

**Механика жидкости и гидротехнические сооружения**

УДК 532.543:627.4

**РАСЧЕТЫ РУСЛОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ  
ВЫКЛИНИВАНИЯ ПОДПОРА ТЮЯМУЮНСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА НА РЕКЕ АМУДАРЬЯ**

М. Т. САЙИДОВ, докторант, старший научный сотрудник.

Х. А. ИСМАГИЛОВ, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник,

Научно исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации (НИИИВП при ТИ-ИМ), Ташкент, Узбекистан

*Статья посвящена изучению русловых деформаций, происходящих в верхнем бьефе Тюямуюнского руслового водохранилища в нижнем течении реки Амударьи. Приведены и получены новые формулы для определения изменения мутности потока по длине русла на основании некоторых зависимостей. Приведены результаты по определению изменения мутности потока по длине и объема наносов в зоне выклинивания подпора Тюямуюнского водохранилища, приводятся также выводы.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** русловая деформация, выклинивания подпора, заиление, размыв, занесения, мутность потока, подпорный режим потока, свободный режим потока.

В настоящее время в некоторых руслах рек и расположенных на них русловых водохранилищах наблюдается русловые деформации. Русловые деформации проявляются в виде изменения продольного и поперечных профилей, плановых перемещений и бифуркации русла в естественных водотоках (реки), и в искусственных (каналы, прорези и т. п.). Русловые деформации приводят к размыву берегов, заилению, негативно влияет на стабильную эксплуатационную деятельность гидротехнических сооружений, находящихся в русле реки.

Разработкой методов расчета русловых деформаций для условий верхнего бьефа водохранилища занимались Тейлор, Орта, Г.И. Шамов, М.А. Мостков, С.Т. Алтунин, К.И. Россинский, И.А. Кузмин, А.В. Караушев, А.Н. Гостунский, И.А. Бузунов, В.С. Лапшенков, В.Н. Гончаров, В.А. Скрыльников, И.А. Мухамедов и др. [4].

Расчеты русловых деформаций вышеуказанных авторов для условий верхнего бьефа водохранилища произведены в основном с использованием балансового метода. При составлении балансового уравнения наносов течение потока в водохранилище считалось ближе к ламинарному и не было необходимости учета влияния вертикальной составляющей скорости на движения наносов в потоке.

В зоне выклинивания подпора течения потока в русле всегда турбулентное и неучет влияние вертикальной составляющей скорости потока на движения наносов в уравнении баланса приводит к большим погрешностям.

Нами при составлении балансового уравнения произведен учет вертикальной составляющей скорости потока, удерживающего нанос во взвешенном состоянии. Решение уравнения в отличие от существующих, произведено с учетом изменения морфологии русла, скорости потока и гидравлической крупности наносов по длине русла.

Ранее полученные расчетные зависимости для изменения мутности потока по длине русла работали только для оценки заиления, то нами полученные рас-

четные зависимости работают для оценки и заиления, транзитных наносов, и размыва русла.

Для зоны выклинивания подпора в русле реки рассматривались два варианта режима уравнения баланса наносов.

В первом варианте течения потока при свободном режиме гидравлические параметры русла и потока на определенном участке считались постоянными и получен следующий вид зависимости.

При свободном режиме течения определение изменения мутности потока вычисляется по формуле:

$$S_x = S_o \exp \left[ - \left( \frac{W}{V} - i \right) \frac{x}{H} \right]. \quad (1)$$

При расчете значения  $W$ ,  $V$ ,  $i$  и  $H$  по длине принимаются постоянными.

Во втором варианте течения в русле потока (подпорном), гидравлические параметры русла и потока по длине считали изменяющимися, и получен следующий вид зависимости.

Для составления уравнения баланса наносов выделяется участок русла длиной  $\Delta x$  ограниченной двумя створами (рис. 1).

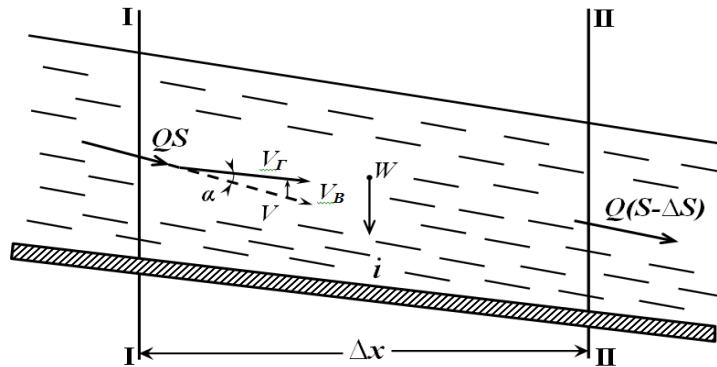


Рис. 1. Схематические виды изменения мутности потока по длине русла водохранилища

Расход наносов через начальный створ будет  $QS$  ( $Q$ -расход воды,  $m^3/c$ ,  $S$  - средняя объемная мутность), через конечный створ  $Q(S - \Delta S)$ , где  $\Delta S$  - уменьшение мутности потока по длине  $\Delta x$  за счет осаждения наносов. Обозначим средний расход осаждающихся наносов на единицу площади дна на участке длиной  $\Delta x$  через  $q_s$ . Тогда полный расход осаждающихся наносов на этом участке будет равен  $q_s \Delta x B$ , где  $B$  - средняя ширина русла реки на участке длиной  $\Delta x$  [1].

Уравнение баланса наносов будет иметь следующий вид:

$$QS = Q(S - \Delta S) + q_s \Delta x B, \quad (2)$$

откуда

$$Q\Delta S = q_s \Delta x B \quad (3)$$

или в дифференциальной форме:

$$QdS - q_s B dx = 0. \quad (4)$$

Входящий в уравнения секундный расход осаждения наносов приближенно может быть принят равным

$$q_s = (W - V_o)S, \quad (5)$$

где  $W$  - гидравлическая крупность наносов или скорость осаждения наносов в стоячей воде, она направлено сверху вниз, м/с (рис. 1).

Вертикальную составляющую скорости потока можно установить по формуле:

$$V_c = V \sin \alpha = iV, \quad (6)$$

где  $V$  - средняя скорость потока;  $\alpha$  - угол отклонения движения;  $i$  - скоростной уклон.

При равномерном движении потока скоростной уклон равен геометрическому уклону. Подставляя равенства (5) и (6) в уравнение (4) получим:

$$QdS - (W - iV)SBdx = 0. \quad (7)$$

Уравнение (7) является дифференциальным уравнением изменения мутности по длине водохранилища. Интегрирование уравнения (7) имеет некоторые особенности, зависящие от морфологического строения русла и гидравлического параметра потока.

Для водохранилища особенностями является изменение морфологического строения русла и гидравлического параметра потока по длине. Эти изменения параметров по длине принимаются линейными и в соответствии с этим можно получить:

1. Изменение средней глубины потока по длине:

$$H_x = H_H + (H_K - H_H)x/L, \quad (8)$$

2. Изменение уклона водной поверхности по длине:

$$i_x = i_H - (i_H - i_K) \frac{x}{L}, \quad (9)$$

3. Расширение русла по длине:

$$B_x = B_H + (B_K - B_H) \frac{x}{L}, \quad (10)$$

4. Сужение русла по длине:

$$B_x = B_H - (B_H - B_K) \frac{x}{L}. \quad (11)$$

Гранулометрический состав взвешенных наносов Амударьи составляет 0,08-0,01 мм и считается почти однородным. Для расчета принимают средние значения гидравлической крупности наносов.

Для расчета принимается средневзвешенное значение гидравлической крупности наносов  $W_{CP}$ . Изменение средневзвешенного значения гидравлической крупности наносов по длине принимается равным изменению средней скорости потока:

$$\frac{W_{CPx}}{W_{CPO}} = \frac{V_x}{V_H} \quad \text{откуда} \quad W_{CPx} = \frac{W_{CPO} \cdot V_x}{V_H}. \quad (12)$$

В зависимостях (7), (11) приняты следующие обозначения:

$H_H$ ;  $B_H$ ;  $V_H$ ;  $i_H$  - соответственно средняя глубина, уклон, ширина и скорость потока в начале участка;

$H_K$ ;  $B_K$ ;  $V_K$ ;  $i_K$  - соответственно средняя глубина, уклон, ширина и скорость потока в конце участка;  $L$  - общая длина участка;

$X$  - длина участка от начала до рассматриваемого створа.

Подставляя (8), (12) в (7) и осуществляя некоторые преобразования получим:

$$\frac{dS}{S} = \frac{W_H L}{V_H (LH_H + (H_K - H_H)x)} dx - \frac{Li_H}{LH_H + (H_K - H_H)x} dx + \frac{(i_H - i_K)x}{LH_H + (H_K - H_H)x} dx. \quad (13)$$

Интегрирование уравнения (13) дает возможность получить формулу:

$$S_x = S_0 \exp \frac{1}{H_K - H_H} \left\{ \frac{L W_H}{V_H} \ln \frac{L H_H + (H_K - H_H) x}{L H_H} - \left[ L i_H \ln \frac{L H_H + (H_K - H_H) x}{L H_H} - (i_H - i_K) \left( x - \frac{L H_H}{H_K - H_H} \right) \ln \frac{L H_H + (H_K - H_H) x}{L H_H} \right] \right\} \quad (14)$$

Из уравнения (14) можно получить:

$$S_x = S_0 \exp \left[ - \frac{L}{H_K - H_H} \ln \frac{L H_H + (H_K - H_H) x}{L H_H} \left( \frac{W}{V} - i_H \right) + (i_H - i_K) \left[ \frac{x}{H_K - H_H} - \frac{L H_H}{(H_K - H_H)^2} \ln \frac{L H_H + (H_K - H_H) x}{L H_H} \right] \right], \quad (15)$$

где  $S_0$ ;  $S_x$  – мутности потока соответственного в начале и на рассматриваемом участке;  $H_H$ ;  $H_K$  – глубина воды в начале и конце участка (м);  $L$  – длина рассматриваемого участка (м);  $W$  – гидравлическая крупность наносов (м/с);  $V$  – скорость потока (м/с);  $i_H$ ;  $i_K$  – уклон водной поверхности в начале и конце участка. Для периода подпорного режима течения изменение мутности потока по длине определяется по полученной формуле (15).

Зависимость (15) в отличие от существующих позволяет установить кроме изменения мутности потока по длине и вид руслового процесса – заиления, транзит наносов и размыва.

Изучение русловых деформаций в р. Амударья производились на Тюямуонском водохранилище, построенном в нижнем течении в 1982 году. Напор воды в водохранилище составляет  $H = 20$  м. Влияние напора распространяется на 180 км выше плотины, из них 100 км составляет озерная часть самого водохранилища и 80 км составляет зона выклинивания подпора воды (русловая часть подпора). На 160 км выше плотины расположен гидроствор Дарганата, который находится в зоне выклинивания подпора воды [3].

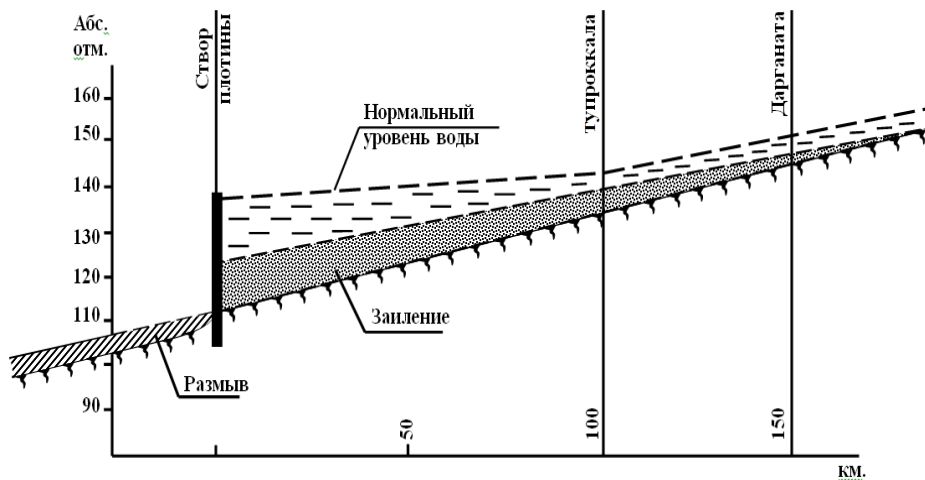


Рис. 2. Продольный профиль верхнего бьефа Тюямуонского водохранилища

При создании водохранилищ на реках в верхнем бьефе выделяется две характерные зоны (рис. 2):

1. Зона выклинивания подпора водохранилища (русловая часть – от Гупроккала до Дарганата);

2. Зона собственно водохранилища (озерная часть – от Тупроккала до Створ плотины).

В зоне выклинивания подпора, которая, как правило, бывает и зоной переменного подпора, гидрологическая обстановка такая же, как в естественных условиях, но течение проходит при условиях, повышения уровня по сравнению с условиями до создания водохранилищ. Количество наносов поступает в прежних размерах, однако условия его транспорта изменяются.

В зоне выклинивания подпора могут, создаваться разные тенденции в развитии деформации русла при подпорном режиме течения происходит осаждение наносов, при низком уровне воды в водохранилище вместо отложения наносов может возникать размыв русла. В зоне непосредственно занятой водохранилищами происходят русловые деформации в виде заиления (осаждения взвешенных наносов) и занесения (отложения донных наносов).

По результатам многолетних исследований русловых деформаций в зоне выклинивания подпора водохранилища нами разработан метод расчета русловых деформаций в зоне выклинивания подпора водохранилища, который можно использовать для оценки состояния русла в целях разработки мероприятий для безопасного пропуска паводковых вод по реке. Расчетом определяется изменение мутности потока по длине, объемы, интенсивности заиления, размыва и транзита наносов. Расчет начинается с определения изменения мутности по длине. В зоне выклинивания подпора течения потока может, происходить в свободном и подпорном режиме. При полном заполнении чаши водохранилища до отметки нормального подпорного уровня течения потока происходит в подпорном режиме. При низком уровне воды в водохранилище течение потока – происходит в свободном режиме.

Расчет изменения мутности потока производится в два этапа. Первый этап – первичная обработка исходных данных и составление графических материалов: для гидрографа расхода воды и мутности потока (рис. 3).

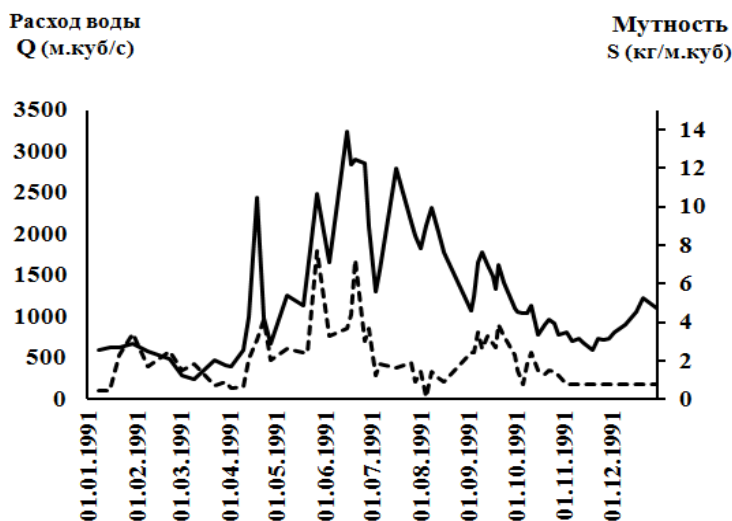


Рис. 3. График зависимости расхода воды  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) и мутности  $S$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) по гидроствору Дарган-Ата за 1991 год.

При расчете принимается  $W = i$ . Значения уклона берется из таблицы (1) измеренных расходов воды по створу в случае отсутствия данных, уклон водной поверхности определяется по формуле [2]:

Таблица 1.  
 Результаты расчетов изменения мутности потока по длине и объема (входящий, отложенный, размывы, выходящий) наносов в зоне выклинивания подпора Кюмюрюкского водохранилища по месяцам за 1991 год.

№ п/п	Месяцы	Режим течения	Расход воды	Длина участка (км)	Глубина			Уклон		Гид. наносов W(м/с)	Средняя скорость V (м/с)	Мутность (кг/м³)		Объем наносов, (млн.м³)			
					Нн	Нк	Ин	Ik	So			Sx	Вход-ящий	Отло-женный	Раз-мывы	Выход-ящий	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
2	Январь	Подп/й	721	70	3,3	4,3	0,00012	0,0001	0,00012	0,95	1,65	1,25	2,45	0,7		1,75	
3	Февраль	-//-	489	70	2,2	3,2	0,00012	0,0001	0,00012	0,9	2,1	1,35	1,91	0,8		1,11	
4	Март	-//-	356	70	1,7	2,7	0,000092	0,00007	0,00009	0,8	1,23	0,40	0,9	0,63		0,27	
5	Апрель	Сьюб/й	984	70	2,2	2,2	0,00008	0,00008	0,00008	1,2	2,08	2,02	4,1	0,08		4,02	
6	Май	-//-	1792	70	2,8	2,8	0,00008	0,00008	0,00008	1,4	3,77	3,79	13,5		0,25	13,75	
7	Июнь	-//-	2651	70	3,2	3,2	0,00006	0,00006	0,00006	1,6	4,21	4,23	21,51		0,25	21,76	
8	Июль	-//-	2127	70	3,4	3,4	0,00007	0,00007	0,00007	1,5	1,48	1,48	6,49			6,49	
9	Август	-//-	1597	70	3,2	3,2	0,00007	0,00007	0,00007	1,3	0,97	0,97	2,20			2,20	
10	Сентябрь	-//-	1408	70	3,1	3,1	0,00009	0,00009	0,00009	1,2	2,93	2,93	8,22			8,22	
11	Октябрь	-//-	946	70	2,7	2,7	0,00015	0,00015	0,00015	0,9	1,48	1,21	2,88	0,23		2,65	
12	Ноябрь	Подп/й	711	70	2,1	3,1	0,0002	0,00018	0,0002	0,9	0,8	0,52	1,13	0,5		0,63	
13	Декабрь	-//-	987	70	2,6	3,6	0,0002	0,00018	0,0002	1,1	0,8	0,8	1,63			1,63	
14	За год													2,9	0,5	64,50	

$$i = \frac{V^2 n^2}{H^{1,33}}, \quad (16)$$

$$W = i_n, \quad H_k = H_n + \Delta H, \quad i_k = i_n - \Delta H / \Delta H,$$

$\Delta H$  – дополнительный подпор.

На втором этапе определяется изменение мутности потока по длине в зоне выклинивания подпора.

Тенденция развития русловой деформации устанавливается следующим образом. При  $W / V > i$  – отложение наносов, уменьшение мутности по длине русла;  $W / V = (1 - 2)i$  – транзит наносов, мутность потока по длине остается постоянным;  $W / V < (2,0 - 2,2)i$  – размыв дна русла и рост мутности по длине русла.

Объем русловой деформации устанавливается по формулам.

$$\text{Объем отложений: } W_{отл} = Q(S_0 - S_x)T. \quad (17)$$

$$\text{Объем размыва: } W_{раз} = Q(S_x - S_0)T, \quad (18)$$

где:  $T$  – время, сек.

Устанавливается интенсивность русловой деформации.

$$\text{Толщина заиления: } H_t = \frac{W_{отл}}{BL}. \quad (19)$$

$$\text{Глубина размыва: } H_p = \frac{W_{раз}}{BL}. \quad (20)$$

Для расчета русловых деформаций нами были использованы гидрологические данные гидропоста Дарганата за 1991 год. Гидропост расположена в зоне выклинивания подпора водохранилища. Максимальный расход 1991 года доходил до 4500 м<sup>3</sup>/с, мутность потока до 8 кг/м<sup>3</sup>.

#### Выводы

Результаты расчета представлены в таблице 1. Как показывают данные таблицы 1 в январе, феврале, марте и ноябре произошли отложения наносов в зоне выклинивания подпора водохранилища. За эти месяцы уровень воды в водохранилище был наивысшим, ближе к нормальному подпертому уровню и течение потока происходило в подпертом режиме. В мае и июне по одному дню прошли максимальные расходы 1991 года, и эти расходы произвели частичный размыв русла. В целом в этом году объем отложений составил 2,9 млн.м<sup>3</sup>, а объем размыва 0,5 млн.м<sup>3</sup>, т.е. объем отложения превышает объем размыва. В результате отложения наносов в зоне выклинивания подпора произошёл подъем дна русла на 0,075 м в 1991 году.

В заключении можно отметить, что по результатам выполненных нами исследований составлен метод расчета русловых деформаций в зоне выклинивания подпора водохранилища, позволяющий устанавливать объемы отложений; размыв и изменение отметки дна русла, что имеет большое значение при проектировании и реконструкции защитных мероприятий.

#### Л и т е р а т у р а

1. Исмагилов Х.А, Сайидов М.Т. Изменение мутности потока по длине в зоне выклинивания подпора водохранилища// Материалы Международной конференции: Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России. Костяковские чтения. Москва, 2013. – С. 383-387

2. Исмагилов Х.А, Шоазизов Ф.Ш, Сайидов М.Т. Уклон водной поверхности в зоне подпора плотины// Материалы Республиканской научно-практической конференции: Вопросы совершенствования эффективного использования водных ресурсов, а также

улучшения мелиорации и экологии окружающей среды. – Ташкент, НИИИВП при ТИИМ, 2012. – С102

3. Исмагилов Х.А. Селевые потоки, русловые процессы, противоселевые и противопаводковые мероприятия в Средней Азии. – Ташкент, 2006. – 261 с.

4. Ирригация Узбекистана, том IV, глава XVIII. Русловые процессы на реках. Ташкент, 1981. – С. 220-238.

#### References

1. Ismagilov, H.A., Sayidov, M.T. (2013). The changing turbidity of the flow along the length in the zone of checkout buttress of a water reservoir, *Materialy Mezhd. Konf.: Melioraziya i Problemy Vosstanovleniya Sel'skogo Hozyaystva v Rossii*. Kostyakovskie Chteniya. Moscow, 2013, pp. 383-387

2. Ismagilov, H.A., Shoazizov, F.Sh. Sayidov, M.T. (2012). The inclination of water surface in the zone of backwater of a dam, *Materialy Respublikanskoy Nauchno- Prakt. Konf.: Voprosy Sovershenstvovaniya Effektivnogo Ispol'zovaniya Vodnyh Resursov, a Takzhe Uluchsheniya Melioratzii i Ekologii Okruzhayushey Sredy*, Tashkent, NIIVP pri TIIM, 2012, p. 102

3. Ismagilov, H.A. (2006). *Selevye Potoki, Ruslovye Protzessy, Protivoselevye i Protivopavodkovye Meropriyatiya v Sredney Azii*, Tashkent, 261 p.

4. *Irrigatsiya Uzbekistana*, том IV, глава XVIII, Ruslovye Protzessy na Reках, Tashkent, 1981, pp. 220-238.

### ANALYSIS OF CHANNEL DEFORMATION IN THE ZONE OF CHECKOUT BUTTRESS OF THE TYUYAMUYUN WATER RESERVOIR AT THE AMUDARYA RIVER

M.T. Sayidov, H.A. Ismagilov  
*NIIVP, Tashkent, Uzbekistan*

The article is dedicated to study of channel deformation occurring in upper zone of the Tyuyamuyun water reservoir at lower current of the Amudarya river. New formulas for change the turbidities of the flow on length of the riverbed on basis of some dependency are derived and presented. The executed calculations on determination of the change to turbidities of the flow on length and volume alluvium in zone checkout buttress of the Tyuyamuyun water reservoir are given, and the order of analysis is also shown.

**Keywords:** channel deformation, checkout buttress, sedimentation, wash-out, recording, turbidity of the flow, supporting regimen of the flow, free regimen of the flow.

