

ИКРАМОВА М. Р.

**РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ АМУДАРЬЯ
КОМПЛЕКСОМ ВОДОХРАНИЛИЩ
ТУЯМУОНСКОГО ГИДРОУЗЛА**



RS Global

Warsaw 2021

ИКРАМОВА МАЛИКА РАХИМБЕРДИЕВНА

**РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ АМУДАРЬЯ
КОМПЛЕКСОМ ВОДОХРАНИЛИЩ
ТУЯМУЮНСКОГО ГИДРОУЗЛА**

**RS Global
Warsaw, Poland
2021**

DOI: 10.31435/rsglobal/032

*Монография рекомендована к публикации Ученым Советом
Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем
Министерства водного хозяйства РУз.
(Протокол №10 от 18 сентября 2020 г.).*

Рецензент:

Доктор технических наук, профессор С. Худайкулов

Икрамова Малика Рахимбердиевна

Регулирование стока реки Амударья комплексом водохранилищ
Туямуюнского гидроузла. – Warsaw: RS Global Sp. z O.O., 2021. – 78 с.

ISBN 978-83-960097-8-4

ISBN 978-83-960097-9-1 (eBook)

В монографии излагаются результаты многолетних исследований, посвященных изучению режимов работы водохранилищ равнинных рек путем разработки модели их режима работы и методов расчета его заилиения с учетом изменения уровня воды и морфологических характеристик отраженных в ГИС модели в 3D формате. Разработаны рекомендации по усовершенствованию режимов работы водохранилищ. Книга рассчитана для специалистов проектных и эксплуатационных водохозяйственных организаций. Приводимые материалы можно использовать при чтении курса лекций по инженерной гидрологии, водохранилищным гидроузлам и русловым процессам для докторантов, магистрантов и студентов факультетов «Гидромелиорация» и «Гидротехническое строительство».

ISBN 978-83-960097-8-4
ISBN 978-83-960097-9-1 (eBook)

© Икрамова М. П., 2021
© RS Global Sp. z O.O., 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК ВОДОХРАНИЛИЩАМИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕЧНОЕ РУСЛО.....	5
1.1 Гидро-морфологические процессы при создании водохранилищ.....	5
1.2 Характерные участки в зоне водохранилищ и методы расчетов заиления.....	8
1.3 Математические модели движения воды в водохранилищах.....	10
2. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕКИ АМУДАРЬИ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ ТУЯМУЮНСКОГО ГИДРОУЗЛА И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РЕЧНОЕ РУСЛО.....	13
2.1 Характеристика исследуемого участка.....	13
2.2 Результаты натурных исследований водохранилищ ТМГУ.....	18
2.3 Русловые процессы в зоне водохранилища: поступление наносов, осаждение, размыв и транзит.....	22
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ И РАСЧЕТЫ.....	26
3.1 Исходная информация и условия моделирования.....	26
3.2 Модель управления водохранилищами.....	27
3.3 Вариантные расчеты по подбору рациональных режимов.....	30
3.4 Режимы работы водохранилищ в зависимости от водности года.....	31
3.5 Расчет компонентов баланса воды в водохранилищах.....	34
3.5.1 Определение объемов испарения с водной поверхности водохранилищ ТМГУ.....	34
3.5.2 Определение объема испарения с обсыхающего ложа водохранилищ.....	35
3.5.3 Расчет потери воды на фильтрацию.....	36
3.5.4 Объемы аккумуляции и потерь воды в наносных отложениях Руслового водохранилища.....	37
3.6 Метод расчета заиления чаши водохранилища.....	39
4. ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ВОДОХРАНИЛИЩ.....	49
4.1 Моделирование русловых процессов в чаше водохранилища с помощью «МОНІD».....	49
4.2 ГИС моделирование Руслового водохранилища.....	50
4.3 Оценка исследуемой поверхности с помощью SURFER.....	52
5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	54
5.1 Рациональные режимы работы водохранилищ ТМГУ.....	54
5.2 Эффективность разработанных моделей.....	56
5.3 Регулирование заиления и количества наносов, поступающих в нижний бьеф.....	59
ВЫВОДЫ.....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	66
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	72

ВВЕДЕНИЕ

Регулирование стока рек с помощью водохранилищ и крупных водозаборных гидроузлов является одним из основных направлений комплексного управления водными ресурсами в мире. В связи с этим, управлению речного стока в разрезе времени и возникающим в последствии изменению гидрологического режима реки уделяется особое внимание в развитых странах, включая США, Австралию, Нидерланды, Данию, Австрию, Великобританию, Германию, Китай, Египет, Россию, Казахстан, Киргизстан, Таджикистан, Узбекистан и другие. Разработка режимов работы водохранилищ на основе современных методов моделирования и программирования, способствующих снижению интенсивности их заиления и размывов русла реки в нижнем бьефе осветленным водным потоком, а также обеспечение их надежной эксплуатации для каждого конкретного объекта является актуальной проблемой.

Активно ведется целевая научно-исследовательская деятельность, направленная на рационализацию эксплуатационного режима работы водохранилищных гидроузлов, разработке надежных и эффективных технологий для снижения антропогенной нагрузки речному бассейну. В этой связи, разработка методов расчета процесса заиления и потери емкостного потенциала водохранилищ, воздействие регулирования стока на русловые процессы в нижнем бьефе реки является одной из основных задач.

В настоящее время в республике проводятся мероприятия по возведению водохранилищ на реках и соответственно ведутся работы по разработке новых методов, способствующих улучшению эксплуатации гидротехнических сооружений, предупреждению эрозии русла и берегов, заиления каналов, совершенствованию методов определения показателей, влияющих на эффективность использования водных ресурсов. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены задачи по «...развитию мелиорации и ирригационных объектов для повышения конкурентоспособности национальной экономики»¹. При реализации данных задач, особое значение имеет проведение научно-исследовательских работ, направленных на разработку надежных, эффективных и научно-обоснованных методов управления водохранилищами с учетом водности года и изменения его емкости, изменения гидрологического режима реки под воздействием зарегулированного стока и его влияния на водозаборы, разработка методов их расчета имеющих научное и практическое значение.

¹ Указ президента республики Узбекистан о «Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» за № ПФ-4947 от 7 февраля 2017года.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК ВОДОХРАНИЛИЩАМИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕЧНОЕ РУСЛО

1.1 Гидро-морфологические процессы при создании водохранилищ

Создание водохранилищ является одним из самых эффективных способов решения проблем водообеспеченности путем активного регулирования и перераспределения речного стока во времени и в интересах отраслей экономики. В Узбекистане эксплуатируются свыше 50 крупных водохранилищ и многочисленные малые водохранилища, которые используются в основном для нужд орошения и энергетики. 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. Вследствие этого, они вступают в интенсивное взаимодействие с естественной средой и воздействуют на бытовые условия речной системы, что в конечном результате:

- приводят к затоплениям больших площадей суши и подтоплению прибрежных земель,
- создают новый микроклимат,
- изменяется флора и фауна на территории;
- вызывают изменения запасов подземных вод и их размещения;
- изменяют русловой режим водотока выше и ниже створа плотины, и вызывает другие позитивные и негативные явления.

При этом, негативные последствия могут быть снижены путем улучшения режима работы водохранилищ и регулирования русла реки в нижнем бьефе (Рис.1).

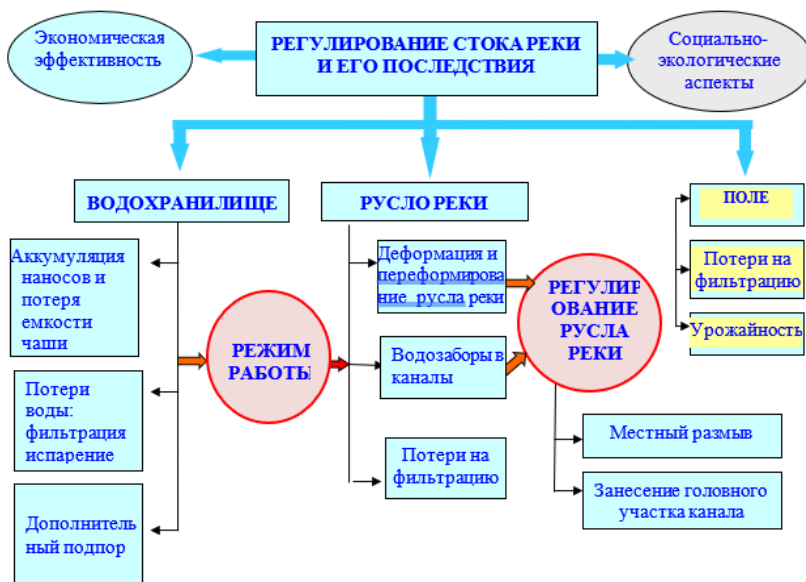


Рис.1 Комплекс явлений в зоне действия водохранилища

Режим течения воды и движения наносов в водохранилищах очень сложный. Происходящие гидравлические и морфологические процессы с эрозией берегов и транспортом наносов, а также практические задачи, возникающие при взаимодействии потока с инженерными сооружениями, расположенными в зоне водохранилищ, относятся к наиболее сложным проблемам речной гидравлики, руслового процесса и гидротехники. В зоне выклинивания подпора и в верхнем участке водохранилища, главным образом в затопленных руслах основных рек, хорошо прослеживаются стоковые течения. В приплотинном участке также возникают течения под влиянием 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 чаши водохранилища, эрозией и переформированием береговой линии. Несмотря на необходимость построения теории формирования течений, механизмы многих явлений, определяющих закономерности распространения этих потоков, еще не раскрыты [31, 56, 67, 77, 79, 81, 78, 38].

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. Анализ исследований показывает, что основная проблема построения математических моделей течений в водохранилищах связана с дефицитом необходимой информации, данных измерений в натуре и лабораториях. Изучение гидрологических показателей речного бассейна позволяет наиболее оптимально использовать их водные ресурсы. Проблема взаимодействия водохранилищ с окружающей средой и вопросы их водообмена рассмотрены в работах Авакяна А.Б. [1], Караушева А.В. [27], Матарзина Ю.М. [34], Becker L., Yeh W. [59], Goldsmith E. [65], Cluer B., Thorne C.A. [61] и других. Методы расчета основных составляющих водного баланса, такие как последовательная комплексная регрессия, интегральное осреднение функции поверхностного стока нашли свое отражение в трудах Голосова В.Н. [8], Готванского В.И. [9], Штефана В.Н. [52], Сорокина А.Г. [45], Эдельштейна К.К. [53, 55], Baker D.W. et al. [58], Brooke N. [60]. Методы, которые существуют для определения потерь, основанные на учете потоков тепла и влаги в приводном слое и с помощью испарительных установок, приведены в работах Вуглинского В.С. [6, 7].

С учетом роли водохранилищ и связанных с ними целого комплекса водохозяйственных сооружений в развитии общества особое значение приобретает теория регулирования и использования речного стока, являющаяся научной базой для гидрологического и водохозяйственного обоснования гидротехнических мероприятий. Значительную роль в развитии этой теории сыграли работы известных ученых Никифорова Д.А. [36], Позднякова Ш.Р. [37], Берковича К.М. [3], Прытковой М.Я. [38], Votruba L. [83] и других. Наиболее существенные достижения в этой области были получены благодаря работам ученых Великанова М.А. [4], Авакяна А.Б. [1], Раткович Д.Я. [40], Саваренского А.Д. [42], Гаппарова Ф. [43], Сорокина А.Г. [45], Brooke N. [60], Becker L. [59], Dirk S. [62], Froebrich J. [64, 63], Goldsmith E. [65], Heydari M. [66], Itoh T. [69], Kantoush S.A. [70], Li W. [71], Olsson O. [72, 73, 75], White C. [84] и других. В настоящее время теория регулирования стока превратилась в мощный аппарат обоснования водохозяйственных мероприятий самого различного уровня, хотя многие вопросы еще требуют более подробного рассмотрения.

1.2 Характерные участки в зоне водохранилищ и методы расчетов заиления

Гидродинамический режим водохранилищ является неустойчившимся, что определяет изменение во времени структуры качества воды по плоскости и глубине, так как интенсивные колебания поступающих расходов, скорости течений и их разнонаправленность, обусловленные режимом их работы, влияют на процессы осаждения наносов и их транзит. В процессе создания водохранилищ на реках формируются три зоны, характерные различными изменениями условий руслоформирования: зона подпора с выклиниванием, зона чаши водохранилища и за плотиной – зона нижнего бьефа [35].

Гидрологическая обстановка в зоне *выклинивания подпора* характеризуется тем, что расходы воды по величине остаются как в естественных условиях, но сохраняются повышенные уровни. Верхняя граница зоны перемещается вверх или вниз по течению, размеры которого изменяется от величины подпора. Сток наносов также поступает в прежних размерах, однако условия его транспорта изменяются. Вследствие подпора и уменьшения скоростей течения происходит осаждение наносов и формируется новое русло. При этом, тип руслового процесса, существовавший в естественных условиях, имеет значение. При небольшой глубине затопления поймы, возможно их полное занесение, а при больших глубинах затопления возможно образование новых проток на пойме и расчленение пойменных массивов. Происходит увеличение отложений наносов в русле в результате их поступления с поймы. Кроме этого, в зоне подпора могут создаваться разные тенденции в развитии речного русла и вместо явлений аккумуляции могут возникать явления размыва.

В зоне водохранилища, процессы отличаются от естественных условий. В чаще водохранилища происходит заиление путем осаждения взвешенных наносов и занесения донными наносами. Заиление происходит по всему дну чаши водохранилища, занесение начинается в верхней части и постепенно распространяется к плотине. В водохранилище вследствие возникновения вдольбереговых течений наблюдается перемещение наносов также и вдоль берегов. Переформирования берегов водохранилищ как результат ветроволновых воздействий дают дополнительные объемы наносов, усиливающее процессы заиления. Из-за изменений уровня подземных вод в связи с новыми условиями их выклинивания в водохранилище возникают обвалы и оползни, также поставляющие наносы, способствующие заилению.

Еще один характерный участок — *зона нижнего бьефа*, начинается за плотиной. В зоне нижнего бьефа изменения в гидрологической обстановке проявляются в наибольшей мере. Основная особенность этой зоны заключается в процессе выравнивания стока: половодье, задерживаемое в водохранилище, срезается. А сбросы из водохранилища приводят к

увеличению расходов воды в период межени. При этом, происходит уменьшение стока донных и взвешенных наносов. Благодаря этому в нижний бьеф поступает меньшее количество наносов, начинаются размывы.

Таким образом, в зависимости от сочетания всех перечисленных факторов, влияющих на режим русловых деформаций, морфологический эффект их воздействия может быть различным. Между тем достаточно надежных методов расчета и прогноза еще не разработано [5].

В настоящее время разработано большое количество методов расчета заиления и занесения водохранилищ, в той или иной степени учитывающих их специфические особенности [29, 33, 80, 32]. Так, на основе анализов результатов исследований многих авторов выделяется три группы методов расчета заиления водохранилищ, и ниже рассмотрены лишь основные группы методов, оценив их достоинства и недостатки.

Методы первой группы, базирующиеся на материалах натурных исследований заиления (эмпирические), к которой в основном относятся методы зарубежных исследователей. Метод Г.И. Шамова [49] рекомендуется для предварительных расчетов, и он основан на ряде допущений, в частности, о том, что русловые и нерусловые наносы в первый период задерживаются в водохранилище и оседают на дне по всей его длине. При этом допускается, что из-за увеличения глубин и уменьшения средних скоростей потока в водохранилище по мере его продвижения к гидроузлу выпадение взвешенных наносов должно увеличиваться.

Методы второй группы – балансовые – широко распространены и основаны на определении транспортирующей способности потоков в смежных створах водохранилища. Метод базируется на определении объемов заиления по разности транспортирующей способности потока в смежных расчетных створах и не учитываются непрерывное изменение элементов потока при заилении. Причем различные авторы применяют для этого разные методики ее расчета, в частности, применяются графические зависимости, построенные по натурным данным о расходах наносов. Известны методики К.И. Россинского, И.А. Кузьмина и И.И. Леви, Д.Я. Ратковича [40] и других авторов. Эти методы фактически являются упрощенными вариантами методик третьей группы, отметим, что их основным недостатком является допущение о том, что в течение расчетного интервала времени гидравлические характеристики потока и, интенсивность заиления принимаются постоянными. Это приводит к большой трудоемкости расчетов из-за необходимости назначать малые интервалы времени.

Методы третьей группы определяют объемы заиления с учетом непрерывного изменения характеристик русла и потока. Они также называются балансовыми, но в них учитывается непрерывное изменение транспортирующей способности потока, происходящее при заилении водохранилища. Эти методы основаны на вскрытие механизма аккумуляции

наносов. В настоящее время известно большое количество методов как отечественных, так и зарубежных авторов [30, 32].

При расчетах заиления обычно решаются вопросы по оценке сроков заиления водохранилища, потерь его полезной емкости, устанавливаются границы затопления, границы активизации поперечных смещений русла, определяется количество наносов, приносимых к плотине, и оценивается эффективность промывок водохранилища. Расчет заиления водохранилищ по методике Л.В. Караушева выполняется на основе баланса наносов в целом или по отдельным участкам. При этом учитывается изменение гидравлических характеристик, вызванное отложением наносов [27].

Оценка сроков существования водохранилищ выполняется на основе расчета общего заиления и начинается с определения кривых подпора. Расчет кривой свободной поверхности, изменяющейся в процессе заиления, выполняется в тех случаях, когда в зону затопления попадают объекты хозяйственной значимости. Главная задача расчета — установить предельное положение кривой свободной поверхности, при котором уже может осуществляться сток наносов. Таким образом, построение кривой, необходимой для определения верхней границы заиленного участка, осуществляется обычным способом. Выполненный анализ методов расчета заиления и занесения водохранилищ свидетельствует о необходимости их доработки с целью повышения надежности и упрощения без ущерба для точности.

1.3 Математические модели движения воды в водохранилищах

Существует много вариантов математической модели движения воды в водоемах. Однако, количество работ над моделями движения воды в водохранилищах, особенно в мелководных, немногочисленно. В созданных программных системах Рахуба А.В., Селезнев В.А., Махиня А. и др. для описания движения воды используются уравнения теории длинных волн, так называемые уравнения “мелкой воды” [41, 42, 53, 54, 55, 57, 82]. Эти уравнения в двумерной постановке имеют следующий вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - l v = F_x \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + l u = F_y \quad (1.2)$$

Преобразовав уравнения сохранения массы с учетом кинематических условий на свободной поверхности и на дне, и проинтегрировав по глубине, получена следующая зависимость:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [u(h+\zeta)]}{\partial x} + \frac{\partial [v(h+\zeta)]}{\partial y} = 0 \quad (1.3)$$

Где, $u(x,y,t)$ и $v(x,y,t)$ – усредненные по глубине продольные и поперечные скорости, $h(x,y,t)$ – невозмущенная глубина, $\zeta(x,y,t)$ – уровень свободной

поверхности, $H=(h+\zeta)$ -полная глубина, $l=2\cos\varphi$ – параметр Кориолиса, $\omega=2\pi/\text{сут}$ – угловая скорость вращения земли.

Компоненты внешней силы F_x и F_y учитывают касательные напряжения, связанные с ветром и донной поверхностью, а также горизонтальный турбулентный обмен:

$$F_x = c_a \frac{\rho_a}{\rho H} W_x |W| - \frac{f_{\text{дно}}}{H} u |v| + K_L \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} \quad (1.4)$$

$$F_y = c_a \frac{\rho_a}{\rho H} W_y |W| - \frac{f_{\text{дно}}}{H} v |v| + K_L \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} \quad (1.5)$$

Для касательного напряжения, обусловленного трением о донную поверхность вектор скорости течения здесь $f_{\text{дно}}=g/C^2$ – безразмерный коэффициент придонного трения, C – коэффициент Шези, K_L – коэффициент горизонтального турбулентного обмена, P_a – изменение атмосферного давления. В двумерной постановке уравнения для полных потоков, где

$U = \int_{-h}^{\zeta} u dz$ и $V = \int_{-h}^{\zeta} v dz$ имеют вид:

$$U_t + \left(\frac{U^2}{H} \right)_x + \left(\frac{UV}{H} \right)_y + gH\zeta_x = lV + c_a \frac{\rho_a}{\rho} W_x |W| - \frac{f_{\text{дно}}}{H^2} U |V| + K_L \nabla^2 U + \frac{H}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} \quad (1.6)$$

$$V_t + \left(\frac{VU}{H} \right)_x + \left(\frac{V^2}{H} \right)_y + gH\zeta_y = -lU + c_a \frac{\rho_a}{\rho} W_y |W| - \frac{f_{\text{дно}}}{H^2} V |V| + K_L \nabla^2 V + \frac{H}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} \quad (1.7)$$

Где $\zeta_t + U_x + V_y = 0$.

Эти уравнения могут быть решены при задании граничных условий для u, v, ζ [85]. На твердых береговых границах граничные условия имеют вид $u_n=0$; $K_L \frac{\partial u_\tau}{\partial n} = -f_b u_\tau V$, где, u_n – нормальная компонента скорости; u_τ – тангенциальный компонент скорости под квадратичным законом трения, аналогичный придонному; f_b – коэффициент бокового трения. При этом приняты следующие граничные условия для открытых боковых границ: $u_\tau = 0$, т.е. касательная к границе составляющая скорости равна нулю. В качестве других условий может быть принято $u_\tau = f(t)$, т.е. нормальная компонента скорости как функция времени, или линейная зависимость между нормальной компонентой скорости и уровнем воды $u_n = \pm \left(\frac{g}{h} \right)^2 \zeta$.

При изучении условий формирования морфологического строения чаши водохранилищ наряду с особенностями морфологии дна и береговой эрозией большое значение имеет оценка гидродинамической активности водных масс, которая связана с регулированием стока [41, 44, 46]. Математическое моделирование заиления водохранилищ позволяет оценивать динамику изменения отметок дна при текущих гидродинамических условиях, также может давать прогнозы при изменении условий нормирования жидкого и твердого стока на водосборе. При этом, определена взаимосвязь между изменением морфометрических характеристик чаши водохранилища и переменными

состояниями водной массы. Представлена зависимость для расхода наносов, которая выражает движение воды и твердого вещества с учетом баланса сил, действующих в системе водный поток – донные отложения – взвешенные наносы, которая апробирована для различных географических зон и имеющих разные гидравлические и морфологические характеристики [51]:

$$G = \frac{\rho_{\text{грунта}}}{\rho_{\text{грунта}} - \rho_{\text{воды}}} Q \left[\frac{c}{Hg} - (1 - f)\rho_{\text{воды}}^I \right] \quad (1.8)$$

Где G – расход наносов; Q – расход воды; $\rho_{\text{грунта}}$ и $\rho_{\text{воды}}$ – плотности грунта и воды, соответственно кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; I – уклон дна; H – глубина потока, м; f – коэффициент внутреннего трения, б/р; c – сцепление частиц грунта при сдвиге, $\text{кг}/(\text{мс}^2)$.

Выводы: Анализ ранее выполненных работ показал, что многие актуальные вопросы изменения гидрологического режима реки и водохранилищ, движения речного потока в зонах водохранилищ, процессы заиления их чаши, режимы их работы и борьба с наносами, потери воды на испарение, процессы фильтрации и инфильтрации затронуты многими исследователями в разной степени. Выполненный анализ методов расчета заиления и занесения водохранилищ свидетельствует о необходимости их доработки с целью повышения надежности и упрощения без ущерба для точности. На основе вышеприведенного анализа можно сделать заключение, что во взглядах различных авторов нет единства, недостаточное количество комплексных исследований, отсутствие обобщающих теоретических работ по разным научным направлениям. Это сказывается на расчетных зависимостях для определения многих гидрологических характеристик и водохозяйственных показателей. Они отличаются по структуре, в разной мере учитываются влияния каждого из параметров.

2. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕКИ АМУДАРЬИ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ ТУЯМУОНСКОГО ГИДРОУЗЛА И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РЕЧНОЕ РУСЛО

Объектами исследований были приняты крупные водохранилища Туямуонского гидроузла (ТМГУ) на реке Амударья, где проведены натурные исследования. Уникальность и сложность режима эксплуатации ТМГУ заключается в том, что гидроузел состоит из комплекса водохранилищ: Русловое и три наливных – Капарас, Султансанджар и Кошбулак, которые должны работать в слаженном и согласованном режиме. Проведено изучение многолетних данных по режиму работы водохранилищ при различных уровнях водности реки и анализ их эффективности с точки зрения потерь воды, мутности потока, заиления чаши и потери ёмкости, вопросы дополнительного подпора, водоснабжения подвешенных территорий, воздействие на русловые процессы в нижнем течении реки и т.д.

2.1 Характеристика исследуемого участка

Туямуонский водохранилищный гидроузел введен в эксплуатацию в 1985 году с полной емкостью 7,80 млрд. м³, который обеспечивает гарантированную водоподачу на орошение 1,2 млн. га земель. Гидроузел расположен на границе среднего и нижнего течения реки Амударья в теснине Тюямуон, на расстоянии 450 км от Аральского моря на стыке границ территорий Хорезма, Каракалпакстана, Бухары и Дашхауза (Туркменистан). В состав ТМГУ входят Русловое и три наливных водохранилища – Капарас, Султансанджар и Кошбулак, основные проектные характеристики которых приведены ниже в таблице.

Основными функциями водохранилищ ТМГУ являются обеспечение сезонного регулирования стока р. Амударья в интересах водопотребителей низовьев реки, обеспечение гарантированного водозабора в оросительные системы, сокращение поступления наносов при заборе воды в магистральные каналы, аккумулярование чистой воды в водохранилище Капарас с целью ее дальнейшего использования для нужд питьевого водоснабжения населения [16, 21]. Водоохранилища по морфологическим признакам, как полный объем и площадь водного зеркала, относятся к категории *больших водохранилищ*. По конфигурации Русловое водохранилище относится к типу *продолговатых*, а Капарасское, Султансанджарское и Кошбулакское водохранилища к *округлой* форме. По характеру регулирования стока водохранилища относятся к типу *сезонного регулирования* с интенсивным водообменном.

Таблица 2.1. Технические характеристики водохранилищ ТМГУ

Характеристики	Ед. измерения	Русловое	Капарас	Султан-санджар	Кошбулак	Всего
Полезная емкость	км ³	2,07	0,55	1,63	1,02	5,27
Площадь зеркала воды при НПУ	км ²	303	70	149	128	650
Отметка НПУ	м	130	130	130	130	130
Отметка УМО	м	120	120	116	120	
Длина	км	102	15	24	26	167
Ширина:						
максимальная	км	11	9	12	11	
средняя	км	4	4	8	6	
Глубина при НПУ:						
максимальная	м	20	36	38	41	
средняя	м	7,7	13,7	18	14,2	
Глубина при УМО:						
максимальная	м	10	26	28	31	
средняя	м	2,8	9,3	10,8	12,7	
Проектные сроки заиления полезной емкости	лет	35- 40	~100	> 100		

Все водохранилища гидроузла взаимосвязаны между собой. Русловое сообщается с Капарасом через перегораживающее сооружение, а Султансанджар и Кошбулак соединены специально построенным каналом. Технические характеристики сооружений, входящих в состав ТМГУ приведены ниже (Рис. 2.1):

- бетонная водосбросная плотина протяженностью 141 м, 9 пролетов, из них 8 имеют донные отверстия и 1 пролет – поверхностный водосброс,
- земляная плотина,
- ГЭС мощностью 150 тыс. Квт,
- Левобережный и Правобережный магистральные каналы с пропускной способностью соответственно 500 м³/с и 200 м³/с,
- шлюз-регулятор с дюкером на Левобережном магистральном канале,

- водозабор с каналом наполнения и сброски Султансанджарского водохранилища,
- водозабор с каналом осветленной воды Султансанджарского водохранилища,
- водозабор с каналом наполнения и сброски Кошбулакского водохранилища.

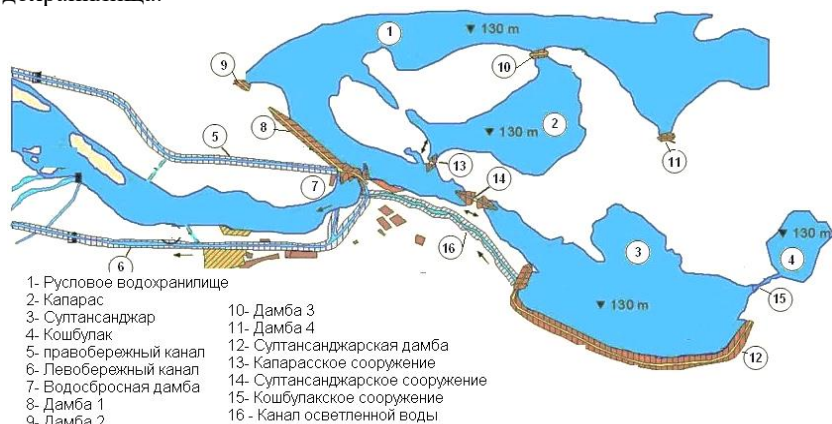


Рисунок 2.1 Расположение сооружений ТМГУ

Водохранилища ТМГУ функционируют следующим образом.

Комплекс водорегулирующих сооружений построен так, что наполнение и сброска Руслового и Капарасского водохранилищ осуществляется самостоятельно. Наполнение полностью опорожненных емкостей связано с отметками подпора следующим образом: 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 на отметке 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.

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 равным уровням воды в Султансанджаре. Сброска воды из водохранилищ производится из Руслового в нижний бьеф в Левобережный и Правобережный магистральные каналы (ЛМК и ПМК), из Капараса в Русловое, из Султансанджара в Русловое и ЛМК, из Кошбулака в Султансанджар.

Метод исследования в зоне водохранилищ. Задачами натурных исследований Руслowego водохранилища являлись:

- определение объема наносных отложений, образовавшихся в его чаше водохранилища за период эксплуатации с момента ввода в действие;
- изучение распределения образовавшегося объема наносных отложений по длине чаши водохранилища и высотным зонам;
- определение влияния наносных отложений на основную характеристику водохранилища – кривую объемов $W=f(H)$ и с учетом этого влияния провести соответствующую корректировку.

Измерительные работы по определению полезного объема водохранилищ ТМГУ производились эхолотом модели «CEEDUCER» Австралийского производства, который позволяет произвести работы за сравнительно короткий срок с высокой точностью без сложных геодезических съемок. Измерения чаши водохранилищ производились экспедицией НИИВВП (ранее НПО САНИИРИ), ГУП «Botiometrik markaz» при MBX РУз. Промеры по уточнению объема водохранилища проводились в следующем порядке. Устанавливается связь координат геодезических пунктов и отметок с рабочими точками производится устройством «BASE RTK» и GPS антенной в системе WGS-84, производится корректировка относительно Балтийской системы (Рис.2.2). Объект обходится по контуру и вводится в манипулятор координаты начала створов и конец. Затем переходится в «ONLINE» режим, устанавливается «BASE RTK» и «ROVER». Измеряется показания в режиме «DRAFT» и после принимается в расчет. Производится тарировка эхолота, и определяется оптимальная скорость лодки. Записываются данные в ROVER, транспортируются в PC или ноутбук и предварительно перерабатываются. Полученные данные обрабатываются с помощью программы «CEEDUC 2» и подготавливается технический отчет.

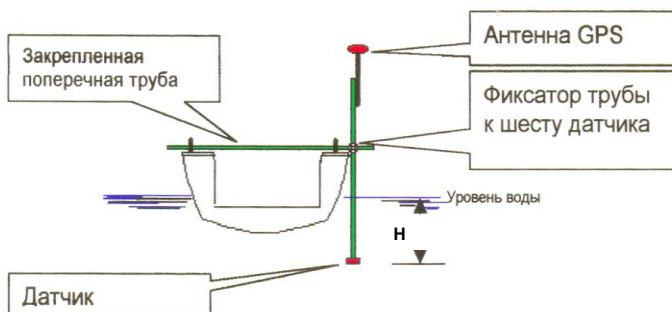


Рисунок 2.2 Размещение установок

При определении полезного объема водохранилища для определения координат и расстояния между точками не обязательно использовать

светодальномер и теодолит. GPS при «CEEDUCER» сам определяет месторасположение с помощью спутников земли, что в свою очередь дает возможность выполнить изыскательные работы за очень короткий срок. Для построения плана объекта хватит и одной точки с заранее известными координатами. С помощью этой точки воспроизводится общий план объекта (Рис. 2.3 и 2.4).

В основу методики проводимых натуральных исследований было положено определение объемов отложений путем вычитания объема воды в чаше из проектного объема. Общее число промерных створов в Русловом водохранилище было 32 шт. Они охватывали длину чаши протяженностью 68,91 км. При этом длина подпора колебалась около 74,5 км.

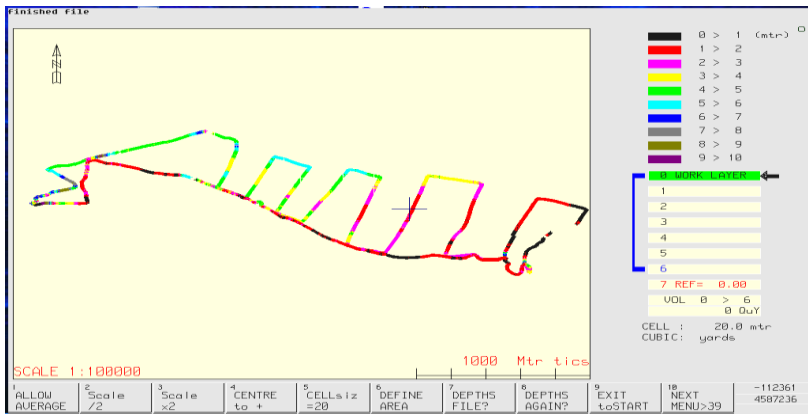


Рисунок 2.3 Построение кривых зависимостей объема и зеркала

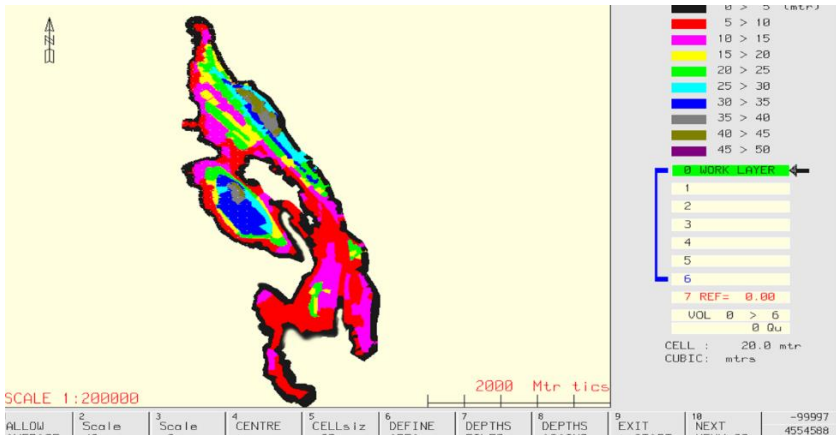


Рисунок 2.4 Изображение морфологии по отметкам

Створы были разбиты, закреплены и привязаны по геодезической сети ТМГУ. Учитывая не параллельность разбитых створов в плане, а также местные изломы плановой конфигурации чаши водохранилища, после нивелировки были вычислены поправочные коэффициенты, позволяющие переводить объемы, определенные промерами на створах в объемы, соответствующие одинаковым отметкам уровня воды на основании плановых площадей, полученных планиметрированием горизонталей чаши (Рис. 2.5). Коэффициенты колебались в пределах 1,0-1,2. Расходы колебались в пределах 2000-4060 м³/с, диапазон поверхности воды – на отметках 122-130 м.

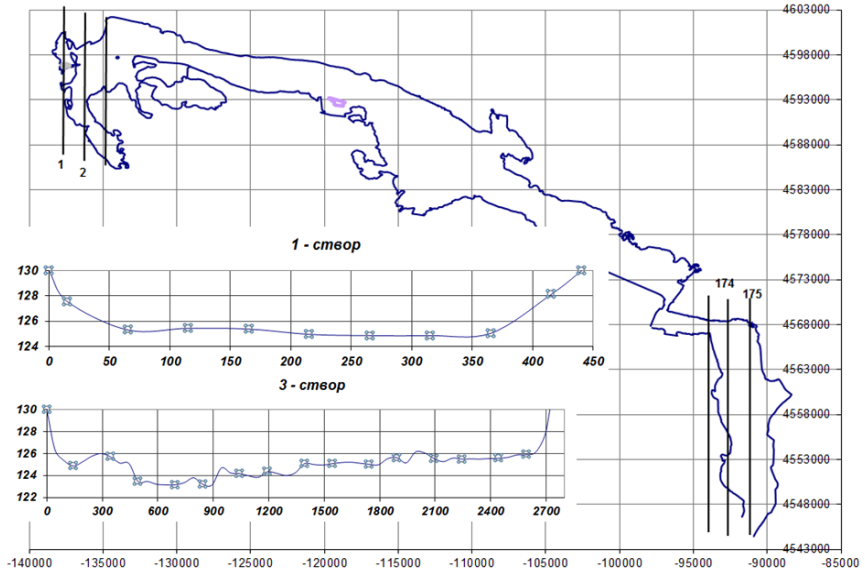


Рисунок 2.5 Съемочная карта Руслового водохранилища

2.2 Результаты натурных исследований водохранилищ ТМГУ

Режим стока реки Амударья вблизи ТМГУ принят по данным гидропостов Дарганата (155 км выше створа плотины) и Тюямуюн (5 км ниже створа плотины). За более 40 лет эксплуатации водохранилищ ТМГУ их проектные показатели значительно изменились. С 1981 года началось заполнение чаши Руслового водохранилища ТМГУ и с этого момента идет систематический процесс заиления, снижающий объем аккумулирующей емкости. Начальная емкость, составляющая по проекту 2340 млн. м³ к 1985 году снизилась на 585 млн. м³. С 1985 по 2002 год аккумулирующая емкость водохранилища снизилась еще на 355 млн. м³. Интенсивность заиления за 20

лет (1985-2005 гг.) в среднем составила 22,2 млн. м³ в год. По данным замеров, выполненных ГУП «Батиметрический центр» объем заиления Руслового водохранилища превысил 1200 млн. м³ /Отчет Батиметрического Центра при МВХ РУз/. К концу 2016 года общий объем заиления водохранилища по расчетам составил 1370 млн. м³. Ниже приведен график изменения емкости Руслового водохранилища в результате заиления его чаши (Рис. 2.6).

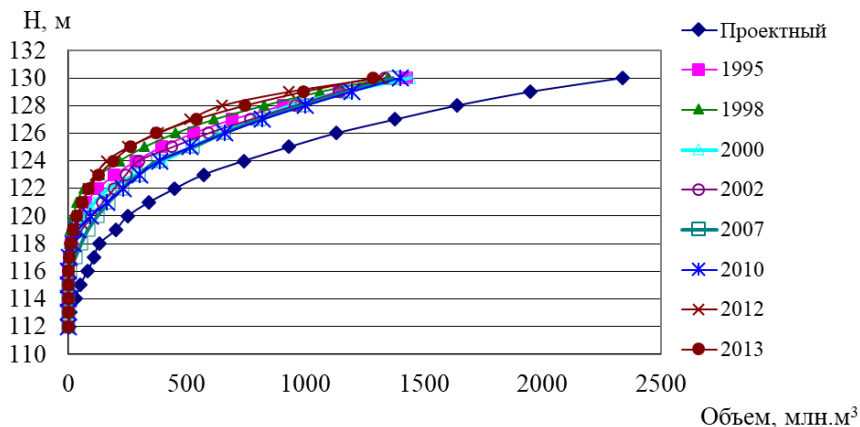


Рисунок 2.6 График изменения объема водохранилища по годам

Рассматривая заиление водохранилища в высотном разрезе, отметим, что от 112 м до 117 м отметки произошло заиление водохранилища на 95% и достигло 104 млн. м³ при проектной емкости 110 млн. м³. С отметки 117 м до 123 м заиление достигло 36% от проектного объема и составило 166 млн. м³ (проектный объем 460 млн. м³). С отметки 123 м до 130 м заиление достигло 38% и составило 670 млн. м³ (проектный объем 1770 млн. м³).

Водохранилище Кошбулак потеряло часть полезной емкости из-за оползневых явлений на соединительном канале и поступления наносов. Часть полезной емкости водохранилищ Кошбулак и Султансанджар потеряна за счет фильтрации дамбы Султансанджарского водохранилища, что не позволяет накопить в чашах проектный объем воды (отметка уровня не более 127 м). Водохранилище Капарас в настоящее время используется для создания запасов качественной воды для питьевых целей. Необходимость заполнения Капараса в самый напряженный период (июль-август), особенно в маловодные годы, в сочетании с недостаточной пропускной способностью системы сброса из Султансанджарского водохранилища и снижением его полезного объема, резко ограничивает возможность удовлетворения низовьев оросительной водой. Имеются потери воды из водохранилищ на испарение и фильтрацию, достигающие при их полном наполнении до 1100 млн. м³/год.

Оценка невязок водного баланса ТМГУ за период 1996-2018 гг., определяемые по данным Управления эксплуатации ТМГУ и УзГидрометом, показывает значительные расхождения в их объемах до 3 – 7 км³. Анализ этих невязок выявляет тенденцию их роста при увеличении притока воды к Русловому водохранилищу, работающему на высоких отметках уровня воды в нем, и уменьшение при его снижении. Анализ основных показателей работы ТМГУ показывает, что среднемесячные расходы и поступающие объемы воды изменялись следующим образом:

- расходы воды от 230 м³/с до 4500 м³/с;
- объемы стока от 0,60 км³ до 12,05 км³;
- сброс в нижний бьеф плотины от 135 м³/с до 4000 м³/с;
- среднемесячные расходы водоподачи в оросительные каналы, отходящие от ТМГУ, изменялись от 40 м³/с до 455 м³/с.

Режимы уровней воды у гидроузла при наполнении и сработке воды сопровождались заилинием или размывом Руслового водохранилища. Осветляющая способность русловой емкости и топография протоки, по которой вода самотеком поступает в Капарас и Султансанджар, сочетаются таким образом, что наносы в эти емкости не поступают. Поэтому, основной задачей улучшения гидрологического режима водохранилищ ТМГУ является максимальное использование имеющихся емкостей для накопления водных ресурсов и их рациональное и пропорциональное распределение в периоды дефицита стока реки. Регулирование речного стока в бассейне р. Амударья, аккумулярование наносов в водохранилищах, значительные водоотборы в каналы, оказали влияние на современный наносный режим реки. В таблице 2.2 приведены среднегодовые расходы взвешенных и влекомых наносов по данным гидропостов.

Таблица 2.2. Изменение среднегодовых расходов взвешенных и влекомых наносов по гидропостам, кг/с

Створы/ годы	Значения среднемесячных расходов наносов/ мутности потока, м ³ /с кг/м ³				Максимальные и минимальные значения среднемесячных расходов наносов и мутности потока
	1981	1982-1990	1991-2001	2002-2015	
Керки	<u>2000</u> 1,32	<u>1300÷8542</u> 1,09÷ 4,55	<u>1560÷28000</u> 0,72÷ 19	<u>1285÷7600</u> 1,70÷ 4,46	<u>250 ÷ 25000</u> 0,46÷9,0
Дарганата	<u>1500</u> 1,07	<u>860÷ 3460</u> 1,01÷ 2,48	<u>250÷18000</u> 0,30÷7,0	<u>754÷6200</u> 1,02÷4,02	<u>88 ÷9300</u> 0,33 ÷6,30
Туямуяун	<u>890</u> 0,62	<u>80 ÷340</u> 0,07÷0,187	<u>6,3÷1400</u> 0,016÷ 1,8	<u>6,0÷780</u> 0,013÷0,81	<u>1,4÷ 2600</u> 0,02÷ 1,30
Кипчак	<u>8900</u> 077	<u>87 ÷310</u> 0,22÷ 0,28	<u>19÷1500</u> 0,040÷0,89	<u>13÷1120</u> 0,14÷0,75	<u>6,3 ÷1300</u> 0,06 ÷0,71

В результате подпора уровней воды в Руслевом водохранилище, оседания наносов в его чаше, в нижний бьеф гидроузла поступала практически осветленная вода. В осенне-зимний период значения мутности минимальные, в пределах $0,02-0,08 \text{ кг/м}^3$. В летнее время наблюдались максимальные значения мутности $1,8 \text{ кг/м}^3$. При сработке водохранилища ниже отметки 118 м в вегетационный период мутность в нижнем бьефе достигает $1,10-1,80 \text{ кг/м}^3$. Годовой сток взвешенных и влекомых наносов колеблется от 4 до 10 млн. тонн в год. Были исследованы режим работы водохранилищ ТМГУ, сбросы воды и транзит наносов в нижний бьеф, а также процесс заилиния Руслевского водохранилища, потери воды на испарение и фильтрацию.

Анализ фактических режимов работы водохранилищ. Ниже приведены результаты анализов данных в виде графиков, отражающие фактические режимы работы водохранилищ ТМГУ. Из Рис. 2.7 видно, что все четыре водохранилища в основном функционируют аналогично, т.е. наполнение и сработка происходит приблизительно в те же периоды. При этом, 2006, 2008, 2011 годы были маловодными, что показывают графики сработки Султансанджарского водохранилища до отметки 112 м, а других до отметки 116 м. В многоводные годы уровни воды не спускались ниже отметки 122 м. Притом наполнение приходится на сентябрь-январь месяцы, а сработка – на февраль-август месяцы.

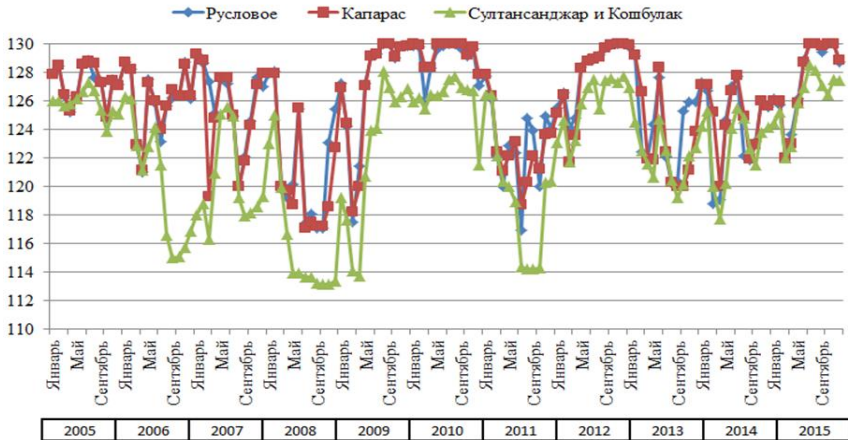


Рисунок 2.7 Режим работы водохранилищ ТМГУ за период 2005–2015 годы

Изменение уровня водной поверхности Руслевского водохранилища показывает, что режимы работы Руслевского водохранилища были аналогичны, кроме 2009-2010 годов. Эти годы были многоводными, и уровень держался практически весь период на отметке 129,5 м. Также сентябрь-январь 2012 года уровень воды поднимался до отметки 129,5 м. В

остальные годы уровень воды не превышал отметки 129 м, и ни разу не происходило полное наполнение водохранилища до отметки НПУ=130 м.

Анализ притока и оттока воды в водохранилище 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 и 2011 годах, что соответственно составило 14,1 км³ и 12,8 км³.

Потери воды из водохранилищ. Выполненные водобалансовые расчеты позволили уточнить потери воды на испарение в реке и 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 следующее:

- потери воды на испарение в реке от Дарганата до Руслового водохранилища изменялись за год в пределах 160 – 210 млн. м³. После полного ввода в эксплуатацию Руслового водохранилища эти потери достигали 250 – 550 млн. м³ в год. В наливных водохранилищах диапазон изменения годовых потерь на испарение составил: в Капарасе – 90 – 125 млн. м³ в год, в Султансанджаре – 125 – 200 млн. м³ в год, в Кошбулаке – 115 – 170 млн. м³ в год. В маловодные годы при глубоких сработках водохранилищ эти потери были наименьшими. Наибольшие значения потери достигали в многоводные годы, когда уровни воды поддерживались на высоких отметках длительное время;

- фильтрационные потоки оказались значительными в маловодные годы при глубоких сработках водохранилищ, а в многоводные годы, напротив, из водохранилищ при их интенсивном наполнении. Наибольшие фильтрационные потоки наблюдались в Русловом водохранилище: приток – до 330 млн. м³, отток – до 280 млн. м³ в год. В целом по всем водохранилищам максимальный приток достигал 430 млн. м³/год, а отток – 550 млн. м³/год. Благодаря фильтрационному притоку в водохранилища в маловодные годы суммарные потери воды снижались. Так, минимальная величина суммарных потерь составляла 570 млн. м³. В многоводные годы суммарные потери увеличивались до 1850 млн. м³/год.

2.3 Русловые процессы в зоне водохранилища: поступление наносов, осаднение, размыв и транзит

Анализ натурных исследований и данных эксплуатационной службы ТМГУ, также ГИС модель водохранилищ ТМГУ позволили выявить разницу в условиях продвижения, размывов и отложений наносов по длине водохранилища и условно разделить ее на три участка [11, 28].

Первый участок (створы 71-49) длиной около 15 км характеризуется почти полным заилением первоначального объема, составляющего по проекту 110 млн. м³. В настоящее время этот участок (от отметки 112 до 117) заилен на 95% и теперь является 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 происходит при работе водохранилища на пониженных отметках уровня воды и значительных расходах оттока в нижний бьеф [25].

Изучение динамики показывает, что при значительном снижении уровня воды у плотины (от 127 м до 118 м) на приплотинном участке происходит не только смыв отложений, образовавшихся к концу летнего наполнения водохранилища (июнь), но и процесс дальнейшего размыва отложений. Размыв на этом участке достигает до 31 млн. м³ при общем объеме размыва в водохранилище 35 млн. м³. 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 4450 м³/сек и уровнях водохранилища от 126,4 до 129,5 процент заиления на отметках 118-120 м колебался от 71 до 100% от общего объема заиления на данном участке водохранилища. На отметках 120-124 м эта величина достигает 30-90%, а при отметках 124-130 м заиление составляет от 5 до 44%. В маловодные годы на отметках 118-124 м наблюдается процесс размыва, что снижает процент заиления до 10-50% (против 50-100%), на высотах 124-130 м, напротив, процесс заиления увеличивается с 10-50% до 20-70%.

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 характеризуется изменчивостью по годам величин объемов наносов от 27% до 71% относительно проектной 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.

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 124 отметки. Эта 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. Например, в маловодные годы объемы размыва в створах 32 и 36 достигают 80-100 млн. м³, в то же время в средние и многоводные годы створы 31 и 35 характеризуются большим объемом отложений, достигающими свыше 100 млн. м³.

Как показывает анализ натуральных измерений и расчетов, по длине водохранилища наибольшие объемы заиления наблюдаются во время прохождения летних паводков при подпертом верхнем бьефе Руслового водохранилища. Процент заиления водохранилища по участкам к общему объему заиления составляет соответственно: I участок – 11-12%, II участок – 17-20% и III участок – 68-72%. 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 русла по линии фарватера.

Рассматривая вопрос о снижении отдачи ТМГУ вследствие заиления Руслового водохранилища, необходимо отметить следующее: начиная с 1981 года по 2016 год объем Руслового водохранилища сократился за счет его заиления на 40% и составляет 1400 млн. м³.

Таблица 2.3 Объемы отложенных наносов по высотным зонам Руслового водохранилища и их процентное содержание относительно проектных емкостей этих зон (млн. м³)

Год		1985	1987	1990	1995	2000	2001	2006	2008	2012	2018
Высотные зоны											
I	Объемы отложенных в пределах отметок от – 123м до – 130 м	85	89	62	100	105	110	105	107	79	104
	% заиления (460 млн.м ³)	77	81	56	91	95	100	95	97	72	75
II	Объемы отложенных в пределах отметок от – 117м до – 123 м	155	111	118	244	270	330	223	264	194	166
	% заиления (460 млн.м ³)	34	24	26	33	59	71	48	57	42	36
III	Объемы отложенных в пределах отметок от – 123м до – 130 м	345	365	379	523	538	514	678	679	698	670
	% заиления (1770 млн.м ³)	19	20	21	29	30	29	38	38	39	38

Проведенный анализ промеров емкости Руслового водохранилища и данных за предыдущие годы показал, что повышение отметок дна основного

русла и заиления поймы вызвало образование множества проток бессточных при снижении уровня воды. При промерах их объем учитывается, однако, эти объемы воды остаются неиспользованными при сработке водохранилища. В силу того, что оперативные расчеты заиления ведутся с учетом фактического оттока, что естественно объемы воды в запертых притоках не учитываются. В связи с этим, если в работе учитывать не полный объем, а только возможный к сработке были приняты данные промеров по таблице 2.4.

Таблица 2.4 Координаты кривой объёма
в Русловом водохранилище ТМГУ (млн. м³)

Уровень воды	Объём воды при Н в см										на 1 см
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
113	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,0008
114	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,0040
115	0,48	0,59	0,70	0,80	0,91	1,02	1,13	1,24	1,35	1,45	0,0108
116	1,56	1,75	1,94	2,12	2,31	2,50	2,69	2,87	3,06	3,25	0,0188
117	3,44	4,02	4,60	5,19	5,77	6,35	6,94	7,52	8,10	8,69	0,0583
118	9,27	10,35	11,43	12,51	13,59	14,67	15,75	16,82	17,90	18,98	0,1079
119	20,06	21,68	23,29	24,91	26,52	28,13	29,75	31,36	32,98	34,59	0,1615
120	36,21	38,41	40,61	42,81	45,01	47,20	49,40	51,60	53,80	56,00	0,2199
121	58,20	61,07	63,93	66,80	69,66	72,52	75,39	78,25	81,11	83,98	0,2864
122	86,84	91,1	95,36	99,6	103,88	108,14	112,40	116,7	121	125,2	0,4260
123	129,44	135,3	141,1	147	152,81	158,66	164,50	170,4	176,2	182,0	0,5844
124	187,88	195,4	202,9	210,4	217,94	225,46	232,98	240,5	248,1	255,5	0,8314
125	271,02	281,9	292,8	303,7	314,60	325,49	336,39	347,3	358,2	369,1	1,0895
126	379,96	395,3	410,5	425,8	441,10	456,39	471,67	487	502,2	517,5	1,5285
127	532,81	551,1	569,3	587,6	605,87	624,13	642,40	660,7	678,9	697,2	1,8265
128	715,46	735,4	755,4	775,3	795,24	815,19	835,13	855,1	875,0	895	1,9946
129	914,9	936,5	958,2	979,8	1001,4	1023,1	1044,7	1066,	1087,1	1109,6	2,1627
130	1131,2										

Так, в средневодный и многоводный годы объемы заиления достигли от 50 млн. м³ до 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 до 226 млн. м³. Среднегодовалая величина объема заиления составляет 30 млн. м³ в год, а объемы размыва в пределах 15-20 млн. м³. Общая величина объема заиления за 2007-2016 годы по фактическому режиму составила 298 млн. м³, объем размыва – 217 млн. м³.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ И РАСЧЕТЫ

3.1 Исходная информация и условия моделирования

Для управления режимом эксплуатации системой водохранилищ ТМГУ служба эксплуатации должна располагать:

- информацией об исходном состоянии водохранилищ на начало расчетного периода, т.е. объемы водохранилищ, объем заиления Руслового водохранилища, ограничения по наполнению и сработке;
- информацией о фактическом и прогнозном стоке реки – данные Узгидромета;
- информацией о требованиях на воду, т.е. утвержденные лимиты;
- информацией о процессах, происходящих в водохранилищах гидроузла, т.е. зависимость объемов потерь воды на испарение и урванного режима водохранилищ;
- методикой и комплексом программ, позволяющим рассчитывать рациональный режим работы ТМГУ.

Понятие «управление» предполагает решение задачи планирования, т.е. расчет рационального режима работы гидроузла и корректировку принятого к реализации плана при несовпадении расчетных величин по стоку реки, изменении ранее утвержденных лимитов на водозаборы и др. Рассмотрены четыре режима эксплуатации водохранилищ ТМГУ: для маловодного – 90% обеспеченности $20\text{-}25 \text{ км}^3$, особо маловодного – $> 90\%$ обеспеченности меньше 20 км^3 , средневодного – 50% обеспеченности – $30\text{-}45 \text{ км}^3$, многоводного – 10% обеспеченности – более 45 км^3 .

Приняты условия расчета, такие как водопотребление по лимитам в низовьях – $20,2 \text{ км}^3$, в том числе в вегетацию – 15 км^3 , урезка лимитов в маловодные годы на 10...20%, ограничения по полезной емкости Руслового водохранилища, ограничения по наполнению и сработке других водохранилищ в зависимости от их технического состояния. Требуемый режим работы водохранилищ должен обеспечить:

- выполнение плана по созданию запасов воды;
- распределение имеющихся запасов воды в вегетационный период пропорционально дефицитам стока в маловодные годы;
- создание запасов качественной, пригодной для питьевого водоснабжения воды в водохранилище Капарас и поддержание режима его работы, предотвращающего ухудшение качества воды;
- сокращение потерь на испарение и фильтрацию;
- минимизацию заиления чаши Руслового водохранилища;
- транспортирование в нижний бьеф большее количество наносов.

3.2 Модель управления водохранилищами

Разработана модель управления водохранилищами, в которой учитывались возможности повышения эффективности использования емкостей водохранилищ (Рис.3.1). База данных реализована в форматах MS Access и Excel файлов. Предусмотрен просмотр и редактирование баз данных. Выходная информация может быть представлена в табличном виде и в виде графика на экране дисплея, или сохранена в текстовой файл. Порядок работы с данной программой можно разбить на три этапа:

- ввод информации,
- производство расчета,
- просмотр расчетной информации.

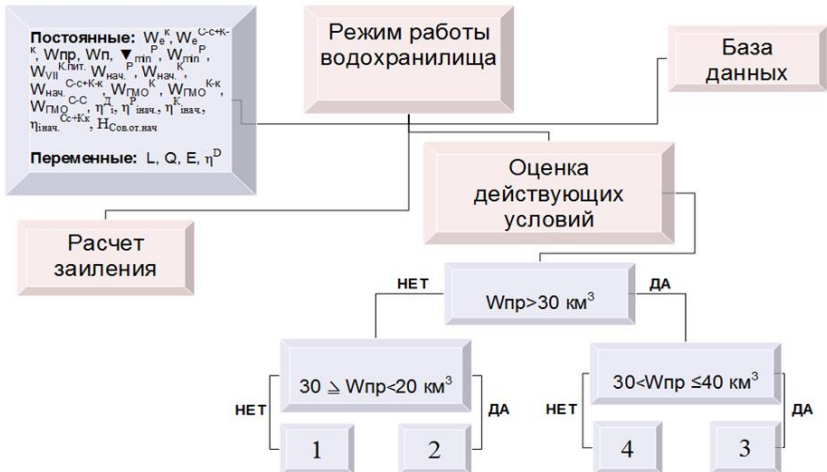


Рисунок 3.1 Блок-схема модели режима работы водохранилищ:
1 – маловодный год без сработки Капараса; 2 – маловодный год со сработкой Капараса; 3 – многоводный год; 4 – средневодный год.

Алгоритм расчета режима работы водохранилищ. Для моделирования режима работы водохранилищного гидроузла были приняты следующие исходные данные: i – расчетные месяцы, Q_i – сток реки, Q_i^L – установленный лимит водоподачи [18]. При этом, полная емкость $W_{пол}$ при $\nabla_{НПУ}$ принимается 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

$$W_{пз}^P = W_{пол}^P - W_{min}^P \quad (2.1)$$

Алгоритм расчета составлен следующим образом:

1. Полезная емкость всех водохранилищ определялась по формуле

$$W_e = W_{\Pi} - W_m \quad (2.2)$$

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

$$W_3^{II} = W_i^{R_{\text{нач}}} + Q_{IV}^{\text{изб}} - W_3^1 \quad (2.3)$$

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

$$Q_i^{\text{изб}} = Q_i - Q_i^L \geq 0 \quad (2.5)$$

4. Сумма избытков речного стока за IX-XII месяцы

$$\sum Q_{IX-XII}^{\text{изб}} = Q_{IX}^{\text{изб}} + Q_X^{\text{изб}} + Q_{XI}^{\text{изб}} + Q_{XII}^{\text{изб}} = \sum 20_{IX-XII} \quad (2.6)$$

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

$$\alpha_i = \frac{Q_i^{\text{изб}}}{\sum Q_{IX-XII}^{\text{изб}}}, \quad (2.7)$$

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

$$W_i^{\text{отб}} = (W_{IX-XII}^{\text{изб}} - W_{i \text{нач}}^P) \alpha_i \quad (2.8)$$

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

$$W_i^{\text{деф}} = Q_i - Q_i^L < 0 \quad (2.9)$$

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

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

$$\sum W_{II-VI}^{\text{деф}} = \sum W_{i \rightarrow II-VI}^{\text{деф}} \quad (2.10)$$

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

$$\beta_i = \frac{W_i^{\text{деф}}}{\sum W_{II-VI}^{\text{деф}}} \quad (2.11)$$

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:

$$W_i^{\beta} = \beta_i W_3^{II} \quad (2.12)$$

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

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

$$F_i^R = \frac{W_{II}W_{ph}(\nabla NY - \nabla_{\text{совм}})}{W_p(\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{совм}})} + \frac{W_{ph}(\nabla \Sigma \text{отл} - \nabla NY)}{\nabla \Sigma \text{отл} - \nabla_{\text{совм}}} - \frac{W_{II}W_{p(h-0.1)}[(\nabla NY - 0,1) - \nabla_{\text{совм}}]}{\nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{совм}}} + \frac{W_{p(h-0.1)}[\nabla \Sigma \text{отл} - (\nabla NY - 0,1)]}{\nabla \Sigma \text{отл} - \nabla_{\text{совм}}} : 0,1W_p \quad (2.14)$$

12. Объем испарения из водохранилища

$$W_{\mu_i}^R = \mu_i F_i^R \quad (2.15)$$

здесь μ_i – слой испарения с водной поверхности по данным гидрометслужбы

13. Свободная емкость водохранилища:

$$W_{\text{св}}^R = W_i^R - W_{\text{нач}}^R - W_{\mu_i}^R \quad (2.16)$$

14. Объем сработки водохранилища равен:

$$W_{\text{ср}}^R = D^R(W_i^\beta - W_{\text{ср}}^R) + W_i^R \quad (2.17)$$

15. Объем наполнения водохранилища:

$$W_{\text{начVII}}^P = W_{\text{V125}}^P + W_{\mu \text{VIII}}^P; \quad W_{\text{начVIII}}^P = W_{\mu \text{VIII}}^P; \quad W_{\text{начII+VI}}^P = Q_1^{\text{изб}} - W_{\mu i}$$

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

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

16. Объем оттока определяется по формуле:

$$\Sigma W_{\text{от}} = W_{\text{ирек}} + \Sigma W_{\text{иср}} - \Sigma W_{\text{инапол}} \quad (2.18)$$

Результаты расчета режима работы комплекса водохранилищ по предлагаемой методике приведены в Приложении 1 в формате MS EXCEL и в графическом виде (Рис. 3.2).

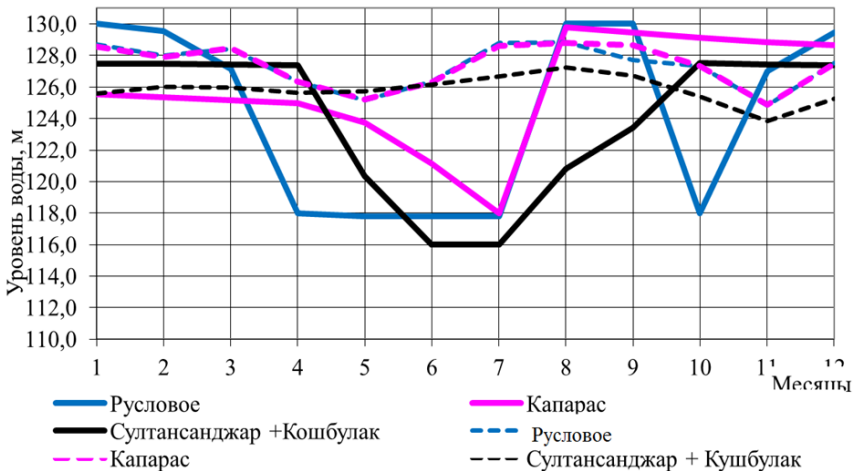


Рисунок 3.2 Режим работы водохранилищ Туямуонского гидроузла:
 расчетный режим, бытовой режим

3.3 Вариантные расчеты по подбору рациональных режимов

На основе модели по режиму работы водохранилищного гидроузла выполнены вариантыные расчеты по подбору рациональных режимов работы водохранилищ ТМГУ и произведена оценка эффективности использования стока реки [12, 14, 17, 20, 22, 23, 74, 76]. 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, уреченный 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. Ниже приведены расчетные и наблюдаемые данные по уровням воды в Русловом водохранилище ТМГУ (Рис. 3.3).

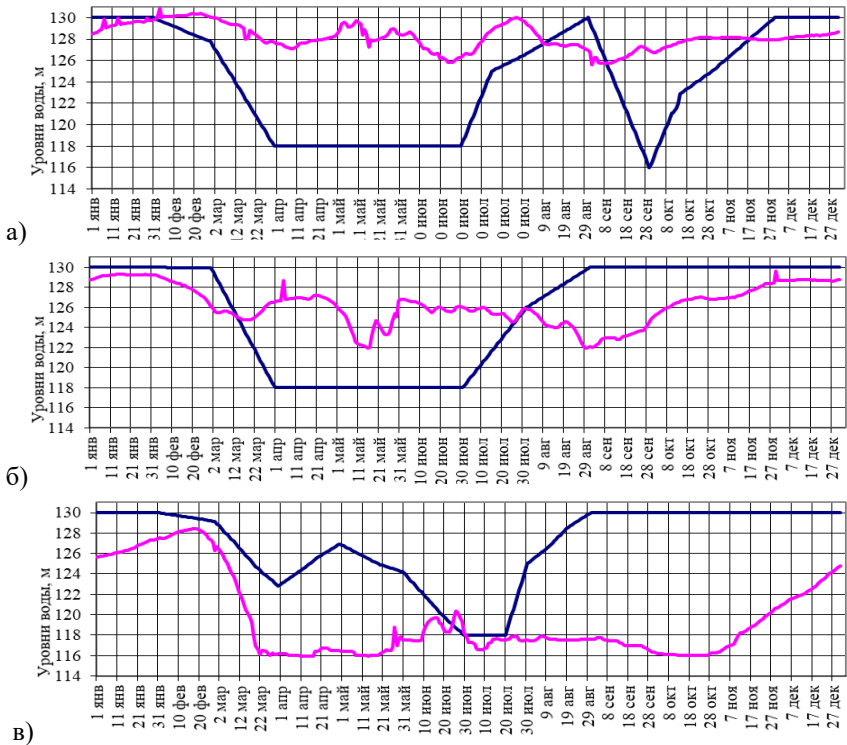


Рисунок 3.3 Режимы работ Руслового водохранилища по фактическим и рекомендуемым вариантам: а – многоводный, б – средневодный, в – маловодный годы

Разработанные режимы эксплуатации водохранилищ позволяют в наиболее полной степени использовать их потенциал в повышении водообеспеченности оросительных систем [15]. Численно исследованы основные функции ТМГУ: сезонное регулирование стока реки в интересах ирригации, регулирование в особо маловодно-дефицитные годы, регулирование паводков в многоводные годы. Предлагаемые варианты работы гидроузла предусматривают заполнение водохранилища Капарас наиболее качественной, пригодной для питьевых целей водой в период июль-август месяцы. В средневодные и многоводные годы не вызывает затруднений создания запасов воды в водохранилищах для нужд ирригации и питьевого снабжения. Необходимо отметить, что предложенные модели расчета режимов работы водохранилищ ТМГУ в средневодные и многоводные годы дают возможность рассчитать различные варианты и выбрать оптимальный режим, позволяющий снизить потери воды на испарение из водохранилищ, обеспечить срезку пика паводка, предусмотреть сброс в нижний бьеф плотины расходов, не превышающих 4000 м³/с, что предотвратит ущерб в низовьях Амударьи от возможного затопления.

Разработанная модель управления стоком отличается наиболее полным учетом факторов, влияющих на режим работы всех водохранилищ, а именно: сток реки, лимит на орошение, запасы воды в водохранилищах, состояние чаши Руслового водохранилища. Причем учтено, что режим Руслового водохранилища влияет на процесс заиления чаши водохранилища, а объемы заиления в свою очередь изменяют параметры водохранилища.

Модель также позволяет разрабатывать прогнозный режим работы водохранилищ ТМГУ не только для вариантов их работы с учетом сработки Капараса и его частичным заполнением и без сработки Капараса, но и вводить коррективы в режимы работы по мере уточнения прогноза по стоку реки и состоянию заиления Руслового водохранилища. Так как, в маловодные годы, основной задачей режима эксплуатации водохранилищ Туямуюнского гидроузла является максимальное использование имеющихся емкостей для накопления водных ресурсов и их рационального и пропорционального распределения в периоды вегетации, когда имеют место дефициты стока реки, то использование возможности расчета альтернативных вариантов режимов, позволит выбрать оптимальный вариант, где сведены к минимуму холостые сбросы, обеспечит плановое накопление воды в осенне-зимний период.

3.4 Режимы работы водохранилищ в зависимости от водности года

Каждый режим учитывает максимально возможное удовлетворение требований потребителей, минимизацию непроизводительных потерь воды из водохранилищ, снижение интенсивности заиления Руслового

водохранилища. Режимы работы гидроузла рассматриваются заблаговременно – до получения информации Узгидромета о водности года. В конце марта месяца, при получении информации о прогнозируемой водности года, принимается к исполнению соответствующий режим. В ходе эксплуатации, при несовпадении расчетных и фактических характеристик стока, проводится корректировка плана и его реализация. Независимо от предполагаемой водности года Русловое водохранилище к концу марта срабатывается до $\nabla 118$ м.

А. Маловодный год 90% обеспеченности

Русловое водохранилище: В апреле месяце, при наличии избытков, заполняется. В мае месяце – вновь срабатывается до $\nabla 118$ м. Заполнение начинается в конце июня месяца – пик паводка – до $\nabla 125$ м. Затем расход реки до конца августа используется для заполнения водохранилища Капарас. В дальнейшем, при наличии избытков стока Русловое водохранилище по возможности заполняется до $\nabla 130$ м.

Капарасское водохранилище: До июня месяца срабатывается на водообеспечение населения питьевой водой. В июле срабатывается на ирригационные нужды до $\nabla 118$ м при наличии запасов и на питьевые нужды. В июле осуществляется заполнение его минимум до отметки $\nabla 125$ м. Объем заполнения водохранилища и соответственно конечная отметка уровня воды к сентябрю лимитируется расходами реки и качеством воды. С начала сентября по февраль месяц вода из водохранилища поступает только на питьевые нужды.

Водоохранилища Султансанджар-Кошбулак: С января до марта объемы запаса воды в водохранилищах сохраняются. В апреле-июне водохранилища срабатываются, и объемы воды используются на нужды ирригации за минусом объема (≈ 1100 млн. м^3) необходимого для компенсации расходов, используемых для заполнения Руслового и Капарасского водохранилищ в июле-августе. Сработка этого объема до $\nabla 116$ м производится по каналу Осветленной воды. Наполнение начинается с сентября и может продолжаться до февраля месяца до $\nabla 127$ м.

Сработка запасов воды из водохранилищ производится, в каждый расчетный период, пропорционально дефицитам стока.

Б. Особо маловодный год, более 90 % обеспеченности

Русловое водохранилище: С января по март водохранилище срабатывается незначительно на нужды промывки до $\nabla 128,7$ м. В апреле объемы стока, превышающие лимит, задерживаются в водохранилище, а в мае срабатываются до $\nabla 118$ м и поддерживаются на пониженных уровнях до сентября месяца, после чего заполняется до $\nabla 130$ м.

Капарасское водохранилище: С начала до конца года используется только для обеспечения населения питьевой водой.

Водоохранилища Султансанджар-Кошбулак: Запасы этих водохранилищ сохраняются до конца мая и срабатываются с июня до

сентября месяца: Султансанджар до $\nabla 116$ м, Кошбулак до $\nabla 120$ м. С конца сентября производится его наполнение до $\nabla 127$ м. Сработка объемов запаса водохранилищ, как и в первом случае, производится пропорционально дефицитам стока.

В. Средневодный год 50% обеспеченности

Русловое водохранилище: С января по февраль горизонты сохраняются на $\nabla 130$ м, оно срабатывается в марте до $\nabla 118$ м. С апреля и до начала июля месяца эксплуатируется на пониженных уровнях ($\nabla 118$ м). С июля до сентября месяца наполняется до $\nabla 130$ м.

Капарасское водохранилище: С января по март воды используются только на питьевые нужды. Затем начинается использование воды и на ирригационные нужды. Срабатывается с апреля по июль включительно до $\nabla 118$ м, а затем начинается заполнение в период прохождения паводка. К сентябрю месяцу заполнение водохранилища должно быть завершено полностью до $\nabla 130$ м, так как нельзя продолжать этот процесс в сентябре и далее месяцах в связи с ухудшением качества воды в реке Амударья.

Водоохранилища Султансанджар-Кошбулак: До апреля месяца запасы воды сохраняются. Сработка начинается с мая и продолжается до сентября месяца до $\nabla 116$ м отметки. С сентября начинается заполнение и продолжается до конца года до $\nabla 127$ м.

Объемы сработки водохранилищ Капарас и Султансанджар-Кошбулак производятся пропорционально лимитам, определенным для низовий реки Амударья.

Д. Многоводный год 10% обеспеченности

Русловое водохранилище: Как и в средневодный год водохранилище срабатывается с начала февраля по март. С апреля по июнь включительно поддерживается на пониженных уровнях $\nabla 118$ м. В июле-августе наполняется, а в сентябре, после наполнения Султансанджара-Кошбулака, может быть еще раз сработано к началу октября до $\nabla 118$ м и снова заполнено до $\nabla 130$ м к февралю следующего года.

Водоохранилища Капарас, Султансанджар и Кошбулак: Капарас, Султансанджар и Кошбулак срабатываются одновременно с конца марта с большей интенсивностью, чем в средневодные годы, Капарас к началу июля (пик паводка) до $\nabla 118$ м, а Султансанджар к этому же времени до $\nabla 116$ м, Кошбулак до $\nabla 120$ м. Сработка этих водохранилищ производится также пропорционально лимитам с учетом избытка речного стока.

3.5 Расчет компонентов баланса воды в водохранилищах

3.5.1 Определение объемов испарения с водной поверхности водохранилищ ТМГУ

Слой испарения с водной поверхности водохранилищ ТМГУ рассчитывается по формуле, принятой Узгидрометом с учетом региона (Ежегодники).

$$E = 0.16n(e_0 - e_{200})(1 + 0.635U_{200}) \quad (3.1)$$

где: e_0 – среднее значение максимальной упругости водяного пара, вычисленное по температуре поверхности воды в водоеме; e_{200} – средняя за расчетный интервал времени влажность воздуха над водоемом на высоте 200 см и рассчитываемая по формуле:

$$e_{200} = e'_{200} + (0,8 e_0 - e'_{200})M,$$

где: e'_{200} – средняя за расчетный интервал времени влажность воздуха, измеренная на континентальной метеостанции, в Мб; M – коэффициент трансформации, учитывающий среднее изменение влажности и температуры воздуха в зависимости от размера водоема. Для условий водохранилищ Туюмюнского гидроузла при $t_0 \approx t'_{200}$ и $L_{cp} = 5$ км, коэффициент M принимается равным 0,23; t_0 – температура воды в водоеме; t'_{200} – температура воздуха на метеостанции; L_{cp} – средняя длина разгона воздушного потока над водоемом, км; u_{200} – среднее значение скорости ветра над водоемом на высоте 200 см, в м/с, рассчитываемое по формуле $u_{200} = K_1 K_2 K_3 u_{ф}$, где: K_1 – коэффициент, учитывающий степень защищенности метеостанции на суше. Для метеостанции «Туюмюн» значение этого коэффициента следует принять равным 1,3; K_2 – коэффициент, учитывающий характер рельефа в пункте наблюдений; K_3 – коэффициент, учитывающий среднюю длину разгона воздушного потока над водоемом L_{cp} ; $u_{ф}$ – скорость ветра на высоте флюгера за расчетный интервал времени (месяц, декада), м/с.

В связи с тем, что водохранилища Туюмюнского гидроузла находятся в одинаковых гидрометеорологических условиях, величина слоя испарения (мм) для каждого из них принимается одинаковой. Объемы испарения с водоемов ТМГУ за расчетный период времени рассчитываются отдельно для каждого водохранилища в зависимости от уровенного режима каждого из них, а следовательно, от площади зеркала водной поверхности. Суммарный объем испарения из водохранилищ ТМГУ за расчетный период составит

$$\sum W_{исп.з} = \frac{E(F_{з.п.} + F_{з.к.} + F_{з.сс+к})}{1000} \quad (3.2)$$

где E – слой испарения за расчетный период, мм; $\sum W_{исп.з}$ – суммарный объем испарения с зеркала водной поверхности, млн. м³;

$F_{з.п.} + F_{з.к.} + F_{з.сс+к}$ – площади водной поверхности водохранилищ,

определяемые по кривой площади зеркала каждого водохранилища, соответствующей средним уровням воды в них за расчетный период, км².

3.5.2 Определение объема испарения с обсыхающего ложа водохранилищ

При интенсивной сработке водохранилища, когда уровни воды понижаются на 2,5 м и более, слой испарения с обсыхающего ложа водохранилища определяются по формуле:

$$E_t = E_n e^{-0,03t} \quad (3.3)$$

где: E_t – интенсивность испарения в момент t , мм; E_n – интенсивность испарения в начальный момент расчетного периода и для районов недостаточного увлажнения равной $E_n = 1,3 \frac{E_0}{n}$, мм; t – продолжительность

интервала времени в сутках; E_0 – слой испарения с водной поверхности за расчетный период, мм; e – основание натурального логарифма (2,718); n – количество суток в расчетном периоде.

Величина суммарного слоя испарения за расчетный период рассчитывается по формуле:

$$E_n = E_n \int_n^0 e^{-0,03n} dn \quad (3.4)$$

При медленном понижении уровня, т.е. когда за расчетный период (месяц) уровень воды в водохранилище снижается менее чем на 2,5 метра, слой испарения с обсыхающего ложа водохранилища принимается равным 2/3 от испарения с зеркала водной поверхности.

$$E_n = \frac{2}{3} E_0 \quad (3.5)$$

Объемы испарения с обсыхающего ложа водохранилищ для расчетного периода определяются следующим образом

$$\text{Если } h_{\text{нач}} - h_{\text{конеч}} \geq 2,5 \text{ м то } \sum W_{\text{исп}} = W_i'_{\text{исп}} + W_i''_{\text{исп}} \quad (3.6)$$

где: $W_i'_{\text{исп}} = (F_{h_{\text{нач}}}^{\text{расч}} - F_{h_{\text{кон}}}^{\text{расч}}) E_{ni}$; $W_i''_{\text{исп}} = (F_{h_{\text{нач}}}^{\text{проект}} - F_{h_{\text{нач}}}^{\text{расч}}) E_{ni}$;

$h_{\text{нач}}$, $h_{\text{конеч}}$ – начальная и конечная отметка уровня воды в водохранилище; $F_{h_{\text{нач}}}^{\text{расч}}$, $F_{h_{\text{кон}}}^{\text{расч}}$ – площади зеркала водной поверхности на расчетный период; $F_{h_{\text{нач}}}^{\text{проект}}$ – проектная площадь зеркала водной поверхности; E_{ni} – суммарный слой испарения за расчетный период.

$$\text{Если } h_{\text{нач}} - h_{\text{конеч}} < 2,5 \text{ м, то } W_{\text{исп}} = (F_{h_{\text{нач}}}^{\text{проект}} - F_{h_{\text{кон}}}^{\text{расч}}) \frac{2}{3} E_{ni} \quad (3.7)$$

$$\text{Если } h_{\text{нач}} < h_{\text{конеч}}, \text{ то } W_{\text{исп}} = 0 \quad (3.8)$$

3.5.3 Расчет потери воды на фильтрацию

Анализ материалов о методах расчета фильтрационных потоков, показал, что наиболее приемлемым, исходя из условий объема имеющихся данных, является исследование неравномерного плавно изменяющегося движения грунтовых вод, в основу которого положена формула Дюпюи. Расчеты проводились для двух вариантов работы системы водохранилищ:

- при $\nabla_{НПУ}$ в Руслевом и незаполненных наливных водохранилищах;
- при $\nabla_{НПУ}$ в Руслевом и наливных водохранилищах.

Эти варианты приняты как граничные условия для различных режимов работы системы водохранилищ ТМГУ, позволяющие разграничить фильтрационный поток на потери, пополняющие грунтовые воды и участвующие в водообмене между водохранилищами.

Для выполнения расчетов район исследований был разбит на 11 сечений для I варианта работы и на 13 сечений при II варианте расчета, учитывающие направление и расход грунтового потока, зависящие от соотношения уровней воды h_1 и h_2 в водохранилищах.

Длина сечений $L_{yч}$ определялась от уреза воды в Руслевом водохранилище до линии соединяющей минимальные отметки дна Кошбулакского, Султансанджарского и Капарасского понижений. Расстояние между сечениями принималась по урезу воды верхней границы зоны депрессии.

Отметка уровней воды в створах сечений Руслевского водохранилища определяется расчетом

$$\nabla_{расч} = L_{yч} \nabla_{ст} - \nabla_{нл} + \nabla_{пл}, \quad (3.9)$$

где $\nabla_{пл}$ – отметка уровня воды у плотины; $L_{yч}$ – длина участка от плотины до расчетного сечения; L – расстояние от плотины до стационарной отметки (136 м) при среднем паводковом расходе в реке; $\nabla_{ст}$ – отметка уровня воды в створе реки на границе влияния подпора.

Удельный расход q грунтового потока рассчитывается по формуле Дюпюи:

$$q = \frac{k_{cp}(h_1^2 - h_2^2)}{2L_{сеч}} \quad (3.10)$$

где: k_{cp} – коэффициент фильтрации (для условно однородного грунта), м/сут; h_1 – толщина водоносного пласта на верхней границе зоны депрессии, м; h_2 – превышение поверхности воды в водохранилище над водоупором, м; $L_{сеч}$ – расстояние от верхней границы зоны депрессии до водохранилища, м.

Суммарный расход питания водохранилищ инфильтрационными водами с участка водохранилища с более высоким уровнем воды (водоёма донора) находится из выражения:

$$\sum Q_i = B_i \cdot q_{cp1} + B_2 \cdot q_{cp2} + \dots + B_n q_{cpn} \quad (3.11)$$

где: B_i – ширина участка между двумя сечениями на верхней границе зоны депрессии, м; $q_{ср1} = (q_1 + q_{i+1})$ – средний удельный расход на участке 1 и 2.

При заполненных наливных водохранилищах между водохранилищами наблюдается появление депрессионной воронки.

3.5.4 Объемы аккумуляции и потерь воды в наносных отложениях Руслового водохранилища

В наносных отложениях Руслового водохранилища при его наполнении происходит аккумуляция, а при сработке водоотдача значительных объемов воды, которые составляют, в зависимости от режима наполнения и сработки водохранилища от 110 до 400 млн. м³ в год, что необходимо учитывать при проведении водобалансовых расчетов.

В отложениях водохранилища, формирующихся в процессе его эксплуатации, частиц диаметром менее 0,01 мм содержится от 10 до 50 процентов. По этому признаку они относятся к супесям и суглинкам. Коэффициент порозности этих грунтов, в среднем, составляет 40%, а предельная влагоемкость в процентах от общей порозности – 50%.

Величину водоотдачи грунта определяем по формуле:

$$\mu = p (1 - \varphi) \quad (3.12)$$

где: μ – величина водоотдачи грунта в долях единицы; p – порозность в долях единицы; φ – предельная влагоемкость; $\mu = 0,4 (1 - 0,5) = 0,2$ (принята для расчетов).

Объемы отложений обсыхающего ложа при сработке водохранилища и объема насыщаемого грунта при подъеме уровня воды в Русловом водохранилище за расчетный период, определяется по формулам:

при $h_{нач} > h_{кон}$.

$$\omega_{ipac} = (W_{нач}^{проектн} - W_{икон}^{проектн}) - (W_{нач}^{расч.} - W_{икон}^{расч.}) \quad (3.13)$$

при $h_{нач} < h_{кон}$

$$\omega'_{ipac} = W_{икон}^{проектн} - W_{нач}^{проектн} - W_{икон}^{расч.} - W_{нач}^{расч.} \quad (3.14)$$

где ω_{ipac} и ω'_{ipac} – объем грунта отдающий воду при сработке и объем грунта насыщаемый водой при наполнении водохранилища, соответственно $W_{нач}^{проектн}$, $W_{икон}^{проектн}$ – проектные объемы воды при $h_{нач}$ и $h_{кон}$ уровнях в Русловом водохранилище; $W_{нач}^{расч.}$, $W_{икон}^{расч.}$ – объемы воды в расчетный период при $h_{нач}$ и $h_{кон}$ наполнении Руслового водохранилища.

Объем воды, отдаваемый грунтом при сработке водохранилища, составит:

$$W_{\mu} = \omega_{ipac} \cdot \mu \quad (3.15)$$

Объем воды, затрачиваемый на насыщение грунта при наполнении водохранилища

$$W_{акк} = \omega'_{ipac} \cdot \mu + W(i-I)_{испар} \quad (3.16)$$

где $W(i-I)_{испар}$ – объем испарения с ложа водохранилища за предыдущий период.

Объемы испарения с обсыхающего ложа Руслового водохранилища [11] за расчетный период определяются следующим образом

$$\text{Если } h_{\text{нач}} - h_{\text{конеч}} \geq 2,5 \text{ м, то } \quad \Sigma W_{\text{исп}} = W_{i' \text{ исп}} + W_{i'' \text{ исп}} \quad (3.17)$$

$$\text{где: } W_{i' \text{ исп}} = (F_{h_{\text{нач}}}^{\text{расч}} - F_{h_{\text{кон}}}^{\text{расч}}) E_{ni}; \quad W_{i'' \text{ исп}} = (F_{h_{\text{нач}}}^{\text{проект}} - F_{h_{\text{нач}}}^{\text{расч}}) E_{ni};$$

$h_{\text{нач}}, h_{\text{конеч}}$ – начальная и конечная отметка уровня воды в водохранилище;

$F_{h_{\text{нач}}}^{\text{расч}}, F_{h_{\text{кон}}}^{\text{расч}}$ – площади зеркала водной поверхности на расчетный период;

$F_{h_{\text{нач}}}^{\text{проект}}$ – проектная площадь зеркала водной поверхности;

E_{ni} – суммарный слой испарения за расчетный период.

Если $h_{\text{нач}} - h_{\text{конеч}} < 2,5 \text{ м}$, то

$$W_{\text{исп}} = (F_{h_{\text{нач}}}^{\text{проект}} - F_{h_{\text{кон}}}^{\text{расч}}) \frac{2}{3} E_{ni} \quad (3.18)$$

Если $h_{\text{нач}} < h_{\text{конеч}}$, то

$$W_{\text{исп}} = 0 \quad (3.19)$$

Анализ результатов расчета объемов водоотдачи и объемов аккумуляции воды в наносных отложениях Руслового водохранилища показывает, что эти объемы имеют довольно большие значения. Водоотдача при фактических режимах работы изменяется от 110 до 180 млн. м³, для рекомендуемых режимов – 150 – 370 млн. м³. Аккумулируемые объемы воды составляют, соответственно 120 – 190 млн. м³ при фактических режимах работы и 180 – 400 млн. м³ при предлагаемых режимах эксплуатации.

Причем и водоотдача, и аккумуляция воды в наносных грунтах зависит от исходного уровня, от глубины и частоты сработки или наполнения Руслового водохранилища. Поэтому данные объемы необходимо учитывать при проведении водобалансовых расчетов.

3.6 Метод расчета заиления чаши водохранилища

Известно, что в бытовых условиях поток в русле транспортирует все частицы взвешенных наносов. В условиях создания подпора, с увеличением объема воды, скорость потока на участке подпора уменьшается, и определенная часть наносов выпадает и образует донные отложения, т.е. происходит заиление чаши водохранилища и частичное осветление речного потока. Динамика деформации дна водохранилища способствует изменению формы кривой свободной поверхности, которая на передних створах остается почти без изменения, а в последующих наблюдается существенное изменение кривизны линии свободной поверхности (Рис. 3.7). Это явление затрудняет определение объема воды в водохранилище в зависимости от уровня воды, так как в этом случае необходимо насчитывать объем воды в зоне дополнительного подпора, который образовался в результате подпора и деформации чаши водохранилища.

Заиление и смыв наносов в чаше водохранилища происходит неравномерно. В створах ближе к плотине при снижении уровня воды в водохранилище происходит регулярный смыв отложившихся наносов. Уклон дна водохранилища на этом уровне резко увеличивается и происходит спад кривой подпора.

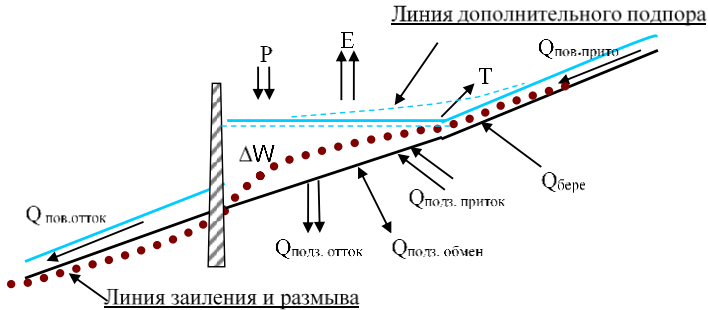


Рисунок 3.7 Схема водообмена и уровенный режим

Объем самоформирующегося русла W_p (Рис. 3.8), в котором поток транспортирует фракции взвешенных наносов, определяется как произведение площади поперечного сечения русла на длину участка подпора. Расчетная емкость водохранилища $W_{расч}$ включает объем этого русла, т.е. при отсутствии подпора объем водохранилища равен объему самоформирующегося русла, $W_{расч} = W_p$. Таким образом, при $W_p/W_{расч}=1$, степень осветления потока равна нулю, $\varepsilon = 0$. В случаях, когда $W_p/W_{расч}$, $(W_p/W_{расч}) < 1$ и степень осветления $\varepsilon > 0$. Следовательно, коэффициент осветления есть функция соотношения русловой и расчетной емкостей водохранилища:

$$\varepsilon = f\left(\frac{W_p}{W_{расч}}\right) \quad (3.20)$$

Для выявления этой зависимости, использовались имеющиеся натурные и лабораторные данные, анализ которых показал, что степень осветления можно разделить на две стадии [19, 68].

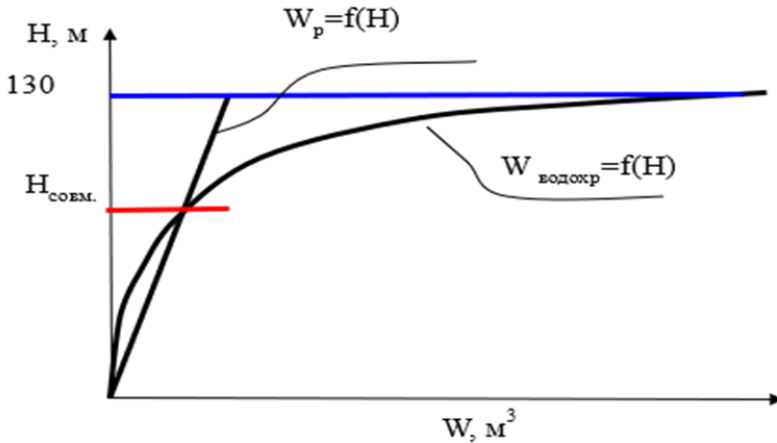


Рисунок 3.8 Схема определения совмещенной отметки

При первой стадии степень осветления остается постоянной и практически равной $\varepsilon = 1$, при второй — по мере увеличения отношения $\frac{W_p}{W_{расч}}$, коэффициент осветления колеблется в пределах $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Показателем, или критерием перехода от первой стадии ко второй, является значение отношения $\frac{W_p}{W_{расч}} = 0,1$. Изменение степени осветления во второй стадии описывается уравнением

$$\varepsilon = 0,041 \left(\frac{W_p}{W_{расч}}\right)^{-1,5} \quad (3.21)$$

где объем русла W_p определяется по формуле

$$W_p = \frac{Q_n L_n}{V_{ср}} \quad (3.22)$$

Входящая в эту зависимость средняя скорость потока, при условии транспортирования всех фракций взвешенных наносов, согласно вычислениям поперечных сечений по формулам С.Т. Алтунина при различных расходах воды, для рек Центральной Азии колеблется в пределах $V_{ср} = 1,0 \div 1,2$ м/сек. Здесь, Q_n — средний за паводковый период расход воды, м³/с, L_n — начальная длина бьефа, км.

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. В этом случае уравнение (3.22) запишем в виде

$$\varepsilon = 0,041 \left(\frac{W_{p(n)}}{W_{расч(n)}} \right)^{-1,5} \quad (3.23)$$

где: $W_{расч(n)}$ – объем водохранилища при расчетном уровне, определяемый по кривой объемов водохранилища, определенный по данным натуральных измерений, а $W_{p(n)}$ – объем русловой емкости, которая определяется по формуле:

$$W_{p(n)} = \frac{W_p(H_{расч} - H_n)}{H_{НПУ} - H_n} \quad (3.24)$$

При прогнозировании объемов и сроков заиления водохранилища, а также проведении контрольных расчетов, в случае отсутствия натуральных измерений, объем водохранилища при расчетном уровне определяется по формуле:

$$W_{расч(n)} = \frac{W_n W_{ph} (H_{НУ} - H_{совм})}{W_p (H_{НПУ} - H_{совм})} \quad (3.25)$$

и уравнение (3.23) в данном случае принимает вид

$$\varepsilon = 0,041 \left(\frac{W_{p(n)} (H_{НПУ} - H_{совм})}{W_n (H_{НУ} - H_{совм})} \right)^{-1,5} \quad (3.26)$$

Где W_n – полезный объем водохранилища на конец периода, предшествующего расчетному при отметке НПУ, млн. м³; $H_{НУ}$ – расчетный уровень водохранилища (начальный); $H_{совм}$ – отметка уровня, при котором объем водохранилища равен русловой емкости (Рис.3.9).

Совместные отметки $H_{совм}$ представлены пересечением кривых объемов русла и водохранилища. Эти отметки не постоянны и меняются в зависимости от объемов отложений наносов или их размыва. При выполнении расчетов по заилению водохранилища совместные отметки при отложении и размыве наносов определяются по следующим формулам соответственно:

$$H_{совм.кон(i)} = H_{совм.кон(i-1)} + \Delta h_{отл} \quad (3.27)$$

$$H_{совм.кон(i)} = H_{совм.кон(i-1)} + \Delta h_{разм} \quad (3.28)$$

где, $\Delta h_{отл}$, $\Delta h_{разм}$ – средние величины слоев осаждения и размыва наносов, которые определяются на основе анализа распределения объемов отложений на расчетной площади по натурным данным промеров заиления:

$$\Delta h_{отл} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta W_{отл}^i}{B_p (H_{совм.кон(i-1)} + H_{пор})} \quad (3.29)$$

$$\Delta h_{разм} = \frac{\Delta W_{разм}^i}{B_p (H_{совм.кон(i-1)} + H_{пор})} \quad (3.30)$$

Где i – уклон бытового русла, B_p – ширина устойчивого русла, м; $\Delta W_{отл}$, $\Delta W_{разм}$ – объем отложившихся наносов или объем размыва за расчетный период, млн. м³.

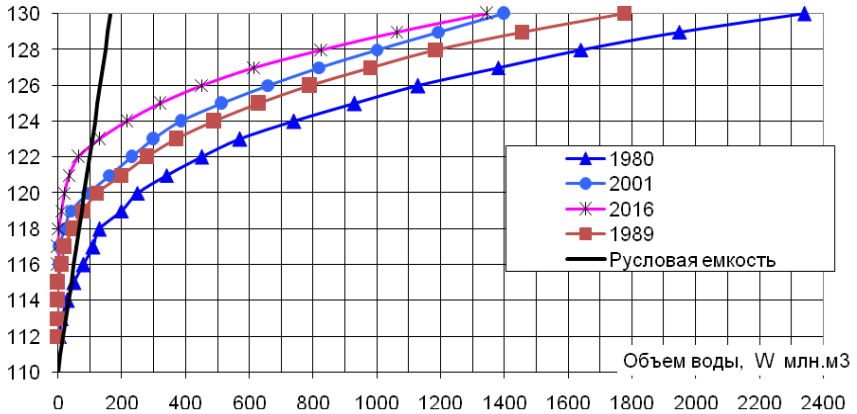


Рисунок 3.9 Кривые объемов Руслового водохранилища и русловой емкости

Во время эксплуатации водохранилища, уровеньный режим меняется, и меняются условия, влияющие на процесс заилиния водохранилища. По диапазону изменения отношения русловой емкости $W_{p(n)}$ к соответствующей емкости водохранилища $W_{расч(n)}$ можно судить о процессах, происходящих в верхнем бьефе. Так в водохранилище при отношении $\frac{W_{p(n)}}{W_{расч(n)}} \leq 0,12$ наблюдается *отложение наносов*, поступивших с потоком. В диапазоне от 0,12 до 1,0 происходит *стадия заилиния* с различной интенсивностью. При отношении объемов равном 1,0 идет *транспортирование взвешенных*, а при превышении 1,0 происходит *размыв отложившихся наносов* в нижний бьеф. В связи с этим для различных режимов работы водохранилища приводится следующий порядок расчета:

1-этап. Если при сработке водохранилища или его наполнении, когда колебание уровня воды происходит в диапазоне от НПУ до $H_{совм}$, в водохранилище наблюдается процесс заилиния с определенной интенсивностью. При сработке и наполнении водохранилища объемы отложений наносов определяются по формулам:

$$\Delta W_{отл} = 1,2\rho_{вх}W_{пр}\varepsilon \quad (3.31)$$

$$\Delta W_{отл} = 1,2\rho_{вх}W_{пр}\left(1 - \frac{W_{нач}}{W_{кон}}\right)(1 - \varepsilon) \quad (3.32)$$

Где $\Delta W_{отл}$ – объем отложения наносов за расчетный период, млн. м³;

$\rho_{вх}$ – мутность потока, поступающего в водохранилище, кг/м³;

$W_{пр}$ – объем притока воды в водохранилище, млн. м³;

$W_{нач}, W_{кон}$ – начальный и конечный объемы водохранилища, млн. м³, которые определяются по формуле (3.25) при $H_{НУ}$ и $H_{КУ}$.

При этом используется средневзвешенный коэффициент осветления

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{ННУ} + \varepsilon_{НКУ}}{2} \quad (3.33)$$

$\varepsilon_{ННУ}$ и $\varepsilon_{НКУ}$ определяются по формуле (3.26) при начальном расчетном уровне ($H_{НУ}$) и конечном расчетном уровне ($H_{КУ}$).

2-этап. В этом случае рассматриваются три варианта соотношения расчетных уровней и отметок.

А) Если расчетные уровни находятся в пределах от НПУ до уровня конечной отметки, расположенного ниже уровня совместной, расчеты ведутся в следующей последовательности:

При сработке водохранилища, когда $H_{НУ} > H_{совм}$ и $H_{КУ} < H_{совм}$ до уровня совместной отметки наблюдается процесс осаждения наносов и объем их определяется по формуле:

$$\Delta W_{отл} = 1,2\rho_{вх} W_{пр} \varepsilon A \quad (3.34)$$

$$\text{Здесь, } A = \frac{H_{НУ} - H_{совм}}{H_{НУ} - H_{КУ}}$$

При отметках воды в водохранилище ниже уровня совместной отметки начинается вынос размываемых отложений, объем которых определяется по формуле:

$$\Delta W_{разм} = 1,2\rho_{доп} [W_{пр}(1 - A) + (W_{совм} - W_{кон})] \quad (3.35)$$

Где, $W_{пр} \cdot A$ – объем стока реки за период сработки водохранилища от $H_{НУ}$ до $H_{совм}$.

$\rho_{доп}$ – дополнительная нагрузка потока за счет размыва донных отложений, определяемая по зависимости, кг/м³:

$$\rho_{доп} = \frac{B_p^1 \mu (H \sum_{отл} - H_{КУ})}{1,2iQ_p^1} \quad (3.36)$$

где μ – интенсивность смыва донных отложений, мм/сек;

$H \sum_{отл}$ – отметка суммарных отложений наносов, определяемая по кривой проектных объемов воды в водохранилище;

Q_p^1 – среднемесячный расход притока, м³/сек;

B_p^1 – ширина русла, соответствующая Q_p^1 , м.

Б) Когда уровни воды в водохранилище (начальный и конечный) расположены ниже совместной отметки, т.е. $H_{НУ} < H_{совм} > H_{КУ}$, размываемые донные отложения выносятся потоком из верхнего бьефа, а их объем рассчитывается по формуле:

$$\Delta W_{разм} = 1,2\rho_{вх} W_p^1 \quad (3.37)$$

$$\text{Где, } W_p^1 = Q_p^1 \cdot \frac{H_{совм} - H_{КУ}}{\mu}$$

при этом, если $W_p^1 > W_{пр}$, то для расчета принимается $W_{пр}$.

Ширина русла определяется по формуле

$$B_p^1 = \frac{Q_p^1}{V_p H_p} \quad (3.38)$$

Здесь, $V_p = 1,0 \div 1,2$ м/сек;

H_p – глубина устойчивого русла, м.

В) При условии $H_{НУ} < H_{совм}$ и $H_{КУ} > H_{совм}$ в водохранилище идет процесс наполнения. В этом случае расчет объема размыва определяется по формуле:

$$\Delta W_{разм} = 1,2\rho_{доп}[W_{пр}(1 - A) + (W_{нач} - W_{совм})] \quad (3.39)$$

Далее при нарастании уровня воды в водохранилище от совместной отметки до конечного расчетного уровня, рассчитывается объем осажденных наносов:

$$\Delta W_{отл} = 1,2\rho_{вх}W_{пр} \left[(1 - A) - \left(1 - \frac{AW_{совм}}{W_{кон}} \right) (1 - \varepsilon) \right] \quad (3.40)$$

Результаты расчета по предложенной методике приведены в Приложении 2 и Рис.3.10 и 3.11.

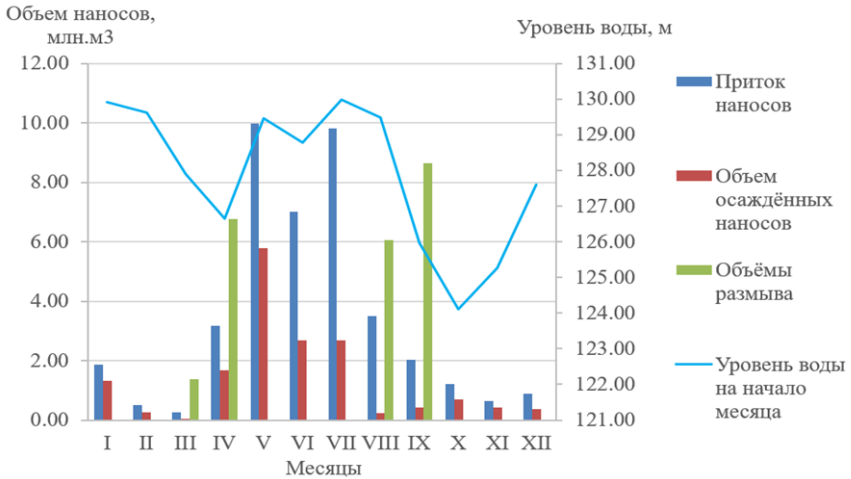


Рисунок 3.10 Расчет заиления Руслового водохранилища в среднемодный год: объем размыва 12 млн. м³, объем осаждения 26 млн. м³.

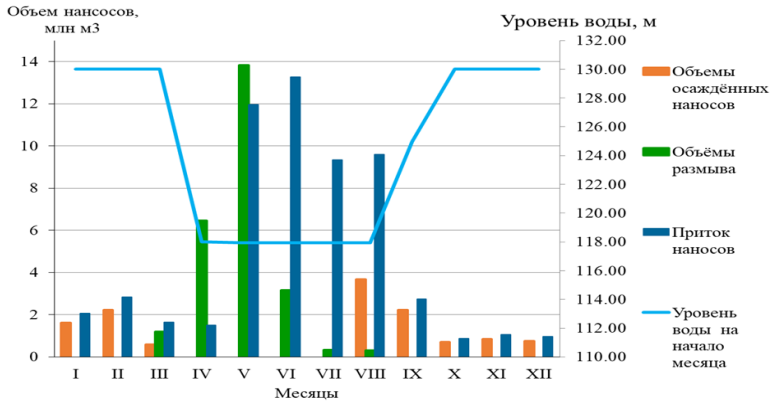


Рисунок 3.11 Расчет заиления чаши Руслового водохранилища в предлагаемом режиме работы в средневодный год: объем размыва 25 млн. м³, объем осаднения 17 млн. м³.

Таким образом, прогноз заиления водохранилища может быть выполнен по вышеприведенным зависимостям с учетом его стадии заиления на момент исходного расчетного времени и фактически принятого или рекомендуемого режима работы водохранилища в условиях маловодного, средневодного или многоводного года [13].

Анализ результатов расчета заиления Руслового водохранилища по фактическому режиму работы показал следующее: при работе водохранилища на уровнях в диапазонах от отметки 124 м до 130 м наблюдается значительное заиление водохранилища. В средневодные годы объемы заиления достигали 50-85 млн. м³, многоводные годы 85-150 млн. м³. В маловодные годы наблюдались размывы в пределах от 40 до 80 млн. м³ (Рис. 3.12).



Рисунок 3.12 Объемы заиления Руслового водохранилища по годам в нарастающем порядке и годовые объемы осажённых наносов

Сравнение результатов расчета объемов отложений и размывов с данными натурных промеров, проведенных с 1980 по 2008 гг. показывает о достаточно хорошей сходимости результатов, т.е. отклонение до 7-10%.

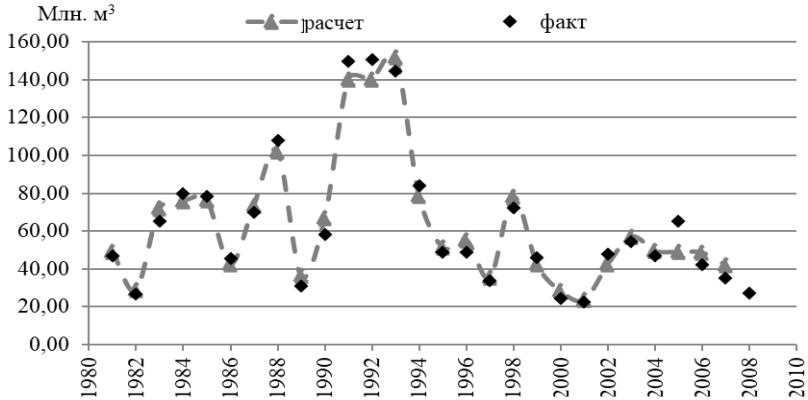


Рисунок 3.13 Сравнение результатов расчета и данных натурных промеров ежегодных отложений в Русловом водохранилище.

При расчете объемов отложений наносов, поступивших с речным потоком в водохранилище, были использованы фактические величины стока реки и средневзвешенные значения мутностей потока по данным гидропоста Дарганата. При расчете предлагаемых режимов, величины стока реки приняты как средневзвешенные, соответственно для многоводных, средневодных и маловодных лет. Во всех расчетах объемов отложений наносов введен коэффициент осветления воды в водохранилище. По приведенным данным разница между расчетными и наблюдаемыми значениями находятся в соизмеримости с погрешностью измерения. Данные результаты свидетельствуют о точности и устойчивости методики расчета. Для оценки точности расчетов по модели заиления емкости Руслового водохранилища в таблице 3.1 приведены расчетные и наблюдаемые данные по заилению за 1995-2015 гг.

Таблица 3.1 Сравнение объемов заиления

Годы	Объемы водохранилища		Объемы отложений	
	расчетные	по промерам	расчетные	по промерам
1995	1427	1427	913	913
1997	1416	1442	924	898
1999	1252	1290	1088	1050
2002	1346	1316	994	1024
2006	1376	1348	964	990
2008	1265	1304	1075	1026
2013	1350	-	990	-
2015	1429	-	911	-

Это подтверждает возможность использования разработанного метода для выполнения прогнозных расчетов. Метод также учитывает возможную смену процессов заиления и размыва, происходящих в водохранилище при изменении его уровня и гидрологического режимов.

Для оценки точности расчетов по модели заиления Руслового водохранилища приведены расчетные и наблюдаемые данные по заилению за выборочно принятые семь лет 1984-2016 гг. (Рис. 3.14). Сравнение расчетных данных с результатами натуральных измерений говорит о достаточно хорошей их сходимости, что позволяет использовать предлагаемую методику для прогнозных расчетов (табл. 3.2). Анализ результатов расчета заиления Руслового водохранилища, выполненный по фактическому режиму работы, показал следующее: при работе водохранилища на уровнях, зафиксированных фактически в период 1996-2015 гг. в диапазонах от отметки 124 м до 130 м наблюдается значительное заиление водохранилища. Режим работы водохранилища на высоких уровнях способствует снижению полезной емкости. Средняя интенсивность заиления колеблется в пределах 30-50 млн. м³ в год.

Таблица 3.2 Поступление, осаждение и вынос (транзит) речных наносов из водохранилищ в годы различной водности

Водность года	Сток воды, км ³	Среднегодовая мутность воды, г/м ³	Годовой объем речных наносов, млн.м ³ /тыс.т	Годовой объем осаждения речных наносов в Русловом водохранилище, млн.м ³ /тыс.т		Годовой объем выноса (транзита) речных наносов из водохранилища, млн.м ³ /тыс.т.		Разница годового объема выноса речных наносов из водохранилищ млн.м ³ /тыс.т.	Средняя годовая мутность речной воды, отводимой из водохранилищ, г/м ³ (расчетная)	
				при фактическом режиме	при рекомендуемом режиме	при фактическом режиме	при рекомендуемом режиме		при фактическом режиме	при рекомендуемом режиме
Много-водный	53,5	405 0	<u>173,34</u> 216675	<u>92,2</u> 115250	<u>52,9</u> 66125	<u>81,14</u> 101425	<u>120,44</u> 150550	<u>39,3</u> 49125	1896	2814
Мало-водный	15,5	830	<u>10,29</u> 12865	<u>3,0</u> 3750	<u>3,0</u> 3750	<u>7,29</u> 9115	<u>4,95</u> 6181	<u>-2,34</u> -2934	588	477
Средне-водный	33,7	200 0	<u>53,92</u> 67400	<u>38,6</u> 48250	<u>17,2</u> 21500	<u>15,32</u> 19150	<u>36,72</u> 45900	<u>21,4</u> 26750	568	1362

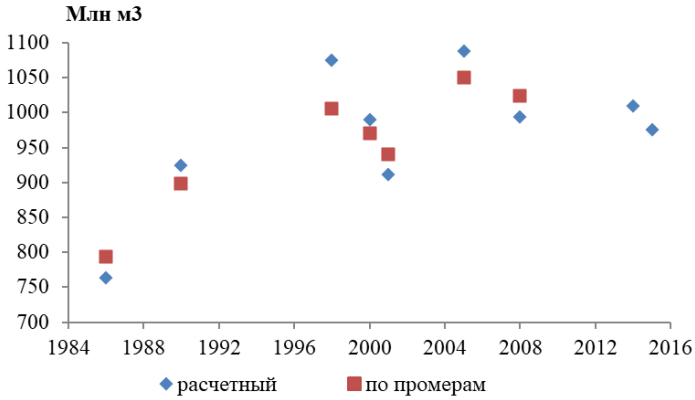


Рисунок 3.14 Расчетные и измеренные значения объемов заиления водохранилища

Расчеты показали, что при средней интенсивности заиления срок полного заиления водохранилища примерно равен 55-57 лет. Учитывая тенденцию снижения интенсивности заиления с увеличением срока эксплуатации, срок заиления водохранилища при условии проведения периодических промывок может быть удлинён.

4. ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ВОДОХРАНИЛИЩ

В бассейне реки Амударья функционирует сложный водохозяйственный комплекс, работа которого в последние годы затруднена из-за отсутствия оперативного информационного обеспечения на фоне нарастания дефицита водных ресурсов. Для надежного контроля и управления водораспределением и водопользованием необходимо повышение достоверности и качества информации. С этой целью необходимо повысить техническое обеспечение водных служб в регионе и модернизировать систему контроля и прогнозирования водных ресурсов [26, 39].

4.1 Моделирование русловых процессов в чаше водохранилища с помощью «МОНИД»

МОНИД – это система моделирования процессов, связанных с водой, разработанная MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center) в Instituto Superior Técnico (IST), который входит в комплекс Технического университета Лиссабона (<http://www.mohid.com>). Интеграция различных инструментов МОНИД (МОНИД Water, МОНИД Land и МОНИД Soil) может использоваться для изучения водного цикла в комплексном подходе. Поскольку эти инструменты основаны на одной и той же структуре, их легко достичь.

МОНИД Water представляет собой трехмерную численную программу для моделирования поверхностных водных объектов, включая водохранилища. С помощью МОНИД Water можно изучить гидродинамические процессы и поля скоростей, движение наносов и отложений, влияние волн на перенос наносов, отложения и транспорт наносов, их вертикальное и горизонтальное движение.

Моделирование с помощью МОНИД позволяет определить следующие:

- возможность описания процессов седиментации в водохранилище;
- оценить потери емкости;
- проанализировать различные варианты режимов работы водохранилищ;
- разработать рекомендации по улучшению работы водохранилищ.

Ниже приведена морфологическая картина модели Руслового водохранилища (Рис. 4.1).

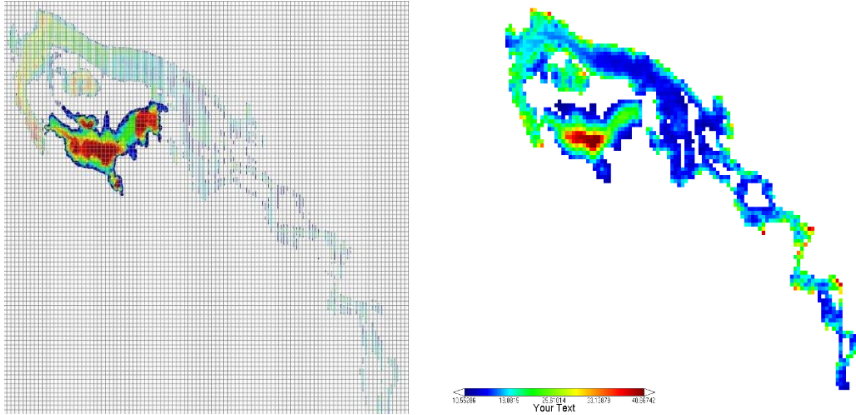


Рисунок 4.1 Моделирование движения наносов в водохранилищах
Русловое и Капарас

4.2 ГИС моделирование Руслового водохранилища

Съемка морфологической картины чаши Руслового водохранилища, выполненная Батиметрическим центром МВХ РУз, представляет данные о полном детальном объеме воды для каждого уровня в чаше водохранилища. При этом, в выполненных расчетах объемов наполнения водохранилища для каждого уровня учитывается не полный, а регулируемый объем, т.е. объем, который может быть использован в сложившейся на расчетный период обстановке. Естественно, результаты расчетов зависят от достоверности исходных данных:

- расходы притока к ТМГУ,
- мутность потока и
- исходная "базовая" кривая объемов.

По мере поступления достоверных данных оперативная модель расчета заиления Руслового водохранилища будет корректироваться.

Проведенный анализ промеров емкости Руслового водохранилища и данных за предыдущие годы показал, что повышение отметок дна основного русла и заиления поймы вызвало образование множества проток бессточных при снижении уровня воды. При промерах их объем учитывается, однако, эти объемы воды остаются неиспользованными при сработке водохранилища. В силу того, что оперативные расчеты заиления ведутся с учетом фактического оттока, что естественно объемы воды в запертых притоках не учитываются. В связи с этим, были введены в ГИС базу данных были введены только возможные к сработке объемы.

При калибровке были обнаружены сложности связанные с недостаточностью данных батиметрии в комбинации с реальным режимом работы водохранилища и концентрации отложений; сравнение данных модели процесса седиментации за определенное время и фактических данных; не учтено испарение; сложность моделирования процесса за долгий период (квартал, год и более). Расчет и оценка режимов работы водохранилищ выполнялись по программе, составленной на основании алгоритма математической модели, описывающей исследуемые процессы. Разработан алгоритм расчета, который состоит из двух частей:

- модели, описывающей динамику работы водохранилища и
- модели, описывающей процессы переноса воды и наносов.

Разработанная ГИС модель рассматриваемого участка Руслового водохранилища на основе произведенных натуральных промеров отражает морфологическую картину ложа водохранилища, что приведено на рис. 4.2.

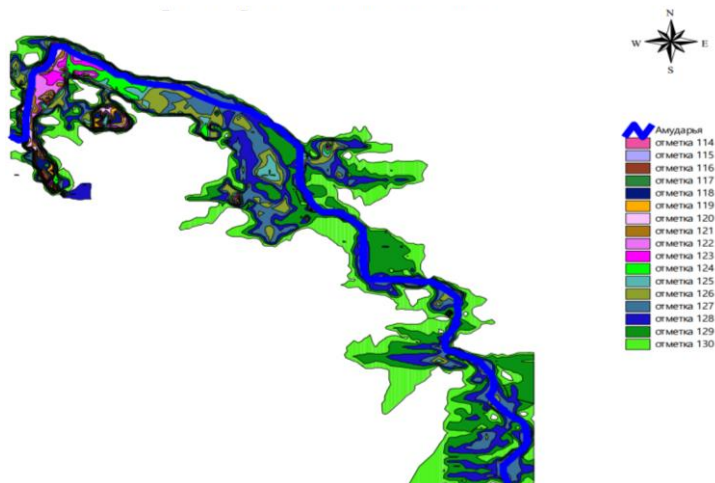


Рисунок 4.2 Ёмкость Руслового водохранилища при различных уровнях горизонта воды

При этом, ГИС моделирование Руслового водохранилища на основе промеров выявило следующее (Рис.4.3):

На приплотинном участке при отметке уровня воды 125 м наблюдается движение мутного потока на одной восьмой поперечного сечения Ств.22. 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 от Ств.51 по Ств.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 Ств.34 створа заилена до отметки 127,5 м.

В Ств.33 ранее размываемого до глубины 10-18 метров, в момент исследований правая половина была заилена до отметки 127 м. Это очевидно связано с отложениями наносов на нижележащем участке и созданием бара, снижающего скорость на вышележащем участке.

На участке выше Лебапского вантового моста в результате интенсивного заиления, вызванного высокими отметками в Руслевом 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. В створе Лебапского моста 58 км от створа плотины расход воды составляет порядка $100 \text{ м}^3/\text{сек}$.

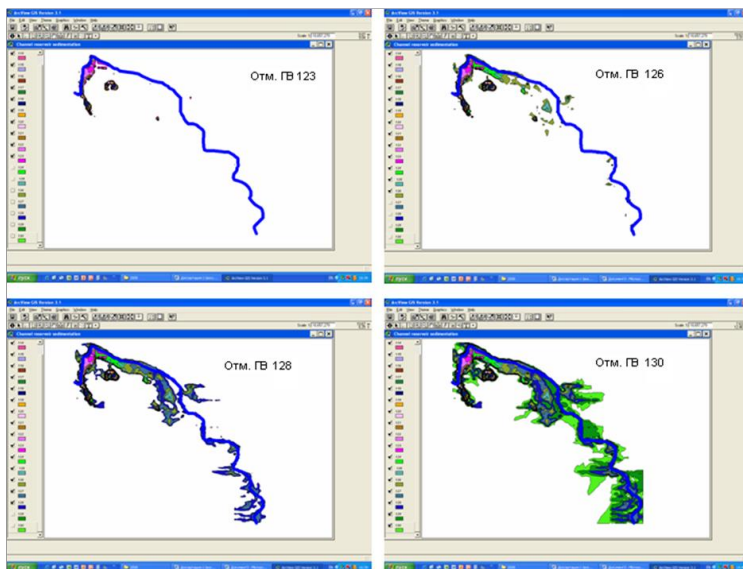


Рисунок 4.3 ГИС модель Руслевского водохранилища

4.3 Оценка исследуемой поверхности с помощью SURFER

Для оценки значения исследуемой поверхности в точках водохранилищ ТМГУ, где недостаточно данных, использована программа SURFER, которая позволяет получить данные на основе имеющегося множества исходных точек (Рис. 4.4). Построенную сеточную функцию SURFER использует для генерации карт изолиний и графиков поверхностей.

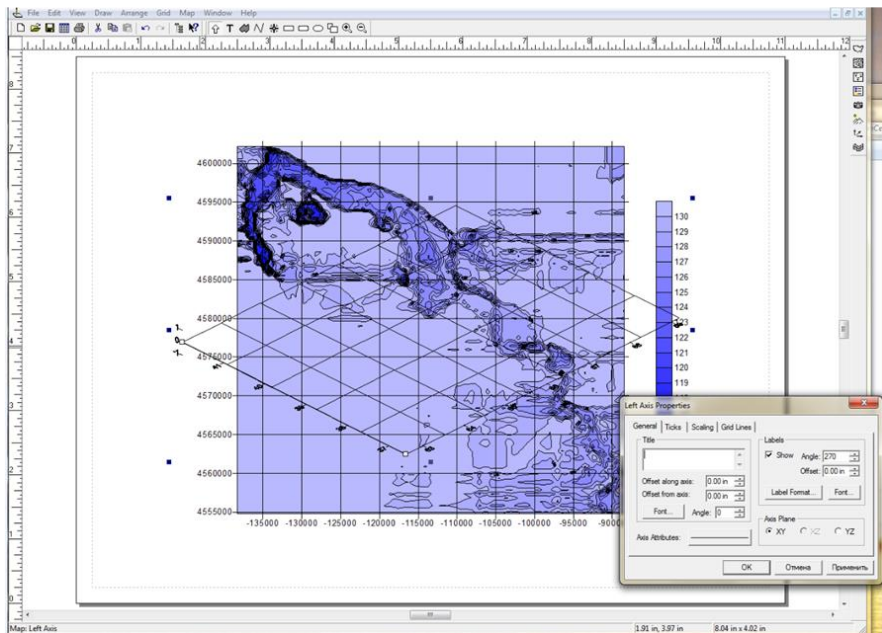


Рис. 4.4 Картина построения сеток при моделировании Руслового водохранилища

Достоинства такого подхода намного превосходят его недостатки. Такие операции, как отрисовывание изолиний, объемные вычисления или модификация карт, выполняются намного быстрее на основе сеточных функций. Построение карты изолиний на основе исходного хаотического множества точек обладает преимуществами по сравнению с сеточными методами. При этом карты изолиний строятся не по исходным данным, а по значениям интерполяционной функции [48, 50].

Методы построения сети, реализованных в SURFERe, основаны на вычислении весовых коэффициентов, с помощью которых взвешиваются значения натуральных значений в точках наблюдений. Это значит, что при прочих равных условиях, чем ближе точка данных к узлу сети, тем больший вес она имеет при определении значения интерполяционной функции в этом узле.

Для получения результата применён широко используемый метод *минимальной кривизны*. Поверхность, построенная с помощью этого метода, аналогична тонкой упругой пленке, проходящей через все экспериментальные точки с минимальным числом изгибов. Он генерирует наиболее гладкую поверхность, которая проходит настолько близко к экспериментальным точкам, насколько это возможно, и эти точки обязательно принадлежат интерполяционной поверхности.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Проведенные теоретические и натурные исследования позволили разработать новые технические решения регулирования стока рек, возможности смягчения его негативных последствий на русло реки в нижнем течении реки Амударья. Разработанная математическая модель реки для зоны ТМГУ позволяет рассчитывать в годовом и месячном разрезе допустимые решения по регулированию водных ресурсов.

5.1 Рациональные режимы работы водохранилищ ТМГУ

Проведенные исследования режимов работы водохранилищ и анализ сравнения режимов работы водохранилищ позволяет сделать следующие рекомендации:

1. Водоохранилища 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. Анализ данных показывает, что в любые по водности годы, исключая особо маловодные, избытки стока реки в низовьях постоянно имеют место в октябре-январе и достаточны для заполнения водохранилищ в календарном году.

2. Русловое водохранилище является емкостью, через которое поступает весь сток реки Амударья 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 УМО, т.е. 118-120 м. Благодаря этому, уменьшается интенсивность заиления верхнего бьефа гидроузла и, главное, снижаются потери воды на фильтрацию и на испарение 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 заиления 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. Водохранилище Капарас используется для создания запасов качественной питьевой воды, для чего необходимо ежегодное обновление воды в Капарасе на пике паводков в июле-августе. К моменту заполнения Капарас необходимо срабатывать до уровня мертвого объема, т.е. УМО=117 м. Минимальное заполнение свежей речной водой должно быть не менее оставшегося мертвого объема, т.е. $W=320$ млн. м³, а всего 640 млн. м³, что соответствует отметке горизонтов воды в Капарасе – 125,0 м. Заполнять Капарас необходимо только после заполнения Руслового водохранилища до отметки 125,0 м – 125,5 м.

6. В случае, когда по прогнозам ожидается маловодный год с водностью менее 20 км³, возможно принятие режима работы системы водохранилищ ТМГУ без ротации воды в водохранилище Капарас. Принятие такого решения диктуется резким падением процента обеспеченности водными ресурсами низовий в период заполнения свежей водой водохранилища Капарас.

7. При принятии решения о работе водохранилищ ТМГУ без наполнения Капараса, не рекомендуется срабатывать на нужды ирригации, объемом воды, превышающие объемы, предназначенные для питьевого водоснабжения, так как значительное снижение уровней воды в Капарасе вызовет обратную фильтрацию высоко минерализованной грунтовой воды, что повысит общую минерализацию воды в водохранилище.

8. Водохранилища Султансанджар и Кошбулак должны использоваться для компенсации ирригационной части реки, используемой для заполнения Капараса. Для этого необходимо в период июль-август сработать накопленные запасы по каналу осветленной воды до отметки УМО. Заполнение этих двух емкостей должно осуществляться в последующий период, т.е. в сентябре-феврале, а далее поддерживать режим на отметках близких к НПУ.

Рекомендуемые варианты режимов работы водохранилищ 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.

5.2 Эффективность разработанных моделей

Сравнение фактических режимов работы водохранилищ с рекомендуемыми вариантами позволяет сделать заключение по динамике изменения подачи воды для сельского хозяйства.

В маловодные годы основной задачей режима эксплуатации водохранилищ Туямуюнского гидроузла является максимальное использование имеющихся емкостей для накопления водных ресурсов, рациональное и пропорциональное распределение запасов воды на нужды ирригации в периоды дефицита стока реки. На рисунках 5.1 приведены фактический режим работы водохранилищ ТМГУ в маловодный год при объеме годового стока в пределах 23-25 км³, и график зависимости объемов подачи воды на нужды ирригации в указанном году из водохранилищ гидроузла.

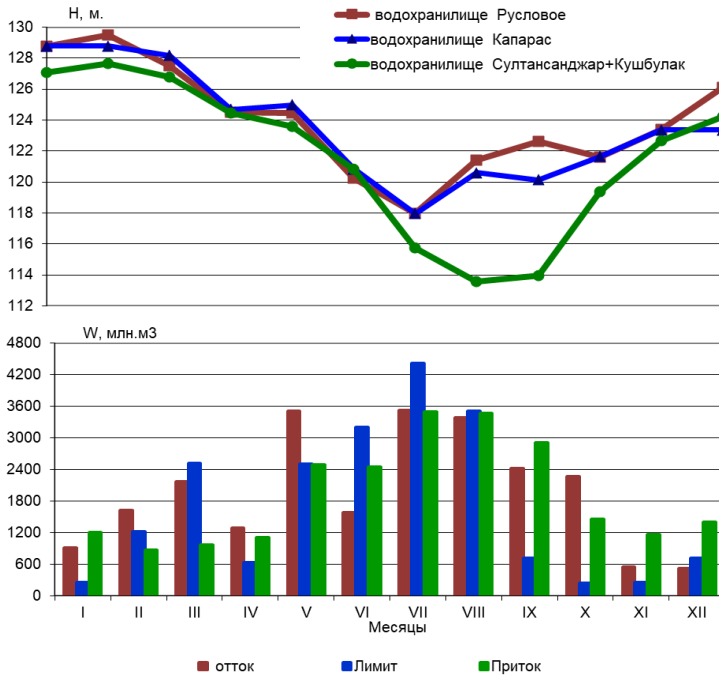


Рисунок 5.1 Фактический режим работы водохранилищ в маловодный год и режимы подачи воды на нужды ирригации

Для сравнения на рисунке 5.2 приведены варианты работы водохранилищ ТМГУ в маловодный год со сработкой водохранилища Капарас с его последующим частичным заполнением и сработкой только на питьевые нужды. Для наглядности расчетов представлен график зависимости

Регулирование стока реки Амударья комплексом
водохранилищ Туямуюнского гидроузла

объемов подачи воды на нужды ирригации в маловодный год для двух вышеуказанных возможных вариантов режима работы водохранилищ ТМГУ.

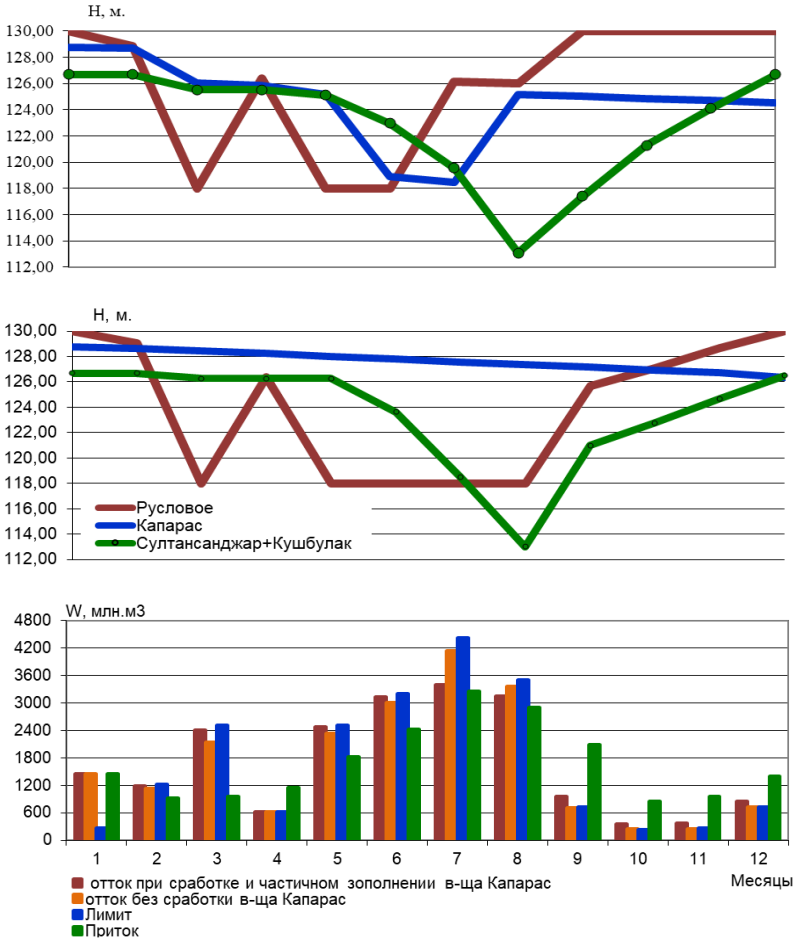


Рисунок 5.2 Режим работы водохранилищ ТМГУ в маловодные годы: Капарас с частичным заполнением и без сработки на ирригационные нужды; режим водоподачи для ирригации

Из графиков видно, что фактический режим работы гидроузла не обеспечивает плановое накопление воды в водохранилищах ТМГУ и в водохранилище Капарас необходимого объема питьевой воды. Так, при фактическом режиме дефицит на орошение составляет 3,2 км³, а по предлагаемым вариантам режима соответственно 1,6 км³ и 1,3 км³.

Величина водообеспеченности определялась как разность между фактической подачей воды, или по рекомендуемому варианту, и требованием на воду – лимитом, т.е. «факт-лимит» или «рекомендуемый-лимит».

Проведен анализ работы водохранилищ для сравнения эффективности рекомендуемого режима для маловодных вариантов. В случае притока 14,13 км³ и имеющемся запасе 3,1 км³, что всего составило 17,23 км³, отток составил 17,7 км³ (2008 г.). В то же время недодано 7,72 км³ относительно требований по лимиту в феврале – 25%, в мае – 65%, июне – 29%, июле – 55%, августе – 61%. При этом, до мая месяца сверх лимита было сброшено в нижний бьеф 2,75 км³ воды, после чего до августа недодано по лимиту 6,14 км³. То есть из 17,7 км³ оттока по лимиту использовалось 11,19 км³ или 63%. Сверх лимита было сброшено – 4 км³. В рекомендуемом режиме работы водохранилища с мая по август было бы недодано по лимиту 3,65 км³, тогда как вместо 6,14 км³ фактического режима. По предлагаемому режиму недоподача составляет 5,4 км³.

В 2011 г. было недодано относительно лимита 6,51 км³: в мае – 29%, июне – 36%, июле – 52%, августе – 56%, декабре 5%. При этом, по рекомендуемому варианту недоподача составила 4,19 км³. В 2011 году приток воды составил 14,79 км³ и запас 0,77 км³, что составило 15,56 км³, при этом объем оттока составил 13,13 км³. До мая месяца сверх лимита было сработано 0,3 км³: в январе – 0,1 км³, в апреле – 0,2 км³. В феврале недодано 0,31 км³. С мая по август недодано по лимиту 7,11 км³, с сентября по ноябрь сверх лимита объем оттока составил 0,69 км³, а в декабре было недодано 0,3 км³. При этом, по альтернативному варианту было бы недодано 4,4 км³, вместо 7,72 км³ – по фактическому режиму. Ниже приведены результаты расчета речного стока при фактическом и рекомендуемом режимах работы гидроузла.

Таблица 5.1 Расчет водоподачи в маловодные годы, км³

Подача воды	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего
Маловодный, вариант 1 (2008), сверх лимита													
Факт	1,26	0,6	0,08	0,81	0	0	0	0	0,54	0,60	0,15	0	4,04
Рекомендуемый	1,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,58
Маловодный, вариант 1 (2008), недоподача													
Факт	0	0	0	0	0,72	1,14	2,31	1,97	0	0	0	0,37	6,51
Рекомендуемый	0	0,04	0,49	0	0,28	0,57	0,81	1,99	0	0	0,01	0	3,65
Маловодный, вариант 2 (2012), сверх лимита													
Факт	0,1	0	0	0,2	0	0	0	0	0,23	0,33	0,13	0	0,99
Рекомендуемый	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Маловодный, вариант 2 (2012), недоподача													
Факт	0	0,31	0	0	1,62	0,92	2,42	2,15	0	0	0,30	0	7,42
Рекомендуемый	0,01	0,08	0,78	0,01	0,73	0,36	1,25	2,18	0	0	0	0	4,40

Таким образом, используя расчетный аппарат, можно проводить прогнозные расчеты, позволяющие выбрать оптимальный вариант режима работы водохранилищ и оперативно корректировать его с учетом конкретно складывающейся водохозяйственной обстановки.

Анализ данных показал, что суммарный объем недодачи воды в низовья при фактических режимах работы водохранилищ ТМГУ превышает по сравнению с рекомендуемыми вариантами работы в маловодные годы. Кроме этого, рекомендуемые варианты работы гидроузла предусматривают заполнение водохранилища Капарас наиболее качественной, пригодной для питьевых целей водой в период июль-август месяцы. Как было отмечено ранее, в средневодные и многоводные годы не вызывает затруднений создание запасов воды в водохранилищах для нужд ирригации и питьевого снабжения. Необходимо отметить, что предложенные модели расчета режимов работы водохранилищ ТМГУ в средневодные и многоводные годы дают возможность рассчитать различные варианты и выбрать оптимальный режим, позволяющий снизить потери воды на испарение из водохранилищ и обеспечить срезку пика паводка, а также предусмотреть сброс в нижний бьеф плотины расходов, не превышающих 4000 м³/с, что предотвратит ущерб в низовьях Амударьи от возможного затопления, снижение процесса заиления Руслового водохранилища и транзит наносов.

5.3 Регулирование заиления и количества наносов, поступающих в нижний бьеф

Анализ результатов расчета заиления Руслового водохранилища по рекомендуемому режиму работы с учетом водности года показал, что при работе водохранилища на уровнях в диапазонах от отметки 124м до 130м наблюдается значительное заиление водохранилища. Объем заиления в многоводный год составляет 75 – 80 млн. м³ против фактического режима, что доходит до 210 млн. м³. Размыв донных отложений в чаше Руслового водохранилища наблюдался только в маловодные годы в объемах 240-250 млн. м³ при работе гидроузла на пониженных уровнях воды. При рекомендуемом режиме работы в маловодные годы размыв донных отложений из водохранилища значительно меньше, до 25 млн. м³, однако в средневодные годы объемы размывов достигают до 80 млн. м³. Именно в такие годы имеются благоприятные условия для увеличения полезной емкости водохранилища, за счет смыва части донных отложений в нижний бьеф гидроузла. Сравнение результатов расчетов заиления и размыва Руслового водохранилища по фактическому и рекомендуемому вариантам приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 Сравнение результатов фактического и предлагаемого режимов
работы Руслового водохранилища

Годы	Приток, км ³	Отток км ³	Рекомендуемый режим		Фактический режим			
			Заполнение в-щ, км ³	Заиление	Заполнение в-щ, км ³	Заиление	Объем и % недоподачи относительно лимита, км ³ /%	Месяцы
				размыв млн.м ³		размыв млн.м ³		
2006	27,91	29,83	3,83	$\frac{41,0}{0,64}$	3,33	$\frac{23,0}{9,4}$	-	-
2008	14,13	15,15	2,93	$\frac{7,3}{2,7}$	0,77	$\frac{2,0}{81,1}$	$\frac{7,72}{38}$	IV, V, VI, VII, VIII
2010	43,53	43,82	3,72	$\frac{132,2}{73,6}$	2,83	$\frac{150,5}{0}$	-	-
2011	14,79	16,72	3,53	$\frac{12,1}{2,0}$	3,19	$\frac{4,3}{102,2}$	$\frac{6,51}{32}$	V, VI, VII, VIII, XII
2012	37,12	34,20	3,49	$\frac{42,7}{123,5}$	0,85	$\frac{50,81}{0}$	-	-
2014	21,50	24,16	1,29	$\frac{40,1}{8,0}$	0,26	$\frac{87,6}{4,7}$	-	-
2016	23,37	23,16	3,88	$\frac{24,6}{11,63}$	3,40	$\frac{6,9}{46,4}$	$\frac{1,26}{6}$	VI, II, VIII
2019	28,72	27,15	3,84	$\frac{45,5}{13,8}$	3,63	$\frac{99,5}{0}$	-	-

Определены объемы размывов наносов при фактических и рекомендуемых вариантах режимов работы гидроузла (табл. 5.3).

Преимущество рекомендуемого режима работы водохранилищ 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. При определенных режимах работы гидроузла, создаются условия размыва, отложившихся ранее в чаше Руслового водохранилища, наносов.

Таблица 5.3 Объемы размыва наносов в Русловом водохранилище при различных режимах, млн.м³.

Годы	Маловодные		Средневодные		Многоводные годы	
	Фактический	Рекомендуемый	Фактический	Рекомендуемый	Фактический	Рекомендуемый
2000	102,22	2,0				
2001	81,08	2,69				
2002	4,69	8,04				
2003				13,84		
2004			0	123,54		
2005					0	73,58
2006			0	87,49		
2008	96,24	12,87				
2010					0	84,25
2011	114,32	18,56				
2013			0	82,47		
2014			0	82,19		
2016			0	68,12		
2019			0	116,84		

За расчетный период суммарный объем размыва наносов по фактическому режиму составил – 398,55 млн. м³, по рекомендуемому варианту работы гидроузла – 776,48 млн. м³. Имеются благоприятные условия для увеличения полезной емкости водохранилища, за счет смыва части донных отложений в нижний бьеф гидроузла. Эффективность режима эксплуатации водохранилищ ТМГУ 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 размываемых донных отложений в чаше водохранилища за счет повышенной проточности. Такой режим эксплуатации особенно целесообразен для водохранилищ ТМГУ, имеющих большой коэффициент водообмена. Однако, 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.

Изменение мутности потока в зависимости от режима работы гидроузла имеет существенное влияние на русловые процессы в нижнем течении реки Амударья и условия водозабора в оросительные каналы. По разработанной методике были выполнены расчеты и анализ количества

поступающих в нижний бьеф наносов и мутность потока для фактических режимов работы гидроузла и альтернативных вариантах работы его с учетом водности года за период с 2006 по 2018 годы. Причем эти объемы включают как транзитные наносы, поступающие с речным стоком, так и наносы, размываемые в водохранилище и сбрасываемые в нижний бьеф. В период с января по июнь месяцы они распределяются следующим образом. Если в маловодные годы транзит наносов составляют по фактическому режиму 215 млн.м³, по рекомендуемому режиму – 55 млн.м³. То в средневодные и многоводные годы объемы наносов составляют по фактическому режиму 85 млн.м³, по рекомендуемому варианту – 325 млн.м³. Т.е. в средневодные и многоводные годы предпочтительнее принимать режим работы гидроузла по рекомендуемому варианту, т.к. увеличивается мутность потока в нижнем бьефе и с оросительной водой на поля поступает больше количество амударьинского ила.

Мутности потока, поступающего в нижний бьеф гидроузла, при фактических режимах работы ТМГУ, рассчитаны с учетом мутности потока подходящего к водохранилищу, объема осажденных наносов и объема размыва донных отложений в чаше Руслового водохранилища. Как видно из таблицы, мутность потока в отдельные месяцы превышает 15 кг/м³. Для сравнения приведены мутности потока определенные по данным УГМС. Их величина зависит от расположения места забора проб и перераспределения взвешенных наносов по длине и ширине отводящей части русла нижнего бьефа.

Таблица 5.4 Объемы наносов, поступающие в нижний бьеф гидроузла

Режимы работы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма
Многоводный													
Фактический	0,2	0,1	1,1	1,5	6,6	4,1	13,1	6,5	2,0	1,1	0,5	0,6	36,54
Рекомендуемый	0	0	7,65	21,1	39,7	83,9	14,0	2,22	0	0	0	0	168,69
Маловодный													
Фактический	0,2	0,21	0,55	0,96	15,3	30,6	13,6	7,58	4,74	0,5	0,3	0,3	74,74
Рекомендуемый	0	0,12	0,39	0,40	3,22	12,4	1,16	0,65	0	0	0	0	18,3
Средневодный													
Фактический	0,1	0,09	0,62	1,79	2,78	5,39	4,27	4,39	1,50	0,5	0,4	0,5	22,32
Рекомендуемый	0	0,02	0,93	19,0	20,8	44,6	1,98	1,64	0,15	0,1	0,1	0,2	89,49

За счет выноса на орошаемые земли речных наносов прирост урожайности основных сельскохозяйственных культур значительно повышается (таблица 5.5)

Таблица 5.5 Влияние мутности на урожайность сельхозкультур

Сельскохозяйственные культуры	Хлопчатник ц/га	Рис ц/га	Кукуруза ц/га	Пшеница ц/га	Картофель ц/га
Базовая урожайность (без внесения удобрений)	15	17	22	16	35
Прибавка к урожайности за счет поступления на поля речных наносов	1,8	3,6	4,2	2,96	11,0

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 Амударья дополнительной 320-400 млн.м³ водой, что позволит улучшить орошение 35-47 тыс. га площади.

Таблица 5.6 Движение наносов и изменение емкости при фактическом и рекомендуемом режимах работы водохранилищ (2006-2018гг.)

Водность года	Режим работы ТМГУ	Нехватка воды, км ³	Размыв наносов, млн.м ³	Объем транзитных наносов, млн.м ³	Увеличение емкости, млн.м ³
Маловодные	Фактический	6,51-7,42	216,38	319,83	
	Рекомендуемый	4,19-5,4	147,12	122,91	- 69,26
Средневодные	Фактический	1,89-0,51	8,17	140,54	
	Рекомендуемый	0,67-0	281,98	412,85	273,81
Многоводные	Фактический	0	0	71,12	
	Рекомендуемый	0	206,34	360,47	206,34
Всего	Фактический		224,55	531,49	
	Рекомендуемый		635,44	896,23	410,89

Таким образом, разработанные режимы эксплуатации водохранилищ Тюямуюнского гидроузла, позволяют определять и в наиболее полной степени использовать их потенциал в повышении водообеспеченности оросительных систем.

ВЫВОДЫ

1. Разработанные апробированные математические модели и компьютерные программы позволяют определить водный баланс водохранилищ, изменение емкости водохранилища в результате заилиения, создать запасы воды для максимально возможного покрытия дефицитов воды в низовьях реки, обеспечить размыв наносных отложений в верхнем бьефе и транзит наносов в нижний бьеф, также способствуют сокращению потери воды.

2. Расчеты режима работы водохранилищ ТМГУ выполнены по трем вариантам водной обеспеченности: маловодный год (90%), средний по водности год (50%), многоводный год (10%), а также в два этапа: 1-этап – при сработке водохранилища или его наполнении, когда колебание уровня воды происходит в диапазоне от НПУ до $H_{\text{совм}}$, в водохранилище наблюдается процесс заилиения с той или иной интенсивностью; 2-этап – рассматриваются три варианта соотношения расчетных уровней и отметок: а) расчетные уровни находятся в пределах от НПУ до уровня конечной отметки, расположенного ниже уровня совместной отметки; б) уровни воды в водохранилище (начальный и конечный) расположены ниже совместной отметки, т.е. $H_{\text{НУ}} < H_{\text{совм}} > H_{\text{КУ}}$, размываемые донные отложения выносятся потоком из верхнего бьефа; в) при условии $H_{\text{НУ}} < H_{\text{совм}}$ и $H_{\text{КУ}} > H_{\text{совм}}$ в водохранилище происходит процесс наполнения.

3. Русловое водохранилище является емкостью, через которое поступает весь сток реки Амударья 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 УМО. 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. В маловодные годы режим работы системы водохранилищ ТМГУ производится без ротации воды в водохранилище Капарас. При этом не рекомендуется срабатывать на нужды ирригации, объемом воды, превышающие объемы, предназначенные для питьевого водоснабжения.

5. Султансанджар и Кошбулак используются для компенсации воды, используемой при заполнении Капараса. Для этого в период июль-август срабатываются накопленные запасы воды до отметки УМО. Заполнение этих емкостей осуществляется в сентябре-феврале, а далее поддерживается режим на отметках близких к НПУ.

6. 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 снижению интенсивности формирования

дополнительной кривой подпора в зоне ее выклинивания, объемов потерь на испарение и фильтрацию.

7. При проведении водобалансовых расчетов для системы водохранилищ ТМГУ необходимо учитывать следующее положение: в наносных отложениях Руслового водохранилища, превышающих объем 1053 млн. м³, при его наполнении происходит аккумуляция наносов, которые составляют по расчетам, в зависимости от режима наполнения и сработки водохранилища от 110 до 400 млн.м³ в год.

8. Рекомендуемые варианты режимов работы водохранилищ в средневодные и многоводные годы дают возможность увеличивать количество наносов, поступающих в нижний бьеф. Вариантам заданы критерии по работе, обеспечивающей равномерный по годам сброс размываемых наносов в нижний бьеф, что позволяют снизить и стабилизировать заиление Руслового водохранилища и уменьшить общий размыв русла реки, повысить уровень воды у водозаборов. Основная масса выноса предусматривается в многоводные и средневодные годы. Это обеспечит плавные изменения уровней воды в вегетационный период, способствуют стабилизации уровня воды и повышению дна русла реки в низовьях р. Амударья на участке Тюямуюн-Бируни.

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

10. С помощью программы ArcGIS составлена ГИС модель водохранилищ в 3D формате с базой данных. Представлены водохранилища с описанием морфологических характеристик. Использование ГИС инструментов даёт возможность определить объемы седиментации речных наносов в Русловом и других водохранилищах, интенсивность изменения полезной емкости за счет отложений в нем речных наносов, либо их размыва и выноса в нижний бьеф гидроузла.

11. Эффективность от внедрения результатов исследований состоит из следующих показателей: водообеспеченность низовьев при рекомендуемом режиме работы водохранилищ в маловодные годы выше на 36%, а в средневодные годы на 5-6% выше чем при фактическом режиме работы ТМГУ; в средневодные и многоводные годы размыв чаши Руслового водохранилища больше на 280 млн.м³, а объем поступающих в нижний бьеф наносов на 310 млн.м³ больше, чем при фактическом режиме работы гидроузла; освободившаяся емкость и сокращение потерь на испарение при рекомендуемом режиме работы обеспечивает низовья реки Амударья дополнительной водой до 400 млн.м³, что позволит улучшить водоснабжение 40-45 тыс. га орошаемых земель.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б. Водохранилища и окружающая среда. М.: Изд. «Знание», 1982, 48с.
2. 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
3. Беркович К.М. Руслловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Географический факультет МГУ 2012. 163 с.
4. Великанов М.А. Динамика руслловых потоков. Том 2, «Наносы и русло», М., изд. технико-теоретической литературы, 1955. 324с.
5. Великанов Н.Л. Эксплуатация комплексных гидроузлов. Калининград: Изд-во КГТУ, 2006. 203с.
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. Голосов В. Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин; Российский фонд фундаментальных исследований. – Москва: ГЕОС, 2006. 295 с.
9. Готванский В. И. Бассейн Амурса: осваивая – сохранить. – Благовещенск: Изд-во ЗЕЯ. 2005. 142 с.
10. Икрамова М.Р., Ходжиев А. Особенности работы Туямуонского гидроузла// Журнал «Сельское хозяйство Узбекистана», №4. Ташкент, 1998. С. 29-31.
11. Икрамова М.Р. Ходжиев А. Влияние антропогенных воздействий в низовьях р. Амударья// Журнал «Сельское хозяйство Узбекистана», №5, Ташкент, 1999. С. 44-46.
12. М. Икрамова, А. Сорокин, А. Ходжиев, Х. Мисирханов, Б. Каримов. Населению качественную питьевую воду//Журнал «Узбекистон Кишлок Хужалиги», №12, Ташкент, 2004. С. 5-6.
13. Икрамова М.Р. Повышение эффективности работы водохранилищ Туямуонского гидроузла/ Журнал «AGROILM», №2(6), Ташкент, 2007. С. 35-37.
14. Икрамова М.Р. Потери воды на испарение из водохранилищ Туямуонского гидроузла. Журнал «AGROILM», №6(44), Ташкент, 2016. С. 68-69.
15. Икрамова М.Р., Ахмедходжаева И., Ходжиев А. Методика расчета баланса воды для системы водохранилищ. Свидетельство о депонировании объектов интеллектуальной собственности. 2013 г. Рег. №0759.
16. Икрамова М.Р. Повышение эффективности использования водных ресурсов в низовьях р. Амударья в условиях продолжающегося экологического кризиса. Журнал «Водные ресурсы Центральной Азии». Душанбе, 2005, том 4, №4. С. 46-59.

17. Икрамова М.Р. Мероприятия по обеспечению населения низовьев р. Амударья качественной питьевой водой// Научные исследования в мелиорации и водном хозяйстве. Сборник научных трудов. Том 41, Выпуск №2. Тараз, ИЦ Аква, 2004. С. 143-149.
18. 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.
19. Икрамова М., Ходжиев А., Алибеков И. Совершенствование методики расчета заиления русловых водохранилищ// 6-я международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная году экологии в России “Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях”. Федеральное агентство научных организаций России. Солоное Заимше, 2017г. С. 250-256.
20. Икрамова М.Р., Ахмедходжаева И.А., Ходжиев А. Рекомендации по улучшению режимов работы водохранилищ ТМГУ с учетом потери емкости за период эксплуатации для повышения их эффективности// Сборник статей международной научно-практической конференции «Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений». Том 1, ТИИИМСХ, Ташкент, 2018 г. С. 176-180.
21. Икрамова М.Р. Мероприятия по повышению эффективности использования водных ресурсов в низовьях р. Амударья// Материалы республиканской научно-производственной конференции «Проблемы перехода на рыночные отношения в отраслях водного хозяйства и мелиорации Узбекистана». Ташкент, 2006. С. 175-182.
22. Икрамова М.Р., Ходжиев А.К., Немтинов В.А. Расчет режима работы ТМГУ без сработки Капарасского водохранилища для нужд ирригации. Материалы научно-практической конференции «Актуальные проблемы улучшения мелиоративного состояния земель», 2010 г. С. 156-161.
23. Икрамова М.Р., Немтинов В.А., Ахмедходжаева И.А., Ходжиев А.К. Прогнозные расчеты потерь воды на фильтрацию из водохранилищ ТМГУ при различных режимах эксплуатации. Материалы научно-практической конференции «Эффективное использование водных ресурсов в сельском хозяйстве», 2010 г. С. 162-16.
24. Ирмухамедов Р.А., Тузов В.Е. Разработка план-схемы двухстороннего регулирования русел р. Амударья от Туямуюна до мыса Кипчак. - НТО САНИИРИ, Ташкент, 1981. 142 с.
25. Исмагилов Х.А., Сайидов М.Т. О динамике изменения мутности потока по длине в зоне выклинивания подпора в водохранилищах и руслах рек. Материалы республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 2013 г. С. 85-90.
26. Калинин В.Г., Пьянков С.В. Применение геоинформационных технологий в гидрологических исследованиях. Науки о Земле. Пермь: ООО "Алекс-Пресс", 2010. 217 с.

27. Караушев Л. В. Теория и методы расчета речных наносов. – Л.: гидрометеоздат, 1977. – 272 с.
28. Китаев А.Б. Важнейшие гидродинамические характеристики водохранилищ (на примере Камского каскада). Пермь, 2006. 260 с.
29. Клавен А.Б., Копалиани З.Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса. – СПб.: Нестор-История, Санкт-Петербург, 2011. 504 с.
30. Кондратьев Н.Е. Русловой процесс. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. 371с.
31. Кумсиашвили Г.П. Гидроэкологический потенциал водных ресурсов. – М.: Академкнига, 2005. 270 с.
32. Лапшенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. 240 с.
33. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. Санкт-Петербург. Гидрометеоздат, 2005. 498 с.
34. Матарзин Ю.М., Богословский Б.Б., Мацкевич И.К. Формирование водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство. Пермь, Изд. Пермского Университета. 1981. 97 с.
35. Назаров Н.Н., Беркович К.М. Влияние водохранилищ на русловые процессы. Межвузовский сборник: научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Пермь, Ред.-изд. отд. Пермского гос. ун-та, 2010. 107 с.
36. Никифоров Д.А. Моделирование уровенного режима водохранилищ реки Енисей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва 2016. 335с.
37. Поздняков Ш.Р. Наносы в реках, озерах и водохранилищах в расширенном диапазоне размера частиц: автореферат дис. доктора географических наук: Санкт-Петербург, 2011. 40 с.
38. Прыткова М. Я. Гидрологический режим и заиление малых разнотипных водоемов Северо-Запада. Санкт-Петербург: Наука, 2011. 194 с
39. Пьянков С.В. Математико-картографическое обеспечение геоинформационного моделирования геосистем и комплексов. Автореферат диссертации доктора географических наук. Казань, 2013. 34 с.
40. Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. Закономерности и регулирование. Гидрометеоздат, 1976г., 255с.
41. Рахуба А.В., Шмакова М.В. Математическое моделирование динамики заиления как фактора эвтрофирования водных масс Куйбышевского водохранилища. Водные экосистемы. 2015г. С. 189-193
42. Саваренский А.Д. Регулирование речного стока водохранилищами. М. 1951, 78с.
43. 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 САНИИРИ. Ташкент, 2005. С. 404-410.

44. Семанишин Л.М. Моделирование двухфазных течений в турбулентном потоке в водоемах, Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони №1(19), 2014, С. 82-88.
45. Сорокин А.Г. Управление водным и наносным режимами водохранилищ бассейна Амударья: инструменты и оценка. Экстремальные гидрологические события в АралоКаспийском регионе: Тр. Межд.науч. конф. 19-20 октября, 2006. – М., 2006. С. 289-293.
46. Таглави С.Х. Совершенствование методов разработки сценариев управления эксплуатацией водохранилищ на реках с обильным стоком наносов. Диссертация кандидата технических наук. Москва, 2010. 199 с.
47. Фалейчик Л.М., Пьянова Э.А. Использование ГИС-технологий и математического моделирования для оценки изменений состояния природной среды под влиянием хозяйственной деятельности человека. Вестник ЧитГУ, №5(50), 2008.
48. 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
49. Шамов Г.И. Речные наносы. Режим, расчеты и методы измерений. Л. Гидрометеиздат, 1959, 377с.
50. Шлычков В.А. Численная модель взвесенесущего потока для Новосибирского водохранилища. Вычислительные технологии. Том 15, №2, 2010. С. 111-121.
51. Шмакова М.В. Теория и практика математического моделирования речных потоков. СПб: Изд. Лема, 2013. 144с.
52. Штерехлихт Д.В. Гидравлика. Книга 1.М., Энергоатомиздат, 1991, с.151.
53. Штефан В.И. К расчету водообмена долинного водохранилища. Вестник МГУ, Серия география, №5, 1975. С. 71-75.
54. Шумаков А.Н. Заиление прудов и водохранилищ как элементов эрозивно-русловых систем в агроландшафтах Центрально-Черноземного региона. Курск, 2007. 217 с.
55. Эдельштейн К.К. Геометрическая модель долинного водохранилища. Агломерационные исследования водохранилищ. Вып.5 М., 1980. С. 11-31.
56. Agoramoorthy G., Chaudhary S., Chinnasamy P., Hsu MJ. Harvesting river water through small dams promote positive environmental impact. Environmental Monitoring Assessment. # 188(11):645. 2016.
57. Alam S. Improving sedimentation management using multiple dams and reservoirs. International Journal „Hydropower and Dams”, volume 9, issue 1, 2002. P. 63-69.
58. Baker D. W., Bledsoe B. P., Albano C. M. and Poff N. L. Downstream effects of diversion dams on sediment and hydraulic conditions of rocky mountain streams. River Research and Applications. 27, 2011. P. 388–401.
59. Becker L, Yeh W. Optimization of real-time operation of a multiple reservoir system. Water Resources Research, #10(6). 1974, P. 1107–1112.

60. Brooke N. Eustis Post-Dam effects on Geomorphology of the Green River. 2006. 211p.
61. Cluer B., Thorne C. A stream evaluation model integrating habitat and ecosystem benefits. *River Res. Applic.* Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/rra.2631. 2013. P. 20.
62. 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.
63. Froebrich J., Ikramova M., R. Razakov. Improved groundwater management strategies at the Amudarya River// NATO Science Series IV: Earth and Environmental Sciences – Vol.70. The Netherlands 2006. P.153-165.
64. 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.
65. Goldsmith E., Hildiyard N. The social and environmental effects of large dams. Sierra club books. San Francisco, 1984. P. 404.
66. 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.
67. Hind S.A., Murad A.A. The role of dams in securing the surface water in northern and eastern parts the UAE. *IAHS Press*, # 315, The Netherlands, 2007. P. 206-2015.
68. Ikramova M. Estimation of sediment loads: the Tuyamuyun reservoir on Amudarya River// *European Science Review*. Austria. 2016. P. 199-202.
69. Itoh, T., Horiuchi, S., Mizuyama, T., & Kaitzuka, 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.
70. Kantoush S.A., Tetsuya S., Akira K., Takamasa S. Impacts of sediment replenishment below dams on flow and bed morphology of river. *CZMRDLLC – 2010*, 6 – 10 March 2010. P. 285-303.
71. 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.
72. 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.
73. 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.
74. 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.

75. Olsson O., Bauer M., Froebrich J. Enhanced risk management strategies for mitigating future droughts in Central Asia// 13th IWRA World Water Congress/ 2008, 1-4 Sept., Montpellier, France. P. 218-230.
76. 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.
77. Poepl R.E, Keesstra Saskia D., Keiler Margreth, Coulthard Tom, Glade Thomas. Impact of dams, dam removal and dam-related river engineering structures on sediment connectivity and channel morphology of the Fugnitz and the Kaja Rivers. 5 -th Symposium, Conference Volume for Research in Protected Areas. 2013 P. 607-614.
78. Raghu, V., Reddy, K. M. Hydro-geomorphological mapping at village level using high resolution satellite data and impact analysis of check dams in part of Akuledu Vanka watershed. Journal of Indian Geophysical Union, №15, 2011. P. 1-8.
79. 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.
80. 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.
81. Stephens T. Manual on small earth dams. FAO of the UN, “Irrigation and drainage”, # 64. Rome, 2010. P. 127.
82. Tanton T., Ikramova M., D. Rycroft. Natural and manmade risks to water resource security in the Amudarya River Basin// Interstate water resource risk management: Towards a sustainable future for the Aral basin (JAYHUN). IWA publishing, London 2010. P. 99-116.
83. Votruba L., Broža V. Water Management in Reservoirs. Elsevier Science, 1989. P. 441.
84. White Christopher J., Tanton T. и Rycroft D. The Impact of Climate Change on the Water Resources of the Amu Darya Basin in Central Asia. Water Resources Management. International Journal – Published for the European Water Resources Association (EWRA) December 2014, Volume 28, Issue 15, P. 5267–5281.
85. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. М., “Машиностроение”, 1978. 462с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение 1. 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)	$W_{e-с+к-к}$	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 Руслового в-ща (Н=130.0 м)	W_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	$W_{гребн}$	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	$W_{из}$	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	$W_{греб}$	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	$W_{деф}$	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	
	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	Русловое	W_p^p	млн.м ³	1198.3	1116.8	749.3	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	544.7	527.4	512.3
10		Султансанджар+Кошбулак	$W_{с-с+к-к}$	млн.м ³	2003.3	2003.3	1998.2	1992.7	1982.1	747.0	0.0	0.0	1849.2	2010.0	1993.9	1985.7

Регулирование стока реки Амударья комплексом
водохранилищ Туямуюнского гидроузла

33	Исходный объем в-щ на начало расчетного периода	Русловое	$W_{\text{нач.}}^P$	млн.м ³	1264.3	1182.8	815.3	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	577.0	557.7	540.4	525.3	510.6
35		С-с + К-к	$W_{\text{нач.}}^{C+K}$	млн.м ³	2003.3	1998.2	1992.7	1982.1	747.0	0.0	1206.0	1849.2	2010.0	1993.9	1985.7	1979.3
22	Отметки уровней на начало месяца	Русловое, млн.м ³	▼P	м	130.0	129.5	127.2	118.0	117.8	130.0	130.0	118.0	127.0	129.4	130.0	
23		Капарас, млн.м ³	▼K	м	125.5	125.4	125.2	125.0	123.7	121.2	129.4	129.1	128.9	128.6	128.4	
24		С-с + К-к, млн.м ³	▼C+K	м	127.5	127.4	127.4	127.4	120.4	116.0	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	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	70.2	68.6	67.6	66.9	66.3		
27		С-с + К-к	F_i^{C+K}	км ²	256.7	256.5	256.3	255.9	188.3	166.0	257.0	256.3	256.0	255.8		
28	Суммарная площадь зеркала в-щ		$\sum F_i$	км ²	616.1	604.7	517.9	322.0	248.6	585.8	333.8	523.2	610.3	622.4		
29	объемы испарения в-щ	Русловое	$W_{\text{ит.}}^P$	млн.м ³	6.0	6.2	8.4	0.6	0.6	29.2	0.5	6.3	7.1	94.0		
30		Капарас	$W_{\text{ит.}}^K$	млн.м ³	1.2	1.3	2.4	3.9	4.7	7.0	4.3	2.2	1.7	46.6		
31		С-с + К-к	$W_{\text{ит.}}^{C+K}$	млн.м ³	5.1	5.5	10.6	17.2	16.6	18.7	16.1	8.2	6.4	171.6		
32	Суммарный объем испарения в-щ		$\sum W_{\text{ит.}}$	млн.м ³	12.3	13.0	21.4	21.6	21.9	54.9	20.9	16.7	15.2	312.1		
17	Объем Руслового в-ща при минимальной отметке сработки		$W_{\text{мин}}^P$	млн.м ³	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		$W_{\text{VII}}^{\text{Конт.}}$	млн.м ³	91.0	78.0	65.0	52.0	39.0	26.0	13.0	13.0	13.0	13.0		

Регулирование стока реки Амударья комплексом
водохранилищ Туямуянского гидроузла

21	Объемы откачки из Капараса на питьевые нужды	$W_{отк. К.пит.}$	$W_{про. н/б}$	Объемы сработки С-с + К-к	Итого сработка ТМГУ	Объемы оттока	38	39	40	41	42	43	44				
		млн.м ³	млн.м ³											млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³
	Максимальной пропускной способности н/б						Русловое	Капарас	С-с + К-к	Русловое, млн.м ³	Капарас, млн.м ³	$W_{с-с+К-к}$	Русловое	Капарас	С-с + К-к	$\sum W_{отк.}$	$\sum W_{нап.}$
				0.0	90.9	2409.9	0.0	286.8	6.7	77.9	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.9	0.0
				0.0	377.3	2678.4	77.9	301.0	11.8	364.3	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	377.3	0.0
				0.0	762.3	3466.9	442.2	315.3	17.3	749.3	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	762.3	0.0
				1217.9	1258.5	3982.4	1192.6	330.7	27.9	0.0	40.6	1217.9	0.0	0.0	0.0	1258.5	0.0
				950.2	1072.2	5642.0	1199.6	375.2	1263.0	0.0	122.0	950.2	0.0	0.0	0.0	1072.2	0.0
				89.9	222.6	6642.7	1204.7	501.8	2010.0	0.0	132.7	89.9	0.0	0.0	0.0	222.6	0.0
				0.0	13.0	9048.0	1205.1	610.0	2010.0	0.0	13.0	0.0	1206.0	610.0	1205.1	13.0	13.0
				0.0	13.0	5733.9	0.0	13.0	804.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	13.0	13.0	13.0
				0.0	1131.6	3851.3	0.0	33.0	1118.6	13.0	13.0	0.0	0.0	0.0	1131.6	160.8	160.8
				0.0	13.0	977.7	1121.2	52.3	0.0	0.0	13.0	0.0	672.7	0.0	13.0	13.0	672.7
				0.0	13.0	1659.3	450.1	69.6	16.1	0.0	13.0	0.0	360.1	0.0	13.0	13.0	360.1
				0.0	13.0	1620.1	90.0	84.7	24.3	0.0	13.0	0.0	90.0	0.0	13.0	13.0	90.0
				0.0	4980.4	4980.4	2258.0	412.3	2310.1	412.3	2258.0	2010.0	1122.8	610.0	4980.4	4980.4	4980.4

Регулирование стока реки Амударья комплексом
водохранилищ Туямуянского гидроузла

45	Объемы водохранилищ на конце каждого месяца	Русловое		млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³		
		Капарас		млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	
		С-с + К-к		млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м ³	млн.м 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		$\Sigma W_{отг.}$	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		$\Sigma Q_{отг.}$	м ³ /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		$W_{ГМО}^K$	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		$W_{УМО}^{К*}$	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		$W_{УМО}^{C-C}$	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 (м ³ /сек)		Q_i	м ³ /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 2. Расчет заиления Руслового водохранилища ТМГУ по
предлагаемому методу
(Расчет заиления по месяцам 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.м ³	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.м ³	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.м ³	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.м ³	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.м ³	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.м ³	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 ¹ _р)	м ³ /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 ¹ _р)	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/м ³	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/м ³	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 конец месяца	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	
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	

Регулирование стока реки Амударья комплексом
водохранилищ Туямуянского гидроузла

14	Суммарный объём отложений	млн.м ³	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.м ³	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.м ³	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.м ³	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



RS Global

ИКРАМОВА МАЛИКА РАХИМБЕРДИЕВНА

**РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ АМУДАРЬЯ
КОМПЛЕКСОМ ВОДОХРАНИЛИЩ
ТУЯМУЮНСКОГО ГИДРОУЗЛА**

Passed for printing 28.01.2021. Appearance 01.02.2021.

Typeface Times New Roman.

Circulation 300 copies.

RS Global Sp. z O.O., Warsaw, Poland, 2021

Numer KRS: 0000672864

REGON: 367026200

NIP: 5213776394

Publisher:
RS Global Sp. z O.O.
Dolna 17, Warsaw,
Poland 00-773

<https://monographs.rsglobal.pl/>
Tel: +48 226 0 227 03
Email: monographs@rsglobal.pl



RS Global