



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

**Прогноз потери ёмкости
русловых водохранилищ сезонного
регулирования**

Ташкент 2019

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

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

Ифода Ахмаджановна Ахмедходжаева,

Турсуной 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. м³ каждое. Полный суммарный объём водохранилищ составляет 64,5 км³, из которого полезный объём составляет 46,5 км³, включая 20,2 км³ в бассейне р. Амударьи и 26,3 км³ – 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 км³. 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 осадения 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. м³ (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 натуральных 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.
Принятые обозначения и понятия	7
Введение.....	7
I. Обзор существующих исследований по расчету и прогнозу заиления водохранилищ	12
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
II. Исследование и анализ заиления чаши крупных ирригационных водохранилищ после длительного периода их эксплуатации с учетом их высотного расположения	29
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
III. Разработка расчётных зависимостей для оценки заиления ирригационных русловых водохранилищ	124
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
IV. Предлагаемая методика расчёта заиления водохранилищ	141
4.1. Порядок расчёта заиления водохранилищ.....	141

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

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

К расчёту наносодерживающей способности и сроков службы водохранилищ.

α - показатель степени кривой распределения;

ε - степень осветления потока в бьефе в створе гидроузла или доля осадения наносов в верхнем бьефе по отношению к общему объёму бытового твёрдого стока за расчётную единицу времени;

$\varphi = \frac{W_i}{W_1}$ - относительная гидравлическая крупность;

W_1 - наименьшая гидравлическая крупность;

W_k - средняя гидравлическая крупность фракции;

H_0 - средняя глубина потока в бытовых условиях, м.

β - параметр кривой распределения, зависящий от геологических и гидрологических условий формирования смеси;

$\theta_{0,2}$ - содержание наносов в долях, гидравлической крупностью мельче 0,2 мм/с;

θ_2 - то же, мельче 2 мм/с;

ν - частота;

Ω - объём совокупности, величина, пропорциональная мутности по длине водотока;

МПУ - максимальный подпёртый уровень;

НПУ – нормальный подпёртый уровень, м;

ГМО – горизонт мёртвого объёма, м;

t_1 – продолжительность первой стадии заиления, лет;

t_2 – продолжительность второй стадии заиления, лет;

T - общая продолжительность заиления верхнего бьефа, равная сумме продолжительности первой и второй стадии заиления, лет;

H_0 – средняя глубина потока в бытовых условиях, м;

h_l - глубина погружения частиц в створе на расстоянии l от начального створа или глубина погружения потолка мутного потока;

l - расстояние от расчётного створа до плотины, м;

V_p - средняя скорость потока в русле при условии транспортирования всех фракций взвешенных наносов, м/с;

ω_{\approx} - осветление потока при достаточной длине водотока;

$\sum_0^t R_i$ - объём наносов, отложившихся в водохранилище за рассмотренный период времени;

R_0 - объём наносов, отложившихся в водохранилище в первый год заиления;

Q_n - средний за половодье расход воды; м³/сек;

G_0 - среднемноголетний годовой сток взвешенных наносов, м³.

U_0 - средняя гидравлическая крупность, см/с;

P_g - удельное содержание фракций в действующем составе наносов;

P_{ε} - удельное содержание фракций в начальном составе наносов;

\tilde{N}_{\approx} - величина, определяющая степень осветления потока при достаточной длине водотока;

W_k - средняя гидравлическая крупность фракции;

ω_{\approx} - осветление потока;

V_{i0} - объём водохранилища, определённый по проектной кривой;

W_p - объём русла, транспортирующего расчётное количество взвешенных наносов на начальной длине бьефа, м³;

$V_p = 1,0 \text{--} 1,2$ м/с – средняя скорость потока при условии транспортирования всех фракций наносов, м/с;

L_n - начальная длина бьефа, м;

W_n^1 - объём верхнего бьефа, при котором начинается вторая стадия заиления.

$t_1 = \frac{W_0^1}{G_0}$ - продолжительность первой стадии заиления водохранилища, лет;

W_0 - полная ёмкость водохранилища, м³ ;

W_ξ - объём заиления водохранилищ, млн. м³;

α - коэффициент, приведённая мутность;

\hat{E}_1 - коэффициент, отношение фактического объёма заиления к проектному;

\hat{E}_2 - коэффициент, отношение объёма заиления мертвого объёма к общему заилению водохранилищ;

$R_{\bar{A}}$ - ежегодный приток наносов в верхнем бьефе водохранилища;

W_i^1 - объём верхнего бьефа, при котором поток транспортирует расчётное количество взвешенных наносов на начальной длине бьефа, м³;

W_ξ^1 - объём отложений в течении первой стадии заиления, м³;

$W_{\bar{A}} = \frac{W_\xi}{t}$ - фактический среднегодовой объём заиления, млн. м³;

$W_{i\bar{d}}$ - проектный среднегодовой объём заиления, млн. м³;

$W_{\xi i}$ - объём заиления мертвого объёма, м³;

$W_{\xi t}$ - общий объём заиления водохранилища за период t, м³;

W_i - мёртвый объём, м³;

W_{o_i} - ёмкость водохранилища в начале периода;

t - продолжительность периода в годах;

t_i - время, когда начинается вынос наносов в нижний бьеф;

$W_{i\bar{a}_i}$ - полный объём наносов, выносимых в нижний бьеф;

$W_{n\bar{b}_{i-1}}$ - объём наносов, выносимых в нижний бьеф за период i ;

$W_{n\bar{b}_p}$ - объём наносов, выносимых в нижний бьеф за расчётный период;

$W_{n\bar{b}_{np}}$ - объём наносов, выносимых в нижний бьеф до начала расчётного периода;

W_H - ёмкость водохранилища в начале расчётного периода, млн. м³;

W_K - ёмкость водохранилища в конце расчётного периода, млн. м³.

I. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

1.1. Особенности механики отложения наносов в чаше водохранилища

Сведения о крупных водохранилищах ёмкостью более 50 млн. м³, расположенных на горных и равнинных участках рек бассейна Аральского моря, рассмотренных в процессе работы, приведены в табл. 1.1.1.

Таблица 1.1.1.

Основные водохранилища республики Узбекистан
(ёмкостью более 50 млн. м³)

№ №	Наименование водохранилищ	Источник питания	Проектный объём, млн. м ³	Полезный объём, млн. м ³	Проектная пл.зеркала при НПУ, км ²	Год ввода в эксплуат.	НПУ	ГМО
Русловые								
1	Андижанское	Сыр-Дарья	1900	1750	56	1983	906,0	846,5
2	Зааминское	Заамин, Заравшан	52	48	-	1986		
3	Хиссаракское	Гиссараксай	170	162	-	1985	1118,0	1060
4	Чимкурганское	Кашкадарья	500	450	49,2	1963	488,2	470,0
5	Кассансайское	р.Кассансай	165	155	8,0	1941	1128,5	1091,5
6	Южносурханское	Сурхандарья	800	597	65,0	1967	415,0	399,0
7	Тупаланское	Тупаланг	500		11,5	1986	960,0	850,0
8	Ахангаранское	Ахангаран	260	188	6,4	1958	1070,0	1010,0
9	Туябугузское	Ахангаран и Чирчик	250	224	20,7	1961	394,0	371,65
10	Чарвакское	Чирчик	2000	1580	40,1	1977		
11	Тюямуюнское Русловое	Амударья	2340	2070	303	1981	130,0	120,0
Наливные								
	Султансанжар	Амударья	2690	1630	149	1982	127,5	120
	Капарас	Амударья	960	550	70	1983	130	120
	Кошбулак	Амударья	1810	1020	128	1985	130	120
12	Шоркульское	Заравшан	170	153	42,3	1977		
13	Джизакское	Санзар	100	96	13,75	1973	372,5	356,5
14	Талимарджанское	Амударья	1525	1400	75,0	1987	400,5	370,0
15	Пачкамарское	Гузардарья	260	250	12,4	1968	676,0	636
16	Куюмазарское	Заравшан	350	303	18	1957	238,0	217,7

17	Тудакульское	Заравшан	1150	1010	175,3	1979	223,5	216,5
18	Каттакурганское	Заравшан	900	876	79,5	1940	511,0	490
19	Ақдарьинское	Ақ-дарья	132	110	3,87	1983	494,5	480
20	Учкызылское	канал Занг	160	80	10,10	1957	121,5	112,5
21	Актепинское	Сурхандарья	120	100	2,25	не заверш	-	-
22	Каркидонское	Кувасай	218	211	9,53	1968	625	615

Водохранилища на равнинных участках рек составляют большинство из существующих водохранилищ. Эти водохранилища в основном сезонного регулирования. Поскольку реки на равнинных участках несут значительное количество наносов ($5 - 10 \text{ кг/м}^3$ и более), то большая часть этих наносов остаётся в водохранилищах. Кроме того, эти водохранилища аккумулируют всего 0,3-10 % годового стока реки, поэтому можно приблизительно определить степень годового заиления ёмкости таких водохранилищ в 0,5-2,0%. Значит, такие водохранилища через 25-50 лет потеряют половину своей ёмкости, а через 50-100 лет полностью заилятся и выйдут из строя.

Например, по данным натурных промеров, ежегодная потеря ёмкости Кайраккумского водохранилища составляет 0,8 % (за 13 лет из ёмкости 4,16 млрд. м^3 заилено 0,413 млрд. м^3), Чардарьинского – 0,6 % (за 3 года из 5,7 млрд. м^3 ёмкости заилено 0,10 млрд. м^3), Чимкурганского - 0,5 % (за 40 лет из ёмкости 500 млн. м^3 заилено – 100 млн. м^3), Южносурханского - 1,0 % (за 40 лет из 800 млн. м^3 ёмкости заилено - 300 млн. м^3), Пачкамарского - 0,75% (за 29 лет из 280 млн. м^3 ёмкости заилено 60 млн. м^3). Среди русловых водохранилищ в наиболее невыгодном положении находятся водохранилища, работающие в гидроэнергетическом или близком к нему режимам.

Сравнение условий работы водохранилищ, работающих в ирригационном и гидроэнергетическом режиме, показывает, что:

а) при сработках ирригационных водохранилищ часть наносов, отложившихся в зоне полезной ёмкости, передвигается в зону мёртвого объёма;

б) в ирригационных водохранилищах намного меньше зарослей влаголюбивых растений, задерживающих мелкие наносы и заполняющих своими остатками часть полезной емкости водохранилища. Этот вопрос, представляющий значительный интерес, никогда не рассматривался в научных работах;

в) в гидроэнергетических водохранилищах, по требованиям нормальной работы ГЭС, горизонт воды поддерживается на отметке НПУ или допускается небольшая сработка. В этих условиях большие площади мелководья водохранилищ зарастают подводными влаголюбивыми растениями, в зарослях которых из-за резкого уменьшения скоростей течения выпадают все наносы. Эти мелкие наносы способствуют еще большему зарастанию водохранилищ. Так как заросли занимают объем только в зоне полезной емкости водохранилища, то это емкость начинает быстро уменьшаться.

Наливные водохранилища – наиболее выгодные с точки зрения борьбы с наносами. В такие водохранилища поступают только те взвешенные наносы, которые содержатся в объеме воды, забираемом в водохранилище из реки. Борьба с донными и крупными фракциями взвешенных наносов ведётся на головном водозаборном сооружении на реке и они, как правило, не попадают в водохранилища.

На подъёме паводка, когда поток несет наибольшее количество наносов и в то же время расход реки еще небольшой, можно не подавать воду в наливные водохранилища, тем самым уменьшить их заиление.

Если учитывать, что средняя мутность рек Средней Азии в зимние месяцы и перед вегетацией (основной период заполнения наливных хранилищ) составляет $1-3\text{кг/м}^3$, то можно определить, что ежегодно в водохранилище будут откладываться наносы объемом $0,001-0,003$ от емкости водохранилища (при объемном весе около 1 т/м^3) и для полного заиления водохранилища потребуется $350-1000$ лет.

Сведения о водохранилищах бассейна Аральского моря показывают, что проектный срок заиления мёртвого объёма этих водохранилищ изменяется от 34 до 126 лет и срок заиления общего объёма водохранилища более 700 лет. Средняя величина годовой потери емкости наливных водохранилищ составляет 0,11 %, поэтому заиление таких водохранилищ, в основном, происходит только за счёт селевых паводков. Годовой твердый сток таких рек составляет 0,03 – 0,7 % ёмкости водохранилищ, т.е. полное их заиление, произойдет после 150 – 1000 лет эксплуатации водохранилища.

Произведя сравнительный анализ и расчёт заиления имеющихся водохранилищ, было выяснено, что фактические объёмы заиления наиболее близки к объёмам, полученным по предложенной методике расчёта только для русловых водохранилищ, а расчёт заиления наливных водохранилищ необходимо производить другим способом.

Заиление мёртвого объёма водохранилищ. Мертвый объём водохранилища создаётся из-за необходимости закладки элементов водосбросных и водовыпускных сооружений гидроузла выше отметки среднего дна русла реки, как по условиям производства строительных работ, так и по условиям экономии материальных средств, при строительстве и эксплуатации. Иногда мёртвый объём создаётся в целях недопущения проноса влекомых наносов через водосбросные сооружения (в целях защиты от истирания пола и бортов водопропускных сооружений).

Мертвый объём русловых водохранилищ расположен непосредственно у самой плотины и водовыпускных сооружений. Так как у самой плотины расположены максимальные глубины при значительной ширине, то скорость потока имеет незначительную величину, поток имеет минимальную транспортирующую способность, и не проносит значительную мутность (о "тяжелом" (плотном) потоке нужно сказать, что он в водохранилищах Средней Азии проявляется редко, не оказывает большого влияния на заиление водохранилищ).

Отметка уровня воды в водохранилище никогда не может быть ниже отметки мёртвого объёма. Для снижения уровня ниже отметки ГМО необходимо откачать воду (например, при проведении ремонтных работ). Однако наличие мертвого объёма оказывает следующее отрицательное воздействие:

а) увеличение потерь на испарение и фильтрацию;

б) резкое ухудшение экологического состояния окружающей среды (в мёртвой застойной зоне водохранилища скапливаются и гниют всякие отходы, несомые рекой, кроме этого, были случаи скопления и размножения в мёртвой зоне ядовитых сине-зеленых водорослей).

При снижении уровня воды в водохранилище происходит частичный промыв отложенных наносов и переотложение их на нижележащих участках водохранилища.

Так как сработка водохранилищ происходит к концу вегетационного периода, когда по реке проходят малые расходы, то эффект переотложения наносов будет так же небольшим, так как объём смыва наносов имеет прямую зависимость от расхода реки. Но даже этот эффект приводит к тому, что часть наносов выносятся в зону мертвого объёма и даже может выноситься через водовыпуски в нижний бьеф.

Эффект заиления мертвого объёма будет увеличиваться по мере заиления полезного объёма водохранилища.

Мертвый объём водохранилища, работающего в ирригационном режиме, полностью заилится раньше, чем будет заилен значительный полезный объём.

В связи с необходимостью прогнозов заиления водохранилищ и уточнения фактических ёмкостей водохранилищ, производится топографическая съёмка ложа водохранилищ (чаще всего по инициативе служб эксплуатации). На основании этих материалов корректируется расчетный объём водохранилища. Топографическая съёмка ложа

водохранилища весьма сложная операция и при этом не всегда можно получить достаточно точные материалы.

К сожалению, такие съёмки производились редко и нерегулярно. Фактические материалы наблюдений за заилением водохранилищ показывают, что фактический объём заиления водохранилищ, особенно русловых, всегда больше проектного объёма заиления, что показывает на низкое качество гидрологических материалов, заложенных в проектах, так как ежегодная потеря ёмкости водохранилища является одним из показателей водохранилища, необходимо уточнить эту величину по всем русловым водохранилищам. Да и по наливным водохранилищам уточнения фактической ёмкости не помешало бы.

Вопрос же осаждения наносов в ирригационных водохранилищах с переменным уровнем воды в них, до сих пор не решён.

На рис. 1.1.1. представлена карта с указанием основных водохранилищ, расположенных на территории Узбекистан.

Ирригационные водохранилища, как русловые, так и наливные, служат для перераспределения стока реки по времени – аккумулируя часть стока во вневегетационный период, для подачи этого объёма в необходимое время.

При этом происходят и отрицательные явления:

большие потери воды на испарение – с водной поверхности ежегодно испаряется слой воды толщиной 1,5-2 метра, эти потери увеличиваются с зарастанием берегов влаголюбивыми растениями, обычно камышом;

потери воды на фильтрацию. Фильтрация к тому же ухудшает мелиоративное состояние прилегающих земель из-за поднятия уровня грунтовых вод, тем самым ухудшает их экологическое состояние;

3. отвлечение значительных площадей под водохранилища;

задерживают твердый сток реки. В начальный период все наносы реки осаждаются в водохранилищах. Только после заиления большей части ёмкости водохранилища часть взвешенных наносов начинает поступать

в нижний бьеф. Вода, осветленная от наносов, поступая в нижний бьеф, производит ряд нежелательных процессов:

- а) размыв дна и берегов реки и отводящих каналов;
 - б) повышается фильтрация из каналов, что значительно ухудшает мелиоративное состояние прилегающих земель;
5. отсутствие мелких фракций наносов в осветленной воде не позволяет кольматироваться ложу каналов;
6. наличие мертвого объёма водохранилища.

Со временем, по мере заиления полезного объёма, регулирующая способность водохранилища уменьшается, однако, при этом влияние отрицательных явлений не снижается.

1.2 Существующие методы расчёта заиления водохранилищ

Сразу же нужно оговориться о том, что все существующие методы расчёта заиления водохранилищ относятся к тем водохранилищам, которые работают с постоянным горизонтом воды в верхнем бьефе. Анализ материалов по методам расчета заиления водохранилищ позволил их разделить на 3 группы [66]:

1 группа. Методы, основанные на интегрировании дифференциального уравнения деформации русла или уравнения баланса наносов. Эти методы рассматривают деформацию русла за счет отложения наносов по времени, вызванной уменьшением транспортирующей способности потока при входе его в водохранилище. К ним относятся методы [10], [48], [46], [26], [15], [35], [14], [75], [49] и другие.

2 группа. Методы, основанные на применении формул предельной мутности и предельно устойчивых уклонов водной поверхности. Эти методы основаны на определении взвешивающей способности потока или нагрузки потока наносами при формировании русла в аллювии на границе заиления. К ним относятся методы [15], [5], [50], [34], [37].

3 группа. Эмпирические методы, основанные на применении формул показательного типа Тейлора, Орта, [28], [40,41], [30], [78], [], [72], [78], и другие.

Методы расчёта, относящиеся к 1 группе расчётов, практически не пошли дальше декларирования (кроме метода САНИИРИ), т.е. практически нигде в расчётах заиления водохранилищ не применялись из-за сложности процессов при заилении ирригационных водохранилищ, таких как изменение уровня воды в водохранилище, ширины фронта заиления и др., да и не могли быть применены из-за того, что в этих методах рассматривались только крупные наносы, а мелкие фракции, которые в составе наносов занимают 80 – 95 % от общего объёма, не учитывались.

Метод САНИИРИ широко применялся в расчётах заиления водохранилищ, но из-за того, что не учитывался ряд процессов, происходящих в природе при

заиления водохранилищ (наличие застойных зон, переменный уровень воды при снижении уровня воды и др.), результаты расчётов оказались далеки от природы.

Метод А.Н. Гостунского [15], основанный на распределении наносов по крупности, весьма сложен и пределы его применимости весьма ограничены (применим только в 30% рассмотренных примерах, так как по составу входящих наносов параметр кривой распределения отличается от $\beta = -1,15 + 10\%$, поэтому метод был применён в расчётах только до 1951 года).

Недостатками метода расчёта переформирования русла у низконапорных плотин, разработанного Ф.Ш. Мухамеджановым [50] являются то, что:

- 1) он применим только для низконапорных плотин, порядка $\Delta h = (2 - 3)H_0$, и не применим для расчёта заиления водохранилищ с высоким напором перед плотинной;
- 2) он не приспособлен для расчёта заиления водохранилищ с переменным уровнем воды перед плотинной.

Метод расчёта заиления водохранилищ, предложенный Тейлором [79], основан на формуле, полученной по фактическим данным заиления водохранилища Остин:

$$W_c = W_i (1 - \varepsilon)^t$$

То же самое предложил Орт [79] на основе материалов заиления ряда водохранилищ:

$$W_{\bar{n}a} = W_0 \cdot a^t$$

После некоторых преобразований, выполненных Г.И. Шамовым [72], это уравнение приняло следующий вид:

$$W_{\bar{n}a} = W_0 \cdot a^t = W_0 - \sum_0^t R_i$$

Из этой формулы при $t=1$ году можно получить выражение

$$a = 1 - \frac{R_0}{W_0}$$

Общий объём отложений за t - лет по формуле Г.И. Шамова определяется следующим образом:

$$W_3 = W_0(1 - a^t)$$

Все эти формулы имеют недостаточную обоснованность, так как выведены в предположении, что с первого года начала эксплуатации в нижний бьеф выносятся часть наносов.

В.С. Лапшенков [41] для расчёта заиления водохранилищ предложил следующую зависимость:

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

где $E = \frac{W_0}{\varepsilon' \cdot G}$.

Эта зависимость получена В.С. Лапшенковым, исходя из того, что в водохранилище всегда сохраняется квазиламинарное движение сплошного потока. В.С. Лапшенков [40], (так же как Тейлор, Орт, Г.И. Шамов и В.Н. Гончаров) предполагает, что вынос части наносов из водохранилища в нижний бьеф начинается с первых дней эксплуатации водохранилища.

В.С. Скрыльников [66] рекомендовал процесс заиления водохранилища разделить на 2 этапа.

1- этап – в водохранилище отлагаются все наносы (для водохранилищ, образованных небольшим напором, 1-го этапа может и не быть).

2- этап – в водохранилище отлагается только часть наносов, а остальная часть выносятся в нижний бьеф.

Граничным условием является величина

$$\frac{W_p}{W_n^1} = 0,12$$

где

$$W_p = \frac{Q_i}{V_p} L_i$$

Продолжительность первой стадии $t_1 = \frac{W_3^1}{G_0}$

$$W_3^1 = W_n - 8,33 \cdot W_p$$

Изменение степени осветления во II стадии выражается

$$\varepsilon = 0,041 \left(\frac{W_p}{W_n} \right)^{-1,5}$$

где $W_n = W_n^1 - W_3$

$W_3 = \sum_0^{t_i} W_{3_i}$ - объём заиления с начала второй стадии;

$$W_{3_i} = G_0 (1 - \varepsilon) t_i$$

Если объём $W_n^1 = 8,33 \cdot W_p$ мал и составляет 5-6% от W_n , то расчётом второй стадии можно пренебречь. Продолжительность заиления в этом случае следует определять по выражению:

$$T = \frac{W_n}{G_0},$$

Избегая громоздких вычислений, В.С.Скрыльников [66] считает, что изменения горизонта воды в водохранилище не влияет на объёмы заиления водохранилища и не вносит существенных коррективов в определение сроков их заиления.

Это утверждение является спорным, так как при сработке водохранилища происходит переотложение наносов, и даже вынос их в нижний бьеф, поэтому, в конечном итоге, ирригационные водохранилища никогда полностью не будут заилены (в отличие от утверждения В.С.Скрыльникова).

Метод расчёта заиления водохранилищ, предложенный А.Х.Садыковым и Ф.А. Гаппаровым [58] разработан на основе водных балансов предыдущих лет эксплуатации водохранилищ. Для расчетов использовались данные о сумме приходных и расходных составляющих водных балансов водохранилища за несколько предыдущих лет его эксплуатации и значения отметок уровней воды в нем в конце каждого месяца каждого из этих лет. Объем водохранилища в зависимости от отметки уровня воды в нём в любой год рассчитывается по формуле:

$$V = V_{np} - \Delta V_{НПУ} \left(\frac{\Delta V}{\Delta V_{НПУ}} \right)$$

где $\left(\frac{\Delta V}{\Delta V_{НПУ}} \right)$ - величина, рассчитанная для различных отметок уровней в водохранилище.

Сравнение результатов расчёта с уменьшением объёма по данным съёмки чаши водохранилищ показало, что расчёт даёт хорошо совпадающие результаты, так как разница уменьшения полезного объёма меньше (+1%).

Кривые зависимости уменьшения объёма водохранилища от объёма стока по питающей его реке составляются после определения объёма стока по годам эксплуатации водохранилища.

1.3 Анализ расчётных зависимостей заиления водохранилищ

Анализ фактического состояния заиления водохранилищ показал, что во всех случаях прогноз заиления сильно отличается от натурных данных. Кроме

того, прогноз места осаждения наносов (в полезном или мёртвом объёме) не соответствует фактическим материалам, описывающим осаждение наносов.

Проектированием водохранилищ в бассейнах Сырдарья и Амударья занимались 3 проектных организации: Средазгипроводхлопок, Узгипроводхоз со своими филиалами и Среднеазиатское отделение Гидропроекта. Научным обеспечением этих проектов занимался САНИИРИ.

В САНИИРИ вопросами заиления водохранилищ ведал А.Н.Гостунский вместе со своими сотрудниками: И.И.Горошковым, Н.Ф.Цветиковой, С.Х. Абальянц и другими [1],[14].

Во ВНИИГИМ вопросами заиления водохранилищ занимался А.Г.Хачатрян, со своими сотрудниками – Х.Ш. Шапиро, З.И. Шарова и др., которые обслуживали проектные организации Закавказья, европейской части СССР и Туркмении [73],[74].

В проектах объёмы заиления водохранилищ, расположенных на территории Республики Узбекистан, определены при помощи расчётов, основанных на зависимостях, выведенных для расчётов ирригационных отстойников. А.Н. Гостунский разработал основы своего метода.

Впоследствии этот метод был расширен и применён его сотрудниками для расчётов заиления водохранилищ. В основу этого метода было положено уравнение распределения взвешенных наносов по крупности по кривой в виде

$$v = -(\beta + 1) \cdot \varphi^\beta \cdot \bar{a}^{-\alpha\varphi} \quad (1)$$

где $\varphi = \frac{W_i}{W_1}$ - относительная гидравлическая крупность.

Для условий рек Средней Азии $\beta = -1,15$, поэтому первоначально все расчётные таблицы и графики были составлены для $\beta = -1,15$. Впоследствии эти таблицы были составлены и для других значений β .

Показатель степени β определяется по формуле:

$$\beta = \lg \frac{\theta_2 - \theta_{0,2}}{10 \cdot \theta_{0,2}}$$

Уравнение динамики средней гидравлической крупности по длине водотока имеет вид:

$$U_{\delta} = -\frac{\beta+1}{\alpha} \cdot \left(\frac{\bar{a}^{-\alpha}}{\Omega} - 1 \right) \cdot W_1$$

Так как величины Ω и φ зависят от величины α , то расчёт осаждения наносов в водотоке сводится к определению параметра α . Зная средние величины скорости и глубины потока в водотоке, вычисляется осветление потока для разных длин.

Недостатки метода А. П. Гостунского:

- узкие пределы применимости;
- сложность расчёта;
- большие отклонения результатов расчёта от натуральных данных по объёму и местоположению отложений наносов в водохранилищах.

Первый недостаток был вскоре ликвидирован, так как были составлены соответствующие таблицы и графики, расширяющие пределы применения, но сложность расчёта и получаемые отклонения так и остались.

Метод САНИИРИ, разработанный группой сотрудников САНИИРИ под руководством А.Н.Гостунского, основан на расчёте осаждения каждой фракции наносов в отдельности. Расчёт состоит в определении действующего состава наносов (наносов, выпадающих в водотоке при его достаточной длине) и определении состава выпадающих наносов при заданном осветлении потока.

Удельное содержание фракций в действующем составе наносов

$$P_g = P_{\kappa} \frac{1 - e^{-C_g W_{\kappa}}}{1 - \omega_{\approx}}$$

Расчётное осветление

$$\omega_g = \frac{\omega_g - \omega_{\approx}}{1 - \omega_{\approx}}$$

Задаваясь значениями C_g по формуле

$$P_g^I = P_g \cdot e^{-C_g W_k}$$

вычисляется осветление потока $\omega_g = \sum P_g^I$ и строится график $\omega_g = f(C_g)$, по нему находится значение C_g^I , соответствующее ω_g^I .

Длина участка осветления равна: $l = \vartheta \cdot H \cdot C_g^I$

Расчёт по методу САНИИРИ, хотя и прост, но более трудоёмок, чем расчёт по методу А.Н. Гостунского.

При расчёте заиления водохранилища весь ряд гидрографа поступления воды в водохранилища разбивался на отдельные периоды, величины расходов и уровней воды усреднялись, и расчёт вёлся по этим усреднённым данным. Для расчёта заиления водохранилища приходилось производить сотни циклов расчётов. Однако при этом приходилось делать серьёзные допуски:

1. В расчётах принималось, что расход реки протекал равномерно по всей ширине (иногда по многокилометровой ширине водохранилища) единым потоком, что противоречит фактическим данным (поток протекает единым фронтом только при ширине не более 3 – 4 устойчивой ширины потока).

2. В расчётах принималось, что наносы, отложившиеся единожды, больше не смывались. Фактически, часть наносов месяцами не уплотняется и находится в полувзвешенном состоянии, а при снижении уровня воды в водохранилище легко уносится вниз по течению. А свежееотложившиеся наносы при снижении уровня воды легко смываются.

Поэтому, согласно расчётам, заилению подвергались полезные ёмкости водохранилища и только после заиления значительного объёма полезной ёмкости, начиналось заиление мёртвого объёма.

В Интернете, в результате поиска методов расчёта заиления водохранилищ других авторов, было выяснено, что до сих пор используются для этого методики А.Н.Гостунского, Г.И.Шамова, В.С.Лапшенкова, В.С.Скрыльникова. То есть, до

сих пор нет какого-либо метода, дающего более точные результаты в этой области водного хозяйства.

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. Вуглинский В. 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. Руслевой 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. Пилосов 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.:Гидрометеоиздат,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.