



Финансирование
Европейского Союза



THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP



EUROPEAN UNION



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,
Education and Research EAER
State Secretariat for Economic Affairs SECO



UKaid
from the British people



Прогноз роста заилнения и потерь вследствие заилнения в монетарном значении на Русловом водохранилище с рекомендациями возможных технических решений

Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан
Научно-исследовательский институт ирригации и водных
проблем

Ташкент, 2022

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ТМГУ	6
1.1 Гидрологический и наносный режимы р. Амударьи на подходе к ТМГУ .	6
1.2 Технические характеристики и современное состояние ТМГУ.....	11
1.3 Режим работы Руслового водохранилища.....	14
2. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГНОЗА ОБЪЕМА ЗАИЛЕНИЯ НА РУСЛОВОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ТМГУ (ЗАДАЧА 2)	16
2.1 Оценка динамики заиления за период эксплуатации: поступление наносов, осаждение, размыв и транзит	16
2.2 Оценка влияния заиления и его роста на распределение водных ресурсов для энергетических и ирригационных нужд Узбекистана и Туркменистана.	28
2.3 Построение на 50 лет вперед ожидаемую динамику потери емкости Руслового водохранилища	31
2.4 Сравнение и анализ эффективности фактического и рекомендуемого режимов работы Руслового водохранилища	36
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЗАИЛЕНИЕМ (ЗАДАЧА 3).....	41
3.1 Рекомендации для уменьшения объема заиления Руслового водохранилища: режимы их работы, которые создают возможность максимального транзита поступающего твердого стока	41
3.2 Рекомендации по гидравлическим и гидромеханизированным работам по намыву песка для укрепления берегов.....	47
3.2.1 Метод гидравлической промывки наносов	47
3.2.2 Гидромеханическая очистка	51
3.3 Условия подготовки и проведения очистки водохранилища от наносов .	55
3.4 Инструкции по борьбе с наносами	58
3.5 Возможности использования речного ила и донных наносов в сельском хозяйстве	60

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	66
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	70
Приложение 1. Расчет емкости и объемов отложений Руслового водохранилища	71
Приложение 2. Расчет режима работы водохранилищ ТМГУ для многоводного года	72
Приложение 3. Расчет заиления Руслового водохранилища ТМГУ	75

Данный аналитический обзор подготовлен в рамках проекта «Центрально-Азиатский Диалог по стимулированию межсекторального финансирования на основе взаимосвязи «вода-энергия-продовольствие» (Фаза II)», реализующий со стороны РЭЦ ЦА при финансовой поддержке Европейского Союза и Всемирного Банка (CAWER «Лаборатория инновационных решений для водного сектора Центральной Азии» (S4W Living Lab).

Содержание данного обзора является исключительной ответственностью авторов и не обязательно отражает точку зрения Европейского Союза, Всемирного Банка и РЭЦ ЦА.

ВВЕДЕНИЕ

Создание водохранилищ является одним из самых эффективных способов решения проблем водообеспеченности путем активного регулирования и перераспределения речного стока во времени в интересах отраслей экономики. В Узбекистане эксплуатируются свыше 50 крупных водохранилищ и многочисленные малые водохранилища, которые используются в основном для нужд орошения. Общий объем регулирования стока достигает 21 км³, составляя около 40% от общего объема располагаемых водных ресурсов ежегодно потребляемой всеми отраслями экономики в стране.

Однако, водохранилища формируются сравнительно быстро с гидрологической точки зрения и не имеют достаточно времени для адаптации окружающей среды и натурального гидрологического режима реки. Режим течения в водохранилищах сложный. В зоне выклинивания подпора и в верхнем участке водохранилища, главным образом в затопленных руслах основных рек, хорошо прослеживаются стоковые течения. В приплотинном участке стоковые течения возникают под влиянием холостого сброса воды в нижний бьеф через водосливное сооружение, через водопропускные сооружения в каналы или турбины ГЭС. Динамика движения водных потоков в водохранилищах, их направления, а также скорости течений возникают под действием силы тяжести, градиентами давления и напряжения трения. Распределение этих течений в водохранилищах сопровождается переносом взвешенных и донных наносов, формированием отложений и размывов на участках, т.е. эрозией чаши водохранилища и переформированием береговой линии.

Динамические процессы в зоне водохранилища по мере распространения течений зависят от морфологических характеристик водохранилища, т.е. от уклона дна, глубины, интенсивности водообмена и др. В равнинных водохранилищах взаимодействие донного потока с поверхностными волновыми течениями выражается усиленно. Так как механизмы развития подобных течений остаются неопределенными, проводятся многочисленные экспериментальные и теоретические исследования. В настоящее время теория регулирования стока превратилась в мощный аппарат обоснования водохозяйственных мероприятий самого различного уровня, хотя многие вопросы еще требуют более подробного рассмотрения.

По предложению MBX РУз и Государственным комитетом водных ресурсов Туркменистан, Туямуюнский гидроузел выбран в качестве демонстрационного проекта в рамках проекта Европейского Союза «Центрально-Азиатский Диалог по стимулированию межсекторального финансирования на основе взаимосвязи «вода-энергия-продовольствие»» (Фаза II) в первом заседании Регионального координационного комитета 27 октября 2020 года¹. Задачей демонстрационного проекта была оценка объемов заиления Руслового водохранилища ТМГУ, что привело к сокращению его полезного объема. Рост заиления в Русловом водохранилище сокращает возможности функционирования наливных водохранилищ (Султансанджар, Кошбулак, Капарас) для ирригационных нужд Узбекистана и Туркменистана.

Цель проекта: Проведение промеров и оценка объемов заиления Руслового водохранилища ТМГУ, выполнение прогнозных расчетов заиления и разработка рекомендаций по оптимизации режимов работы водохранилища, направленных на сокращение объемов заиления с применением инновационных решений по дальнейшему использованию осажденного материала.

Для достижения цели выполнены следующие задачи: оценка состояния речного русла и ирригационных каналов в низовьях р. Амударьи за годы эксплуатации ТМГУ; анализ основных показателей работы водохранилищ ТМГУ за годы эксплуатации и оценка эффективности работы гидроузла; оценка влияния режима эксплуатации водохранилищ на величину непроизводительных потерь воды; оценка влияния ирригационных наносов на продуктивность орошаемых земель низовьев р. Амударьи.

Эти исследования направлены на разработку усовершенствованных режимов эксплуатации системы водохранилищ ТМГУ с целью устранения негативных последствий нарушения естественного руслового режима нижнего течения р. Амударьи, включая улучшение условий водозабора в ирригационные каналы, снижение потерь воды на фильтрацию и повышение продуктивности орошаемых земель.

Проведение измерительных работ по объему заиления Руслового водохранилища ТМГУ в рамках Задачи 1 выполнено и представлен промежуточный отчет.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ТМГУ

1.1 Гидрологический и наносный режимы р. Амударьи на подходе к ТМГУ

Режим стока реки в районе ТМГУ принят по данным гидропостов Дарганата (155 км выше створа плотины) и Тюямуюн (5 км ниже створа плотины), а также по данным гидрологических ежегодников УзГидромета, ГМС водохозяйственного сектора и экспедиции НИИИВП (САНИИРИ), диспетчерской службы МВХ РУз. На Рис. 1.1 приведен годовой сток реки Амударья на подходе ТМГУ за 1979-2021 гг. Из рисунка видно, что водность реки имеет циклический характер, т.е. многоводные и маловодные годы меняются каждые 5-7 лет. Среднемноголетнее значение средневодности составляет около 35 км³, маловодье – 20 км³. В последние периоды наблюдаются сильно маловодные годы, когда сток реки колеблется в пределах 12-20 км³.

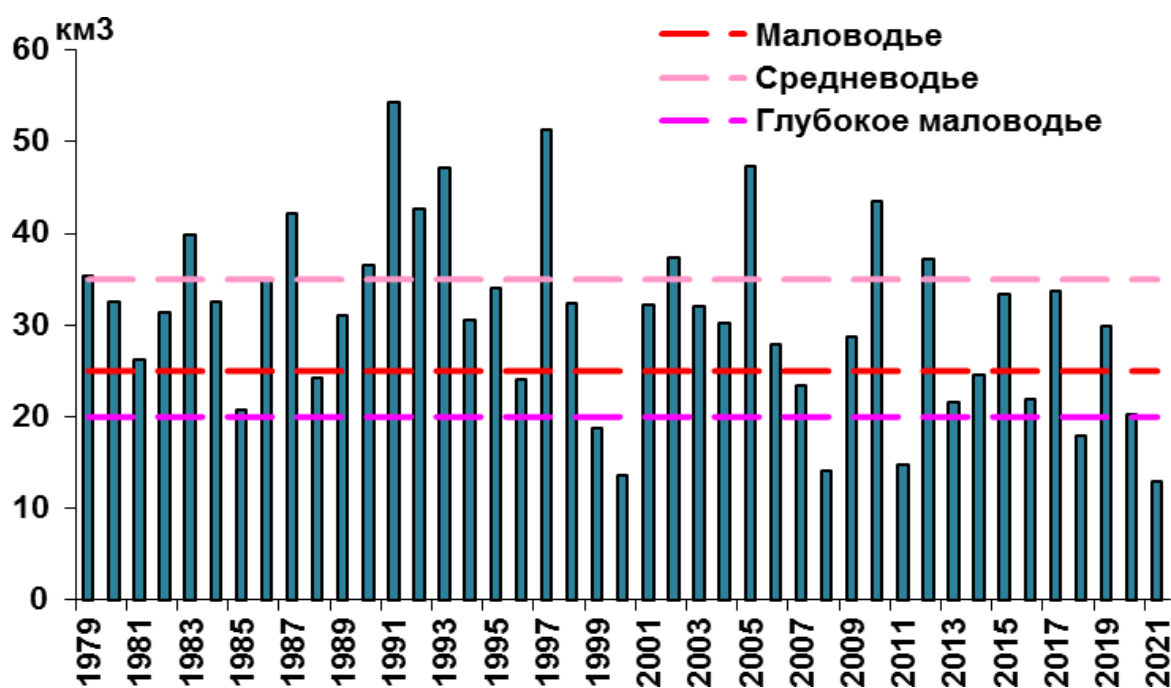


Рисунок 1.1 Годовой сток реки на подходе к ТМГУ

В период снегового и ледникового половодья (май-сентябрь) имеют место резкое увеличение расходов и значительные колебания этих значений при переходе от декады к декаде. В период половодья можно выделить 1-2 снегово-дождевых пика с вершиной в мае-июне и волну снегово-ледникового половодья с вершиной в июле месяце. Некоторые увеличения средне декадных расходов в сентябре можно объяснить уменьшением водозаборов в каналы в среднем течении реки, вызванного прекращением водоподдачи на вегетационные поливы.

Анализ данных по режиму расходов реки в створе Дарганата за 42 года наблюдений показал, что минимальный объем стока наблюдался в 2000/2001 годах и составил 13,63 км³ при среднем годовом расходе 433 м³/с. Этот водохозяйственный год был самым маловодным годом за 42 года наблюдений. В другие маловодные годы годовой сток колебался в пределах 18,7 - 24,1 км³. Максимальный годовой сток 54,22 км³ наблюдался в 1991-1992 гг. Максимальные расходы в месячном разрезе изменялись от 560 м³/с (январь) до 5640 м³/с (июль), а минимальные от 330 м³/с (ноябрь) до 2310 м³/с (июль). Ниже представлен график изменения среднемесячных расходов воды на подходе к ТМГУ за период 2004 - 2021 годы (Рис.1.2). Приведенная информация свидетельствует о тенденции сокращения притока в ТМГУ за эти годы в среднем 50 м³/с в год.

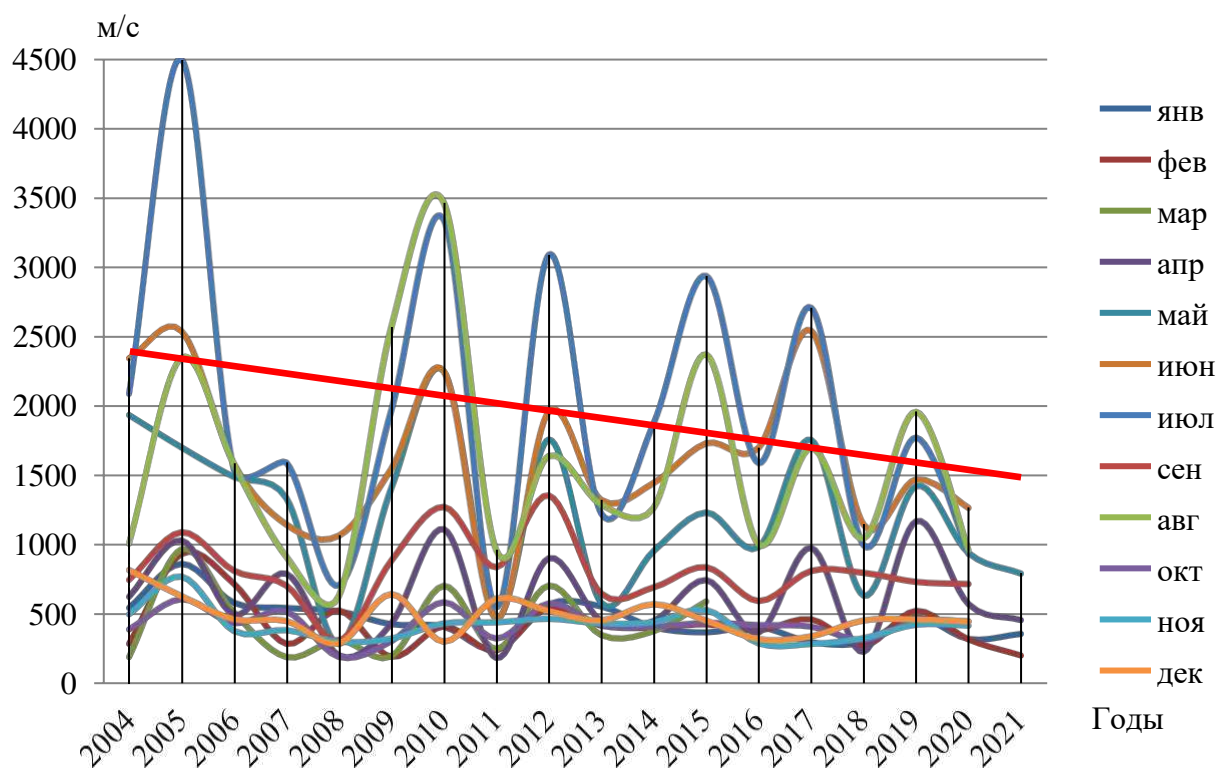


Рисунок 1.2 Среднемесячные расходы воды р. Амударьи на подходе к ТМГУ

При этом максимальные расходы снизились с 4500 м³/с до 1900 м³/с, среднегодовой приток с 2500 м³/с до 1500 м³/с, а приток в маловодные годы колебался в пределах 250-750 м³/с.

Таблица 1.1 Среднемноголетние месячные расходы воды по створу
Дарганата - вход в Туямуюнское водохранилище, м³/с

Расход	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q _{ср}	614	478	473	714	1466	1911	2352	1746	1018	619	822	704
Q _{мин}	279	204	209	230	307	563	702	495	300	238	233	354
Q _{макс}	936	811	880	1403	2918	3666	4499	2833	1673	930	6785	990

В нижнем бьефе ТМГУ среднегодовые расходы за период наблюдений изменялись от 317 м³/с до 1691 м³/с. Среднемесячные расходы - от 81 м³/с (октябрь) до 4042 м³/с (июль).

Таблица 1.2 Среднемноголетние месячные расходы воды - сброс в нижний
бьеф Туямуюнского гидроузла, м³/сек

Расход	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q _{ср}	449	610	714	586	1259	1641	2017	1676	791	408	359	519
Q _{мин}	110	98	269	124	238	588	524	362	282	81	69	112
Q _{макс}	936	2798	1300	1800	2990	3666	4042	2994	1565	884	917	990

Режим наносов. Регулирование речного стока в бассейне р. Амударьи, аккумулятивное водохранилище, значительные водоотборы в каналы оказали влияние на современный наносный режим реки.

В результате подпора уровней воды в Русловом водохранилище, оседания наносов в его чаше, в нижний бьеф гидроузла поступала практически осветленная вода. В осенне-зимний период значения мутности минимальные, в пределах 0,02-0,08 кг/м³. В летнее время наблюдались максимальные значения мутности 1,8 кг/м³. При сработке водохранилища ниже отметки 118 м в вегетационный период мутность в нижнем бьефе достигает 1,10-1,80 кг/м³. Изменение среднегодовых расходов взвешенных и влекомых наносов по гидростам в верхнем и нижнем бьефах гидроузла приведены в табл.1.3.

Годовой сток взвешенных и влекомых наносов колеблется от 4 до 10 млн. тонн в год. Были исследованы режимы работы водохранилищ ТМГУ,

сбросы воды и транзит наносов в нижний бьеф, а также процесс заиления Руслового водохранилища, потери воды на испарение и фильтрацию.

Таблица 1.3. Динамика изменения среднегодовых расходов взвешенных и влекомых наносов за период эксплуатации, кг/с

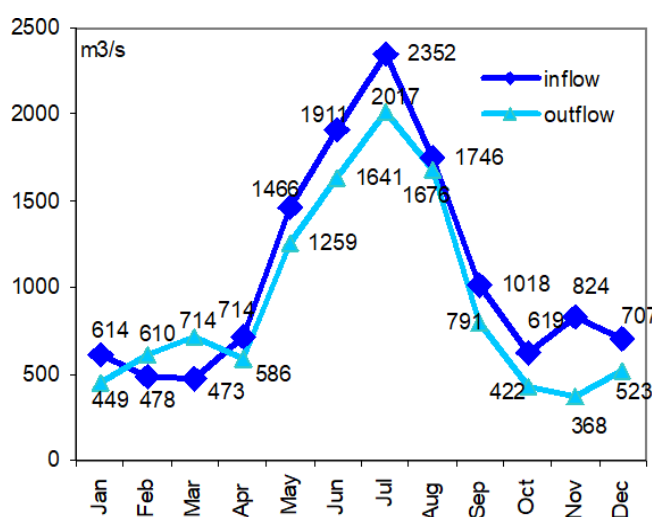
Створы	Среднемесячные расходы наносов/мутности потока (кг/м ³)				
	1981	1982-1990	1991-2001	2002-2020	Мин. и макс. значения
Дарганата (155км)	<u>1500</u>	<u>860÷ 3460</u>	<u>250÷18000</u>	<u>754÷6200</u>	<u>88 ÷9300</u>
	1,07	1,01÷ 2,48	0,30÷7,0	1,02÷4,02	0,33 ÷6,30
Туямуюн (5км)	<u>890</u>	<u>80 ÷340</u>	<u>6,3÷1400</u>	<u>6,0÷780</u>	<u>1,4÷ 2600</u>
	0,62	0,07÷0,187	0,016÷ 1,8	0,013÷0,81	0,02÷ 1,30

В 1982-90 годах в связи с введением в эксплуатацию Туямуюнского гидроузла количество взвешенных и влекомых наносов, поступающих в нижний бьеф сильно сократилось. Так, в 1981 году по данным гидропостов среднегодовые расходы взвешенных и влекомых наносов составили по створу Дарганата - 1500 кг/с, по створу Туямуюн - 890 кг/с. В 1982 - 1998 годы среднегодовые расходы наносов изменялись в пределах от 860 до 3460 кг/с в створе Дарганата, от 80 до 340 кг/с в створе Туямуюн. Максимальные и минимальные значения расходов наносов, наблюдаемые на этих гидропостах, изменялись в створе Дарганата в пределах от 88 до 9300 кг/с, в створе Туямуюн от 14 до 2600 кг/с. Начиная с 2000 годов на данных гидропостах регулярные наблюдения за наносным режимом реки не проводились. Это затрудняет проведение полного анализа изменения наносного режима за последние годы. Данные, что за этот период времени наблюдались имеют следующие значения расходов наносов: в створе Дарганата от 250-18000 кг/с; в створе Туямуюн от 63-1400 кг/с.

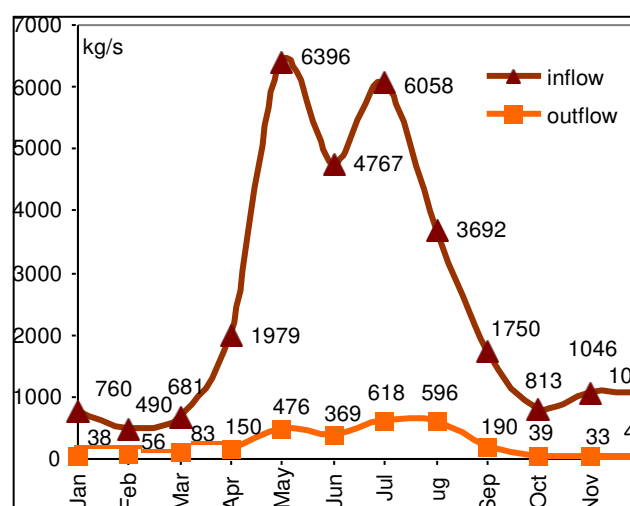
В табл.1.4 приведены среднемноголетние месячные расходы наносов, которые поступали в Русловое водохранилище и часть которых транспортировались в нижний бьеф ТМГУ. Результаты анализа показывают, что в осенне-весенний период поступление колебалось в пределах 510-750 кг/с, а транспорт в нижний бьеф 35-75 кг/с, т.е. всего 7-10% наносов переносились в нижний бьеф. А в период многоводья (апрель-август) приток наносов 2100-6500кг/с, а отток 410-570кг/с, т.е. 9-20% (Рис.1.3)

Таблица 1.4 Среднегодовое месячные расходы взвешенных и влекомых наносов в створах р.Амударьи, кг/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Створ Дарганата											
725,6	513,6	681,2	2119	6573	5092	6439	3715	1854	737,2	954,2	1243
Створ Туямуюн											
34,57	50,43	74,87	135,2	417,8	329,2	566,0	531,2	167,3	35,29	29,07	41,43



Приток-отток воды



Поступление-отвод наносов

Рисунок 1.3 Сток реки и расходы взвешенных и влекомых наносов

Мутность потока. Среднегодовые значения мутности потока, наблюдаемые с 1981 года, изменялись следующим образом: в створе Дарганата - $1,07 \text{ кг/м}^3$, в створе Туямуюн - $0,62 \text{ кг/м}^3$. В 1982-2000 годах среднегодовая мутность потока изменялась в створе Дарганата от $1,01$ до $2,48 \text{ кг/м}^3$, в створе Туямуюн от $0,07$ до $0,187 \text{ кг/м}^3$. Максимальные и минимальные значения среднемесячной мутности потока наблюдались в пределах в створе Дарганата от $0,33$ до $6,30 \text{ кг/м}^3$, в створе Туямуюн от $0,02$ до $1,30 \text{ кг/м}^3$. В последующие 1991-2001 гг. среднемесячные мутности потока наблюдались в пределах от $0,30$ до $7,0 \text{ кг/м}^3$ в створе Дарганата, от $0,016$ до $1,8 \text{ кг/м}^3$ в створе Туямуюн.

В результате подпора уровней воды в Русловом водохранилище, оседания наносов в его чаше, в нижний бьеф гидроузла поступает практически осветленная вода. В осенне-зимний период значения мутности минимальные, в пределах $0,02$ - $0,08 \text{ кг/м}^3$. В летнее время наблюдались максимальные значения мутности до $1,8 \text{ кг/м}^3$. При сработке водохранилища ниже отметки 118 м в вегетационный период мутность в нижнем бьефе

достигает 1,10-1,80 кг/м³. Годовой сток взвешенных и влекомых наносов колеблется от 4 до 10 млн. тонн в год.

Таблица 1.5 Среднемесячные мутности воды по створам Амударьи, кг/м³

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Створ Дарганата											
1,36	1,21	1,33	2,08	3,19	2,17	2,12	1,73	1,54	1,30	1,61	1,74
Створ Тюямуяун											
0,074	0,065	0,093	0,160	0,358	0,347	0,369	0,362	0,279	0,122	0,132	0,105

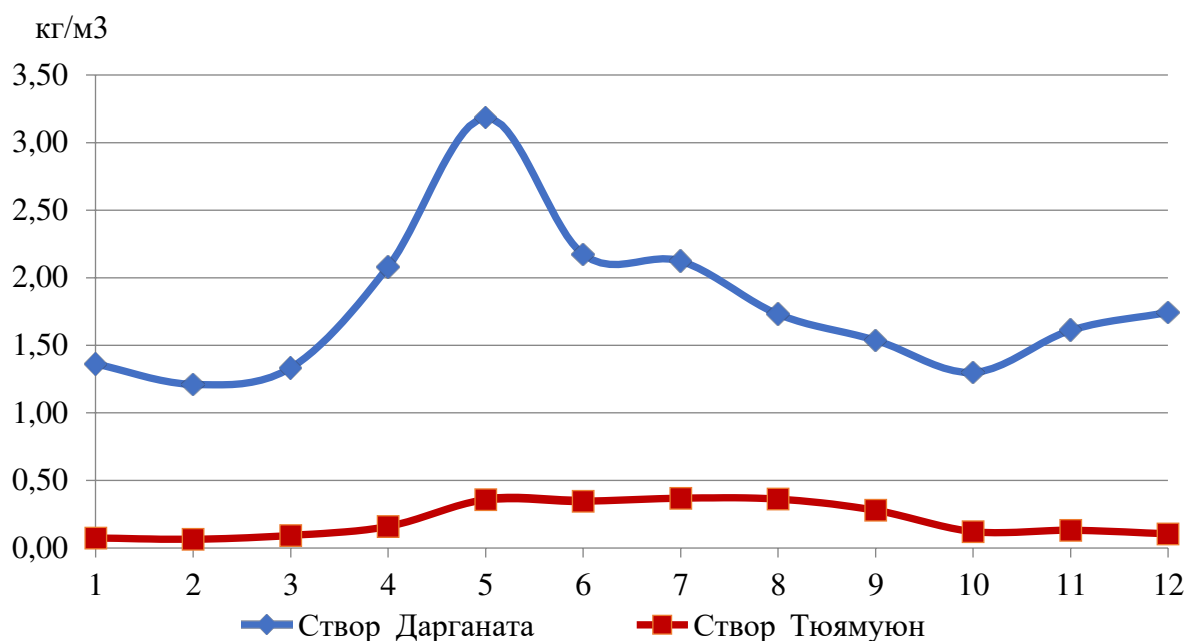


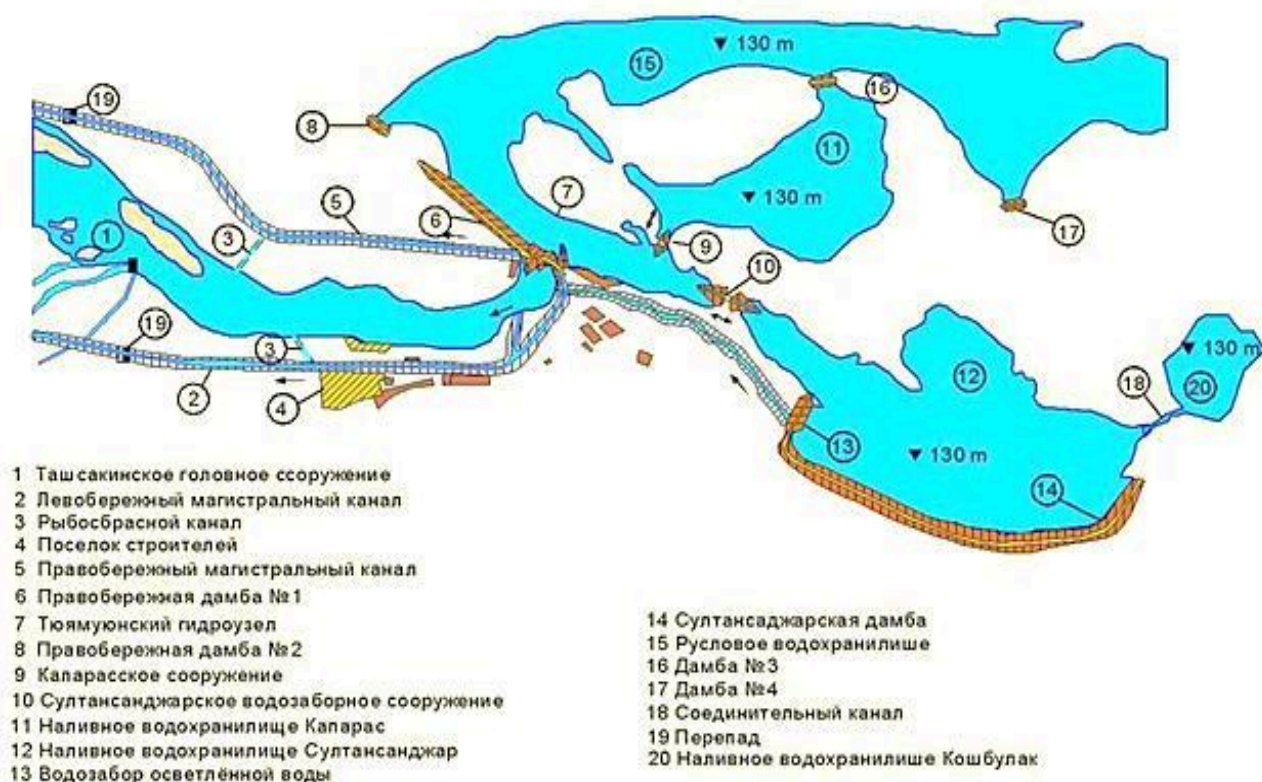
Рисунок 1.4 Среднемесячные мутности воды

1.2 Технические характеристики и современное состояние ТМГУ

Тюямуяунский гидроузел расположен на границе среднего и нижнего течения р.Амударьи в теснине Тюямуяун в 450 км от Аральского моря на стыке границ территорий Каракалпакстана, Хорезм (Узбекистан) и Дашховуз (Туркменистан). Основными функциями ТМГУ являются: обеспечение сезонного регулирования стока реки Амударьи в интересах всех водопотребителей низовьев реки; обеспечение водозабора в оросительные системы и сокращение поступления наносов при заборе воды в левобережный и правобережный магистральные каналы; аккумуляция слабоминерализованной воды в водохранилище Капарас с целью ее

дальнейшего использования для нужд питьевого водоснабжения населения низовьев реки.

В состав ТМГУ входят Русловое и три наливных водохранилища: Капарас, Султансанджар и Кошбулак, основные характеристики и схематическое плановое расположение которых приведены ниже (Рис.1.5).



Наименование	Ед. изм	Русловое	Капарас	Султансанджар	Кошбулак	Всего
Полный объем	km ³	2,34	0,96	2,69	1,81	7,8
Полезный объем	km ³	2,07	0,55	1,63	1,02	5,27
Площадь	km ²	303	70	149	128	650
НПУ	m	130	130	130	130	130
УМО	m	120	120	116	120	
Протяженность	km	102	15	24	26	167
Ширина максимальная	km	11	9	12	11	

Рисунок 1.5 Схематический план ТМГУ и их технические характеристики

В состав сооружений входят бетонная водосбросная плотина длиной 141 м, земляная плотина, ГЭС мощностью 150 тыс. квт, левобережный водозабор до 500 м³/с, правобережный водозабор 200 м³/с, шлюз-регулятор с дюкером на левобережном магистральном канале 500 м³/с, водозабор наполнения и работы Султансанджарского водохранилища 500 м³/с, канал наполнения и работы Султансанджарского водохранилища 200 м³/с, водозабор осветленной воды 250 м³/с, канал осветленной воды 100 м³/с, канал наполнения и сработки Кошбулакского водохранилища 100 м³/с, водозабор

наполнения и сброски Капарасского водохранилища 400 м³/с. Все водохранилища гидроузла взаимосвязаны между собой. Русловое сообщается с Капарасом через перегораживающее сооружение, Султансанджар и Кошбулак соединены специально построенным каналом. Русловое водохранилище имеет следующие проектные характеристики: полный объем 2,34 км³, полезный объем 2,07 км³, площадь 303 км², НПУ=130м, УМО=120м, протяженность 102 км, максимальная ширина 11 км.

Работа сооружений гидроузла осуществляется следующим образом (Рис.1.6). Наполнение емкостей производится при подпоре уровней воды в русле Амударьи от бытовых отметок 114 м и выше начинается наполнение Руслового водохранилища. Перелив воды из Руслового водохранилища в Капарас через перегораживающее сооружение происходит при подпоре 117 м и выше. Перелив в Султансанджар из протоки в концевой части Руслового водохранилища начинается при отметке 115 м (при открытых щитах). Перелив из Султансанджара в Кошбулак начинается при отметке уровня воды 120 м через входную горловину Кошбулакской чаши. Сброска воды из водохранилищ производится из Руслового в нижний бьеф и каналы ЛМК и ПМК, из Капараса в Русловое, из Султансанджара в Русловое и ЛМК, из Кошбулака в Султансанджар.

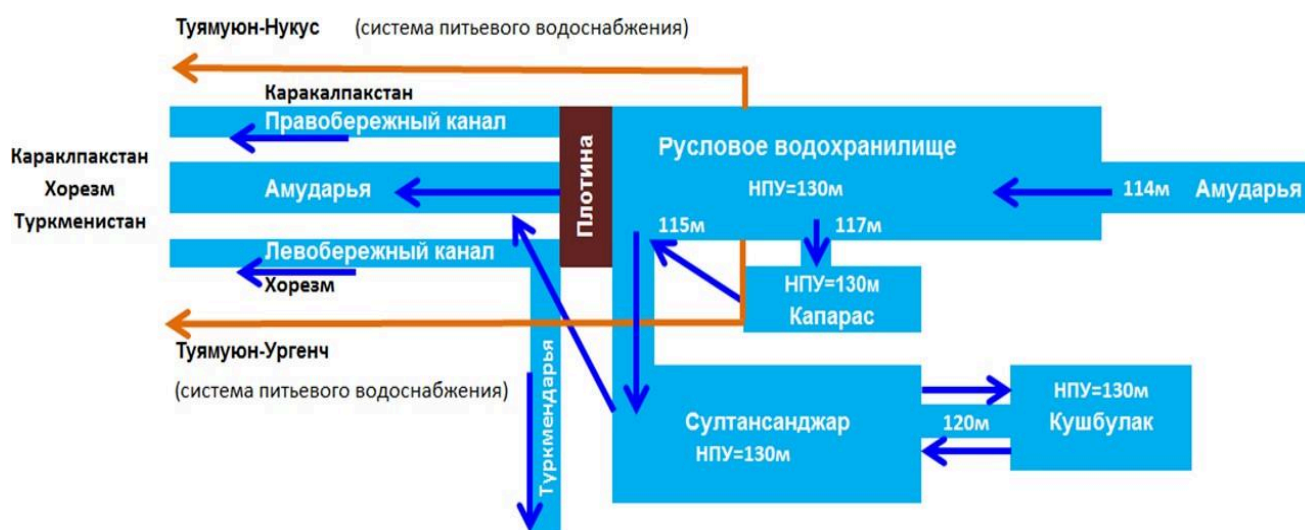


Рисунок 1.6 Схема движения водной массы в пределах гидроузла.

Степень наполнения и сброски водохранилищ фиксируется на водомерных постах, расположенных в верхнем бьефе перед плотиной для Руслового водохранилища, за водозаборными сооружениями в Капарасе и Султансанджаре. Уровни воды в Кошбулаке принимаются равными уровням воды в Султансанджаре.

Современное состояние водохранилищ ТМГУ. Проведенные в 2021 году исследования, направленные на определение ёмкости Руслового водохранилища и состояния заиленности позволили сделать следующие выводы. Общий объем Руслового водохранилища при уровне воды у плотины $H=130\text{м}$ определен равным 863 млн м³. Объем отложений за весь период эксплуатации на 2021 год: $2340 - 863 = 1477$ млн м³. Площадь водной поверхности на отметке 130 м составила 248 км² против проектной площади равной 300 км². Средний уклон дна чаши Руслового водохранилища по промерам составляет $i=0,00004$ против проектного $i=0,0002$. *Детальное описание результатов натурных промеров в 2021г. представлены в промежуточном отчете.*

1.3 Режим работы Руслового водохранилища

Изменение уровня водной поверхности Руслового водохранилища за последние 15 лет показывает, что режимы работы Руслового водохранилища были аналогичны циклической водности годов (Рис.1.7). 2009-2010 годы были многоводными, и уровень держался практически весь период на отметке 129,5м. Сентябрь-январь 2012 года также уровень воды поднимался до отметки 129,5м. В остальные годы уровень воды не превышал отметки 129м, и ни разу не происходило полное наполнение водохранилища до отметки НПУ=130м.

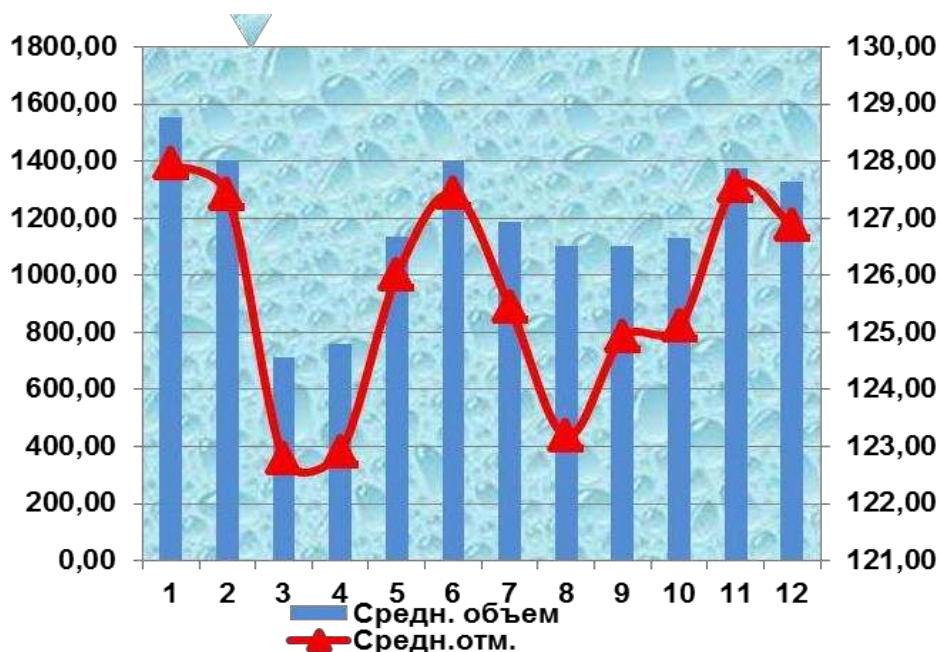


Рисунок 1.7 Среднемноголетние характеристики Руслового водохранилища за последние 15 лет

Анализ притока и оттока воды в водохранилище за 2004-2020гг. показывает, что максимальные притоки были в 2005 году, что составил 47,3 км³, затем в 2010 году – 43,8 км³. Наименьшие притоки воды зафиксированы в 2008, 2011 и 2018 годах, что соответственно составило 14,1 км³ и 12,8 км³ (Рис.1.8).

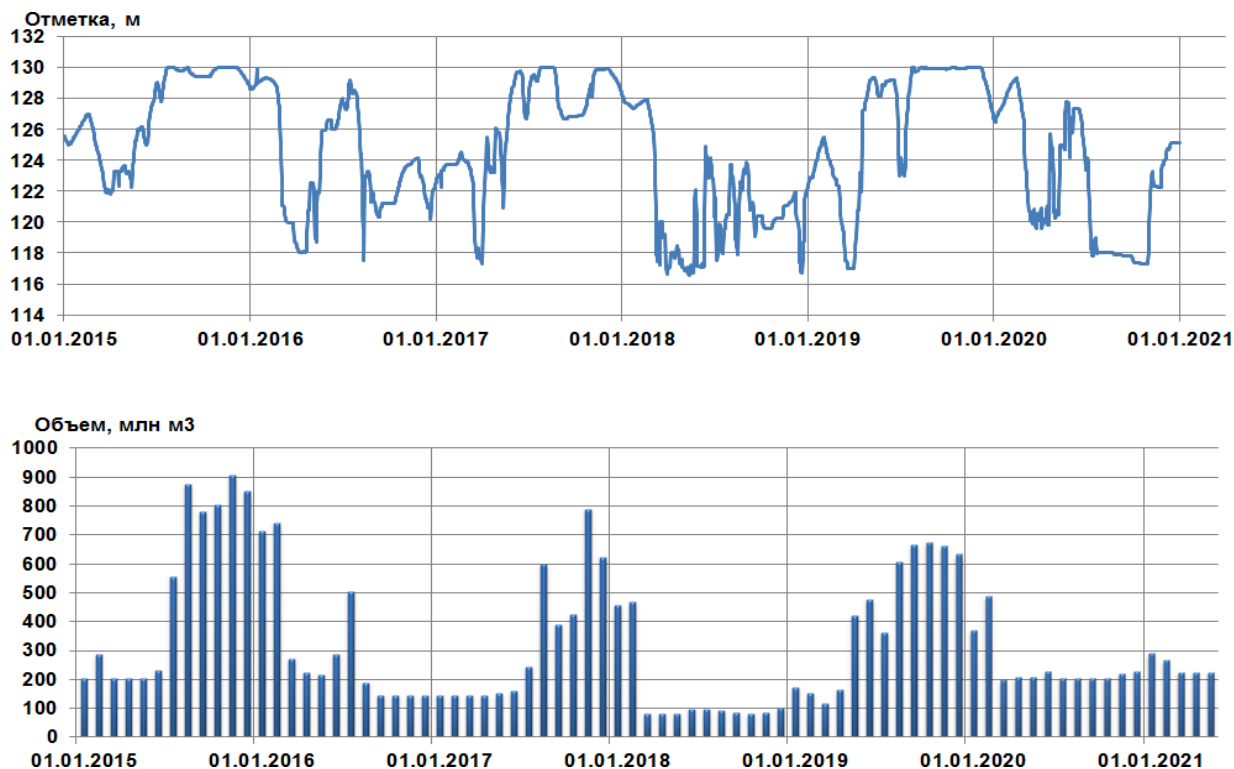


Рисунок 1.8 Режим работы Руслового водохранилища (2015-2021гг.)

Потери воды из водохранилищ. Выполненные водобалансовые расчеты позволили уточнить потери воды на испарение в водохранилищах ТМГУ, с учетом потерь воды на мелководьях и на транспирацию водной растительностью, а также выявить объемы фильтрационных потоков с установлением гидравлических связей водохранилищ с подземными горизонтами. Изучение данных показало, что после ввода в эксплуатацию Руслового водохранилища потери на испарение достигали до 250 млн.м³ в год в зависимости от режима эксплуатации. В маловодные годы при глубоких сработках уровня эти потери были наименьшими. Наибольшие значения потери достигали в многоводные годы, когда уровни воды поддерживались на высоких отметках длительное время. Фильтрационные потери оказались значительными в многоводные годы, в маловодные годы при глубоких сработках водохранилищ наблюдался приток фильтрационных потоков. Наибольшие фильтрационные потоки наблюдались в Русловом водохранилище: приток - до 130 млн.м³, отток - до 280 млн. м³ в год.

2. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГНОЗА ОБЪЕМА ЗАИЛЕНИЯ НА РУСЛОВОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ТМГУ (Задача 2)

2.1 Оценка динамики заиления за период эксплуатации: поступление наносов, осаждение, размыв и транзит

Заполнение чаши Руслового водохранилища началось с июня 1981 года. С этого момента идет систематический процесс заиления, снижающий объем аккумулирующей емкости. Задачей исследований, проводимых НИИИВП было определение и затем уточнение основной эксплуатационной кривой объемов воды $W = f(H)$ по мере заиления водохранилища на основе натурных данных промеров глубин воды в ее чаше на различных этапах его эксплуатации.

Анализ данных по заилению за период эксплуатации с 1981 года по 2008 год показал следующее:

За сорокалетний период эксплуатации водохранилищ ТМГУ произошли значительные изменения их проектных характеристик. Изменения в основном произошли за счет русловых процессов в Русловом, Кошбулакском водохранилищах и соединительном канале, произошло заиление водохранилищ Капарас и Султансанджар.

Начальная емкость Руслового водохранилища, составляющая по проекту 2340 млн. м³ снизилась к 1985 году на 585 млн. м³. Интенсивность заиления водохранилища за период 1985-2005гг. в среднем составила 22,2 млн.м³ в год, причем основной объем отложений произошел в 1991-1992 гг. 222 млн.м³ и в 1998 году 108 млн.м³, что в сумме составляет 330 млн.м³. На остальные 17 лет этого периода приходится лишь 25 млн.м³ прироста отложений. Максимальный вынос наносов из Руслового водохранилища наблюдался в 1986 году - 135 млн.м³, в 1997 году - 56 млн.м³ и в 2000-2001 гг. - 110 млн.м³. Водность этих лет соответственно составляла 20,8 км³, 18,3 км³ 18,7 км³ и 13,6 км³.

Объемы заиления чаши Руслового водохранилища до 2002г. определялись по данным промеров, проведенными НИИИВП (САНИИРИ). В последующие годы такие работы не были предусмотрены из-за отсутствия финансирования. В 2005 году были проведены промеры специалистами ГУП "Батиметрический центр", и результаты показали, что полная емкость Руслового водохранилища снизилась с проектной 2340 млн.м³ до 1287 млн.м³, изменились показатели площади зеркала при различных горизонтах.

В связи с использованием водохранилища Капарас для создания запаса воды на питьевые нужды (156 млн.м³/год) его сработка производится до отметки 118м против проектного 117м. В этом случае минимальный объем воды в водохранилище должен быть не менее 500 млн.м³. С учетом испарения воды, составляющей для Капараса около 100 млн м³/год, необходимо его наполнение не менее чем до отметки 125 м (630 млн м³). Ограниченность водных ресурсов в маловодные годы создает определенные трудности для заполнения Капараса. В связи с ограничением уровня наполнения водохранилища Султансанджар до отметки 127,5 м, суммарный полный объем Кошбулака и Султансанджара сократился на 640 млн.м³.

Анализ натурных исследований и данных эксплуатационной службы ТМГУ позволил выявить разницу в условиях продвижения, размывов и отложений наносов по длине водохранилища и условно разделить ее на три участка.

К 2008 году *первый участок* (створы 71-49) длиной около 15 км характеризуется почти полным заилением первоначального объема, составляющего по проекту 110 млн.м³. Этот участок (от отметки 112м до 117м) был заилен на 95% и являлся транзитным для смыва наносов из водохранилища. Общий объем отложений на данном участке составляет около 11% к общему объему отложений в водохранилище. Установлено, что вынос наносов из водохранилища на этом участке происходил при работе водохранилища на пониженных отметках уровня воды и значительных расходах оттока в нижний бьеф. Например, проведенные промеры подтвердили, что при значительном снижении уровня воды у плотины от 127м до 118м на приплотинном участке происходил не только смыв отложений, образовавшихся к концу летнего наполнения водохранилища, но и процесс дальнейшего размыва отложений. Размыв на этом участке достигал до 30 млн. м³ при общем объеме размыва в водохранилище 35-40 млн. м³.



Рисунок 2.1 Распределение объема заиления по участкам чаши
 Руслowego водохранилища

При работе водохранилища при подпертом уровне в высотных зонах этого участка 118-130 м происходят процессы и заиления, и размыва. При прохождении летнего паводка с расходом от 2700 м³/сек до 4500 м³/сек и уровнях водохранилища от 126м до 130м процент заиления на отметках 118-120м колебался от 71 до 100% от общего объема заиления на данном участке водохранилища, на отметках 120-124 эта величина достигала 30-90%, а при отметках 124-130 заиление составляло от 0 до 44%. В маловодные годы на отметках 118-124м наблюдался процесс размыва, что снизило процент заиления до 10-50% (против 50-100%).

Второй участок водохранилища от 49 створа до 37 створа длиной 30 км (на расстоянии от плотины 15-45 км) имеет проектную емкость 460 млн. м³. Этот участок характеризовался изменчивостью по годам величин объемов наносов от 27% до 71% относительно проектной емкости (табл. 2.1).

В маловодных годах объем наносов на этом участке составлял 30-35% ее начальной емкости. В метровых диапазонах по высоте относительные изменения отложений невелики. Наносы поступают с вышележащего третьего участка, их продвижение к плотине или отложение зависит от уровня режима водохранилища, а также от величины расходов, поступающих к плотине и величины расходов, сбрасываемых в нижний бьеф гидроузла, т.е. от русловых процессов, протекающих на этом участке реки.

Таблица 2.1 Аккумуляция наносов по высотным отметкам и их процентное содержание относительно проектного, млн м³

Год		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	2000	2001	2002	2006	2008
Высотные зоны															
I	Объемы отложений до – 117 м	85	71	73	85	89	62	86	90	100	105	110	103	105	107
	% заиления (110 млн.м ³)	77	65	66	77	81	56	78	82	91	95	100	94	95	97
II	Объемы отложений От – 117 до – 123 м	155	124	126	155	111	118	136	210	244	270	330	187	223	264
	% заиления (460 млн.м ³)	34	27	27	34	24	26	30	46	33	59	71	40	48	57
III	Объемы отложений от – 123 до – 130 м	345	255	329	345	365	379	442	481	523	538	514	608	678	679
	% заиления (1770 млн.м ³)	19	14	18	19	20	21	25	27	29	30	29	34	38	38

Третий участок водохранилища длиной свыше 30 км, со створа 37 и выше, наиболее подвержен влиянию изменений уровней воды. На этом участке располагается зона выклинивания кривых подпоров при колебании уровней воды в водохранилище свыше отметки 124 м. Это основная зона отложений наносов, подходящих с потоком по реке. Постоянные переформирования наносных отложений на этом участке связаны с периодическими сработками и наполнениями Руслового водохранилища и играют определенную роль в интенсивности заиления водохранилища и создании кривой дополнительного подпора, распространяющейся вверх по течению реки. На этом участке зоны размыва чередуются с зонами намыва отложений: объемы размыва в створах 32 и 36 достигали 80-100 млн. м³, в то же время створы 31 и 35 характеризовались большим объемом отложений, достигающими свыше 100 млн. м³.

Как показывает анализ натурных измерений и расчетов объемов заиления по длине водохранилища наибольшие объемы заиления наблюдаются во время прохождения летних паводков при подпертом верхнем бьефе Руслового водохранилища. Причем по данным к 2008 году процент заиления водохранилища по участкам к общему объему заиления составил соответственно: I участок - 11%, II участок - 17,7 % и III участок - 71,3 %. При пропуске паводковых расходов при пониженных уровнях воды в водохранилище или при сработке уровня воды наблюдается интенсивный

смыв наносов с верхних участков водохранилища. В процессе этого смыва на всех поперечных створах наблюдалось заглубление по линии фарватера.

Потеря ёмкости Руслового водохранилища за период эксплуатации представлен на Рис.2.2. Рассматривая заиление водохранилища в высотном разрезе, отметим, что от 112м до 117м отметки произошло заиление водохранилища на 95 % и достигло 104 млн. м³ при проектной емкости 110 млн. м³. Со 117м до 123м отметки заиление достигло 36 % от проектного объема и составило 166 млн. м³ (проектный объем 460 млн. м³). Со 123м отметки до 130м отметки заиление достигло 38% и составляет 670 млн. м³ (проектный объем 1770 млн. м³). Таким образом, по состоянию на 2002 год объем водохранилища сократился на 40% и составляет 1400 млн. м³. Объем заиления равен 940 млн. м³.

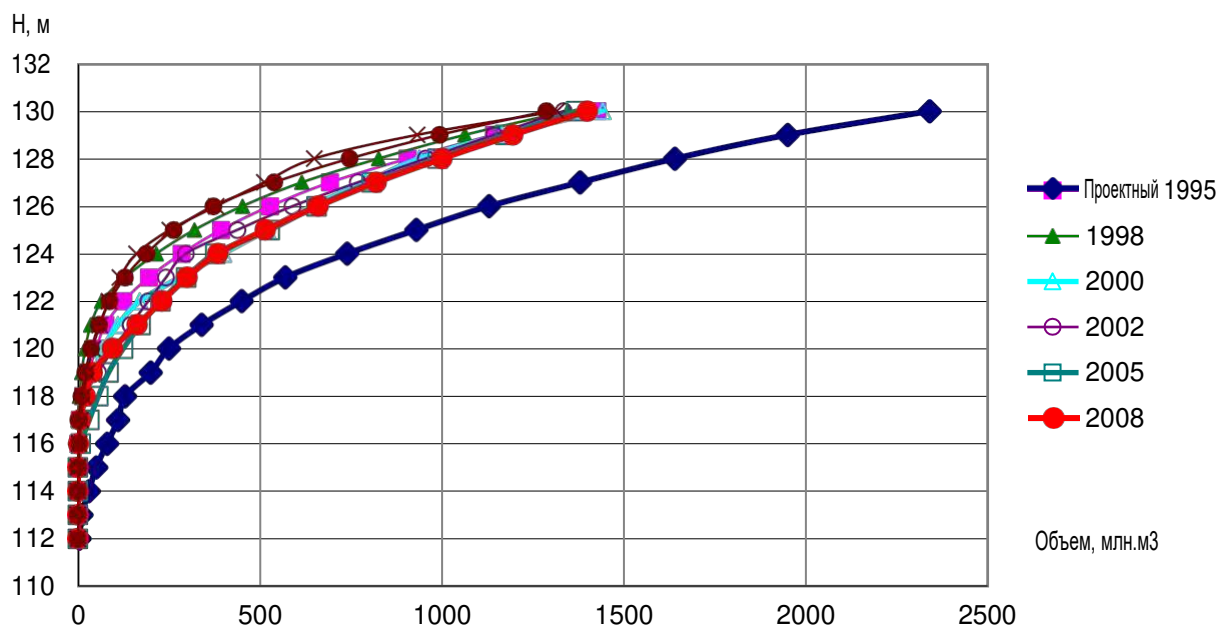


Рисунок 2.2 Потеря емкости Руслового водохранилища (~28 лет)

Анализ результатов исследований 2021 года показал следующее: полная емкость Руслового водохранилища снизилась с проектной 2340 млн.м³ до 863 млн.м³ по состоянию на момент измерений; соответственно изменились показатели площади зеркала при различных горизонтах, при этом на отметке 130м равна 247,8 км². Графики изменения объемов и площади зеркала водной поверхности в зависимости от отметок приведены на Рис. 2.3 и 2.4.

Таблица 2.2 Динамика изменения емкости Руслового водохранилища за период эксплуатации, млн.м³

Уровень, м	Проектные объемы - 1981 год		БМЦ - 2008г.	НИИИВП – 2021 год		
	Полный объем	Полезный объем		Объем воды	Объем заиления	Площ. водной поверхн. км ²
130	2340	2090	1287	863	1477	247,8
129	1950	1700	994	539	1411	211,0
128	1640	1390	746	302	1338	175,2
127	1380	1130	539	133	1247	134,9
126	1130	880	372	64	1066	69,7
125	930	680	263	25	905	8,2
124	740	490	188	4	736	1,7
123	570	320	129	0	570	0
122	450	200	87	0	450	0
121	340	90	58	0	340	0
120	250	0	36	0	250	0
119	190	0	20	0	190	0
118	140	0	9	0	140	0
117	110	0	3	0	110	0
116	80	0	1,6	0	80	0
115	50	0	0,5	0	50	0
114	30	0	0,1	0	30	0
113	10	0	0	0	10	0
112	5	0	0	0	5	0

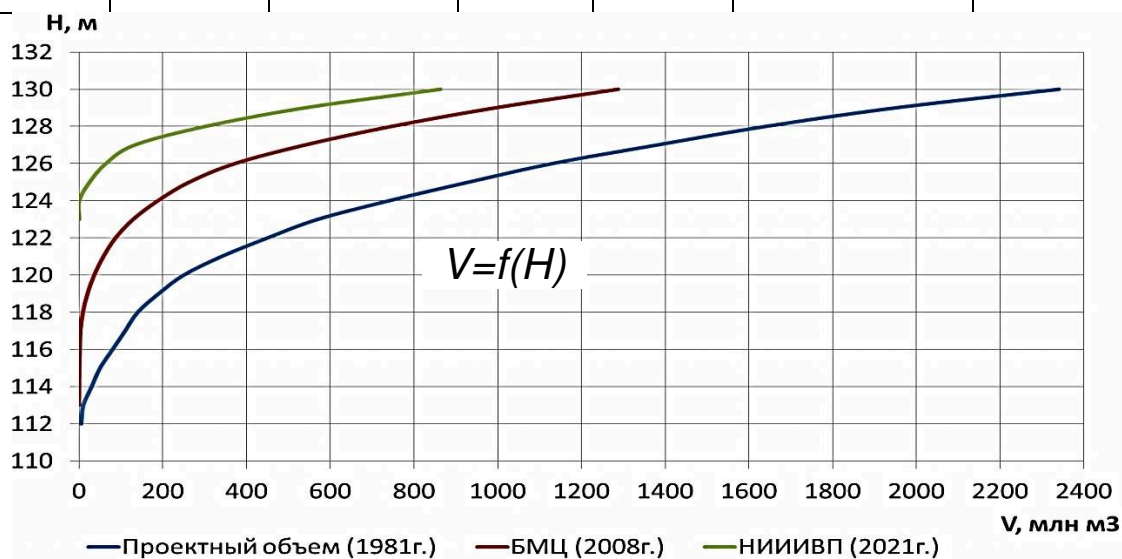


Рисунок 2.3 Динамика изменения объемов Руслового водохранилища

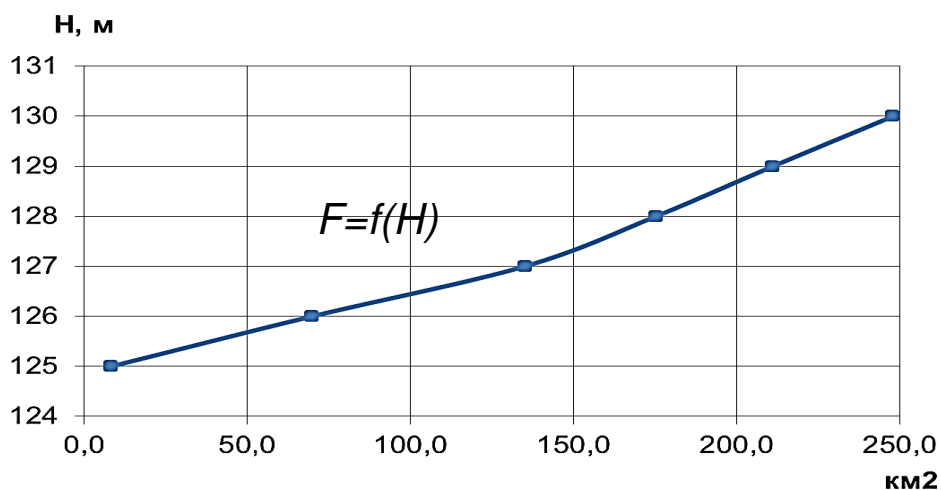


Рисунок 2.4 Площади водной поверхности водохранилища

Анализ состояния заиленности чаши водохранилища по промерам в 2021г. показал, что ёмкость полностью покрыта наносными отложениями до отметки 125м, что составило 905 млн.м³, т.е. 38,7% от всего объема отложений (Табл. 2.3, Рис.2.5). Остальная часть отложений размещена выше в следующем порядке:

- между отметками 125-126 м - 161млн. м³ (7%)
- между отметками 126-127 м - 314 млн. м³ (13,4%)
- между отметками 127-128 м - 260 млн. м³ (11%)
- между отметками 128-129 м – 310 млн. м³ (12,2%)
- между отметками 129-130 м – 390 млн. м³ (17%)

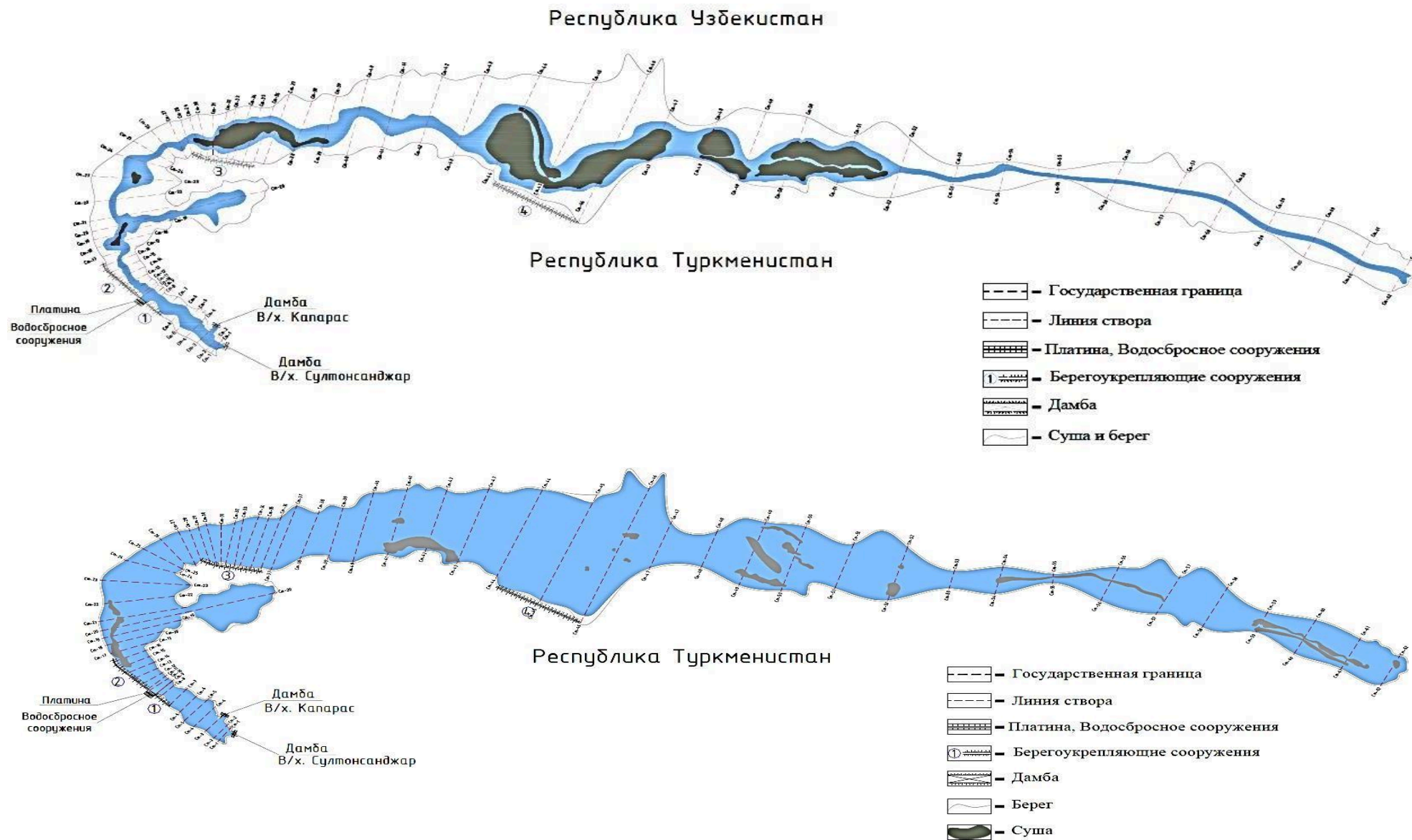


Рисунок 2.5 Вид водохранилища на отметках 124м (во время промеров) и 130м (НПУ) с указанием сухих зон

На Рис. 2.6 представлен график зависимости объемов отложений от высотных отметок в зоне чаши Руслового водохранилища. Из графика видно, что интенсивность заиления с отметки 112 м до отметки 118 м не очень высокая – 180 млн.м³, с отметки 120 м до 128 м составила большую часть равной 1050 млн.м³.

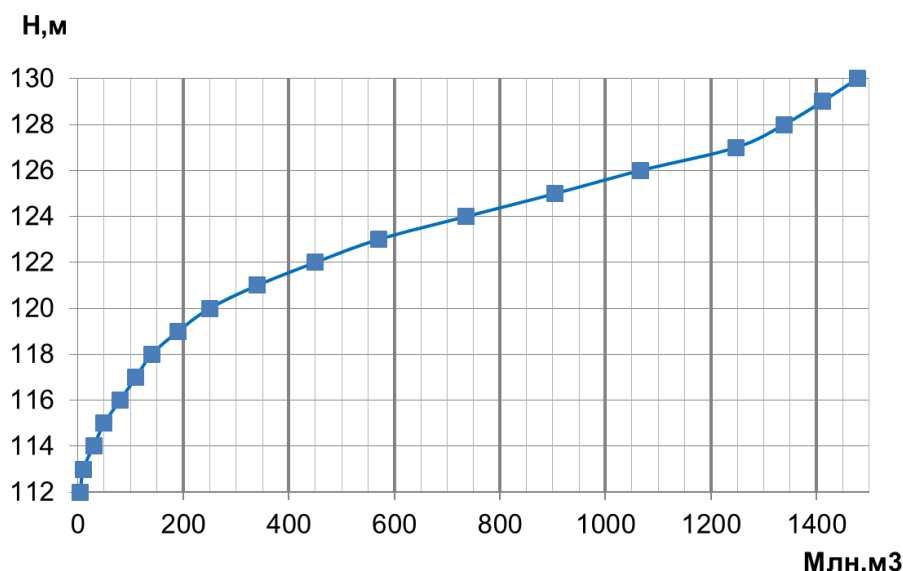


Рисунок 2.6 Распределение объемов заиления по высотным зонам

Длина чаши водохранилища протяженностью 81 км, были разбиты на 8 участков следующей протяженности (Рис.2.7): 1 участок – 10380 м; участок – 10150 м; участок – 10169 м; участок – 10321 м; участок – 9610 м; участок – 11460 м; участок – 9460 м; участок – 10940 м. Ниже представлены данные по объемам отложений в разрезе участков, также в порядке возрастания, что в сумме составили 1477 млн м³.

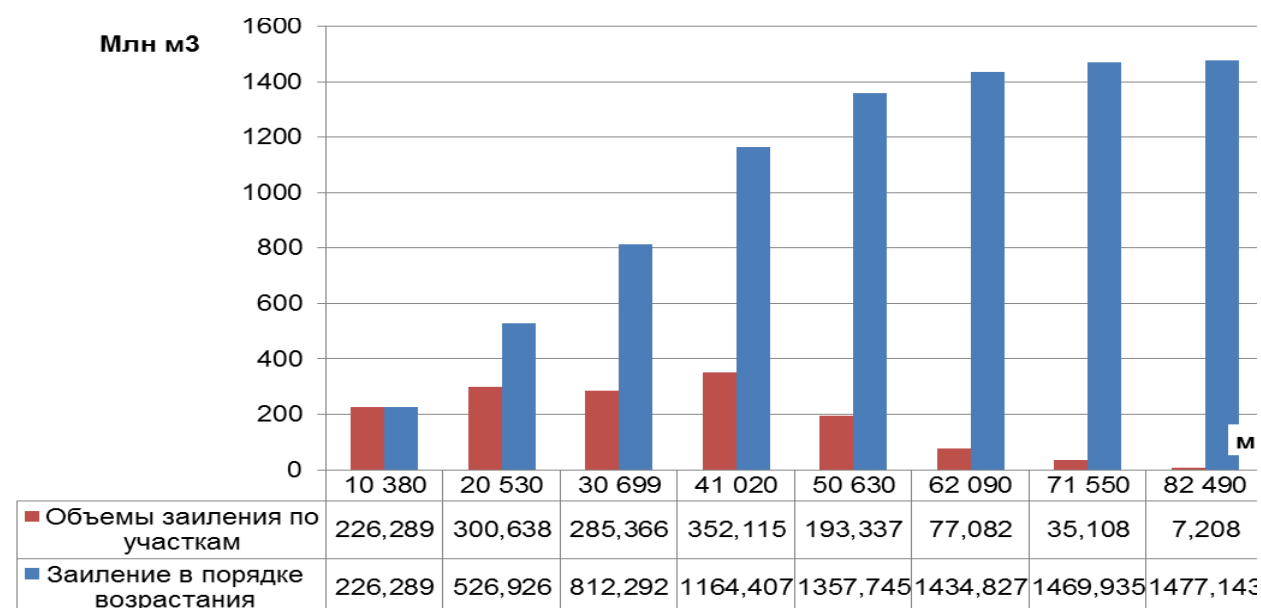


Рисунок 2.7 Размещение отложений по длине чаши водохранилища

При этом: 1-участок - приплотинный, протяженностью 10,4 км покрыт отложениями в объеме 226,4 млн.м³, 2-участок протяженностью 10,2 км – 301 млн.м³, 3-участок протяженностью 10,2 км – 285 млн.м³, 4-участок протяженностью 10,3 км – 352 млн.м³, 5-участок длиной 9,6 км – 193 млн.м³, 6-участок длиной 11,5 км – 77млн.м³, 8-участок длиной 11км – 7 млн.м³. Основная часть отложений в объеме 1164 млн.м³ (79%) по длине водохранилища расположены на участке до 40 км от плотины, оставшаяся часть 312 млн.м³ (21%) – на следующем 40 км участке.

Средний уклон дна чаши Руслового водохранилища по промерам составил $i=0,00004$ против проектного $i=0,0002$, что означает отложения сформировавшиеся в начальном этапе (первые 10 лет) эксплуатации водохранилища постепенно переместились вниз по течению к плотине (Рис.2.8).

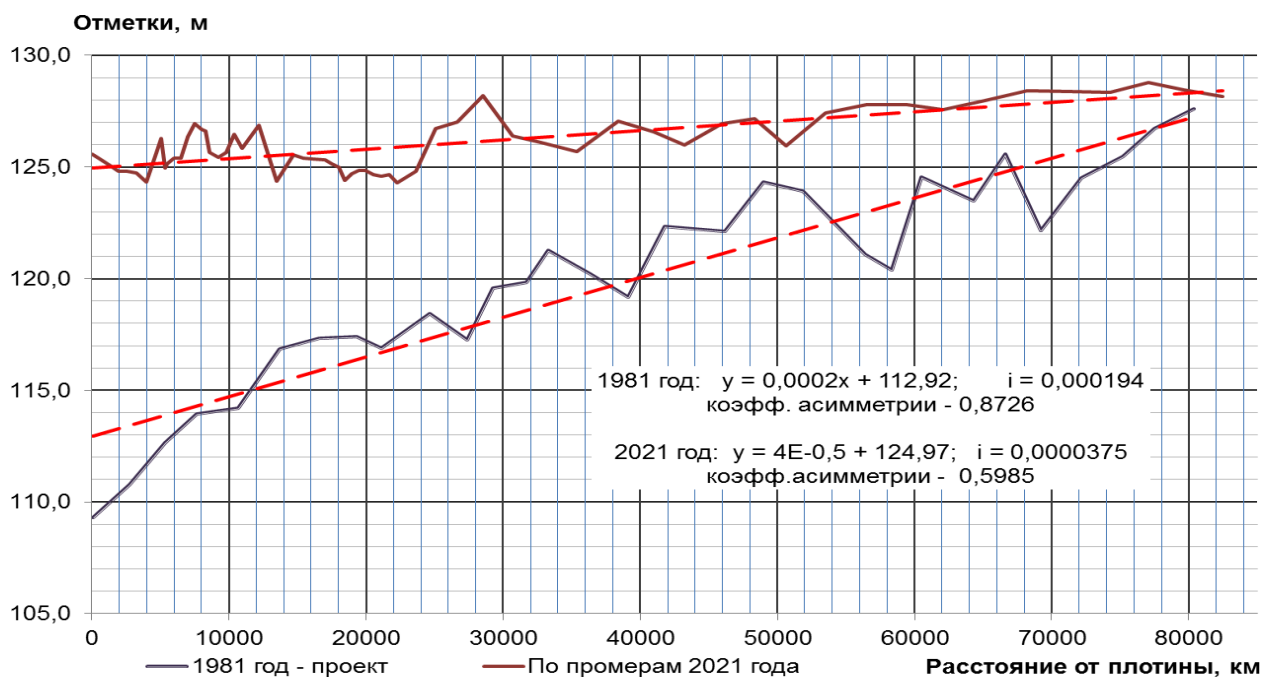


Рисунок 2.8 Продольный уклон дна чаши Руслового водохранилища

На рисунке представлено сопоставление отметок дна водохранилища - проектные и промеренные, где основные скачки отметок наблюдались в приплотинной зоне в пределах 3-5 м. Разработана ГИС модель Руслового водохранилища на основе произведенных натурных промеров, которая отражает морфологическую картину ложа водохранилища. Благодаря модели были определены зоны в чаше водохранилища, которые входили в общий объем емкости, а при водоподаче оставались в качестве затонов не

используемыми (Рис.2.9). ГИС моделирование Руслового водохранилища на основе промеров выявило следующее:

На приплотинном участке при отметке уровня воды 125 м наблюдается движение мутного потока на одной восьмой поперечного сечения створа 22, что отражено на фотографии участка. На бетонных плитах откоса этого участка имеется отложения наносов на отметке 127 м, такие же отложения наносов наблюдаются и на бетоне верхового откоса дамбы № 3.

В районе дамбы № 2 затон полностью заилен до отметки 125 м.

В районе створов от 51 по 35 при отметке воды перед плотиной 125 м, наблюдается множество протоков и затонов, по обоим берегам перекрытых перемычками образованных в процессе заиления и представляющих в этих условиях мертвый объем.

Такая же картина наблюдается на вышележащих участках. Левобережная протока в районе 34 створа заиlena до отметки 127,5м. В створе № 33 ранее размываемого до глубины 10-18 метров, в настоящее время правая половина заиlena до отметки 127м. Это очевидно связано с отложениями наносов на нижележащем участке и созданием бара, снижающего скорость на вышележащем участке.

На участке выше Лебапского моста в результате интенсивного заиления, вызванного высокими отметками в Русловом водохранилище в предыдущие годы, также образовалась масса мелких и крупных протоков, часть из которых перекрыта образующимися в нижней части перемычками, объемы воды в которых не могут быть использованы.

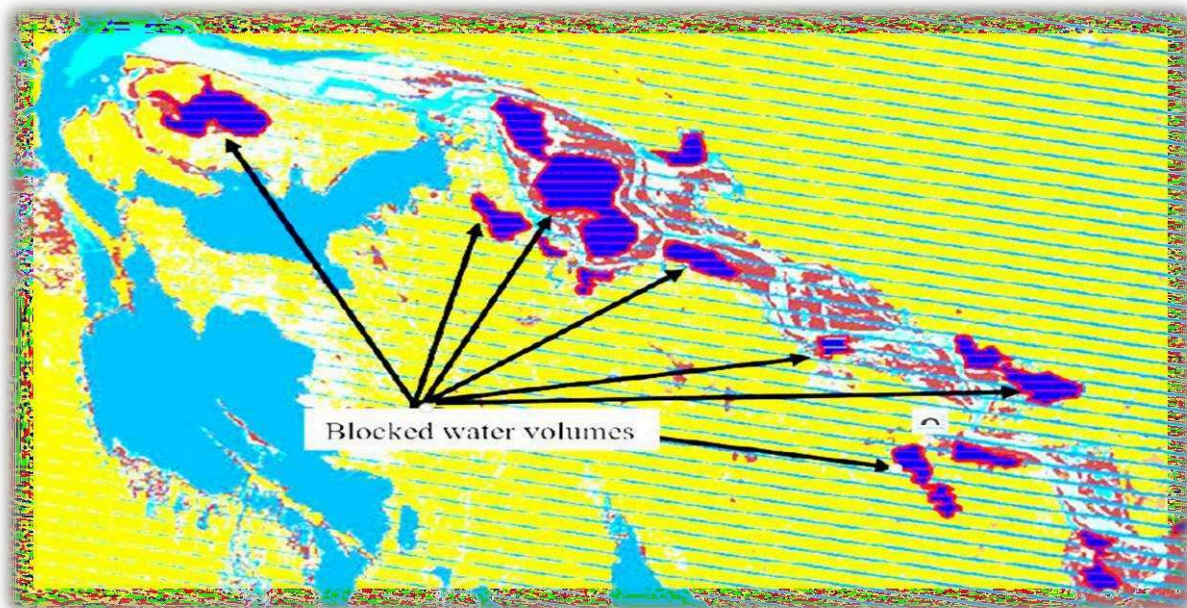


Рисунок 2.9 Результаты ГИС модели, по которым определены зоны затонов в чаше водохранилища

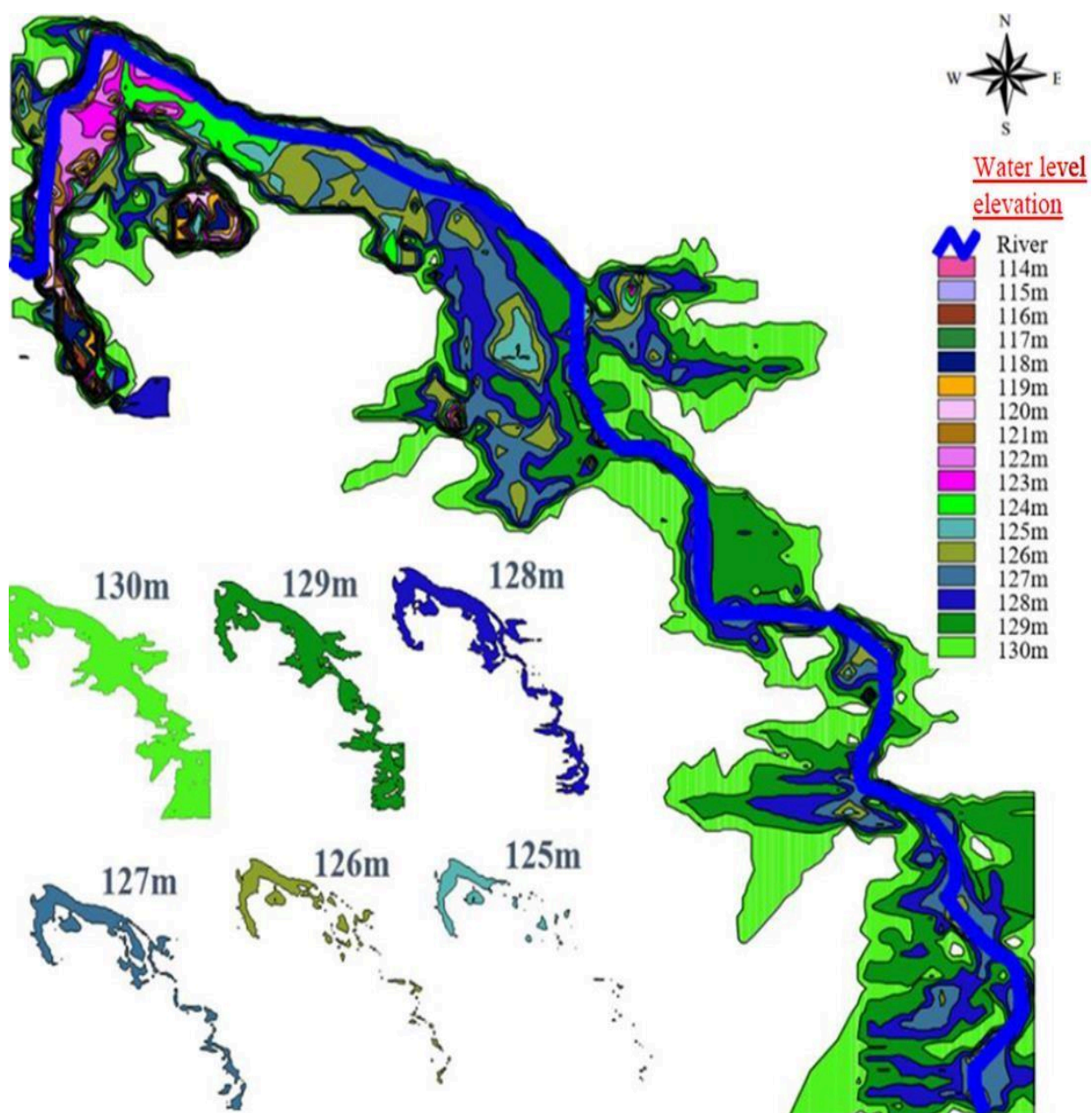


Рисунок 2.10 ГИС модель Руслового водохранилища

Elevation, m	130	129	128	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117	116	115	114	113	112
Design capacity	2340	1950	1640	1380	1130	930	740	570	450	340	250	200	130	110	80	50	30	10	5
BMC	1287	994	746	539	372	263	188	129	87	58	36	20	9	3	1,6	0,5	0,1		
GIS Model	1264	944,7	718,4	512,2	333,4	241,9	158,6	122,5	72,6	56,1	35,2	19,4	8,5	2,8	1,2	0,5	0,1	0	0

2.2 Оценка влияния заиления и его роста на распределение водных ресурсов для энергетических и ирригационных нужд Узбекистана и Туркменистана.

В настоящее время Узбекистан и Туркменистан не могут в полной мере использовать водные ресурсы реки Амударьи для покрытия своих ирригационных и энергетических потребностей из-за заиления и потери ёмкости водохранилищ ТМГУ, в особенности Руслового водохранилища.

Узбекистан. Туямуюнский гидроузел поставляет водные ресурсы для полива орошаемых земель в Хорезмской области и Каракалпакстане, осуществляется производство 450 млн. кВт/ч в год электрической энергии, подается питьевая вода в Ургенч и Нукус. Из реки Амударьи через ТМГУ орошается около 530 тыс. га земель в Республике Каракалпакстан, модуль стока 0,08-0,1 л/сек/га, отток с одного гектара составляет 2,5-3,0 тыс.м³. Орошаемая площадь Хорезмской области составляет 255-260 тыс. га. В маловодные годы водоподача колеблется в пределах 2,0-3,5км³, из которых 70% приходится на вегетационный период.

Туркменистан. Земли Дашогузского велоята орошаются в основном из Туркмендарьи с водозабором из ТМГУ и системы канала Ханяб в нижнем течении. Туркмендарья, с пропускной способностью 210-230м³/с, обеспечивает водой земли пяти регионов Дашогузского велоята: Акдепе, С. Ниязов, Гороглы, Гурбансолтан Эдже и Рухыбелент. Орошаемая площадь из вод Амударьи в Дашогузском велояте 340 тыс.га, в т.ч. из оросительной системы Туркмендарья - 180 тыс. га. В связи с заилением и уменьшением пропускной способности ранее существующей оросительной сети и нехваткой воды идёт реконструкция оросительных систем, где проектом предусмотрено очистка и переустройство оросительных систем для более надёжного водоснабжения 425 тыс. га.

Изменение стока реки Амударьи имеет циклический характер, т.е. маловодные и многоводные годы повторялись через каждые 5-7 лет. Однако, как следствие изменения климата, цикличность маловодья сократилась и теперь происходит через каждые 3-4 года: 2000-2001 годы (подряд 2 года), 2008, 2011, 2014, 2018 и 2021 годы, что создает острые проблемы в удовлетворении потребности секторов экономики в водных ресурсах, особенно сельского хозяйства, где потребляется до 90% водных ресурсов, и сокращение водоподачи для данного сектора угрожает продовольственной безопасности страны.

В результате глобального потепления климата и последующего сокращения площади ледников располагаемые водные ресурсы Центральной Азии сократились на 25-30%. По прогнозам ожидается дальнейшее повышение температуры, что приведет к сокращению площади ледников до 40% и более. По предварительным расчетам ученых до 2050 года ожидается снижение притока к реке Амударья на 15-20%.

Негативное влияние заиления. Сокращение полезного объема Руслового водохранилища ТМГУ из-за заиления приводит к ухудшению обеспеченности водными ресурсами Узбекистана и Туркменистана. При проектировании подвешенные площади к ТМГУ со стороны двух государств составляли 960 тыс. га. Сокращение ёмкости Руслового водохранилища на 1477 млн. м³ приводит к значительному снижению эксплуатационной мощности Туямуюнского гидроузла:

- ухудшатся возможности своевременного и гарантированного заполнения трех наливных водохранилищ: Капарас, Султансанджар, Кошбулак;
- начинается процесс интенсивного заиления трех наливных водохранилищ и сокращение их полезных объемов;
- ухудшится качество воды Капарасского водохранилища, которое используется в основном для питьевых целей;
- ухудшится водообеспеченность орошаемых площадей в низовьях реки Амударья, подвешенных к ТМГУ, произойдет сокращение орошаемых земель на 76690 га по состоянию заиленности Руслового водохранилища в настоящее время, без учета воздействия на эксплуатационные мощности и функционирование трех наливных водохранилищ;
- ухудшатся возможности регулирования стока реки Амударья, который колеблется в пределах 35-75 км³, включая пропуск паводков и их последствий;
- снизится мощность ГЭС, произойдет сокращение выработки электрической энергии.

Расчет годовых экономических потерь за счет потери ёмкости Руслового водохранилища (воздействие на 3 наливные водохранилища ТМГУ не учтены):

А) ИРРИГАЦИЯ - площадь с нехваткой воды – 76690 га;

- Хлопок: i) 2021 год - всего хлопок-сырец 3,4 млн.т; с 1 га потери (хлопок) 1-1,5 тонн; всего волокно - 25307,7 т (с 1т сырца-330 кг, цена фунт волокна – 1.05 USD в 2021г.2); экономические потери - 59,051 млн. USD в 2021г.;
- ii) средняя цена за посл.10 лет (1 фунт - 0,65 USD); экономические потери - 36,556 млн. USD

Рис:

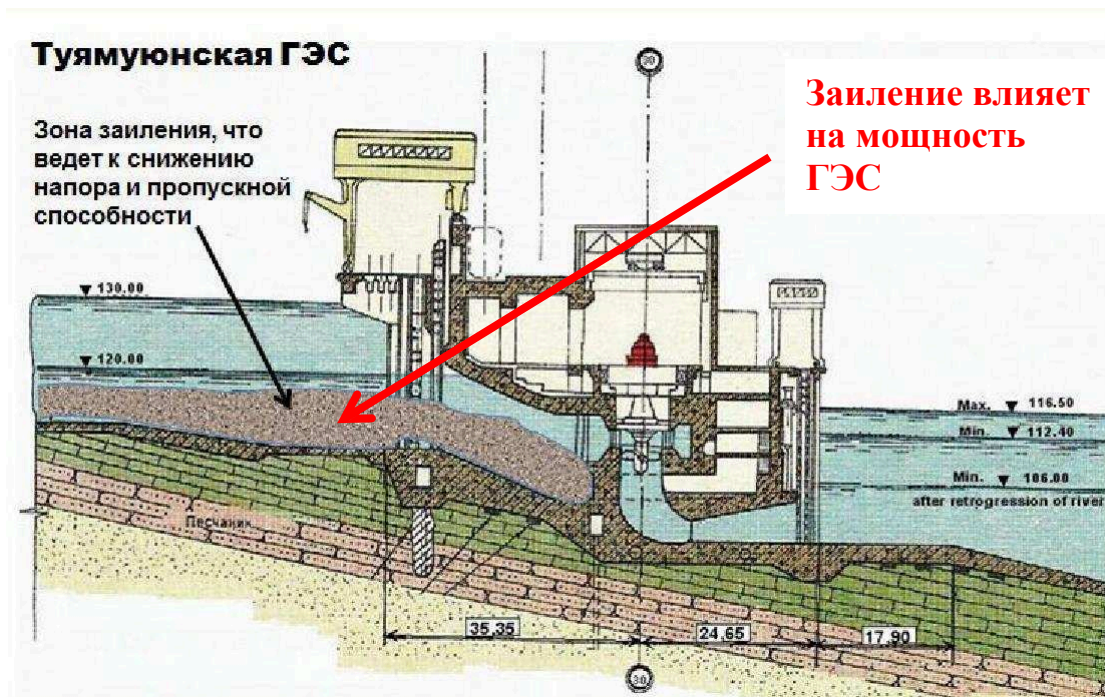
Узбекистан: 2021 год, рис-сырец (шалы): Каракалпакстан- 44000 га и Хорезм - 30000га; валовый сбор всего по плану: 226000 +141091=376091 т. - 330115 USD

Туркменистан: Посевная площадь риса в Дашогузском вилояте - 8100га, Лебапском - 10200га ; Валовый сбор: 35000 + 47400 = 82400т – 271096 USD
Экономические потери всего по рису: 601211 USD

Б) ЭНЕРГЕТИКА – финансовые потери ~ от 5,5 до 16 млн. USD в год в зависимости от водности года с учетом заиливания полезной ёмкости Руслового водохранилища; Мощность Туямунойской ГЭС-150 МВт, проектная выработка энергии – 830 млн кВт час в год; 6 агрегатов по 25 МВт; расчетный напор 16,4 м; требуемый расход 179 м3/с.

Год	Приток, м3/с	Объем, млн м3	Отметка, м	Рабочий напор, м	Факт. выработка, млн кВт час	%	Экономич. потери, Млн. USD
2016	692,62	21,842	123,8	7,8	443,404	44,34	8,04
2017	1067,25	33,657	126,5	10,5	604,173	60,42	5,43
2018	569,33	17,954	121,2	5,2	136,331	13,63	15,07
2019	948,75	29,920	126,9	10,9	571,695	57,17	7,00
2020	644,08	20,312	122,4	6,4	213,371	21,34	14,89
2021	412,80	13,020	122,2	6,2	151,000	15,10	16,26

*Один киловатт-час в Узбекистане стоит \$ 0,018-0,027 (2016-2020 год)



2.3 Построение на 50 лет вперед ожидаемую динамику потери емкости Руслового водохранилища

Прогнозные расчеты заиления Руслового водохранилища были выполнены по фактическому режиму его работы и по предлагаемому режиму эксплуатации с учетом водности расчетного года. Режим работы принят для средневодного, маловодного и многоводного годов. При расчетах полезный объем Руслового водохранилища при НПУ = 130 м принят 1427 млн м³ (1995 год). Данный объем был принят за начальную точку отсчета для определения в дальнейшем величины изменения полезной емкости в зависимости от принятого режима работы водохранилища.

Объем устойчивого русла на участке верхнего бьефа был определен по методу В.А. Скрыльникова и составил $W_p = Q_{\text{ср. пав}} / V_p \cdot L_p = 165 \text{ млн. м}^3$, где $Q_{\text{ср. пав}} = 1800 \text{ м}^3/\text{с}$ - среднееголетний расход воды за паводковый период; $V_p = 1,0 \div 1,2 \text{ м/с}$ - скорость бытового русла для условий р. Амударьи; $L_p = 110 \text{ км}$ - длина верхнего бьефа с учетом дополнительного подпора.

При принятом для данного участка реки уклоне бытового русла $i=0,00018$, гидравлические элементы устойчивого русла составили $B_p = 600 \text{ м}$, $H_p = 2,5 \text{ м}$. Согласно разработкам, когда полезная емкость водохранилища становится равной величине $8,33W_p$ то в Русловом водохранилище идет вторая стадия заиления. В данном случае $8,33 \cdot 165 = 1374 \approx 1400 \text{ млн. м}^3$, поэтому расчеты проводились с учетом этого фактора. Исходная отметка

суммы отложений наносов в водохранилище принята равной $\Sigma_{отл} = 124,83$ м, которая определена по кривой проектных объемов Руслового водохранилища.

С целью определения влияния уровенных режимов работы водохранилища на скорость заиления чаши, были проведены дополнительные прогнозные расчеты для двух вариантов. В первом варианте - с учетом *фактического уровенного режима работы в водохранилища*. Во втором варианте, при сохранении исходных данных, использовался *предлагаемый режим работы водохранилища*, разработанная для средневодного года.

При расчете объемов отложений наносов, поступивших с речным потоком в водохранилище, выполненных для реальных лет, были использованы величины стока реки и средневзвешенные значения мутностей потока по данным гидропоста Дарганата. При расчете предлагаемых режимов, значение величины стока реки приняты как средние, соответственно для многоводных, средневодных и маловодных лет.

Во всех расчетах объемов отложений наносов введен коэффициент осветления воды в водохранилище, зависящий от отметки уровня воды в водохранилище на расчетный период времени - $\varepsilon = F(W_p/W_n)$.

Так как для водохранилищ характерен переменный уровенный режим, то при расчете объемов заиления возникает необходимость учета параметров водохранилища, соответствующих различным уровням его наполнения или сработки. При прогнозировании объемов и сроков заиления водохранилища, а также проведения контрольных расчетов, в случае отсутствия натурных измерений, объем водохранилища при расчетном уровне определяется по формуле:

$$W_n = \frac{W_p W_{рн} (\nabla_{НУ} - \nabla_{совм})}{W_p (\nabla_{НПУ} - \nabla_{совм})}$$

$W_{рн}$ - объем русловой емкости, определяется по кривой $W=f(H)$.

Во время эксплуатации водохранилища, уровенный режим меняется, и следовательно, меняются условия влияющие на процесс заиления водохранилища. По диапазону изменения отношения русловой емкости $W_{рн}$ к соответствующей емкости водохранилища W_n можно судить о процессах, происходящих в верхнем бьефе. Так при отношении $W_{рн}/W_n \leq 0,12$ в водохранилище наблюдается отложение всех наносов, поступивших с потоком. В диапазоне от 0,12 до 1,0 происходит стадия заиления с различной интенсивностью. Когда отношение объемов становится равным 1,0, то идет

транспортирование взвешенных, а при превышении 1,0 размыв и транспорт отложившихся наносов в нижний бьеф.

Расчет прогноза заиления выполняется с учетом стадии его заиления на момент исходного расчетного времени и фактически принятого или рекомендуемого режима работы водохранилища в условиях разной водности года. Предлагаемая методика позволяет выполнить прогноз заиления водохранилища на длительный срок с учетом данных гидрологического режима Амударьи в створе гидроузла для различных режимов эксплуатации ТМГУ с целью повышения эффективности использования Русловой емкости и снижения интенсивности ее заиления.

Для оценки точности расчетов по модели заиления емкости Руслового водохранилища произведено сравнение расчетных и фактических данных по заилению за десять лет. Сравнение расчетных данных с результатами натурных измерений говорит о достаточно хорошей их сходимости, что позволяет использовать предлагаемую методику для прогнозных расчетов.

Анализ результатов расчета заиления Руслового водохранилища по предлагаемой методике, выполненный по фактическому режиму работы водохранилища (I вариант) и по предлагаемому варианту режима (II вариант) показал следующее:

При работе водохранилища на уровнях зафиксированных фактически в период 1995-2003 гг. в диапазонах от отметки 124 м до 130 м наблюдается значительное заиление водохранилища. В 1996 году (средневодный) и в 1998 г. (многоводный) объемы заиления достигли соответственно 51 млн.м³ и 151 млн.м³. В 2002 г. (средневодный) и 2003 г. (многоводный) объемы заиления составили соответственно 83 млн.м³ и 143 млн.м³. Лишь в маловодные годы (1997, 2000, 2001 гг.) наблюдается увеличение полезной емкости водохранилища за счет размыва донных отложений при низких горизонтах воды на 40 млн.м³, 98 млн.м³ и 79 млн.м³ соответственно. Однако, последующий режим работы в 2002 г. и 2003 г. на высоких уровнях вновь способствует снижению полезной емкости на величину $83+143 = 226$ млн.м³. Общая величина объема заиления за расчетные годы (1996-2006) по 1-варианту составила 298 млн.м³, объем размыва - 217 млн.м³.

Сравнение этих результатов расчета с данными объемов отложений и размывов показало о достаточной сходимости результатов расчета с данными натурных измерений. Это подтверждает возможность использования используемой методики для выполнения прогнозных расчетов. Кроме этого методика учитывает возможную смену процессов заиления и размыва,

происходящих в водохранилище при изменении его уровня и гидрологического режимов.

Анализ результатов расчета по предлагаемому режиму показал, что прирост полезной емкости на 81 млн.м³ наблюдается в 1996 году. Однако, величина объема заиления водохранилища равная за расчетный период 189 млн.м³ значительно ниже, чем объем заиления по I варианту (фактический режим) равный 298 млн.м³ за тот же период (Рис.2.11). Преимущество рекомендуемого режима объясняется тем, в период март-июнь месяцы необходимо пропускать поток наиболее нагруженный наносами в нижний бьеф гидроузла при пониженных уровнях воды в водохранилище. Это значительно снижает объемы заиления и способствует частичному размыву донных отложений и выносу их за пределы водохранилища. Такой режим работы позволяет использовать дополнительные емкости, достигающие по расчету до 207 млн.м³.

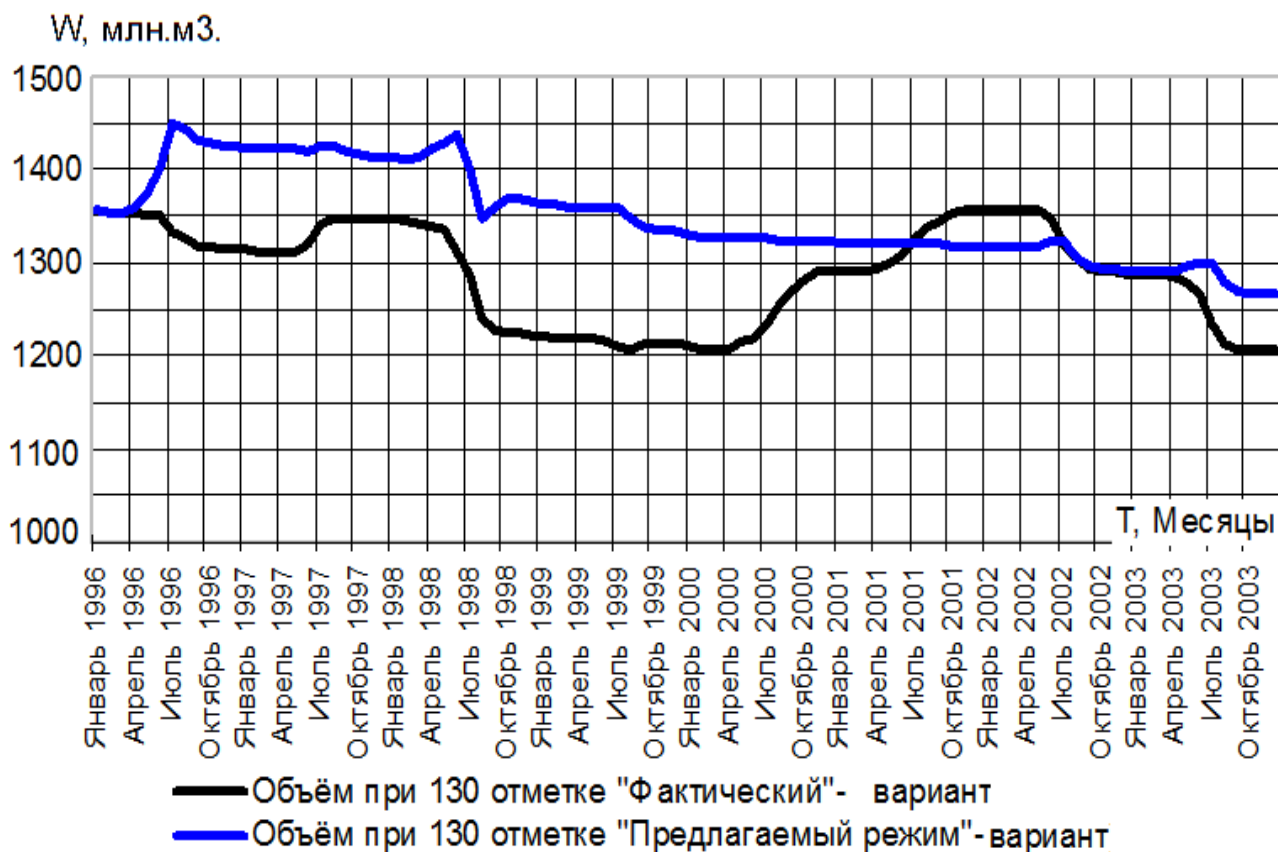


Рисунок 2.11 Изменение полезной емкости Руслового водохранилища по I и II вариантам

При выполнении предварительного прогнозного расчета заиления Руслового водохранилища на длительный период его эксплуатации были выполнены расчеты на период с 1996 г. по 2040 год. Расчеты показали, что

при действующем режиме эксплуатации к 2040 году Русловое водохранилище будет полностью заилено.

Сравнение результатов расчета, проведенных с целью выбора оптимального режима работы Руслового водохранилища показало, что по предложенным режимам интенсивность заиления водохранилища в полтора раза ниже чем при фактическом режиме работы, и стабилизация объема Руслового водохранилища, т.е. наступление устойчивого баланса поступления и выноса наносов из него, наступит при свободной емкости водохранилища 700-750 млн.м³ к ~ 2025 году.

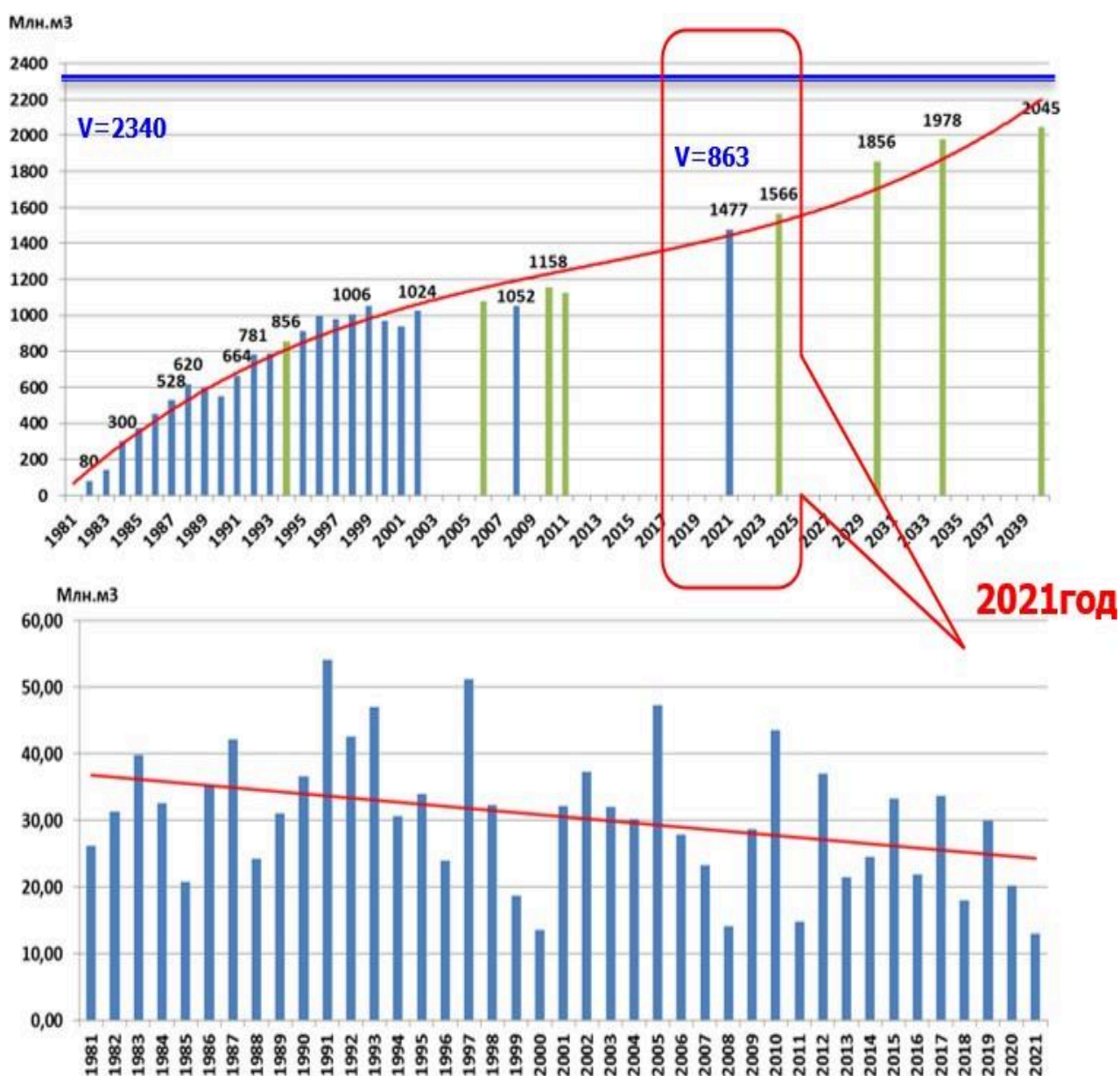


Рис. 2.12 Прогноз динамики заиления Руслового водохранилища при фактическом режиме эксплуатации

2.4 Сравнение и анализ эффективности фактического и рекомендуемого режимов работы Руслового водохранилища

Для оценки эффективности предлагаемого режима работы Руслового водохранилища, возникла необходимость рассмотрения режима работы водохранилищ всего комплекса ТМГУ. В маловодные годы основной задачей режима эксплуатации водохранилищ является максимальное использование имеющихся емкостей для накопления водных ресурсов и рациональное и пропорциональное распределение запасов воды на нужды ирригации в периоды дефицита стока реки. На Рис.2.13 приведены фактический и рекомендуемый режимы работы водохранилищ ТМГУ в маловодный год при объёме годового стока 23 км^3 и график зависимости объемов подачи воды на нужды ирригации в указанном году из водохранилищ гидроузла.

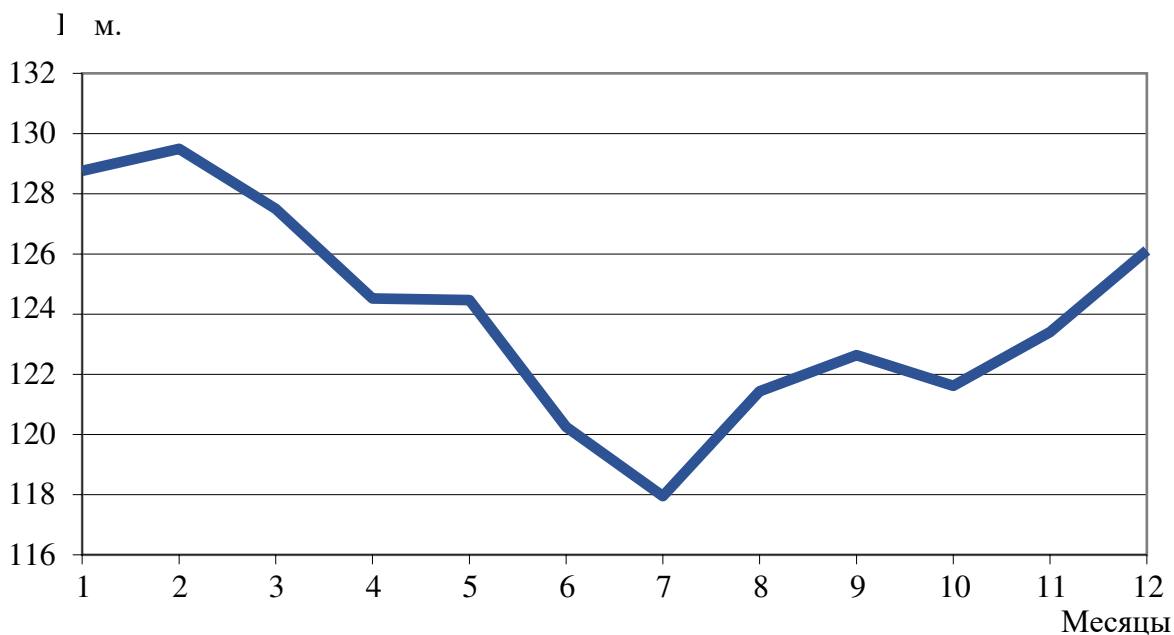
Как видно, фактический режим работы гидроузла не обеспечивает плановое накопление воды в водохранилище необходимого объема воды. Так, при фактическом режиме дефицит на орошение составил $3,2 \text{ км}^3$, а по предлагаемому варианту режима соответственно $1,6 \text{ км}^3$. Таким образом, разработанный режим эксплуатации водохранилища, позволяют определять и в наиболее полной степени использовать его потенциал в повышении водообеспеченности оросительных систем.

Величина водообеспеченности определялась как разность между фактической подачей воды (или по рекомендуемому режиму) и требованием на воду (лимитом), т.е. (Факт-Лимит) или (Рекомендуемый-Лимит). Анализ данных показал, что суммарный объем недоподачи воды в низовья при фактических режимах работы водохранилища превышает по сравнению с рекомендуемым вариантом его работы в маловодные годы. Кроме этого, рекомендуемый вариант работы водохранилища предусматривают заполнение водохранилища Капарас наиболее качественной, пригодной для питьевых целей водой в период июль-август месяцы. В средневодные и многоводные годы не вызывает затруднений создание запасов воды в водохранилище для нужд ирригации.

Необходимо отметить, что предложенный режим работы водохранилища дает возможность выбрать оптимальный режим, позволяющий снизить потери воды на испарение из водохранилища и обеспечить срезку пика паводка, а также предусмотреть сброс в нижний бьеф плотины расходов не превышающих $4000 \text{ м}^3/\text{сек}$, что предотвратит ущерб в

низовьях Амударьи от возможного затопления, снижение процесса заиления Руслового водохранилища и транзит наносов.

а)



б)

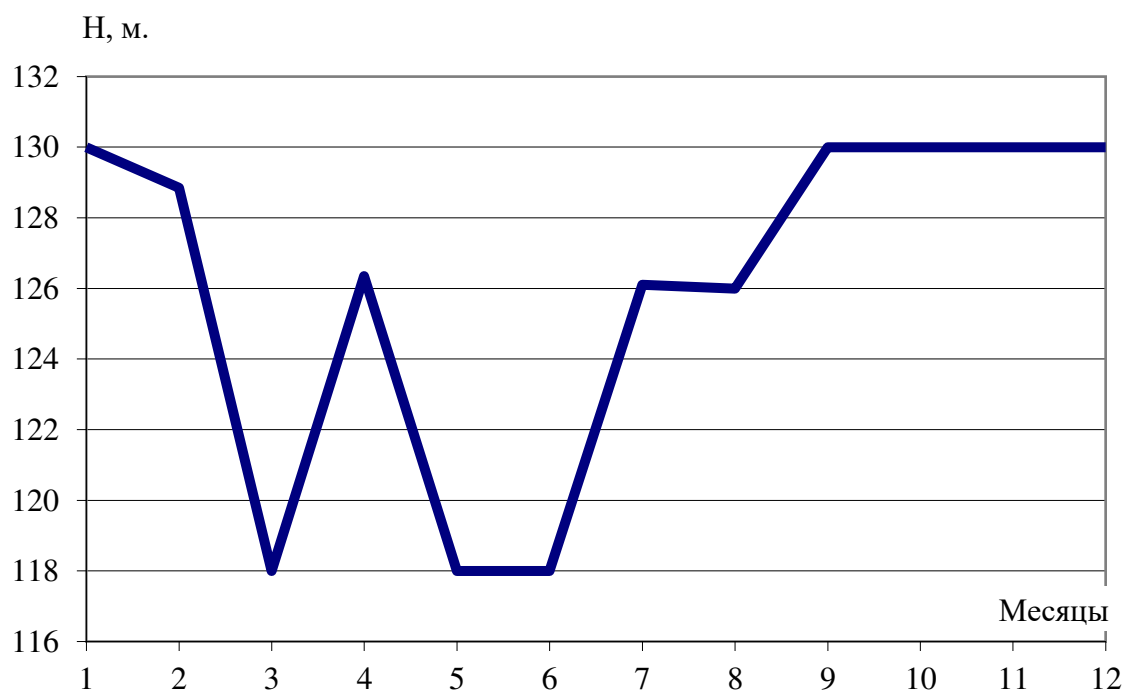
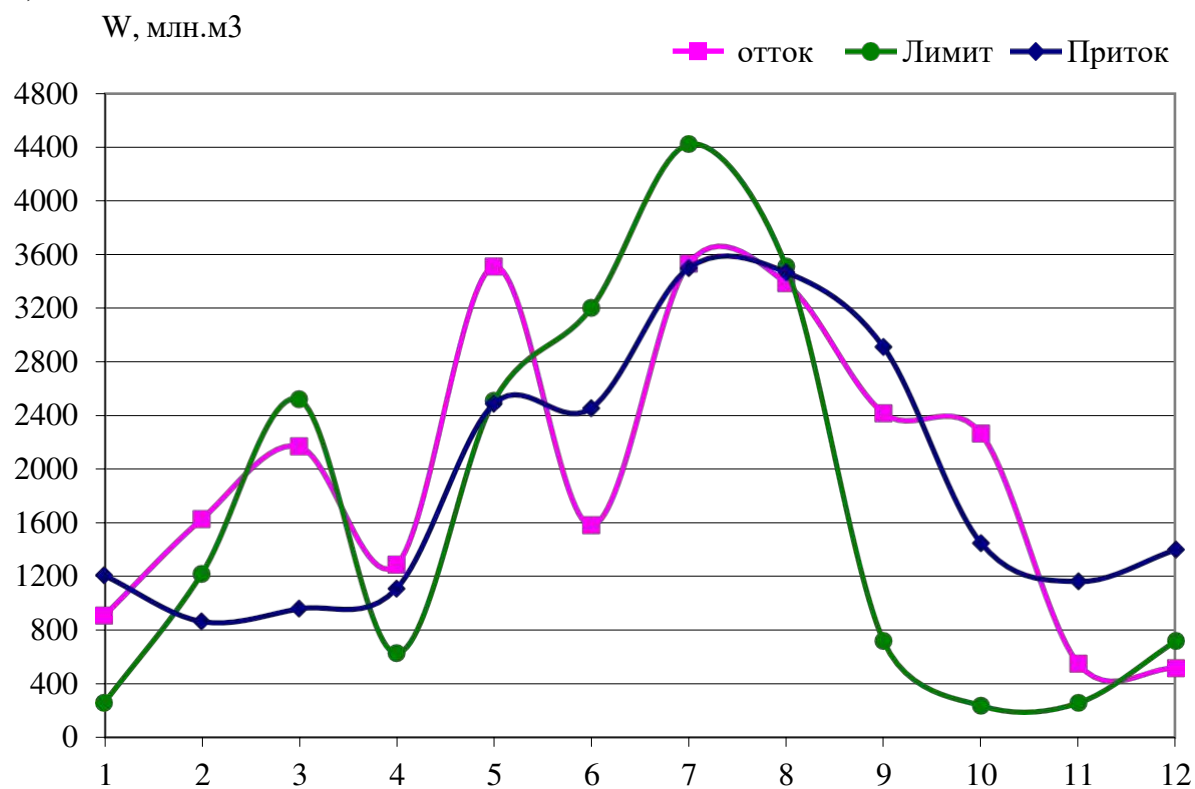


Рисунок 2.13 Фактический (а) и предлагаемый (б) режимы работы Руслового водохранилища в маловодный год

Для сравнения на Рис. 2.14 приведены рекомендуемый вариант работы водохранилища в маловодный год и для наглядности расчетов представлен график зависимости объемов подачи воды на нужды ирригации.

а)



б)

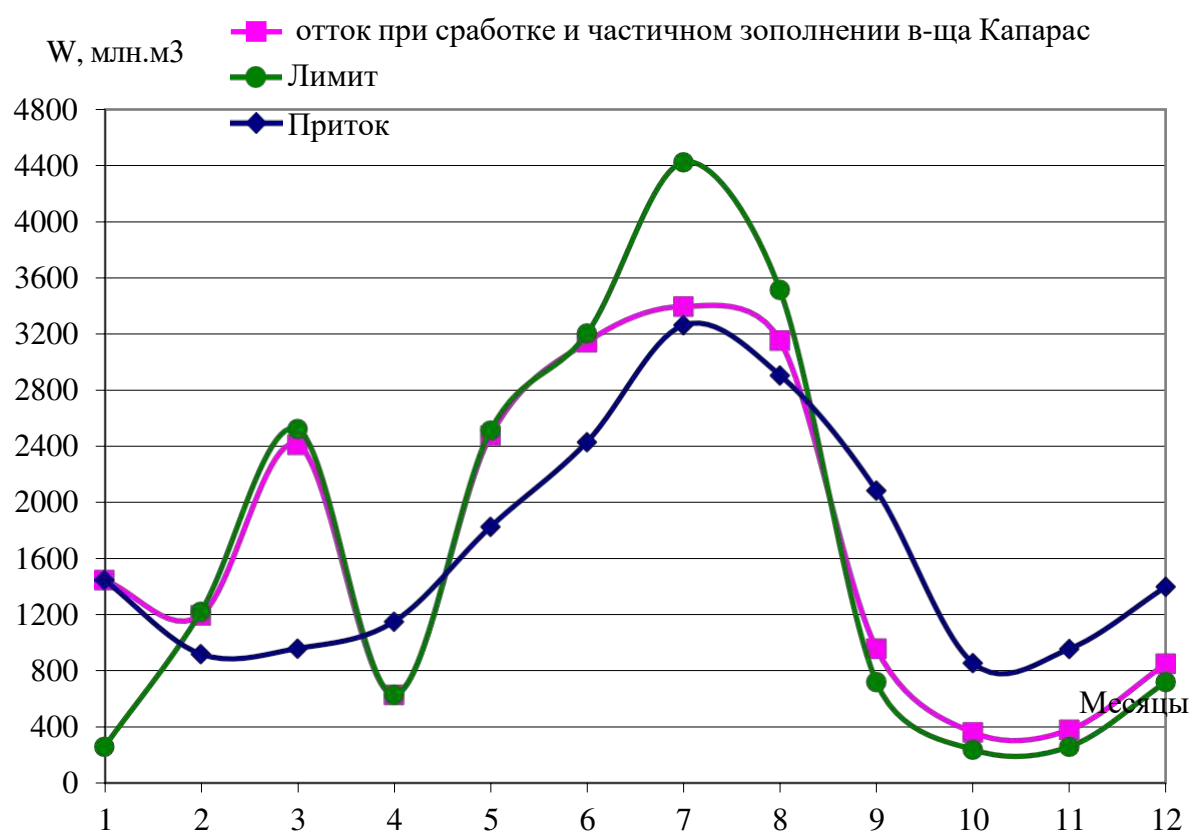


Рисунок 2.14 Режимы подачи воды на нужды ирригации при фактическом (а) и рекомендуемом (б) режимах работы водохранилища в маловодный год

Анализ результатов расчета заиления Руслового водохранилища с учетом водности года показал следующее: при работе водохранилища на уровнях в диапазонах от отметки 124 м до 130 м наблюдается значительное заиление водохранилища. Так, в средневодном и многоводном годах объемы заиления достигают соответственно в среднем 50 млн.м³ и 150 млн.м³. Лишь в маловодные годы наблюдалось увеличение полезной емкости водохранилища за счет размыва донных отложений при низких горизонтах воды от 40 млн.м³ до 98 млн.м³.

Режим работы на высоких уровнях снижает полезную емкость водохранилища. Преимущество рекомендуемого варианта состоит в том, что в период март-июнь месяцы необходимо пропускать в нижний бьеф гидроузла поток наиболее нагруженный наносами. Это значительно снижает объемы заиления и способствует частичному размыву донных отложений и выносу их за пределы водохранилища. Известно, что при определенных режимах работы гидроузла, создаются условия размыва, отложившихся ранее в чаше Руслового водохранилища, наносов. Имеются благоприятные условия для увеличения полезной емкости водохранилища, за счет смыва части донных отложений в нижний бьеф гидроузла.

Эффективность режима эксплуатации водохранилища определяется возможностью обеспечить подачу в нижний бьеф потока, содержащего взвешенные наносы в количестве близком к бытовому. Обеспечить вынос наносов в количествах соответствующих мутности расходов воды для естественных водотоков можно за счет работы Руслового водохранилища в половодье при пониженных уровнях воды перед плотиной. Это позволит пропустить в нижний бьеф транзитом взвешенные наносы, приносимые стоком реки и дополнительно обеспечить сброс размывных донных отложений в чаше водохранилища за счет повышенной проточности.

Такой режим эксплуатации особенно целесообразен для водохранилища, имеющего большой коэффициент водообмена. Такой способ эффективен при быстром снижении уровня воды перед плотиной в целях создания размывающих скоростей и может быть применен в многоводные годы, в основном в сентябре месяце, так как при этом происходит произвольная сработка больших объемов воды для промывки наносов.

Таблица 2.3 Сравнение показателей эффективности при разных режимах работы водохранилища (2006-2017гг.)

Водность года	Режим работы ТМГУ	Нехватка воды, км ³	Размыв наносов, млн.м ³	Объем наносов, поступающих в нижний бьеф, млн м ³	Увеличение емкости, млн м ³
Мало водный	Фактический	6,51-7,42	216.38	319.83	
	Рекомендуемый	4,19-5,4	147.12	122.91	-69.26
Средне водный	Фактический	1,89-0,51	8.17	140.54	
	Рекомендуемый	0,67-0	281.98	412.85	273.81
Много водный	Фактический	0	0	71.12	
	Рекомендуемый	0	206.34	360.47	206.34
ИТОГО	Фактический		224.55	531.49	
	Рекомендуемый		635.44	896.23	410.89

Эффективность от внедрения результатов исследований состоит из следующих показателей:

- водообеспеченность низовьев при рекомендуемом режиме в маловодные годы выше на 2-2.3 км³ (36%), а в средневодные годы на 0,5-0.67 км³ (5-6%) выше чем при фактическом режиме работы ТМГУ;
- в средневодные и многоводные годы размыв чаши Руслового водохранилища больше в пределах 200-280 млн м³, а объем поступающих в нижний бьеф наносов на 250-310 млн м³ больше, чем при фактическом режиме работы гидроузла;
- освободившаяся емкость и сокращение потерь на испарение при рекомендуемом режиме работы может обеспечить низовья реки Амударьи дополнительной 320-400 млн м³ водой, что позволит улучшить орошение 35-47 тыс. га площади.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЗАИЛЕНИЕМ (Задача 3)

3.1 Рекомендации для уменьшения объема заиления Руслового водохранилища: режимы их работы, которые создают возможность максимального транзита поступающего твердого стока

Поступающие в водохранилище наносы распределяются по его дну и формируют грунтовый комплекс отложений. Процесс коренной перестройки подводного рельефа начинается одновременно с наполнением водохранилища. Размыв и переформирование рельефа дна течениями наблюдается у русловых водохранилищ. Размыв в результате волновой и энергетической деятельности обычно происходит на участках акваторий с глубинами не более 8-10 м. Для уменьшения заиления водохранилищ необходимо поддерживать такие режимы их работы, которые создают возможность максимального транзита поступающего твердого стока и размыва отложений, при возможности сбрасывать бьефы до минимально возможной отметки, промывать участки верхнего бьефа водохранилища путем создания благоприятных условий, удалять наносы механическими средствами.

На основе модели по режиму работы водохранилищного гидроузла, включая ГИС моделирование выполнены вариантные расчеты по подбору рациональных режимов работы водохранилищ ТМГУ и произведена оценка эффективности использования стока реки [42, 45, 48, 53, 63, 64]. Ставилась задача подобрать режимы, удовлетворяющие требованиям минимизирующий потери воды в водохранилищах ТМГУ и в русле реки в низовьях. Были учтены водность года по стоку реки, требования ирригационного комплекса нижнего течения – режим работы водохранилищ ТМГУ, урочный режим Руслового водохранилища – режим заиления. Водность года – основной фактор, принятый в качестве лимитирующего приточность к ТМГУ. Расчеты выполнены по трем вариантам водности:

- расчетный маловодный год 90 % обеспеченности,
- средний по водности год 50 % обеспеченности,
- многоводный год 10 % обеспеченности.

Приняты некоторые условия расчета, такие как водопотребление по лимитам в низовьях – 20,2 км³, в том числе в вегетацию – 15 км³, урезка лимитов в маловодные годы на 10...20%, ограничения по полезной емкости

Руслового водохранилища, ограничения по наполнению и сработке водохранилищ. Численно исследованы основные функции ТМГУ: сезонное регулирование стока реки в интересах ирригации, особо в маловодные дефицитные годы, регулирование паводков в многоводные годы.

Для моделирования режима работы Руслового водохранилища пришлось учитывать наливные водохранилища ТМГУ, и были приняты следующие исходные данные (приложение 2):

i - расчетные месяцы,

Q_i – сток реки,

Q_i^L - установленный лимит водоподачи.

При этом, полная емкость $W_{пол}$ при $\nabla_{НПУ}$ принята по модели заиления. Объем водохранилища при минимальной отметке также определяется по модели заиления водохранилища по зависимости $W_{min} = f(\nabla_{min})$. Полезная емкость Руслового водохранилища принималась равной

$$W_{пз}^P = W_{пол}^P - W_{min}^P \quad (3.1)$$

Алгоритм расчета составлен следующим образом:

1. Полезная емкость всех водохранилищ определялась по формуле

$$W_e = W_{п} - W_{т} \quad (3.2)$$

2. Суммарный объем запаса на покрытие дефицитов со 2-го по 6-й месяцы

$$W_{з}^{II} = W_{нач}^{R} + Q_{IV}^{изб} - W_{з}^1 \quad (3.3)$$

3. Превышение объема речного стока над объемом лимита за соответствующий расчетный период равно

$$Q_i^{изб} = Q_i - Q_i^L \geq 0 \quad (3.5)$$

4. Сумма избытков речного стока за IX-XII месяцы

$$\sum Q_{IX-XII}^{изб} = Q_{IX}^{изб} + Q_X^{изб} + Q_{XI}^{изб} + Q_{XII}^{изб} = \sum 20_{IX-XII} \quad (3.6)$$

5. Отношение избытков в каждом из 4-х рассматриваемых месяцев к сумме избытков за этот же период равен

$$\alpha_i = \frac{Q_i^{изб}}{\sum Q_{IX-XII}^{изб}}, \quad (3.7)$$

6. Объем отбора стока реки на заполнение водохранилищ в IX-XII месяцах

$$W_i^{отб} = (W_{IX-XII}^{изб} - W_{нач}^P) \alpha_i \quad (3.8)$$

Объемы дефицита речного стока за расчетные периоды со II по VI месяцы принимается

$$W_i^{деф} = Q_i - Q_i^L < 0 \quad (3.9)$$

а значение со VII по XII месяцы равно $W_i^{деф} = 0$

7. Суммарный объем дефицита речного стока в период со II по VI месяцы

$$\sum W_{II-VI \text{ деф}} = \sum W_{i \rightarrow II \div VI}^{\text{деф}} \quad (3.10)$$

8. Доля дефицитов стока в расчетные периоды со II по VI месяцы

$$\beta_i = \frac{W_i^{\text{деф}}}{\sum W_{II-VI}^{\text{деф}}} \quad (3.11)$$

9. Объемы покрытия дефицитов стока за счет запасов воды в водохранилище и избытка притока в период со II по VI месяцы с учетом потерь на испарение:

$$W_i^\beta = \beta_i W_i^{\text{II}} \quad (3.12)$$

10. Отметка уровня воды в водохранилище на начало месяца H^R рассчитываются по кривой объемов, определяемой на модели заиливания водохранилища.

11. Площадь зеркала водной поверхности водохранилища на начало месяца, определяется по формуле:

$$F_i^R = \frac{W_{II} W_{ph} (\nabla H_{\text{НУ}} - \nabla \text{совм})}{W_p (\nabla H_{\text{ПУ}} - \nabla \text{совм})} + \frac{W_{ph} (\nabla \sum \text{отл} - \nabla H_{\text{НУ}})}{\nabla \sum \text{отл} - \nabla \text{совм}} - \frac{W_{II} W_{p(h-0.1)} [(\nabla H_{\text{НУ}} - 0.1) - \nabla \text{совм}]}{\nabla H_{\text{ПУ}} - \nabla \text{совм}} + \frac{W_{p(h-0.1)} [\nabla \sum \text{отл} - (\nabla H_{\text{НУ}} - 0.1)]}{\nabla \sum \text{отл} - \nabla \text{совм}} : 0,1 W_p \quad (3.14)$$

12. Объем испарения из водохранилища

$$W_{\mu_i}^R = \mu_i F_i^R \quad (3.15)$$

здесь μ_i - слой испарения с водной поверхности по данным гидрометслужбы

13. Свободная емкость водохранилища:

$$W_{\text{св}i}^R = W_i^R - W_{\text{нач}}^R - W_{\mu_i}^R \quad (3.16)$$

14. Объем сработки водохранилища равен:

$$W_{\text{ср}i}^R = D^R (W_i^\beta - W_{\text{ср}i}^R) + W_i^R \quad (3.17)$$

15. Объем наполнения водохранилища:

$$W_{\text{нач}VII}^P = W_{\nabla 125}^P + W_{\mu VIII}^P ; W_{\text{нач}VIII}^P = W_{\mu VIII}^P ; W_{\text{нач}II+VI}^P = Q_I^{\text{изб}} - W_{\mu I}^P$$

При этом, если $W_{\text{отб}}^I = W_i^P - W_{\text{нач}}^I$ то $W_{\text{отб}}^I = W_i^P - W_{\text{нач}}^I$

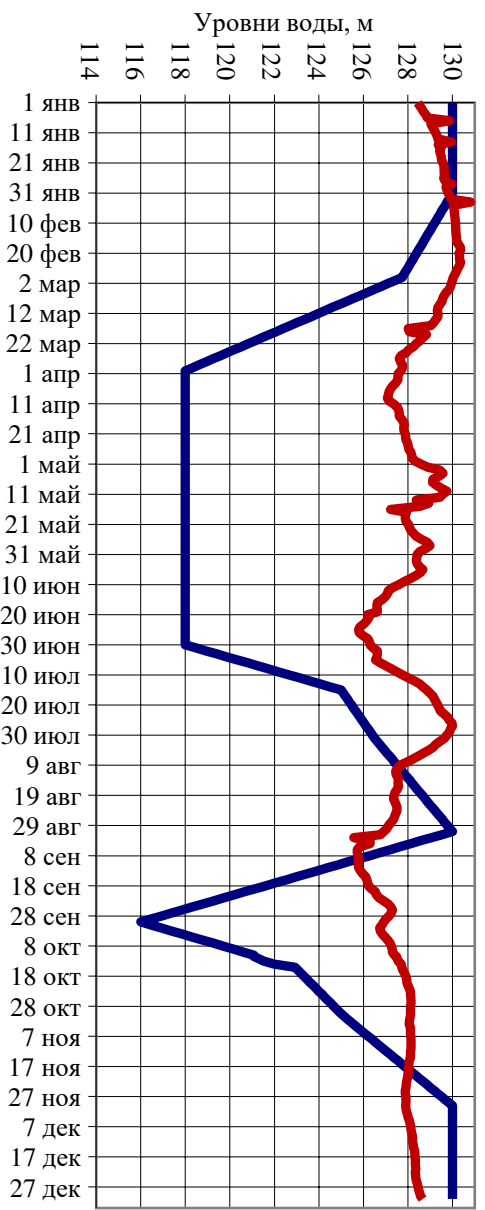
Если $W_{\text{отб}}^I < W_i^P - W_{\text{нач}}^I$ то $W_{\text{отб}}^I = W_{\text{отб}}^I$

16. Объем оттока определяется по формуле:

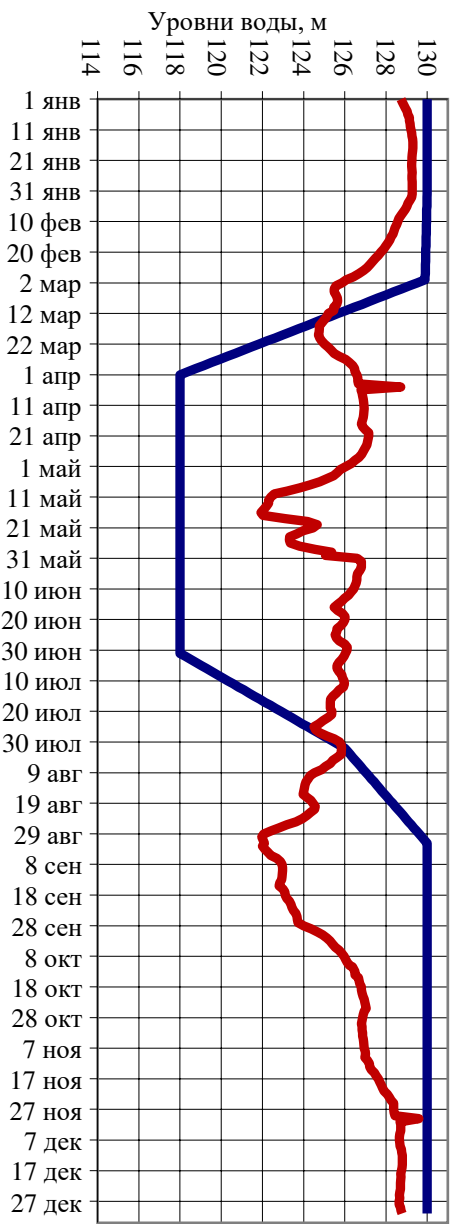
$$\sum W_{\text{от}} = W_{\text{ирек}} + \sum W_{\text{иср}} - \sum W_{\text{инапол}} \quad (3.18)$$

Результаты расчета режима работы комплекса водохранилищ по предлагаемой методике приведены в Приложении 3 и в графическом виде (Рис. 3.1).

а)



б)



в)

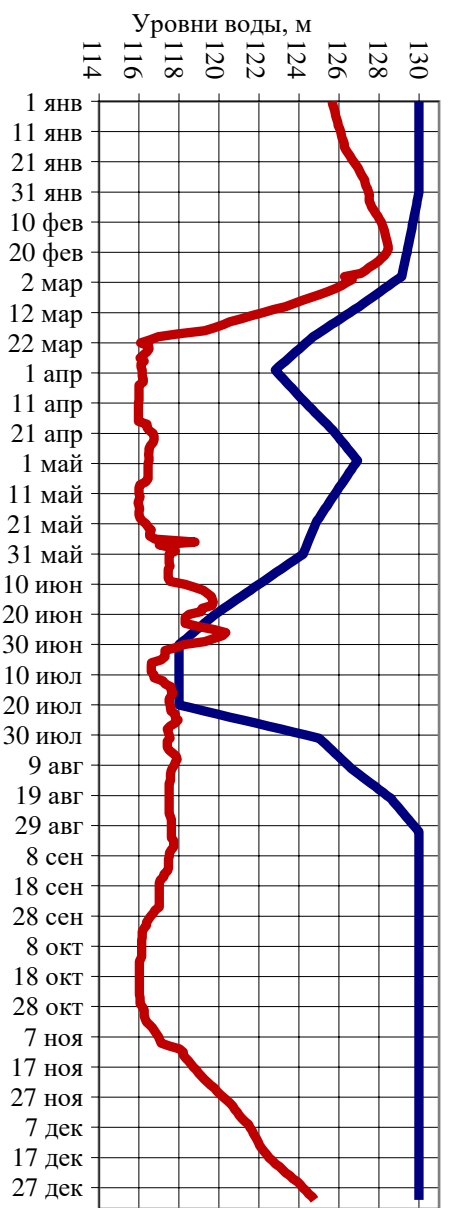


Рис. 3.1 Сравнение работы Руслowego водохранилища по фактическим и рекомендуемым вариантам режимов для различных по водности годов:

а-многоводный, б-средневодный и в-маловодный годы

— рекомендуемый, — фактический

Разработанные режимы эксплуатации водохранилищ, позволяют в наиболее полной степени использовать их потенциал в повышении водообеспеченности оросительных систем. В зависимости от режима работы в средневодный год объемы размыва чаши водохранилища составили 10-12 млн.м³, объем осаднения 24-26 млн.м³ (приложение 3). В оптимизированном рекомендуемом режиме работы Руслового водохранилища в средневодный год по расчетам объем размыва составил более 25-30 млн.м³, объем осаднения 15-17 млн.м³ (Рис.3.2). Притом, во втором варианте процесс осаднения наблюдался с августа по март следующего года, т.е. осенне-зимне-весенний период в небольшом количестве от 1,5 до 3,8 (август) млн.м³ в месяц.

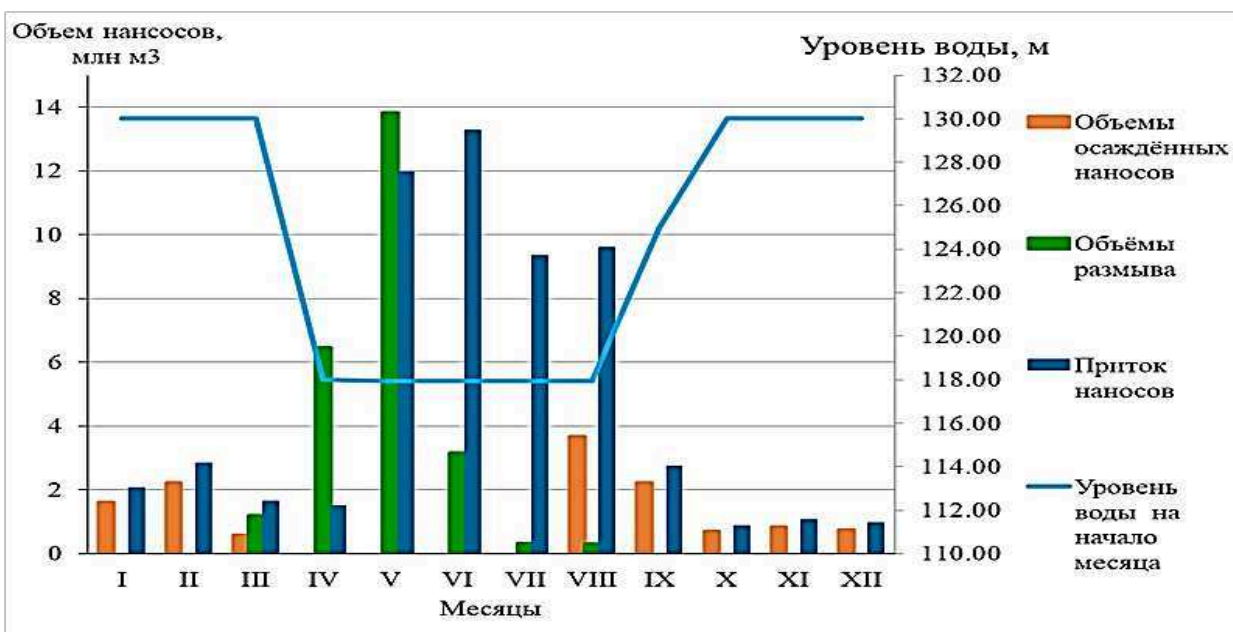
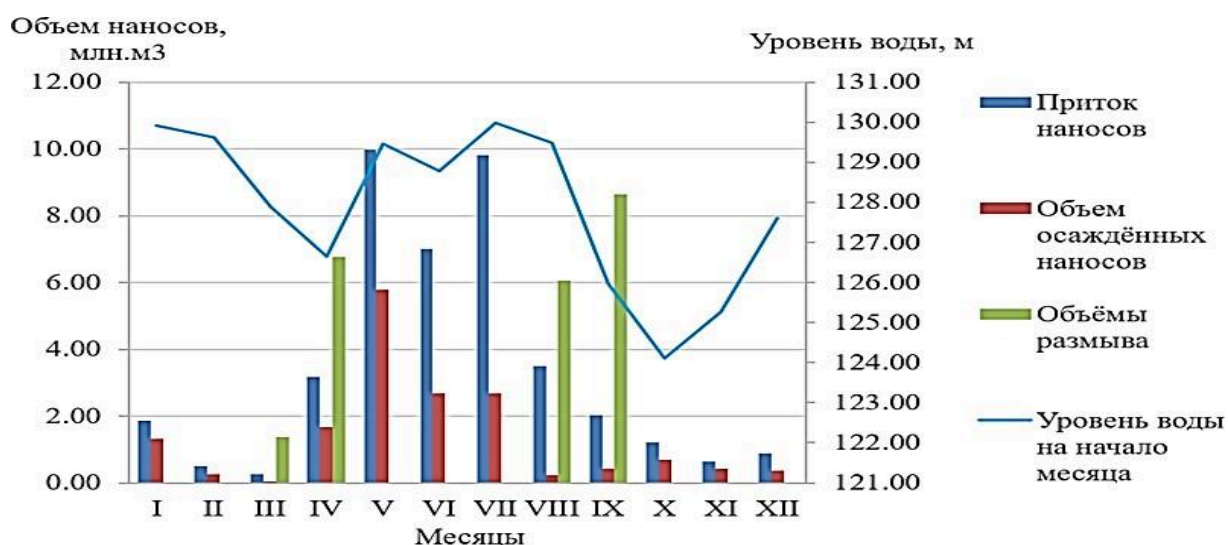


Рисунок 3.2 Сравнение показателей притока и оттока наносов в зависимости от уровня режима водохранилища

Анализ сравнения фактического и рекомендуемого режимов работы водохранилищ позволяет сделать следующие рекомендации:

1. Водохранилища Тюямуюнского гидроузла, предназначенные для сезонного регулирования стока должны срабатываться и наполняться до полного объема ежегодно независимо от водности года, даже за счет урезки лимитов воды в маловодные годы. В любые по водности годы (исключая особо маловодные) избытки стока в низовье постоянно имеют место в октябре-январе и достаточны для заполнения водохранилищ в календарном году.
2. Русловое водохранилище является емкостью, через которое проходит весь сток реки Амударьи и обеспечивается заполнение наливных водохранилищ. Запасы воды из этой емкости должны использоваться в феврале-марте для промывки орошаемых земель и влагозарядки. В апреле-июне оно должно эксплуатироваться в безнапорном режиме на отметках близких к ГМО, т.е. 118-120 м. Благодаря этому уменьшается интенсивность заиливания верхнего бьефа гидроузла и, главное, снижаются потери воды на фильтрацию и на испарение воды в Русловом водохранилище. Далее в июле-августе Русловое водохранилище должно быть заполнено до 125-130 м для обеспечения наполнения Капараса, а в последующий период сентябрь-январь – для заполнения Султансанджара и Кошбулака.
3. В многоводные годы рекомендуется эксплуатация Руслового водохранилища на пониженных отметках уровня воды, при которых увеличивается количество размываемых и транспортируемых наносов в нижний бьеф гидроузла и снижается интенсивность заиливания чаши водохранилища, а также потери воды на испарение и фильтрацию.
4. Использование схемы регулирования стока реки с обязательной сработкой уровня воды в Русловом водохранилище в период апрель-июнь, а в многоводные годы дополнительно в сентябре месяце, до минимально возможных отметок, способствует не только снижению объемов отложений наносов в чаше водохранилища, но и снижению интенсивности формирования дополнительной кривой подпора в зоне ее выклинивания объемов потерь на испарение и фильтрацию, а также способствует размыву и выносу из водохранилища донных отложений, обеспечивающих поступление на орошаемые земли плодородного амударьинского ила.
5. Заполнять водохранилище Капарас, который используется для создания запасов качественной питьевой воды, и для чего необходимо ежегодное обновление запасов воды в Капарасе в период вегетации в июле-августе,

необходимо только после заполнения Руслового водохранилища до отметки 125,0 м – 125,5 м.

6. Заполняемые из Руслового водохранилища Султансанджар и Кошбулак, используемые для компенсации ирригационной части реки, должно осуществляться в сентябре-феврале, а далее поддерживать режим на отметках близких к НПУ.

Рекомендуемые варианты режимов работы Руслового водохранилища ТМГУ в средневодные и многоводные годы увеличивают количество наносов, поступающих в нижний бьеф и стабилизируют уровни воды в низовье, способствуют повышению дна русла реки на участке Тюямуюн-Бируни. При принятии дополнительных мер, способствующих увеличению объемов размыва донных отложений в Русловом водохранилище, эффективность предлагаемых режимов работы водохранилищ значительно увеличится.

3.2 Рекомендации по гидравлическим и гидромеханизированным работам по намыву песка для укрепления берегов

3.2.1 Метод гидравлической промывки наносов

Эффективными способами удаления отложившихся наносов являются промывки водохранилища с регулированием мутности промывного потока. Выбор способа промыва определяется технико-экономическим анализом, возможностями энергосистемы, требованиями водопользователей и другими местными факторами. **Гидравлическая промывка** отложившихся на дне наносов сосредоточенным расходом воды при низких уровнях воды в водохранилище с дальнейшим пропуском потока через сбросные и донные промывные галереи является наиболее распространенным способом очистки от наносов. Для этого, необходимо **сначала очистить заполненные и уплотненные за много лет наносами донные отверстия в бетонной плотине ТМГУ механическим способом**. Сосредоточенный поток воды размывает грунт только вдоль пути своего перемещения, образуя узкое глубокое русло на дне водохранилища. В дальнейшем нужно будет регулировать данное русло по направлениям с помощью **мобильных дамб**.

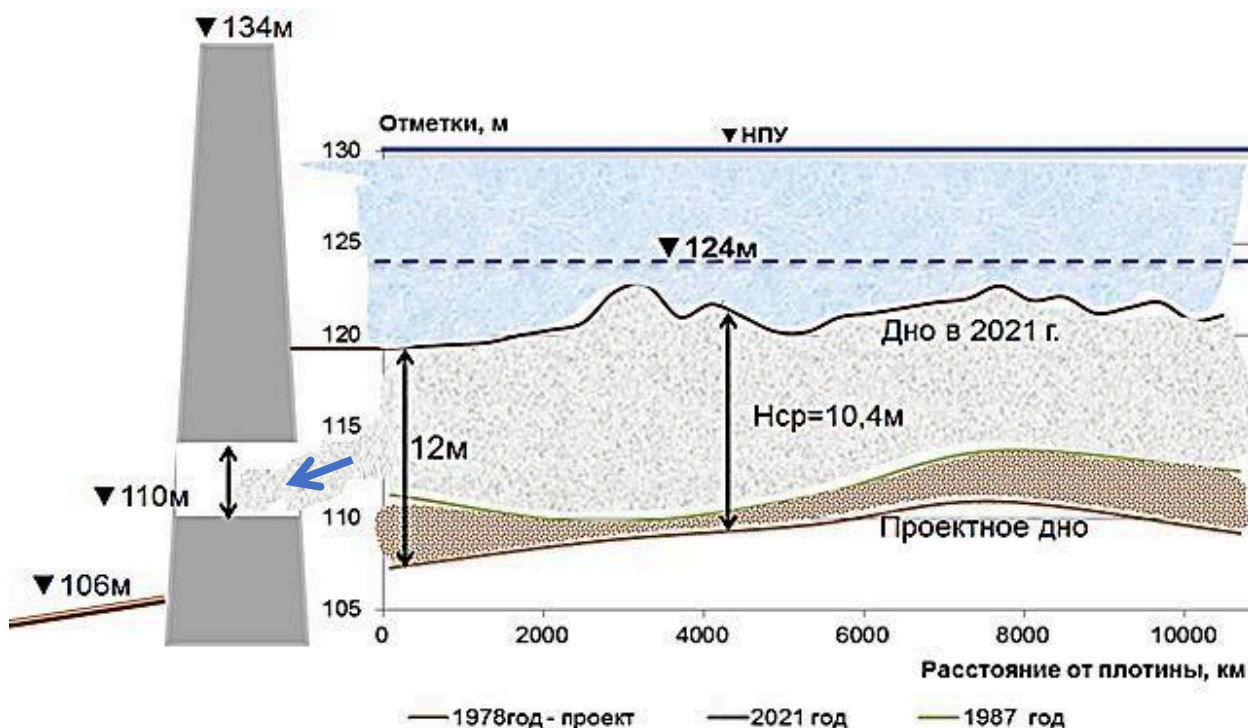


Рисунок 3.3 Слои отложений у плотины за период эксплуатации

Промыв гидроэнергией потока в Русловом водохранилище можно выполнить в зависимости от морфологических характеристик и размеров рельефа «мелким» и «глубоким» способами, с регулированием мутности промывного потока. Выбор способа промыва определяется **технико-экономическим расчетом**, возможностями энергосистемы (есть ГЭС), требованиями водопользователей и другими локальными факторами.

При отсутствии ограничений по режимам работы верхнего и нижнего бьефов рекомендуется проводить **глубокий промыв**. При глубоком промыве водохранилище полностью опорожняется (желательно через отверстия с наиболее низкими отметками порога), работа гидроэлектростанции останавливается, отключаются все водопользователи. Время промыва и его продолжительность определяются исходя из гидрологической обстановки и других местных условий. При глубоком промыве интенсивность удаления наносов наибольшая. Ввиду значительной концентрации наносов в промывном потоке возможно частичное отложение их в русле нижнего бьефа, поэтому необходим постоянный контроль за состоянием русла нижнего бьефа и водозаборных сооружений, расположенных в нем. Оптимальное значение промывных расходов зависит от ширины и глубины бьефа, пропускной способности отверстий гидроузла, используемых для промыва, характеристик отложений наносов, профиля водохранилища и ряда других факторов. Оно может быть выявлено проведением

экспериментальных исследований в лабораторных условиях на модели. Для расчетов за оптимальный промывной расход можно принимать среднегодовой расход, продолжительность промыва - примерно 10-15 суток. Наполнение водохранилища после промыва следует проводить в маловодный период (осень – зима), когда мутность р. Амударьи не очень высокая. Это обеспечивает защиту водохранилища от последующего заиления наносами.

При сложности или невозможности проведения глубокого промыва с полным опорожнением водохранилища следует организовать **мелкий промыв** при снижении отметки уровня воды в водохранилище с сохранением (частично) работы гидроузла. При этом насыщение потока наносами, а следовательно, и эффективность их удаления меньше, чем при глубоком. Поэтому продолжительность мелкого промыва должна быть большей и составлять примерно 1,5 - 2 месяца. Надо отметить, что промывы водохранилищ с регулированием мутности промывного потока организуют в случаях, когда необходимо обеспечить водопользователей нижнего бьефа водой, мутность которой не выходит за пределы допустимого значения по условиям их нормальной эксплуатации, или для обеспечения требований по охране окружающей среды. Для нижнего течения р. Амударьи эти вопросы не являются проблемой, так как отметки дна русла реки сильно понижены после строительства ТМГУ, что оказало негативное влияние на водозаборы в ирригационные каналы.

Регулирование мутности осуществляется путем ступенчатого опорожнения верхнего бьефа, используя следующие зависимости: чем больше глубина и скорость опорожнения бьефа, мутность промывного потока больше; при поддержании верхнего бьефа на постоянной сниженной отметке мутность промывного потока со временем падает. Промыв отложившихся наносов с ложа водохранилища производится следующим образом:

I этап - определяются границы допустимой мутности промывного потока. Максимальное значение мутности устанавливается исходя из возможности осуществления промыва без ущерба для нижнего бьефа, а минимальное значение - исходя из условий экономической целесообразности промыва; водохранилище опорожняется до уровня, при котором мутность промывного потока соответствует максимально допустимой. Затем опорожнение приостанавливается и уровень воды в водохранилище поддерживается на этой отметке до момента, когда мутность промывного потока уменьшится до установленного минимального значения. Уменьшение

мутности связано с тем, что по мере размыва наносов и удаления их площадь живого сечения потока (при поддержании уровня воды в водохранилище на одной и той же отметке) увеличивается, вместе с этим уменьшается размывающая способность промывного потока и, следовательно, его мутность.

II этап - после достижения минимального значения мутности вторично понижают уровень воды в водохранилище до тех пор, пока мутность вновь не достигнет максимально допустимого значения. Дальнейшее опорожнение приостанавливают, уровень в водохранилище поддерживают на данной отметке до момента, пока мутность промывного потока постепенно не снизится до принятого минимального значения.

III этап - снова снижают уровень воды в водохранилище и т.д.

Для наблюдения за мутностью промывного потока организуется специальный пост в нижнем бьефе сооружения. Периодичность взятия проб воды на мутность - 2 - 3 раза в сутки во время опорожнения бьефа - ежечасно. Для оперативного контроля мутности промывного потока можно использовать современные мутномеры. В процессе промыва нужно вести наблюдение за состоянием нижнего бьефа водохранилища и гидросооружений, а также оценивается эффективность промыва. Эффективность суточного промыва определяется как произведение среднесуточной мутности на среднесуточный расход. Окончательный результат устанавливается инструментальными промерами после завершения промыва.

При гидравлической очистке может случиться, что часть наносных отложений не будет размываться из-за недоступности их промывному потоку. Такие неразмываемые участки сохраняются обычно в виде отложений вдоль берегов или крупных островов в русле основного потока. При необходимости удаления наносов с этих участков целесообразно совместное использование механического и гидравлического способа очистки. На этих участках с помощью земснаряда проделываются каналы, соединенные с основным транзитным потоком. Каналы выполняются по возможности криволинейными в плане. Выпуклая часть канала направляется в сторону наносных отложений, подлежащих преимущественному размыву. Часть водного потока из основного русла, проходя через проделанные каналы, размывает их русло и окружающие наносные отложения. Наиболее интенсивно размываются наносы, расположенные в зоне поворотов канала.

Мониторинг процесса промывки. Устанавливается транзитный пропуск воды через водохранилище, при котором расход притока равен расходу сбросов через створ сооружений и уровень воды в водохранилище сохраняется постоянным. Увеличивается сбросной расход на ΔQ , одновременно измеряется значение снижения уровня верхнего бьефа ΔH и продолжительность этого снижения Δt . Объем сработанного слоя водохранилища определяется как произведение избыточного расхода на время $\Delta W = \Delta Q \Delta t$.

Проводя аналогичные измерения во всем диапазоне сработки бьефа, строится зависимость динамической регулирующей емкости водохранилища от уровня. Периодичность определения динамической регулирующей емкости устанавливается исходя из интенсивности отложения наносов, режимов работы водохранилища, гидрологической обстановки, наличия водпостов и т.п. Для оперативного контроля за состоянием водохранилища целесообразно проводить регулярные измерения его динамической регулирующей емкости.

3.2.2 Гидромеханическая очистка

Механизмы для проделывания каналов в наносных отложениях целесообразно применять в первую очередь вблизи водосбросной плотины и водозаборов из водохранилища, где наносные отложения создают трудности для нормальной эксплуатации гидросооружений и транспортировки наносов в нижний бьеф водохранилища.

Для этой цели предлагается современная техника - многоцелевой Земснаряд Амфибия – Ватермастер. Classic V (последняя модель 2017 года) – мощность 900 м³/час, Classic IV - 600 м³/ч. Возможность работы до глубины 6,5 м, длина стрелы 16 м, перекачка пульпы на расстояние до 1,5 км.



Рисунок 3.4 Работа Земснаряда Амфибия – Ватермастер

Технические характеристики предлагаемого земснаряда:

двигатель: катерпиллер С7.1, 6-цилиндровый дизельный двигатель с турбонагнетателем; воздушно-водяной радиатор; мощность на волю при 2100

об/мин. 168 кВт (Classic IV), 205 кВт (Classic V); емкость топливного бака 1200 литров;

электросистема 24 Вольт; аккумуляторы 2 x 170 А-час; электрический топливный насос;

гидравлика: один аксиально-поршневой насос для драгирования и пропеллера - рабочее давление максимальное 345 бар, один аксиально-поршневой насос для экскаваторных работ и стабилизаторов рабочее давление максимальное 230 бар;

экскаватор: радиус поворота стрелы 180°, усилие отрыва цилиндра ковша 83 кН, усилие копания цилиндра рукояти 47 кН, усилие подъема при максимальном вылете стрелы 24,5 кН, быстро заменяемые рабочие приспособления;

работа: для работы земснаряда не требуются лебедки, кабели, вспомогательные суда, для запуска земснаряда в работу нет необходимости в предварительном монтаже оборудования, в применение кранов и буксиров;

кабина: удобная кабина с отличным обзором и защитой от падающих предметов FOPS, дополнительное сиденье для инструктора, 10 рабочих ламп, постановка на якорь, самостоятельное рабочее движение и фиксация без использования дополнительных судов, лебедок и кабелей;

корпус: цельный корпус, разделенный на 7 водонепроницаемых отсеков, антикоррозийное покрытие с внешней и внутренней стороны, защитные полозья на днище корпуса, сигнальные огни на мачте при выполнении различных работ и при навигации; два передних стабилизатора, максимальная глубина 5,0 м, два задних наклоняющихся стабилизатора, максимальная глубина 6,7 м (Рис. 3.5);

габариты и вес при транспортировке: длина без стрелы 11,00 м, длина со стрелой 16,00 м, ширина 3,30 м, высота 3,15 м, вес около 19,50 т

качество: сертификат качества ISO 9001, по экологии ISO 14001, по безопасности ISO 3449.

Преимущество предлагаемой техники в том, что мощность высокая, он обладает уникальной универсальностью, мобильность в воде и на суше, самостоятельно погружается на трейлер и выгружается с него, самостоятельно заходит в воду и выходит из воды, самоходный, амфибия во всех рабочих режимах.

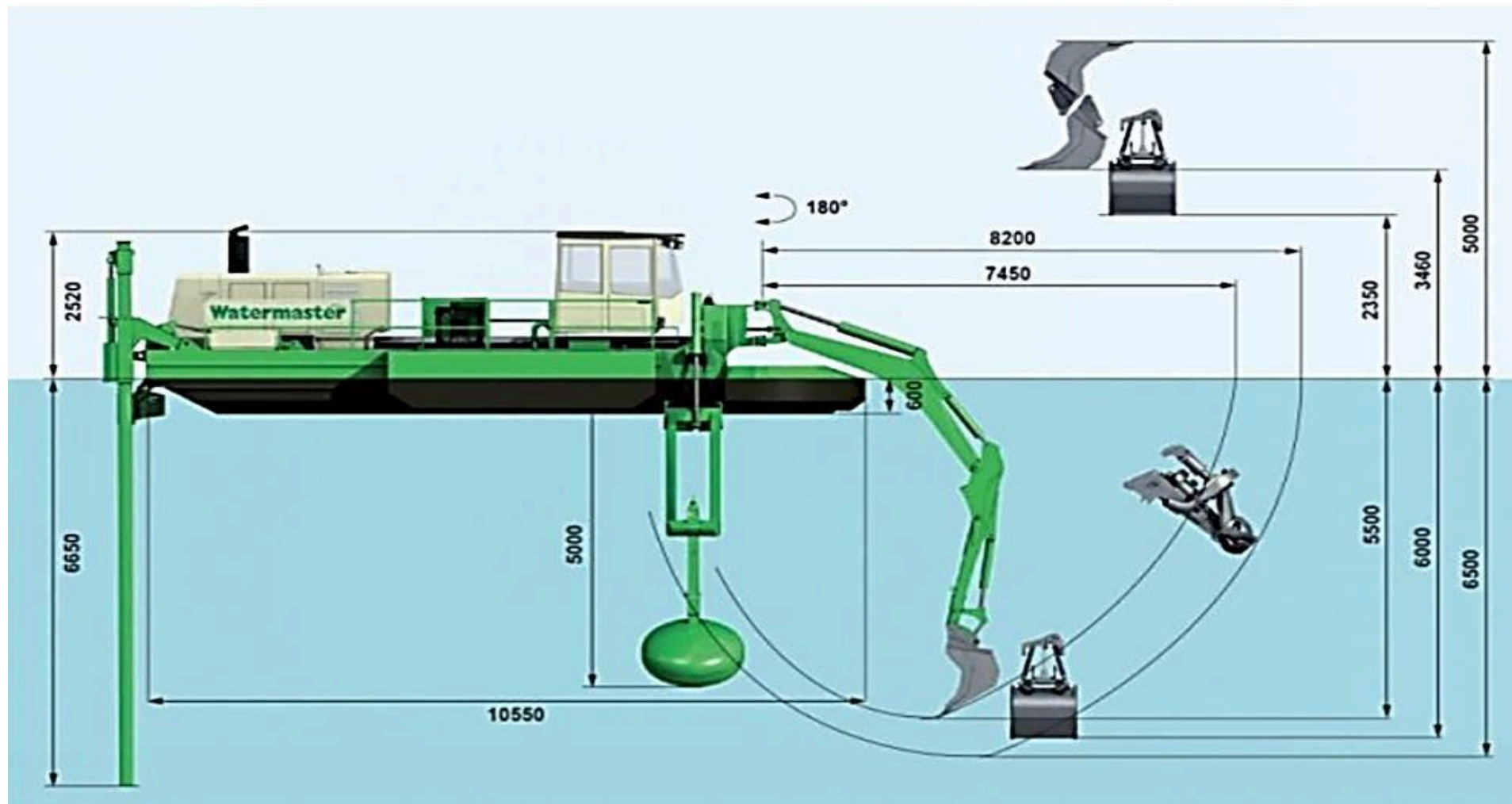


Рисунок 3.5 Габаритные характеристики рекомендуемого земснаряда Амфибия - Ватермастер³

³ AQUAMEC Ltd. P.O. Box 260, FI-27801 Säskylä, Finland, Tel: +358 10 402 6400, Fax: +358 10 402 6422. E-mail: watermaster@watermaster.fi

3.3 Условия подготовки и проведения очистки водохранилища от наносов

До начала работы необходимо проверить соблюдение всех требований, относящихся к предстоящей работе, т.е. очистке водохранилища от наносов. При несоблюдении этого условия персонал не имеет права приступать к работе независимо от того, кто дал ему указание на ее выполнение. Заблаговременно, до открытия сбросных щитов, необходимо проверить состояние ведущихся в нижнем бьефе работ, предупредить работающих о времени окончания ими работ, убедиться в отсутствии людей в бьефе после окончания работ. Срок опорожнения водохранилища согласовывается с местными органами Минводхоза РУз и через него с местными органами власти для предупреждения населения, живущего ниже плотины, об изменении уровня воды.

Допуск к работе в верхнем бьефе плотины может быть разрешен только после того, как уровень воды достигнет низшего положения, предусмотренного проектом опорожнения. Срок работы в верхнем бьефе должен быть приведен в полное соответствие с продолжительностью нахождения верхнего бьефа на низких уровнях. Персонал, ответственный за наполнение бьефа, обязан лично проверить плотность закрытия входных щитов перед подъемом уровня в бьефе, приводы подъемных механизмов, знаки, запрещающие подъем щитов. О ходе наполнения водохранилища и предполагаемом уровне воды необходимо информировать жителей расположенных выше населенных пунктов.

При смыве наносных отложений необходимо агрегаты устанавливать на прочном грунте. При использовании земснарядов для удаления наносов или проделывания каналов в наносных отложениях должны соблюдаться правила техники безопасности при эксплуатации средств гидромеханизации.

Удаление наносов гидромеханическим способом разрешается только при наличии **проекта организации работ**, который предусматривает последовательность выполнения и необходимые вспомогательные устройства для безопасного ведения работ. Для руководства работами должно быть выделено ответственное лицо из инженерно-технического персонала организации, производящей промыв.

Рабочая зона земснаряда в пределах полуторной дальности действия его струи, а также зона возможного обрушения грунта должны быть ограждены предупредительными знаками безопасности. При промыве бьефа

попеременным опусканием и подъемом уровня воды запрещается подходить к краю наносных отложений ближе, чем на 5 м независимо от степени их плотности. Так как промывные отверстия занесены, расчистка их производится «от себя» и только со стороны верхнего бьефа.

После завершения очистки, промеры глубин водохранилища следует производить только после достижения уровнем воды отметки НПУ. При производстве промеров глубин с катеров на специалисте, проводящем промеры, должен быть надет ляточный предохранительный пояс с прикрепленным к нему страховочным канатом, другой конец которого должен быть прикреплен к рыму или стойке на палубе. Промеры должны производиться только в тихую погоду, при силе ветра не более 2 баллов (скорость ветра 3,3 м/с). При применении эхолота для промеров глубин необходимо выполнять следующие правила: при установке эхолота на катере избегать крена, закреплять приемо-передаточные устройства эхолота к судну, удерживать устройства на весу руками запрещается, крышки прибора при работе держать постоянно закрытыми, не допускать регулирования аппаратуры под напряжением. Запрещается проводить промерные работы с катера без спасательных и сигнальных средств, а также промерные работы в потоке при промыве бьефов.

Все организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ при проведении расчистки и промеров водохранилища (порядок выдачи и оформления наряда, допуск бригады к работе, надзор во время работы и др.), проводятся **в соответствии с правилами техники безопасности** при эксплуатации водного хозяйства, гидротехнических сооружений и гидромеханического оборудования.

В условиях Руслового водохранилища протяженностью 82 км, и ширине, которая меняется в диапазоне от 0,9 км до 11 км, очистные работы необходимо проводить разделив на 8-10 участков в зависимости от морфологических и гидрометрических характеристик водохранилища. По нормативам, для **проведения очистных работ такого масштаба, как Русловое водохранилище ТМГУ, необходимо разработать проектно-сметную документацию лицензионной проектной организацией, где будут указаны все объемы работ, необходимая техника и расходные материалы, организация производства работ и смета.** Также, требуются специализированные работники по русловым процессам.

Специалистами проекта выполнен предварительный расчет для первого участка у плотины протяженностью 10 км. Данный участок полностью

покрыт наносами толщиной 10-12 м, объем составляет 227 млн.м³. Схематический план с отметками дна по створу и поперечники на приплотинном участке Руслowego водохранилища показали, что средние отметки дна колеблются в пределах 124-126м (Рис. 3.6). При этом, отметки у плотины достаточно высокие, что означает, несмотря на то, что осуществляется сброс/пропуск воды в нижний бьеф, размыв наносов/ила потоком воды не сильно выражен. На этом участке максимальная глубина 12 м в пределах створов 11-16, т.е. на отметке 118 м. В зоне створов 7-9 отметка дна поднимается до 120 м. Несмотря на то, что здесь поток постоянно движется в сторону регулирующих сооружений Капарасского и Султансанджарского водохранилищ, значительный размыв не наблюдается, и означает что плотность отложений на этих участках очень высокая, не подлежит размыву гидравлическим способом.

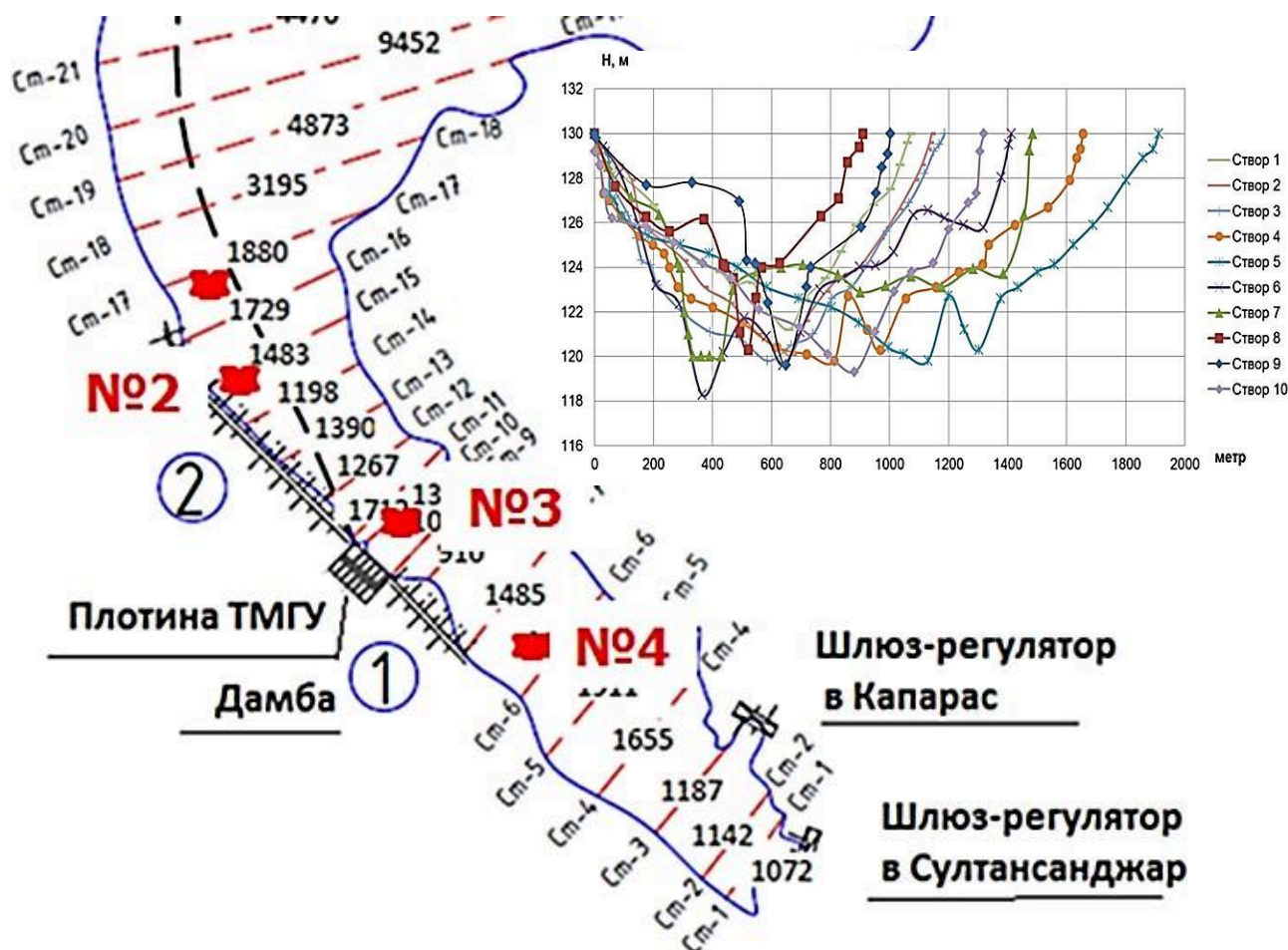


Рисунок 3.6 Схематический план и поперечники на приплотинном участке Руслowego водохранилища

Проектом предлагается начать работу с механизированной очистки для создания возможности гидравлической очистки на данном участке и

следующих участках вверх по течению. Более того, необходимо создать условия для полноценной работы донных отверстий в количестве 8 шт. размерами 12х6м, которые изначально проектом предназначены также для пропуска донных течений со смывом наносов.

Предварительные расчеты с применением земснаряда последней модели «Ватермастер-амфибия» Classic V в количестве 20 шт. позволит очистить наносы с приплотинного участка протяженностью 10 км в объеме 227 млн.м³ за 6,5 лет. В расчете учтены стоимость земснарядов вышеприведенной модели, работа земснаряда мощностью 900 м³/час, 8 часовые рабочие дни - 20 дней в месяц, учтены оплата рабочей силы и горючие. Расчет выполнен без применения гидравлической промывки, хотя по ходу работы автоматически подключится данный процесс. При этом общие затраты составили около 2,38 млн долл. США⁴.

Далее, на следующих участках вверх по течению можно будет задействовать комбинированную очистку от наносов: гидравлическую промывку - в основном срединные участки чаши водохранилища и в зонах затонов, а механизированную очистку - на близлежащих к берегам участках. Для повышения эффективности промыва путем удаления неподдающихся размыву наносов, в этих участках желательно создать с помощью гидромеханики криволинейные в плане искусственные русла/каналы, направленные выпуклой частью в сторону участков размыва и соединенные с основным транзитным потоком. Часть потока можно направить в созданное русло с помощью мобильных резиновых дамб, которые в настоящее время также широко используются. Криволинейное русло способствует размыву наносных отложений с площади и направит взвеси в основное русло для транзита в нижний бьеф.

3.4 Инструкции по борьбе с наносами

Для каждого конкретного водохранилища способы борьбы с заилением выбираются исходя из местных условий и на основании технико-экономического обоснования. ***Мероприятия по борьбе с наносами предусматриваются в проектных документах, и далее корректируются на основе опыта эксплуатации водохранилища.***

Мероприятия включают работу водохранилища при режимах, которые обеспечивают больший транзит поступающего твердого стока, проведение

⁴ Проектно-сметная документация покажет более точную сумму финансовых затрат.

необходимых укрепительных работ против разрушения дамб и эрозии берегов приводят к значительному количеству наносов, удаление наносов механизмами и промыв водохранилища.

Инструкция по борьбе с наносами разрабатывается для каждого водохранилища индивидуально с учетом гидрологического режима водного объекта (реки), технических характеристик гидротехнических сооружений в составе водохранилищного гидроузла, и должна включать:

- техническую характеристику водохранилища и гидроузла, их назначение и эксплуатационные функции, требования водопользователей;
- журнал технического состояния водохранилища, содержащий результаты наблюдений за твердым стоком, состоянием берегов и мелководий, размывами и отложениями наносов в нижнем бьефе, результаты всех осмотров и промеров за состоянием водохранилища, которые обобщаются через каждые 3 - 5 лет эксплуатации;
- отчеты по проведенным мероприятиям и план действий по сохранению регулирующей емкости и очистке водохранилища от наносов, содержащие данные об эффективности проведенных мероприятий и другие сведения эксплуатационного характера.
- детальную информацию по характеристикам жидкого и твердого стока;
- порядок организации наблюдений за состоянием водохранилища;
- результаты последних батиметрических промеров ёмкости водохранилища и построенные по этим промерам кривые объемов водохранилища (статические и динамические);
- режимы эксплуатации водохранилища при разных вариантах водности реки (в периоды маловодья, средневодья и многоводья), также в периоды поступления большого количества наносов;
- порядок подготовки и проведения мероприятий по очистке водохранилища от наносов;
- требования по технике безопасности при организации очисток и проведении наблюдений за состоянием водохранилища.

При эксплуатации Руслового водохранилища с учетом сокращения интенсивности заиления чаши водохранилища рекомендуется соблюдать следующие режимы его работы:

1. Управление водохранилищами (одно русловое и три наливных) по рекомендуемому режиму позволит создать запасы воды для целей ирригации

и перераспределить для покрытия дефицитов стока реки в маловодные годы, сократить объемы непроизводительных потерь воды.

2. Разработанный режим работы водохранилищ ТМГУ позволяют снизить и стабилизировать заиление Руслового водохранилища и уменьшить общий размыв русла реки, повысить уровень воды у водозаборов. При разработке режима заданы критерии по работе, обеспечивающий равномерный по годам сброс размываемых наносов в нижний бьеф. Основная масса выноса предусматривается в многоводные и средневодные годы. Это обеспечит плавные изменения уровней воды в вегетационный период.

3. Запасы воды в Русловом водохранилище должны использоваться в феврале-марте для промывки орошаемых земель и влагозарядки. В апреле-июне оно должно эксплуатироваться в безнапорном режиме на отметках близких к ГМО, т.е. 118-120 м. При этом уменьшается интенсивность заиления водохранилища и снижаются потери воды на фильтрацию и на испарение. Далее в июле-августе Русловое водохранилище должно быть заполнено до НПУ для обеспечения наполнения Капараса, а в последующий период сентябрь-январь – для заполнения Султансанджара и Кошбулака.

4. Использование схемы регулирования стока реки с обязательной сработкой уровня воды в Русловом водохранилище в период апрель-июнь, а в многоводные годы дополнительно в сентябре месяце, до минимально возможных отметок, способствует не только снижению объемов отложений наносов в чаше водохранилища, но и снижению интенсивности формирования дополнительной кривой подпора в зоне ее выклинивания объемов потерь на испарение и фильтрацию, а также способствует размыву и выносу из водохранилища донных отложений.

3.5 Возможности использования речного ила и донных наносов в сельском хозяйстве

В условиях практически исчерпанных водных ресурсов в источниках орошения, основой развития сельского хозяйства Узбекистана является увеличение продуктивности орошаемых земель за счет повышения эффективности использования земельно-водных ресурсов, их охраны и воспроизводства плодородия почв.

Одной из причин деградации земель в низовьях р.Амударьи является орошение полей, практически лишенной плодородного ила водой,

поступающей непосредственно из водохранилищ или из русла реки в нижних бьефах гидроузлов, куда поступает осветленная вода.

Условия функционирования Туямуюнского гидроузла позволяют разработать режим эксплуатации водохранилищ, обеспечивающей вынос на поля речных взвешенных наносов в вегетационный период в количествах приближенных к содержанию их в естественных водотоках, а создание математических моделей режимов обеспечит учет поступления наносов в оросительную сеть.

Обогащение орошаемых земель речным илом, поступающим с оросительной водой, будет способствовать естественному повышению энергетики почвы, что для сокращения расходов на приобретение минеральных удобрений - является одним из важных резервов в аграрной экономике.

Транзит взвешенных наносов через Русловое водохранилище ТМГУ в нижний бьеф будет способствовать кольматации как русла, так и проводящей сети ирригационных каналов. Это снизит фильтрационные потери оросительной воды, одновременно, поступающие в нижний бьеф наносы, со временем будут способствовать поднятию дна русла, улучшая условия водозабора в ирригационные каналы.

Проведенные исследования содержания взвешенных наносов в воде р. Амударьи показал, что в среднем в воде р. Амударьи содержится 4,5 г/л взвешенного материала, в межень ~1,6 г/л, в паводок - 5,6 г/л. В вегетационный период содержание наносов значительно увеличивается. Максимальная мутность реки отмечается в паводок, который обычно начинается в середине мая. В механическом составе взвешенных наносов в основном преобладают фракции с диаметром частиц $< 0,01$ мм (р. Амударья ~ 73 %, в оросительных каналах ~ 50- 65%, в арыках - 75-85 %). Содержание крупных песчаных фракций очень невелико и составляет десятые и сотые доли процента от взвеси в целом. Исследованные наносы относятся к тяжелым суглинкам и легким глинам.

На основании ранее выполненных исследований в НИИИВП (САНИИРИ) было предложено обоснование по использованию донных отложений Руслового водохранилища ТМГУ в качестве удобрений для сельскохозяйственных культур. Донные отложения в водохранилище образуются в результате седиментации взвешенных наносов, которые обладают свойствами сорбента компонентов минерального и органического происхождения. Установлено, что в состав донных отложений входят

органические вещества (источники образования гумуса), макроэлементы (азот, фосфор, сера, калий, магний, кальций) и микроэлементы (хлор, медь, железо, марганец, молибден, цинк) необходимые для питания растений (Табл.3.1). Поэтому их можно использовать в качестве удобрений для различных сельскохозяйственных культур.

Таблица 3.1 Содержание веществ в донных отложениях Руслового водохранилища

Компонент	Содержание компонентов			
	в отложениях, г/кг		в воде, мг/л	
	предельные	средние	предельные	средние
Соленость	1,3-1,9	1,6	700-1600	1000
ХПК	16-27	19	14,0-3,2	20,4
Общий азот	1,8-2,4	2,1	0,33-1,28	0,41
Фосфаты	0,1-0,5	0,4	0-0,05	0,01
СПАВ	0,03-0,2	0,1	0,01-0,03	0,02
Нефтепродукты	0,01-0,3	0,17	0-0,04	0,02
Фенолы	0,001-0,02	0,012	0,001-0,004	0,003
АльфаГХЦГ, мг/кг	0,03-0,06	0,04	$0-2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Гамма ГХЦГ, мг/кг	0,001-0,02	0,01	$0-1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Железо, г/кг	0,10-0,30	0,18	0,01-0,03	0,02
Медь, мг/кг	2,6-16,2	6,3	0,001-0,007	0,003
Цинк, мг/кг	5,0-11,2	9,1	0-0,003	0,0015
Молибден, мг/кг	7,3-31,0	17,2	-	-
Свинец, мг/кг	7,2-23,2	11,3	$0-27 \cdot 10^{-3}$	$9,3 \cdot 10^{-3}$
Марганец, мг/кг	,01-0,20	0,04	-	-
Хром 6+, мг/кг	1,0-3,2	2,1	$0-1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,37 \cdot 10^{-3}$
Хром 3+, мг/кг	0,4-3,1	1,3	$0-0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,17 \cdot 10^{-3}$
Ртуть, мг/кг	0,1-0,42	0,26	$0-0,3 \cdot 10^{-3}$	$,17 \cdot 10^{-3}$

Транзит взвешенных и донных наносов через Русловое водохранилище обеспечит вынос их на поля в вегетационный период в количествах соответствующих мутности расходов воды для естественных водотоков. По предварительным расчетам это будет способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур по отношению к базовой (без

внесения удобрений): хлопчатника на 12 % , риса – 21 %, кукурузы – 19 %, пшеницы – 18 %, картофеля – 31 % (табл.3.2).

Таблица 3.2 Прирост урожайности основных с/х культур за счет выноса на поля речных наносов, ц/га

Сельскохозяйственные культуры	Хлопчатник	Рис	Кукуруза	Пшеница	Картофель
Базовая урожайность	15	17	22	16	35
Прибавка к урожайности за счет поступления на поля речных наносов	1,8	3,6	4,2	2,9	11,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты режима работы водохранилищ ТМГУ выполнены по трем вариантам водной обеспеченности: маловодный год (90%), средний по водности год (50%), многоводный год (10%). Рекомендуемые варианты режимов работы водохранилищ в средневодные и многоводные годы способствуют снижению интенсивности заиления Руслового водохранилища путем размыва и транзита наносов, дают возможность увеличивать количество наносов, поступающих в нижний бьеф, способствуют стабилизации уровня воды и повышению дна русла реки в низовьях р. Амударьи на участке Туямуюн-Бируни, что приведет к улучшению условий водозаборов в крупные магистральные каналы на этом участке.

Транзит взвешенных наносов через Русловое водохранилище обеспечит вынос плодородного гумусного материала на поля в вегетационный период в количествах соответствующих мутности расходов воды для естественных водотоков, также будет способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Метод расчета заиления водохранилищ с учетом изменения уровня воды, выполненный для Руслового водохранилища, может быть использован для прогнозных расчетов.

Проведенные исследования, направленные на определение ёмкости Руслового водохранилища и состояния заиленности позволили сделать следующие выводы (приложение 1). Общий объем Руслового водохранилища при уровне воды у плотины $H=130\text{м}$ определен равным **863 млн.м³**. При этом, с учетом потерь воды объем располагаемых водных ресурсов составил **680 млн.м³** (см.табл.ниже).

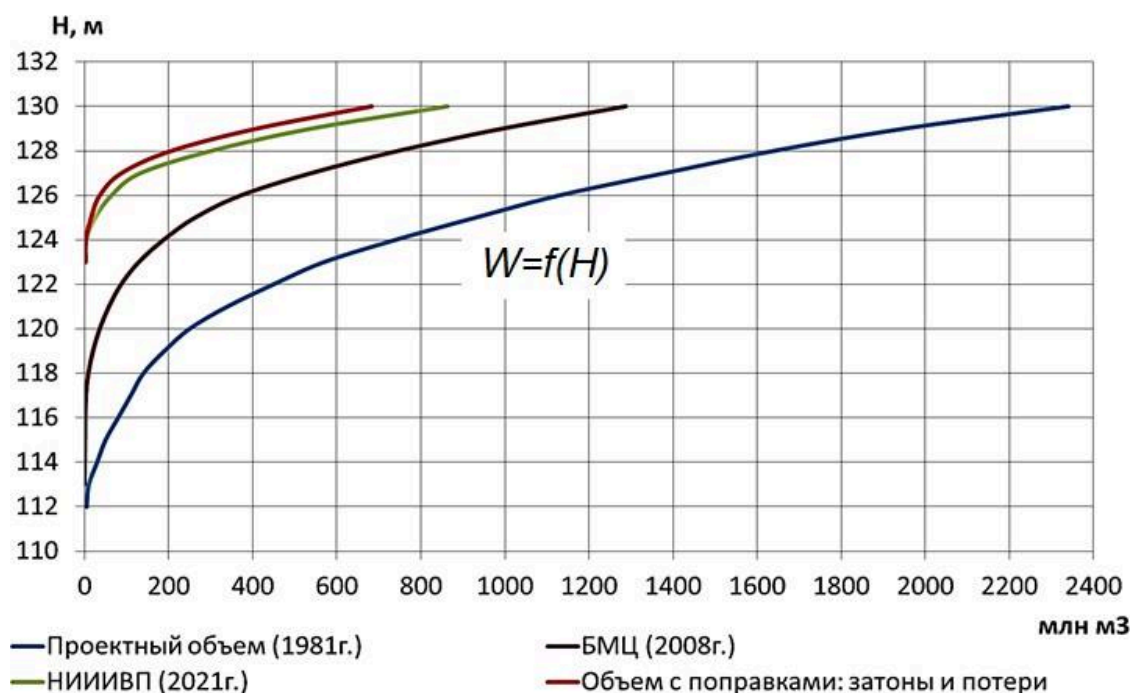
Проектная емкость водохранилища (1978/1981 год) - 2340 млн м³.

Объемы отложений за весь период эксплуатации на 2021 год составили - **1477 млн.м³**.

Площадь водной поверхности на отметке 130 м составила **248 км²** против проектной площади равной 300 км².

Средний уклон дна чаши Руслового водохранилища по промерам составляет $i=0,00004$ против проектного $i=0,0002$.

Объемы воды и площади водной поверхности в зависимости от уровня водной поверхности представлены ниже.



Графики объемов Руслового водохранилища $W=f(H)$

Расчет объемов воды в Русловом водохранилище с учетом потерь

Отмет ки	Промеры 2021год		Мёртвые объёмы-затоны		Располагаемые водные ресурсы на 2021г.			
H, м	Площадь км ²	Объём млн.м ³	Площадь км ²	Объём млн.м ³	Площадь км ²	Объём млн.м ³	Потери млн.м ³	Объём млн.м ³
130	247,80	862,70	0,00	0,00	247,80	823,71	143,73	679,98
129	211,00	539,19	0,00	0,00	211,00	500,20	90,73	409,47
128	175,16	301,58	5,58	7,88	169,58	262,59	55,96	206,63
127	134,95	132,86	21,84	10,14	113,11	101,75	26,01	75,74
126	69,72	64,00	17,53	11,84	52,19	43,03	6,79	36,24
125	8,20	25,00	1,33	7,96	6,87	15,87	0,21	15,66
124	1,70	4,00	0,05	1,17	1,65	2,83	0,05	2,78
123	0,65	2,35	0,00	0,00	0,65	2,35	0,02	2,33
122	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
121	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				38,9 млн м³			143,73 млн м³	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б. Водохранилища и окружающая среда. М.: Изд. «Знание», 1982, 48с.
2. Алтунин С.Т. Водозаборные узлы и водохранилища. Колос, М. 1964г. 431с.
3. Аракелян Д.Г. Нагапетян С.А., Закарян Б.Г., Мкртчян М.К. ГИС моделирование явлений затопления бассейна р. Дебед. Известия НАН РА, Науки о Земле, 2013, 66, № 3, С. 24-39
4. Бреховских В. Ф., Казмирук Т. Н., Казмирук В. Д. Донные отложения Ивановского водохранилища: состояние, состав, свойства. Ин-т водных проблем. - Москва: Наука, 2006 - 173 с.
5. Влацкий В.В. Моделирование речного стока с использованием ГИС технологий. Вестник ОГУ №9 (115), 2010. С. 104-109.
6. Вуглинский В.С. К вопросу о методике учета влияния водохранилищ на речной сток. Труды ГГИ, вып. 274. Л., 1981. С. 73-85.
7. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ. Л. Гидрометеиздат, 1991г. 223с.
8. Икрамова М.Р., Ходжиев А. Особенности работы Туямуюнского гидроузла// Журнал «Сельское хозяйство Узбекистана», №4. Ташкент, 1998. С. 29-31.
9. Икрамова М.Р. Повышение эффективности работы водохранилищ Туямуюнского гидроузла/ Журнал «AGROILM», №2(6), Ташкент, 2007. С. 35-37.
10. Икрамова М.Р. Потери воды на испарение из водохранилищ Туямуюнского гидроузла. Журнал «AGROILM», №6(44), Ташкент, 2016. С. 68-69.
11. Икрамова М.Р., Ахмедходжаева И., Ходжиев А. Методика расчета баланса воды для системы водохранилищ. Свидетельство о депонировании объектов интеллектуальной собственности. 2013 г. Рег. № 0759.
12. Икрамова М.Р., Ходжиев А.К., Мисирханов Х.И. Совершенствование режима работы ТМГУ, направленное на снижение интенсивности заиления Руслового водохранилища. Доклады международной научно-практической конференции. Тараз, 2005г. С.327-332.
13. Икрамова М.Р. Расчет скоростей в верхнем бьефе берегозащитной дамбы. Сборник научных трудов «Мелиорация и водное хозяйство», НПО САНИИРИ, Ташкент, 1996. С. 57-61.

14. Никифоров Д. А. Моделирование уровня режима водохранилищ реки Енисей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва 2016. 335с.
15. Поздняков Ш. Р. Наносы в реках, озерах и водохранилищах в расширенном диапазоне размера частиц: автореферат дис. доктора географических наук: Санкт-Петербург, 2011. 40 с.
16. Потапов Л.В. Регулирование стока. Том 3. М. Сельхозгиз. 1951.123с.
17. Потапова Т. М. Федорова И. В., Паршина Т. В. Методы определения гранулометрического и геохимического состава донных отложений и взвешенных наносов. Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2006. 92с.
18. Прыткова М. Я. Гидрологический режим и заиление малых разнотипных водоемов Северо-Запада. Санкт-Петербург: Наука, 2011. 194 с.
19. Саваренский А.Д. Регулирование речного стока водохранилищами. М. 1951, 78с.
20. Садыков А.Х., Гаппаров Ф.А. Метод расчета ежегодного сокращения объема водохранилища на основе водных балансов предыдущих лет его эксплуатации. Сборник научных трудов к 80-летию САННИРИ. Ташкент, 2005. С. 404-410.
21. Сорокин А.Г. Управление водным и наносным режимами водохранилищ бассейна Амударьи: инструменты и оценка. Экстремальные гидрологические события в АралоКаспийском регионе: Тр. Межд.науч. конф. 19-20 октября, 2006. – М., 2006. С. 289-293.
22. Таглави С. Х. Совершенствование методов разработки сценариев управления эксплуатацией водохранилищ на реках с обильным стоком наносов. Диссертация кандидата технических наук. Москва, 2010. 199 с.
23. Шавнина Ю.Н., Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Моделирование сработки водохранилища и расчет мощности донных отложений. Вопросы современной науки и практики. №4 (10). Том 1. г. Пермь 2007. С. 87-93
24. Штефан В.И. К расчету водообмена долинного водохранилища. Вестник МГУ, Серия география, №5, 1975. С. 71-75.
25. Шумаков А. Н. Заиление прудов и водохранилищ как элементов эрозионно-русловых систем в агроландшафтах Центрально-Черноземного региона. Курск, 2007. 217 с.
26. Эдельштейн К.К. Геометрическая модель долинного водохранилища. Комплексные исследования водохранилищ. Вып.5 М., 1980. С. 11-31.

27. Alam S. Improving sedimentation management using multiple dams and reservoirs. *International Journal „Hydropower and Dams“*, volume 9, issue 1, 2002. P. 63-69.
28. Becker L, Yeh W. Optimization of real-time operation of a multiple reservoir system. *Water Resources Research*, #10(6). 1974, P. 1107–1112.
29. Brooke N. Eustis Post-Dam effects on Geomorphology of the Green River. 2006. 211c.
30. Dirk Sebastiaan van Maren, Shi-Lun Yang, Qing He The impact of silt trapping in large reservoirs on downstream morphology: the Yangtze River. 2013, Springer, Volume 63, Issue 6, P. 691-707.
31. Froebrich J., Bauer M., Ikramova M., Olsson O. Water quantity and Quality Dynamics of the THC-Tuyamuyun Hydro Engineering Complex – and Implications for Reservoir Operation//*Environmental Science and Pollution Research*. Vol.14, #6, 2007. P. 435-442.
32. Heydari M., Othman F., Taghieh M. Optimization of Multiple and Multipurpose Reservoir System Operations by Using Matrix Structure (Case Study: Karun and Dez Reservoir Dams). *PLoS One Journal*, #11(6): e0156276. doi: [10.1371], 2016. P.18.
33. Ikramova M. Estimation of sediment loads: the Tuyamuyun reservoir on Amudarya River// *European Science Review*. Austria. 2016. P. 199-202.
34. Itoh, T., Horiuchi, S., Mizuyama, T., & Kaitsuka, K. Hydraulic model tests for evaluating sediment control function with a grid-type Sabo dam in mountainous torrents. *International Journal of Sediment Research*, #28, 2013. P.511–522.
35. Li W., Guo Sh., Ampitiawatta A., Liu P., Guo F. A real time dynamic flood prevention storage control model for Qingjiang cascade reservoirs. *IAHS Press*, # 315, The Netherlands, 2007. P. 41-47.
36. Olsson O., Bauer M., Ikramova M., Froebrich J. The Role of Amudarya Dams and Reservoirs in Future Water Supply in The Amu Darya Basin// *Springer: Science and Business Media*. 2008. P. 277-292.
37. Olsson O., Ikramova M., Bauer M., Froebrich J. Applicability of Adapted Reservoir Operation for Water Stress Mitigation Under Dry Year Conditions// *Water Resources Management*. Volume 24, Issue 2, 2010, P. 277-297.
38. Olsson O., Ikramova M., Sorokin A. Modeling scenarios to identify a combined sediment-water management strategy for the large reservoirs of the Tuyamuyun hydro-complex// *Irrigation and Drainage Systems*. Volume 5, #1, P. 2011.

39. Olsson O., Khodjiev A., Ikramova M. Combined reservoir management of water and sediments for the channel reservoir at the Lower Amudarya River// Interstate water resource risk management: Towards a sustainable future for the Aral basin (JAYHUN). IWA publishing, London 2010. P. 87-97.
40. Ran, D. C., Luo, Q. H., Zhou, Z. H., Wang, G. Q., & Zhang, X. H. Sediment retention by check dams in the Hekouzhen-Longmen Section of the Yellow River. *International Journal of Sediment Research*, #23, 2008. P.159–166.
41. Sabah S. Fayaed, Ahmed El-Shafie, Othman Jaafar. Reservoir-system simulation and optimization techniques. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. Volume 27, Issue 7, October 2013, P. 1751–1772.
42. Stephens T. Manual on small earth dams. FAO of the UN, “Irrigation and drainage”, # 64. Rome, 2010. P.127.
43. Votruba L., Broža V. Water Management in Reservoirs. Elsevier Science, 1989. P. 441.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Расчет емкости и объемов отложений Руслового водохранилища

Объем воды - по промерам 2021 года					Объемы отложений - 2021год						
Створы	Расст.между створами,м	Расстояние от плотины, м	Ср. отметки дна, м	Объемы воды, млн м3	Участки	Длина участка, м	Ширина створа, м	Ср. ширина участка ,м	Средн. отметка дна, м	Ср. толщина слоя отложений, м	Объем заиления, млн м3
1	0	0	125,6	2,861	Ств.1-21	10380	1072	2180	125,6	10	226,289
2	570	570	125,4	3,670			1142				
3	660	1230	125,1	5,265			1187				
4	730	1960	124,8	6,218			1655				
5	670	2630	124,8	5,389			1911				
6	620	3250	124,7	5,942			1412				
7	750	4000	124,3	4,528			1485				
8	730	4730	125,6	1,160			910				
9	300	5030	126,3	1,582			1004				
10	300	5330	124,9	1,362			1347				
.....											
51	2300	50630	126,0	29,584	Ств.48-51	9610	3350	3353	126,5	6	193,337
52	2850	53480	127,4	30,130	Ств.52-55	11460	2957	1682	127,6	4	77,082
53	3000	56480	127,8	15,503			1238				
54	3000	59480	127,8	10,434			1913				
55	2610	62090	127,6	7,488			618				
56	3010	65100	128,0	7,043	Ств.56-58	9460	1550	1856	128,2	2	35,108
57	3130	68230	128,4	9,755			1913				
58	3320	71550	128,4	10,729			2104				
59	2710	74260	128,4	7,891	Ств.59-62	10940	1470	1318	128,4	0,5	7,208
60	2810	77070	128,8	6,143			1598				
61	2610	79680	128,5	4,991			1217				
62	2810	82490	128,2	5,180			986				
								Объем заиления			1477

Приложение 2. Расчет режима работы водохранилищ ТМГУ для многоводного года

№	Наименование		Обозначение	Ед.изм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Всего
8	Полезная емкость Капараса		W_e^K	млн.м ³	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0	610.0
9	Полезная емкость С-с+К-к (127,5)		$W_e^{C-c+K-k}$	млн.м ³	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0	2010.0
10	Полная емкость Руслowego в-ща (H=130.0 м)		W_e^P	млн.м ³	1264.3	1260.7	1257.5	1257.0	1264.1	1269.1	1269.6	1201.4	1184.6	1185.5	1185.7	1184.0	1182.6
1	Сток воды		$W_{i\text{реки}}$	млн.м ³	2319.1	2301.1	2704.6	2723.8	4569.8	6420.2	12056.1	6364.1	2880.5	1637.4	2006.4	1697.1	47680.3
2	Лимит		W_{iz}	млн.м ³	260.0	1220.0	2520.0	630.0	2510.0	3200.0	4420.0	3510.0	720.0	240.0	260.0	720.0	20210.0
3	Объемы избытков по стоку		$W_i^{\text{изб}}$	млн.м ³	2059.1	1081.1	184.6	2093.8	2059.8	3220.2	7636.1	2854.1	2160.5	1397.4	1746.4	977.1	27470.3
4	Объемы дефицита по стоку		$W_i^{\text{деф}}$	млн.м ³	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Сумма лимитов за I-III и IV-VI месяцев		$\sum L_i$	млн.м ⁴	4000.0	3740.0	2520.0	5235.7	5235.7	5235.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Долей лимита		d_i		0.065	0.326	1.000	0.120	0.479	0.611	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
7	Слой испарения		μ_i	мм	19.9	21.5	41.3	67.1	88.1	135.1	154.1	97.2	89.4	62.7	31.9	24.9	
8	Объемы запаса на расчетный период	Руслowego	W_3^P	млн.м ³	1198.3	1116.8	749.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1135.4	1118.6	0.0	669.6	1027.9	1116.6
9		Капарас	W_3^K	млн.м ³	323.2	232.2	231.0	229.7	227.3	195.8	82.2	0.0	584.0	564.0	544.7	527.4	512.3
10		Султансанджа р+Кошбулак	$W_3^{C-c+K-k}$	млн.м ³	2003.3	2003.3	1998.2	1992.7	1982.1	747.0	0.0	0.0	1206.0	1849.2	2010.0	1993.9	1985.7
33	Исходный объем в-щ на начало расчетного периода	Руслowego	$W_{\text{нач.}}^P$	млн.м ³	1264.3	1182.8	815.3	64.4	64.4	64.4	64.4	1201.4	1184.6	64.3	735.6	1093.9	1182.6
34		Капарас	$W_{\text{нач.}}^K$	млн.м ³	323.2	309.0	294.7	279.3	234.8	108.2	0.0	597.0	577.0	557.7	540.4	525.3	510.6
35		С-с + К-к	$W_{\text{нач.}}^{C-c+K-k}$	млн.м ³	2003.3	1998.2	1992.7	1982.1	747.0	0.0	0.0	1206.0	1849.2	2010.0	1993.9	1985.7	1979.3
22	Отметки уровней на начало месяца	Руслowego, млн.м3	∇^P	м	130.0	129.5	127.2	118.0	117.8	117.8	117.8	130.0	130.0	118.0	127.0	129.4	130.0
23		Капарас, млн.м3	∇^K	м	125.5	125.4	125.2	125.0	123.7	121.2	118.0	129.8	129.4	129.1	128.9	128.6	128.4

24		С-с + К-к, млн.м3	▼ _{С-с+К-к}	м	127.5	127.4	127.4	127.4	120.4	116.0	116.0	120.8	123.4	127.5	127.4	127.4	127.4
25	Площадь зеркала в-щ	Русловое	F _i ^P	км ²	300.4	289.5	203.3	8.3	7.3	7.3	7.3	300.4	300.4	8.3	199.3	287.4	300.4
26		Капарас	F _i ^K	км ²	59.0	58.7	58.3	57.8	52.9	45.5	37.0	71.8	70.2	68.6	67.6	66.9	66.3
27		С-с + К-к	F _i ^{С-с+К-к}	км ²	256.7	256.5	256.3	255.9	188.3	166.0	166.0	192.6	215.2	257.0	256.3	256.0	255.8
28	Суммарная площадь зеркала в-щ		ΣF _i	км ²	616.1	604.7	517.9	322.0	248.6	218.8	210.3	564.8	585.8	333.8	523.2	610.3	622.4
29	объемы испарения в- щ	Русловое	W _и ^P	млн.м ³	6.0	6.2	8.4	0.6	0.6	1.0	1.1	29.2	26.9	0.5	6.3	7.1	94.0
30		Капарас	W _и ^K	млн.м ³	1.2	1.3	2.4	3.9	4.7	6.1	5.7	7.0	6.3	4.3	2.2	1.7	46.6
31		С-с + К-к	W _и ^{С-с+К-к}	млн.м ³	5.1	5.5	10.6	17.2	16.6	22.4	25.6	18.7	19.2	16.1	8.2	6.4	171.6
32	Суммарный объем испарения в-щ		ΣW _и	млн.м ³	12.3	13.0	21.4	21.6	21.9	29.6	32.4	54.9	52.4	20.9	16.7	15.2	312.1
17	Объем Руслового в-ща при минимальной отметке сработки		W _{min} ^P	млн.м ³	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	
18	Суммарный объемы на питьевые нужды за VII месяцев		W _{VII} ^{K.пит.}	млн.м ³	91.0	78.0	65.0	52.0	39.0	26.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	
21	Объемы откачки из Капараса на питьевые нужды		W _{отк} ^{K.пит.}	млн.м ³	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	
	Максимальный пропускной способности н/б		W _{про.} ^{н/б}	млн.м ³	10720.0	9720.0	10720. 0	10360. 0	10720. 0	10360.0	10720.0	10720.0	10360.0	10720.0	10360. 0	10720. 0	
	Объемы сработки С-с + К-к				0.0	0.0	0.0	1217.9	950.2	89.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Итого сработка ТМГУ				90.9	377.3	762.3	1258.5	1072.2	222.6	13.0	13.0	1131.6	13.0	13.0	13.0	
	Объемы оттока				2409.9	2678.4	3466.9	3982.4	5642.0	6642.7	9048.0	5733.9	3851.3	977.7	1659.3	1620.1	
38	Свободная емкость в-щ	Русловое			0.0	77.9	442.2	1192.6	1199.6	1204.7	1205.1	0.0	0.0	1121.2	450.1	90.0	
39		Капарас			286.8	301.0	315.3	330.7	375.2	501.8	610.0	13.0	33.0	52.3	69.6	84.7	
40		С-с + К-к			6.7	11.8	17.3	27.9	1263.0	2010.0	2010.0	804.0	160.8	0.0	16.1	24.3	
41	Объемы сработки	Русловое, млн.м3	W _{ср.} ^P	млн.м ³	77.9	364.3	749.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1118.6	0.0	0.0	0.0	2310.1
		Капарас, млн.м3	W _{ср.} ^K	млн.м ³	13.0	13.0	13.0	40.6	122.0	132.7	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	412.3
		С-с + К-к,	W _{ср.} ^{С-с+К-к}	млн.м ³	0.0	0.0	0.0	1217.9	950.2	89.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2258.0

		млн.м3															
42	Объемы наполнения	Русловое	$W_{\text{нап.}}^P$	млн.м ³	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1205.1	0.0	0.0	672.7	360.1	90.0	1122.8
		Капарас	$W_{\text{нап.}}^K$	млн.м ³	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	610.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	610.0
		С-с + К-к	$W_{\text{нап.}}^{C-C+K-K}$	млн.м ³	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1206.0	643.2	160.8	0.0	0.0	0.0	2010.0
43	Итого сработка		$\Sigma W_{\text{ср.}}$	млн.м ³	90.9	377.3	762.3	1258.5	1072.2	222.6	13.0	13.0	1131.6	13.0	13.0	13.0	4980.4
44	Итого Наполнение		$\Sigma W_{\text{нап.}}$	млн.м ³	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3021.1	643.2	160.8	672.7	360.1	90.0	4948.0
45	Объемы водохранилищ на конце каждого месяца	Русловое		млн.м3	1182.8	815.3	56.0	64.4	64.4	64.4	1201.4	1184.6	64.3	735.6	1093.9	1182.6	
		Капарас		млн.м3	309.0	294.7	279.3	234.8	108.2	0.0	597.0	577.0	557.7	540.4	525.3	510.6	708.3
		С-с + К-к		млн.м3	1998.2	1992.7	1982.1	747.0	0.0	0.0	1206.0	1849.2	2010.0	1993.9	1985.7	1979.3	1731.3
47	Суммарный объем водохранилищ		ΣW	млн.м ³	3490.0	3102.7	2317.4	1046.2	172.6	64.4	3004.4	3610.8	2632.0	3270.0	3604.9	3672.6	
48	Объемы оттока		$\Sigma W_{\text{отт.}}$	млн.м ³	2407.6	2675.4	3467.4	3974.7	5636.4	6641.3	9089.4	5702.8	3804.4	976.9	1654.8	1614.3	47645.4
49	Суммарный расход оттока		$\Sigma Q_{\text{отт.}}$	м3/сек	898.4	1105.5	1293.8	1534.6	2103.1	2564.2	3391.6	2127.9	1468.9	364.5	638.9	602.3	
	Мертвый объем Капарас		$W_{\text{ГМО}}^K$	млн.м ³	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	
	Мертвый объем Кушбулака		$W_{\text{УМО}}^{K-K}$	млн.м ³	790.0	790.0	790.0	790.0	790.0	790.0	790.0	790.0	790.0	790.0	790.0	790.0	
	Мертвый объем Султансаджара		$W_{\text{УМО}}^{C-C}$	млн.м ³	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	1060.0	
50	Объемы на экологию и санитарные пропуски				2147.6	1455.4	947.4	3344.7	3126.4	3441.3	4669.4	2192.8	3084.4	736.9	1394.8	894.3	
51	Расход реки, г.п. Дарганата(м3/сек)		Q_i	м3/сек	865.3	950.9	1009.2	1051.7	1705.2	2478.8	4498.6	2374.7	1112.2	611.0	774.7	633.3	

Приложение 3. Расчет заилнения Руслового водохранилища ТМГУ

При расчете приняты исходные данные за 2017 год.

№	Показатели	Ед. изм.	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	ВСЕГО
1	Проектный объём в-ща	млн.м3	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	2340.00	
2	Расчётный объём в-ща	млн.м3	1049.93	1048.62	1048.36	1049.69	1054.79	1049.01	1046.33	1043.64	1049.46	1057.69	1056.98	1056.56	1056.21
3	Начальные объёмы в-ща	млн.м3	479.26	932.10	813.26	76.89	398.13	651.76	611.85	358.07	82.50	161.71	347.73	695.56	
4	Конечные объёмы в-ща	млн.м3	933.37	813.51	76.89	388.93	656.89	614.20	359.83	82.50	151.27	348.18	695.93	609.11	
5	Объём воды совместной отметке	млн.м3	93.17	93.27	93.29	92.98	91.50	91.93	92.13	92.33	90.99	89.04	89.10	89.13	
6	Сток воды	млн.м3	1493.88	710.78	518.28	1944.66	3617.65	2957.35	4280.65	2486.78	1838.90	1416.94	1005.78	1209.89	23481.55
7	Расход воды (Q_p^1)	м3/сек	557.4	292.5	193.4	750.8	1350	1142	1597.3	927.9	710	528.71	388.3	451.45	
8	Ширина расчетного русла (B_p^1)	м	185.81	97.50	64.46	250.28	449.96	380.61	532.42	309.30	236.67	176.24	129.44	150.48	
9	Мутность	кг/м3	1.04	0.58	0.40	1.36	2.30	1.98	1.91	1.17	0.92	0.71	0.53	0.61	
10	Дополнительная нагрузка потока при размыве	кг/м3	0.00	0.00	9.04	9.04	0.00	0.00	0.00	8.23	8.20	0.00	0.00	0.00	
11	Уровень воды на начало месяца	м	126.13	129.31	128.57	119.32	125.25	127.45	127.18	124.91	120.00	122.13	124.58	127.66	127.03
12	Уровень воды на	м	129.31	128.57	119.32	125.25	127.45	127.18	124.91	120.00	122.13	124.58	127.66	127.03	

	конец месяца														
13	Коэффициент осветления воды		0.43	0.54	0.25	0.10	0.31	0.38	0.27	0.09	0.01	0.11	0.30	0.40	
14	Суммарный объём отложений	млн.м3	1290.07	1291.38	1291.64	1290.31	1285.21	1290.99	1293.67	1296.36	1290.54	1282.31	1283.02	1283.44	
15	Отметка суммарного объёма отложений	м	126.639	126.645	126.646	126.640	126.619	126.643	126.654	126.665	126.641	126.607	126.610	126.612	
16	Совместные отметки начальные	м	121.29	121.31	121.31	121.27	121.09	121.14	121.17	121.19	121.03	120.79	120.80	120.80	
17	Совместные отметки конечные	м	121.31	121.31	121.27	121.09	121.14	121.17	121.19	121.03	120.79	120.80	120.80	120.81	
18	Приток наносов	млн.м3	1.86	0.49	0.25	3.16	9.98	7.01	9.81	3.50	2.03	1.20	0.65	0.89	40.83
19	Объём осаждённых наносов	млн.м3	1.31	0.27	0.05	1.67	5.78	2.68	2.69	0.24	0.43	0.70	0.42	0.35	16.58
20	Объёмы размыва	млн.м3	0.00	0.00	1.39	6.76	0.00	0.00	0.00	6.05	8.65	0.00	0.00	0.00	22.86

Контакты:

Региональный экологический центр Центральной Азии
мкрн Орбита-1, 40
050043 Алматы, Казахстан
+7 (727) 265 4333
+7 (727) 265 4334
info@carececo.org
<https://carececo.org/>