

**И.А.Ахмедходжаева, Т.Апакхужаева,  
З.И.Ибрагимова**

**Ташкент 2019**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Ифода Ахмаджановна Ахмедходжаева,

Турсунной Убайдуллаевна Апакхужаева,

Зайтуна Искандаровна Ибрагимова

**Прогноз потери ёмкости  
русловых водохранилищ сезонного  
регулирования**

**Ташкент 2019**

УДК 627.815.2(575.152)(043.3)

В монографии освещается проблема заиления русловых водохранилищ ирригационного назначения на современном этапе. Дан детальный анализ имеющихся методов определения объемов заиления чаши водохранилищ. Анализируется современное состояние крупных русловых водохранилищ республики после длительного периода их эксплуатации. Описан метод прогнозирования изменения объемов заиления в зависимости от географического местоположения русловых водохранилищ.

Данная монография может быть полезна для гидротехников, гидравликов, гидрологов а также для докторантов и студентов факультетов указанных специальностей высших образовательных учреждений.

In this book overviewed the problem of siltation of channel reservoirs for irrigation purposes at the present stage. A detailed analysis of the available methods for determining the volume of siltation of the reservoir bowl is given. The current state of large riverbed reservoirs of the Republic after a long period of their operation is analyzed. A method of forecasting changes in siltation volumes depending on the geographical location of channel reservoirs is described.

This book can be useful for hydraulics, hydrologists as well as for doctoral researchers and students of the faculties of these specialties of higher educational institutions.

Ответственный редактор:

Доктор технических наук, профессор *А.М.Арифжанов*

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор *Э.Ж.Махмудов*

Доктор технических наук *М.Р.Икрамова*

Рекомендован к печати Научным советом Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

## ВВЕДЕНИЕ

Монография посвящена одной из самых актуальных и до настоящего времени освященных в недостаточной мере вопросов – точному определению и, особенно, прогнозированию потерь ёмкости русловых водохранилищ и вопросу размещения наносов в ирригационных водохранилищах.

Центрально-азиатский регион является одним из экономических районов, где основой хозяйства является орошаемое земледелие, которое базируется на совместном использовании водных ресурсов бассейнов рек Амударьи и Сырдарьи. Благоприятные природные условия и богатые водно-земельные ресурсы этого района создали большие возможности для развития орошаемого земледелия, эффективность которого непосредственно связана с водообеспеченностью. Перераспределение стока по территории республики в соответствии с режимом водопотребления осуществляется водохранилищами.

В бассейне Аральского моря построено более 60 водохранилищ с полезным объёмом воды свыше 10 млн. м<sup>3</sup> каждое. Полный суммарный объём водохранилищ составляет 64,5 км<sup>3</sup>, из которого полезный объём составляет 46,5 км<sup>3</sup>, включая 20,2 км<sup>3</sup> в бассейне р. Амударьи и 26,3 км<sup>3</sup> – в бассейне р. Сырдарьи.

Благодаря построенным водохранилищам степень зарегулированности (гарантированной отдачи) стока составляет по Сырдарье 0,94 (т.е. естественный сток зарегулирован почти полностью), а по Амударье – 0,78 (т.е. имеются резервы дальнейшего регулирования). Регулирование Амударьи резко отличается тем, что в нем участвуют лишь три русловых водохранилища – 2 на Вахше (Нурекское и Байпазинское) и одно на Амударье (Тюямуюнское) и целый ряд наливных внутрисистемных водохранилищ на каналах (Каракумском – четыре, Каршинском – одно, Амубухарском – два) с общим объёмом более 6 км<sup>3</sup>. Но наполнение этих водохранилищ может

производиться при тесной увязке режимов попусков с лимитами водозаборов в эти каналы. Большинство водохранилищ были построены более 25 лет тому назад. За период срока своего существования практически все они были подвержены заилению, что привело к потере проектного полезного объёма. Это означает, что вышеприведённые значения полезного объёма водохранилищ следует уменьшить как минимум на 30%, а стало быть, соответствующим образом снизить и степень регулирования стока рек /28/.

Одним из условий эффективной и экономичной эксплуатации водохранилищ является наличие информации об его объёме. Этот объём с каждым годом эксплуатации непрерывно сокращается из-за осаждения наносов. За год в водохранилище могут накапливаться миллионы кубометров наносов, поэтому объём водохранилищ (по кривой его зависимости от отметки уровня воды в нем) определяется со всё возрастающей погрешностью. Следовательно, необходим метод учёта непрерывного изменения объёма водохранилища в течение его эксплуатации.

Известно, что реальные технические возможности регулирования стока реки определяются в основном полезными объёмами каскада водохранилищ в речном бассейне. Отсутствие работ по определению объёмов заиления крупных ирригационных водохранилищ затрудняет возможности прогнозирования потери их ёмкости, т.к. все имеющиеся работы по определению заиления водохранилищ относятся к энергетическим, где уровень воды в верхнем бьефе держится на отметке нормального подпёртого уровня (НПУ). Отсутствие достоверной информации о регулирующих возможностях стока рек водохранилищами приводит к неправильному распределению располагаемых водных ресурсов и соответствующим негативным последствиям и, особенно, в маловодные годы. Например, с момента ввода Нурекского и Тюямуюнского гидроузлов в эксплуатацию прошло уже соответственно 48 и 39 лет. За это время вследствие заиления, переработки берегов и оползневых явлений их полезные объёмы

уменьшились. Из пяти водохранилищ (Нурек - одно, Туюмуйун - четыре) натурные наблюдения выполнялись только на одном из них (Туюмуйун - Русловое). Полезный объем этой емкости за этот период уменьшился на ~ 1,1 млрд. м<sup>3</sup> (т.е. на 40 %) от проектного.

На практике фактические объемы заиления водохранилищ сильно отличаются от проектных. Их анализ показывает, что фактические объемы заиления превышают от 1,5 до 6 раз их проектные значения.

Существует много работ по определению емкости чаши водохранилищ и объёма их заиления. Однако анализ многолетних натуральных наблюдений за изменением чаши водохранилищ показал, что высотное расположение водохранилищ имеет существенное влияние на интенсивность заиления.

Вышесказанное показывает назревшую необходимость проведения специальных научных исследований по уточнению методики для определения объемов заиления ирригационных водохранилищ за период их эксплуатации.

На основе анализа материалов по фактическому заилению общего и мёртвого объёмов более 20 крупных водохранилищ Узбекистана, приведенного в процессе работы над данной монографией, были разработаны рекомендации по определению ежегодного объёма заиления русловых ирригационных водохранилищ и прогнозированию потери емкости в будущем. При этом было уделено особенное внимание на их географическое расположение, так как в процессе работы была выявлена зависимость между интенсивностью заиления водохранилищ и их высотным расположением.

Сбор, изучение, системный анализ и обобщение натуральных исследований на крупных водохранилищах Республики Узбекистан позволил разработать методику расчёта заиления русловых ирригационных водохранилищ, разработать рекомендации по прогнозу изменения емкости водохранилищ в зависимости от твёрдого стока реки, определить

зависимость между интенсивностью заиления водохранилищ и их географическим высотным расположением.

В монографии предложена зависимость для расчета объёма твёрдого стока водотоков, на которых расположены крупные водохранилища Республики Узбекистан на основе статистической обработки натурных данных, предложена методика расчёта и прогнозирования заиления русловых водохранилищ сезонного регулирования, на основе анализа распределения объёмов отложений в водохранилищах. Установлена зависимость между интенсивностью заиления водохранилищ и их географически высотным расположением. Описан процесс последовательности заиления водохранилищ сезонного регулирования, который показывает, что отложение наносов происходит одновременно как в зоне мёртвого объёма, так и в зоне полезной ёмкости.

Применение разработанных рекомендаций будет способствовать рациональному управлению имеющимися водными ресурсами.

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>Принятые обозначения и понятия .....</b>	<b>7</b>
<b>Введение.....</b>	<b>7</b>
<b>I. Обзор существующих исследований по расчету и прогнозу заиления водохранилищ</b>	<b>12</b>
1.1 Особенности механики отложения наносов в полезном и мёртвом объёмах водохранилищ.....	12
1.2 Существующие методы расчёта заиления водохранилищ.....	20
1.3 Анализ расчётных зависимостей заиления водохранилищ.....	25
<b>II. Исследование и анализ заиления чаши крупных ирригационных водохранилищ после длительного периода их эксплуатации с учетом их высотного расположения</b>	<b>29</b>
2.1. Классификация водохранилищ.....	29
2.2. Натурные промеры водохранилищ.....	33
2.3. Анализ и сравнение натуральных и проектных данных по заилению русловых водохранилищ. ....	40
2.4. Анализ и сравнение натуральных и проектных данных по наливным водохранилищам.....	98
<b>III. Разработка расчётных зависимостей для оценки заиления ирригационных русловых водохранилищ</b>	<b>124</b>
3.1 Стадии заиления русловых водохранилищ.....	124
3.2 Вывод расчётной зависимости для определения твёрдого стока...	131
3.3 Порядок расчёта твёрдого стока реки.....	136
3.4 Определение коэффициента корреляции.....	137
<b>IV. Предлагаемая методика расчёта заиления водохранилищ</b>	<b>141</b>
4.1. Порядок расчёта заиления водохранилищ.....	141

<b>4.2 Примеры расчёта заиления по предлагаемой методике:</b>	
а) Южно-Сурханское водохранилище.....	143
б) Тюямуюнское русловое водохранилище.....	149
<b>4.3 Сравнительный анализ .....</b>	<b>161</b>
<b>Литература.....</b>	<b>165</b>



## Глава IV. ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

### 4.1. Порядок расчёта заиления водохранилищ

#### Расчёт первой стадии заиления

1. Определяется безразмерный коэффициент  $\alpha$  (при известных значениях  $H_n$  и НПУ водохранилища)

$$\alpha = \left( \frac{H_n}{\text{НПУ}^I} - 1 \right) \cdot 0.004$$

2. Назначается шаг расчётного периода  $\Delta t$  (обычно 1-2 года) и определяется

$$K_{2_i} = \alpha \cdot \left( 1 - \frac{\alpha \cdot \Delta t}{2} \right)$$

где  $K_i$  коэффициент, зависящий от  $\alpha$  и  $\Delta t$ .

3. Определяется ежегодный твёрдый сток в верхнем бьефе водохранилища

$$R_{\Gamma} = K_{2_i} \cdot W_o$$

4. Определяется объём заиления водохранилища для каждого шага рассматриваемого периода

$$W_{3O_i} = R_{\Gamma_i} + R_{\Gamma_{i+1}}$$

$R_{\tilde{A}_i}$  - годовой твёрдый сток в верхнем бьефе водохранилища в  $i$ -й год рассматриваемого периода;

$R_{\tilde{A}_{i+1}}$  - годовой твёрдый сток - в  $i + 1$  год рассматриваемого периода.

5. Рассчитываем величину  $n = \frac{W_{\zeta i}^i}{W_i}$ .

6. Рассчитываем правую сторону формулы

$$K_{2_i} = 0,17 + \frac{W_{\zeta i}^i \cdot 0,13}{W_i} = \frac{0,17}{1 - 0,13 \cdot n}$$

7. Объём заиления мёртвого объёма определяем как

$$W_{\zeta_i} = W_{\zeta_i} \cdot K_{2i}$$

Зная величину  $W_m$ , определяется время заиления мёртвого объёма

(конец I стадии заиления водохранилища)  $W_{zo} = \frac{W_m}{K_2}$  где  $K_2=0,3$  и по

графику  $W_{zo} = f(t)$  определяется  $t_I$  - время, когда начинается вынос наносов в нижний бьеф.

### Расчёт второй стадии заиления водохранилищ

1. Определяется объём заиления  $W_{\zeta_i}^i$  в начале 2-ой стадии

$$W_{\zeta_i}^i = \frac{W_i}{K_2},$$

где  $K_2=0,3$

2. Зная  $n = \frac{W_{\zeta_i}^i}{W_i}$  (для начала 2-ой стадии  $n = 3,33$ ), рассчитываем правую

сторону равенства:

$$\frac{W_{iá}}{W_i} = \frac{0,3 \cdot n - 1}{1 - 0,13 \cdot n}$$

3. Затем определяем  $W_{iá}$  - объём наносов, сбрасываемый в нижний бьеф за каждый шаг  $i$  расчётного периода,

$$W_{iá} = W_i \cdot \frac{0,3 \cdot n - 1}{1 - 0,13 \cdot n}$$

4. Определяем объём наносов, сбрасываемый в нижний бьеф водохранилища за каждый шаг расчётного периода

$$W_{нб\phi} = W_{нб_i} - W_{нб_{i+1}}$$

$W_{нб\phi}$  - фактический объём наносов, выносимых в нижний бьеф,

$W_{iá}$  - объём наносов, выносимых в нижний бьеф за период  $i$ ,

$W_{нб_{i-1}}$  - объём наносов, выносимых в нижний бьеф за период  $i-1$ .

5. Определяется оставшаяся ёмкость водохранилища в конце рассматриваемого периода

$$W_{Op} = W_o - W_{\zeta i}$$

и строится график  $W = f(t)$ .

6. Ежегодный приток наносов в верхнем бьефе водохранилища определяется по формуле

$$R_{\Gamma} = K_{2i} \cdot W_{Op}$$

7. Объём заиления в конце рассматриваемого периода

$$W_{30i}^{\kappa} = R_{\Gamma} \cdot \Delta t - W_{нб_{\phi}}$$

8. Суммарный объём отложившихся наносов в начале следующего расчётного периода

$$W_{30_{i+1}}^{\mu} = W_{30i}^{\mu} + W_{30i}^{\kappa}$$

9. Вторая стадия заиления водохранилища заканчивается, когда  $W_{Op} \leq 0$ , т.е. когда объём приносимых в чашу водохранилища наносов сравнивается или станет меньше объёма выносимых в нижний бьеф наносов.

#### 4.2. Примеры расчёта заиления водохранилищ

- а) **Южно - Сурханское водохранилище.** Год ввода в эксплуатацию – 1962 год, полная ёмкость – 800 млн. м<sup>3</sup>, отметка НПУ – 415,0, мёртвый объём - 96 млн. м<sup>3</sup>, отметка УМО –399,0.

Приведённую мутность в верхнем бьефе определяем по формуле (3.2-2):

$$\alpha = \left( \frac{H_{н}}{НПУ^I} - 1 \right) \cdot 0.004 = 0,0114$$

Расчёт ведём в табличной форме с шагом периода 2 года

$$K_{2i} = \alpha \cdot \left( 1 - \frac{\alpha \cdot t}{2} \right) = 0,0114 \cdot \left( 1 - \frac{0,0114 \cdot 2}{2} \right) = 0,02254$$

Расчёт заиления водохранилища в I стадии, когда все наносы откладываются в водохранилище, представлен в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1.

Расчет 1 стадии заиления Южно-Сурханского водохранилища

$t$ лет	$W_0$ , млн. м <sup>3</sup>	$R_i = K_i$ $\cdot W_0$	$W_{3.0}$ , млн. м <sup>3</sup>	$n = \frac{W_{3.0}}{W_m}$	$0,13 \cdot n$	$1 - 0,13 \cdot n$	$K_2 = \frac{W_{3M}}{W_{3.0}}$	$W_{3M} =$ $W_{3.0} \cdot K_2$ , млн. м <sup>3</sup>
0	800	18,03	18,03	0,188	0,0244	0,9756	0,174	3,1
2	781,97	17,63	35,66	0,371	0,0482	0,9518	0,179	6,33
4	764,34	17,23	52,89	0,551	0,0716	0,9284	0,183	9,67
6	747,11	16,84	69,73	0,726	0,0944	0,9056	0,187	13,04
8	130,27	16,46	86,19	0,898	0,117	0,883	0,192	16,55
10	713,81	16,09	102,28	1,065	0,138	0,862	0,197	20,15
12	697,72	15,72	118,0	1,229	0,160	0,840	0,202	23,84
14	682,0	15,37	133,37	1,3892	0,180	0,82	0,207	27,61
16	666,63	15,03	148,4	1,546	0,261	0,799	0,212	31,48
18	651,6	14,62	162,02	1,698	0,221	0,779	0,218	35,54
20	636,98	14,36	177,38	1,848	0,240	0,760	0,223	39,56
22	622,62	14,03	191,41	1,994	0,259	0,741	0,229	43,83
24	608,59	13,72	206,13	2,137	0,278	0,722	0,235	48,20
26	594,87	13,41	218,54	2,28	0,296	0,704	0,241	52,67
28	581,46	13,01	231,55	2,41	0,313	0,687	0,247	57,19
30	568,45	12,81	244,36	2,54	0,330	0,670	0,253	61,82
32	555,64	12,52	256,88	2,676	0,348	0,652	0,261	67,05
34	543,12	12,24	269,12	2,803	0,364	0,636	0,267	71,86
36	530,88	11,97	281,09	2,927	0,380	0,620	0,274	77,8
38	518,91	11,70	292,79	3,050	0,397	0,603	0,282	82,57
40	507,21	11,43	304,32	3,170	0,412	0,588	0,291	88,56
42	495,68	11,17	315,49	3,286	0,427	0,573	0,297	93,70
43	490	10,92	320,41	3,33	0,433	0,567	0,30	96,00

Ежегодный объём притока наносов в водохранилище в начале эксплуатации равен  $\frac{18,03}{2} = 9,015 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>/г., в конце I стадии -  $\frac{10,92}{2} = 5,46 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>/г. (2 года – шаг расчётного периода).

$$K_2 = 0,17 + \frac{W_{зм} \cdot 0,13}{W_m} = \frac{0,17}{1 - 0,13 \cdot n}$$

Из таблицы 4.2.1 видно, что мёртвый объём водохранилища будет полностью заилен и начнётся вынос наносов в нижний бьеф через 43 года с начала эксплуатации, что соответствует 2005 году.

В таблице 4.2.2 приведён расчёт заиления водохранилища во II стадии (когда часть наносов оседает в водохранилище, а часть сносится в нижний бьеф).

$$W_{зо} = \frac{W_m}{K_2} = \frac{96}{0,3} = 320 \text{ млн. м}^3; \quad W_K = W_O - W_{\zeta i} = 800 - 320 = 480 \text{ млн. м}^3;$$

$$t_I = 43 \text{ года}; \quad \Delta t = 2 \text{ года}; \quad K_2 = 0,02254.$$

Объём выносимых в нижний бьеф наносов (с начала эксплуатации)

$$W_{iá} = W_i \cdot \frac{0,3 \cdot n - 1}{1 - 0,13 \cdot n}$$

$$W_{iá \delta} = W_{iá i} - W_{iá i+1}$$

Ежегодный твёрдый сток в верхнем бьефе водохранилища за расчётный период:

$$R_{ГР} = \alpha \cdot W_{OH} \left( 1 - \frac{\alpha \cdot \Delta t}{2} \right)$$

Таблица 4.2.2.

## РАСЧЁТ ЗАИЛЕНИЯ ЮЖНО-СУРХАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ВО II СТАДИИ

$$W_{30}^0 = \frac{W_m}{K_2} = \frac{96}{0,3} = 320 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad t = 2 \text{ года}; \quad t_1 = 43 \text{ года}; \quad W_0 = W'_0 - W_{\text{гт}}^0 = 800 - 320 = 480 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad \alpha = 0,0442; \quad K_2 = 0,02254;$$

$t + t_1$	$W_{30}$ , МЛН. М <sup>3</sup>	$n = \frac{W_{30}}{W_m}$	$0,3 \cdot n$	$0,3 \cdot n - 1$	$0,13 \cdot n$	$1 - 0,13 \cdot n$	$\frac{W_{нб}}{W_m}$	$W_{нб}$ , МЛН. М <sup>3</sup>	$W_{нб i} - W_{нб i-1}$ , МЛН. М <sup>3</sup>	$R_{\Gamma} = K_2 \cdot W_0$	$R_{\Gamma} \cdot \Delta t - W_{нб}$ , МЛН. М <sup>3</sup>	$W_{op}$ , МЛН. М <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
43	320	3,33	1,0	0	0,433	0,567	0	0	0	10,8	10,8	480
45	327,9	3,416	1,0247	0,0247	0,448	0,552	0,0546	5,24	5,24	10,58	5,34	467,9
47	333,1	3,471	1,0412	0,0412	0,451	0,549	0,075	7,20	1,96	10,52	6,82	460,08
49	339,82	3,5408	1,0622	0,0622	0,461	0,54	0,115	11,06	3,86	10,37	6,51	453,57
51	346,43	3,6086	1,0826	0,0826	0,469	0,531	0,1555	14,93	3,87	10,22	6,35	447,22
53	352,78	3,675	1,1024	0,1024	0,478	0,522	0,1962	18,83	3,90	10,08	6,13	441,08
55	358,92	3,739	1,1216	0,1216	0,486	0,514	0,2366	22,71	3,88	9,94	6,06	435,02
57	364,98	3,802	1,1406	0,1406	0,494	0,506	0,2779	26,68	3,97	9,80	5,83	429,19
59	370,81	3,863	1,1588	0,1588	0,502	0,498	0,3189	30,61	3,93	9,67	5,74	423,45
61	376,55	3,922	1,1767	0,1767	0,510	0,49	0,3606	34,62	4,01	9,54	5,53	417,92
63	382,08	3,979	1,1937	0,1937	0,517	0,483	0,4101	38,50	3,88	9,42	5,54	412,38
65	387,62	4,038	1,2113	0,2113	0,525	0,475	0,4448	42,70	4,20	9,30	5,10	407,28
67	392,72	4,091	1,2272	0,2272	0,532	0,468	0,4855	46,60	4,10	9,18	5,08	402,20
69	397,80	4,144	1,243	0,243	0,538	0,462	0,526	50,49	4,11	9,07	4,96	397,24
71	402,76	4,195	1,2586	0,2586	0,545	0,455	0,568	54,56	4,07	8,95	4,88	392,36
73	407,64	4,246	1,2739	0,2739	0,532	0,448	0,6114	58,69	4,22	8,84	4,62	387,76
75	412,24	4,294	1,2882	0,2882	0,558	0,442	0,652	62,60	3,91	8,74	4,83	382,93
77	417,07	4,344	1,3033	0,3033	0,565	0,435	0,697	66,93	4,33	8,63	4,30	378,63
79	421,37	4,389	1,3168	0,3168	0,571	0,429	0,738	70,89	3,96	8,53	4,57	374,06
81	425,99	4,4369	1,3311	0,3311	0,577	0,423	0,7827	75,14	4,25	8,43	4,18	369,88
83	430,12	4,4804	1,344	0,3441	0,582	0,418	0,8232	79,03	3,89	8,33	4,44	365,44

Продолжение табл. 4.2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
85	434,56	4,527	1,3580	0,3580	0,5855	0,411	0,8710	83,62	4,59	8,24	3,65	361,79
87	438,4	4,565	1,3694	0,3694	0,5935	0,4065	0,9087	87,23	3,61	8,15	4,54	357,25
89	442,75	4,612	1,3836	0,3836	0,60	0,400	0,959	92,06	4,83	8,05	3,22	354,03
91	445,97	4,646	1,3937	0,3937	0,604	0,396	0,994	95,44	3,38	7,98	3,91	350,12
93	449,88	4,686	1,4059	0,4059	0,6092	0,3908	1,0386	99,71	4,27	7,89	3,62	346,50
95	453,5	4,724	1,4172	0,4172	0,6141	0,386	1,081	103,76	4,05	7,81	3,76	342,74
97	457,26	4,7632	1,4290	0,4290	0,6192	0,3808	1,1266	108,15	4,39	7,73	3,34	339,4
99	460,6	4,80	1,439	0,439	0,624	0,376	1,1675	112,08	3,93	7,65	3,72	335,68
101	464,32	4,837	1,451	0,451	0,6288	0,3712	1,215	116,64	4,56	7,57	3,01	332,67
103	467,33	4,868	1,4604	0,4604	0,6328	0,3672	1,254	120,38	3,74	7,50	3,76	328,91
105	471,09	4,907	1,4722	0,4722	0,638	0,362	1,304	125,22	4,84	7,41	2,57	326,34
107	473,66	4,934	1,4802	0,4802	0,6414	0,3586	1,3391	128,55	3,33	7,36	4,03	322,31
109	477,69	4,976	1,4928	0,4928	0,647	0,353	1,396	134,02	5,47	7,26	1,79	320,52
111	479,48	4,995	1,4984	0,4984	0,649	0,351	1,420	136,31	2,29	7,22	4,93	315,59
113	484,91	5,046	1,5138	0,5138	0,656	0,344	1,493	143,4	7,09			

$W_{O_n}$  - объём водохранилища в начале расчётного периода;

$t$  - продолжительность расчётного периода, в годах;

Объём отложений наносов в водохранилище за расчётный период равен:

$$W_{з.о} = R_{Г} \cdot t - W_{нб}$$

II стадия заиления закончится, когда объём наносов, отлагаемых в водохранилище, будет равен нулю.

По результатам расчётов в таблице 4.2.1. видно, что этот момент наступит через 111 лет эксплуатации (1962+111=2073 год) когда объём водохранилища сократится до  $315 \cdot 10^6$  млн. м<sup>3</sup>.

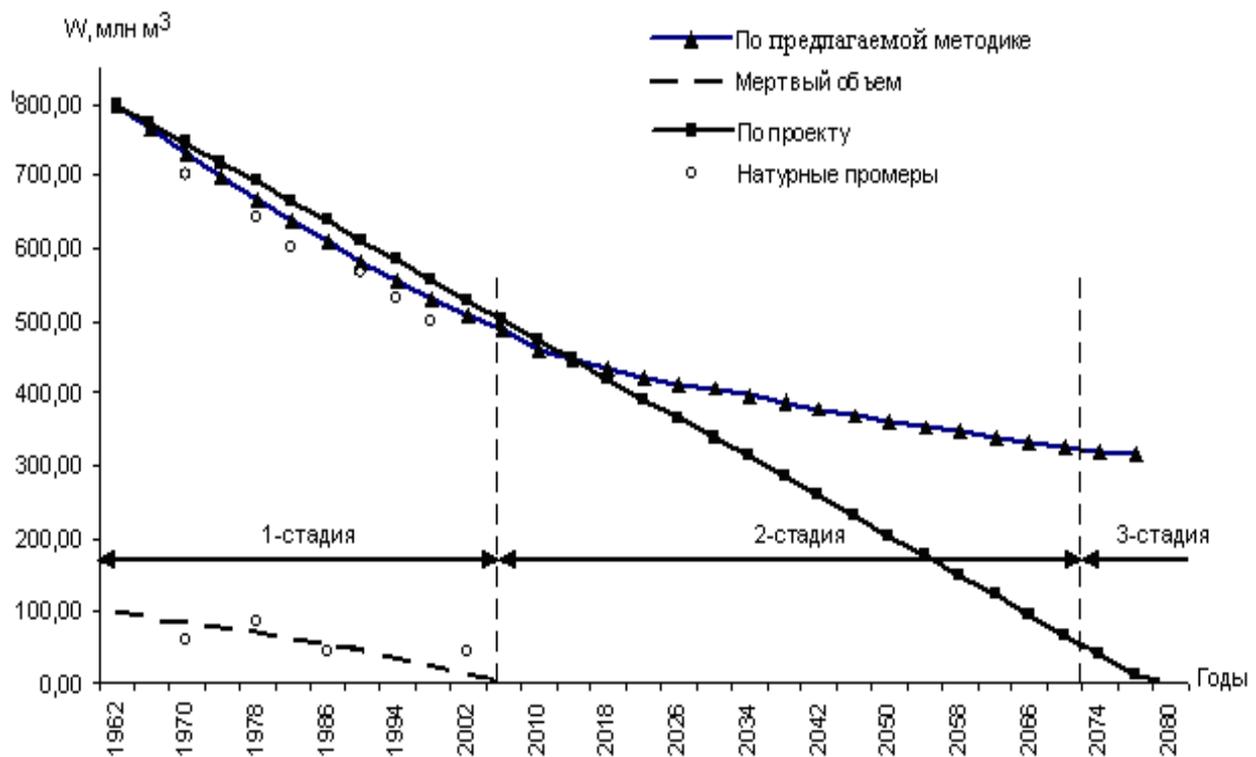


Рис. 4.2.1. Кривая зависимости объёмов Южно-Сурханского водохранилища от времени.

## б) Пример расчёта заиления Тюямуюнского водохранилища

ТМГУ состоит из Руслового и 3-наливных водохранилищ: Капарас, Султансанджар и Кошбулак.

За двадцать с лишним лет эксплуатации гидроузла произошли серьезные изменения, связанные с полезной емкостью водохранилищ. Проектные показатели водохранилищ изменились: объем заиления Руслового водохранилища ТМГУ по состоянию на 2003 г. превышает 1050 млн. м<sup>3</sup>; Капарас используется для создания запасов качественной воды; Кошбулак потерял часть полезной емкости из-за оползневых явлений; дамба Султансанджарского водохранилища фильтрует и не позволяет накопить проектный объем воды в чаше.

В отношении мёртвого объёма и ГМО Руслового Тюямуюнского водохранилища нет конкретного указания. В «Ирригации Узбекистана» том III (стр. 243) сказано, что ёмкость проектируемого руслового Тюямуюнского водохранилища при НПУ=130,0м равен 2,34 млрд. м<sup>3</sup> и полезный объём 2,07 млрд. м<sup>3</sup> (т.е. мёртвый объём равен 270 млн. м<sup>3</sup>), причём сработка производится до отметки 119,0 – 120,0 метров. Сбросные отверстия гидроузла рассчитаны на пропуск паводка расходом 7500 м<sup>3</sup>/с, при отметке 120,0 м. Только исключительный по размерам паводок с расходом 12800 м<sup>3</sup>/с (0,01 процентной обеспеченности) пройдёт при отметке 130,0 м.

Из данных проекта невозможно установить ГМО. Фактически горизонт воды в водохранилище срабатывается до отметки 118,35 и ниже.

Нами рассмотрено несколько вариантов значений мёртвого объёма и его уровня:

1. ГМО =118,0 м, мёртвый объём 150 млн. м<sup>3</sup>;
2. ГМО =118,5 м, мёртвый объём 165 млн. м<sup>3</sup>;
3. ГМО = 119,0 м, мёртвый объём 200,0 млн. м<sup>3</sup>;
4. ГМО =120,3 м, мёртвый объём 270 млн. м<sup>3</sup>.

Расчёт заиления водохранилища производим по нижеприведенной методике.

Находим приведённую мутность для Руслового водохранилища:

$$\alpha = \left( \frac{H_H}{HПУ^I} - 1 \right) \cdot 0.004$$

где,  $\alpha$  – приведенная мутность,

$HПУ^I = 130$  - относительная отметка НПУ.

Объём наносов, попадающих в водохранилище в первый год эксплуатации

$$R_{\Gamma} = \alpha \cdot W_0 = 0,0442 \cdot 2340 \cdot 10^6 = 103,4 \text{ млн. м}^3 / \text{год}$$

(Проектный ежегодный объём наносов по методике В.С. Лапшенкова-43,5 млн. м<sup>3</sup>/г.)

где:  $W_0$  - начальная ёмкость водохранилища, млн. м<sup>3</sup>;

$R_{\Delta}$  - годовой объём наносов, отлагаемых в водохранилище, млн. м<sup>3</sup>/г.

Расчёт 1 этапа заиления Тюямуюнского водохранилища.

Исходные данные:

$W_0 = 2340$  млн. м<sup>3</sup>,  $HПУ = 130,0$ ,  $\Delta t = 1$  год

$$\alpha = 0,004 \cdot \left( \frac{1600}{HПУ^I} - 1 \right) = 0,004 \cdot 11,31 = 0,04923$$

$$K_2 = \alpha \cdot \left( 1 - \alpha \cdot \frac{\Delta t}{2} \right) = 0,04923 \cdot 0,9754 = 0,048$$

Таблица 4.2.2.

t	$W_0$ , млн.м <sup>3</sup>	$W_{3.O_i} = W_0 \cdot K_2$ , млн.м <sup>3</sup>	$W_{O_i} = W_0 - W_{3.O_i}$ , млн.м <sup>3</sup>	$W_{3o} = W_0 - W_{O_i}$ , млн.м <sup>3</sup>
1	2340	112,36	2223	112,36
2	2228	106,94	2121	219,30
3	2121	101,81	2019	312,11
4	2019	96,91	1921	418,02
5	1919	92,11	1827	510,13
6	1827	87,7	1739	597,83
7	1739	83,47	1655	681,3
8	1655	79,44	1575	760,74
9	1575	75,6	1499	836,34
10	1499	71,95	1427	908,29

Продолжительность 1 этапа для различных вариантов ГМО

### 1 вариант

$W_M = 150$  млн. м<sup>3</sup> ,  $W_{\zeta_i} = 3,333 \cdot W_0 = 3,333 \cdot 150 = 500$  млн. м<sup>3</sup> ,  $t_1 = 5$  лет.

### 2 вариант

$W_M = 165$  млн. м<sup>3</sup> ,  $W_{\zeta_i} = 3,333 \cdot W_0 = 3,333 \cdot 165 = 550$  млн. м<sup>3</sup> ,  $t_1 = 6$  лет.

### 3 вариант

$W_M = 270$  млн. м<sup>3</sup> ,  $W_{\zeta_i} = 3,333 \cdot W_0 = 3,333 \cdot 270 = 900$  млн. м<sup>3</sup> ,  $t_1 = 10$  лет.

### 4 вариант

$W_M = 200$  млн. м<sup>3</sup> ,  $W_{\zeta_i} = 3,333 \cdot W_0 = 3,333 \cdot 200 = 666,7$  млн. м<sup>3</sup> ,  $t_1 = 7$  лет.

Тюямуюнское Русловое водохранилище, полная ёмкость  $W_0 = 2340$  млн. м<sup>3</sup>. Ежегодное поступление наносов в водохранилище  $R_2 = 47,5$  млн. м<sup>3</sup> /год.

Начало эксплуатации 1980 г.

Срок службы водохранилища  $t = \frac{2340}{47,5} = 49,3 \approx 50$  лет.

$T=1980+50=2030$  год.

Фактическая остающаяся емкость:

В 1987 г.	$2340-528=1817$ млн. м <sup>3</sup> ,
1988 г.	$2340-559=1781$ млн. м <sup>3</sup> ,
1989 г.	$2340-565=1775$ млн. м <sup>3</sup> ,
1990 г.	$2340-664=1676$ млн. м <sup>3</sup> ,
1992 г.	$2340-782=1559$ млн. м <sup>3</sup> ,
1993 г.	$2340-867=1473$ млн. м <sup>3</sup> ,
1995 г.	$2340-913=1427$ млн. м <sup>3</sup> ,
1996 г.	$2340-954=1386$ млн. м <sup>3</sup> ,
1999 г.	$2340-1050=1290$ млн. м <sup>3</sup> ,
2000 г.	$2340-971=1369$ млн. м <sup>3</sup> ,
2001 г.	$2340-940=1400$ млн. м <sup>3</sup> .

Проектная ёмкость к 2010 году (т.е. через  $T=2010-1980=30$  лет)

Поступление наносов к 2010 г:

$$W_{30}=30*47,5=1425 \text{ млн. м}^3$$

Остающаяся ёмкость:

$$W_{oi}=2340-1425=915 \text{ млн. м}^3$$

1997	$2340-898=1442$ млн. м <sup>3</sup>
1998	$2340-1006=1334$ млн. м <sup>3</sup>
1999	$2340-1050=1290$ млн. м <sup>3</sup>
2000	$2340-971=1369$ млн. м <sup>3</sup>
2001	$2340-940=1400$ млн. м <sup>3</sup>

Из рис. 4.2.2. видно, что проектный уровень мёртвого объёма соответствует второму из рассмотренных вариантов, то есть отметке ГМО=118,5 м и мёртвому объёму, равному 165 млн. м<sup>3</sup>.

Результаты расчётов показывают, что I–я стадия заиления составила 7,5 лет (к 1988 году закончилась), а II–я стадия заиления, когда в нижний бьеф выносятся часть наносов, продолжалась до 2005 года, после которого объёмы приходящих и выносимых в нижний бьеф наносов стали равны. Остающаяся ёмкость в  $1300 \pm 100$  млн. м<sup>3</sup> будет неизменной до конца эксплуатации водохранилища.

Сопоставление фактической ёмкости Тюямуюнского Руслового водохранилища с расчётными по годам (в млн. м<sup>3</sup>)

Год	T, с начала экспл.	W <sub>ф</sub> фактическая ёмкость, млн. м <sup>3</sup>	W <sub>пр</sub> проектная ёмкость, млн. м <sup>3</sup>	W <sub>р</sub> результаты расчётов по вариантам, млн. м <sup>3</sup>			
				1	2	3	4
1980	0	2340	-	2228	2228	2228	2228
1981	1	2320	2253	2121	2121	2121	2121
1982	2	2290	2245	2019	2019	2019	2019
1983	3	2260	2197	1919	1919	1919	1919
1984	4	2040	2150	1827	1827	1827	1827
1985	5	1979	2102	1760	1739	1739	1739
1986	6	1890	2055	1734	1711	1655	1655
1987	7	1817	2008	1678	1678	1601	1601
1988	8	1781	1960	1653	1624	1573	1573
1989	9	1775	1917	1617	1588	1522	1522
1990	10	1781	1865	1578	1558	1498	1495
1991	11	1676	1917	1562	1523	1452	1425
1992	12	1559	1710	1519	1503	1425	1394
1993	13	1473	1723	1519	1465	1394	1370
1994	14	-	1675	1519	1462	1370	1347
1995	15	1427	1627	1519	1455	1347	1319
1996	16	1386	1580	1519	1445	1319	1302
1997	17	1442	1532	1519	1435	1302	1300
1998	18	1334	1485	1519	1425	1302	1290
1999	19	1290	1437	1519	1415	1302	1283
2000	20	1369	1390	1519	1410	1302	1275
2001	21	1400	1337	1519	1405	1258	1258
2002	22		1295	1519	1400	1258	1198
2003	23		1247	1519	1395	1179	1179
2004	24		1200	1519	1385	1113	1095
2005	25		1153	1519	1385	1088	1073

2006	26		1105	1519	1385	1047	1056
2007	27		1057	1519	1380	972	1024
2018	38				1340		815

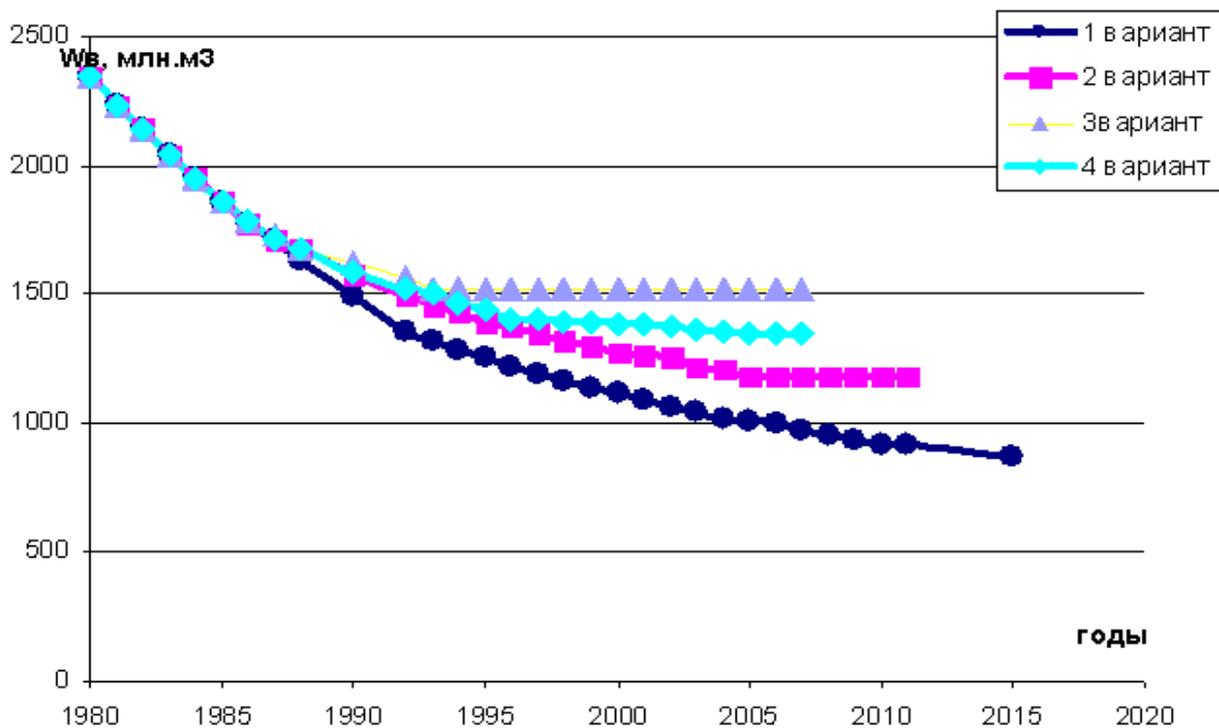


Рис. 4.2.2. График изменения ёмкости Тюямуюнского водохранилища.

При этом на графике (рис. 4.2.2.) напрашивается сдвиг по времени на 2 года, тогда совпадение значений расчётной и фактической ёмкостей будут почти идеальными.

Этот сдвиг по времени может объясняться следующими факторами:

1. Увеличение фактической ёмкости за счёт просадки основания водохранилища. Это явление часто происходит в натуре, например на Чардарьинском и Пачкамарском водохранилищах, дно которых в первые годы эксплуатации просело более чем на 1,0 м, что привело к увеличению объёма водохранилищ.

2. В первые годы эксплуатации горизонт воды в водохранилище поддерживался не на отметке НПУ, а гораздо ниже, что также привело к пропуску в нижний бьеф части наносов.

Результаты изучения изменения мёртвого объёма и его уровня показывают, что в русловом водохранилище Тюямуонского гидроузла фактически II стадия заиления закончилась и наступила III стадия, когда ёмкость водохранилища не будет изменяться, т.е. ёмкость водохранилища сохранится в районе  $1300 \pm 100$  млн.м<sup>3</sup>.

По результатам расчётов построен график зависимости объёма Руслового Тюямуонского водохранилища от времени рис. 4.2.3.

Расчеты второй стадии заиления водохранилища приведены в таблице 4.2.3. для варианта, когда УМО = 120,3м и мёртвый объём 270 млн.

$$W_{zo} = \frac{W_m}{K_2} = \frac{270}{0,3} = 900 \text{ млн.м}^3; \quad W_o = W_{oi} - W_{zo} = 2340 - 900 = 1440 \text{ млн.м}^3;$$

$$\alpha = 0,0442; \quad K_1 = 0,0432; \quad K_2 = 0,0845.$$

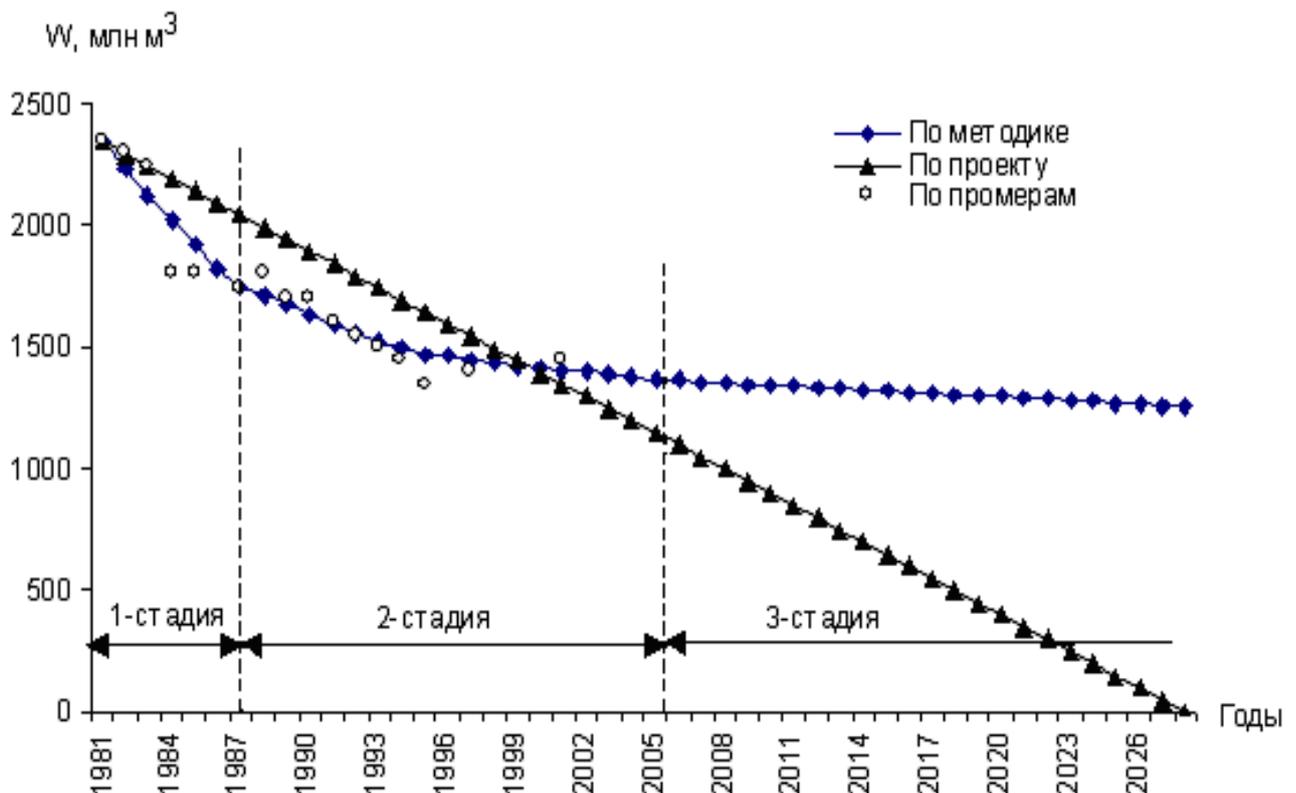


Рис. 4.2.3. График  $W_0=F(T)$  Тюямуюнского руслового водохранилища.

Таблица 4.2.3

РАСЧЁТ 2-Й СТАДИИ ЗАИЛЕНИЯ ТЮЯМУЮНСКОГО РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА  
(первый вариант,  $W_M=270$  млн. м<sup>3</sup>)

$$W_{\text{зг}}^0 = \frac{270}{\hat{E}_2} = \frac{270}{0,3} = 900 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad t = 11 \text{ лет (1990)}; \quad W_0 = W'_0 - W_{\text{зг}}^0 = 2340 - 900 = 1440 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad \alpha = 0,0442; \quad K_1=0,0432; \quad K_2=0,0845;$$

$t$	$W_{\text{зо}}$ , млн. м <sup>3</sup>	$\frac{W_{\text{зо}}}{W_M}$	$0,3 \cdot \frac{W_{\text{зо}}}{W_M}$	$0,3 \cdot \frac{W_{\text{зо}}}{W_M} - 1$	$1 - 0,13 \cdot \frac{W_{\text{зо}}}{W_M}$	$\frac{W_{\text{нб}}}{W_M}$	$W_{\text{нб}}$ , млн. м <sup>3</sup>	$W_{\text{нб}} - W_{\text{нб пр}}$ , млн. м <sup>3</sup>	$R_T = K_1 \cdot W_{0p}$ , млн. м <sup>3</sup> /го д	$W_o$ , млн. м <sup>3</sup>	$W_{\text{зо}} =$ $R_T \cdot \Delta t - W_{\text{нб}}$ млн. м <sup>3</sup>
0	900	3,33	1,0	0	0,01	0	0	0	62,2	1378	962,2
1	966,2	3,578	1,0735	0,0735	0,535	0,1374	37,1	37,1	59,5	1356	984
2	988,6	3,661	1,0984	0,0984	0,525	0,187	50,6	13,5	58,6	1316	1024
3	1024	3,792	1,1378	0,1378	0,507	0,2718	73,38	22,78	56,7	1282	1058
4	1058	3,918	1,1755	0,1755	0,491	0,3574	96,50	23,12	55,97	1251	1089
5	1089	4,033	1,210	0,210	0,476	0,441	119,12	22,62	54,04	1220	1120
6	1120	4,148	1,244	0,244	0,461	0,529	142,9	23,78	52,70	1191	1149
7	1149	4,256	1,277	0,277	0,447	0,620	167,3	24,4	51,45	1162	1178
8	1177	4,359	1,3078	0,3078	0,433	0,7108	191,93	24,63	50,24	1137	1203
9	1204	4,459	1,3378	0,3378	0,420	0,8044	217,18	25,25	49,11	1113	1227
10	1228	4,548	1,364	0,364	0,409	0,890	240,3	23,12	48,08	1088	1252

12	1252	4,638	1,391	0,391	0,397	0,985	265,9	25,6	91,95	1047	1293
14	1293	4,789	1,437	0,437	0,378	1,156	312,1	46,2	88,3	1005	1335
16	1335	4,944	1,483	0,483	0,358	1,349	367,3	55,2	84,92	972	1368
18	1368	5,067	1,520	0,520	0,342	1,520	410,5	43,2	82,13	936	1404
20	1404	5,201	1,560	0,560	0,324	1,729	466,8	56,3	79,1	919	1421
22	1427	5,285	1,585	0,5855	0,313	1,870	505,1	38,3	77,15	879	1461
24	1461	5,411	1,623	0,623	0,296	2,105	568,5	63,4	74,3	868	1472
26	1472	5,4518	1,6355	0,635	0,2913	2,180	588,9	20,4	73,3	815	1525
28	1525	5,6848	1,694	0,694	0,261	2,659	718,0	129,1			

Таблица 4.2.4.

## РАСЧЁТ II СТАДИИ ЗАИЛЕНИЯ ТЮЯМУЮНСКОГО РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

(2 вариант  $W_M = 200$  млн. м<sup>3</sup>)

$$W_{\text{гг}}^0 = \frac{200}{\hat{E}_2} = \frac{200}{0,3} = 667 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad t = 7,5 \text{ года}; \quad W_0 = W'_0 - W_{\text{гг}}^0 = 2340 - 667 = 1673 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad \alpha = 0,0442; \quad K_1 = 0,0432; \quad K_2 = 0,0845$$

$t$	$W_{30}$ , млн. м <sup>3</sup>	$n = \frac{W_{30}}{W_M}$	$0,3 \cdot n$	$0,3 \cdot n - 1$	$1 - 0,13 \cdot n$	$\frac{W_{\text{нб}}}{W_M}$	$W_{\text{нб}}$ , млн. м <sup>3</sup>	$W_{\text{нб}} - W_{\text{нбпр}}$ , млн. м <sup>3</sup>	$R_{\Gamma} = K_1 \cdot W_{Op}$ млн. м <sup>3</sup> /год	$R_{\Gamma} \cdot \Delta t - W_{\text{нб}}$ млн. м <sup>3</sup>	$W_{op}$ , млн. м <sup>3</sup>
0	667	3,33	1,0	0	0,567	0	0	0	72,3	72,0	1673
1	739	3,695	1,1085	0,1085	0,520	0,2086	41,7	41,7	69,16	27,5	1601
2	767	3,835	1,1505	0,1505	0,514	0,2928	58,6	16,9	67,95	51,0	1573
3	818	4,090	1,297	0,227	0,468	0,485	97,0	38,4	65,78	27,4	1522
4	845	4,225	1,267	0,267	0,451	0,592	118,4	21,4	64,58	43,2	1495
5	888	4,44	1,332	0,332	0,423	0,768	153,7	35,8	62,72	27,0	1452
6	915	4,575	1,3725	0,3725	0,405	0,920	184,0	30,3	61,6	31,3	1452
7	946	4,73	1,419	0,419	0,3801	1,102	220,4	36,4	60,2	24,0	1394
8	970	4,85	1,455	0,455	0,37	1,230	246,0	26,0	59,2	23,0	1370
9	993	4,965	1,490	0,490	0,355	1,380	276,0	30,0	58,2	28,0	1347
10	1021	5,105	1,5315	0,5315	0,336	1,582	316,0	40,0	57,0	17,0	1319
12	1038	5,19	1,557	0,557	0,325	1,7138	346,0	66,0	110,4	44,0	1285
14	1082	5,41	1,623	0,623	0,2967	2,10	420,0	27,0	106,3	78,0	1258
16	1161	5,805	1,7415	0,7415	0,245	3,02	604,0	184,0	92,1	-	1079

Конец 2 стадии.

Таблица 4.2.5.

## РАСЧЁТ 2-ОЙ СТАДИИ ЗАПЛЕНЕНИЯ ТЮЯМУЮНСКОГО РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

(3-й вариант  $W_m = 150 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ )

$$W_{ci}^o = \frac{W_i}{K_2} = \frac{150}{0,3} = 500 \cdot 10^6 \text{ м}^3, t_1 = 5,5 \text{ лет}; W_o = W_o^l - W_{30}^o = 2340 - 500 = 1840 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \alpha = 0,0442; K_1 = 0,0432; K_2 = 0,0845$$

$t$	$W_{30}$ , млн. м <sup>3</sup>	$n = \frac{W_{30}}{W_m}$	$0,3 \cdot n$	$0,3 \cdot n - 1$	$1 - 0,13 \cdot n$	$\frac{W_{нб}}{W_m}$	$W_{нб}$ , млн. м <sup>3</sup>	$W_{нб i} - W_{нб i-1}$ , млн. м <sup>3</sup>	$R_{\Gamma} = K_1 \cdot W_{Op}$ , млн. м <sup>3</sup> /ГОД	$R_{\Gamma} \cdot \Delta t - W_{нб}$ млн. м <sup>3</sup>	$W_{op}$ , млн. м <sup>3</sup>
0	500	3,33	0	0,61	0	0	0	0	78,5	78,5	1840
1	580	3,867	1,160	0,160	0,493	0,324	48,7	48,7	76,03	19,5	1760
2	607	4,047	1,214	0,213	0,474	0,449	67,4	19,7	74,9	27,33	1733
3	662	4,413	1,324	0,324	0,4262	0,760	114,0	46,6	72,5	54,8	1678
4	687	4,58	1,374	0,374	0,405	0,923	138,0	25,0	71,4	25,2	1653
5	723	4,82	1,446	0,446	0,373	1,196	179,0	31,0	70,0	35,0	1617
6	762	5,08	1,524	0,524	0,340	1,541	231,0	52,2	68,2	39,0	1578
7	778	5,187	1,556	0,556	0,326	1,705	255,8	24,0	67,5	16,0	1562
8	821	5,473	1,642	0,642	0,2885	2,225	333,8	78,0	66,9	43,0	1519

Конец 2-ой стадии

Таблица 4.2.6.

## РАСЧЁТ 2-ОЙ СТАДИИ ЗАИЛЕНИЯ ТЮЯМУЮНСКОГО РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

(4-й вариант  $W_m = 165$  млн. м<sup>3</sup>)

$$W_{ci}^0 = \frac{W_i}{K_2} = \frac{165}{0,3} = 550 \text{ млн.м}^3; \quad t_1 = 6 \text{ лет}; \quad W_o = W_o^f - W_{so}^o = 2340 - 550 = 1790 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad \alpha = 0,0442; \quad K_1 = 0,0432$$

$t$	$W_{so},$ млн.м <sup>3</sup>	$n = \frac{W_{so}}{W_m}$	$0,3 \cdot n$	$0,3 \cdot n - 1$	$1 - 0,13 \cdot n$	$\frac{W_{нб}}{W_m}$	$W_{нб},$ млн.м <sup>3</sup>	$W_{нб} - W_{нб пр},$ млн.м <sup>3</sup>	$R_{\Gamma} = K_1 \cdot W_{Op},$ млн.м <sup>3</sup> /ГОД	$R_{\Gamma} \cdot \Delta t - W_{нб}$ млн.м <sup>3</sup>	$W_{op},$ млн.м <sup>3</sup>
0	550	3,33	0	0	0	0	0	0	79,2	79,2	1790
1	629,2	3,813	1,144	0,144	0,503	0,286	47,2	47,2	73,9	33,3	1710,8
2	662,5	4,015	1,2045	0,2045	0,478	0,428	70,6	23,4	72,1	48,7	1677,5
3	711,2	4,310	1,293	0,293	0,444	0,666	109,9	29,3	70,36	41,0	1628,8
4	752,2	4,559	1,3676	0,3676	0,407	0,903	149,0	39,1	68,3	29,2	1587,8
5	781,4	4,7358	1,4207	0,4207	0,384	1,095	180,8	31,8	67,3	35,5	1558,6
6	816,9	4,951	1,4853	0,4853	0,354	1,371	226,2	45,4	65,8	20,4	1523,1
7	837,3	5,075	1,5224	0,5224	0,340	1,536	253,5	27,3	64,9	37,6	1502,7
8	874,9	5,302	1,5907	0,5907	0,311	1,899	313,4	59,9	63,3	3,4	1465,1
9	878	5,321	1,5964	0,5964	0,308	1,9036	319,5	60,1	63,1	37	1462
10	935	5,667	1,700	0,700	0,263	2,66	430,2	120		0	1405

Конец 2-й стадии

### 4.3. Сравнительный анализ

Для приведённых в данной работе примеров расчёта заиления водохранилищ были построены графики зависимости объёма водохранилища от продолжительности срока эксплуатации по проектным данным и по предложенной методике расчёта (рис. 4.3.1. и рис. 4.3.2.).

Ход расчёта заиления водохранилищ по проекту производится следующим образом. Известные данные по водохранилищам:

1. Год вступления водохранилища в строй – 1962 г.
2. Ёмкость водохранилища  $W_0=800$  млн. м<sup>3</sup>;
3. Ежегодный объём наносов, поступающих в водохранилище -  $R_{Г.нр}$  (таблица 4.3.1.) - 6,8 млн. м<sup>3</sup>/г.;
4. Срок службы водохранилища, год

$$t = \frac{W_0}{R_{Г.нр}} = \frac{800}{6,80} = 117,64 \approx 118 \text{ лет}$$

т.е.  $1962 \text{ г.} + 118 = 2080 \text{ год}$

Потеря объёма водохранилища за время  $t_i$

$$W_{з.о} = t_i \cdot R_{Г.нр}$$

Остающийся объём водохранилища

$$W_{0_i} = W_0 - W_{з.о}$$

По этим данным были построены графики зависимости объёма водохранилища от времени для Южно-Сурханского (рис 4.3.1) и для Тюямуюнского Руслового водохранилищ (рис.4.3.2).

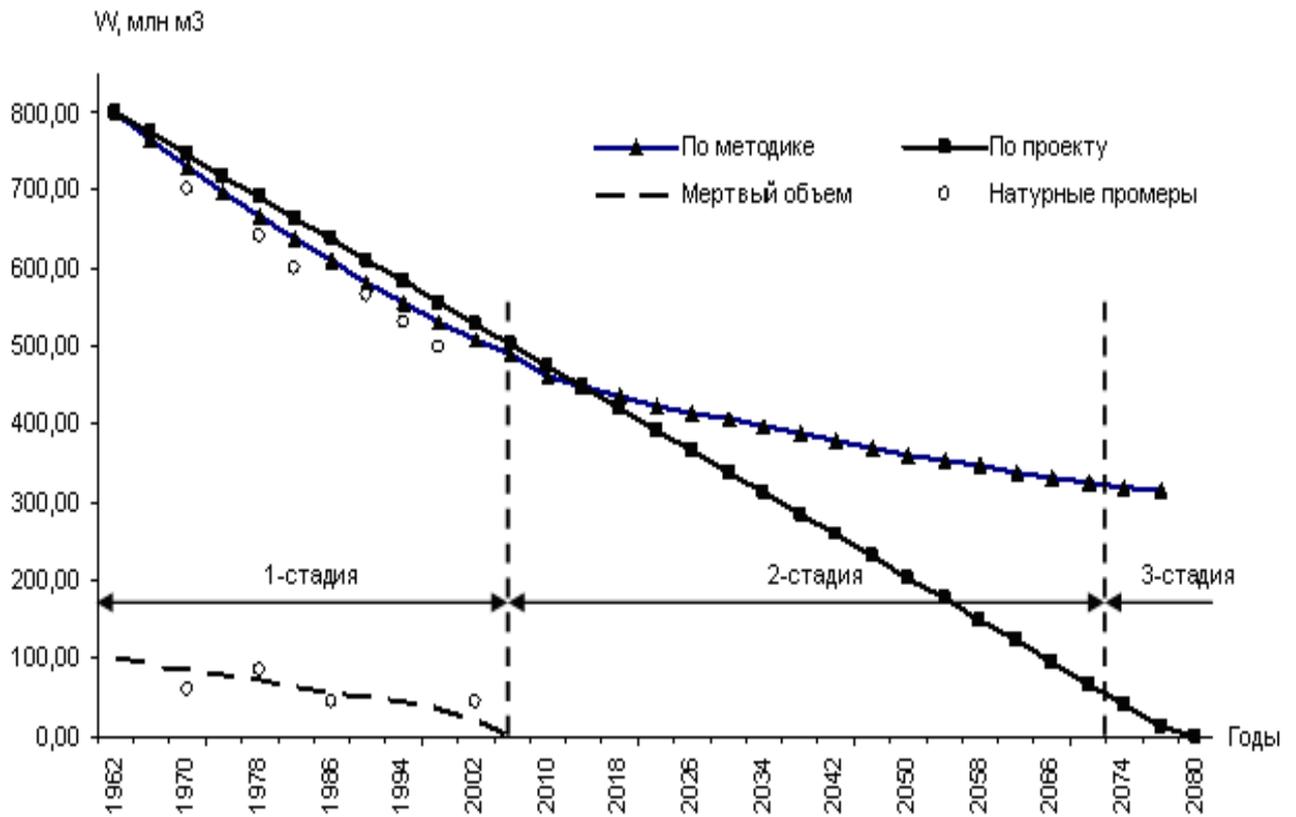


Рис. 4.3.1 Сравнение предложенной методики расчёта заиления с проектной на примере Южно-Сурханского водохранилища

Вместе с тем, особенно на рис. 4.3.1. видно, что расчёт по методу А.Н. Гостунского только на данном этапе работы водохранилища даёт значения, близкие к натурным, а после 2005 года идёт резкая разница между вычисленными и фактическими значениями. Кроме того, до 2000 года также наблюдаются большие отклонения в расчётах объёмов заиления по проекту в сравнении с фактическими данными.

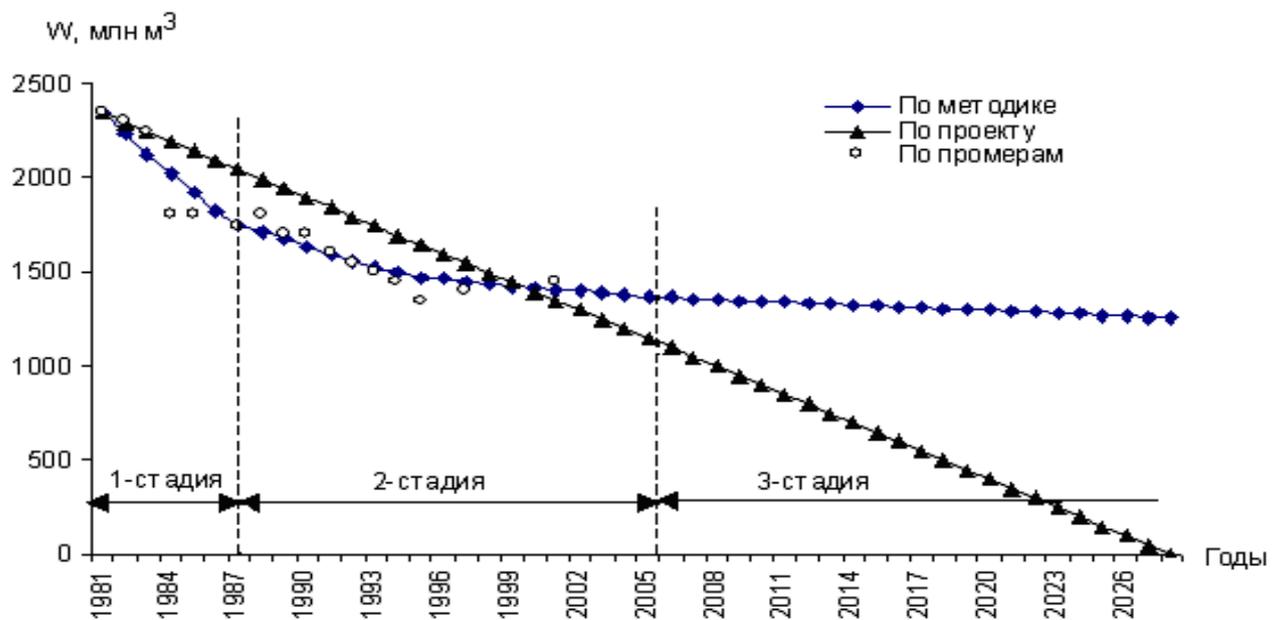


Рис. 4.3.2 Сравнение предложенной методики расчёта заиления с проектной на примере Руслового водохранилища ТМГУ.

Сопоставив график, построенный по предлагаемому методу расчёта объёмов заиления с проектными данными, подсчитанными по методу А.Н.Гостунского можно видеть, что проектная зависимость сильно отличается от фактических данных, тогда как кривая по предложенной зависимости даёт хорошую сходимость с ними.

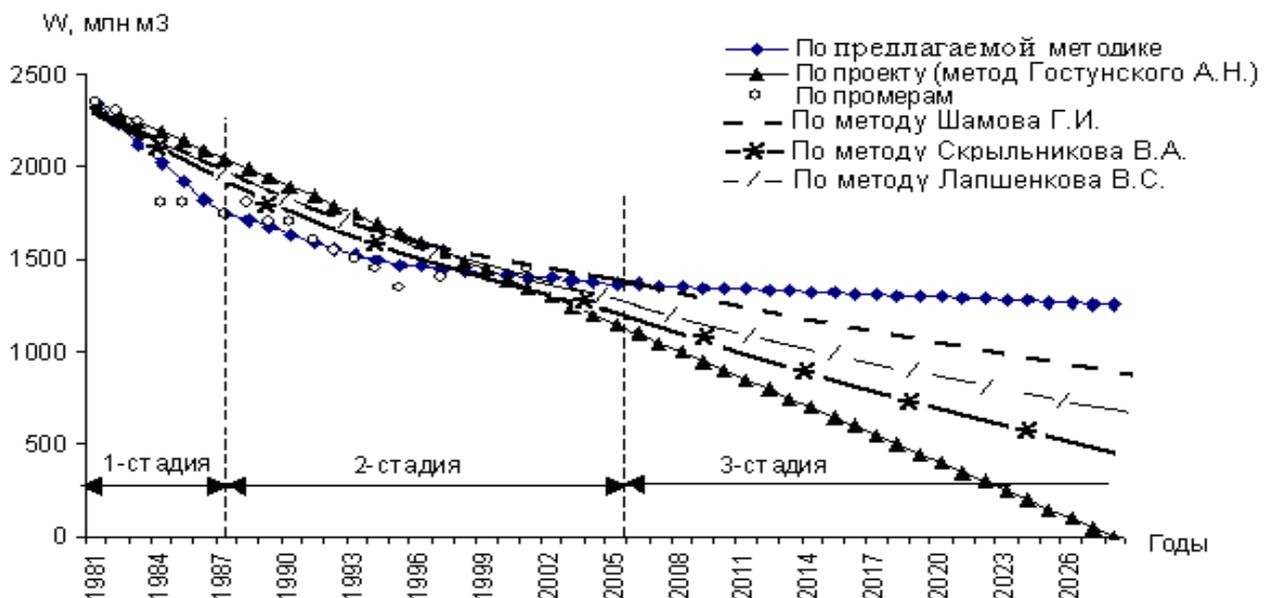


Рис. 4.3.3. Сравнение методик расчёта объёмов заиления.

На примере Тюямуюнского Руслового водохранилища проведено сравнение результатов расчёта объёмов заиления, произведённого по методам А.Н. Гостунского, Г.И. Шамова, В.С. Лапшенкова и В.А. Скрыльниковца с данными фактических измерений (рис. 4.3.3), которое показало удовлетворительную сходимость полученных результатов для водохранилищ, **находящихся во второй стадии заиления**. Сопоставление результатов расчёта заиления по этим методам для других стадий заиления водохранилища показало весьма существенное расхождение.

Таким образом, предложенная методика расчёта объёмов заиления ирригационных водохранилищ может быть использована для расчёта заиления русловых водохранилищ Республики Узбекистан.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абальянц С.Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. - Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 240с.
2. Авакян А.Б. Водохранилища и окружающая среда. - М.: изд. общества «Знание», 1982. -48 с.
3. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. - М.: Мысль, 1987. -325 с.
4. Алтунин С.Т. Заиление водохранилищ и размыв русел в нижнем бьефе плотин // Русловые процессы и гидротехническое строительство. -Т., 1957г. - 336с.
5. Алтунин С.Т. Водозаборные узлы и водохранилищ. -М.: 1964.- 431с.
6. Артамонов К.Ф. Регулировочные сооружения при водозаборе на реках в предгорных районах. - Фрунзе, 1963. -334с.
7. Артамонов К.Ф. и др. Русловые наносохранилища на малых горных реках (Крошкин А.Н., Быстров Н.Н.) // Гидротехника и мелиорация. 1974, №6. -С.34-37.
8. Артамонов К.Ф., Гребенщиков П.С. Натурные исследования заиления Орто – Токайского водохранилища // Заиление водохранилищ и борьба с ним. - М., 1970.-С. 35-38.
9. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. 1956. -323с.
10. Водохранилища мира. -М.: Наука, 1979. - 287 с.
11. ВуглинскийВ. С Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР, -Л.: Гидрометеиздат, 1991.- 222 с.
12. Гаппаров Ф.А. Определение потерь воды на испарение из водохранилищ при недостаточных метеоданных: Дис. на соискание учёной степени к.т.н.. - Ташкент, 2003г. - 120 с.
13. Гончаров В.Н., Полтавцев В.И. Русловые деформации, возникающие при устройстве водохранилищ // Метеорология и гидрология. 1956, №5, - С.44-49.

14. Гостунский А.Н. Устойчивое русло // В кн.: Вопросы гидротехники, -Ташкент, 1955, вып.1.-С. 25-32.
15. Гришин М.М. Роль водохранилищ и их эффективность в условиях водного хозяйства Средней Азии: Тр. Средазгипроводхлопка, вып.8. –Т., 1977. –С. 11-19.
16. Джалалов А.А. Водопользование и правовая культура – традиция народов бассейна Аральского моря // Водные ресурсы Центральной Азии (Материалы научно-практической конференции, посвящённой 10-летию МКВК 20-22 февраля 2002 г.). - Алматы, 2002г. -С. 10-14.
17. Замарин Е.А. Размыв нижнего бьефа // Гидротехническое строительство, 1941, №2. -С. 31-36.
18. Замарин Е.А., Попов К.В. и др. Курс гидротехнических сооружений. – М: Сельхозгиз, 1946г. –С. 151-155.
19. Зедгенидзе А.С., Мечитов И.И. Приёмы расчёта хронологического хода заиления подпёртых бьефов взвешенными и донными наносами // В кн.: Русловые процессы. - М., 1958, -С. 299-306.
20. Ибад-Заде Ю.А. Движение наносов в открытых руслах. - М.: Стройиздат, 1974. -352 с.
21. Исмагилов Х.А. Некоторые морфометрические зависимости Амударьи в среднем и нижнем течении: Тр. САНИИРИ. –Т., 1968, вып.117. –С.70-91.
22. Карасёв И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. -288с.
23. Караушев А.В. Теория и метод расчёта заиления малых водохранилищ и прудов: Тр. ГГИ (Гос. гидрологический институт), 1966, вып. 132. –С.68-71.
24. Караушев А.В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. -416 с.
25. Караушев А.В. Теория и метод расчёта речных наносов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 271 с.
26. Каюмов О.А. Морфометрические закономерности р. Амударьи: Труды САНИИРИ. - Ташкент, 1974, вып 140. –С. 3-9.
28. Кереселидзе Н.Б., Крутовая В.И. Методика расчёта заиления горных водохранилищ с учётом геодинамических береговых процессов и

- удаления наносов. - Тбилиси: Мецниереба, 1982. - 20 с.
29. Кипшакбаев Н.К, проф. Соколов В.И. Водные ресурсы бассейна Аральского моря – формирование, распределение, водопользование // Водные ресурсы Центральной Азии: Материалы научно-практической конференции, посвящённой 10-летию МКВК 20-22 февраля 2002 г. – Алматы, 2002г. - С. 18-20.
30. Козьменко А.С. Заиление речных водохранилищ и борьба с ним. - М.: Сельхозиздат, 1959. - 167 с.
31. Кондратьев Н.Е. и др. Русловой процесс.–Л.: Гидрометеиздат, 1956.-371с.
32. Конспект лекций по дисциплине «Экология», раздел: Экологическое обоснование ведения сельского и водного хозяйства. – Т. 2000 г. -115с.
33. Костяков А.Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. - 622 с.
34. Кромер Р.К. Метод расчёта занесения верхних бьефов речных водозаборов // Гидротехника и мелиорация, 1985, №12. - С. 18-21.
35. Кузьмин И.А. Калганова М.В. Общие деформации в нижних бьефах гидроузлов и вопросы их расчёта // В кн.: Доклады Всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам. – Т., 1974, -С.56-62.
36. Кулеш Н.П. О процессе заиления и занесения водохранилищ. // Гидротехническое строительство, 1964, №8. -С. 49-52.
37. Кулеш Н.П. Расчёт заиления водохранилищ на реках, несущих большое количество взвешенных наносов // В кн.: Заиление водохранилищ и борьба с ним. - М., 1970. -С. 53-62.
38. Кумина Т.Д. Михалев В.А. Инженерная гидрология: Лабораторный практикум. - Л. 1980. - 71 с.
39. Лапшенков В.С., Лубинчик Е.И. Опыт моделирования русловых деформаций р. Сырдарьи у Чардарьинского гидроузла // В кн.: Вопросы гидротехники. - Ташкент, 1963, вып. 13. –С.123-128.
40. Лапшенков В.С. Прогнозирование заиления верхних бьефов гидроузлов // Сб. статей советских специалистов: Борьба с наносами в

- водозаборных сооружениях оросительных каналов. - М., 1975. - 89 с.
41. Лапшенков В.С. Расчёт заиления водохранилищ при постоянном уровне в квазиламинарном режиме течения // Известия АН УзССР. Серия техн. Наук, 1965, №2. –С. 76-85.
42. Латипов К.Ш., Джурабеков С. Осаждение неоднородных по крупности частиц в жидкости // В кн.: Аэродинамика многофазных сред. – Т.: ФАН, 1967.-С.35-42.
43. Леви И.И., Кулеш Н.П. Движение сильно насыщенного мелкими наносами потока в водохранилищах и особенно методики расчёта заиления таких водохранилищ: Тр. лаборатории озероведения АН СССР, 1958, том 7. -С. 87-90.
44. Макаров А.И., Вейнерт В.А. О классификации водоёмов (водохранилищ): - Тр. координационного совещания по гидротехнике, 1976, вып. 107. -С. 8-11.
45. Мирцхулава Ц.Е. Прогноз общего размыва русл при искусственном изменении их режима // В кн.: Работа нижних бьефов гидравлических сооружений. - М.,1969., -С. 155-169.
46. Мостков М.А. Очерк теории руслового потока. – М., 1955. -246с.
47. Мухаммедов А.М., Кулеш Н.П. Мухаммедов Я.С. Условия образования и движения донного плотного потока в водохранилище Нурекской ГЭС. //Заиление водохранилищ и борьба с ним. – М.: Колос, 1970. –С. 18-31.
48. Мухаммедов А.М., Сивец Н.Н. Опыт эксплуатации Верхнезеравшанского водозаборного гидроузла // В кн.: вопросы гидротехники. - Ташкент, 1963, вып.13. –С. 145-186.
49. Мухаммедов А.М. Эксплуатация низконапорных гидроузлов на реках, транспортирующих наносы. – Ташкент: ФАН, 1976. - 237с.
50. Мухамеджанов Ф.Ш. Расчёт переформирования русла у низконапорных плотин // В кн: Пособия и методические указания для расчётов и проектирования. -Ташкент, 1962. - 45 с.

51. Мухамеджанов Ф.Ш. Приближённый способ расчёта промыва занесенного наносами подпёртого бьефа // Гидротехническое строительство, 1962, №6, - С. 36-38.
52. Пилюсов Э.М., Скрыльников В.А. Некоторые результаты лабораторных исследований общего русла р. Вахш в связи со строительством Нурекской ГЭС. // В кн.: вопросы гидротехники, -Ташкент, 1965, вып.24. -С. 129-139.
53. Пулатов А.Г. Расчёт распределения крупности отложений в верхнем бьефе низконапорного гидроузла: Сб. научных трудов (САНИИРИ).-Т., 1976, вып. 151. - С. 74-78.
54. Пулатов А.Г., Скрыльников В.А. Расчёт занесения подпёртых бьефов низконапорных гидроузлов для однородного состава донных наносов: Сб. научных трудов (САНИИРИ). - Ташкент, 1979, вып. 154. - С. 182- 187.
55. Рабкова Е.К. Теоретические основы расчёта переформирования русл рек при переброске стока и регулирований: Сб. научных трудов (Университет Дружбы Народов), 1982. - С. 43-67.
56. Румянцев И.С., Кромер Р.К. Режим занесения верхних бьефов ирригационных низконапорных гидроузлов // Доклады ВАСХНИЛ, 1980, №8. - С. 38-40.
57. Садыков А.Х., Белесков Б.И., Гаппаров Ф.А. Наполнение и сработка водохранилищ в маловодных условиях // Мелиорация и водное хозяйство: Сб. научных трудов САНИИРИ, Ташкент, 1997. – С. 130 – 133.
58. Садыков А.Х., Гаппаров Ф.А. Метод расчёта ежегодного сокращения объёма водохранилища на основе водных балансов предыдущих лет его эксплуатации: Сб. научных трудов (к 80–летию САНИИРИ им. В.Д.Журина). - Ташкент, 2006г.. - С. 404-410.
59. Скрыльников В.А К вопросу расчёта заиления подпёртых бьефов гидроузлов // Вопросы гидротехники, Ташкент, 1963, вып.13. - С. 87-104.
60. Скрыльников В.А., Кожевникова М.С. Расчёт заиления подпёртых бьефов гидроузлов и водохранилищ // Пособие к ВСН 11-14-76. (САНИИРИ), - Ташкент, 1984. -51 с.

61. Скрыльников В.А. Некоторые закономерности процесса занесения верхних бьефов низконапорных гидроузлов // Труды САНИИРИ. - Ташкент, 1970, вып.120. - С. 231-248.
62. Скрыльников В.А, Пулатов А.Г. О расчёте кривой подпора в верхнем бьефе низконапорных гидроузлов // Известия АН УзССР. Сер. Техн. Наук. 1976, №6. -С. 45-47.
63. Скрыльников В.А, Пулатов А.Г. О расчёте продолжительности занесения верхних бьефов низконапорных гидроузлов // Известия АН УзССР. Сер. Техн. Наук. 1976, № 4. -С. 51-55.
64. Скрыльников В.А, Пулатов А.Г. Расчёт кривой подпора в процессе занесения верхнего бьефа низконапорных гидроузлов: Сб. научных трудов (САНИИРИ), 1976, вып. 151. - С. 67-71.
65. Скрыльников В.А., Кеберле С.И., Белесков Б.И. Повышение эффективности эксплуатации водохранилищ. - Ташкент: Издательство «Мехнат», 1987.- 244 с.
66. Скрыльников В.А. Расчёт заиления водохранилищ // Известия АН УзССР. Серия техн. Наук, 1988, №8. -С. 30-33.
67. Скрыльников В.А. Методы расчёта элементов и режимов эксплуатации магистрального питания открытых оросительных систем: Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, 1996 г.- 366 с.
68. Тер-Абрамянц Г.А. Размыв отложений наносов при гидравлической промывке головных участков каналов и отстойников: Труды ВНИИГиМ (Всесоюз. НИИ гидротехники и мелиорации), 1957, том 24. - С. 23-42.
69. Фортунатов М.А. Проблема сооружения водохранилищ и предварительные итоги их учёта в различных частях света // В кн.: Материалы 1 науч. техн. совещ. по изуч. Куйбышевского водохранилища, вып.1. -Куйбышев, 1963. -С. 203-211.
70. Фортунатов М.А. Типизация и группировка водохранилищ различного назначения // В кн.: Материалы межвуз. Науч. Конф. По вопросу изуч. Влияния водохранилищ на природу и хозяйство окружающих территорий.

-Калинин, 1970. - С. 8-12

71. Хачатрян А.Г., Шапиро Х.Ш., Щарова З.И. Заиление и промыв ирригационных отстойников и водохранилищ. - М.: Колос, 1966. -239 с.

72. Шамов Г.И. Заиление водохранилищ.-М.-Л.:Гидрометеиздат,1959.-139с.

73. Шапиро Х.Ш. Методика заиления верхних бьефов гидроузлов на р. Амударье // Гидротехническое строительство, 1963, №2. - С. 41-42.

74. Шапиро И.А. Заиление русловых водохранилищ. // В кн.: Заиление водохранилищ и борьба с ним. М., 1970. - С. 155-179.

75. Шнеер И.А. Осаждение наносов и грунтов: Научные труды (Ташкентский Государственный Университет), - Т., 1964, вып.237. - С. 5-152.

76. Шолохов В.Н. К вопросу о формировании русл в бьефах низконапорных плотин на горно-предгорных участках рек: Тр. САНИИРИ,1957,вып.84.-36с.

77. Эдельштейн К.К. Морфологическая классификация водохранилищ. – М: Вестник МГУ, 1977, №5. - С. 96 – 04.

78. Brune G.M. Trap efficiency of reservoirs. Trans. Amer. Geophys. Union,1953, vol.34, № 3. -p. 617-635.

79. Sediment control methods: d. Reservoirs.-J. Hydraul. Dsiv. Proc. Amer. Soc, of Civil Eng., 1973, № 4.-p. 45-48.