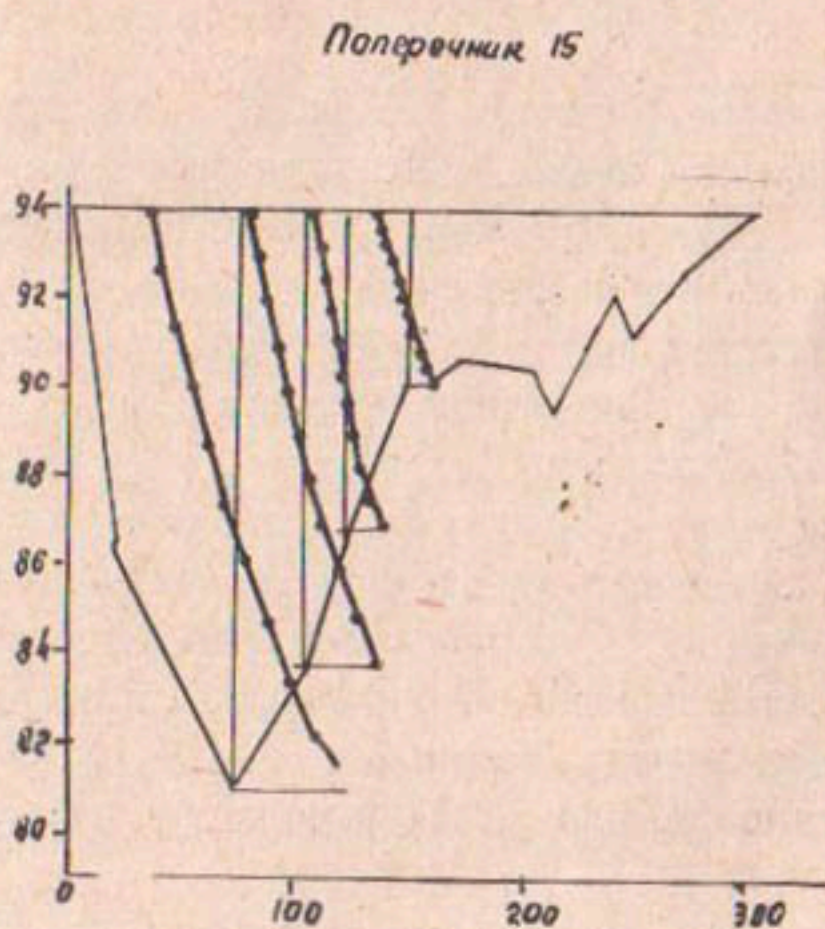
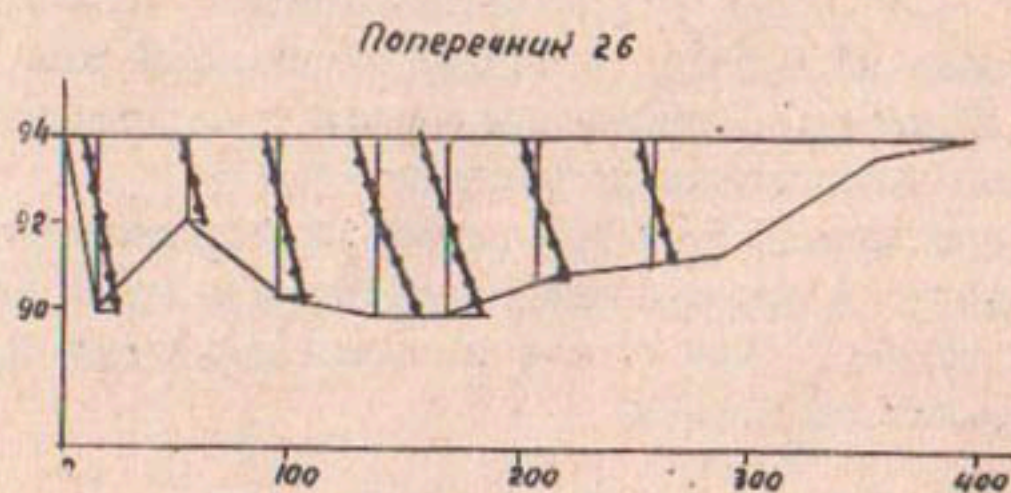
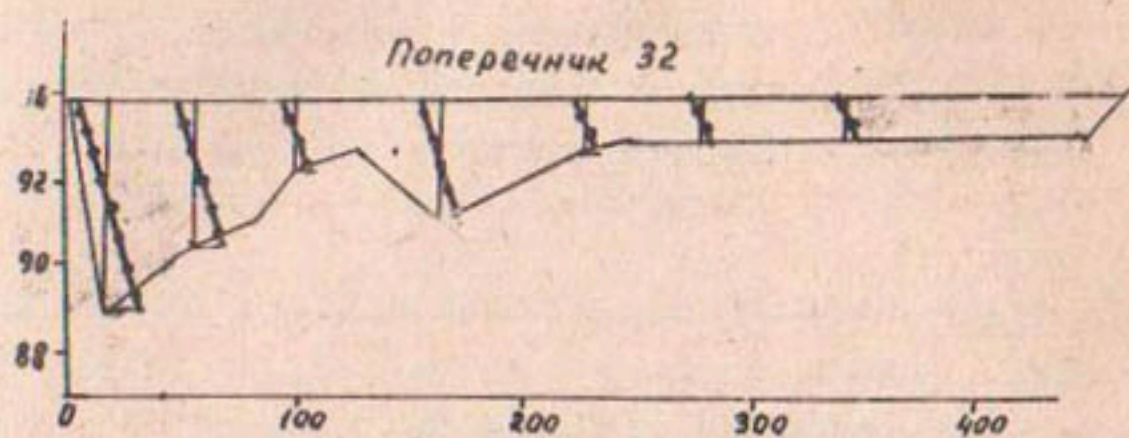


Рис. 6

Распределение поперечных составляющих скоростей при $Q = 1250 \text{ м}^3/\text{сек.}$

где V и φ — величины скоростей и углы отклонения их направления от оси потока. Угол отклонения φ вектора скорости от направления средней скорости определяется по формуле

$$\varphi = \alpha - \alpha_{cp},$$

где α_{cp} — направления средней скорости потока по вертикали.

Для вертикали I (створ 15) $\alpha_{cp} \approx 100^\circ$. У поверхности $\varphi = 14^\circ$, $V = 1,46$ м/сек. Тогда $V_x = 0,353$ м/сек. Вблизи дна $\varphi = 15^\circ$, $V = 1,52$ м/сек, при этом $V_z = 0,40$ м/сек. Полученные значения V_x примерно соответствуют вычисленным по зависимости (I).

При образовании поперечной циркуляции на изгибе одновременно с поперечными возникают и вертикальные составляющие скорости. Для оценки величины последней И.Л.Розовским предложена формула

$$V_z = -\frac{1,5}{x^2} V_{cp} \left(-\frac{h}{r}\right)^2 (\eta - \eta^2). \quad (6)$$

Для вертикали I створа 15 (рис.6), где продольные и поперечные скорости имеют наибольшую величину, при $h = 13$ м, $V_{cp} = 1,8$ м/сек, $r = 475$ м и принятом $x = 0,4$, вертикальная составляющая $V_z = -0,0127 (\eta - \eta^2)$. Максимальное значение при $\eta = 0,5$ будет $V_z = 0,032$ м/сек. Как видно V_z значительно меньше V_x .

Однако И.Л.Розовский [8] показал, что вертикальная составляющая скорости у берега имеет величину того же порядка, что и поперечная в средней части потока. Отсутствие измеренных величин V_z не позволяет конкретно установить влияние их на образование и интенсивность поперечной циркуляции в зоне закругления. Полученные данные по расчетным зависимостям, предложенные различными авторами, имеют приближенный характер.

Образовавшаяся поперечная циркуляция на закруглении в данном случае в зоне дейгиша, при выходе из этого участ

будет постепенно затухать и переходить в параллельно-струйное движение. Очевидно здесь и кончается зона дейгиша и профиль русла приобретает параболическую форму.

И.Л.Розовский предложил формулу

$$x = \frac{2.30}{\sqrt{g}} \cdot h,$$

для определения длины участка затухания, считая, что x заканчивается там, где интенсивность циркуляции составляет только 10% от максимальной ($V_z = 0,1 V_{z0}$).

При наибольшей величине $V_{z0} = 0,52$ м/сек у дна на вертикали I, створа I5 (рис.6) и глубине потока $h = 13$ м. $x = 630$ м.

Для этого же случая по формуле И.Л.Розовского определим предельный угол поворота, на котором произойдет развитие циркуляции

$$\theta_{пр} = 1,5 \frac{v}{\sqrt{g}} \cdot \frac{h}{r} \approx 0,86 \approx 50^\circ \quad (9)$$

При такой длине участка и угле затухания поперечной циркуляции район, где отсутствует эта циркуляция, будет располагаться за пределами дейгиша (ниже створа I0).

Действительно, за головным сооружением канала Клыч-ниязбай профиль русла имеет обычную параболическую форму с выравненными глубинами по всему сечению. Таким образом, особенности скоростей структуры потока придают специфический характер формированию русла в зоне дейгиша.

Предложенная на основании натурных наблюдений качественная схема А.М.Мухамедова и В.В.Тузова /5/ теперь подтверждается количественными характеристиками потока, т.е. распределением скоростей, погонных расходов и интенсивностью поперечной циркуляции.

В подходном участке наибольшие величины скоростей и погонных расходов сосредоточиваются у правого берега и в результате постепенного свала потока основная часть расхода протекает вдоль левого берега. Здесь на узкой полосе шириной 200-300 м проходит весь расход реки, а продольные

скорости потока доходят до 1,5–2,0 м/сек, погонные расходы до 5–10 м³/сек.

С другой стороны образовавшаяся вдоль левого берега мощная поперечная циркуляция способствует размыву берега и дна, перемещению наносов по откосу надвигающейся призмы отложений.

Натурные данные показывают, что размывы русла реки непосредственно в зоне дейгиша превышают глубину, соответствующую неразмывающим скоростям. Образующаяся здесь вымоина имеет внушительные размеры. Единственная причина, объясняющая увеличение глубины вымоины – интенсивная поперечная циркуляция.

Как видно из вычисленных значений, поперечная составляющая скорости вблизи дна доходит до 0,30–0,5 м/сек, что в 1,5–2 раза превышает неразмывающие скорости потока для частиц с $d_{90} = 0,2$ мм, которыми сложено дно на этом участке реки.

На основании обработки и анализа натурных материалов на участке р.Амударья в районе канала Ташсака и Клыч-ниязбай нам удалось установить закономерности изменения основных гидравлических элементов потока в зоне дейгиша. Получили примерную схему плана течения, плановое распределение скоростей и границы элементарных струй с равными расходами.

На основании зависимости И.Л.Розовского получены величины поперечной составляющей скорости, их распределение по вертикали и ширине русла. Все это дало возможность оценить интенсивность поперечной циркуляции в зоне дейгиша и установить длину ее затухания. Новые данные подтвердили схему дейгиша, предложенную А.М.Мухамедовым и В.Е.Тузовым на основании натурных наблюдений.

Выполненная работа по изучению кинематики в зоне дейгиша – предварительная. В дальнейшем необходимо шире развернуть натурные наблюдения на участке дейгиша с измерением продольных и поперечных составляющих скорости, одновременной съемкой русла, измерением уровней воды и промерами глубин.

Кроме того, следует больше экспериментировать на моделях, с воспроизведением явления дейгиша для детального изучения кинематики потока. Основная задача экспериментов — изучение картины распределения продольных и поперечных составляющих скорости течения в разных точках потока на участке дейгиша при различных расходах, глубинах, углах свала к берегу и насыщениях потока наносами. Особое внимание должно быть уделено характеру перемещения наносов на участке свала и в зоне дейгиша.

Полученные на основании таких исследований данные позволят в дальнейшем более правильно вскрыть механизм явления дейгиша и изучить кинематику потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абальянц С.Х. Глубина размыва у берегозащитных сооружений на р.Амударья, Вопросы гидротехники, вып.27, Ташкент, 1965.
2. Алтуний С.Т. Русловые процессы, защита берегов от размыва, борьба с наводнениями и наносами, Материалы по производственным силам Узбекистана, вып.II, Изд-во АН УзССР, Ташкент, 1960.
3. Железняков Г.В. Зависимость кинематических параметров открытого потока от гидравлических сопротивлений, Гидравлика рек, дорожных водопропускных сооружений и напорных потоков, МИИХТ, вып.242, Изд-во "Транспорт", М., 1967.
- Караушев А.В. Речная гидравлика, гидромет. Изд-во, Л., 1969.
5. Мухамедов А.М., Тузов В.Е. Особенности русловых деформаций р.Амударья (дейгиш), Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып.36, Л., 1967.
6. Мухамедов А.М., Лапшенков В.С. О некоторых формах береговой деформации при грядовом движении наносов по наблюдениям на модели р.Амударья, Труды САНИИРИ, вып.II'7, Ташкент, 1969.

7. Мухамедов А.М. Некоторые особенности р.Амударья и причины размыва берегов (явление дейгиш). Тр.САНИИР вып.120, Ташкент, 1970.
8. Розовский И.Л. Движение воды на повороте открытого русла, Изд-во АН УССР, Киев, 1957.
9. Талмаза В.Г. Некоторые вопросы гидравлики и транспортирующей способности горных рек, автореферат, Ташкент, 1964.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ В ПОТОКЕ НА УЧАСТКЕ ДЕЙГИША

На р.Амударья часто происходит интенсивный размыв берегов-дейгиш /4,5/. Впервые в 1966-1967 гг. экспедиции отдела русел САНИИРИ и № 15 Ленгидропроекта измеряли скорости потока на участке дейгиша в районе канала Клычниязбай на р.Амударья /6/.

На участке дейгиша наблюдался резкий свал потока под острым углом на берег с большими скоростями течения и уклоном. В результате встречи потока с берегом происходит интенсивный размыв берега и дна русла, которому еще более способствует большое количество наносов, транспортируемых в придонном слое и образующих призму отложений (коса) на подходе к размываемому берегу /1,2,4,5/.

Поскольку механизм движения потока на участке дейгиша - весьма сложен, а полевых данных недостаточно, многие детали, происходящих здесь процессов, мало исследованы.

Изучение скоростей структуры потока позволит установить закономерность русловых процессов, вскрыть механизм дейгиша и разработать мероприятия по борьбе с размывом берегов. Для этой цели в отделе русел САНИИРИ в течение 1968-1970 гг. проводятся лабораторные исследования, часть из которых изложена в данной работе.

За основу модели принят схематический план участка р.Амударья в районе канала Клычниязбай. Эксперименты должны были установить связь между гидравликой потока и деформациями русла.

На русловой площадке построили модель. Длина ее рабочей части 15 м, ширина 4-6, высота бортов 0,7 м. Весь участок разбили на 13 промерных створов. Расходы измеряли трапецеидальным водосливом. Предельно возможный расход насосной установки - 50 л/сек. Речной песок со средним диаметром $d_{cp} = 0,25$ мм выкладывали по всей длине модели

слоем 60 см, что давало возможность получить конечные значения глубинных деформаций. Подавали наносы (песок) из бункера протарированной воронкой и наклонным щитом.

Первая серия опытов помогла изучить структуру распределения скоростей в потоке при незакрепленных берегах, рассмотреть, с одной стороны, влияние формы русла на скоростное поле потока, с другой — воздействие скоростного поля на формирование русла в зоне размыва. При этом можно определить направления и величины скоростей в центре действия, установить причины прекращения деформации берега, изучить характер перемещения наносов у вогнутого берега и отложения вдоль выпуклого берега.

Во второй серии опытов модель имела закрепленные берега и размываемое дно, что исключало плановые смещения, а направления струй и величины скоростей давали возможность определить место возможного размыва берега.

В каждом опыте по 13 створам измеряли глубины, скорости, определяли направления течений, уклоны водной поверхности, проводили нивелирование дна. Траектории поверхностных струй и скорости определялись поплавками, донные струи — битумными шариками.

Скорости и направления течений определялись на 6—10 вертикалях каждого створа микровертушкой системы М.А.Мухтарова. При малых глубинах измерения производились через 1 см по вертикали, при больших — через 2—4. Направления течений фиксировались или шелковой нитью, точность измерений которой невелика [7], или сконструированным М.П.Мухтаровым специальным флюгером установленным на микровертушке, при помощи которых одновременно измерялась скорость и фиксировалось направление течения. Прибор был протарирован на специальном лотке и скорости потока вычислены по зависимости

$$V = 1 + 1,5 \frac{n}{t}$$

где n — число оборотов вертушки;
 t — время, сек.

Число оборотов вертушки фиксировалось счетчиком, время осреднения принималось равным $t = 30$ сек.

Размеры микровертушки и флюгера позволяли измерять скорость и направление течения у дна на высоте 5–6 мм. Продольный уклон водной поверхности определялся при помощи тастера нивелированием. На изгибе были произведены измерения горизонта воды для установления величины поперечного уклона. Среднее направление течения воды на вертикали в центре закругления определялось по методике и формуле И.Л. Розовского [7]

$$\alpha_{cp} = \frac{\sum \alpha \Delta h V}{\sum \Delta h V},$$

где α – угол между направлением створа и вектором скорости;

Δh – расстояние между точками измерения скорости по глубине;

V – величина скорости течения в точке.

В различных точках вертикали определялся угол отклонения φ вектора скорости в данной точке от направления средней скорости на вертикали $\varphi = \alpha - \alpha_{cp}$.

Продольные V_n и поперечные V_z , составляющие вектора скорости, находили из формул

$$V_n = V \cdot \cos \varphi, \quad V_z = V \cdot \sin \varphi.$$

По эпюрам распределения V_n на вертикали были определены средние скорости и построены эпюры их распределения по ширине русла. В сравнении средней скорости потока по всему сечению V_{cp} с величиной, определяемой $V_{cp} = \frac{Q}{\omega}$ разница составила $\pm 5\%$. Зная величину и направление средней скорости по вертикали было построено плановое распределение скоростей по створам на исследуемом участке. По распределению средних скоростей и глубин потока на вертикали были определены погонные расходы и построены эпюры элементарных расходов, по ним установили расход воды в каждом створе, который оказался равным расходу, подаваемому на модель, разница – не более $\pm 5\%$.

Для изучения распределения потока на участке подхода и в зоне размыва берега при каждом расходе поток был разбит на 10 элементарных струй, несущих равные расходы $Q_{ст}$. Получили схему течения потока на исследуемом участке. Для каждой вертикали по величинам скорости и глубины было подсчитано число Фруда и получено его распределение по ширине русла.

Для определения наличия поперечной циркуляции и на основе вычисленных значений V_z на исследуемом участке были построены схемы циркуляций для каждого створа.

Поскольку интенсивность явления дейгиша зависит от многих факторов [4,5], а воспроизвести их одновременно на модели трудно и фиксировать все изменения, происходящие в потоке и русле невозможно, опыты первой серии (русло с размываемым дном и берегами) решили проводить при постоянных значениях расхода воды, наносов, уклона и переменном угле свала потока к размываемому берегу. По натурным данным на р. Амударья в зоне дейгиша угол свала потока колебался в пределах от 20 до 70° изменением направления подхода участка русла к вогнутому берегу.

В наших опытах, в зависимости от размещения модельного русла на экспериментальной площадке, угол свала потока удалось изменять от 30 до 70°.

Перед началом каждого опыта песчаное дно русла выкладывалось в поперечном сечении горизонтальным, в продольном с уклоном близким к водной поверхности, который предполагалось получить при данном сочетании расхода воды и песка. При подаче постоянного расхода воды и наносов дно постепенно деформировалось, и становился возможным перенос потоком твердого расхода по всей длине исследуемого участка. В итоге на модели устанавливался постоянный средний уклон водной поверхности.

Размыв наблюдался только на участке вогнутого берега, куда был направлен поток, и в начале поворота. Причем, в первое время берег размывался более интенсивно, затем процесс постепенно затухал и через определенное время почти совсем прекращался. Для установившегося режима требова-

лось до 60–70 часов. После этого проводились измерения скоростей и съемка русла. Таким образом, для каждого угла свала потока при постоянном жидком и твердом расходе, уклоне были получены соответствующие значения гидравлических характеристик потока и деформации русла.

Основные результаты опытов первой серии при

$Q = 20$ л/сек приведены в табл. I, где

- α^0 – средний уклон между направлением течения и касательной к берегу в точке удара (угол свала);
- B_p – ширина полосы размытого берега в зоне наибольшего размыва;
- R_1 – средний радиус вогнутого берега после размыва;
- R_2 – средний радиус выпуклого берега;
- H_{cp} – средняя глубина потока в зоне наибольшего размыва;
- H_{max} – максимальная глубина потока;
- V_{cp} – средняя скорость;
- F_z – число кинетичности;
- i_x – поперечный уклон в зоне наибольшего размыва;
- i_l – продольный уклон водной поверхности;
- V_{max} – максимальная скорость.

План модели и обозначения основных параметров русла показаны на рис. I.

Из проведенных опытов видно, что при постоянном расходе воды и наносов, уклоне на различных углах свала гидравлические характеристики потока существенно не меняются. Значительно отличаются полученные деформации – размыв вогнутого берега.

Величина размыва зависит от угла свала (угол атаки) и сосредоточения потока в начале участка поворота. При малом угле свала интенсивность размыва невелика (опыты I–3), с его увеличением процесс происходит более интенсивно, ширина и глубина размыва увеличиваются (опыты 4–9). Центр размыва оказался между створами 8–10 (рис. I), где наблюдались наибольшая глубина потока и ширина полосы размыва.

Таблица I

№ опыта	$q_{тв}$ г/сек	α^0	i	δp см	R_1 см	R_2 см	$H_{ер}$ см	$H_{тол}$ см	$V_{тол}$ см/сек	$V_{ер}$ см/сек	F_x	i_x
1	1,3	30	0,0027	60	600	260	4,6	10,6	38	18,7	0,0770	0,00195
2	1,3	35	0,0023	100	610	300	4,7	8,8	36	17,5	0,0670	0,00133
3	1,2	40	0,0023	110	630	280	5,0	10,2	38	18,8	0,0730	0,00165
4	1,5	45	0,0033	150	620	260	3,6	9,1	40	19,0	0,1020	0,00135
5	1,2	50	0,0025	130	570	320	5,8	10,0	39	19,0	0,0630	0,00250
6	1,3	60	0,0027	150	560	280	5,9	10,8	39	18,3	0,0580	0,00260
7	1,3	40	0,0027	120	600	290	4,1	9,0	38	19,0	0,0895	0,00226
8	1,3	50	0,0025	160	540	270	4,5	9,5	39	18,5	0,0775	0,00230
9	1,3	70	0,0025	180	420	180	5,3	9,7	40	19,8	0,0755	0,00256

Результаты исследований показали:

а) при различных углах свала потока средний радиус вогнутого берега после размыва оказался изменчивым и колебался в пределах $R_1 = 460-630$ см. Такое же положение наблюдалось и в зоне отложения наносов у выпуклого берега, R_2 изменялся от 180 до 320 см;

б) резко меняются ширина и длина полосы размыва: при $\alpha^\circ = 30-70^\circ$ наибольшая ширина полосы размыва колеблется в пределах $B_p = 60-180$ см;

в) поперечный уклон в центре размыва оказался непостоянным $i_z = 0,00133 \div 0,00260$, при $\alpha^\circ = 50 \div 70^\circ$, доходит до величины продольного уклона;

г) наибольшая глубина потока в центре размыва составила $H_{max} = 8,8 - 10,8$ см, число Фруда $0,067 \div 0,102$, а максимальная скорость — до 40 см/сек, что в 2 раза больше, чем средняя скорость потока в сечении;

д) при деформации берега на повороте подводная часть его приобретает вертикальное положение, а угол наклона откоса подводной части равен углу естественного состояния песка в воде и составляет $30-32^\circ$.

Границы зон размыва и отложений в разных опытах несколько смещаются вверх и вниз по течению. Глубоководная часть русла вдоль вогнутого берега имеет различную длину, ширину и крутизну берегового откоса, несколько меняется положение самой глубокой точки в русле. В одних опытах в зоне отложения наносов гребень переката имеет форму плавной и четкой линии, в других он расчленен грядами, длина которых достигала 15-20 см при высоте 2-3 см.

В задачу экспериментов входило получение распределения скоростей потока на участке дейгиша. Подробное измерение скоростей было проведено в ряде опытов (7,8,9).

Распределение средних по вертикали скоростей на подходе и в зоне размыва берега резко отличается (рис. I). На прямолинейном участке наблюдается увеличение скоростей у правого берега и уменьшение их у левого. В начальном сечении поворота они выравниваются по всей ширине русла. На изгибе происходит интенсивное перераспределение

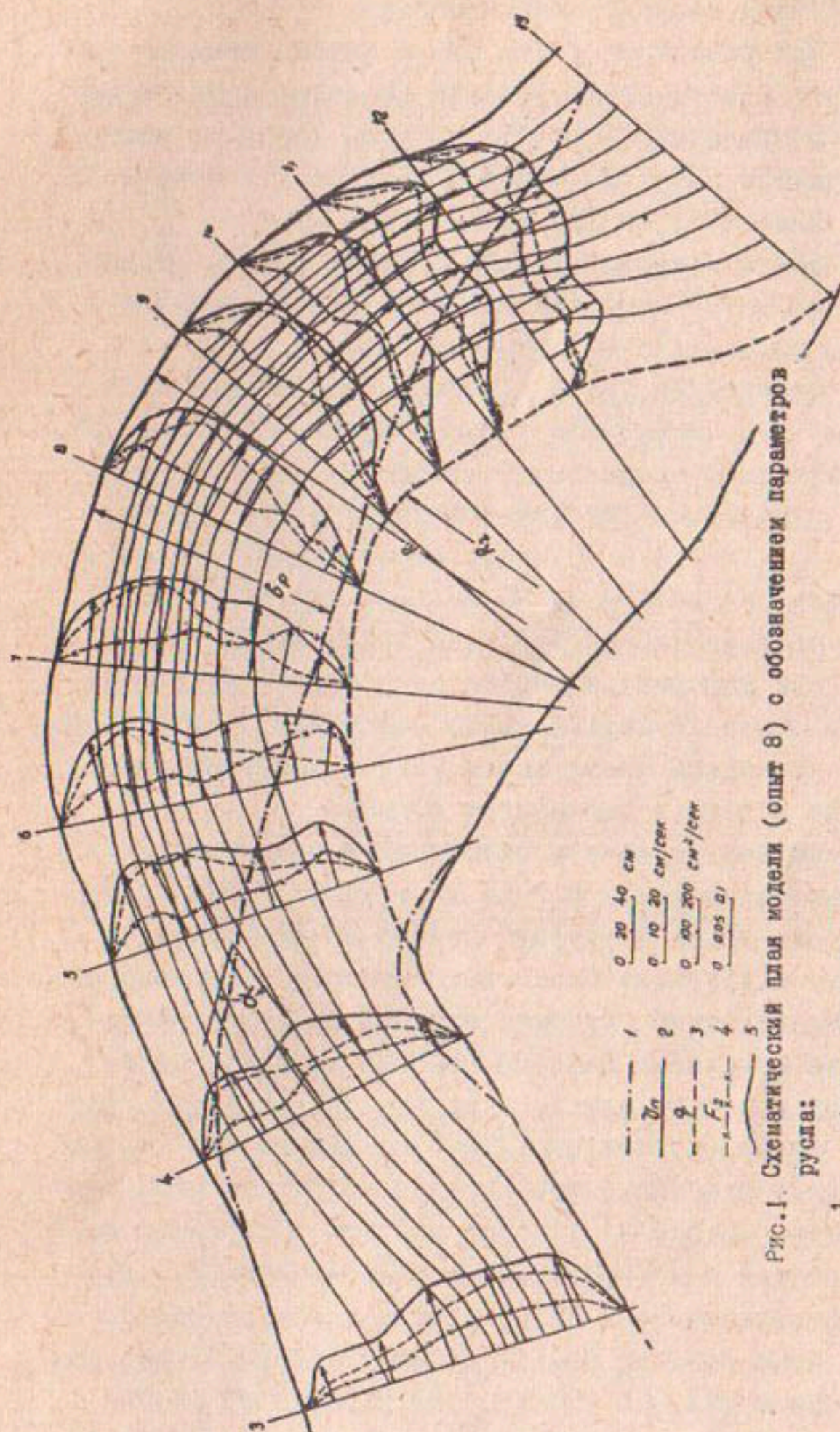


Рис. 1. Схематический план модели (опыт 8) с обозначением параметров русла:

- 1 - берег в начале опыта;
- 2 - эшеры продольных скоростей;
- 3 - эшеры расходов;
- 4 - эшеры числа Фруда;
- 5 - границы элементарных струй.

скоростей, максимальные их значения передвигаются ближе к вогнутому берегу. При выходе из закругления распределение скоростей обратно тому, которое было на подходном участке, наибольшие значения скорости находятся у продолжения вогнутого берега. Аналогично распределяются по длине и ширине русла максимальные скорости.

На изгибе изменяют свою форму эпюры продольных составляющих скорости V_n (рис.2). На вертикалях ближе к вогнутому берегу наибольшие скорости находятся на некоторой глубине от свободной поверхности. На отдельных вертикалях наблюдалось резкое изменение эпюр вблизи дна, где градиенты скорости имели наибольшую величину.

Распределение расхода по ширине потока неравномерно (рис.1). На подходном участке большая часть расхода сосредоточена вдоль правого берега (створ 3), на перекате (створ 4) равномерно распределен по ширине. Ниже створа 5 поток в основном сваливается к вогнутому берегу, около которого протекает до 85% расхода. За поворотом распределение равномерное. Такое положение подтверждается и очертанием плановых струй, искривление которых начинается на подходном участке. На повороте границы струй описывают окружности близкие к концентрическим с определенным радиусом кривизны. Ниже распределение равномерное (рис.1).

Для определения наличия поперечной циркуляции и на основе вычисленных значений V_z на исследуемом участке были построены схемы циркуляции для каждого створа. Эпюры поперечных составляющих скоростей (рис.2) показали, что в створе 3, где нет свала потока, поперечные скорости оказались с переменными знаками.

В створе 5 у левого берега уже начинает образовываться поперечная циркуляция, которая развиваясь достигает наибольшей величины в центре размыва (створ 8), со створа II — ослабевает. Между 6—10 створами циркуляцией охватывается весь поток.

Почти на всех вертикалях поперечные составляющие скорости у дна направлены к выпуклому, а у поверхности — к вогнутому берегу. На мелководной части поперечные ско-

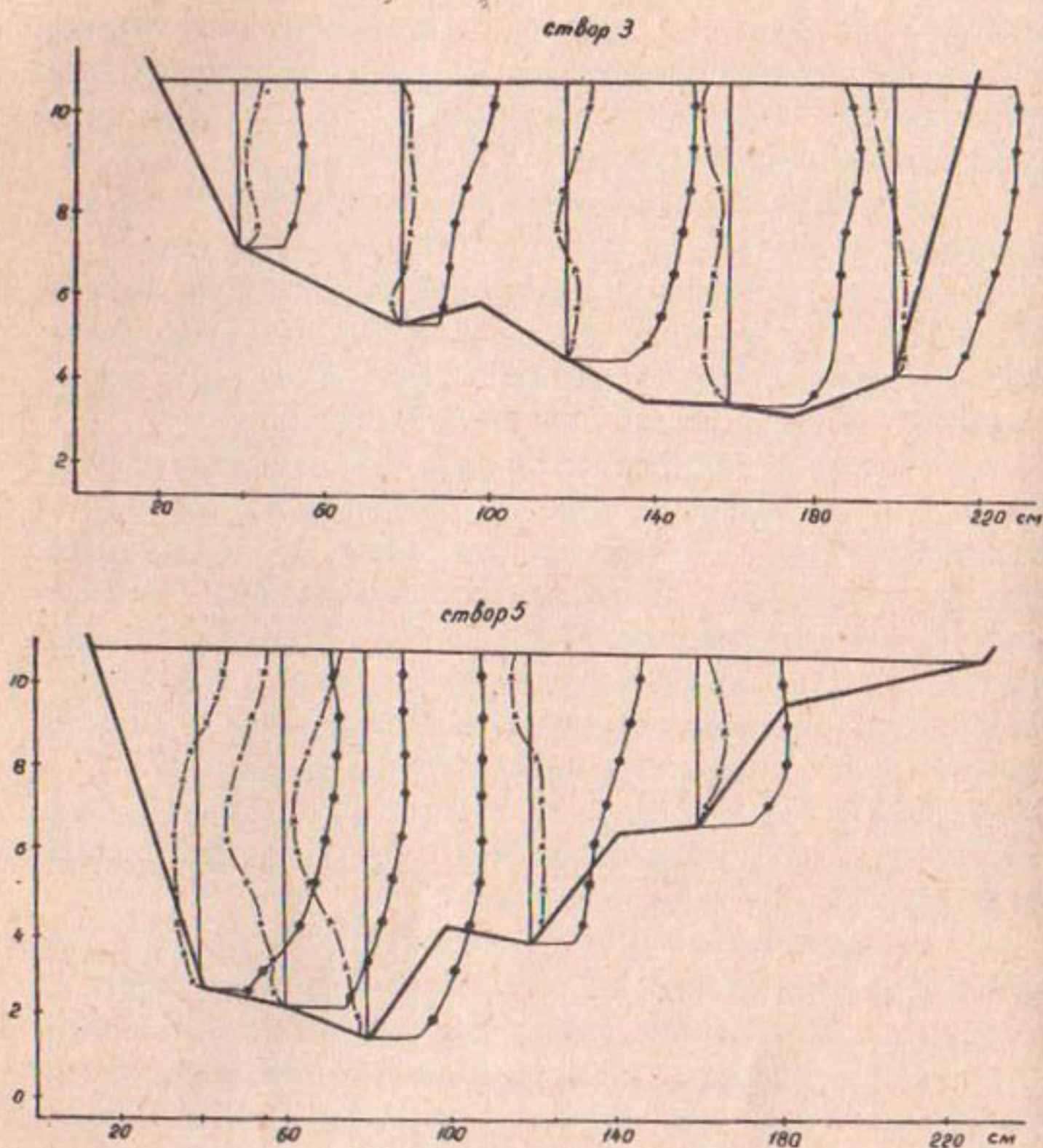
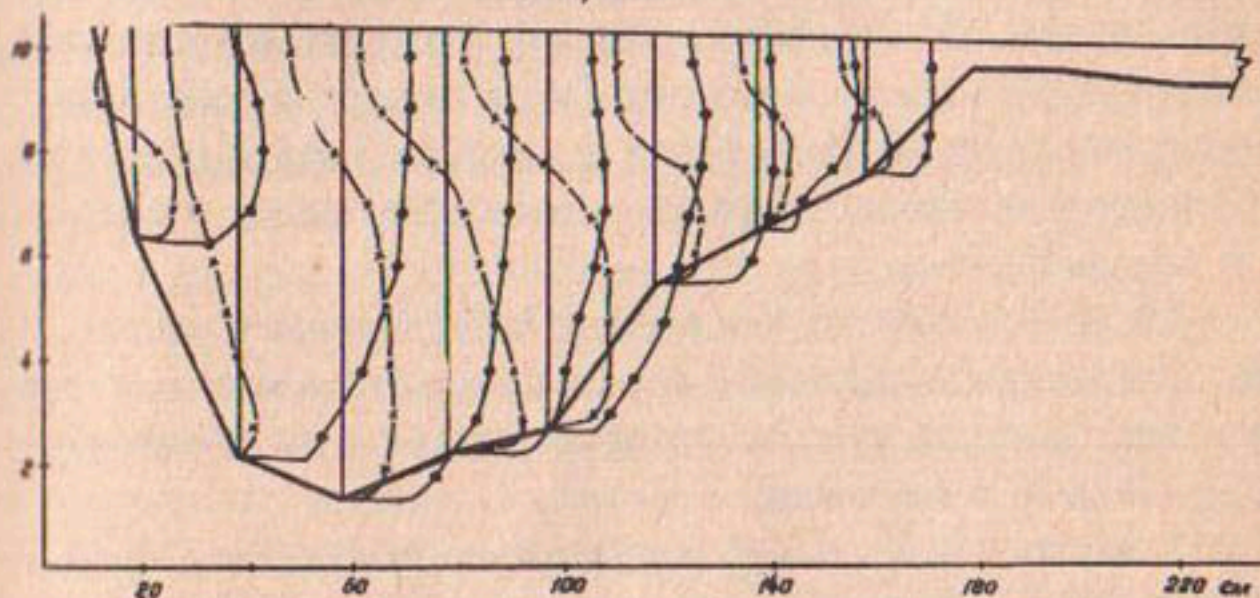
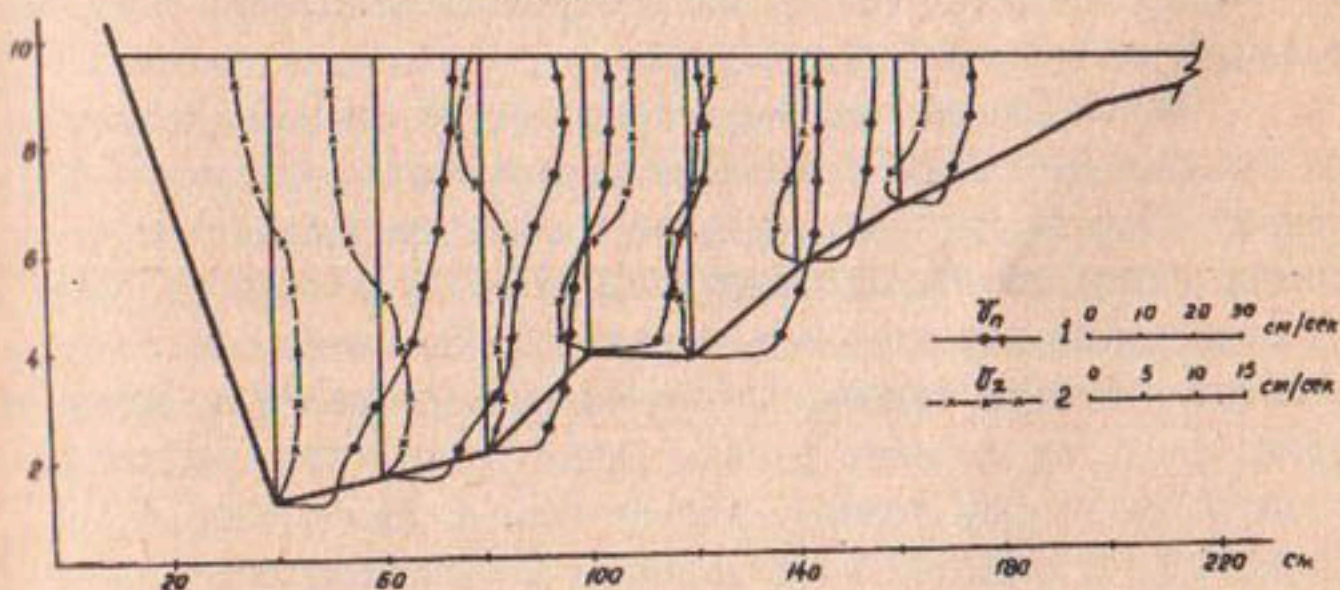


Рис.2 Поперечные профили и эюры
речных составляющих скоростей

створ 8



створ 11



распределения: 1 - продольных 2 - попе-
в характерных створах (опыта 8).

рости с переменным знаком направлены в сторону выпуклого берега. Наибольшие значения поперечных скоростей наблюдаются в придонных слоях центра изгиба. Они расположены на откосе отложившихся наносов и направлены в сторону выпуклого берега. До поворота смещение расходов происходит за счет поверхностных слоев потока, в центре и ниже донные слои начинают смещать поток в сторону выпуклого берега и поперечные скорости здесь в придонных слоях больше, чем у поверхности.

Таким образом на повороте в глубоководной части русла, наблюдается винтовое течение, охватывающее всю глубину потока с направлением поверхностных слоев к вогнутому и придонных к выпуклому берегу.

В опыте 7 $V_z = 4-5$ см/сек, что составляет примерно 20-25% от средней скорости потока по сечению, в опыте 8 $V_z = 5-6$ см/сек, и 25-30% от V_{cp} , в опыте 9

$V_z = 7-8$ см/сек, 35-40% от V_{cp} . С увеличением угла свала потока радиус кривизны потока уменьшается, что ведет к усилению поперечной циркуляции.

На основании замеров скоростей по створам развитие деформации русла можно объяснить следующим образом. В придонной области наносы смещаются к выпуклому берегу и частично откладываются, образуя отмель, а у вогнутого берега происходит размыв дна и берега. С течением времени русло формируется и наносы уже начинают перемещаться, образуя гряды по всему сечению русла. Такие гряды начали отжимать поток к вогнутому берегу, что привело к увеличению скоростей и более интенсивному размыву. В конечный период размыва берег медленно обрушивается, продукты размыва тут же отлагаются и затем постепенно уносятся потоком вниз по течению. Продукты обрушения уменьшают глубины у берега по сравнению со стрежнем потока, а берег приобретает описанную выше форму.

Размыв берега происходит до определенного радиуса его кривизны, при котором продольные скорости потока у берега доходят до неразмывающей скорости. Во всех опытах, после прекращения размыва, распределение продольных ско-

ростей вдоль берега на всех створах остается примерно одинаковым, т.е. произведение касательной скорости на радиус кривизны вогнутого берега остается величиной постоянной, равной примерно неразмывающей скорости потока для данного песчаного материала ($V_0 = 20$ см/сек).

В процессе измерения скоростей потока на вертикалях в большинстве точек придонного слоя нам удалось определить направления течения (на высоте 5–6 мм от дна). На рис.3 показано для опыта 8 плановое распределение скоростей на исследуемом участке с величинами и направлением поверхностной, средней по вертикали и придонной скоростями. На подходном участке скорости направлены к вогнутому берегу, а на повороте поверхностные к вогнутому берегу, средние примерно проходят по касательной к радиусу кривизны, а донные — в сторону выпуклого берега. Причем отклонение придонных слоев потока от вогнутого берега наблюдается по всей ширине глубоководной части, которые способствуют перемещению наносов от вогнутого берега к выпуклому.

В зоне отложений наносов и на откосе вектора скорости оказались более круто направлены к выпуклому берегу.

Результаты опытов показали, что створ, где образуется наибольший размыв и отложение наносов, совпадает со створом имеющим максимальный поперечный уклон. Удельная энергия потока (погонные расходы) вблизи вогнутого берега значительно больше энергии струй у выпуклого берега (рис.1).

Кинетическая энергия потока (число Фруда) распределяется по ширине русла неравномерно. На подходном участке распределение V_γ аналогично распределению средних скоростей и расходов по ширине русла. На откосе и в зоне отложившихся наносов, в результате резкого уменьшения глубин, наблюдается некоторое увеличение V_γ . За поворотом происходит выравнивание числа Фруда по ширине потока.

Так как кинетическая энергия потока оказалась наибольшей на откосе отложений, то здесь и происходило интенсивное перемещение наносов. По результатам опытов первой серии ясно, что деформации русла существенно зависят

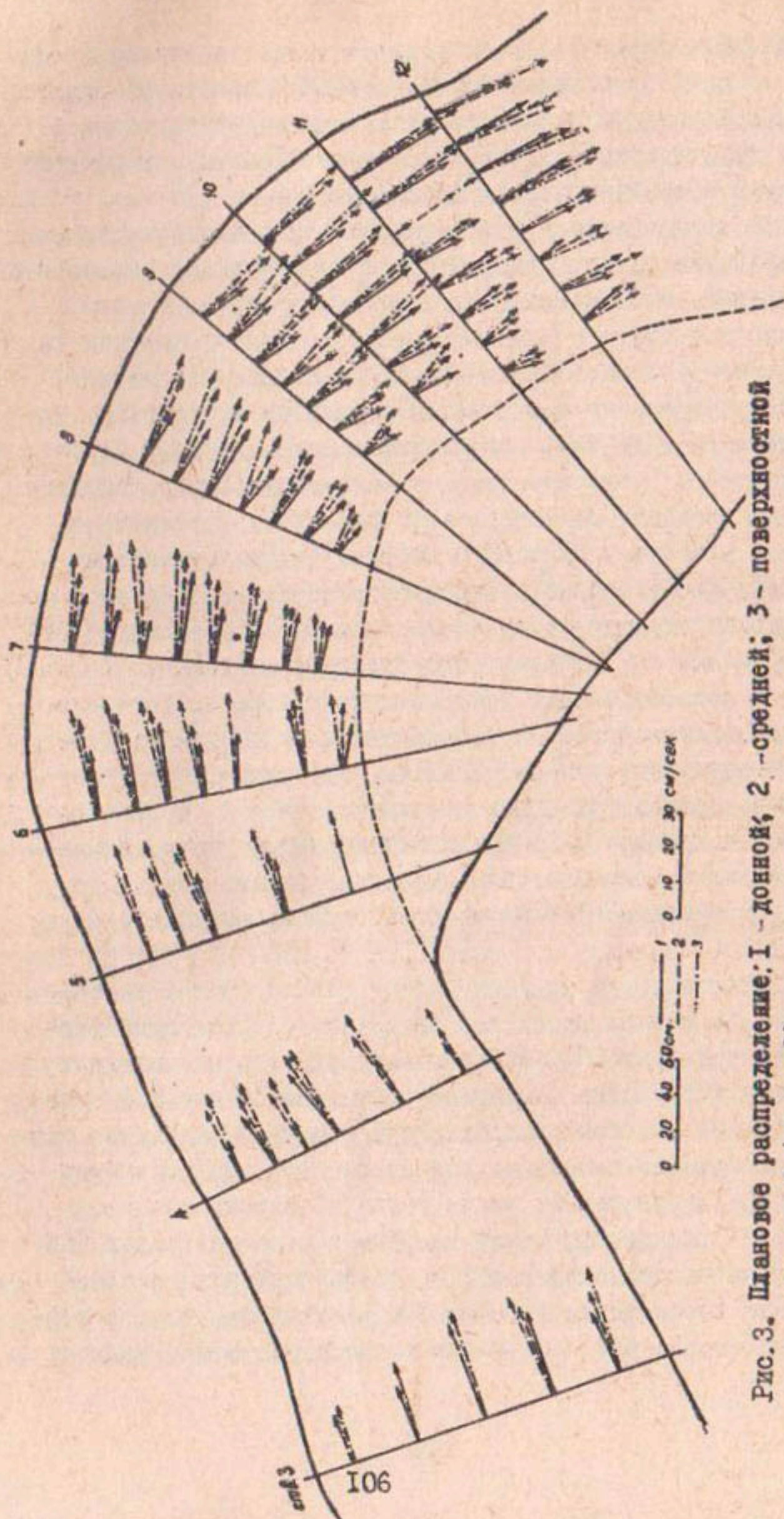


Рис. 3. Плановое распределение: 1 - донной; 2 - средней; 3 - поверхностной скоростей (опыт 8).

от условий подхода, величины угла свала и гидравлики потока. Чем больше угол свала потока и при сопоставлении в начале поворота у вогнутого берега основного расхода, тем интенсивнее происходит деформация русла, которая тесно связана с перераспределением скоростной структуры потока и появлением поперечной циркуляции. Особенно интенсивная поперечная циркуляция наблюдается в центре поворота русла, где и происходит наибольший размыв вогнутого берега и отложение наносов у выпуклого.

Для выяснения отличительной особенности деформации русла при размываемом берегу и дне, по сравнению с жесткими закрепленными берегами, проводилась вторая серия (7) опытов.

Первые четыре опыта проводили при частичном закреплении участка вогнутого берега и заданном уклоне. В процессе опыта, выше и ниже закрепленного участка, а также у выпуклого берега наблюдались значительные размывы.

В следующих 3-х опытах берега были закреплены и изучались глубинные деформации русла при различных расходах воды и наносов, а также произвели подробное измерение скоростей и направлений течения. Основные параметры русла и гидравлические элементы потока на участке подхода наибольшего размыва дна для опытов I4, I5, I6 приведены в табл.2.

В предварительных опытах с $Q = 20, 25, 38$ и 50 л/сек был установлен расход наносов $Q_{тб} = 1,3 \pm 3,0$ г/сек и средний уклон водной поверхности $i_{cp} = 0,0016 \pm 0,0026$.

Учитывая, что в проведенных опытах получен установившийся режим, был построен график зависимости $Q_{тб}$ от Q и i_{cp} , который использовался при выборе расхода наносов для проведения опытов с различными расходами воды и при известном значении среднего уклона.

После полного формирования русла проводились наблюдения и измерения скоростей и направлений течения.

Полученные материалы позволили выявить некоторые общие черты в распределении потока при различных расходах. Для опыта I4 на рис.4 показан схематический план течений

№ № опы- та				Участок подходной					
	Q	Q_{18}	i_{cp}	H_{cp}	H_{max}	V_{cp}	V_{max}	F_z	
	л/сек	г/сек		см	см	см/сек	см/сек		
I4	25	1,6	0,0019	5,5	II	22,7	39,0	0,095	
I5	33,3	2,1	0,0023	9,7	I3	25,0	40,0	0,066	
I6	40	2,5	0,0025	12,5	I7,5	27,0	46,5	0,059	

Таблица 2

Участок размыва дна					$\frac{H_{max}}{H_{cp}}$	$V_{ли, max}$ см/сек	$V_{ли, max}$ см/сек	$\frac{V_{ли, max}}{V_{cp}}$	$\frac{V_{ли, max}}{V_{cp}}$
H_{max} см	V_{cp} см/сек	V_{max} см/сек	F_z	i_z					
33,0	20,2	40,3	0,04	0,0033	6	9,7	10,7	0,48	0,53
39,0	22,0	39,2	0,026	0,004	4	13,3	16,2	0,60	0,73
42,0	25,0	39,0	0,03	0,005	3,5	17,0	19,0	0,68	0,76

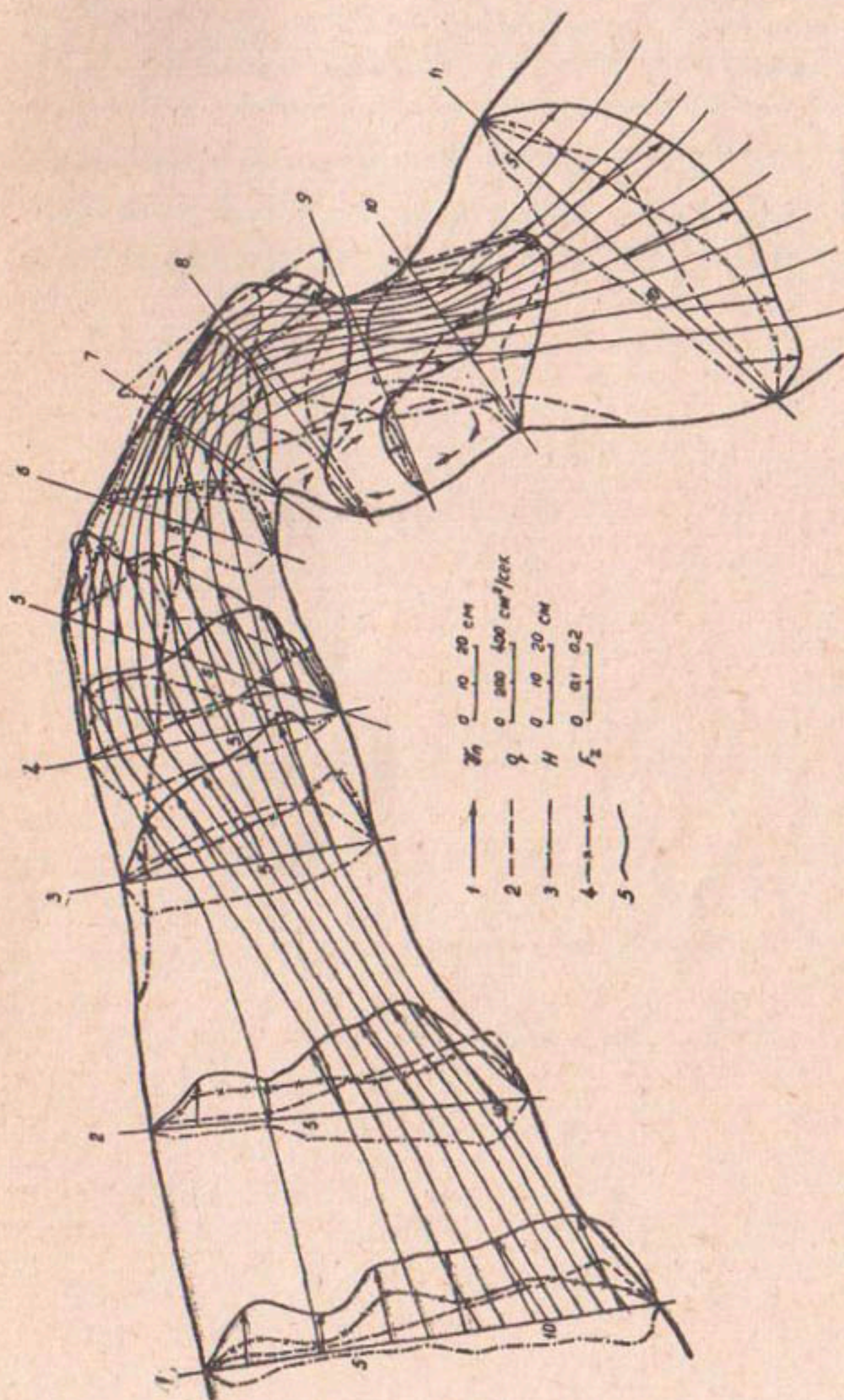


Рис. 4. Плановое распределение: 1 - средних скоростей, 2 - расходов, 3 - глубин, 4 - миста Фруда, 5 - очертания плановых струй (опыт I4).

потока, дано распределение глубин, расхода и числа Фруда по ширине русла. Эпюры распределения продольных составляющих скоростей даны на рис.5, поперечные составляющие скорости в характерных створах – на рис.6. На перекате (подходной участок) направления течения близки очертаниям берегов. Затем поток встречает на своем пути преграду в виде вогнутого берега. Поверхностные струи ударяются о берег и переходят в донные течения. Образуется винтообразное движение, направленное от вогнутого к выпуклому берегу. За поворотом поток веерообразно растекается по всей ширине русла. В каждом опыте вдоль выпуклого берега, ниже створа 7 за выступом, образовалась водоворотная зона, с обратными скоростями до 10 см/сек и расходом до 30 см³/сек.

Наибольшие величины средних скоростей течения для живого сечения в пределах подходного участка наблюдались между створами 2–4 вдоль правого берега. От 4 до 5 створа скорости выравниваются по ширине русла, а ниже возрастают уже вдоль вогнутого берега.

Подобное распределение по длине исследуемого участка имеют максимальные скорости, расход, большая часть которого за поворотом сосредоточивается в середине русла.

Схематический план течения показывает, что на подходном участке траектории струй проходят параллельно берегам, в начале поворота начинается их искривление и в центре границы струи приобретают определенный радиус кривизны, близкий к радиусу вогнутого берега. За изгибом струи равномерно распределяются по ширине русла.

По характеру распределения продольных скоростей, расхода и глубины потока весь исследуемый участок можно разделить на три части.

I. Наличие наиболее высоких значений продольной составляющей скорости, расхода и глубин вдоль правого берега – перекатный участок (створы 2–4). В створе 5 скорости, расход и глубина выравниваются по всему сечению русла – переходный участок (створы 5–II).

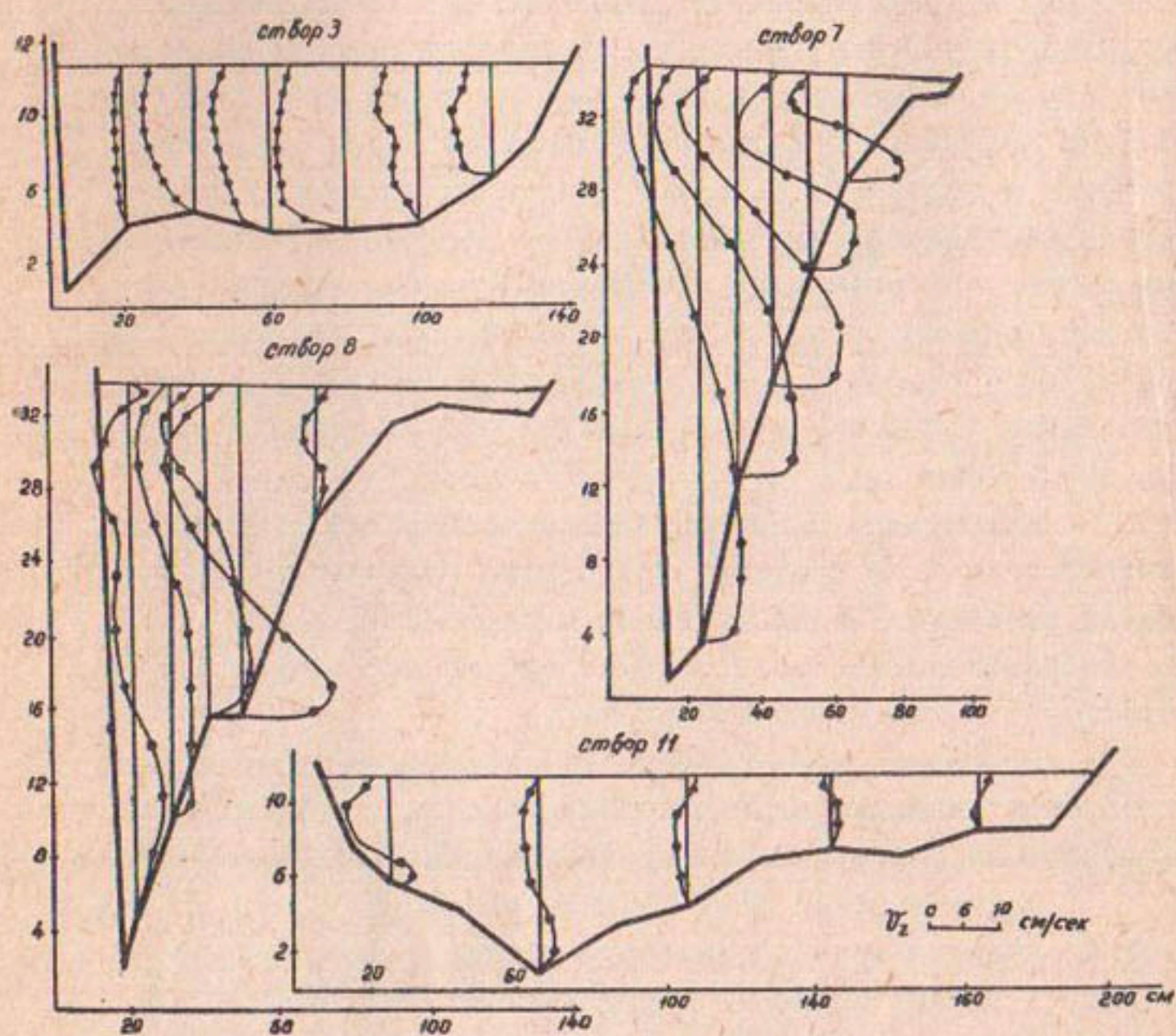


Рис. 5. Распределение продольных составляющих скоростей на исследуемой участке (опыт I4).

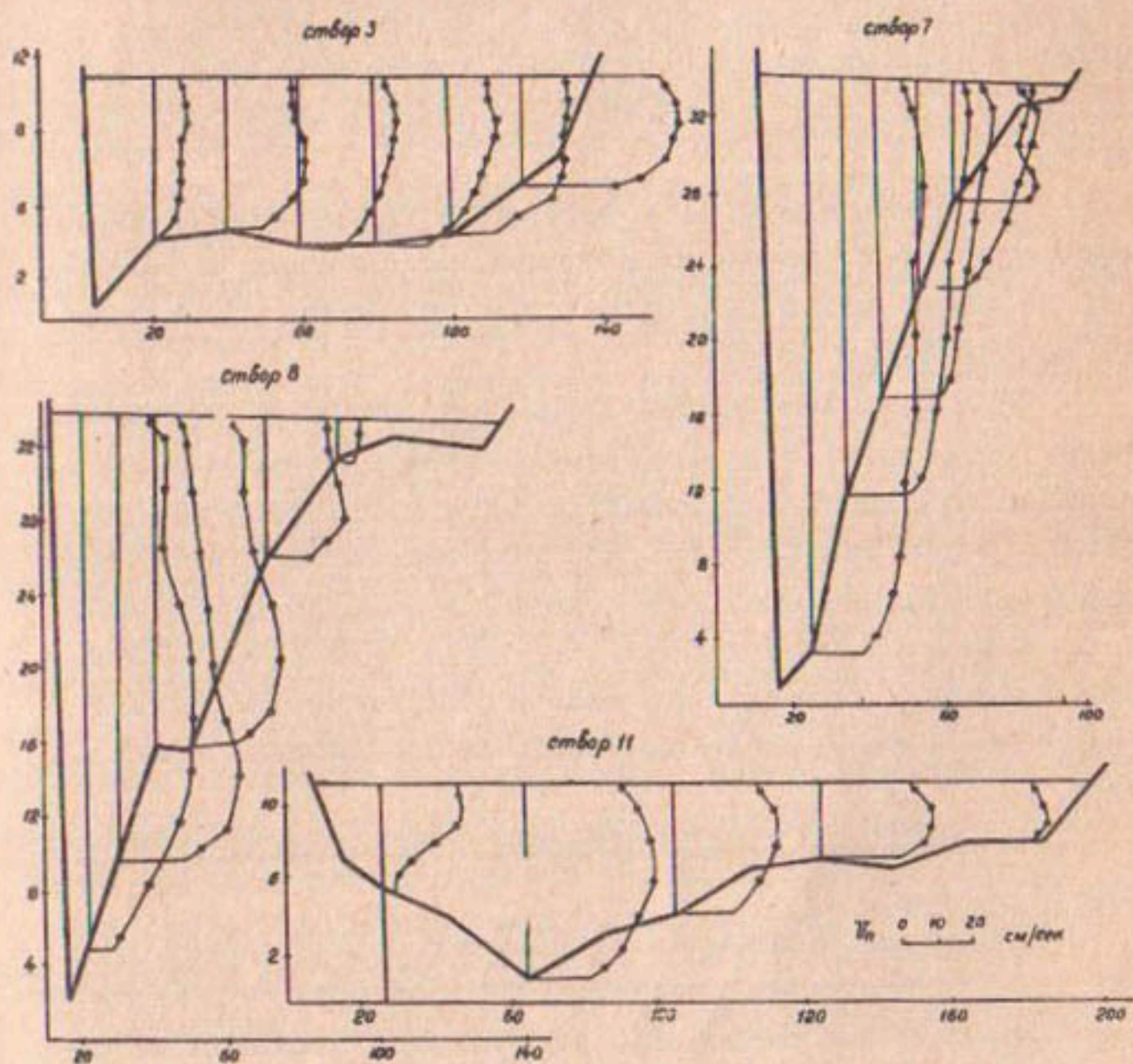


Рис. 6. Распределение поперечных составляющих на исследуемом участке (опыт I4)

2. Максимальные скорости течений, расход и глубины постоянно перемещаются к вогнутому берегу, где происходит наибольшее перераспределение скоростей и расхода по ширине русла и образуется интенсивная поперечная циркуляция, охватывающая весь поток. Здесь и происходит наиболее явно выраженные русловые деформации, т.е. размыв дна у вогнутого и отложение наносов у выпуклого берегов.

3. Ниже створа II совершается такое перераспределение скоростей, расходов и глубин по сечению, в результате которого поток возвращается к условиям, свойственным равномерному режиму.

Рассматривая распределение скоростей по вертикали следует отметить, что на подходном участке наибольшие скорости наблюдались в поверхностных слоях потока и уменьшались вблизи дна (рис.5). На повороте ближе к вогнутому берегу наибольшие скорости находятся на некоторой глубине от свободной поверхности. Над откосом надвигающейся призмы наносов наблюдалось резкое увеличение скоростей вблизи дна и уменьшение их у поверхности потока (рис.5, створ 8).

В отдельных точках придонного слоя скорости достигали 35–50 см/сек.

Вероятно увеличению продольных составляющих скоростей на откосе призмы отложений способствует образующаяся здесь интенсивная поперечная циркуляция. При наличии поперечных скоростей, направленных к откосу призмы, продольные скорости должны получить некоторое увеличение на верхних слоях потока и уменьшение у поверхности, где поперечные скорости направлены к вогнутому берегу. Кроме того здесь на распределение продольных скоростей по глубине потока должны оказывать влияние и вертикальные составляющие скорости. При наличии вертикальных скоростей, направленных вниз, продольные скорости должны получить на нижнем участке вертикали некоторое увеличение, на верхнем — уменьшение.

Рассматривая появление, развитие и затухание поперечной циркуляции по величинам поперечной составляющей скорости (рис.6) можно видеть, что на подходном участке явно выраженной поперечной циркуляции не наблюдается.

Здесь поперечные составляющие скорости направлены от правого берега к левому, смещая поток. Так на рис.7 для опыта I5 при $Q = 33,3$ л/сек, показаны вектора поверхностной, придонной и средней скоростей по вертикали направленные на участке подхода в основном к левому берегу.

Начиная со створов 3-4, в начале поворота, вблизи левого берега появляется винт поперечной циркуляции, (который (створы 5-6) постепенно развивается и в центре поворота (створы 7-10) охватывает большую часть поперечного сечения глубоководной части русла (рис.6, 7).

После выхода на прямолинейный участок (створ II) циркуляция, вызванная поворотом, затухает и течение вновь приобретает равномерный характер.

Из эпюр поперечных составляющих (рис.6) и векторов скоростей (рис.7) видно, что в пределах поворота почти на всех вертикалях поверхностные струи направлены к вогнутому берегу, а донные — к выпуклому. Причем наибольшие величины поперечных составляющих скоростей наблюдались в придонных слоях потока на откосе призмы отложений (рис.6. створы 7,8), где вектора придонных скоростей более круто направлены к выпуклому берегу (рис.7).

Указанное увеличение продольных составляющих скоростей в нижних слоях потока происходит за счет наличия поперечного винта, направленного вдоль откоса призмы отложений. На поверхностных слоях потока наибольшие значения составляющих скорости оказались вблизи вогнутого берега.

Во всех опытах наибольшие V_z оказались на участке поворота между створами 7-10. Наибольшие значения поперечной скорости на поверхности и придонном слое потока приведены в табл.2.

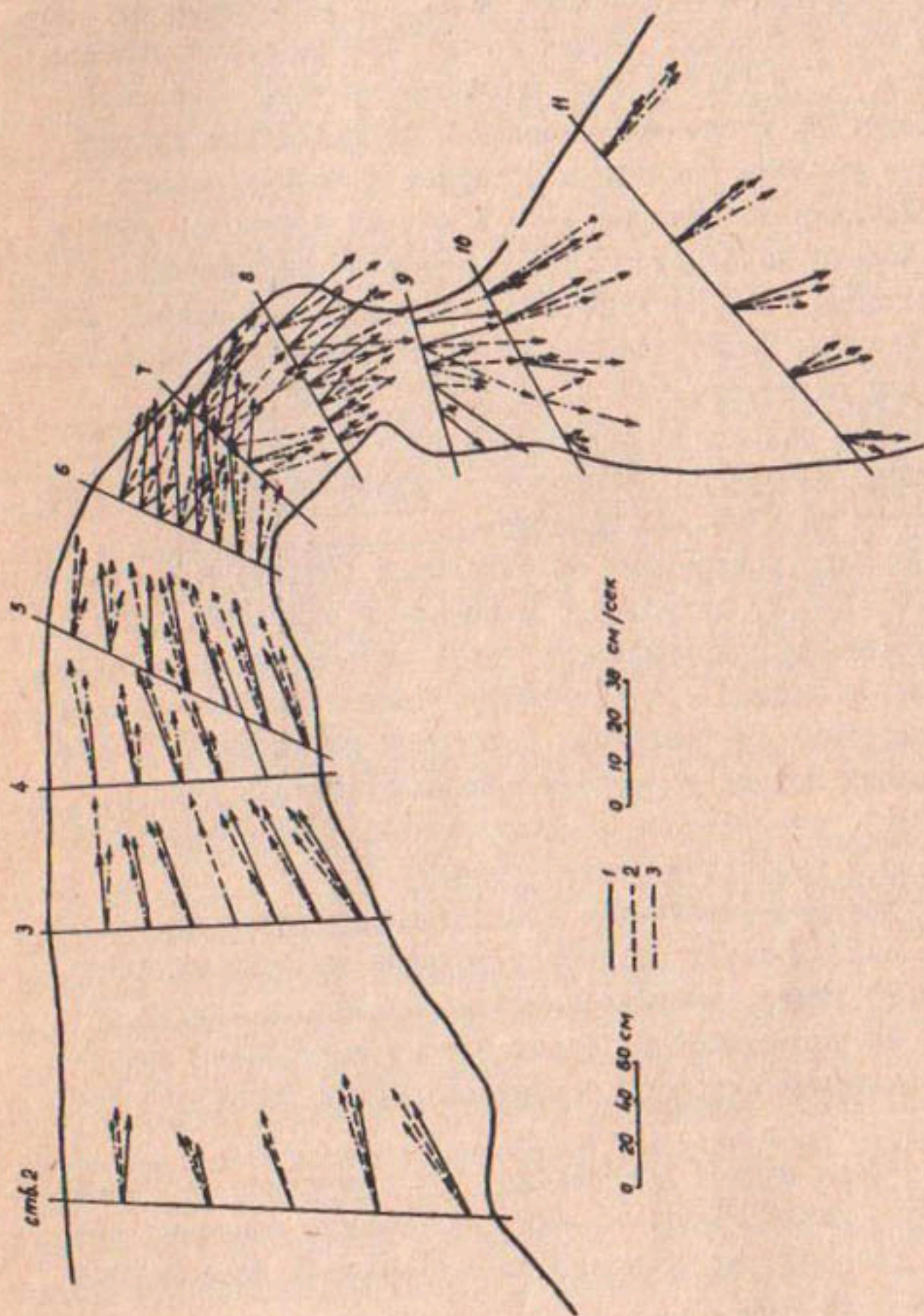


Рис. 7. Распределение векторов скорости при $Q = 33.3$ л/сек. (опыт 15).

1 — поверхностное, 2 — среднее, 3 — донное.

Величина $V_{\text{дн}}$ изменяется от $V_{\text{дн}} = 9,7$ до $17,0$ см/сек, что составляет от 48 до 70% от средней скорости потока по сечению, а придонные значения $V_{\text{дг}} = 10,7 + 19,0$ см/сек, что составляет от 53 до 76% от $V_{\text{ср}}$, причем с увеличением расхода наблюдается увеличение значения $V_{\text{дг}}$.

Особый интерес представляет получение направления и величины поверхностных и донных скоростей. При этом угол подхода поверхностных струй и место удара — важные факторы определения участка берега, подвергающегося размыву.

Донные скорости и их направления — факторы, непосредственно определяющие движение влекомых по дну наносов.

На рис. 8,а показаны траектории и величины поверхностных скоростей, полученные при помощи поплавков. На рис. 8,б приведены траектории донных частиц, полученные при помощи шариков, и показаны вектора придонных скоростей, определенные микровертушкой с флюгером.

Траектории поверхностных струй показывают, что на подходном участке направления течения близки к очертанию берегов. Между створами 7, 8 большинство поплавков ударяется о вогнутый берег и далее сосредоточенно проходят вдоль него. За поворотом наблюдается веерообразное растекание поплавков, которые в водоворотной зоне производят круговое движение, затем, выходя из этой зоны, постепенно растекаются по ширине русла.

Донные поправки на подходном участке направлены в сторону вогнутого берега. Их отклонение к откосу начинается на подходе к гребню призмы отложений. Далее большая часть их проходит по откосу, с некоторым отклонением в сторону выпуклого берега, и выносятся потоком за пределы поворота.

В большинстве точек направления донных поплавков совпадают с направлением векторов донных скоростей. Отдельные поправки, пущенные в глубоководной части русла, у вогнутого берега проходили вдоль берега и выносились потоком за пределы поворота.

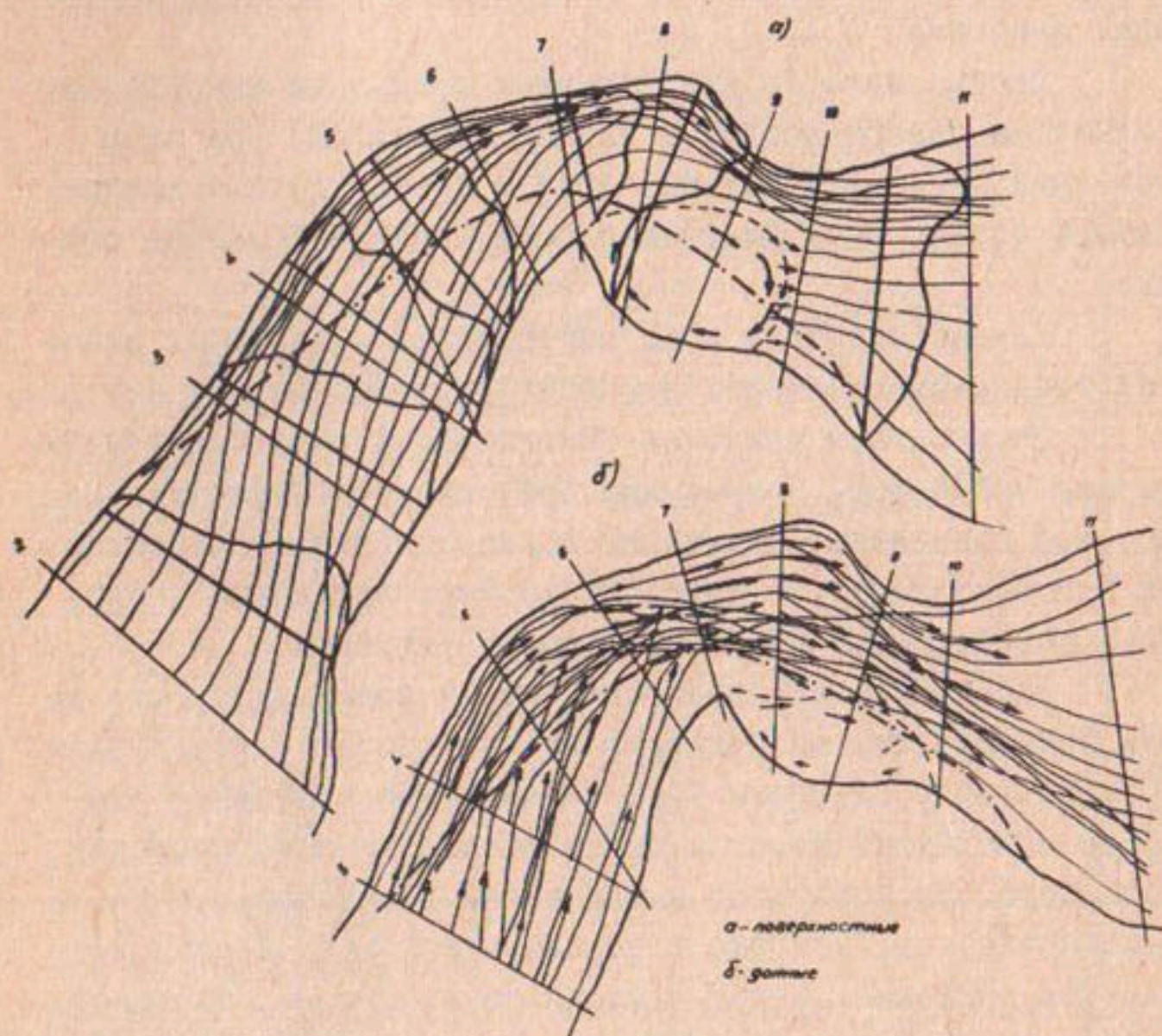


Рис. 8. План поля скоростей (опыт 15)
 а - поверхностные траектории и скорости,
 б - донные траектории и скорости.

Рассмотрим как деформировалось русло. В опытах второй серии процесс переформирования протекал очень интенсивно: сразу на дне русла появились пологие гряды, меняющие свои очертания при подходе к повороту. В конце подходного участка начал образовываться гребень переката.

Размыв дна вогнутого берега наблюдался в начале опыта между створами 8-9, постепенно, по мере развития гребня переката распространялся вверх по течению. Так как основная часть потока на подходном участке протекала вдоль правого берега, то и здесь наблюдалось наиболее интенсивное грядовое перемещение наносов. Принесенные грядой наносы в конце подходного участка повысили отметки гребня переката.

Такие гряды начали отжимать поток к вогнутому берегу, что привело к увеличению скоростей и, вследствие этого, более интенсивному размыву дна. Профиль русла при этом начал приобретать треугольную форму.

Поток, сваливающийся под углом с гребня переката к берегу под действием кривизны русла и под влиянием закрепленного берегового откоса, начинает менять свое первоначальное направление и образуется винтообразное движение. Это движение порождает вдоль берега поперечную циркуляцию. При этом нисходящие токи по откосу берега размывают дно русла, восходящие, направленные к откосу призмы отложений, поддерживаются скатывающимися частицами наносов.

Размыв дна начинается в створе 4, где профиль русла у берега начинает приобретать треугольную форму, внутри которой образовывается поперечная циркуляция. Вниз по течению треугольная форма расширяется, в створах 7,8 охватывает почти всю ширину русла, внутри которой действует поперечная циркуляция (рис. 5, 6).

Вдоль правого берега, в месте отложения наносов, профиль русла имеет прямоугольную форму. С наступлением установившегося режима дно русла принимало свою окончательную форму: вдоль вогнутого берега — треугольную, вдоль выпуклого — прямоугольную.

Размыв дна прекратился тогда, когда скорости в придонном слое оказались равными неразмывающей скорости. Как видно из рис.5 (створы 7,8) вблизи дна у вогнутого берега скорости оказались равными 15–20 см/сек, когда на откосе призмы отложений они доходят до 35–40 см/сек. Кроме того величины поперечной составляющей скорости здесь также имеют наименьшие значения. Движение наносов на подходном участке русла носило грядовой характер. Размеры гряды были различными по ширине русла. Вдоль правого берега, где протекала большая часть расхода, и наблюдались наибольшие скорости, наносы перемещались более интенсивно и размеры гряд были невелики, а у левого берега размеры гряд оказались наибольшими, а скорость перемещения мала.

При подходе к гребню переката наносы скатывались по откосу, но не дойдя до дна подхватывались поперечным винтом, образовавшимся у откоса, и выносились за пределы поворота. Наибольшие величины продольной и поперечной составляющих скоростей (рис.5, 6) на откосе способствовали поддержанию частиц во взвешенном состоянии и перемещению их вдоль откоса. Траектории донных токов на откосе призмы показывают те места, где происходило наиболее интенсивное движение наносов.

Часть продуктов размыва поперечной циркуляцией переносилась к откосу, остальные перемещались вдоль берега и выносились потоком за пределы поворота. Таким образом формирование дна проходило осаждением наносов у выпуклого берега, что приводило к росту гребня переката, отжиму потока к вогнутому берегу и размыву дна.

Значения глубин вдоль вогнутого берега с увеличением расхода воды увеличивались (табл.2), что объясняется не только повышением уровня воды, но и понижением отметок дна, т.е. большими размывами.

Увеличение глубин потока с ростом расхода воды здесь происходило за счет повышения отметок дна в зоне отложения наносов у выпуклого берега, которое способствовало еще более сильному отжиму потока к вогнутому берегу, увеличению

скоростей потока и повышению интенсивности поперечной циркуляции.

Такое положение наблюдалось и в опытах И.Л.Разовского /7/, В.Ф.Талмаза, А.Н.Крошкина /9/, З.М.Великановой /2/, Ю.М.Корчоха /3/ и др., которые изучали кинематику потока и деформации русла на повороте.

Отличительной особенностью опытов, проведенных на размываемом берегу и дне, по сравнению с жестким закрепленным берегом, является то, что при свободном размыве наблюдается обрушение береговой полосы, и массы грунта оседают у крутого берега. В результате поток, протекающий вдоль вогнутого берега, оказывается перегруженным наносами и размыва дна не происходит. Подводная часть берега при этом приобретает угол естественного откоса грунта.

При закрепленном берегу под действием поперечной циркуляции наиболее интенсивный размыв происходит вдоль берега.

Наносы, поступающие сверху, не дойдя до вогнутого берега, подхватываются действием поперечной циркуляции и переносятся в сторону выпуклого берега и вдоль переката интенсивным винтовым течением выносятся за пределы поворота.

Поэтому осветленный поток, сваливаясь к вогнутому берегу, размывает дно до восстановления равновесия между скоростью потока и устойчивостью частиц слагающих дно, т.е. скорость потока у дна падает до неразмывающей.

Проведенные опыты показали, что наиболее существенные факторы, определяющие процесс размыва — резкий свал потока, перемещение максимума скоростей и увеличение расходов вдоль вогнутого берега, образование, вследствие этого, мощной поперечной циркуляции. Под действием последней происходит поперечный перенос наносов от вогнутого берега к выпуклому и вынос их за пределы поворота. С другой стороны, поступающие сверху наносы образуют гребень переката, что приводит к отжиму потока к вогнутому берегу и образованию глубокого русла.

Полученные опытные данные по характеру растекания потока, профилям русла, величинами деформации и скоростной структуры сходны с данными натурных исследований дейгиша на р.Амударья /4,5,6/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонов К.Ф. Русловые деформации низовий рек. Гидрометеорология в помощь народному хозяйству, Изд-во АН УзССР, Ташкент, 1954.
2. Великанова З.М. Лабораторные исследования речной излучины, Тр.ГГИ, вып.147, Л., 1968.
3. Корчоха Ю.М. Исследование структуры распределения скоростей в потоке и деформации русла на изгибе р.Поломети, Тр.ГГИ, вып.123, Гидрометеиздат, Л., 1965.
4. Мухамедов А.М. Некоторые особенности р.Амударья и причины размыва берегов (явление дейгиш). Тр.САНИИРИ, вып.120, Ташкент, 1970.
5. Мухамедов А.М., Тузов В.Е. Особенности русловых деформаций р.Амударья (дейгиш). Тр.координационных совещаний по гидротехнике, вып.36, Л., 1967.
6. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Тузов В.Е., Когтева И.В. Некоторые результаты изучения гидравлических элементов и кинематики потока в зоне дейгиша. Труды САНИИРИ, вып 124, Ташкен, 1970.
7. Розовский И.Л. Движение воды на повороте открытого русла. Изд-во АН УССР, Киев, 1957.
8. Россинский К.И., Шевелева Г.Г. Опыт исследования разрушения берегов (дейгиш) на блуждающих реках. Тр.ГГИ, вып.160, Л., 1968.
9. Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н. Гидрометрические характеристики горных рек, Фрунзе, 1968.

Р.Р.АБДУРАУПОВ

РАСЧЕТ ОБРАТНОГО ЗАВАЛА НИЖНЕГО БЬЕФА НАНОСАМИ
ТЮЯМУЮНСКОГО ГИДРОУЗЛА

Строительство плотин, особенно на равнинных участках рек, существенно изменяет режим реки. В связи с подпором в верхнем бьефе образуется водохранилище, в котором в первые годы эксплуатации гидроузла откладываются почти все наносы. За этот период в нижнем бьефе происходит интенсивный размыв дна русла.

После занесения водохранилища наносы начинают поступать в нижний бьеф. Как известно, наличие водозабора ведет к уменьшению расхода воды в нижнем бьефе. Следует отметить, что водозабор при этом осуществляется с незначительной мутностью (в основном за счет мелких фракций), в зависимости от транспортирующей способности потока в каналах. Следовательно, твердый сток в нижнем бьефе уменьшается на незначительную величину по отношению к жидкому стоку. Поэтому транспортирующая способность потока в нижнем бьефе становится недостаточной и наносы начинают заваливать нижний бьеф плотины. В зависимости от стока наносов завалы в ряде случаев могут не только достигать бытовых отметок дна и уровня нижнего бьефа, но и превышать их против расчетных, что ведет к нарушению нормальной эксплуатации гидроузлов. Поэтому расчет процесса занесения нижнего бьефа является необходимым элементом проектирования новых гидроузлов, позволяющим прогнозировать и устранять вредные последствия, вызываемые переформированием русла в нижнем бьефе.

Учитывая недостаточную ясность в сущности самого явления занесения нижнего бьефа сначала мы излагаем некоторые опытные данные, выполненные в лабораторных условиях, затем на основании принятой схемы устанавливаем расчетные зависимости, используя общее уравнение движения жидкости, уравнения деформации и расхода наносов с привлечением натуральных

данных, а также гидравлических элементов потока. В работах использованы материалы створов Тямуяна, Керки, Ташсака и др. Расход донных наносов получен по рекомендации В.Е.Тузова, установленной по величине деформации русла р.Вахш при одинаковых прочих условиях движения воды и наносов р.Амударья. В результате определяется тот избыточный объем наносов, который идет непосредственно на отложение. Затем мы излагаем результаты расчета занесения нижнего бьефа, которые приведены на графиках.

В статье излагаются некоторые теоретические предпосылки по занесению нижнего бьефа, гидравлические элементы потока в бытовых условиях и расчет обратного завала нижнего бьефа Тямуянского гидроузла наносами.

Для установления расчетных зависимостей используем уравнения движения воды, деформации русла и расхода наносов, привлекая натурные данные гидравлических элементов потока. При непосредственном использовании этих уравнений в условиях изменения воды и наносов по времени расчет усложняется и поэтому в целях его облегчения воспользуемся графическим методом профессора И.И.Леви /1/.

За исходное положение принимается в расчете дно русла в бытовых условиях. Сток донных отложений определяется из разности транспортирующих способностей в бытовых условиях и после водозабора.

а. Уравнение расхода наносов. По мере заиления водохранилища происходит уменьшение глубины потока, а в нижнем бьефе, наоборот, происходит размыв дна русла, вследствие чего глубина потока увеличивается. По мере поступления наносов сверху, дно нижнего бьефа поднимается и глубина потока уменьшается. Следовательно, при формировании русла, поток, изменяя свои глубину, ширину в зависимости от расхода воды и наносов, все время стремится поддержать свое динамическое равновесие. Увеличение одной величины приводит к уменьшению другой, и наоборот (рис.1).

Для определения расхода наносов рассмотрим схему, согласно которой первоначальная величина поперечного сечения потока, в связи с уменьшением интенсивности движе-

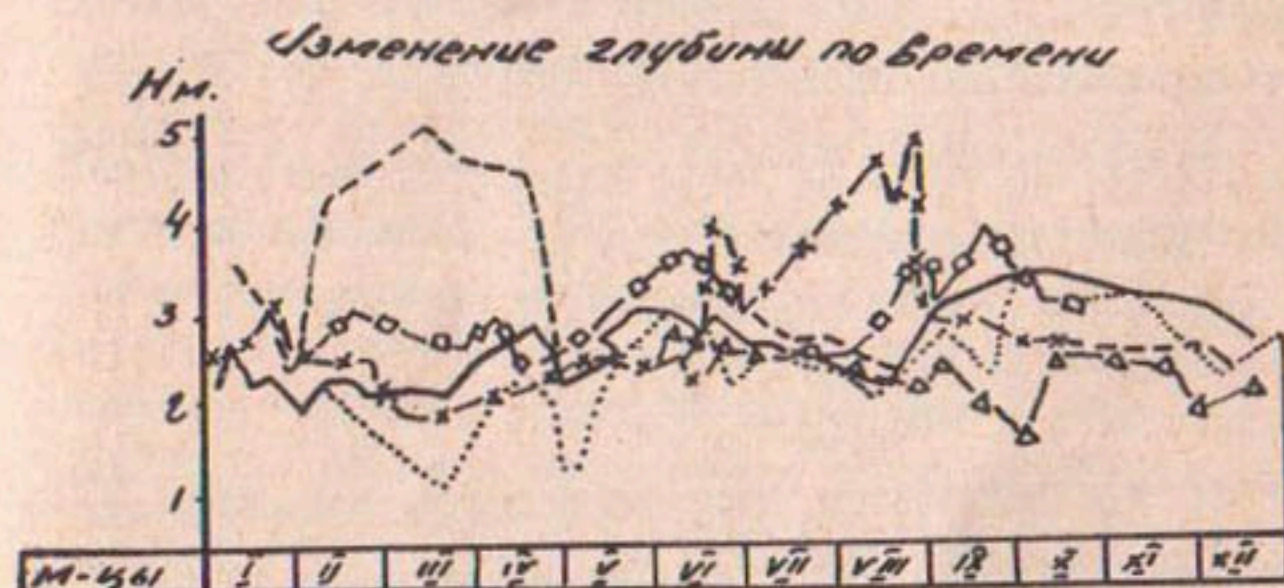


Рис I. 1955 г. - x - x - 1958

- - - 1956 г. - o - o - 1938

— 1957 г. - - - 1962

125 - - - 1967

ний наносов, уменьшается на $\Delta\omega$. Тогда площадь поперечного сечения потока при интенсивном движении наносов будет

$$\omega = \omega_1 - \Delta\omega. \quad (I)$$

Для определения правой части рассмотрим движение жидкой и твердой фазы отдельно. При этом следует учесть положение о том, что два потока подобны между собой,

если $\frac{u_1}{W} = idem$ (где u_1 — первоначальная скорость и W — гидравлическая крупность).

Из $\frac{u}{W} = idem = \alpha_1$ находим $\omega_1 = \frac{Q}{\alpha_1 W}$; аналогично этому выражению ($\frac{u}{W} = idem$) можно записать и для средней скорости движущихся наносов, т.е. допустить, что $\frac{u_T}{W} = idem = \alpha_2$ и, выразив скорость наносов u_T через $\frac{Q_T}{\Delta\omega}$, производя преобразования, получим $\Delta\omega = \frac{Q_T}{\alpha_2 W}$. Значения площадей и $\Delta\omega$, поставив в равенство (I), получим

$$\omega = \frac{Q}{\alpha_1 W} - \frac{Q_T}{\alpha_2 W}.$$

При отсутствии движения наносов, т.е. при $Q_T = 0$, получим численное значение $\alpha_1 = \frac{Q}{\omega_0 W} = \frac{u_0}{W}$. Следовательно

$$\omega = \frac{Q}{u_0 W} - \frac{Q_T}{\alpha_2 W}$$

После несложного преобразования получим значение относительного количества наносов в следующем виде

$$\mu = \alpha_2 \frac{W}{u} \left(\frac{u}{u_0} - 1 \right).$$

После сопоставления с данными измерений по створу Тюямуйского гидроузла эта формула принимает вид

$$\mu = 12500 \left[\frac{W}{u} \left(\frac{u}{u_0} - 1 \right) \right]^3 \text{ кг/м}^3. \quad (2)$$

б. Уравнение движения воды. Для определения гидравлических элементов потока при занесении русла в качестве зависимости может быть использовано еще уравнение движения воды. Запишем его сначала в общем виде

$$J = \frac{V^2}{c^2 R} + \frac{\alpha}{2g} \frac{\partial V^2}{\partial s} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3)$$

С целью упрощения уравнения движения проанализируем все его слагаемые раздельно и сравним порядок величин трех слагаемых правой части, образующих в сумме поверхностный уклон J . Суммарный уклон J при речном паводке всегда будет положительным; отрицательным он может быть лишь в случае движения волны, отраженной вверх по потоку (случай движения волны в каналах), чего в естественных паводках не бывает. В речном паводке волна имеет сравнительно пологое очертание. Достаточно сказать, что отношение высоты воды к ее длине даже при резких паводках никогда не превышает немногих десятитысячных долей, обычно же бывает гораздо меньше. Следовательно, о быстром возрастании скоростей и о больших значениях инерционных слагаемых в речных паводках не может быть и речи. Так, например, по расчету, проведенному в книгах М.А.Великанова для одной из рек, при суммарном уклоне, равном

$J = 0,0041$, значения инерционных слагаемых составили 1%, т.е. уклон, идущий на преодоление сопротивления, составляет около 99% /6/. Нетрудно теперь представить, что и для равнинных рек с пологим общим уклоном, как Амударья, аналогичное соотношение окажется того же порядка. В равнинных условиях общий уклон всегда меньше, но и нарастание паводка идет также соответственно медленнее, а значит и инерционные слагаемые по сравнению с суммарным уклоном будут малы. Но если учесть, что гидрограф реки будет всегда задан, то инерционными слагаемыми уравнения движения мы можем по малости пренебречь, оставив лишь слагаемое, связанное с сопротивлением, т.е. $J = \frac{V^2}{c^2 R} = \frac{n^2 Q^2}{B^2 H^{3,5}} \quad (4)$

в. Уравнение деформации русла. Поступающие с верхнего бьефа песчаные наносы, проходя через сооружение, уносятся вниз по течению и, попадая в зону размыва, образовавшегося за креплением в период аккумуляции наносов в водохранилище осаждаются, а остальные увлекаются растекающейся струей и уносятся еще дальше вниз по реке в зависимости от транспортирующей способности потока /I/. Из-за недостаточной транспортирующей способности потока в нижнем бьефе происходит частичное отложение наносов. Форма отложения наносов имеет призмы. Как только призма отложения достигнет такой высоты, после которой над ней водный поток делается способным транспортировать все поступающие сверху наносы, фронт призмы отложения начинает перемещаться вниз по течению. Высота призмы отложения определяется разницей глубин до и после занесения. В конце призмы отложения, вследствие разности в уклоне свободной поверхности занесенного и еще не занесенного наносами участка нижнего бьефа, образуется дополнительный подпор. По мере перемещения фронта призмы отложения величина этого подпора остается почти постоянной и часть наносов задерживаются в пределах занесенного участка бьефа. При этом поверхность призмы отложения поднимается параллельно самой себе с уклоном, соответствующим новым условиям движения потока на участке занесения. В первый момент занесения этот уклон практически остается близким к начальному, в дальнейшем возрастает и достигает величины, соответствующей новым значениям расходов воды и наносов.

В пространственных условиях, когда фронт сбросных отверстий меньше, чем естественная ширина русла, отложение происходит веерообразно (одновременно с занесением русла), заполняя боковые водоворотные зоны. После достижения конца зоны водоворотов занесения происходят на всей ширине русла.

При изучении процесса занесения нижнего бьефа в лабораторных условиях начальная глубина потока создается искусственно, при этом высота призмы отложения обычно оказывается значительной и отложение происходит в виде бара. В натуральных условиях подъем дна русла вначале происходит также

на величину разницы глубин воды. Однако здесь разница глубин незначительна и она зависит больше всего от изменения расходов воды и наносов, переход от одной глубины к другой происходит более плавно. Характер изменения глубин учтен при выводе уравнения объема отложений для расчета занесения нижнего бьефа наносами. Представим известное уравнение деформаций русла в виде

$$\gamma_{\text{ск}} = \frac{\partial(\beta \cdot z)}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial S} = 0, \quad (5)$$

где P — расход наносов;
 z — отметка дна;
 t — время;
 $\gamma_{\text{ск}}$ — объемный вес грунта;
 β — средняя ширина русла.

Уравнение деформации русла запишем в конечных разностях, для чего предположим, что в начальном створе (створ плотины) расход наносов будет P , а в створе, на расстоянии S_n от плотины, вследствие отложения части наносов этот расход за время t_n уменьшится до величины P_δ (расход наносов в бытовых условиях). Тогда разность между притоком и оттоком наносов за время t_n дает элементарный объем отложения, равный $(P - P_\delta)t_n$. В связи с отложением части наносов на участке длиной S_n за время t_n дно русла в начальном створе поднимется на величину Z_{n-1} и Z_n — в конечном створе, тогда элементарный объем деформации дна будет

$$\left(\frac{Z_{n-1} + Z_n}{2} \right) \beta S_n.$$

Этот объем должен равняться стоку наносов, тогда уравнение деформации (5) можно переписать в виде

$$\frac{Z_{n-1} + Z_n}{2} \beta S_n = (P - P_\delta)t_n \quad (6)$$

где β — осредненная ширина за время t_n .

Водозабор всегда больше, чем отбор наносов, поэтому в нижнем бьефе наблюдается перегрузка потока наносами, в связи с чем первоначальный уклон J_δ , увеличивается на величину $J_n - J_\delta$, а в соответствии с этим глубина потока уменьшается на величину $z_{n-1} = h_\delta - h$. Следовательно, дно русла в момент времени t_{n-1} поднимается сразу на разность глубин $h_\delta - h$, а в момент времени t_n гребень отложения с такой же высоты перемещается на расстояние S_n . За это время дно в начальном створе поднимается еще за счет уклона $(J - J_\delta)S_n$. Тогда высота подъема в начальном створе за время t_n будет

$$Z_n = z_{n-1} + (J_n - J_\delta)S_n = (h_\delta - h) + (J_n - J_\delta)S_n$$

Вставляя значения z_{n-1} и Z_n в уравнение деформации (6), получим

$$\left[(J_n - J_\delta) \frac{B \cdot S_n^2}{2} + (h_\delta - h) B \cdot S_n \right] = \frac{(P - P_\delta) t_n}{\gamma_{\text{ск}}} \quad (7)$$

Это уравнение получено при условии расхода воды $Q = \text{const}$, а фактически процесс занесения нижнего бьефа носит неустойчивый характер.

Для учета влияния изменения расхода по времени на процесс занесения рассмотрим гидрограф реки. При увеличении расхода (согласно гидрографу реки) воды ($Q > Q_1$) глубина потока будет возрастать до тех пор, пока не установится глубина, соответствующая расходу Q_2 . Предполагается, что увеличение глубины происходит также за счет размыва поверхности ранее образовавшейся призмы отложений. Для получения баланса в этом случае необходимо дополнить правую часть уравнения деформаций объемом, образовавшимся в результате размыва поверхности отложений, выносимых потоком за занесенный участок русла. Тогда правую часть уравнения (7) запишем в виде

$$(P - P_\delta) t_n + (h_2 - h_1) B l,$$

где h_1 и h_2 — глубины, соответствующие расходам Q_1 и Q_2 .

При этом первоначальная высота призмы отложения уменьшится на величину разности глубин $h_2 - h_1$. Следовательно, при увеличении расхода воды уравнение деформации с учетом уравнения движения имеет вид

$$\gamma_{сх} \left[\gamma_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^2 \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{3.5} - 1 \right] \frac{B S_n^2}{2} + [Z_2 - (h_2 - h_1)] B S_n = P_n t_n + (h_2 - h_1) B l_n. \quad (7)$$

В случае уменьшения расхода воды ($Q_2 < Q_1$) при уменьшении глубины потока на величину $h_2 - h_1$ будет происходить занесение поверх призмы ранее отложившихся наносов. После установления глубины h_2 процесс перемещения фронта призмы отложения возобновится, тогда сток наносов уменьшится на объем $(h_1 - h_2) B l_n$.

При этом первоначальная величина Z_2 увеличится на величину $(h_1 - h_2)$. Следовательно, при уменьшении расхода воды уравнение деформации будет равно

$$\gamma_{сх} \left[\gamma_1 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^2 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{3.5} - 1 \right] \frac{B S_n^2}{2} + [Z_2 - (h_2 - h_1)] B S_n = P_n t_n - (h_1 - h_2) B l_n. \quad (8)$$

При заданном гидрографе реки с помощью последних уравнений подбором можно вести расчет занесения нижнего бьефа. При непосредственном использовании уравнения баланса в условиях изменения расходов воды расчет усложняется и в целях облегчения работы расчет рекомендуется производить графическим методом, предложенным И.И.Леви /1/.

Для этого строится прямоугольная координатная система, в первый квадрант которой наносится интегральная кривая объема отложения; во второй — функция объемов призмы отложений наносов в зависимости от ее длины по уравнению деформации (7); в третий — график связи расхода воды от глубины и ширины потока в нижнем бьефе; в четвертый — гидрограф реки после водозабора (близкий к среднему многолетнему). Для определения первоначальных величин подъема дна должен быть задан также график связи расхода глубины и ширины потока в бытовых условиях.

При расчете задаются интервалом времени, в соответствии с которым в первом квадранте определяются твердый сток, а в третьем — глубина потока. Затем к полученной величине твердого стока прибавляется (или из полученной величины вычитается) величина объема твердого стока, образовавшегося в результате размыва (или занесения) поверхности призмы ранее отложившихся наносов, до изменения расхода воды. По установленному значению объема отложения во втором квадранте определяется длина призмы отложения. Затем задается новое значение интервала времени и после аналогичной вышеописанной операции, получают новое значение длины призмы отложения. В итоге составляется график длины призмы отложения по времени. По известным величинам уклона и глубины потока до и после занесения, а также длины призмы отложения наносов определяется уровень воды в нижнем бьефе.

Для иллюстрации методики расчета произведем расчет обратного завала нижнего бьефа Тюмунского гидроузла. В данном случае водозабор осуществляется с малым насыщением. При этом процент забора воды больше, чем процент отбора наносов, в результате чего появляются избыточные наносы, приводящие к увеличению уклона. За счет изменения уклона в нижнем бьефе образуется пространство в виде призмы длиной S_n , имеющей в продольном профиле трапецеидальную форму. Она ограничена снизу первоначальным уклоном, а сверху уклоном, устанавливаемым после занесения. Избыточные наносы идут на заполнение этого пространства. После занесения устанавливается уклон, способный транспортировать все наносы.

При подсчете объема отложений учтены расходы наносов в каналах после отстойника (50% осаждаемых наносов выбрасывается в нижний бьеф плотины). Объем отложений получается за счет изменения транспортирующей способности потока в бытовых условиях реки, а в нижнем бьефе плотины — после водозабора. Этот объем за год составляет 40726000 м^3 . В соответствии с принятой методикой расчета взят $Q = f(H)$ (рис.2), характеризующий изменение глубины и ширины потока

в бытовых условиях по створу теснины р.Тюямуюн. За расчетный гидрограф реки принимается изменение расхода реки за 1956 г. как близкий к среднемноголетнему. Поэтому все остальные гидравлические элементы и мутность связываются с расходом 1956 г. Для экономии времени при производстве расчета гидрограф представим в виде ступенчатого графика по месяцам года: в первом квадранте – суммарный объем отложений (сток наносов на отложений) $W_{отл} = \sum P \Delta t$; во втором – $f(S) = W_{отл}$ по уравнению баланса. Следует отметить, что при занесении дно нижнего бьефа поднимается там, где непосредственно протекает расход воды, причем ширина потока всегда меньше ширины поймы реки. Однако поток, растекаясь, начинает захватывать все большую часть поймы реки и может наступить момент, когда вся пойма реки будет завалена наносами. Поэтому при построении графика $f(S) = W_{отл}$ для определения объема русла, в котором могут отлагаться наносы, ширину поймы в среднем примем по длине реки постоянной и равной величине $B = 2000$ м, средний уклон поймы до занесения – равным величине 0,00019, а после занесения – 0,00020.

Задаваясь длиной отложения S_n по уровню деформации, строим график $S = f(t)$, характеризующий распространение зоны занесения по времени. С целью уменьшения ступеней гидрографа объединим некоторые из них. Расчеты начнем с расхода $Q = 550$ м³/сек (после водозабора), в соответствии с чем глубина, ширина и уклон до и после занесения будет: $H_\delta = 2,2$ м, $H = 2,15$, $B_\delta = 420$ м, $B = 410$ м, $J_\delta = 0,00019$, $J = 0,00020$. При этом первоначальная величина подъема будет $z_\delta = H_\delta - H = 0,06$ м, а разница в уклонах $J - J_\delta = 0,000010$. Задаваясь интервалом времени в зависимости от расхода по ступенчатому графику, в правом верхнем квадранте получаем значение объема отложения, а в левом нижнем – глубину и ширину потока. Величина $(H_{n+1} - H_n) \times \sum S B$ вычитается из $(P - P_\delta) \Delta t$ при уменьшении расхода. Полученное значение объема принимается за величину $f(S)$. Из графика $f(S) = W_p$ во втором квадранте получим искомые длины

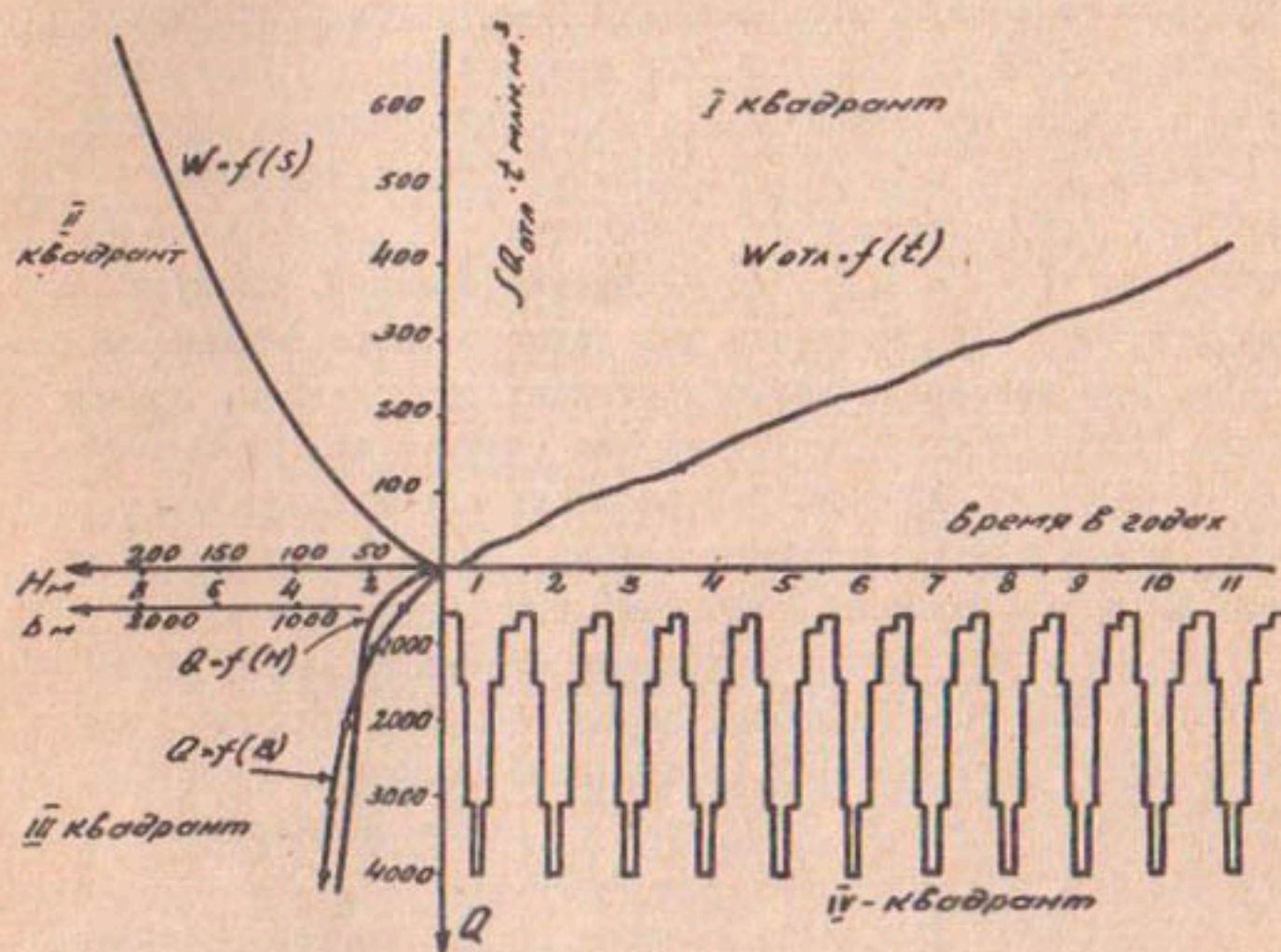


Рис. 2.

Графики к расчету продолжительности процесса заилнения нижнего бьефа.

призмы отложения S_n , характеризующие продолжительность занесения. На основании вычисления построим график

$S = f(t)$. Таким образом, зная глубину, уклон и длину призмы отложения, установим величину подъема уровня воды после занесения нижнего бьефа по выражению

$$y_n = (J - J_0) \sum_{i=1}^n S_i + [z_n \pm (h_{n+1} - h_n)] + H_n.$$

На рис. 3 представлен график результатов вычисления длины отложений и величины подъема уровня в зависимости от времени. Как видно из графика $y = f(t)$, за 10 лет уровень воды поднялся на 1,5 м при длине призмы отложения, равной 150 км. В данном расчете ширину поймы реки приняли 2000 м, фактически в некоторых створах ширина поймы достигает 5000 м. Если учесть изменения ширины поймы по длине реки, то фактический процесс занесения будет идти значительно медленнее, чем по полученным расчетам, асимптотически приближаясь к некоторой постоянной величине. Учитывая характер кривой изменения уровня по времени, такая величина может быть принята $y = 1,9$ м.

В ы в о д ы

В условиях р. Амударьи в межень образуются донные гряды, что приводит к увеличению взмучивающей скорости. В результате этого в толще потока наносы крупной фракции увеличиваются. В паводок, наоборот, дно русла сглаживается и взмучивающая способность потока уменьшается. Поэтому большая часть крупных наносов движется по дну русла или же на близком расстоянии от дна.

Учитывая такой возможный характер движения наносов, в расчете приняли полный расход (донных и взвешенных) наносов (рис. 4), причем расход донных наносов приняли по рекомендации Тузова В.Е., а взвешенные наносы по створу Тюмюна из "Ежегодника".

В условиях Амударьи глубина, скорость и уклон мало зависят от расхода. Ширина потока и расход наносов принимаются пропорционально расходу воды. По мере увеличения

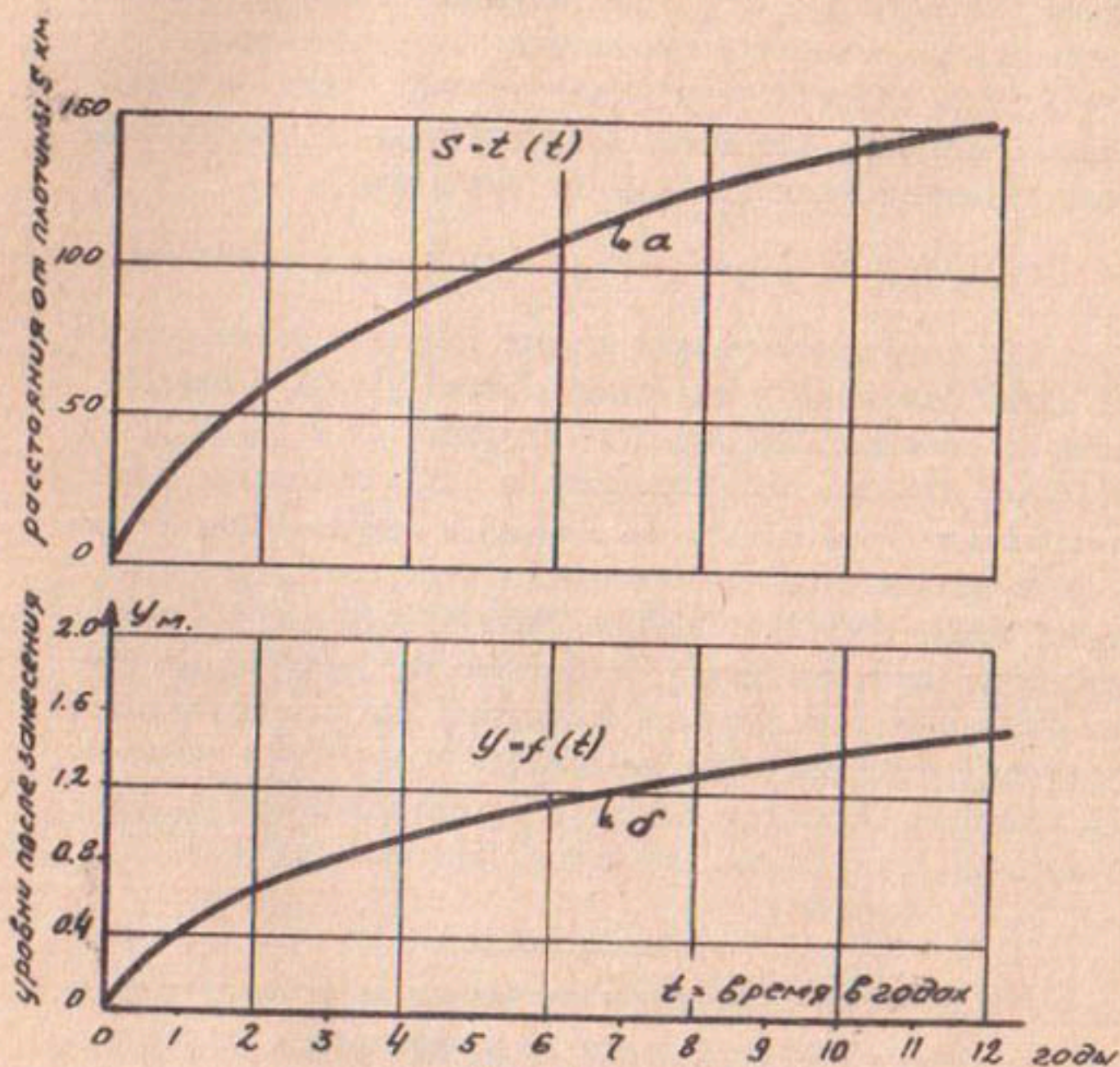


Рис. 3.

- а- график изменения дельты призмы отложения по времени в процессе заиления ;
- б- график изменения уровня воды в нижнем бьефе по времени в процессе заиления.

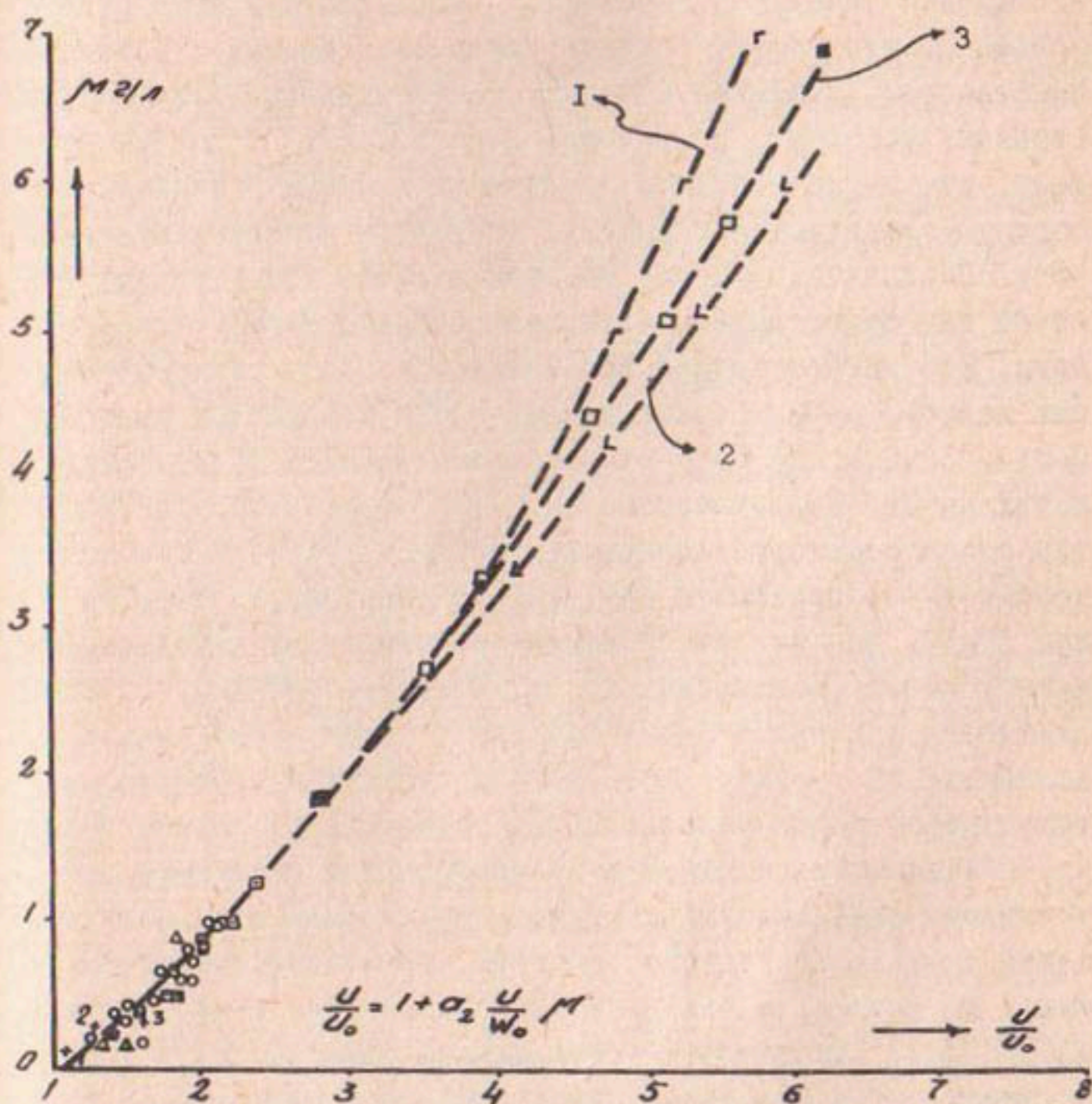


Рис. 4. График изменения относительного полного количества наносов в зависимости от относительной критической скорости.

- - Амударья у Тюя-Мужона
- - Лабораторный песок $d = 0,31 \text{ мм}$
- △ - Лоток с песком $d = 0,375 \text{ мм}$
- +3 Модель в р-не Ташсака при $Q = 34 \text{ л/сек}$
- +2- $Q = 20 \text{ л/сек}$ ($Q = 4250 \text{ м}^3/\text{сек}$)
- +1- $Q = 7 \text{ л/сек}$ ($Q = 850 \text{ м}^3/\text{сек}$)
- 1- по Гончарову;
- 2- по Гостунскому
- 3- Амударья

расхода все больше и больше ширина поймы реки прикрывается водой и течение происходит с одним почти прямым руслом. Большой расход несет большое количество донных и взвешенных наносов, движение которых, как и движение воды в естественных условиях, происходит неравномерно. С другой стороны, при незначительном увеличении глубины с возрастанием расхода наблюдается повышение уровня на значительную величину. Следовательно, при большом расходе воды средняя отметка дна будет выше отметки дна русла с малым расходом воды. Это явление может происходить за счет осаждения части наносов из-за перенасыщения после паводковых расходов. Поэтому осаждение наносов при спаде паводка будет более интенсивным. Неравномерное осаждение наносов по ширине образует пилообразный поперечный профиль русла. Маленький расход будет протекать там, где имеются низкие отметки дна /2,3/. Так как такой расход покрывает незначительную ширину поймы (в зависимости от характера профиля, образовавшегося при прохождении паводка), то могут возникнуть различные по размеру протоки. Следовательно, процесс занесения при большом расходе будет происходить с одним руслом. При большой ширине поймы реки наблюдается блуждание потока и поэтому занесение также будет происходить по полосе движения блуждающего потока. По мере увеличения призма отложения на высоту, поток начинает отклоняться в ту сторону поймы реки, где имеются более низкие отметки дна и уровня; в конце концов занесение охватывает всю пойму реки.

В расчетах приняли ширину по естественному режиму и постоянную — по длине в зависимости от расхода воды. Водоворотные зоны, встречающиеся на поворотах и других местах, не учтены. Отложение на водоворотных зонах происходит не сразу, по мере приближения призмы отложения вниз по прямому руслу наносы постепенно начинают проникать в зону водоворотов. Поскольку отложение отстает от движения воды, струя, достигнув берега будет усиленно размывать его. Если учесть характер изменения поймы по длине реки и влияние зоны водоворотов и поворотов, то процесс занесения будет происходить более медленно, чем мы получили в расчете.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдураупов Р.Р. Процесс занесения нижнего бьефа дери-
вационных гидроузлов и его расчет, Известия
АН УзССР, серия техн.наук, 1957, № 4.
2. Абдураупов Р.Р. К вопросу о механизме и формах движе-
ния наносов, Известия АН УзССР, серия техн.наук,
1958, № 5.
3. Абдураупов Р.Р. К вопросу взаимосвязи русловых форм и
явления дейгиша, Труды САНИИРИ, вып.120, Ташкент,
1970.
4. Великанов М.А. Динамика русловых потоков, Л., Гидро-
метеиздат, 1947.
5. Леви И.И. Динамика русловых потоков, М., Госэнерго-
издат, 1957.
6. Мухамедов А.М., Тузов В.Е. Особенности русловых дефор-
маций реки Амударьи - дейгиш, Труды коорд. совеща-
ния, вып.36, Л., 1967.

Х.А.ИСМАГИЛОВ

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСА КРИВИЗНЫ
НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ р.АМУДАРЬЯ

В естественных русловых потоках в результате длительного взаимодействия потока и русла между радиусами динамической оси потока, расходами и уклонами, а также крупностью наносов, слагающих русло реки, устанавливаются определенные связи. Эти связи можно использовать при выборе выправительной трассы русла реки, устройстве прорезей, а также при расчете подводящих и отводящих русел проектируемых гидроузлов.

В 1949 г. Н.И.Маккавеев /1/ на основе анализа материалов натурных измерений на равнинных реках вывел эмпирическую формулу, связывающую радиус кривизны динамической оси потока с расходом воды и уклоном.

В.М.Маккавеев /2/ в 1948 г. путем теоретического анализа явлений движения потока в открытом русле и знакомства с работами различных авторов (Шези, Зидека, Караушева и др.) получил формулу, аналогичную формуле Н.И.Маккавеева.

В 1950 г. С.Т.Алтуний /3/ опубликовал результаты многолетних исследований рек Средней Азии в целях регулирования русел при водозаборе. В этой работе автор указывает, что наиболее устойчивой формой речных русел в плане является криволинейное русло, очерченное с переменным радиусом, изменяющимся в начале от минимального значения R_0 , в вершине равного $3,5 V_{уст}$, до R , равного $(7-8) V_{уст}$, или до $R \rightarrow \infty$ в конце, где переход от одной кривой к другой осуществляется с прямолинейной вставкой.

С.Т.Алтуний также установлено, что наиболее простая и устойчивая кривизна излучины, а следовательно, и

кривизна зарегулированной трассы может быть вычерчена по сопрягающимся дугам различной кривизны двумя-тремя радиусами.

В 1956 г. Н.А.Ржаницын /4/, рассматривая теоретическую схему изгиба прямоугольного русла, вывел формулу, связывающую радиус кривизны излучины с расходом, скоростью течения и площадью живого сечения русла.

В 1962 г. А.Н.Крошкин /5/, используя уравнение движения потока в цилиндрических координатах И.Л.Розовского, получил связь радиуса изгиба геометрической оси потока с расходом, уклоном и крупностью русловых отложений для горных рек Киргизии.

Отметим, что перечисленные работы посвящены в основном равнинным рекам Европейской части СССР, а также предгорным и горным участкам рек. Однако в условиях среднего и нижнего течения р.Амударьи аналогичные зависимости еще не установлены.

На Амударье, по нашим наблюдениям также, как и на других равнинных реках, встречается три типа излучин: свободный, ограниченный и вынужденный (рис. I). К первому типу относятся излучины, образуемые в широкой пойме реки, где русло и берега поймы сложены из наносных отложений самой реки. Следовательно, в этих условиях происходит свободное формирование русла реки, склоны же долины в образовании этих излучин участия не принимают.

Первый тип сильно изменчив, так как русло реки слабо углублено в толщу рыхлых отложений наносов, легко размываемых во время половодья (у Турткуля, Чарджоу, в районах головы каналов Клычбай, Ташсака и др.). Ко второму типу относятся излучины реки, повторяющие излучины долины и, таким образом, в каждую излучину русла выходит выступ коренных пород (от теснины Ильчик до теснины Тюямуюн, между горами Каратау и Джумуртау и др.) К третьему типу

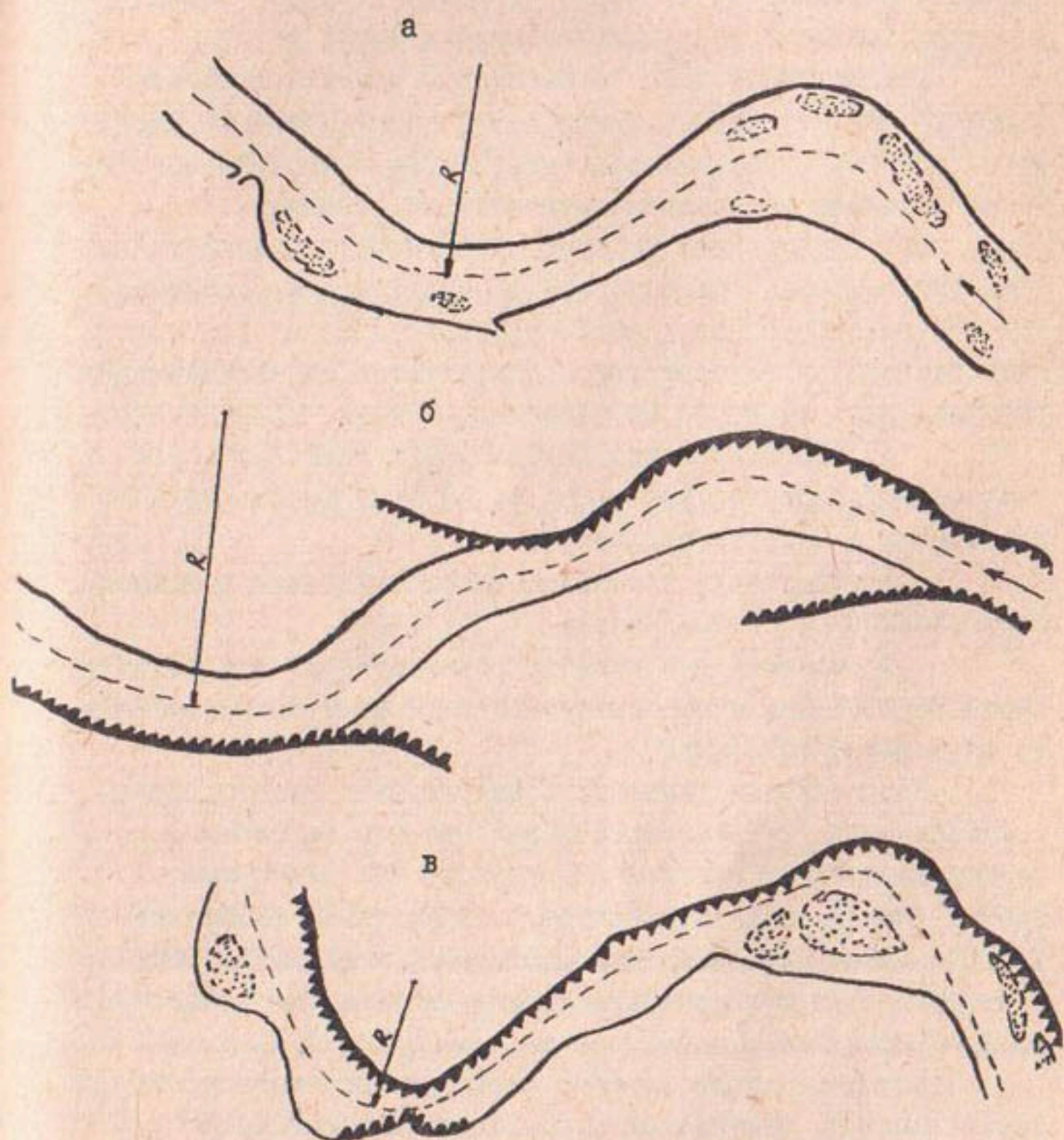


Рис. I . Существующие типы изгибов на р.Амударья:

а- свободный; б- ограниченный ; в- вынужденный.

можно отнести такие, при которых поток, набегая на неразмываемый коренной берег образует резкий, крутой изгиб (теснины Тямун, Дуль-Дуль-Атлаган и др.).

Рассмотрим вопросы определения радиуса кривизны динамической оси потока в среднем и нижнем течении Амударьи для первых двух типов (для третьего типа мы пока не располагаем достаточным количеством данных).

При определении радиуса кривизны для вышеуказанных двух типов изгиба мы исходили из постулата М.В.Лохтина /6/: "Всякая река, если рассматривать ее не на отдельных лишь пунктах, а во всем целом, образуется сочетанием трех основных друг от друга не зависящих элементов, а именно:

1) многоводности, определяемой атмосферными и почвенными условиями выпадения осадков на речную область и стока их в реку из притоков;

2) ската или крутизны, обусловливаемой рельефом пересекаемой рекой местности;

3) большей или меньшей размываемости или устойчивости, ложа реки, соответствующей свойством прорезываемых ее течением слоев земли".

Рассматривая динамику формирования речного русла, М.А.Великанов /7/ несколько сузил эти три категории, поставив вместо них расход Q , уклон gi и крупность частиц дна d . Эти три величины, по мнению М.А.Великанова, и должны определить средние морфометрические характеристики руслового потока: ширину, глубину, кривизну на закруглениях и др.

Исходя из этого, представим радиус динамической оси изгиба R в виде степенного одночлена Q , gi , d

$$R = \rho Q^x (gi)^y d^z, \quad (I)$$

где ρ — коэффициент пропорциональности;
 x, y, z — показатели степени.

Напишем теперь формулу размерности

$$L = \left(\frac{L}{T}\right)^x \left(\frac{L}{T^2}\right)^y L^z = L^{3x+y+z} T^{-x-2y}$$

Сопоставляя показатели степени при L и T , получаем два уравнения с тремя неизвестными x , y , z .

$$I = 3x + y + z;$$

$$0 = -x - 2y.$$

Представим y и z в виде функции от x

$$y = -\frac{x}{2}; \quad z = 1 - 2,5x.$$

Затем находим формулу для радиуса динамической оси потока

$$R = cd \left(\frac{Q}{d^{2,5} \sqrt{gi}} \right)^x, \quad (2)$$

или

$$\frac{R}{d} = c \left(\frac{Q}{d^{2,5} \sqrt{gi}} \right)^x. \quad (3)$$

В зависимости (3) коэффициент c и показатель степени x являются неизвестными и должны определяться опытным путем по данным натурных и модельных исследований. Эти параметры определены нами для среднего и нижнего течения реки Амударья по натурным данным УГМС, опубликованным в гидрологических ежегодниках, по материалам Среднеазиатского бассейнового управления пути, Среднеазиатского и Ленинградского отделений Гидропроекта и экспедиции отдела регулирования русловых процессов САНИИРИ, а также по данным наших модельных исследований. Кроме того, были также использованы данные модельных исследований, проведенных Х.А.Ирмухамедовым в головной части Каршинского магистрального канала

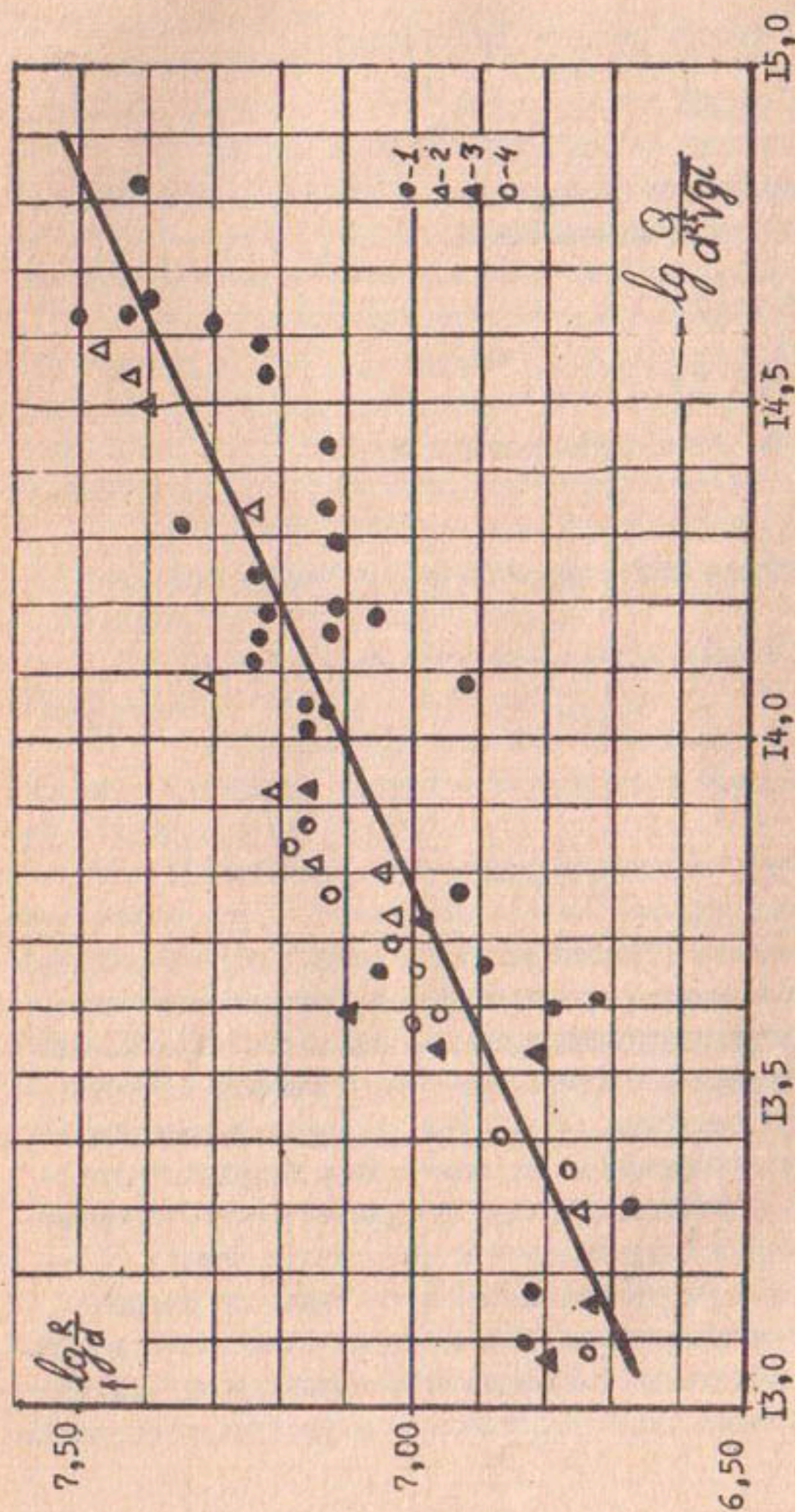


Рис.2. График зависимости радиуса динамической оси потока от расхода воды, уклона и крупности русловых отложений по р.Амударья для свободного типа изгиба.

1-натурные данные; 2-модельные данные Цоя Г.А.; 3- модельные данные Ирмахамедова Х.А.; 4- модельные данные Исмагилова Х.А.

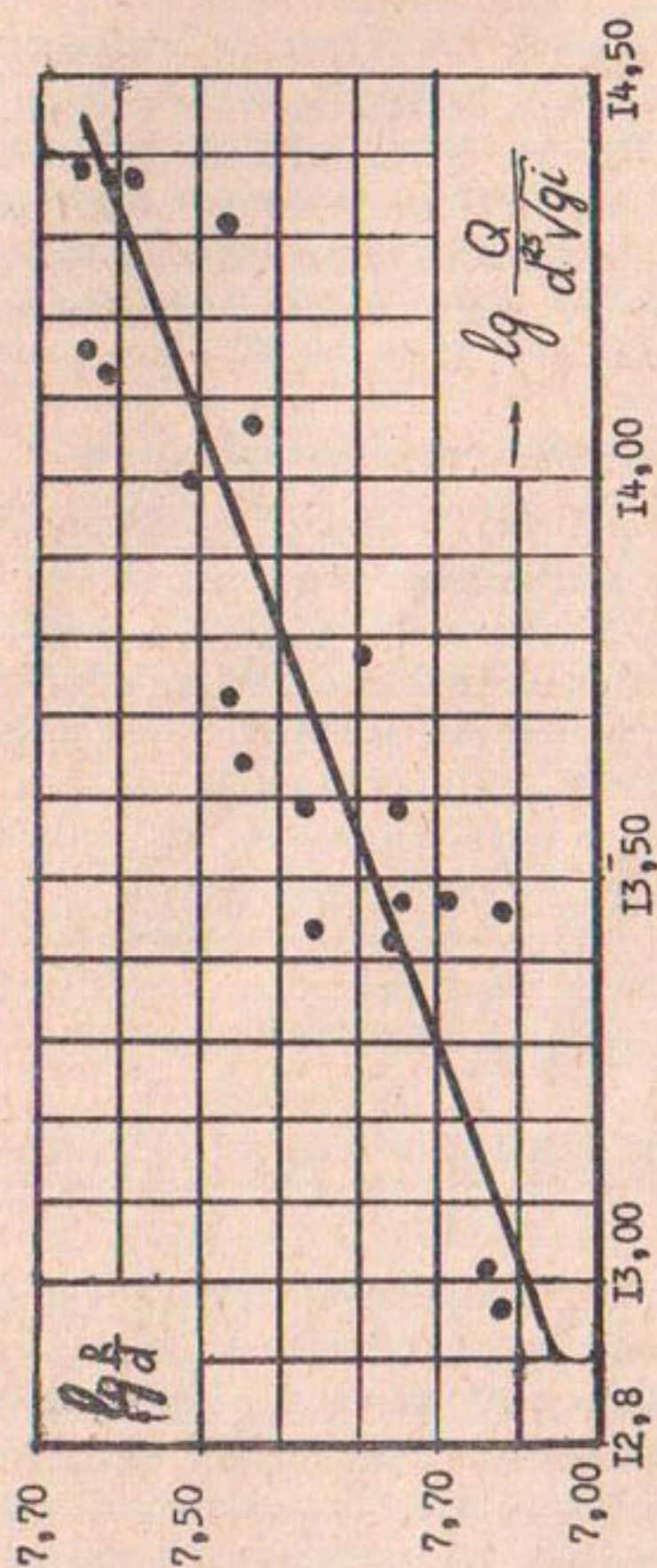


Рис. 3. График зависимости радиуса динамической оси потока от расхода воды, уклона и крупности русловых отложений по р.Амударья для ограниченного типа изгиба.

и Г.А.Цоем в головной части Клычбайского канала на р.Амударья.

Радиус динамической оси потока на криволинейных участках реки определен по данным модельных исследований и многолетних плановых съемок р.Амударья и соответствующим этим съемкам расходам и уклонам воды, полученным нами по материалам измерений на ближайших постах УГМС (см.рис.1). Средние диаметры донных отложений для рассмотренных участков реки взяты из работы Н.А.Цветковой /9/.

Используя гидравлические элементы потока R , Q , i и d , мы рассчитали критерии $\frac{R}{d}$ и $\frac{Q}{d^{2.5}\sqrt{gi}}$ для криволинейных участков Амударьи (рис.2,3). По способу наименьших квадратов определены коэффициенты и показатели степени и получены следующие выражения зависимости (3) для среднего и нижнего течения Амударьи:

а) для свободного изгиба

$$\frac{R}{d} = 120 \left(\frac{Q}{d^{2.5}\sqrt{gi}} \right)^{0.5} \text{ или } R = 120 \frac{Q^{0.5}}{d^{0.25}(\sqrt{gi})^{0.25}}; \quad (4)$$

б) для ограниченного изгиба

$$\frac{R}{d} = 60 \left(\frac{Q'}{d^{2.5}\sqrt{gi}} \right)^{0.4} \text{ или } R = 60 \frac{Q'^{0.4}}{(\sqrt{gi})^{0.2}}. \quad (5)$$

Из формул (4) и (5) и рис.2 и 3 видно, что показатели степени для различных типов изгиба имеют разные значения (большее для свободного изгиба и меньшее для ограниченного). Это свидетельствует о том, что на свободном участке с изменением гидравлических элементов потока радиус кривизны динамической оси потока увеличивается или

уменьшались в большей степени, чем на ограниченном изгибе, т.е. свободные участки реки менее устойчивы, чем ограниченные.

Представляется, что полученные нами зависимости могут быть в дальнейшем использованы для определения радиуса кривизны выправительной трассы при компоновке защитно-регулирующих сооружений, а также при проектировании подводящих и отводящих русел гидроузлов на р.Амударья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей, М., изд.МоцНИИРФ, 1949.
2. Маккавеев В.М. Некоторые теоретические задачи динамики открытых потоков, Тр.ГТИ, вып.8(62), 1948.
3. Алтуни С.Т. Регулирование русел рек при водозаборе, М., Сельхозгиз, 1950.
4. Ржаницы Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети, Л., Гидрометеиздат, 1960.
5. Крошкин А.М. Некоторые особенности участков русел горных рек Киргизии, Автореф.канд.дисс., Ташкент, 1962.
6. Лохтин М.В. О механизме речного русла, 1897.
7. Великанов М.А. Динамика русловых потоков, Л., Гидрометиздат, ч.П, 1956.
8. Рауз Х. Механика жидкости для инженеров-гидротехников, М., Госэнергоиздат, 1958.
9. Цветкова Н.А. Режим наносов р.Амударья. В сб. "Вопросы гидротехники", вып.13, АН УзССР, 1963.

К. ИМАМУТДИНОВ

ОПЫТ БОРЬБЫ С ДЕЙГИШЕМ НА р. АМУДАРЬЯ В ХОРЕЗМСКОЙ ОБЛАСТИ

Хорезмская область — одна из передовых областей Узбекистана, имеющая самую высокую урожайность хлопчатника в республике, расположена на левом берегу р. Амударья на участке ее нижнего течения, начинающегося от теснины Тюямуюн.

Командное положение, занимаемое р. Амударья над территорией Хорезмской области, значительно упрощает отвод воды из реки каналами. Однако наряду с благами, река причиняет Хорезму и значительный ущерб.

В период паводков и осенне-зимних зажорных и заторных подъемов горизонтов воды создается угроза затопления прибрежной территории, для предотвращения которого вдоль берегов возведены многочисленные линии дамб обвалования. Кроме этого, интенсивное отложение наносов в русле реки во время подъема и спада паводка вызывает постоянные изменения в протекании потока с частыми свалами части расхода к берегу. Такие свалы характеризуются высокими скоростями течения, что при слабых песчаных и супесчаных грунтах является причиной быстрых и интенсивных местных размывов берегов, получивших в Хорезме название дейгиша, издавна являющимся страшным бичем Хорезма.

До революции борьбу с дейгишем проводили малоэффективными местными средствами. На участках возникшего дейгиша в прибрежной зоне оставляли поля с посевами, а в глубине на значительном удалении от береговой кромки строили новые каналы и дамбы.

Первые инженерные работы по борьбе с дейгишем в нижнем течении р. Амударья начались только при Советской власти. В 1937—1941 гг. для защиты г. Турткуля проводили работы на правом берегу реки. Несмотря на большой объем выполненных противодейгишных мероприятий размыв берега не уда-

лось предотвратить, и к 1947 г. город был полностью смыт.

На участке 70 км от Ташсака до Гурлена за период с 1886 по 1946 гг. в результате дейгиша река сместилась в сторону правого берега в среднем на 6 км. В таблице приведены расстояния до береговой кромки, характеризующие смещение реки за отдельные периоды времени в различных пунктах, из которой видно, что до 1950 г. от селений Аккамыш до Ахунбабаева река имела общее смещение вправо на 40–50 км, местами (створ г.Турткуль) оно достигало более 10 км. Нарастание противоположного (левого) берега за счет отложений продуктов размыва составляло к 1950 г. II–III км. С 1950 по 1965 гг. река смещалась влево, образуя новые каирные земли, сосредоточенные в отдельных местах на правом берегу.

По данным профессора С.Т.Алтунина, в 1957 г. на участке от Ташсака до Джумуртау протяжением около 100 км размывы наблюдались в 26 точках, расположенных в шахматном порядке по 13 точек на каждом берегу. Общая протяженность полосы размыва (при длине фронта размыва в отдельных местах от 700 до 2500 м) составляла около 30 км, или 30% общей длины рассматриваемого участка реки. На основании этого профессор С.Т.Алтунин сделал вывод, что одновременный дейгиш возможен примерно на 15% общей длины береговой линии /1/.

Инженер-гидротехник Д.А.Аташев объясняет расположение участков размыва в шахматном порядке, исходя из теории поперечной циркуляции и меандрической в плане формы русла, следующей закону синусоиды с расстояниями между вершинами синусоид порядка 10–14 км. При ширине устойчивого русла 700–1000 м это соответствует рекомендуемой для расчета профессором С.Т.Алтуниным величине шага меандр $\lambda = (12 \div 14) B$ /1,2/. Длина участка размыва обычно достигает 2,5 км, причем центр размыва все время перемещается по течению то вверх, то вниз.

За последние годы местами наиболее интенсивного дейгиша являлись участок ниже головного регулятора кана-

Берег реки	Пункт	Расстояние от берега до пункта, км/год									
		1890 г.	1908 г.	1925 г.	1945 г.	1950 г.	1955 г.	1960 г.	1965 г.		
Левый	1-ый км канала Ташсака	Смыт	1-2	1,5-2,5	1,2	1-0,8	0,7-0,4	0,4-0,7	0,6-1,0		
"	8-ой км Ташсака	"	1-2	2,5-4	3-5	5-4	4-2	1,5-0,06	1,5-3		
"	Ханки	3	4	7	10-11	11-16	17	16-18	14-17		
"	г. Ургенч	5	6-7	11-12	15-16	16-18	18	18	18-20		
Правый	г. Турткуль	8	5-7	1-1,5	0,5-1,5	Смыт	1-2	2-2,5	3-5		
Левый	Голова канала Клычбай	8	5-7	3-5	1,75	1-0,8	0,8-0,7	0,7-0,1	0,1-0,01		

ла Ташсака (район I-го км), нижележащий участок этого же канала (район 8-го км); участок в районе головы канала Клычниязбай и территории колхоза "Коммунизм" Гурленского района (Аккумский участок).

Опасен дейгиш в районе головной части канала Ташсака, так как здесь канал проходит близко от левого берега реки. Интенсивный дейгиш на этом участке начался осенью 1957 г. намного ниже Ташсакинского головного регулятора. В этом месте река резко, почти под углом 70° , повернула влево и начала смывать полосу земли между каналом и рекой. Ширина береговой бровки сократилась до 90-100 м, что создало угрозу прорыва реки в Ташсакинский канал. Поэтому на специальном совещании было принято решение о немедленном строительстве обводного канала и намечены следующие мероприятия по охране существующего канала на время строительства нового:

- 1) крепление берегов реки гибкими тяжелыми туюфами;
- 2) смыв землесосами в реку песчаных отвалов, ранее образовавшихся по берегам Ташсакинского канала в результате его очистки;
- 3) установка сипайных сквозных (сетчатых) шпор;
- 4) проведение выправительно-регулирующих работ в русле реки методом расчистки протоков взрывами и разработкой русла колесным пароходом.

Общая стоимость выполненных работ в ценах 1961 г. - 84,35 тыс.руб.

Укрепляли берег по всей длине размываемого участка хворостом, поштучно заанкеренным к берегу и пригруженным сверху мешками, наполненными песком. Хворост транспортировался на баржах из урочища Матниязжилли, расположенного на расстоянии около 100 км вверх по течению реки.

Для уменьшения скорости потока в прибрежной зоне устанавливали с барж хворостяные тетраэдры высотой 2-3 м с якорями из камней весом 50-70 кг, которые были заанкерены к берегу проволокой диаметром 6 мм. Помимо этих ра-

бот осуществлялся также смыв в реку песчаных отвалов (раш) землесосами Ирригатор № I и 2, ВНИИГим и 8-НЗ. В результате работы землесосов образовались траншеи шириной 20 м, располагавшиеся через 90 м.

Вначале смыв рашей дал некоторый положительный эффект, так как река не могла быстро сносить пульпу. Происходило заиливание прибрежной полосы, достигавшее 5-7 м в ширину. В дальнейшем на некоторых участках берегоукрепительные работы проводились недоброкачественно и смыв раш эффекта не дал. Это поставило в тяжелые условия работу соседних участков и даже создалась угроза смыва их рекою. Поэтому дополнительно были выполнены работы по строительству сквозных сипайных шпор, которые устанавливали в траншеи, образовавшиеся после смыва рашей в реку.

Каркасы шпор связывали из бревен диаметром 0,35-0,3 м и длиной 6,5-9,5 м. Для возведения шпоры на длине 30 м устанавливали три сипайных каркаса. Нижнюю часть шпоры заполняли габионной кладкой, в верхней — на всю высоту сипая устанавливали проволочную сетку, которую крепили непосредственно на каркас, образуя своеобразную сетчатую конструкцию длиной 30 м и высотой до 5-7 м. Всего было построено 31 шпора, рассчитанные на самопогружение в процессе под-

В последующие годы шпора работала, но весь плавающий прибрежный мусор задерживался первыми шпорами, вающий прибрежный мусор задерживался первыми шпорами, которые из-за сильного засорения быстро подмывались. Поэтому в дальнейшем от применения сквозных сипайных шпор пришлось отказаться.

Взрывные работы в русле выполняли работники Госпароходства, которые ежедневно взрывали 2,5-5,0 т взрывчатки на правой стороне кромки отмели, суживающей русло реки. Однако высокая стоимость взрывных работ заставила после нескольких дней работы отказаться от их дальнейшего производства.

Разработка русла для регулировочных работ колесным пароходом была применена впервые. Вначале 5-10 дней на реке работал маломощный парод "Таджик", непрерывно курсировавший вниз и вверх по течению реки вдоль кромки отмели, где раньше производились взрывные работы. Затем пароход "Таджик" был заменен на месяц более мощным колесным пароходом "Ватутин" (350 л.с.), который работал еще и как землечерпалка, имея на носу два всасывающих сопла и два нагнетательных трубопровода, при помощи которых можно разрабатывать грунт отмели и русла. Двигаясь вверх и вниз по течению, пароход "Ватутин" не давал фарватеру сузиться, создавая колесами в потоке повышенную турбулентность, способствующую интенсивному взмучиванию наносов.

Для сохранения безопасности канала от возможного смыва слева от существующего канала построено обводное русло протяжением 4 км.

Работы по обводному руслу и креплению берега производились силами Хорезмской области Узбекской ССР и позднее Ташаузской группой районов Туркмении, поставлявшими механизмы, материалы и рабочую силу. Значительная часть берегоукрепительных работ была выполнена колхозниками вручную.

Дейгиш вблизи головы распределителя Р-3 на 8-ом км канала Ташсака начался в конце паводка 1958 г. во время переформирования русла р.Амударья. Первоначально дейгиш начался на освоенных каирных, а потом и на культурных землях.

Берегоукрепительные работы начались, когда расстояние между рекой и каналом в наиболее узком месте сократилось до 400 м. С июня по 20 сентября 1961 г. работы велись силами и средствами только Хорезмской области. Дейгиш смыл 200 м берега и расстояние между рекой и каналом сократилось до 200 м.

22 сентября 1961 г. было созвано межреспубликанское совещание, которое наметило следующие мероприятия:

1. Крепление берега реки на участке 8-го км канала путем укладки в воду на откос заграждений из ветвей крупных деревьев, заанкеренных к берегу, с пригрузкой их бетонными кубами. Участки работ между Хорезмской и Ташаузской областями распределялись соответственно процентной доле водозабора каждой из них, т.е. 60 и 40%.

2. Для отвлечения части расхода реки и изменения направления ее фарватера вдоль правого берега р.Амударья земснарядами и взрывами сделать прорезь длиной 3 км на расход $300 \text{ м}^3/\text{сек.}$

С I.X-I.XII-1961 г. было произведено крепление левого берега р.Амударья на длине 2600 м путем укладки на откос ниже уреза воды около 20 тыс. м^3 крупных деревьев и хвороста, связанных проволокой диаметром 6-16 мм, заанкеренных к берегу и пригруженных бетонитами весом 60-80 кг. Общий объем пригрузки составил 3000 м^3 бетона.

Бетониты заготавливались на месте, а хворост и деревья доставлялись баржами из урочища Матниязжилли. В работах по укладке крепления принимали участие около 1000 колхозников Хорезмской области и 350 колхозников Ташаузской группы районов. Кроме того, на заготовке деревьев и хвороста работало около 700 колхозников обеих областей.

Транспортные, погрузо-разгрузочные работы максимально механизированы. Доставку лесоматериалов производили на 20 баржах, грузоподъемностью 50-300 т буксируемых 2 пароходами и 8 теплоходами. Погрузку материалов на баржи производили 2 плавучих крана грузоподъемностью 3-5 т, разгрузку - 6 экскаваторов с крановым оборудованием и 3 автокрана. Кроме того, работало 35 тракторов ДТ-54, 7 тракторов С-80, 6 самосвалов ЗИС-150, 3 бетономешалки и другие механизмы.

Фронт защиты длиной 2600 м был разделен: Хорезмской области предназначался участок длиной 1900 м, Ташаузской группе районов - 700 м. Защиту берега осуществляли тяжелыми хворостяными фашинами диаметром 1,8-2,5 м, длиной 20 м, стянутых проволокой диаметром 8 мм, которые

вручную укладывали на откосе и пригружали сначала мешками с песком весом до 100 кг из расчета 2-4 шт. на 1 пог.м, а затем бетонитами весом 60-80 кг из расчета 4-8 шт. на 1 пог.м. Фашины закреплялись анкерными оттяжками длиной до 50 м из катанки диаметром 16 мм.

Проведенные защитные работы ослабили активность дейгиша, но не ликвидировали угрозу смыва Ташсакинского канала. Расстояние от реки до канала оставалось 110-120 м.

С 17.XII - 23.XII 1961 г. силами Хорезмской области были проведены дополнительные берегоукрепительные работы. На участке Ташаузской группы районов они не велись, поэтому здесь крепление просело на длине 200 м. Весной 1962 г. было проведено восстановление нарушенного бетоно-хворостяного крепления, уложенного во второй половине 1961 г.

Осенью 1961 г. проводились также большие работы по устройству в русле реки правобережной прорези шириной 50 м, длиной 3 км, которая должна была отвлечь часть расхода реки вправо и ослабить свал потока на дейгишируемый левый берег. На этом участке работало 20 землесосов 8-НЗ: 7 шт. от Хорезмской области, 7 - от Ташаузской группы районов и 6 - от КК АССР, а также земснаряд "Сормовец-15", принадлежащий Средазгоспароходству. Общий объем работ составил 600 тыс.м³.

Открытие прорези намечалось произвести в апреле 1962 г. в период подъема паводка. Однако из-за неблагоприятного переформирования русла в начале весны 1962 г. прорезь была включена в работу раньше. После того как перемычки в начале и конце прорези были сняты, она стала интенсивно разрабатываться в ширину. Одновременно в ее хвостовой части началось отложение продуктов размыва и дно стало повышаться.

В 1962 г. на р.Амударья снова начался интенсивный дейгиш: с левого берега образовалась угроза прорыва реки в Ташсакинский канал. В конце 1962 г. в местах разрушения старого русла канала были насыпаны аварийные перемычки на ПК7 и ПК35, а работы по окончанию обводного русла были

ускорены. Перед началом промывочных поливов обводное русло было уже введено в работу. При прохождении весенних паводков в 1963 г. дейгиш на указанном участке был особенно интенсивным, в результате чего был смыт правый берег старого канала с ПК10 + 40 до ПК32 + 00, и речной поток пошел по каналу.

Для сохранения аварийных перемычек на ПК7 и ПК35 от смыва были приняты срочные меры: на ПК35 силами Хорезмской области и Ташаузской группы районов была построена каменно-хворостяная шпора длиной 244, шириной 20 и средней высотой 4 м. Объем каменно-хворостяной шпоры — 19363 м³, из них районами ТуркмССР построено 7357 м³. В передней части шпоры вдоль ее напорного откоса были установлены трехногие сипаи высотой 6,5 м в количестве 55 шт. На участке от ПК7 до ПК10 было уложено каменно-хворостяное крепление объемом 1722 м³ и установлен 21 сипай высотой 6,5 м. В 1964 г. у головы Ташсакинского канала и на его 3-ем км размыв берега прекратился.

Значительные берегоукрепительные работы производились также у головы канала Клычниязбай — второго по величине в Хорезмской области. Расход его составляет около 90 м³/сек. Канал имеет две головы — основную, оборудованную инженерным регулирующим сооружением, и подпитывающую, так называемую Турангасака, расположенную выше по течению. Из-за слабого, легкоразмываемого на этом участке грунта регулирующее сооружение основной головы было построено в удалении от береговой кромки на 700 м.

Подводящее русло превращено в отстойник-Турангасака, которое включается в русло канала на 3,7 км ниже регулятора.

Небольшой дейгиш у основной головы канала Клычниязбай наблюдался еще в 1936–1940 г.г., но в 1941 г. он прекратился и возобновился лишь в 1958 г., что привело к сокращению расстояния береговой кромки от фронта сооружения к 1961 г. с 700 м до 50 м. Возникла возможность

смыва головного сооружения и прорыва в канал больших расходов воды.

Однако с осени 1961 г. дейгиш на этом участке начал затухать и к весне 1964 г. перед головой образовалась большая отмель, вызвавшая необходимость устройства землесосами прорези для обеспечения водозабора в канал. С начала паводка отмель была смыта и стрежень потока вновь переместился к левому берегу, причем на спаде паводка 1964 г. (июль-август) возник интенсивный дейгиш, который опять поставил головное сооружение канала под угрозу смыва. Расстояние береговой кромки от фронта сооружения уменьшилось с 50 до 15 м, дейгишем были смыты каменно-хвостяные крепления, шпунтовые ряды и понур водозаборного сооружения.

В 1959 г. с конца мая до начала октября дейгишем был смыт участок левого берега длиной 295 м, и река приблизилась к сооружению. В отдельные дни интенсивность смыва доходила до 15 м и более. В течение всего лета, несмотря на проводившиеся защитные работы, размыв продолжался и прекратился только после закрытия канала. Защитные работы этого периода заключались в устройстве 18 сипайных шпор и 3000 хвостяных заилителей на каменных якорях. Общая стоимость работ составила 20,97 тыс.руб.

В 1960 г. в связи с интенсивным дейгишем левого берега р.Амударья выше водозабора Клычниязбай создавалась угроза смыва головного сооружения. На основании решения противопаводковых комиссий Хорезмской и Ташаузской областей проводились следующие работы: вдоль левого берега на участке в 1 км ниже уреза воды было уложено свыше 3000 шт крупных деревьев с кронами, которые пригружались мешками с песком и привязывались двумя оттяжками из проволоки к мертвякам, закопанным на берегу на расстоянии 50-70 м от береговой кромки, чтобы их не уносило потоком воды.

Для перевозки деревьев из Тугаякакрали были использованы 20 тракторов ДТ-54. Укладку деревьев в воду произ-

водили плавучим краном, который передвигался с помощью буксирного теплохода. Для изменения направления потока в месте образования свала к размываемому берегу и предотвращения дейгиша производилось углубление и расширение правобережного протока (узьяка) взрывами, землесосами и пароходами. С целью ослабления последствий возможного смыва головного регулятора было намечено произвести усиление и наращивание дамб канала Клычниязбай на участке от головного регулятора до вододелителя Клычбай-Гурленской ветки длиной 7 км. Это позволило бы в случае прорыва реки в канал превратить указанный участок в подводящее русло, используя сооружение вододелителя в качестве основного регулирующего сооружения.

В начале 1961 г. дейгиш у головы канала Клычниязбай прекратился, хотя частичный размыв левого берега реки все-таки имел место ниже и выше головы сооружения. В основном поток переместился к правому берегу.

Осенью 1963 г. река полностью отошла от головы канала Клычниязбай, образовав перед ней большую отмель (каир), в которой к весне 1964 г. землесосами была устроена прорезь длиной около 700 м и шириной 35 м для обеспечения водозабора в канал. С подъемом горизонтов воды в реке началось затопление и размыв отмели, в результате чего стрежень переместился к левому берегу.

Интенсивный дейгиш у головы канала Клычниязбай начался 10-го июня. С 15-го июня он так усилился, что размыв берега составлял 10-25 м за сутки при длине фронта размыва 50-75 м. Первоначально противодейгишные работы производились только силами эксплуатационной службы УПРАДИКа. Однако объемы работ, выполнявшиеся ею, были недостаточны. Поэтому 25 июня 1964 г. Хорезмская область, по решению директивных организаций, выделила в помощь УПРАДИКу 150 колхозников, 10 автомашин и 4 бульдозера.

Первоначально дейгиш активизировался выше входа в подводящее русло головного сооружения канала Клычбай на длине 65 м. Однако к концу июля зона размыва, распростра-

нившаяся вверх и вниз по течению, охватила около 500 м (из них 350 м выше сооружения и 150 — ниже). При этом был поврежден понур головного сооружения. Берегоукрепительные работы на всей длине проводились силами трех республик, получающих воду из канала Клычбай: УзССР (Хорезмская область), ТуркмССР (Ташаузская группа районов) и КК АССР (Амударьинский район) с учетом процента их водопользования.

Защищали берег тяжелыми хворостяными фашинами, представляющими собой связки хвороста диаметром 1,8–2,0 м, длиной 16–20 м, стянутые проволокой диаметром 16 мм. Фашины укладывались на откосе и пригружались сначала бетонитами весом 60–80 кг, изготовлявшимися на месте, из расчета 4–6 шт. на 1 пог.м, а в период массового разворота работ — железобетонными плитами перекрытий (бракованные изделия). Укладку фашин и бетонитов производили вручную, а плит — автокранами и экскаваторами с крановым оборудованием. Фашины заанкеривались оттяжками из проволоки диаметром 16 мм, которые прикреплялись к бетонным кубам 100–160 кг, закопанным в грунт берега. Длина анкерных оттяжек — 50–70 м. Хворост подвозили из местности Кокра-литугай на расстояние 15–20 км, железобетонные плиты — из Ургенча и Ташауза. Всего за июль–август было уложено 53 тыс.м³ хвороста, 8 тыс.м³ железобетонных изделий, 500 т камня.

В берегоукрепительных работах у головы Клычниязбай участвовало до 1300 колхозников, 150 автомашин, 10 экскаваторов, 12 автокранов и 20 бульдозеров ДТ-54. Затраты на берегоукрепительные работы составили за счет УзССР — 454,5 тыс.руб. и ТуркмССР — 250,5 тыс.руб.

При проведении защитных работ большое внимание уделялось креплению мыса, расположенного ниже сооружения. Мыс работал как глухая шпора длиной 35 м, предохраняя от размыва выше — и нижележащие участки, а также обеспечивая поступление расходов воды при низких горизонтах реки.

В процессе выполнения берегозащитных работ в 1964 г. намечался и ряд других мероприятий по ослаблению дейгиша, например, устройство шпор из сквозных тетраэдров (сварные из рельсов)¹, старых барж, на которые предполагалось наварить каркас из сортового железа, заполнив его хворостом, после чего баржа должна быть затоплена. Однако эти работы не были проведены.

Интенсивный дейгиш, начавшийся 24 июля, прекратился только 7 августа. Все это время на участке размываемого берега велись интенсивные берегозащитные работы. Например, в борьбе с дейгишем за этот период участвовало до 1000 рабочих Янгибазарского СМУ.

На хворостяной кладке и возвышении дамб обвалования работало 5 автокранов и 20 скреперов и бульдозеров разных марок. На доставке хвороста и брака железобетонных изделий к месту работ участвовало 300 автомашин и несколько барж грузоподъемностью до 500 т. Бракованные железобетонные изделия доставляли в Хорезм со всех заводов Узбекистана и Каракалпакии железнодорожным и водным транспортом.

После прекращения дейгиша все разрушенные участки хворостяного крепления были заново восстановлены, а затем продолжены работы по возведению шпор на берегу, которые закончились только к концу года. Поскольку к этому времени река продолжала оставаться у левого берега, то не исключалась возможность дальнейшего разрушения хворостяного крепления, а следовательно, и берега. Поэтому на особо опасном участке от шестой шпоры до водозабора в канал были выполнены работы по усилению защиты. Для этого хворостяное крепление по откосу со стороны реки дополнительно пригрузили железобетонными тетраэдрами, а также нарастили со стороны реки.

¹ Для ослабления водоворота, образовавшегося ниже мыса, вдоль его левого берега, была построена опытная шпора наброской в воду сквозных тетраэдров, сваренных уголков № 5. Наброска производилась связками по 5-7 тетраэдров плавучим краном. Всего было заброшено 54 тетраэдра высотой 2,5 м. Однако ввиду малого сечения стержней, из которых были сварены тетраэдры, шпора эффекта не дала.

С 1949 по 1951 гг. интенсивный размыв происходил также на участке Гурленской пристани и в местности Аккум на длине около 2 км, а также в районе лесной дачи Саратау, где ширина полосы достигала 400 м. Большому размыву подвергалась территория высокоурожайного колхоза им. "Коммунизм" Гурленского района Хорезмской области.

В ы в о д ы

Произведенный обзор мероприятий показывает, что в настоящее время не выработаны еще достаточно эффективные, надежные и экономически целесообразные методы борьбы с дейгишем. Это объясняется крайней сложностью и малой изученностью механизма дейгиша.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтунин С.Т. Регулирование русел, М., Сельхозгиз, 1956.
2. Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. II, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1960.

ДЕЙГИШ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ АМУДАРЬЯ

Река Амударья ниже Тьямюна протекает по широкой пойме, которая, расширяясь, достигает в створе головы канала Ташсака (20 км ниже Тьямюна) – 3 км, а еще ниже 5–6.

По классификации В.Л.Шульца р.Амударья относится к рекам ледниково-снегового питания и имеет хорошо выраженные весенние (снеговое) и летние (снегово-ледниковое) половодья.

Средние многолетние расходы реки в разрезе месяцев по посту Ташсака приводятся ниже.

Ме- сяц	Расходы, м ³ /сек	Ме- сяц	Расходы, м ³ /сек	Ме- сяц	Расходы, м ³ /сек
I	634	5	2080	9	2180
2	746	6	3000	10	1160
3	757	7	4080	11	862
4	1160	8	3580	12	880

Как показывают эти данные, половодье на р.Амударья начинается в мае и заканчивается в сентябре, меженные же расходы бывают в период с ноября по март месяцы. Таким образом, около 40% времени года по реке проходят большие расходы: около 40% – малые (меженные) и 20% – быстрое нарастание (апрель, май) или спад (сентябрь, октябрь) расходов. Годовые максимумы расходов в различные годы колеблются от 5 до 9 тыс.м³/сек, а минимумы от 800 до 400 м³/сек и менее. В течение же года колебания расхода от годового максимума до годового минимума составляют 6–20 раз.

Годовые колебания расходов вызывают соответствующие колебания горизонтов воды, амплитуда которых в отдельных створах достигает 2,0 м и более. Однако, наивысшие горизонты воды в реке создают не максимальные расходы, а зимние заторно-зажорные подъемы горизонтов, которые в створе зазора на 10–15 см превышают горизонты, соответствующие катастрофическому расходу 1% обеспеченности.

Река Амударья несет очень большое количество мелко песчаных наносов, являясь после Теджена и Мургаба наиболее мутной рекой Средней Азии.

Средняя многолетняя мутность реки в разрезе месяцев по посту Ташсака следующая:

Ме- сяц	Мутность, кг/сек	Ме- сяц	Мутность, кг/сек	Ме- сяц	Мутность, кг/сек
I	0,98	5	4,09	9	1,82
2	1,45	6	4,41	10	1,37
3	1,59	7	3,46	11	0,87
4	2,71	8	2,72	12	0,9

Таким образом, в период половодья мутность воды в реке в 3-4 и более раза превышает мутность межени; однако, крупность наносов в период межени значительно больше их крупности в половодье, когда идет интенсивный смыв мелко-зема с поверхности водосбора (наносы меженного периода в основном образуются в процессе русловой эрозии).

Изучение распределения мутности по длине реки, а также сопоставление объемов годового стока наносов по постам Керки, Тямуун и Чатлы показывает, что на указанном участке реки происходит систематическая аккумуляция наносов в русле. При этом основная масса наносов откладывается ниже Тямууна, вызывая непрерывный подъем дна реки и поверхности поймы. Результатом является командование реки над прибрежной территорией, вызывающее необходимость защиты последней от затопления высокими горизонтами половодья и при зажорно-заторных подъемах горизонтов с помощью дамб обвалования, тянущиеся вдоль берегов реки, начиная от створа Ташсака, непрерывными линиями в два-три и более рядов. Наряду с общим подъемом дна в течение года наблюдается непрерывное переформирование русла, вызываемое изменениями расходов и горизонтов воды, а также количества транспортируемых наносов руслоформирующих фракций.

В процессе этого переформирования поперечное сечение русла изменяется в соответствии с изменениями расходов

воды так, что скорости течения в межень уменьшаются до 0,7–1,1 м/сек, а в половодье достигают 1,5–4,0 м/сек. При этом уклон водной поверхности остается почти постоянным, близким продольному уклону, который колеблется от 0,00015 до 0,00025.

Наиболее резкое переформирование русла Амударьи наблюдается со второй половины августа, когда начинается быстрый спад горизонтов воды, сопровождающийся обнажением отмелей (каиров). К ноябрю формирование меженного русла в основном заканчивается и это русло, с небольшими изменениями, сохраняется до начала весеннего половодья.

Наиболее выраженные изменения меженного русла бывают в период ледостава, когда происходит углубление и расширение живого сечения, наблюдающиеся на участках заторов и зажоров, особенно там, где происходят значительные размывы дна и берегов, приводящие к подмыву и самоуничтожению зазора.

В начале половодья происходит затопление низменных участков поймы и образования протоков по староречьям и другим понижениям, имеющим продольный уклон. При этом река разливается и ширина ее по зеркалу воды составляет 1–2 км и более. Однако в ней выделяется основное русло, так называемый главный фарватер, по которому прокладывается судовой ход и где сосредоточивается от 40 до 60% всего расхода реки. Иногда наблюдаются два таких основных русла, расход каждого из которых составляет от 30 до 40% полного расхода реки.

В плане основное русло (фарватер) имеет явно выраженную меандрическую форму, как правило, хорошо описываемую уравнением минусоиды (местное население отождествляет ее со змеиным следом). Шаг меандры в основном колеблется в пределах от 7 до 8 км, радиус кривизны в вершинах меандр может достигать до 1000–800 м. Плановое положение меандр не остается постоянным: оно непрерывно перемещается, как бы спускаясь вниз по течению на величину шага в течение 5–10 лет.

Наряду с этим поток блуждает по руслу и в поперечном направлении, образуя песчаные отмели и перекатные мелководья. Большая роль в этом блуждании принадлежит перераспределению расходов воды и наносов между протоками и

рукавами, вызывающему интенсивную разработку одних и отмирание (прежде всего за счет засорения наносными отложениями входной, а иногда и хвостовой части) других протоков.

В процессе разработки протоков возникают интенсивные крутые свалы потока к берегу. Очень большую роль в переформировании русла реки в период половодья играет движение по ее дну речных гряд, достигающих в условиях Амударьи высоты 2,0–3,0 м. Перемещая с небольшими скоростями эти гряды, благодаря своему поперечному положению, могут сильно изменять направление течения придонных струй, вызывая крутые и интенсивные местные свалы потока к берегу. Эти явления наблюдались еще в 1935 г. в Туркмен-Куле, выше старого г. Турткуль.

В процессе переформирования русла, особенно при образовании местных свалов потока к берегу, происходят интенсивные размывы берегов и дна реки, сложенных отложениями речных наносов, в основном мелкого песка, часто обладающего свойствами пльвуна. Песчаные отложения распространяются в глубину до 50 м и более и лишь на современных берегах поймы прикрыты более прочными слоями супесей, суглинков и глин. Размывы берегов на этих участках носят характер подмыва подводного откоса, в результате которого верхние, более прочные слои, нависают в виде кровли периодически, по мере развития подмыва, обрушивающейся в воду.

Размывы берегов и связанные с ними обвалы получили в Хорезме название "дейгиш". Если дейгишем называть все виды размыва рекою ее ложа, то можно отметить следующие пять типов дейгиша.

Первый тип – срезающий дейгиш, на участке которого поток движется параллельно берегу, размывая или как бы срезая его на значительном протяжении. Причина размыва – продольно-винтовое движение потока, протекающего с высокими (до 3–4 м/сек) скоростями вдоль вогнутого берега излучины. Благодаря этому движению линия наибольших глубин приближается к берегу, располагаясь у подошвы размываемого откоса.

где глубины доходят до 12-14 м.

Продукты размыва дна и откоса переносятся к противоположному берегу, у которого, ввиду незначительных (иногда не превышающих 0,3 м/сек) скоростей, они откладываются, наращивая существующие каиры. Явление наиболее резко выражено, если песчаные грунты слагают часть подводного откоса и выше меженного горизонта прикрыты более прочным суглинистым или глинистым грунтами, способными сохранять вертикальные откосы. В этом случае длина размываемого песчаного откоса значительно сокращается, и линия на большие глубины располагается наиболее близко к размываемому берегу, приобретающему форму вертикального обрыва, периодически обрушивающегося по мере подмыва песчаного откоса у его подошвы (рис.1).

В процессе размыва происходит изменение радиуса кривизны вогнутого берега в плане. Предельные значения радиуса пока не установлены, хотя в некоторых случаях (как это показали сопоставительные подсчеты, произведенные во время дейгиша в районе Р-3 в 1962 г.) их можно определять с достаточной точностью по формуле И.В.Разина.

За сезон радиус кривизны в рассматриваемом створе может изменяться на 500-600 м редко 800-1000 м. Процесс изменения радиуса кривизны берега в данном створе от максимума до минимума продолжается 3-4 года, после чего возможно изменение кривизны берега в обратном направлении.

Второй тип - долбящий или лобовой дейгиш возникает при поперечных свалах потока к берегу, в результате которых поток "атакует" берег на сравнительно узком фронте, с углом атаки, часто приближающимся к прямому (рис.2).

Небольшая ширина фронта размыва и большой угол атаки сильно повышают интенсивность поперечных течений винтового движения, а следовательно и интенсивность размыва по сравнению с дейгишем первого типа. Повышению интенсивности размыва при рассматриваемом типе дейгиша могут способствовать также более высокие скорости течения потока на свале, так как часто свалы происходят на участках, где пойма имеет поперечный уклон, значительно превышающий продольный уклон реки.



Рис. 1 Схема девиации I^{го} типа. А-план, Б-разрез по 1-1; а-остров, поросший камышом; б-зона размыва; в-новый фарватер, г-старый фарватер; д-песчаные грунты ложа; е-глинистые грунты; ж-поперечные циркуляционные токи.



Рис. 2 Схема дельты II^{го} типа; а - старые острова;
б - зона размыва; в - новый остров; г - старый
форватер; г - новый форватер.

Более высокая интенсивность дейгиша второго типа приводит к тому, что на размываемом участке поперечный профиль берега часто имеет очертание, показанное на рис.3, причем, как видно на рисунке, наибольшие глубины располагаются непосредственно под нависающей береговой кромкой.

Третий тип — скользящий или кромсающий дейгиш появляется на участках русла с большой шириной и вызывается почти исключительно высокими скоростями течения особенно в местах сжатия поперечного сечения островами или мелями (рис.4). Интенсивность размыва берегов, как правило, не-большая, причем участки размыва чередуются с участками, где размыв отсутствует. Наибольшие глубины при этом типе дейгиша обычно располагаются в средней части русла (рис.5).

Четвертый тип дейгиша встречается в период нарастания расходов реки, когда она разливается по пойме, образуя протоки, часть которых начинает размываться.

Кроме того в русле реки происходит размыв островов, а также старых каиров, образующих берега размывающегося русла (рис.6).

Пятый тип дейгиша возникает при резких подъемах расходов воды с началом половодья и проявляется в общем размыве меженного русла реки, не вмещающего увеличивающиеся расходы реки. Наиболее резко этот тип дейгиша проявляется на участках, где поток устремляется с переката в плесовую ложину, особенно, если дно переката сложено трудноразмываемым песчаным грунтом с илистыми прослойками, образующим ровную поверхность, получившую название "такыр". Протекание потока по такырному участку происходит с высокими (4 м/сек и более) скоростями, причем на участке включения его в ниже-лежащую плесовую ложину образуется перепад, вызывающий интенсивный размыв дна.

В результате этого размыва сопряжение поверхности такыра, переката с дном плесовой ложины получает форму уступа, который постепенно перемещается вверх по течению, вследствие постепенного подмыва в низовой части (рис.7). На участке размыва и выше, в пределах такырного участка, водная

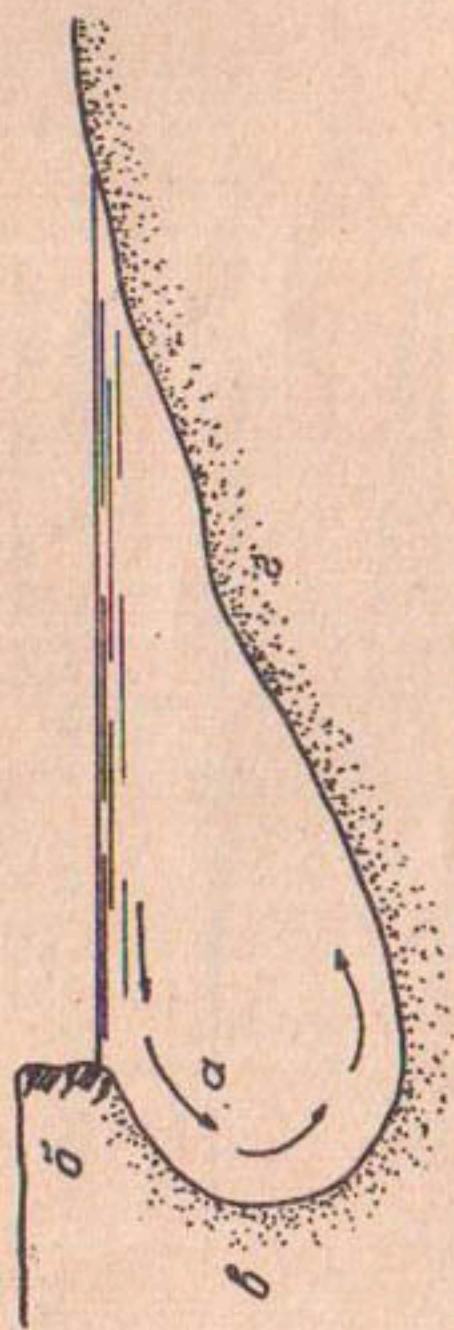


Рис. 3 Поперечное сечение у размываемого берега при действии II^{го} типа; а - поперечные циркуляционные течения; б - глинистый грунт; в - песчаный грунт; в - зона отложения.

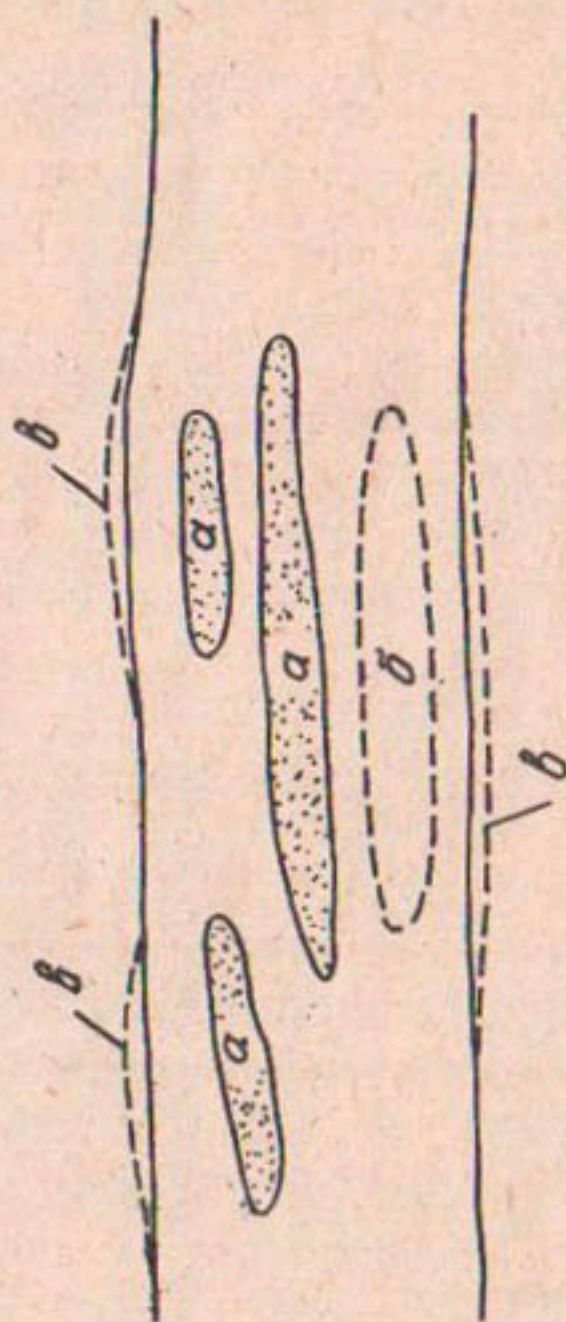


Рис. 4 Схема дейуща III^{го} типа; а-острова;
б-мель; в-зоны размыва.

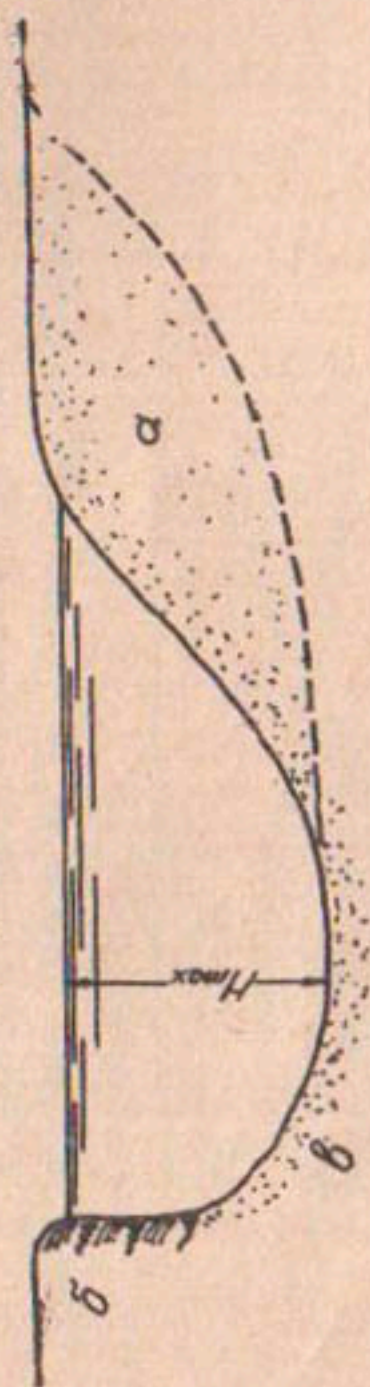


Рис. 5 Схема поперечного сечения русла при девиации
III^{го} типа; а - зона отложения; б - глинистый
грунт; в - песчаные грунты.



Рис. 6. Схема действия IV типа. а - фарингтер $\frac{1}{2}$ расхода; б - фарингтер $\frac{2}{3}$ расхода; в - астрава; г - зоны разрыва; д - зона отложения.

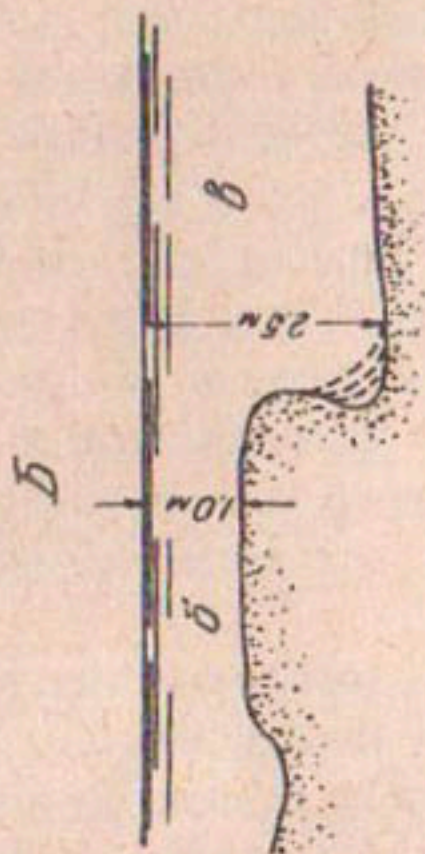
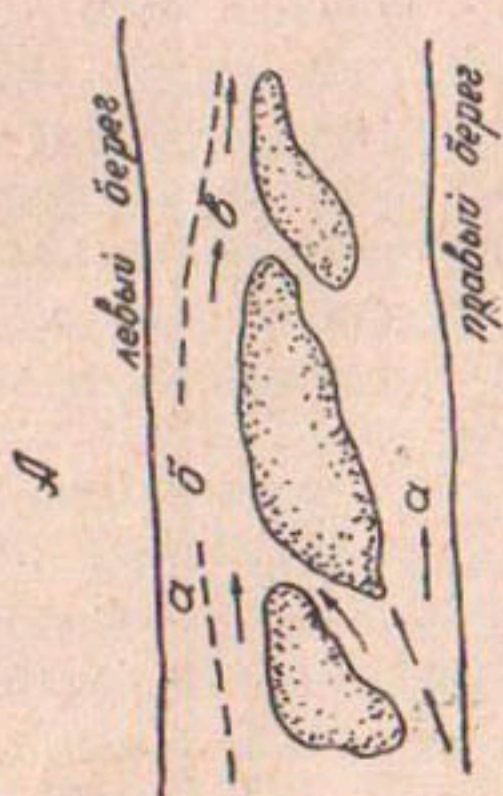


Рис. 7 Схема действия I^{го} типа; А - план; Б - продольный
профиль; а - фарватер; б - такыр; в - каньон.

поверхность покрыта небольшими бурунами — как бы кипит. Отсюда явление получило местное название "кайнов" (бурление). По мере развития размыва поток прорезает в "такыре" каньон представляющий продолжение нижележащей плесовой ложины, в который сваливаются затем основные расходы реки.

Иногда основное русло образуется путем размыва одного из протоков; при этом старое основное русло постепенно заиляется и отмирает. Образовавшееся русло может существовать несколько лет разделяясь, в связи с заилением, на протоки в период спада расходов воды и снова восстанавливаясь, с некоторыми изменениями в плановом положении за счет размыва протоков, при новом подъеме расходов с началом половодья.

Очевидно, из рассмотренных пяти типов дейгиша непосредственную угрозу для культурных земель и сооружений прибрежной зоны представляют в основном первые два. Однако остальные три типа в своем развитии могут привести или к искривлению русла в пойме, или к образованию поперечного свала потока к берегу, создавая условия для возникновения опасного дейгиша первого или второго типов.

Смывая освоенные под посевы земли, жилые постройки, ирригационные каналы и береговые дамбы в прибрежной полосе дейгиш ежегодно причиняет большие убытки народному хозяйству.

В результате систематического дейгиша правого берега Амударья за последние 20–30 лет на участке от селения Ак-Камыш Турткульского района до селения Ахунбабаева Бирунского района КК АССР, протяжением около 50 км, сместилась вправо на ширину до 10 км (см. таблицу). В процессе этого смещения старый г. Турткуль (Петро-Александровск) был смыт рекою. Смыв стал перемещаться вниз по течению к райцентру Бируни.

В последние годы (с 1958 г.) интенсивный дейгиш наблюдался на отдельных участках левого берега: в районе магистрального канала Ташсака у головы Клычбая, в урочище Аккум Гурленского района, у Джумуртау. Размыв правого берега продолжается в районе Турткуль-Бируни. Образующиеся в

процессе смещения реки острова-кайры превращаются в тугай, а в ряде случаев осваиваются под посевы сельхозкультур.

Таблица

Расстояние Амударьи от основных населенных пунктов, км

Пункты	Положение пункта	1890 год	1908 год	1925 год	1945 год	1950 год	1960 год
с.Ханки	На левом	3	4	7	10-11	11-16	11-16
г.Ургенч	берегу	5	6-7	11-12	15-16	16-18	16-18
г.Турткуль (старый)	На правом берегу	-	8	5-7	1-1,5	0,5	-

Ценой громадных затрат труда и материалов удается предотвратить стремление реки обойти железнодорожный мост у Чарджоу, где весьма трудоемкие работы проводятся с момента постройки моста. При этом пока еще не выработаны достаточно эффективные экономические конструкции берегозащитных сооружений.

Противодейгишные мероприятия, осуществляющиеся в период с 1935 по 1941 гг. для защиты Турткуля, не предотвратили полного смыва города, хотя в процессе противодейгишных работ применялись дорогостоящие крепления берегов тяжелыми фашинными туюфками (длина до 2,2 км), щиты Потапова, сетчатые заилители Алтунина и другие опытные конструкции.

Начиная с 1962 г. борьба с дейгишем на Амударье ведется путем укрепления берегов, возведения берегозащитных сооружений и выправления русла землечерпанием.

Укрепление берегов осуществлялось тяжелыми фашинами из хвороста с пригрузкой камнем, специально изготовленными бетонитами и даже бракованными изделиями заводов сборных железобетонных конструкций. Такие крепления применялись при борьбе с дейгишем в районах 3-го и 8-го км Ташсакинского канала в 1962-1965 гг. и у головы Клычбая в 1964-1966 гг.

Наряду с креплением для уменьшения скоростей течения в зоне дейгиша применялась заброска в поток сквозных тетраэдров из хвороста с каменными якорями и ветвистых заилителей из деревьев, привязанных к закрепленным на берегу анкерным оттяжкам из катанки. К погруженным в воду корням этих деревьев привязывался груз — крупный камень или мешок с землей.

Описанные мероприятия при достаточно высоких темпах работ предотвращали дальнейший размыв берега. Однако после прекращения работ и даже в случае ослабления их темпа размыв возобновлялся вследствие разрушения или уничтожения крепления. Большую роль в этом играло блуждание дейгиша со смещением фронта размыва вверх по течению за пределы укрепленного участка, причем интенсивный размыв неукрепленного берега приводил к обходу и быстрому уничтожению расположенного ниже крепления с "тыла".

В качестве капитальных инженерных берегозащитных сооружений для условий нижнего течения Амударьи предлагаются сквозные шпоры и дамбы из свай-оболочек, железобетонных свай или сборных железобетонных балочных тетраэдров. Сооружения этого типа из деревянных конструкций уже осуществлялись (свайные эстакады у Чарджоу, сквозная сипайинская дамба у Турткуля и т.д.), но ввиду слабости дерева быстро разрушались рекою.

В 1965—1966 гг. у головы Клычбая построены на берегу с расчетом на самопогружение при подмыве берега в качестве опытных 4 шпоры из железобетонных балочных тетраэдров, установленных на туюфак из шарнирно-связанных железобетонных плит. В связи с ослаблением дейгиша они фактически еще не вступали в работу.

Выправление русла землечерпанием в той или иной степени уже давно осуществляется службой пути Амударьинского пароходства (для поддержания судового хода) и Управлениями оросительных систем (для обеспечения потребного водозабора в ирригационные каналы). Как противодейгишные мероприятия оно применялось в 1937 г. при защите г. Турт-

куля, в 1958 г. — по защите головного участка канала Ташсака и в ряде других случаев, когда с помощью землесосов разрабатывались протоки, позволяющие ослабить свалы к действующему берегу.

В настоящее время в связи с усилением парка землесосов осуществляются противодействующие русловыправительные мероприятия в более крупных масштабах. Основное значение среди этих мероприятий получает строительство землечерпательных прорезей для спрямления излучин основного русла или ослабления свалов потока к размываемому берегу. Такие прорези, с расчетом на естественный саморазмыв после пуска по ним воды, устраивались у правого берега Амударьи в районе головы Клычбая (1966 г.) и головного участка канала Ташсака (1968–1970 гг.). В одних случаях прорези быстро разрабатывались и, уменьшая расход действующего потока, ослабляли действующий до полного прекращения, в других, наоборот, их головная часть быстро забрасывалась и выполненные работы оказывались неэффективными. Это объясняется недостаточной изученностью работы прорезей в условиях Амударьи, что затрудняет правильное их проектирование и особенно эксплуатацию (выбор момента открытия перемычки, характер объема работ по поддержанию и мероприятия по усилению размыва, перекрытие старого русла у головы прорези и т.д.).

Все рассмотренные противодействующие мероприятия имеют или очень высокую стоимость строительства, или требуют ежегодно больших эксплуатационных затрат на ремонт и поддержание. Поэтому работы по борьбе с действующим производятся только на участках расположения особо важных объектов (головные сооружения и участки крупных магистральных каналов, крупные населенные пункты и т.д.).

В прошлом противодействующие работы на Амударье не проводились, а применялся выработанный многовековой народной практикой "пассивный метод", при котором населенные пункты и другие важные объекты по возможности располагались в удалении от реки на расстоянии, обеспечивающее невозможность их смыва. Для проходящих же вблизи кромки бе-

реговых дамб и каналов применялся метод периодического переноса на новое место, по мере возникновения угрозы смыва рекою.

Так, в случае возникновения интенсивного дейгиша перед дамбой, не ожидая ее смыва сзади, строили новую (запасную) дамбу, примыкавшую к старой за пределами границы размыва. Если же наоборот река отходила от существующей дамбы на значительное расстояние, образуя сплошной каир, то новая дамба строилась перед старой, на каире, который под защитой осваивался под посеvy.

Этот метод сохранился и в настоящее время. Причем почти на всем протяжении нижнего течения Амударьи береговые дамбы построены в две, а местами — в три линии, и строительство новых (запасные) линий производится лишь в местах, где дамбы первой линии находятся под угрозой смыва в ближайшее время.

Экономическую целесообразность противодейгишных мероприятий сильно снижает то обстоятельство, что дейгиш — явление периодическое, прекратившись на рассматриваемом участке, он может долгое время не возобновляться. Поэтому после прекращения дейгиша надобность в противодейгишных мероприятиях как бы отпадает, что позволяет ставить вопрос о более широком применении временных мероприятий, способных работать один-два сезона, до прекращения дейгиша.

В качестве таких мероприятий можно предложить применение берегоукрепительных сооружений, в виде сетчатых шпунтов (тюфяки) из проволочной сетки, начиненной хворостом или бурьяном (салатка) и глиной, т.е. местными материалами. Применение максимальной механизации заготовки (механизированный укос и т.д.) и транспорта материалов, а также производство всех погрузочно-разгрузочных работ и работ по укладке можно добиться очень низкой стоимости этих конструкций, в 10-15 раз меньшей стоимости капитальных сооружений. Можно применять также карабуры или габионные тюфяки с загрузкой саранчи из буйна с камнем, в зависимости от условий и характера дейгиша.

Известную роль в ослаблении дейгиша могут сыграть и лесопосадки в полосе береговой кромки и на каирах.

Имеющиеся в нижнем течении Амударьи крупные тугаи, как например, Юмалак-Тугай, Габаз-Тугай, Сарытау - на левом берегу и Бадай-Тугай, Назархан-Тугай, Шагал-Тугай - на правом являются серьезным доказательством того, что древесные заросли, укрепляя грунт берега корнями, защищают его от дейгиша. Лесопосадки представляют большой интерес и с хозяйственной стороны (поставщики хвороста для изготовления противодейгишных сооружений). Кроме этого они могут способствовать улучшению климата.

Необходимость применения капитальных берегозащитных сооружений на наиболее ответственных участках требует проведения еще больших научных исследований по выработке действительно надежных и экономически целесообразных конструкций. Большие научно-исследовательские работы должны быть организованы по изучению и разработке рациональных методов русловыправительных работ с помощью землечерпания. Причем, уже сейчас ясно, что для достаточной эффективности этих работ надо иметь на Амударье парк более мощных землесосов, с производительностью по грунту не менее 1000-500 м³/час.

Ю.Г.ИВАНЕНКО, И.И.КЛАССЕН

О МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЯХ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

При решении вопросов, связанных с установлением морфометрических характеристик водотоков, рассматривают равновесное состояние последних, отвлекаясь от динамики процесса. Обращение к простейшим формам руслового процесса при стационарных условиях во многом упрощает последующий их анализ. Как известно, получение физических закономерностей в том числе и закономерностей морфометрического характера наиболее просто достигается при помощи теории размерности. Основная трудность заключается в установлении факторов, определяющих исследуемый процесс.

М.А.Великанов /1/ считает, что динамическую сторону формирования речного русла определяют расход воды, уклон и крупность частиц дна. Между тем, очень важным фактором является концентрация транспортируемых потоком руслоформирующих наносов. Расширение числа параметров за счет концентрации, объемного веса частиц, гидравлической крупности, как указывает И.И.Леви /2/, приводит к морфометрическим соотношениям более общего характера.

Следуя в данной статье идее М.А.Мосткова /3/ о возможных формах равновесия аллювиального русла статической и динамической, укажем, что и морфометрические закономерности могут быть качественно двоякого рода: морфометрические закономерности, описывающие русло статического равновесия, и морфометрические закономерности для русел динамического равновесия. С этой точки зрения наиболее существенной морфометрической характеристикой является параметр формы русла — функция от степени параболы, описывающей поперечный профиль русла, и от угла естественного откоса грунта под

водой.

Именно по параметру формы русла можно судить о возможных формах равновесия русла и о простейших формах руслового процесса в общем случае. Имея в виду, что русло статического равновесия оценивается устойчивостью частиц характерного размера, слагающих ложе русла, а русло динамического равновесия — концентрацией руслоформирующих наносов, являющихся некоторыми функциями влекущей силы потока, нам представляется целесообразным получить предварительно морфометрические закономерности вне явной связи их с диаметром и концентрацией.

С этой целью при помощи теории размерности упростить следующие зависимости для ширины потока по верху для средней глубины и средней скорости

$$\left. \begin{aligned} B &= \alpha_1 Q^{x_1} (g l)^{y_1} (h_{cp} l)^{z_1}; \\ h_{cp} &= \alpha_2 Q^{x_2} (g l)^{y_2} (h_{cp} l)^{z_2}; \\ v &= \alpha_3 Q^{x_3} (g l)^{y_3} (h_{cp} l)^{z_3}; \end{aligned} \right\}$$

(I)

Можно найти

$$\begin{aligned} y_1 &= -\frac{x_1}{2}; & z_1 &= 1 - \frac{5}{2} x_1; \\ y_2 &= -\frac{x_2}{2}; & z_2 &= 1 - \frac{5}{2} x_2; \end{aligned}$$

$$x_3 = 1 - x_1 - x_2; \quad y_3 = \frac{1}{2}(x_1 + x_2); \quad z_3 = \frac{5}{2}x_1 + \frac{5}{2}x_2 - 2.$$

Используя полученные выражения для степеней зависимости, (I) можно преобразовать к виду

$$B = Q^{q_1} g^{q_2} \alpha_1 \alpha_2 i^{\frac{1}{2.5x_2} - \frac{x_1}{x_2}} i^{\frac{1}{2.5x_2} - \frac{x_1}{x_2} - 0.2}; \quad (2)$$

$$h_{cp} = Q^{q_1} g^{q_2} \alpha_2^{\frac{1}{2.5x_2}} i^{\frac{1}{2.5x_2} - 1.2}; \quad (3)$$

$$v = Q^{q_2} g^{q_1} \alpha_3 \alpha_2^{\frac{2.5(x_1+x_2)-2}{2.5x_2}} i^{\frac{2.5(x_1+x_2)-2}{2.5x_2} + 0.4} \quad (4)$$

Очень близкие выражения к зависимости (2) и (3) были получены Ю.В.Черновым /4/.

Сравнение выражений (I), (2), (3) и (4) дает возможность определить количественные выражения для неизвестных значений степеней. Для этого достаточно отождествить степени при расходах воды в этих зависимостях.

Тогда получим $x_1 = x_2 = \frac{2}{5}$.

Подставляя найденные значения для x_1 и x_2 в выражения (2), (3) и (4), будем иметь

$$B = \alpha_1 \frac{Q^{q_1}}{(gi)^{q_2}}; \quad (5)$$

$$h_{cp} = \alpha_2 \frac{Q^{q_1}}{(gi)^{q_2}}; \quad (6)$$

$$v = \alpha_3 Q^{q_2} (gi)^{q_1}; \quad (7)$$

$$\omega = \frac{1}{\alpha_5} \frac{Q^{q_1}}{(gi)^{q_1}}; \quad (8)$$

$$\frac{B}{h_{\varphi}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} . \quad (9)$$

Раскроем физический смысл параметров α_1 , α_2 и α_3 .

Как известно, вопрос устойчивости русел в естественных условиях реально ставится только для потоков, в которых при соответствующих ограничениях режим движения воды приближается к равномерному. Для описания поперечного профиля русла принимается уравнение параболы

$$x^K = 2\rho y$$

или

$$\left(\frac{B}{2}\right)^K = 2\rho h_n . \quad (10)$$

Здесь B — ширина водотока по урезу воды;
 h_n — максимальная глубина поперечного сечения;
 ρ — параметр параболы;
 K — показатель степени параболы.

Элементарные преобразования позволяют получить следующие соотношения для элементов параболического русла:

$$B = 2mkh_n ; \quad (11)$$

$$\omega = \frac{K}{K+1} B h_n . \quad (12)$$

Из уравнения Шези

$$Q = \omega c \sqrt{h_{\varphi} i} \quad (13)$$

и зависимостей (11) и (12) можно найти

$$h_n = \left(\frac{Q^2}{c^2 i}\right)^{\frac{K+1}{K}} \frac{(K+1)^{\frac{K+1}{K}}}{(2m)^{\frac{K+1}{K}}} . \quad (14)$$

Имея в виду соотношение $h_m = \frac{K+1}{K} h_{cp}$ и полагая $2K = a$, представим соотношение (I4) в следующем виде:

$$h_{cp} = \frac{Q^{q_4}}{[(a+2)m]^{q_4} c^{q_4} i^{q_4}}; \quad (I5)$$

$$B = \frac{[(a+2)m]^{q_6} Q^{q_4}}{c^{q_4} i^{q_4}}; \quad (I6)$$

$$U = \frac{Q^{q_2} i^{q_4} c^{q_8}}{[(a+2)m]^{q_2}}; \quad (I7)$$

$$\frac{B}{h_{cp}} = (a+2)m, \quad (I8)$$

$m - ctg$ угла естественного откоса грунта под водой.

При сопоставлении зависимостей (5), (6), (7) и (9) с выражениями (I5), (I6), (I7) и (I8) можно найти

$$\alpha_1 = \frac{[(a+2)m]^{q_6} g^{q_2}}{c^{q_4}}; \quad (I9)$$

$$\alpha_2 = \frac{g^{q_2}}{[(a+2)m]^{q_4} c^{q_4}}; \quad (20)$$

$$\alpha_3 = \frac{c^{q_8}}{[(a+2)m]^{q_2} g^{q_4}}; \quad (21)$$

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = (a+2)m = \frac{B}{h_{cp}}. \quad (22)$$

Соотношение (22) названо нами параметром формы русла.

Анализ морфометрических соотношений (16), (15), (17) показывает, что линейные размеры русла и гидравлические элементы водотока Q , U , i , кроме коэффициента сопротивления, зависят также от параметра формы русла. Параметр формы русла является основной русловой характеристикой, по которой можно судить о качественно различных формах равновесия простейших русловых образований. Однако количественная оценка значения параметра формы в зависимости от качества режима движения руслоформирующих наносов в водотоке в настоящее время возможна только для некоторых частных типов русловых образований и только для мелких составов наносов. Поэтому представляется целесообразным получение расчетных морфометрических зависимостей при некоторых выбранных значениях параметра формы.

В качестве исходных для анализа в статье приняты морфометрические соотношения вида (5), (6) и (8)

$$B = \alpha_1 \left(\frac{Q}{\sqrt{gI}} \right)^{\chi_1}; \quad (23)$$

$$h_{cp} = \alpha_2 \left(\frac{Q}{\sqrt{gI}} \right)^{\chi_2}; \quad (24)$$

$$\omega = \frac{1}{\alpha_3} \left(\frac{Q}{\sqrt{gI}} \right)^{\chi_3}. \quad (25)$$

Для оценки расчетных значений параметров α_1 , α_2 и α_3 , и степеней χ_1 , χ_2 и χ_3 , и получения расчетных

морфометрических соотношений использованы данные гидрологических станций УГМС и материалы полевых исследований САНИИРИ. Обработанные материалы представлены в виде логарифмических графиков (рис. 1, 2), по которым методом линейной корреляции найдены значения указанных параметров и степеней. Полученные значения коэффициентов корреляции $0,85 \pm 0,9$ подтвердили наличие связей вида (23) – (25). На графиках представлены данные по 180 рекам, в том числе Амударье, Сырдарье, Карадарье, Нарыну, Соху, Аксу, Карасу, Ангрену, Чирчику, Чу и др. Обработаны 180 створов с 300 значениями расходов воды. Диапазон расходов – $1,4 \pm 7500 \text{ м}^3/\text{сек}$ уклонов – $0,00005 \pm 0,05$.

Обработка исходных данных по формулам (23) и (24), при выделенных значениях параметра формы, показала наличие устойчивых значений степеней $\chi_1 = \chi_2 = 0,4$, равных теоретическим (см. зависимости (5) и (6), а также рис. 1).

Значения параметров α_1 и α_2 при выделенных значениях параметра формы приведены в табл. I.

Таблица I

$\frac{B}{h_{ce}}$	3,5±5,0	8±12	18±22	45±55
α_1	1,35	1,8	2,56	4,0
α_2	0,264	0,19	0,125	0,08

Обработка исходных данных по формуле (25) при выделенных значениях уклонов показала наличие устойчивого значения степени $\chi_3 = 0,8$, равной теоретической (см. зависимость (8)).

Значения параметра $\frac{1}{\alpha_3}$ при выделенных значениях уклонов приведены в табл. 2.

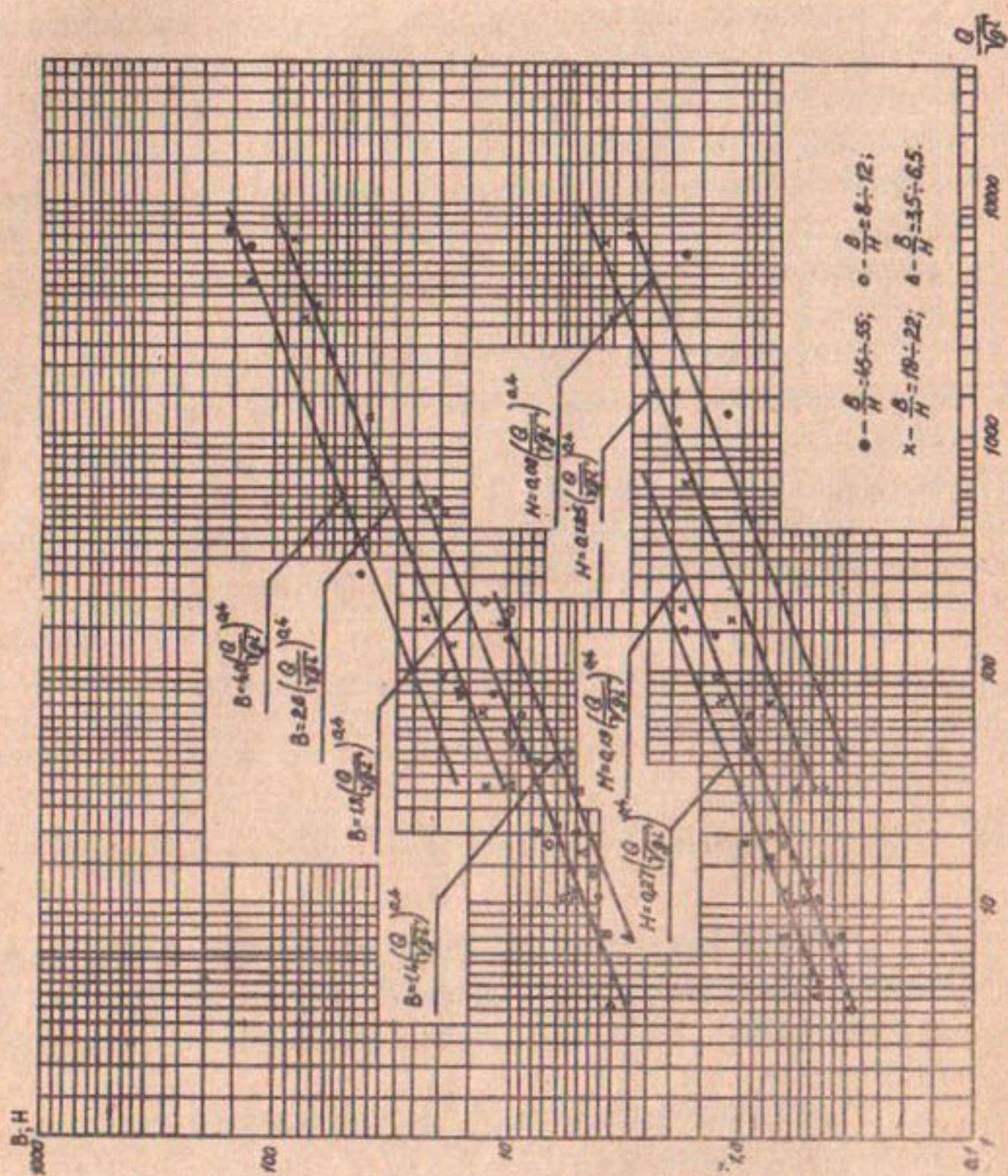


Рис. I Зависимость $B = f(\frac{Q}{\sqrt{gH}})$, $H = f(\frac{Q}{\sqrt{gH}})$

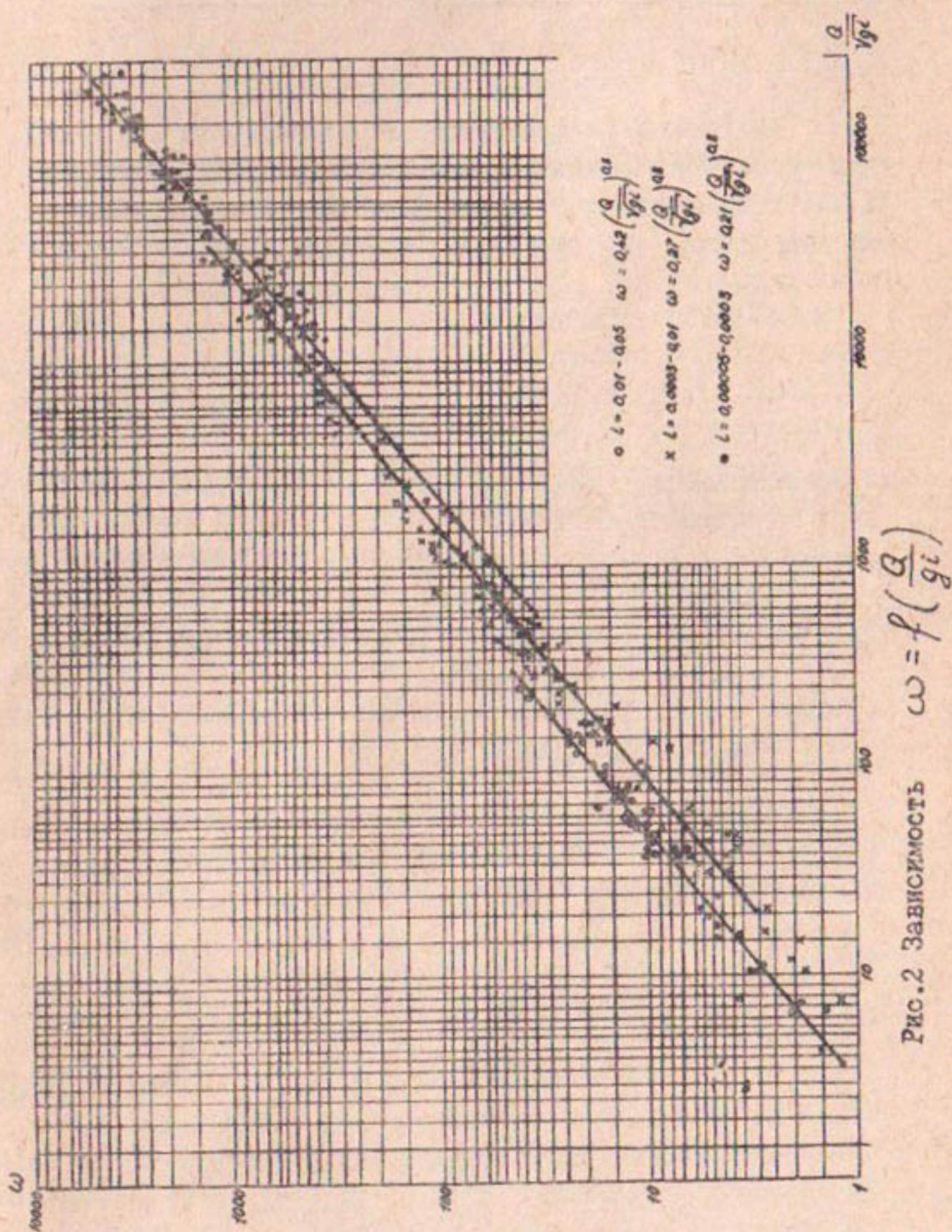


Рис. 2 Зависимость $\omega = f\left(\frac{a}{g_i}\right)$

Таблица 2

l	0,05+0,01	0,01+0,0003	0,0003+0,00005
$\frac{l}{\alpha_3}$	0,42	0,27	0,21

Полученные морфометрические зависимости (I) – (4) можно использовать для гидравлических расчетов бытового русла, подводящих и отводящих участков русел проектируемых гидроузлов и в расчетах, связанных с регулированием русел рек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великанов М.А. Динамика русловых потоков, Л., Гидрометеиздат, 1955.
2. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений, Изд-во "Энергия", 1967.
3. Мостков М.А. Очерк теории руслового потока, М., Изд-во АН СССР, 1959.
4. Чернов Ю.В. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т.У, изд.ГГИ, 1960.

Р.В.ТИМИРОВА, З.А.КЛАССЕН

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ НА ГОРНО-ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

В условиях Средней Азии основное требование, предъявляемое к водозаборным сооружениям, — обеспечение эффективности отделения наносов от потока. На реках горно-предгорной зоны большую роль в проблеме движения наносов играют донные наносы, которые, проходя через гидротехнический узел сооружений, истирают его бетонные части, заносят головные участки водозаборных каналов и тем самым нарушают нормальную его работу.

В целях выявления способов борьбы с донными наносами на гидроузле необходимо знать количество и крупность наносов в створе сооружения. Наиболее характерным свойством твердой частицы является ее геометрический размер (диаметр), определяющий в некоторой степени ее форму и удельный вес при движении в потоке. Диапазон изменения диаметра частиц для горно-предгорных участков рек очень велик — от песчинок до крупных валунов диаметром до 0,5–1,0 м. По мере приближения к устью реки эта разница уменьшается.

Гранулометрический состав наносов для некоторых рек представлен на рис. I. Как видно из рисунка, с увеличением уклона водной поверхности процентное содержание крупных частиц возрастает, а мелких — уменьшается.

Обычно, данных о составе и количестве влекомых наносов нет, и решения основываются на сравнении гидравлических элементов рассматриваемого объекта (проведение аналогов) с теми же элементами немногих объектов, по которым произведены соответствующие исследования, а также на использовании существующих зависимостей.

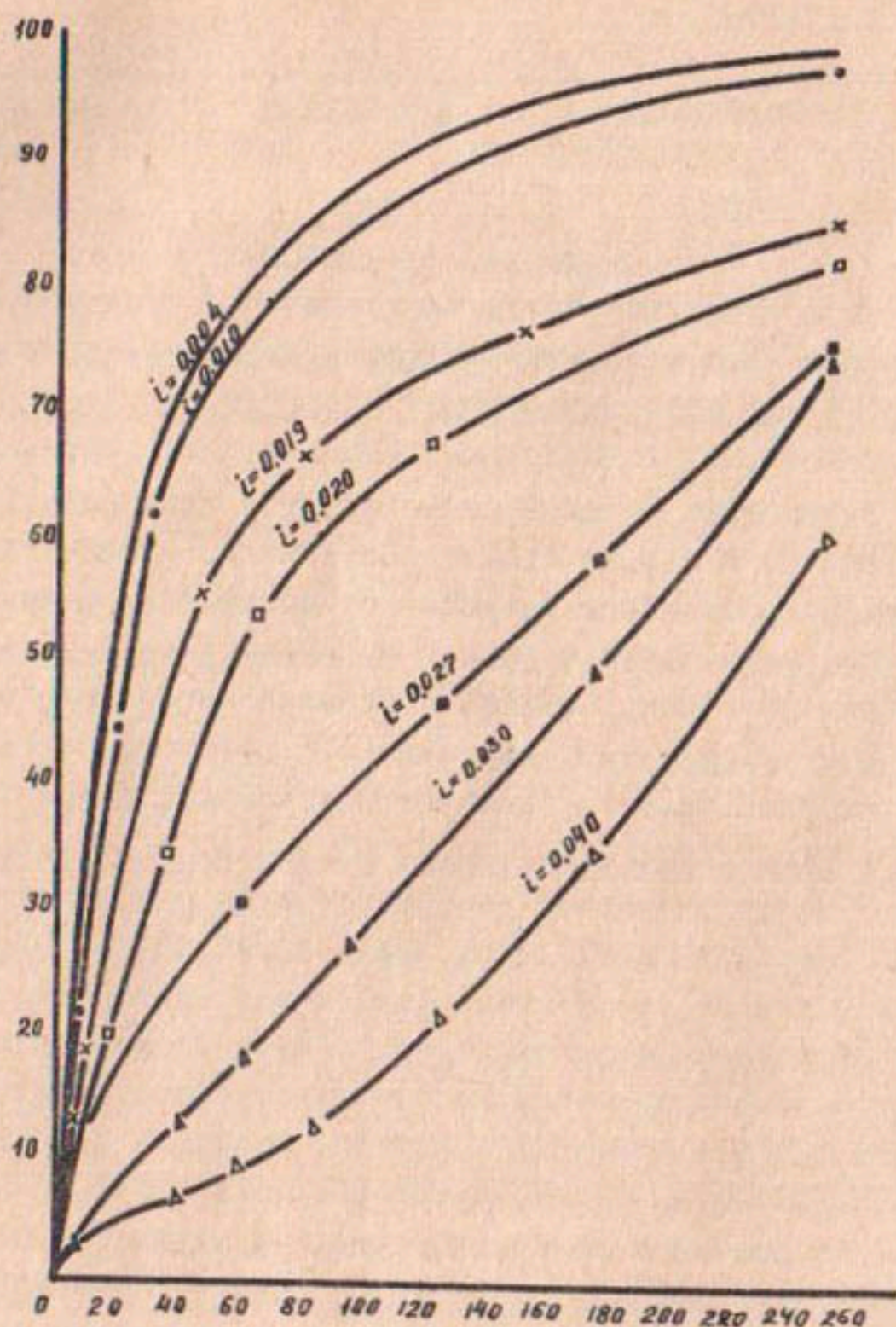


Рис. I. Фракционный состав донных отложений для различных рек:

- | | | | |
|-----|----------------|-----|--------|
| — | р.Талас; | •—• | р.Сох; |
| □—□ | р.Балдыбек; | | |
| ■—■ | р.Чон-Кызылсу; | | |
| △—△ | р.Кара-Балта; | | |
| ▲—▲ | р.Каракол; | | |
| ×—× | р.Ала-Арча | | |

Для определения расходов донных наносов существует достаточно зависимостей. Русловые процессы, происходящие в реках вследствие постоянно изменяющегося сочетания различных гидрологических факторов, очень сложны, и поэтому зависимости для определения расходов донных наносов носят эмпирический характер. Во все существующие формулы в качестве сомножителя входит отношение влекущей силы, скорости, расхода к их предельному значению в виде разности, которое выражает закономерность взаимодействия потока и русла и определяет связь между расходом воды и наносов.

Не останавливаясь на анализе формул (подробный анализ их сделан в работах М.А.Великанова, Г.И.Шамова, И.И.Леви, И.Я.Орлова, К.Ф.Артамонова, А.П.Юфина и др.), отметим, что наиболее простую структуру зависимости расхода донных наносов от гидравлических элементов потока, доступных измерению в реках, имеют зависимости, содержащие элементы расхода воды и величины уклона, предложенные А.Шокlichem, Я.А.Никитиным и др.

Для рек Средней Азии наиболее приемлемой является зависимость Я.А.Никитина

$$G = 530 \gamma^{2,2} (Q - Q_0)^2, \quad (I)$$

где γ — уклон водной поверхности;

Q — расход воды в реке;

Q_0 — предельный расход воды в реке, соответствующий начальной подвижке донных наносов.

Зависимость (I) широко применяется и используется проектировщиками и исследователями для определения стока донных наносов на реках с недостаточным числом гидрологических наблюдений. Однако подробный анализ показал, что область применения ее ограничена. Точное совпадение расчетных и замеренных данных наблюдается для рек с уклонами $< 0,01$

(Сох, Карадарья). Для рек с уклонами $> 0,01$ она дает вышеуказанные результаты. Это видно из рис.2, на котором представлена зависимость $\rho = f(Q)$, вычисленная по формуле Никитина и полученная по опытным данным для рек с различными уклонами водной поверхности. Объясняется это тем, что в зависимости (1) величина 530 (N) — постоянное число. Фактически она должна быть переменной. В свое время на это было указано М.С.Рамазан, которая предложила определять по зависимости

$$N = 1000 \frac{Q_0}{Q} \quad \text{для горных участков рек,}$$

$$N = 3000 \frac{Q_0}{Q} \quad \text{для предгорных.}$$

Следует отметить, что величина N зависит не только от соотношения расходов $\frac{Q_0}{Q}$, но и от диаметра фракций, движущихся в поток, и уклона водной поверхности.

Нами предлагается зависимость для определения N

$$N = \frac{7 \gamma g}{\sqrt{g} d_{max}^{2,5}} \left(\frac{Q_0}{Q} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

где g — ускорение силы тяжести;

d — максимальный диаметр отложений;

γ — объемный вес воды (вводится в зависимость, чтобы дать размерность формуле Я.А.Никитина).

При введении в зависимость (1) числа N и γ формула Никитина будет иметь следующий вид:

$$G = \frac{7 \gamma g^{3,2}}{\sqrt{g} d_{max}^{2,5}} (Q - Q_0)^2 \left(\frac{Q_0}{Q} \right)^{0,25} \text{ кг/сек.} \quad (3)$$

Благодаря переменной N (2) появилась возможность приблизить опытные точки к расчетным и расширить диапазон

применения зависимости (1) для определения расходов донных наносов для рек с уклонами от 0,004 до 0,04 (см. рис. 2).

Известно, что в реке происходит передвижение больших масс крупнопесчаных и галечниковых наносов. Однако движение их в течение года не непрерывно. Основная часть донных наносов (75–90%) проходит в период паводка. Начало интенсивной подвижки наносов, как правило, наблюдается при определенном расходе Q_0 , который для различных рек имеет разную величину.

Величину Q_0 обычно принимают равной $Q_0 = 0,1 Q_{max} / I$,
 $Q_0 = (0,5-0,7) Q_{cp} / 2$.

Здесь Q_{max} – максимальный наблюдаемый расход воды в реке;

Q_{cp} – средний многолетний расход воды в реке за период движения донных наносов.

Однако эти зависимости несовершенны и требуют уточнения. Более точные результаты можно получить по формуле, предложенной Ю.Г.Иваненко и И.И.Класен.

$$Q_0 = \frac{\sigma_0^5}{\alpha^5 g^2 i^2}, \quad (4)$$

где α – опытный коэффициент, равный 2,4;

σ_0 – скорость начала подвижки максимальной фракции при Q_0 .

Результаты сопоставления расчетных и опытных данных приводятся в таблице, из которой видно, что результаты расчета и опытные данные имеют близкие значения, поэтому зависимость (4) рекомендуется нами для определения Q_0 .

Скорость начала подвижки максимальной фракции предлагаем определять по формуле

$$\sigma_0 = 3,7 \frac{d^{0,35}}{l^{0,25}} \quad (5)$$

Таблица

Результаты значения Q , подсчитанного по зависимости (4)

Река, створ	Q_{max}	d_{max}	i	d_0	σ_0	Q_0	Q'_0
Зарафшан; Навоийский	403	0,1	0,001	0,0079	0,895	75	60-100
Карадарья; Куйтанырский	934	0,19	0,0021	0,026	1,34	120	120
Карадарья; Дамходжинский	415	0,15	0,0027	0,0276	1,29	64	70-80
Талас	185	0,30	0,004	0,023	1,24	23,9	13-25
Чирчик	2100	0,40	0,004	0,073	1,85	177	170-200
Карадарья; Кампырватский	1080	0,19	0,0045	0,064	1,75	110	90-120
Исфайрамсай; Бешалынский	70	0,19	0,008	0,0318	1,43	12	8-10
Исфара	103	0,19	0,008	0,046	1,53	17,1	10-15
Куршаб	197	0,30	0,008	0,057	1,66	25,7	16-20
Ак-Бура	133	0,25	0,01	0,0645	1,70	18,6	20-25
Сох	322	0,30	0,01	0,096	1,96	37,8	25-40
Ходжа-Бакирган	70	0,30	0,012	0,056	1,61	10,7	15-25
Кугарт	236	0,50	0,012	0,091	1,906	22,7	16-19
Араван	120	0,26	0,014	0,092	1,91	16,9	16-20
Исфайрамсай; Пальманский	162	0,50	0,015	0,099	1,94	15,9	15-25
Балдыбрек	69,5	0,60	0,019	0,0835	1,82	7,2	6-9
Чон-Кызылсу	54	0,70	0,02	0,075	1,75	5,35	5-8
Каракол	63,6	0,70	0,027	0,119	2,03	6,17	5-9
Кара-Балта	71,2	0,80	0,027	0,122	2,05	6,47	5-9
Ала-Арча	47,6	0,90	0,04	0,158	2,21	4,3	4,0

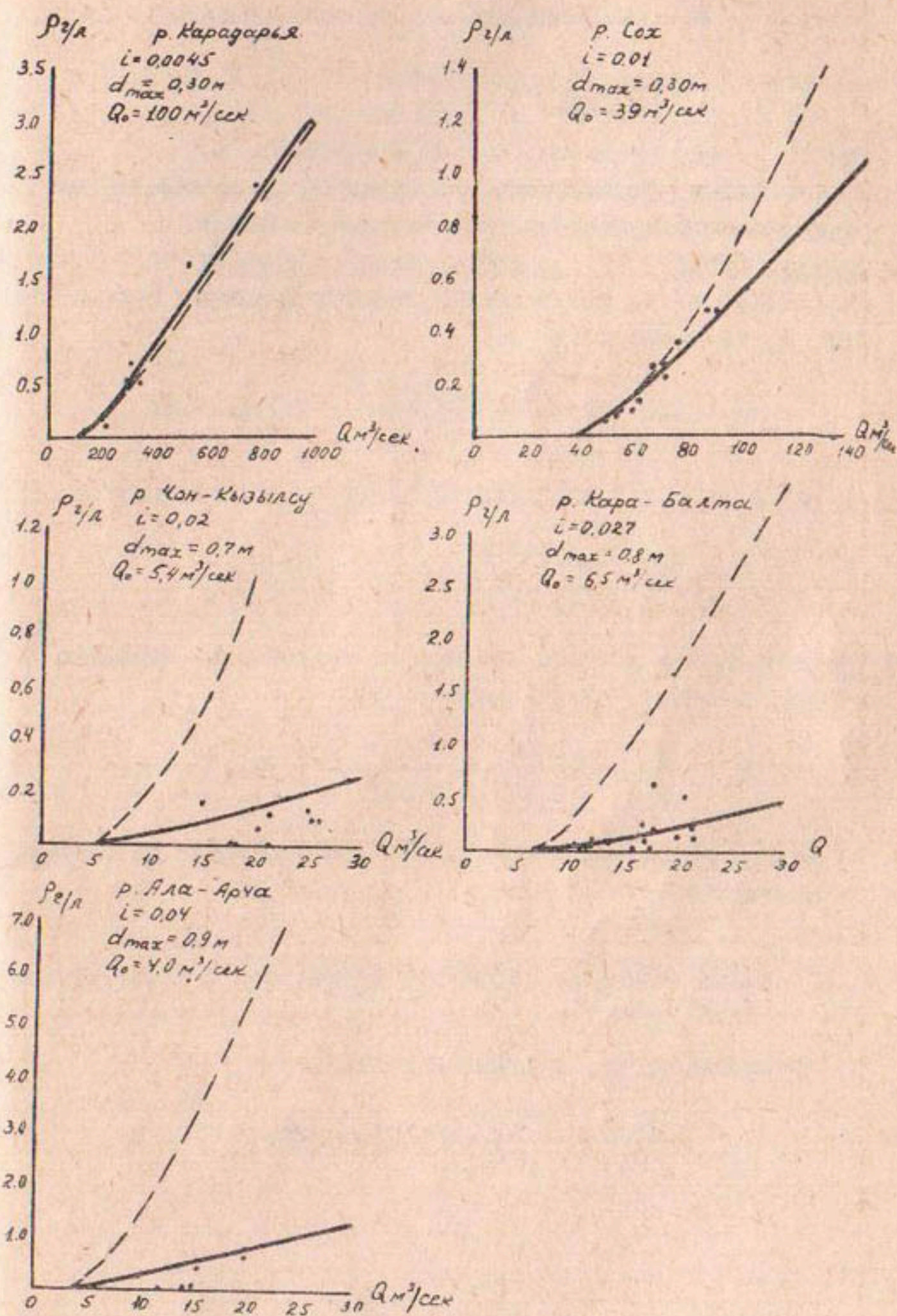


Рис. 2. Сопоставление опытных и расчетных данных $p = p(Q)$:
 --- по Никитину;
 — по предложенной зависимости.

Здесь d_0 — максимальный диаметр фракции, движущейся при

$$d_0 = 1,25 \sqrt{\frac{Q_{max} i^{2,5}}{d_{max}^{0,5}}}, \quad (6)$$

где d_{max} — максимальный диаметр отложений.

Таким образом, нами предлагается следующий расчет для определения насыщения потока донными наносами.

Пример. Пусть $Q_{max} = 120 \text{ м}^3/\text{сек}$, $d_{max} = 0,10 \text{ м}$, $i = 0,014$.
Определяются: 1) максимальный диаметр фракции, движущейся при Q_0 по зависимости (6)

$$d_0 = 1,25 \sqrt{\frac{403 \cdot 0,001^{2,5}}{0,10^{0,5}}} = 0,0079 \text{ м};$$

2) скорость начала подвижки фракции d_0 по зависимости (5)

$$v_0 = 3,7 \frac{0,0079^{0,35}}{0,001^{0,04}} = 0,895 \text{ м/сек};$$

3) расход, при котором начинается интенсивная подвижка донных наносов, по зависимости (4)

$$Q_0 = \frac{0,895^5}{2,4^5 \cdot 9,81^2 \cdot 0,001^2} = 75 \text{ м}^3/\text{сек};$$

4) расход донных наносов для $Q = 400 \text{ м}^3/\text{сек}$ по зависимости (3)

$$G = \frac{7,1000 \cdot 0,001^{3,2}}{\sqrt{9,81 \cdot 0,1^{2,5}}} (400 - 75)^2 \left(\frac{75}{400}\right)^{0,25} = 12,37 \text{ кг/сек};$$

5) насыщение потока донными наносами

$$\rho = \frac{G}{Q} = \frac{12,37}{400} = 0,0309 \text{ г/л}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин Я.А. Определение расхода донных наносов на реках Средней Азии, ж. "Гидротехника и мелиорация", 1951, № 10.
2. Рамазан М.С. Некоторые особенности гидрологического режима и гидротехническая классификация рек Киргизии, Фрунзе, Изд-во АН КиргССР, 1960.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВОСЕЛЕВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Мероприятия по борьбе и защите от селевых потоков в нашей стране приобретают все более широкий размах. Специальным постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии" предусмотрено массовое строительство противоэрозионных сооружений.

В Узбекистане селевые потоки широко распространены, и борьба с ними имеет важное значение. В настоящее время осуществлено строительство комплекса противоселевых мероприятий по защите г.Андижана, Ферганы, Намангана и др.

Существуют два основных направления по борьбе с селевыми потоками: агролесотехническое, направленное на борьбу с формированием селей в самых очагах селеобразования (лесонасаждение, террасирование, правильное использование пастбищ, горномелиоративные работы и т.д.) и гидротехническое, направленное на борьбу с уже оформившимися селевыми потоками (селехранилища, укрепление берегов, селесбросные тракты и т.д.).

В последние годы наибольшего распространения получило гидротехническое направление, так как при меньших затратах ожидается быстрее эффект.

Несмотря на широкое распространение селехранилищ, отдельные вопросы проектирования и эксплуатации еще изучены очень слабо.

Основным показателем любого селехранилища можно считать срок его службы. Процесс заиления селехранилищ имеет ряд особенностей: небольшие объемы (обычно не превышающие 3-5 млн.м³); колоссальная насыщенность потока наносами; в очень короткий срок происходит заполнение и сработка селехранилища; значительная доля донных отложений и т.д.

Перечисленные обстоятельства не позволяют производить расчет заиления селехранилищ по существующим методам и формулам для расчета заиления водохранилищ. На рисунке представлен процесс заиления селехранилищ с различными уклонами продольного профиля (по нашим наблюдениям).

Передовая волна селя, пока еще с незначительным количеством влекомых наносов, заполняет объем W , и устанавливается уровень H , на который мы будем иметь соответствующую площадь зеркала воды и кривую подпора. По мере нарастания расходов увеличится и поступление влекомых наносов.

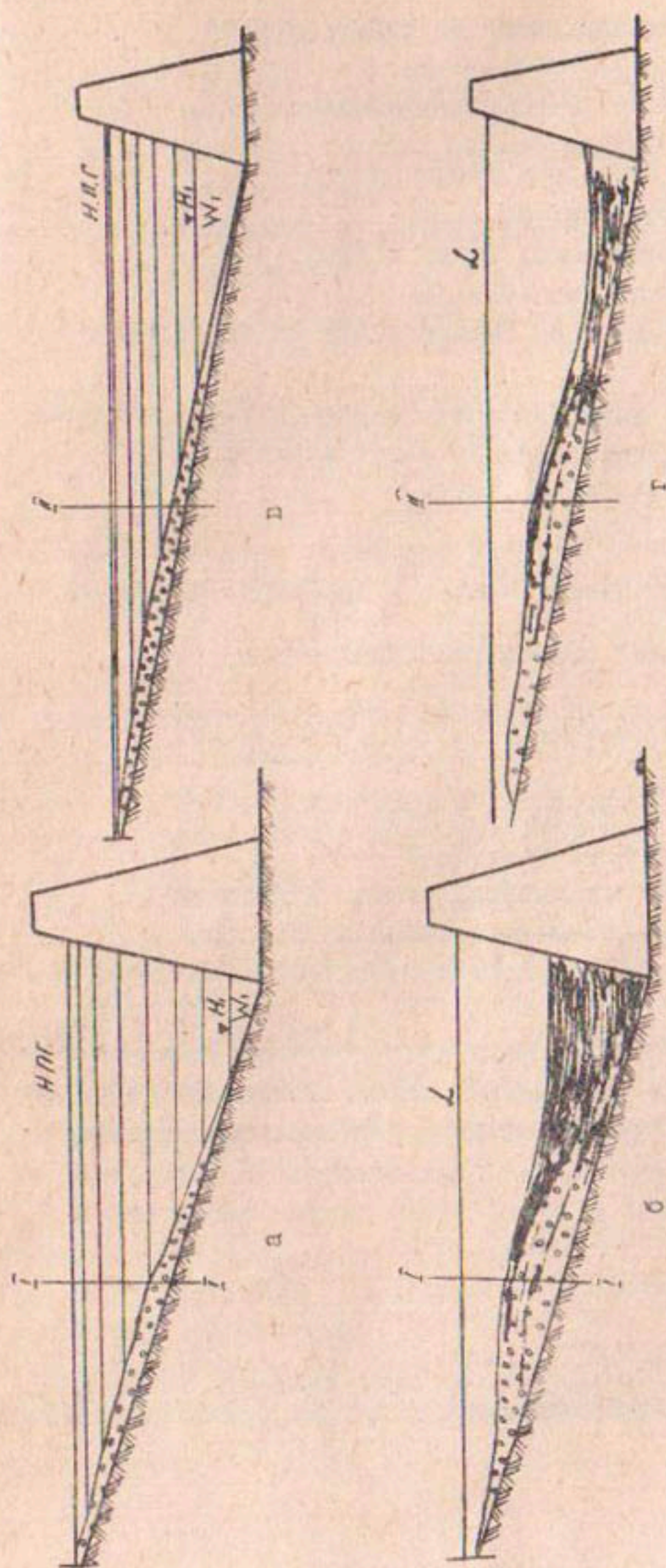
Поступающие наносы в точке выклинивания подпора, в связи с изменением режима уклонов, скоростей и удельных расходов, начнут откладываться. По мере нарастания объемов селехранилища кривая подпора начнет быстро перемещаться снизу вверх, поэтому точка отложения наносов будет соответственно передвигаться.

Максимальные отложения будут размещаться в зависимости от гидрографа жидкого стока и продольных профилей. Существующие донные течения будут только производить перетложения наносов. Каждый раз донные отложения будут покрываться слоем взвешенных наносов. По мере увеличения призмы отложений будет происходить переформирование продольных уклонов на большую длину.

Задача селехранилищ — не полная аккумуляция стока, а частичное регулирование. Поэтому часть стока взвешенных наносов одновременно с накоплением будет сбрасываться в нижний бьеф. Количество осаждающихся наносов будет зависеть от длины и живого сечения селехранилища, диаметра осаждающихся частиц попусков в нижний бьеф и скоростей течения.

Учитывая данные обстоятельства, расчет занесения донными наносами и заиления взвешенными наносами следует вести отдельно следующим образом.

В створе выше зоны выклинивания выбирается характерный поперечный профиль и определяются уклоны. Расходы



К расчету заилления селехранилищ: а, б—занесение селехранилища в первый год и последние, при больших уклонах; в, г—при малых уклонах;

 —донные отложения;  —взвешенные наносы.

влекомых наносов определяются по нашей формуле^I

$$\rho = 540 B (q i^{3/4})^{0,8} \text{ кг/сек} \quad (1)$$

где ρ — расход влекомых наносов;
 B — ширина русла, м;
 q — удельный расход воды, м³/сек;
 i — уклон на участке.

Сток донных наносов определяется по гидрографу жидкого стока.

При расчете заиления селехранилища взвешенными наносами мутность определяется по нашей формуле^I:
 для площадей менее 5–7 км²

$$\rho_{max} = 250 Q_{max}^{1/4} J^{1/2} \text{ кг/м}^3 \quad (2)$$

для площадей водосбора более 5–7 км²

$$\rho_{max} = 1220 (q^{1/2} J^{1/3})^{0,105} - 880 \text{ кг/м}^3 \quad (3)$$

где ρ — мутность селевого потока, кг/м³;
 Q_{max} — максимальный расход, м³/сек;
 q — максимальный модуль стока, м³/сек/км²;
 J — средний взвешенный уклон водосбора.

Сток взвешенных наносов определяется по объему жидкого стока.

Фракционный состав устанавливается по аналогии с данными фактических наблюдений. Далее определяем расстояние от входа в селехранилище до места выпадения частиц наносов отдельных фракций в селехранилище

$$L = \frac{H_{cp}}{V} V_{cp} \text{ м}$$

^I Получены на основе анализа полевых наблюдений за прохождением селей в Ферганской долине в 1962–1969 гг.

где V_{cp} — средняя скорость течения воды на этом участке селехранилища, м/сек;
 H_{cp} — средняя глубина селехранилища на расчетном участке L , м;
 V — скорость осаждения частиц взвешенных наносов, м/сек

$$H_{cp} = \frac{\omega_{cp}}{V_{cp}},$$

ω_{cp} — средняя площадь поперечного сечения, м²;
 V_{cp} — средняя ширина селехранилища, м.

$$V_{cp} = \frac{Q}{\omega_{cp}}$$

Q — попуски в нижний бьеф, м³/сек.

Скорость осаждения в потоке взвешенных частиц

$$V = \omega \left(1 - \frac{V_{cp}}{V_{np}} \right)$$

где ω — гидравлическая крупность наносов, см/сек;
 V_{np} — предельная начальная скорость, при которой происходит срыв отдельных частиц, м/сек, определяется по формуле Шамова Г.И.

$$V_{np} = 4d^{1/6} H_{cp}^{1/6}$$

где d — средний диаметр частиц наносов.

По процентному распределению отдельных фракций и стоку взвешенных наносов определяют количество осаждающихся и сбрасываемых в нижний бьеф наносов.

По суммарному объему донных и взвешенных наносов можно определить срок службы селехранилища.

Предлагаемый метод может служить лишь для ориентировочных расчетов, по мере накопления материалов о заилении селехранилищ и переработке продольного профиля, он будет усовершенствован.

Повторяемость селевых потоков — самая разнообразная, определение ее имеет большое практическое значение.

По материалам "Каталога селеопасных рек Средней Азии и Казахстана" следует, что наибольшая реальная возможность повторения следующего селя - 1%-ной обеспеченности через 10 лет, 5%-ной - через 5 лет и 10%-ной - каждый год.

Исходя из этих соображений ежегодный объем наносов можно принимать

$$W_{100} = \frac{W_{1\%}}{10} + \frac{W_{5\%}}{5} + W_{10\%}.$$

Для борьбы с заилением при проектировании и эксплуатации селехранилищ нужно соблюдать следующие условия: место под чашу селехранилища выбирать на участках с наименьшим уклоном и расширенным руслом. В этом случае при меньшей высоте плотины будем иметь большой объем, меньшее поступление донных наносов, которые будут откладываться в верхней части селехранилища.

При эксплуатации селехранилища надо сбрасывать максимально-возможные расходы, которые может безаварийно пропускать селебросной тракт: при этом, большая часть взвешенных наносов будет сбрасываться в нижний бьеф и только незначительная часть осаждаться в селехранилище.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рождественский Г.Д. Селевые потоки и регулирование их озерами и искусственными емкостями. Сб. "Управление поверхностными и подземными водными ресурсами и их использование", Изд-во АН СССР, М., 1961.
2. Караушев А.В. Теория и метод заиления малых водохранилищ. Тр. ГТИ, вып. 132, Гидрометеиздат, М., 1966.
3. Херхеулидзе И.И. Вопросы регулирования селевых русел сквозными селеуловителями из сборного железобетона. Сб. "Селевые потоки и горные русловые процессы", Изд-во АрмССР, Ереван, 1968.

4. Лебедев В.В. Гидрологические и водохозяйственные расчеты для проектирования сооружений водоснабжения. Изд-во литературы по строительству, Л.-М., 1965.
5. Шамов Г.И. Речные наносы. Гидрометеиздат, М., 1959.

Р.Г.ВАФИН

МУТНОСТЬ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Селевые потоки формируются в горных и предгорных районах и сопровождаются интенсивными эрозионными процессами, способствующими насыщению потока большим количеством наносов. Мутность селевых потоков может достигать до 300 кг/м^3 и более.

С.М.Флейшман по вопросу значительной концентрации наносов в селевых потоках писал: "по-видимому, объяснение взвешивающей способности селей следует искать в самой физической природе селевого потока, качественно отличного от обычного водного".

Имеются описательные данные о прошедших селях и довольно абстрактные теоретические исследования, которые не всегда увязаны с натурой, и в большинстве случаев касаются жидкой фазы; твердая фаза еще мало исследована.

По этому вопросу можно отметить работы Срибногo М.Ф., Херхеулидзе И.И., Цовяна М.В., Егiazарова И.В., которые описывают основные моменты формирования и переноса наносов.

Для определения основных характеристик твердого стока и их зависимости от основных определяющихся факторов нами были проведены полевые исследования водотоков с площадью, не превышающей $100-150 \text{ км}^2$, на адырных и предгорных районах северной и северо-восточной части Ферганской долины.

Малые эрозионные формы рельефа - наиболее распространены для этого района. Они составляют фон эрозионных ландшафтов, выполняя роль первичных каналов стока в бассейнах крупных и мелких рек. От крупных речных долин малые формы отличаются прежде всего относительной простотой истории своего развития, высокими темпами течения эрозионных процессов и большой чувствительностью к изменению природных условий.

Количественная оценка эрозионных процессов или стока взвешенных наносов зависит от физико-географических условий водосборного бассейна, климатических условий, свойств потоков, составляющих гидрографическую сеть, и от деятельности человека, направленной на преобразование природы.

Каждое из этих условий определяется, в свою очередь, большим количеством дополнительных факторов. При современном уровне изученности этих факторов не всегда представляется возможным дать количественную оценку каждому из них. Для этого из большого числа факторов выбирались такие, которые при всех условиях и сочетаниях являлись бы определяющими.

Часто при изучении малых эрозионных форм исходят из того, что главная причина, влияющая на весь ход их развития, — соотношение уклонов, режима выпадающих осадков и противозерозионных свойств грунтов, на которых развиваются эрозионные процессы.

Придавая большое значение роли рельефа в формировании как жидкого, так и твердого стока, нами сделана попытка произвести его количественную оценку в виде среднего уклона водосбора.

Обычно средний уклон водосбора определяют по формуле

$$J_{\text{ф.ск}} = \frac{h \left(\frac{l_0 + l_n}{2} + l_1 + l_2 \dots l_n \right)}{F}, \quad (1)$$

где h — высота сечения горизонталей;

F — площадь водосбора;

l_0, l_1, l_n — длина горизонталей.

И.В.Бусалаев и Л.В.Сергеева упростили данную формулу и предложили следующую зависимость

$$J_{\text{ф.ск}} = 1,57 \frac{h L m'}{2 F}, \quad (2)$$

где

n — общее число пересечений по сторонам
квадратной сетки;

L — расстояние между линиями.

Мы подсчитали по формулам (1) и (2) средние уклоны водосборов исследуемых сев. и для данного района построили зависимость среднего уклона бассейна от средневзвешенного уклона русла (рис.1):

$$J_{\text{ср.ек}} = 228 J_{\text{рус.}} + 0,02. \quad (3)$$

Эта зависимость может быть использована для приближенных определений среднего уклона водосбора изучаемого района.

В процессах развития рельефа огромная роль принадлежит стоку поверхностных вод, которые в значительной степени обуславливают все эрозионные процессы.

Однако одни данные о стоке без сочетания с другими факторами не характеризуют роль определяющего фактора твердого стока. Для того, чтобы осадки, выпадающие на склоны, производили работу по смыву и размыву их поверхности и русловую эрозию гидрографической сети, а также транспортировали наносы необходимо, чтобы поверхностный сток, формирующийся за счет осадков, обладал энергией, обеспечивающей выполнение этой работы. В качестве такой характеристики нами принято произведение среднего уклона бассейна на сток. Этот показатель образования твердого стока — жидкий сток в сочетании с факторами рельефа выражается в виде потенциальной энергии потока.

Все исследования сам по величине водосборной площади разделены на две группы.

I группа — лога площади водосбора, не превосходящее $5-7 \text{ км}^2$. Характерная особенность эрозионных процессов — прямая зависимость мутности от определяющих факторов. Непосредственным показателем максимальной мутности здесь являются максимальный расход и средний уклон бассейна. Нами построена зависимость максимальной эрозии от произведения ($Q_{\text{max}} J$). Получена прямая зависимость, выраженная

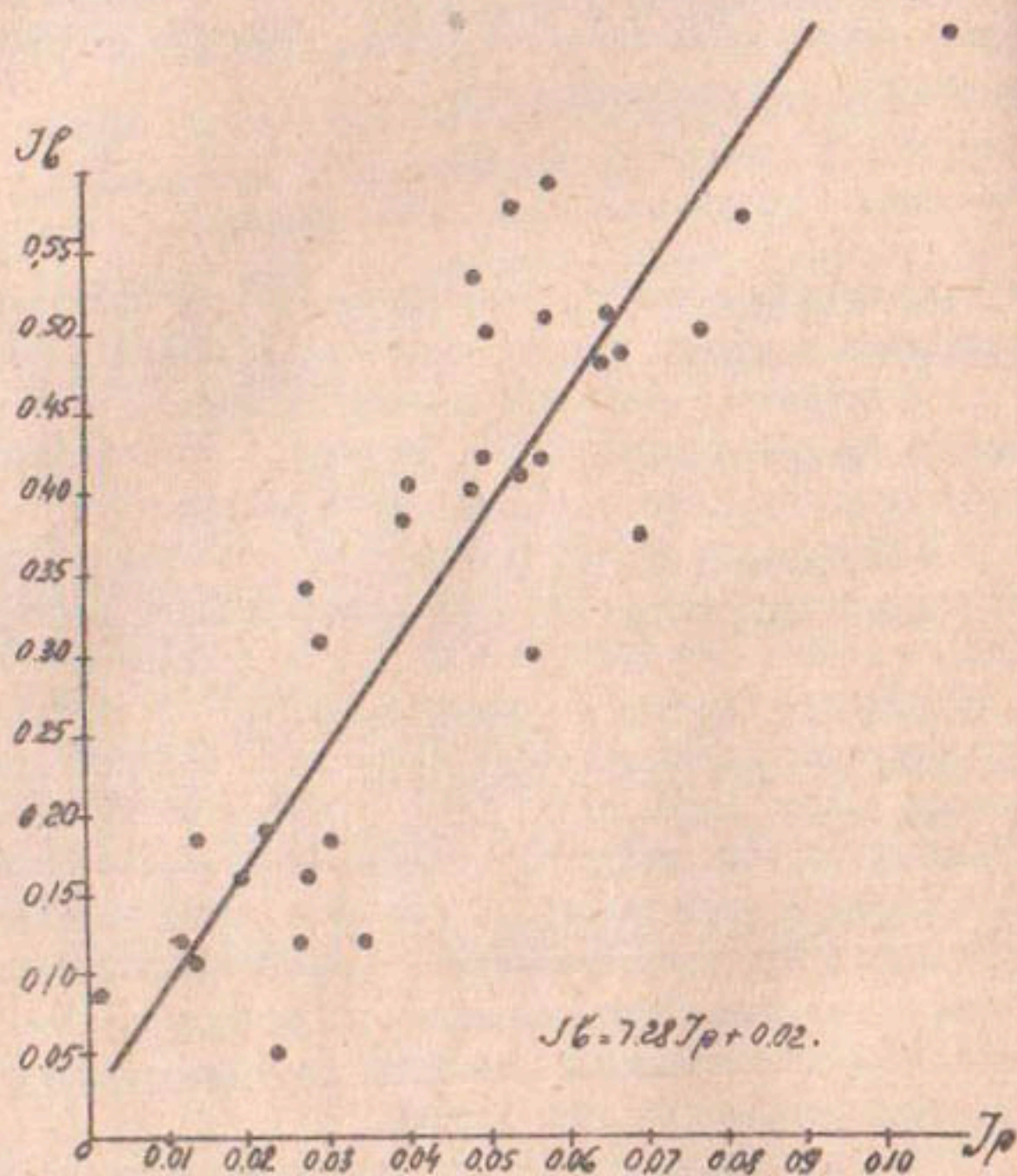


Рис. I. График связи среднего уклона русла J_p и среднего уклона водосбора J_c .

уравнением $\rho_{\text{макс}} = A Q_{\text{макс}}^m J^n$ (рис.2), где
 A — обобщенный показатель, учитывающий факторы
 подстилающей поверхности и растительного
 покрова;

m и n — показатели степени.

Для исследования территории зависимость максимальной мутности от определяющих факторов имеет вид

$$\rho_{\text{макс}} = 250 Q_{\text{макс}}^{1/4} J^{1/2} \text{ кг/м} \quad (4)$$

II группа — сая площадь водосбора не больше 120–150 км². Из-за неравномерности выпадения осадков эрозионные процессы здесь носят региональный характер. Влияние отдельных факторов в данной группе сглаживается совокупностью других факторов, и определяющим является максимальный модуль стока.

По данным полевых исследований построена зависимость максимальной мутности от максимального модуля стока и среднего уклона бассейна (рис.3). При этом разброс точек на поле графика указывает на то, что при детализации связь может быть выражена семейством кривых.

Построенная зависимость удовлетворяет уравнению

$$\rho_{\text{макс}} = A (Q^m J^n)^K - B,$$

где A — коэффициент, учитывающий наносообразующие факторы;

Q — максимальный модуль стока;

m, n, K — показатели степени.

Для данной территории зависимость выражается уравнением

$$\rho_{\text{макс}} = 1220 (Q^{1/2} J^{1/3})^{0.5} - 880 \text{ кг/м}^3 \quad (5)$$

Обобщая полученные данные можно сделать некоторые выводы.

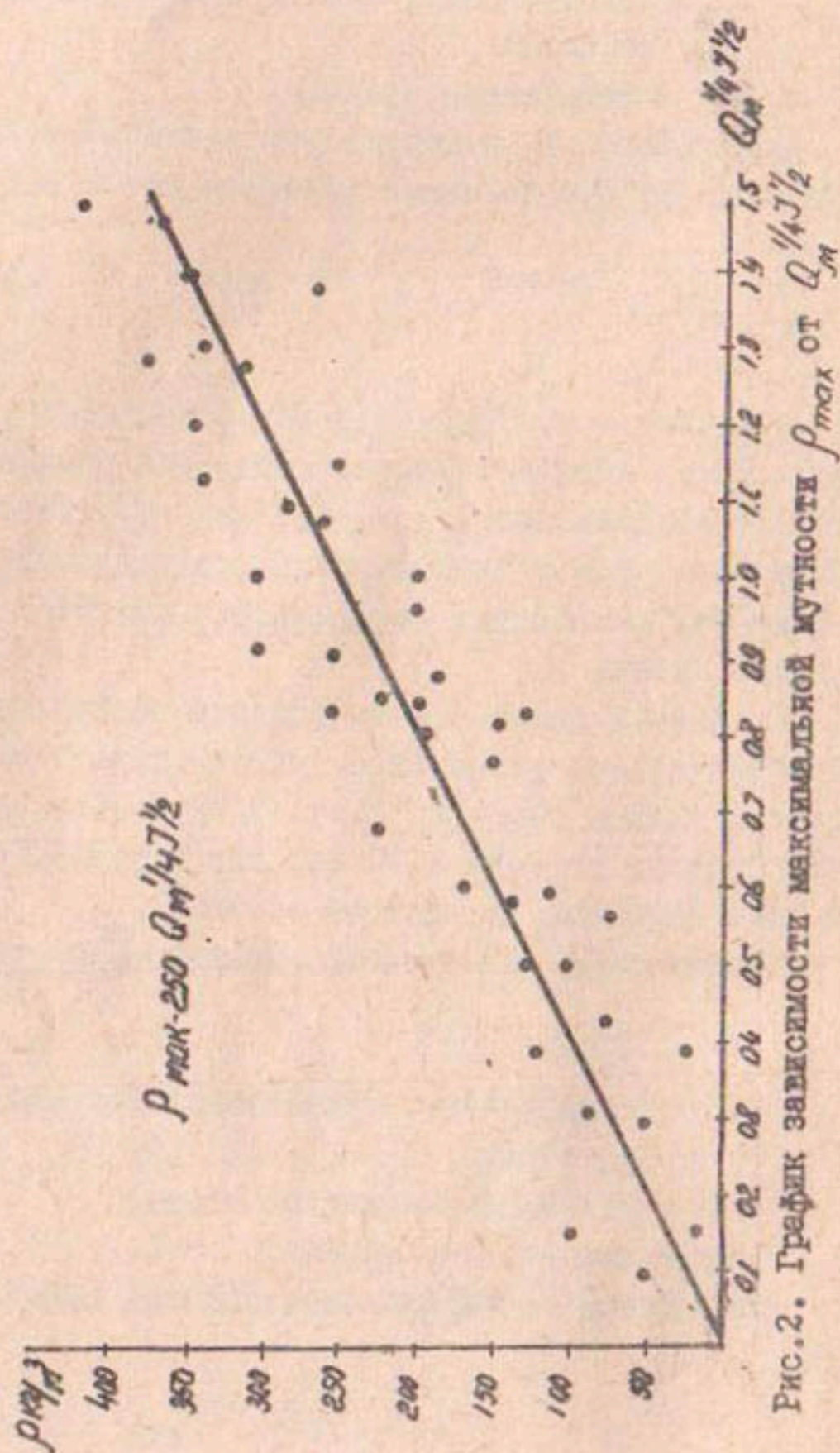


Рис. 2. График зависимости максимальной мутности $\rho_{\max}$ от $Q_m^{1/2}$

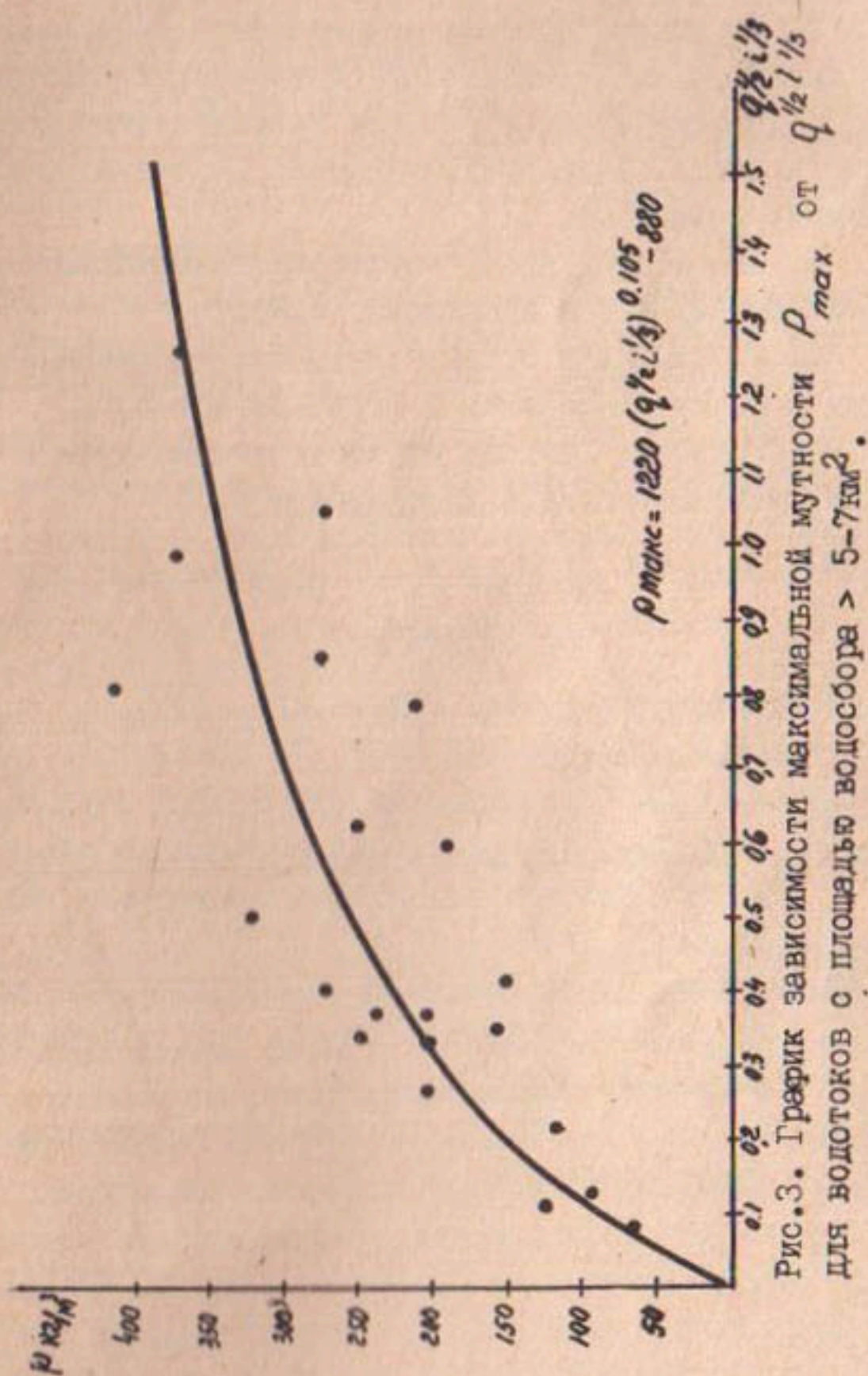


Рис. 3. График зависимости максимальной мутности P_{max} от $Q_{max}^{1/3}$ для водотоков с площадью водосбора $> 5-7 \text{ км}^2$.

1. Эрозионные процессы или сток взвешенных наносов определяют большое количество факторов.

В качестве определяющих мы выбрали средний уклон водосбора и жидкий сток.

2. По данным полевых исследований, построены зависимости максимальной мутности от определяющих факторов. Получены отдельные зависимости для площадей водосбора менее $5-7 \text{ км}^2$ и более. Такое подразделение выявлено особенностью эрозионных процессов.

3. Для исследуемой территории максимальная мутность определяется по одной из формул (4,5).

4. Соотношение средней мутности и максимальной в селевых потоках составляет в пределах 0,4-0,8.

Для расчета средней мутности рекомендуем к максимальной мутности вводить коэффициент 0,6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вопросы эрозии и стока. Изд-во МГУ, 1962.
2. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР, Географиз., Л., 1952.
3. Светицкий В.П. Средний сток взвешенных наносов рек бассейна Аму-Дарьи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ташкент, 1960.
4. Флейшман С.М. О поддерживающей способности селевой массы. Сб. "Селевые потоки и меры борьбы с ними", Изд-во АН СССР, М., 1957.
5. Хмаладзе Г.Н. Взвешенные наносы рек Армянской ССР. Гидрометеиздат, Л., 1964.

ДОНИМЕ НАНОСЫ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Для изучения селевых потоков важное значение имеет количественная характеристика твердого стока. Этот вопрос в настоящее время наименее изучен из-за сложности происходящих процессов, их окоротечности и опасности, с которой сопряжено изучение селей.

Прохождение селей сопровождается большими русловыми деформациями: например, во время прохождения их по Чартаксан¹ в верховьях отмечены заглубление русла до 3 м, а в устьевой части — поднятие среднего дна на 1,0–1,5 м.

Вопросы передвижения донных наносов затронуты в работах М.А. Великанова, И.В. Егизарова, И.И. Леви, А.М. Мухамедова, А.Ю. Умарова и др. Но в них мало освещается характер движения донных наносов в селевых потоках.

Натурные наблюдения за движением донных наносов и их количественные характеристики в селевых потоках почти отсутствуют.

Для того, чтобы дать количественную оценку происходящему процессу, мы провели натурные исследования сазев в районе Наиманганских и Андижанских адиров.

Формирование стока взвешенных наносов происходит в основном в бассейне водотока за счет плоскостного смыва и размыва первичных форм, а процесс формирования донных наносов — за счет русловых переформирований как по основному руслу, так и по притокам.

Наши исследования проводились на временных водотоках с площадью водосбора 120–150 км² длиной 40–50 км. Эти водотоки просты по своему устройству, очень чувствительны к изменению морфометрических характеристик русла, находятся приблизительно в одинаковых условиях стокообразования, с характерным отсутствием естественной самоотмостки

¹ Правобережный приток р. Сырдарья в пределах Ферганской долины.

русла. Форма русла для всех саяв — прямоугольная и трапециевидальная с шириной движения наносов до 0,9–1,0 общей ширины, только в период затопления поймы это соотношение нарушается.

Исследуя движение наносов в селевых потоках, мы наблюдали как передавая волна сая, встречая сопротивление сухого русла, как бы перекачивается по руслу. При этом все глинистые и песчаные частицы, которые создают сцепление в донных отложениях, вымываются, а отсортированные донные отложения, не связанные мелкими частицами, начинают двигаться сплошным слоем.

Большая мутность потока в период прохождения селей как бы служит смазкой для донных наносов и уменьшает трение между отдельными камнями. Толщина слоя движения влекомых наносов может достигать 20–25 см.

По режиму влекомых наносов, по длине водотока следует различать три участка: на первом участке — формирования наносов, происходит постоянный размыв; на втором — транзитного переноса, наблюдается переменный размыв и аккумуляция, и на третьем — отложений, происходит аккумуляция.

На основе наблюдений нами установлено, что расход влекомых наносов на длине водотока изменяется в зависимости от условий формирования и режима жидкого стока местных деформаций русла, эрозии бассейна и т.д.

Начало движения влекомых наносов на различных участках определяется расходами воды, крупностью русловых отложений и другими факторами.

Основные показатели стока влекомых наносов в селевых потоках — жидкий сток и уклоны водотока.

Мы попытались получить зависимость стока влекомых наносов от указанных показателей. Для небольших логов и верховьев саяв на участке формирования влекомых наносов получена зависимость объема селевых выносов от максимальных расходов воды и средневзвешенного уклона на уча-

стке

$$W = 680 (J_{cp} Q_{max})^{1,5} \text{ м}^3 \quad (1)$$

где W — объем селевых выносов, м^3 ;
 J_{cp} — средневзвешенный уклон лога, выше расчетного створа;
 Q_{max} — максимальный расход селевого потока.

Для расчета стока влекомых наносов временных водотоков с площадью водосбора, не превышающей 120–150 км^2 , с руслом без естественной самоотмостки мы построили зависимость удельного расхода влекомых наносов (на I пог.м) от удельного расхода воды и уклона на участке

$$R = 600 (q i^{3/4})^{0,8} \text{ кг/сек} \quad (2)$$

где R — расход донных наносов на I пог.м, кг/сек ;
 i — уклон русла на участке определения расхода влекомых наносов;
 q — расход воды на I пог.м.

Зависимость иллюстрируется графиком (см. рисунок), который показывает наличие установленной нами связи.

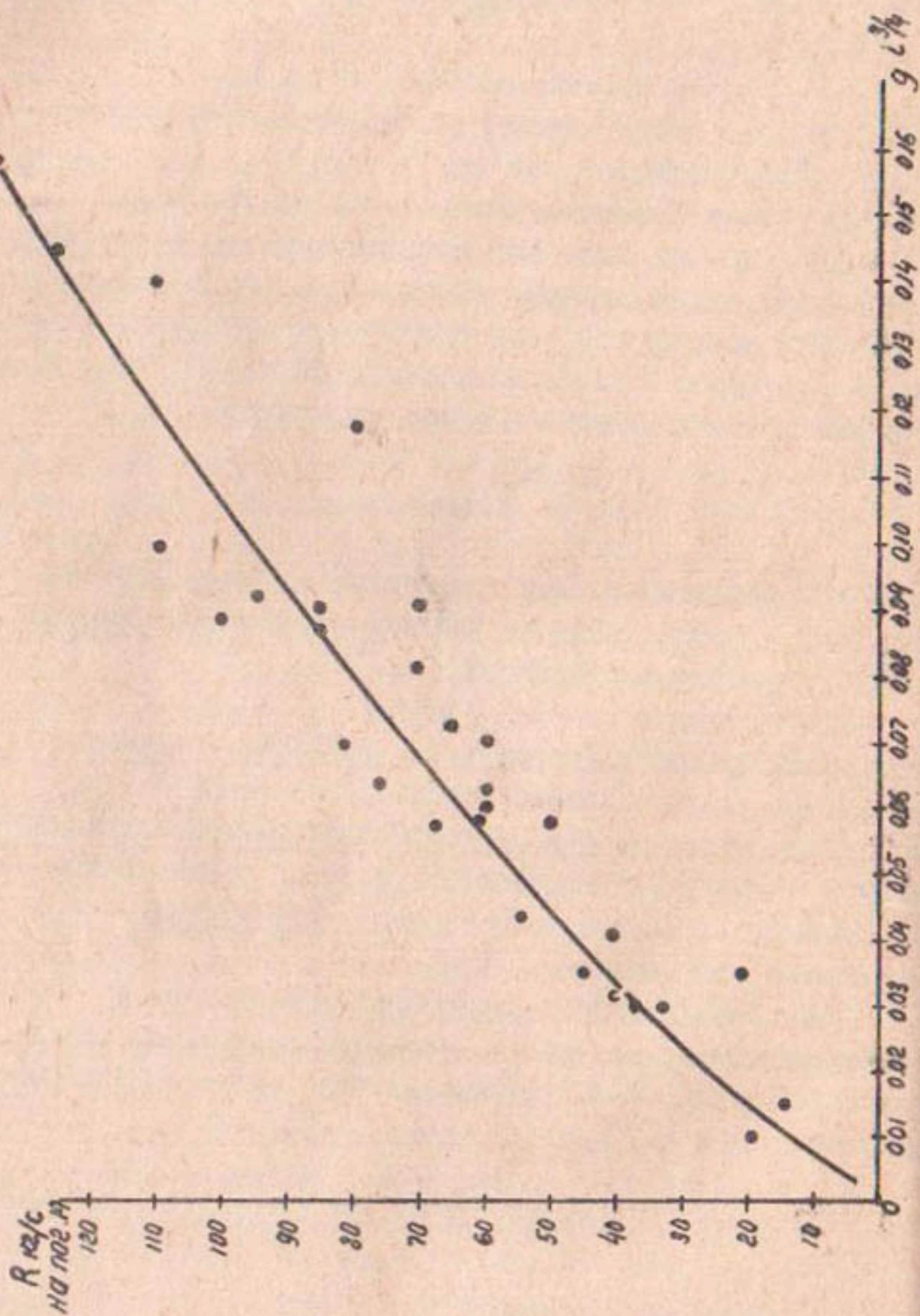
Разбор точек объясняется многообразием определяющих факторов и их изменчивостью, которые трудно количественно оценить. Более отчетливо эта связь проявляется в логарифмическом масштабе.

Для определения расхода влекомых наносов на всю действующую ширину русла (по нашим исследованиям действующей является 0,8–0,9 ширины потока) нужно пользоваться формулой

$$R = 540 B (q i^{3/4})^{0,8} \text{ кг/сек} \quad (3)$$

где B — ширина потока.

Общий сток влекомых наносов также определяется по формуле (3). Для этого по гидрографу жидкой фазы строится



гидрограф влекомых наносов и определяется их общий сток. Установлено, что движение донных наносов начинается при значении $qi^{3/4}$ равным 0,003–0,005.

Формула (3) применима для водотоков при i не менее 0,005. По ней можно выявить характер изменчивости режима влекомых наносов по длине водотока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Талмаза В.Ф., Крошин А.Н. Гидроморфометрические характеристики горных рек. Фрунзе, Изд-во "Кыргызстан", 1968.
2. Егiazаров И.В. Сопоставление методов расчета расходов наносов с измерениями в натуре. Сб. "Методы изучения и использования водных ресурсов", М., Изд-во АН СССР, 1964.
3. Мухамедов А.М., Умаров А.Ю. К исследованию режима потока и движения наносов на горных участках рек. Сб. "Вопросы гидротехники", вып.6, Ташкент, АН УзССР, 1962.
4. Умаров А.Ю. Движение донных наносов на горных реках Средней Азии в паводок. Сб. "Селевые потоки и горные русловые процессы". Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1968.

РЕЗЮМЕ

и материалы к Трудов САНИИРИ

(Русские процессы)

1970 г.

И.Я.ОРЛОВ

Труды Сибиря, вып.124, 1970

В статье даны основные параметры руслоформирования и моделирования дна для условий среднего течения и их значения.

На основании многочисленных опытов определены величины коэффициента подвижности наносов и предельного коэффициента придонной скорости. Выведены формулы формирования естественных русел и придонной скорости. Получено числовое значение предельной величины отношения ширины к глубине в естественных руслах. Раскрыт коэффициент в формуле Беги и дано ее новое выражение. Определены законченные выражения предельной придонной и предельной средней скоростей. Приведено новое выражение формулы учета транспорта наносов.

На основании полученных новых закономерностей и числовых параметров приводится порядок расчета и построения русловых моделей. Выведена расчетная величина предела искажения руслоформирования моделей.

ИССЛЕДОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ
У РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ АБК-2

А.М.МУХАМЕДОВ, Р.Р.АБДУРАУПОВ, В.Е.ТУЗОВ
Труды САНИИРИ, вып.124, 1970

В статье на основании модельных опытов установлен оптимальный масштаб глубины потока на модели при использовании натурального песка.

Изложены результаты модельных исследований по формированию русла в бытовых условиях, исследован характер течения с различными значениями расхода воды при различных схемах подхода и установки струенаправляющих дамб и порога-водослива.

Изучен характер размыва с учетом изменения конструкции регулировочных сооружений.

На основании модельных исследований установлены методика моделирования при использовании натурального песка, величина размывов дна регулировочных сооружений и план течения. Определена рациональная конструкция струенаправляющей дамбы и порога-водослива, обеспечивающая устойчивый подход воды к регулятору водозаборного узла сооружений АБК-2.

О КИНЕМАТИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ р.АМУДАРЬЯ

А.М.МУХАМЕДОВ, Х.А.ИСМАГИЛОВ, Т.ЖУРАЕВ
Труды САНИИРИ, вып. , 1970

В статье дается кинематико-морфологическая зависимость, выражающая связь морфологического параметра русла с дефицитом средней скорости потока, характеризующим кинематику потока.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
И КИНЕМАТИКИ ПОТОКА В ЗОНЕ ДЕЙГИША

А.М.МУХАМЕДОВ, Х.А.ИРМУХАМЕДОВ,
В.Е.ТУЗОВ, И.В.КОГТЕВА

Труды САНИИРИ, вып. 124, 1970

В работе на основании обработки данных натурных исследований установлены закономерности изменения основных гидравлических элементов и кинематических параметров потока на участке дейгиша на р.Амударья, причины размыва берегов и русловых деформаций на участке дейгиша.

Таблиц 2, Рисунков 6.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ В ПОТОКЕ НА УЧАСТКЕ ДЕЙГИША

Х.А.ИРМУХАНЕДОВ, И.В.КОГТЕВА
Труды САННИРИ, вып.124 , 1970.

В работе приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований распределения скоростной структуры потока и деформации русла на участке дейгиша.

На основании исследований установлены основные закономерности растекания потока на участке дейгиша и вскрыты некоторые причины размыва берегов и дна русла при незакрепленных и закрепленных берегах.

РАСЧЕТ ОБРАТНОГО ЗАВАЛА НИЖНЕГО БЬЕФА НАНОСАМИ
ТЮЯМУНСКОГО ГИДРОУЗЛА

Р.Р.АБДУРАУПОВ

Труды САНИИРИ, вып. 124, 1970

На основании анализа уравнения движения, деформации русла и расхода наносов установлены формулы для расчета обратного завала и применены к расчету занесения нижнего бьефа наносами Тюямунского гидроузла. При расчете использован метод расчета, предложенного профессором И.И.Леви, с привлечением гидрологических и гидравлических изменений на р.Амударье. В результате расчета установлено предельное значение уровня воды в нижнем бьефе после занесения его наносами.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСА КРИВИЗНЫ
НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ р.АМУДАРЬЯ

Х.А.ИСМАГИЛОВ

Труды САНИИРИ, вып.124, 1970

На основании анализа существующих зависимостей сделан вывод, что для условий среднего и нижнего течений р.Амударья в настоящее время нет зависимости, связывающей радиус динамической оси с гидравлическими элементами потока.

Произведенный анализ натуральных материалов на криволинейном участке р.Амударья позволил установить три типа изгиба: свободный, ограниченный и вынужденный. Опираясь на известный постулат Лохтина и теорию размерности, получены формулы для радиуса динамической оси потока, связывающие расход, уклон и крупность русловых отложений для первых двух типов изгиба. По данным натуральных и модельных исследований определены коэффициенты и показатели степени, входящие в эти формулы.

ОПЫТ БОРЬБЫ С ДЕЙГИШЕМ НА р.АМУДАРЬЯ
В ХОРЕЗМСКОЙ ОБЛАСТИ

К.ИМАМУТДИНОВ

Труды САНИИРИ, вып. 124, 1970

В статье описаны визуальные наблюдения автора по размыву берегов на р.Амударья и защитным мероприятиям, проводившимся за последнее время в районе бесплотинных водозаборов больших ирригационных систем — в канал Ташсака за период с 1957 по 1962 гг. и канал Клычниязбай — с 1968 по 1966 гг.

В результате наблюдений можно дать оценку противодейгических мероприятий, выполненных у этих водозаборных узлов, в стоимостном выражении и по их фактической эффективности.

ДЕЙГИШ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ АМУДАРЬЯ

Д.А.АТАШЕВ

Труды САНИИРИ, вып. 124, 1970

В статье приводится краткая гидрологическая характеристика Амударьи в нижнем течении. Предлагается классификация явления размыва берегов — дейгиша, в которой автор выделяет 5 различных типов.

Дан критический обзор осуществлявшихся ранее и осуществляемых в последнее время противодейгишных мероприятий в нижнем течении Амударьи.

Таблица I. Рисунков 7.

О МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЯХ ЕСТЕСТВЕННЫХ
И ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

Ю.Г.ИВАНЕНКО, И.И.КЛАССЕН
Труды САНИИРИ, вып.124, 1970

В статье анализируются общие выражения для морфометрических зависимостей и методами теории размерностей определяются значения показателей степени входящих в них величин. Произведено сопоставление полученных теоретических выводов с данными натурных исследований, подтвердившее теоретические выводы.

Принимая для описания равновесных форм русла уравнение параболы, получены выражения коэффициентов морфометрических зависимостей через коэффициент Шези и через введенный ими параметр $(\alpha + 2)m$, названный параметром формы русла и служащий основной русловой характеристикой, позволяющей судить о качественно различных формах равновесия простейших русловых образований.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ НА ГОРНО-ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

Р.В.ТИМИРОВА, З.А.КЛАССЕН
Труды САНИИРИ, вып.124, 1969

В статье дается расчет для определения расхода донных наносов.

Определяются: 1) максимальный диаметр фракций, движущихся при Q_0

$$d_0 = 1,25 \sqrt{\frac{Q_{max} i^{2,5}}{d_{max} q^3}} ;$$

2) скорость начальной подвижки фракции с d_0

$$v_0 = 3,7 \cdot \frac{d_0 0,35}{i 0,04} ;$$

3) расход, при котором начинается интенсивная подвижка донных наносов

$$Q_0 = \frac{v^5}{2^5 g^2 i^2} ;$$

4) расход донных наносов

$$G = \frac{2,8 \gamma^{3,2}}{\sqrt{g} d_{max}^{2,5}} (Q - Q_0)^2 \left(\frac{Q_0}{Q}\right)^{0,25} .$$

УДК 627. 511

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВОСЕЛЕВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Р.Г.ВАФИН

Труды САННИРИ, вып.124, 1970

В статье излагаются результаты наблюдений за режимом работы селехранилищ. Приводится методика приближенной количественной оценки стока наносов селевых потоков.

МУТНОСТЬ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Р.Г.ВАФИН

Труды САНИИРи, вып. 124, 1970

Отличительная черта селевых потоков — их большая насыщенность взвешенными наносами, которая обуславливается интенсивной эрозией в бассейне.

В статье излагаются результаты полевых исследований по определению мутности селей и зависимости ее от определяющихся факторов.

Основными факторами приняты жидкий сток и уклоны бассейна. В статье дана методика для определения стока взвешенных наносов.

ДОННЫЕ НАНОСЫ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Р.Г.ВАФИН

Труды САННИРИ, вып. 124, 1970

Прохождение селевых потоков сопровождается большими русловыми деформациями как по основному руслу, так и по притокам, которые способствуют формированию стока влекомых наносов.

По результатам полевых исследований селевых выносов и характера движения донных наносов сделаны некоторые обобщения и получена зависимость количества выносов от определяющих факторов, а также зависимость расхода влекомых наносов от гидравлических характеристик русла.

Дана методика определения стока влекомых наносов.

СОДЕРЖАНИЕ

И.Я.ОРЛОВ. Русла рек и их моделирование.....	3
А.М.МУХАМЕДОВ, Р.Р.АБДУРАУПОВ, В.Е.ТУЗОВ. Исследования русловых процессов у регулировочных сооружений Аму-Бухарского канала 2-ой очереди.....	31
А.М.МУХАМЕДОВ, Х.А.ИСМАГИЛОВ, Т.ЖУРАЕВ. О кинематикоморфологической зависимости р.Амударья.....	55
А.М.МУХАМЕДОВ, Х.А.ИРМУХАМЕДОВ, В.Е.ТУЗОВ, И.В.КОГТЕВА. Некоторые результаты изучения гидравлических элементов и кинематики потока в зоне дейгиша..	63
Х.А.ИРМУХАМЕДОВ, И.В.КОГТЕВА. Некоторые результаты исследования структуры распределения скоростей в потоке на участке дейгиша.....	93
Р.Р.АБДУРАУПОВ. Расчет обратного завала нижнего бьефа наносами Тюнмунского гидроузла.....	123
Х.А.ИСМАГИЛОВ. К вопросу определения радиуса кривизны на криволинейных участках р.Амударья.....	141
К.ИМАМУТДИНОВ. Опыт борьбы с дейгишем на р.Амударья в Хорезмской области.....	151
Д.А.АТАШЕВ. Дейгиш в низовьях реки Амударья.....	167
Ю.Г.ИВАНЕНКО, И.И.КЛАССЕН. О морфометрических зависимостях естественных и искусственных водотоков.....	177
Р.В.ТИМИРОВА, З.А.КЛАССЕН. К вопросу определения расхода влекомых наносов на горно-предгорных участках рек.....	197
Р.Г.ВАФИН. Эффективность противоселевых мероприятий.	207
Р.Г.ВАФИН. Мутность селевых потоков.....	215
Р.Г.ВАФИН. Домные наносы селевых потоков.....	223
Рефераты к выпуску 124 Трудов САНИИРИ.....	229

Редакторы : И.И.Кондратьева, Б.Ф.Калягина

Корректоры : Т.М.Цыганова, Р.П.Яхьяева

Р-05910 Зак. III73 Тир. 500 экз. Усл. п. л. 8,4 Формат
бум. 50x60 1/8 Подп. к печ. 12. X. 70 г. Цена 1 руб. 10 коп.

Картофабрика ин-та "Узгипрозем", Ташкент, Мукими, 176