



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Проект «Региональная информационная база водного сектора Центральной Азии» (CAREWIB)



Центральноазиатский водно-экологический портал знаний

www.cawater-info.net



Опыт борьбы с заилением водохранилищ

Ташкент 2011 г.

**Межгосударственная координационная водохозяйственная
комиссия Центральной Азии (МКВК)**

Научно-информационный центр МКВК

**Проект «Региональная информационная база
водного сектора Центральной Азии»
«CAREWIB»**

Опыт борьбы с заилением водохранилищ

Обзор

Составитель К. А. Юлдашева

Ташкент - 2011 г.

Подготовлено к печати Научно-информационным центром МКВК

**Издается при финансовой поддержке
Швейцарского управления по развитию и сотрудничеству**

**Данная публикация никак не отражает точку зрения
Правительства Швейцарии**

Содержание

Введение	4
Общие сведения	5
Характеристики степени зарегулирования стока.....	5
Заиление водохранилищ и формирование подводного рельефа и донных отложений.....	5
Краткие рекомендации для уменьшения заиления водохранилищ	10
Опыт борьбы с заилением водохранилищ в странах мира	13
Опыт борьбы с заилением водохранилищ в России	13
Опыт борьбы с заилением водохранилищ в Кыргызстане	23
Опыт борьбы с заилением водохранилищ на Южном Кавказе	33
Опыт борьбы с заилением водохранилищ в Индии	42
Приложение. Характеристика водохранилищ, построенных в различных странах мира	50
Приложение. Правила эксплуатации заиляемых водохранилищ малой и средней емкости.....	52

Введение¹

Заиление водохранилища — это потеря объёма воды за счёт роста абсолютных отметок дна. Причины: поступление с водосбора взвешенных наносов, ветровой перенос летучих песков с суши, выпадение в осадок химических соединений, биомасса водной растительности, размыв берегов волновыми процессами, вымывание торфа из-под плавающих болот, которые условно находятся за границей водохранилища.

Процесс заиления водохранилищ сложный.

Мероприятия по борьбе с заилением рекомендуются следующие:

- строительство водохранилищ не в основном русле, а в боковых балках;
- отвод паводка через боковой канал;
- устройство в начале водохранилища поперечных донных галерей;
- устройство в плотине донных водоспусков;
- устройство прудов в реках выше по течению;
- создание объёмов для сбора наносов;
- рациональный водный режим;
- агротехника водосбора.

Основным способом, рекомендуемым руководством в борьбе с заилением (см. приложение к настоящему обзору) является промывка наносов расходом воды, сбрасываемым из водохранилища. Практикуется оставлять водохранилище на зимний период без воды, если в ней нет потребности. Этого не делают в вегетационный период и при наличии высшей водной растительности (камыш, тростник и др.), разрастающейся по площади акватории при глубине воды менее 1,5 м.

¹ <http://ru.wikipedia.org/wiki/Водохранилище>

Общие сведения

Характеристики степени зарегулирования стока

В условиях подпора реки плотиной и образования водохранилища скорость течения уменьшается, поэтому влекомые и взвешенные наносы, переносимые рекой, осаждаются в ложе водохранилища. В верхней части задерживаются более крупные донные наносы, а мелкие по мере уменьшения скорости течения откладываются в средней и нижней частях с постепенным уменьшением величины фракций до илистых у самой плотины. В результате происходит постепенное и непрерывное заиливание водохранилища. Это влечет за собой утрату его регулирующего значения и не позволяет обеспечить водой потребителей в нужные сроки и в требуемых количествах. Сроком службы водохранилища называется период, в течение которого заносится мертвый объем водохранилища. Этот период в зависимости от соотношения объемов водохранилища и годового твердого стока может исчисляться годами, десятилетиями и сотнями лет.

При расчете заиливания водохранилищ используют данные мутности, механического состава, расходов воды, параметров водохранилища, объемного веса отложений. При расчетах встречаются два случая:

- 1) имеются наблюдения за твердым стоком;
- 2) наблюдения отсутствуют. Первичными источниками сведений о мутности потока являются гидрологические ежегодники.

При водохозяйственном проектировании широко используются графические, графоаналитические и табличные методы расчетов регулирования стока.

Заиливание водохранилищ и формирование подводного рельефа и донных отложений²

Подводный рельеф водохранилищ формируется под влиянием нескольких факторов: морфометрии и гидродинамики водохранилища, морфологии затопленного рельефа, объема и состава наносов, поступающих со стоком и от переработки берегов.

Водохранилища аккумулируют большую часть материала, поступающего с поверхностным стоком и в результате обрушения берегов. Не более 4-10% от всех поступающих наносов сбрасывается в нижний бьеф и, следовательно, не

² Водохранилища мира. М.: Наука, 1979. - 288 с.

менее 90-95% идет на формирование донных отложений. Источники поступления материала подразделяют на 5 групп: 1) поверхностный сток; 2) размыв берегов и дна; 3) продуцирование фитопланктона и высшей водной растительности; 4) физико-химические процессы в водоеме и 5) эоловые процессы.

Если у естественных внутриконтинентальных водоемов в балансе наносов доминирует материал, поступающий с поверхностным стоком, то у большинства равнинных водохранилищ в первые годы их существования донные отложения формируются преимущественно за счет продуктов разрушения берегов и дна; с течением времени их количество убывает и начинают преобладать наносы, поступающие с поверхностным стоком. Так, за первые 12 лет существования Угличского водохранилища (1939-1951 гг.) среднегодовое количество обрушенного грунта превышало суммарный сток взвешенных наносов в 2,3 раза, в последующее десятилетие они были примерно одинаковы, а в начале 60-х годов количество речных наносов начало превышать поступление материала за счет береговой абразии. У горных водохранилищ, берега которых сложены скальными породами, это соотношение существенно иное; так, на Мингечаурском водохранилище среднегодовое поступление грунта от абразии берегов составляет только 9,1%, а с речным стоком — 89,8%.

Специфическим источником донных отложений служат всплывающие торфяники; образующаяся при их размыве торфяная взвесь участвует в формировании донных отложений. Ее количество за первые 25 лет существования Рыбинского водохранилища составило около 5% от общей суммы наносов. Продукты распада фитопланктона и высших растений также служат заметным источником пополнения донных отложений. Их количество в водохранилищах зоны умеренного климата составляет 1-6% от общей суммы наносов, а у водохранилищ, расположенных в районах с аридным и тропическим климатом, очевидно, может быть и больше. Можно предполагать, что в водохранилищах образуются и хемотропные взвеси, однако о роли их в балансе отложений в настоящее время нет никаких данных. У водохранилищ аридной зоны, расположенных в песчаных пустынях, важным источником донных отложений может быть эоловый перенос песчаных и пылевых отложений. У водохранилищ умеренного и тропического поясов такого источника, как правило, нет.

Известное представление о количестве и соотношении различных наносов, поступающих в водохранилища умеренного пояса, могут дать данные табл. 1.

Количество наносов, поступающих с поверхностным стоком в водохранилища пустынной зоны, часто значительно больше, чем у водохранилищ, расположенных в зонах умеренного и холодного климата. Поэтому именно пустынные водохранилища очень быстро заиливаются. Так, в США некоторые водохранилища, расположенные в пустынной зоне, заполнялись наносами за 10-15 лет; одно из них за 7 лет потеряло около 50% емкости. Для замены этого водохранилища было построено новое, но и оно за 13 лет потеряло 95% емкости.

Таблица 1

Количество вещества, поступившего в водохранилище из основных источников

Водохранилище	Годы наблюдений	Сток наносов	Размыв берегов и дна	Продукция фитопланктона и высшей водной растительности	Всего
Иваньковское	1937-1968	$\frac{6250}{28,26}$	$\frac{14\,440}{66,1}$	$\frac{1150}{5,3}$	$\frac{21\,840}{100}$
Угличское	1940-1968	$\frac{7160}{38,9}$	$\frac{10\,700}{58,1}$	$\frac{550}{3,0}$	$\frac{18\,410}{100}$
Рыбинское	1941-1965	$\frac{19\,000}{17,5}$	$\frac{86\,600}{79,8}$	$\frac{2900}{2,7}$	$\frac{108\,500}{100}$
Новосибирское	1957-1968	$\frac{\text{Нет данных}}{46,7}$	$\frac{\text{Нет данных}}{49,4}$	$\frac{\text{Нет данных}}{3,9}$	$\frac{\text{Нет данных}}{100}$

Примечание. В числителе — тыс. т, в знаменателе — %

Поступающие в водохранилище наносы распределяются по его дну и формируют грунтовый комплекс отложений. Средняя мощность их годового слоя равна у Иваньковского водохранилища 0,2 см, Угличского 0,17 см и у Рыбинского 0,25 см, при максимальной мощности 1,9, 1,1 и 6,0 см соответственно. Состав и размещение донных отложений у водохранилищ могут быть самыми разнообразными и зависят от величины сработки и степени проточности водохранилища, режима течений и волнений, количества и крупности наносов; на указанные факторы сильно влияют географическое положение водохранилища, его размеры и морфология. В каждом конкретном водоеме определяющие факторы — характер и количество грунтообразующего материала и гидродинамическая активность водных масс. В русловых водохранилищах преобладающая форма гидродинамической активности — течения, в водохранилищах долинного и озерного типов — волнение.

При изучении верховолжских водохранилищ донные грунты были разделены на три основные группы: а) первичные затопленные почвы, существенно не изменившие свои свойства; б) трансформированные затопленные почвы, в значительной мере утратившие прежние свойства; в) вторичные грунты (галечники, пески, илы, образованию которых предшествует предварительная сортировка их частиц, и отложения из макрофитов).

Галечники, гравелистые и крупнозернистые пески развиты преимущественно в горных и предгорных водохранилищах, в основном в дельтах впадающих в водохранилище рек. Пески по образованию можно

разделить на русловые, прибрежные и пески открытых пространств. Илистые пески образуются на границе распространения песков, где наблюдаются изменения гидродинамической активности. Песчанистые и серые илы делятся по происхождению на аллювиальные и местные; первые образуются из вносимых в водохранилище аллювиальных наносов, и местом их накопления служат зоны выклинивания подпора, а местные илы формируются в основном из продуктов размыва берега и ложа водохранилища. В формировании всех илов участвуют остатки торфа, затопленной наземной растительности, продукты ветрового переноса, остатки водной фауны и флоры.

Представление о соотношении грунтов у равнинных водохранилищ умеренного пояса дают данные табл. 2.

В зависимости от гидродинамической активности (течения, волнения) глубина расположения песков у этих водохранилищ, различна: у Угличского до 2, у Ивановского до 4, и у Рыбинского до 10 м.

Процесс коренной перестройки подводного рельефа начинается одновременно с наполнением водохранилища. Размыв и переуглубление дна течениями чаще наблюдается у русловых водохранилищ. Размыв в результате волновой деятельности обычно происходит на участках акваторий с глубинами не более 8-10 м. Нивелировка дна как в мелководной, так и глубоководной зонах происходит за счет отложений наносов в понижениях рельефа.

Таблица 2

**Распространение донных отложений в верховолжских водохранилищах,
% от площади водохранилища**

Тип грунта	Водохранилище		
	Иваньковское	Угличское	Рыбинское
Незаиленные почвы	41	19	55
Пески и илистые пески	10	17	20
Песчанистые серые и серые илы	45	64	8
Торфянистый ил	—	—	13
Переходный ил	—	—	4
Отложения из макрофитов	4	<1	<1

Из зоны взмучивания взвешенный материал поступает в открытую часть водоема, где и осаждается на дно, образуя слой песчано-иловых или иловых отложений. Наибольшая мощность их наблюдается в замкнутых котловинах (затопленные озера, старицы и межгрядные понижения). С удалением от берега и по направлению к плотине мощность отложений уменьшается.

Процесс формирования ложа водохранилища, так же как и процесс формирования берегов, делится на два периода: становление подводного рельефа, сопровождающееся более интенсивным поступлением наносов, и стабилизация подводного рельефа, происходящая при умеренном поступлении наносов в водохранилище и при ведущем значении процесса перераспределения наносов. Каждый этап делится на две стадии. Первая стадия совпадает с периодом первоначального заполнения водохранилища до НПУ и характеризуется выработкой абразионных уступов, которые по мере подъема уровня уходят под воду и становятся новыми элементами рельефа дна.

Во вторую стадию также интенсивно обрушиваются приглубые берега и формируются основные элементы рельефа дна; в районах мелководий начинается волновое выравнивание дна, а в глубоководной зоне — первичная планировка рельефа. Продолжительность этой стадии может превышать 2-4 десятилетия.

Второй период характеризуется заметным уменьшением поступления материала от абразии и возрастанием роли твердого стока с водосбора и продуктов жизнедеятельности водных организмов. Во время первой стадии этого периода ведущее значение в формировании ложа водохранилища принадлежит процессам перемещения наносов вдоль берега, отчленения и занесения заливов; происходит также медленное зарастание мелководий, завершается формирование комплекса донных отложений. Во время второй стадии рельеф ложа водохранилища формируется в результате накопления аккумулятивного материала все дальше от берега, что способствует постепенному отчленению некоторых районов водохранилища и выравниванию рельефа дна. Продолжительность этого этапа может достигать нескольких сотен лет.

Значительные изменения в формировании донных отложений и, следовательно, рельефа ложа происходят в случае расположения водохранилищ в каскаде. При непрерывном расположении водохранилищ количество твердого стока заметно уменьшается к устью реки. Основным приемником твердого стока реки служит верхнее водохранилище, где он и аккумулируется. Все нижерасположенные водохранилища получают взвешенные наносы только при транзитном сбросе весеннего половодья по каскаду и с притоков. При этом поступление твердого стока в дельту реки резко сокращается.

Аккумулируя подавляющую часть наносов, водохранилища и тем более каскады водохранилищ резко сокращают количество наносов, поступающих в дельты или устья. Уменьшение поступления наносов в дельты рек было зафиксировано на Волге, Куре, Дону, Ниле и на ряде других крупных рек, зарегулированных водохранилищами или каскадами водохранилищ. Вследствие уменьшения количества твердого стока произошли заметные изменения в морфологии дельт. Так, если в дельте Нила до создания водохранилища Насер процессы роста дельты и ее абразии были примерно одинаковой интенсивности, то после ввода водохранилища в эксплуатацию это равновесие оказалось нарушенным, сейчас происходит абразионный размыв дельты — размываются

основания защитных дамб, опоры мостов, территория береговых населенных пунктов и т. п.

Краткие рекомендации для уменьшения заиления водохранилищ³

Для уменьшения заиления водохранилищ, бьефов, бассейнов, каналов необходимо:

- поддерживать такие режимы их работы, которые создают возможность максимального транзита поступающего твердого стока; каналы в период поступления в них воды повышенной мутности должны работать в близком к постоянному режиме с возможно большим расходом воды;
- промывать бьефы, водохранилища, пороги водоприемников, осветлять воду в отстойниках, применять берегоукрепительные и наносоудерживающие устройства или удалять наносы механическими средствами;
- ежедневно сбрасывать бьефы до минимально возможной отметки (для водохранилищ суточного регулирования).

Благоприятные условия для транзитного пропуска наносов через водохранилище обеспечиваются при пониженном уровне верхнего бьефа. Поскольку наибольшее количество твердого стока проходит в период паводков, к моменту наступления паводка водохранилище должно быть опорожнено до минимального уровня (в пределах проектной призмы регулирования), при котором обеспечивается согласно гидрологическому прогнозу его последующее наполнение. В этот же период целесообразно пропускать по каналу максимальные возможные расходы воды при пониженном уровне. Этим обеспечиваются большие скорости потока и увеличение его транспортирующей способности, что приводит к уменьшению или исключению отложений наносов в канале.

На участках берегов, подверженных интенсивному разрушению, необходимо проводить берегоукрепительные работы по экономически обоснованному проекту.

Берегоукрепительные и мелиоративные работы предусматривают:

- сохранение лесного покрова на склонах гор, в пределах водосборной площади водохранилища, посадку леса на склонах и закрепление склона другой растительностью;
- закрепление действующих оврагов и горных склонов, уменьшающее эрозионную деятельность водных потоков: террасирование склонов, проведение пахоты по склону с горизонтальным расположением борозд;

³ <http://foraenergy.ru/3-2-18-dlya-umensheniya-zaileniya-vodoxranilishh/>

- борьбу с селевыми выносами устройством запруд, укреплением откосов и т.п.;
- удаление наносов механизмами;
- промыв водохранилища.

Для каждого конкретного водохранилища способы борьбы с заилением выбираются исходя из местных условий и на основании технико-экономического обоснования.

Наиболее эффективными работами по удалению отложившихся наносов являются промывки водохранилища: мелкие, глубокие, с регулированием мутности промывного потока. Выбор способа промыва определяется технико-экономическим анализом, возможностями энергосистемы, требованиями водопользователей и другими местными факторами.

При отсутствии ограничений по режимам работы верхнего и нижнего бьефов рекомендуется производить глубокий промыв. При глубоком промыве водохранилище полностью опорожняется (желательно через отверстия с наиболее низкими отметками порога), гидроэлектростанция останавливается, отключаются все водопользователи. Промывы производятся в паводочный период, сроки и продолжительность их определяются исходя из возможностей энергосистемы, требований водопользователей, гидрологической обстановки и других местных условий.

При глубоком промыве интенсивность удаления наносов наибольшая. Ввиду значительной концентрации наносов в промывном потоке возможно частичное отложение их в русле нижнего бьефа, поэтому необходим постоянный контроль за состоянием русла нижнего бьефа и водозаборных сооружений, расположенных в нем.

Оптимальное значение промывных расходов зависит от ширины и глубины бьефа, пропускной способности отверстий гидроузла, используемых для промыва, характеристик отложений наносов, профиля водохранилища и ряда других факторов; оно может быть выявлено опытным путем. Для ориентировочных расчетов за оптимальный промывной расход можно принимать два среднегодовых расхода, продолжительность промыва — примерно 8-10 сут. Наполнение водохранилища после промыва следует производить на спаде половодья (паводка) в возможно более поздний срок, когда уменьшается содержание наносов в потоке.

При невозможности проведения глубокого промыва с полным опорожнением водохранилища следует организовать промывы с частичным снижением верхнего бьефа в пределах зоны регулирования (мелкий промыв) без нарушения работы водопотребителей.

При мелком промыве насыщение потока наносами, а следовательно и эффективность их удаления, меньше, чем при глубоком. Поэтому

продолжительность мелкого промыва должна быть большей, чем глубокого, и составлять примерно от 10 сут до 1-2 мес.

Промывы водохранилищ с регулированием мутности промывного потока организуются в случаях, когда необходимо обеспечить водопотребителей нижнего бьефа водой, мутность которой не выходит за пределы допустимого значения по условиям их нормальной эксплуатации, или для обеспечения требований по охране окружающей среды. Регулирование мутности осуществляется путем ступенчатого опорожнения верхнего бьефа с учетом следующих рекомендаций:

- чем больше глубина и скорость опорожнения бьефа, тем больше мутность промывного потока;
- при поддержании верхнего бьефа на постоянной сниженной отметке мутность промывного потока со временем падает.

Порядок промыва следующий: определяются границы допустимой мутности промывного потока; максимальное значение мутности устанавливается исходя из требований водопотребителей и возможности осуществления промыва без ущерба или с минимальным ущербом для водопотребителей, минимальное значение — исходя из условий экономической целесообразности промыва.

Водохранилище постепенно опорожняется до уровня, при котором мутность промывного потока соответствует максимально допустимой (I ступень сработки). Дальнейшее опорожнение приостанавливается, и уровень воды в водохранилище поддерживается на этой отметке до момента, когда мутность промывного потока уменьшится до установленного минимального значения. Уменьшение мутности связано с тем, что по мере размыва наносов и удаления их площадь живого сечения потока (при поддержании уровня воды в водохранилище на одной и той же отметке) увеличивается, вместе с этим уменьшается размывающая способность промывного потока и, следовательно, его мутность.

После достижения минимального значения мутности вторично понижается уровень воды в водохранилище до тех пор, пока мутность вновь не достигнет максимально допустимого значения (II ступень сработки). Дальнейшее опорожнение приостанавливается, уровень в водохранилище поддерживается на данной отметке до момента пока мутность промывного потока постепенно не снизится до принятого минимального значения, и снова уровень воды в водохранилище понижается (III ступень опорожнения) и т.д.

При проведении гидравлической расчистки может случиться, что часть наносных отложений не будет размываться из-за недоступности их промывному потоку. Такие неразмываемые участки сохраняются обычно в виде отложений вдоль берегов или крупных островов в русле основного потока. При необходимости удаления наносов с этих участков целесообразно совместное использование механического и гидравлического способов расчистки.

На этих участках с помощью любого механизма, например землесосного снаряда, в слое наносов проделываются каналы, которые соединяются с основным транзитным потоком. Каналы выполняются по возможности криволинейными в плане. Выпуклая часть канала направляется в сторону наносных отложений, подлежащих преимущественному размыву. Часть водного потока из основного русла, проходя через проделанные каналы, размывает их русло и окружающие наносные отложения. Наиболее интенсивно размываются наносы, расположенные в зоне поворотов канала.

Механизмы для проделывания каналов в наносных отложениях целесообразно применять в первую очередь вблизи водозаборов насосных станций, причалов, зон отдыха и в других местах водохранилища, где наносные отложения создают трудности для нормальной эксплуатации гидротехнических сооружений и использования водных ресурсов водохранилища.

Для водохранилищ суточного регулирования необходимо обеспечивать режимы ежедневной сработки бьефа до минимально возможной отметки, предусмотренной правилами эксплуатации данного водохранилища. Такие режимы исключают интенсивное и значительное заиливание регулирующей емкости.

Наносы, отложившиеся в течение того времени суток, когда водохранилище было полное, при последующей сработке легко смываются потоком, поскольку не успевают уплотниться. Наносы, отложившиеся ранее и успевшие уплотниться, размываются значительно труднее. Поэтому местным органам, ответственным за эксплуатацию и техническое состояние водохранилища, необходимо контролировать все мероприятия, проводимые в зоне данного водохранилища, не допуская проектирования, строительства и эксплуатации сооружений (водозаборов, насосных станций, причалов и т.д.), ограничивающих сработку водохранилища в пределах призмы регулирования.

Опыт борьбы с заилинием водохранилищ в странах мира

Опыт борьбы с заилинием водохранилищ в России⁴

Воронежское водохранилище – водохранилище внутригородское. Помимо отложения наносов, приносимых вместе с речным стоком р. Воронеж и поступающих с прилегающих склонов, значительный объем осадков образуется в результате обрушения берегов и отмирания водной растительности и в самом водохранилище. При осаждении речных наносов вследствие малых скоростей в пределах водохранилища происходит их сортировка: наиболее крупные наносы

⁴ www.lesnoj-atlas.com

откладываются в его верхней части, более мелкие сносятся ниже, наиболее мелкие (ил) разносятся по всему ложу водохранилища.

Механизм заиления и осадкообразования

В общем виде механизм заиления и осадконакопления в водохранилище включает следующие процессы:

- 1) поступление седиментационного материала с водосбора (аллохтонное вещество) и его образование в самом водохранилище (автохтонное вещество);
- 2) транспортирование взвесей в водохранилище;
- 3) их переработку и сортировку;
- 4) осаждение и вынос из водохранилища;
- 5) преобразование донных отложений в осадочную породу .

С процессами интенсивной седиментации связаны явления заиления и заносимости водохранилища. В определенных условиях заиление и заносимость чаши искусственных водоемов характеризуется большой интенсивностью.

Автохтонное вещество образуется в результате береговой абразии, гравитационных процессов в береговой зоне, продуцирования гидробионтов и хемотропной седиментации (хемотропные отложения возникают в результате химических реакций, протекающих в водохранилище).

Размыв берегов, являющийся следствием ветрового влияния и зависящий от состава пород и морфологического строения берега, наиболее интенсивно протекал в первые годы существования водохранилища. Со временем интенсивность размыва берегов стала ослабевать, усиливаясь лишь в годы с повышенной ветровой активностью.

Уменьшению прочности береговых пород способствовали их переменное смачивание, сопровождающееся химическим выветриванием.

Органическое вещество в водохранилище образуется в результате жизнедеятельности животных и растительных организмов. В верховье водохранилища (V гидрологический район) его основным источником является высшая водная растительность. Общее количество седиментационного материала, поступившее в водохранилище из всех источников, уменьшается с увеличением продолжительности его эксплуатации. Соотношение между аллохтонным и автохтонным веществом, наоборот, увеличивается в процессе эксплуатации водохранилища.

Образовавшийся начальный осадок в дальнейшем подвергается трансседиментации (переотложению), чему способствует:

- 1) взмучивание ветровым волнением поверхностного слоя осадка в мелководной открытой части водохранилища;
- 2) сезонная изменчивость стокового течения;
- 3) сползание верхнего разжиженного слоя ила вниз по уклону

4) выпадающие в водохранилище овраги и балки, по которым выносятся песчаный материал из прибрежной зоны.

В результате действия перечисленных факторов происходит выравнивание и нарастание подводного рельефа, нарушается годовая и сезонная слоистость отложений.

Через источники седиментационного материала осадконакопление связано с процессами, происходящими на водосборе и в водохранилище, и поэтому является сложным многофакторным нестационарным процессом. Интенсивность осадконакопления, с одной стороны, зависит от поступления аллохтонного и автохтонного вещества, а с другой – от наносоудерживающей способности водохранилища. Наносоудерживающая способность водохранилища оценивается по отношению количества отложившегося материала к общему поступлению седиментационного материала за тот же период.

Количественным выражением механизма заиления и осадкообразования в водохранилище является баланс вещества. Уравнение седиментационного баланса водохранилища имеет вид

$$R_{п}+R_{б}+R_{р}+R_{орг}+R_{хем}=R_{о}+R_{с}+R_{хоз}+ D R_{взв}+ D R, \quad (1)$$

где

$R_{п}$ и $R_{б}$ – приток наносов из р. Воронеж и с прилегающих склонов соответственно;

$R_{р}$ – продукты размыва берегов и начального ложа;

$R_{орг}$ – продукты жизнедеятельности растительных и животных организмов;

$R_{хем}$ – продукты хемотропной седиментации;

$R_{о}$ – осадконакопление;

$R_{с}$ – сброс взвесей в нижний бьеф гидроузла; $R_{хоз}$ – изъятие взвесей из водохранилища при заборе воды на хозяйственные нужды;

$D R_{взв}$ – изменение количества взвесей в водохранилище за расчетный период;

$D R$ – невязка баланса.

Все элементы баланса вещества в уравнении (1) имеют размерность массы (кг). Основными составляющими приходной части баланса являются: приток наносов из р. Воронеж $R_{п}$ и с прилегающих склонов $R_{б}$, продукты размыва берегов и начального ложа $R_{р}$, продукты жизнедеятельности растительных организмов $R_{орг}$; расходной части – осадконакопление $R_{о}$. Наносоудерживающая способность водохранилища зависит: 1) от интенсивности водообмена, показателем которого является отношение объема сбрасываемой воды из водохранилища к объему его водной массы за тот же

период; 2) глубины; 3) очертания в плане и 4) объема поступления твердого материала. В зависимости от этих факторов наносоудерживающая способность водохранилища изменяется в широких пределах. Известны случаи почти полного заиления малых водохранилищ в течение 3-5 лет. Такая же судьба постигла и некоторые большие водохранилища. Штеровское водохранилище на р. Миус в Донбассе за первые пять лет эксплуатации заинилось на 85%. Водохранилище Рионской ГЭС в Грузии за 10 лет эксплуатации заинилось на 83%. Детальный анализ изменения морфометрических характеристик Воронежского водохранилища за прошедшие 35 лет эксплуатации, выполненный в ОАО «Стройинвестиция» показал, что изменение этих характеристик вызвано не только заилением и занесением водохранилища, но и проведением гидромеханизированных работ по намыву песка для укрепления берегов, расширения площади подземных водозаборов и ликвидации мелководной, что особо необходимо в V гидрологическом районе, и т.д.

Показателем интенсивности заиления водохранилища может служить отношение объема водохранилища W при НПГ к годовому поступлению речных наносов R , выраженному в объемных величинах. Чем меньше это отношение, тем быстрее произойдет заиление. На основании наблюдений по значительному количеству водохранилищ установлено, что количество отлагающихся в течение одного года наносов R , в процентах от объема водохранилищ W , выражается величинами приведенными в таблице.

Следует отметить, что приведенные здесь сведения дают представление о долговечности службы водохранилищ (если известны их объем и годовой сток наносов) только в первом приближении. Прогноз заиления и занесения водохранилища Среднюю продолжительность службы Воронежского водохранилища оценим по формуле (2), основанной на учете основных слагаемых седиментационного баланса (1) и объема заиляемой части водохранилища при разных уровнях воды.

Опыт эксплуатации больших и средних водохранилищ России и мира показывает, что сроки возможного заиления крупных водохранилищ исчисляются сотнями, тысячами (Мингечаурское водохранилище на р. Кура) и даже десятками тысяч лет (Камское на р. Кама).

Для прогноза срока заиления и занесения Воронежского водохранилища необходимо количественно оценить все компоненты, входящие в формулу (2). Твердый сток р. Воронеж. Из всех рек бассейна Дона р. Воронеж наименее мутная. Средняя годовая мутность воды во входном створе Воронежского водохранилища равна 74 г/м^3 что, например, в 3,6 раза меньше мутности Дона у Задонска (270 г/м^3) и в 8,3 раза – р. Сосны у г. Ельца (620 г/м^3).

Суммарный модуль водной эрозии водосбора водохранилища характеризуется небольшой величиной всего $9,8 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$, что в 10 раз меньше аналогичного показателя для Сосны у г. Ельца и в 4 раза – Дона у г. Задонска. Средняя годовая величина слоя смыва в бассейне водохранилища, равная $0,0076 \text{ мм}$, значительно меньше, чем, например, в бассейне Дона до г. Задонска ($0,030 \text{ мм}$).

Две последние цифры означает, что в среднем за год поверхность водосбора водохранилища понижается на 0,0076 мм, бассейна верхнего Дона – на 0,03 мм. Максимальные значения мутности относятся к периоду весеннего половодья и значительно превышают среднюю годовую величину. Так, у с. Сокольское 28 марта 1930 г. зарегистрирована наибольшая мутность 152 г/м³. В межень мутность резко уменьшается до 10-12 г/м³. Формирование пика мутности происходит под влиянием местных вод, а не вод, пришедших издалека и успевших в пути потерять часть наносов. Небольшая мутность р. Воронеж объясняется слабым размывом русла реки, так как уклон водосбора небольшой и его поверхность покрыта растительностью, которая занимает значительную площадь водосбора. Кроме того, русло реки и ее берега предохраняет от размыва многочисленная высшая водная растительность. Уменьшают мутность воды и водоросли на дне реки, которые служат фильтрами, задерживающие наносы. Расход взвешенных наносов р. Воронеж во входном створе водохранилища составляет 5,8 кг/с, расход влекомых наносов равен 0,5 кг/с. Годовой сток взвешенных наносов равен 190 тыс. т или 144 тыс. м³, влекомых наносов – 16 тыс. т или 12 тыс. м³. Полный сток наносов реки (взвешенных и влекомых) – 206 тыс. т (156 тыс. м³).

За 35 лет в верховье водохранилища вместе с речной водой р. Воронеж поступило 5,46 млн. м³ речных наносов. Если предположить, что все они осели в верховье водохранилища, т.е. в самой ценной в хозяйственном отношении части (на участке от железнодорожных мостов до с. Чертовицкого), то объем осевших здесь наносов составляет 11,6% от современного объема участка или слой равномерно распределенных по площади наносов равен 0,22 м. Суммарное количество наносов. Наносы в водохранилище поступают не только с речным стоком, но и с ливневыми и тальными снеговыми водами, в основном с урбанизированной территории.

Кроме того, наносы образуются и в самом водохранилище при воздействии волн на подводные склоны ложа, а также в процессе переформирования берегов. Суммарное количество взвешенных и влекомых (донных) наносов, которое поступает в водохранилище с речными и ливневыми водами с площади боковой приточности невелико – 6,4 кг/с, или 202 тыс. м³ в год. Основной объем твердого стока (более 80%) поступает весной, когда смыл с поверхности бассейна и размыв первичных русел достигает максимума. Наносы осаждаются в зоне выклинивания подпора вследствие уменьшения кинетической энергии потока. В верхней части водохранилища осаждаются более крупные, по акватории – более мелкие наносы. Отложение крупных наносов (диаметром более 0,25 мм) происходит в виде широкой гряды, что характерно для водохранилищ руслового типа (в озеровидных водохранилищах они осаждаются в форме конуса выноса).

Мутность воды в водохранилище небольшая, она изменяется в зависимости от сезона года и характера подводного рельефа и составляет в среднем 8-44 г/м³. Самая большая мутность около 40 г/м³ наблюдается весной на участке от места выклинивания подпора до железнодорожных мостов. В черте

города мутность воды уменьшается почти в 3 раза, так как значительная часть наносов осаждается в верховье водохранилища.

Продукты фитопланктона и высшей водной растительности. Кроме материалов техногенного происхождения, поступающих с берегов и водосборной площади, в образовании донных отложений определенную роль играют различные органические остатки. Непосредственных наблюдений за такими осадками на водохранилище не производилось и поэтому их величину определим косвенным путем по литературным источникам.

Считается, что доля участия органических веществ в формировании донных отложений не превышает 2%. Причем около 80% запасов органики вносится притоками и только 20% образуются непосредственно в водоеме. Для водохранилищ лесной зоны в период их наполнения и в первые годы существования органическая часть отложений, как правило, больше минеральной. В последующие годы это соотношение изменяется в пользу минеральной части. Продукты разрушения берегов. Натурные наблюдения в навигационный период, начатые с 1972 г., показали, что более интенсивно процесс формирования берегов протекает в нижней части водохранилища, на участке от плотины гидроузла до моста ВОГРЭС. С ноября 1972 г. по май 1976 г. береговая линия в районе с. Шилово ежегодно отступала от уреза воды на 0,7-0,8 м. Смещение береговой линии объясняется наличием здесь больших глубин и значительной длиной разгона ветра, что обуславливает формирование крупных, до 1,3 м высот волн. В результате волнового воздействия берега здесь, как и в других частях водохранилища, подвергаются абразионной переработке. Расчет срока заиления и занесения водохранилища. Оценим с помощью формулы (2) время заиления водохранилища. По данным ОАО «Стройинвестиция» современный объем водохранилища $W=199$ млн. м³.

Средний годовой объем речных наносов, поступивших в водохранилище вместе со стоком р. Воронеж $V_{п}=156$ тыс. м³. Объем отложений за счет отмирания растений рекомендуется принимать равным 2% от поступивших наносов, т.е. $V_{ра}=156 \cdot 0,02=3,12$ тыс. м³.

Непосредственных наблюдений за поступившими в водохранилище наносами в результате разрушения берегов нет. Поэтому определим их косвенным путем по литературным данным [2, 9]. Учитывая, что в Воронежском водохранилище уровень воды практически постоянен в течение всего года (за исключением отдельных экстремальных случаев) в качестве аналога для расчета объема продуктов обрушения берегов $V_{р}$ возьмем Угличское водохранилище, где поступившие от обрушения и размыва берегов наносы в 1,5 раза превышают сток речных наносов, т.е. $V_{р}=V_{п} \cdot 1,5=234$ тыс. м³.

Наблюдений за наносами, поступающими с площади боковой приточности водохранилища, включая территорию г. Воронежа, не производилось. Расчетное количество наносов с этой площади ($F=520$ км²) $V_{б}$ составило 46 тыс. м³/год. Сток наносов из водохранилища также не изучался. Однако, учитывая распределение взвешенных частиц различного диаметра по длине водохранилища, можно считать его значение близким к «0», т.е. $V_{с}=0$. Так

же близки к «0» изъятие взвесей из водохранилища при заборе воды на хозяйственные нужды и изменение их в водохранилище за расчетный период, т.е. за год.

Кроме этого, за период существования водохранилища в его акватории проводились гидромеханизированные работы по замыву мелководий, укреплению берегов, намыву пляжей и т.д. Объем вынутого и перемещенного грунта за это время составил 19,4 млн. м³ или в среднем за год 554 тыс. м³.

Таким образом, с учетом сложившихся техногенной и антропогенной нагрузок, а также современных природно-климатических условий, можно сделать твердый вывод о том, что полное заиление Воронежского водохранилища произойдет не раньше, чем через 450 лет.

По иному подошел к проблеме заиления водохранилища Г.С. Пашнев. Основываясь исключительно на поступлении в водохранилище наносов, приносимых р. Воронеж и не учитывая внутриводоемные процессы (обрушение берегов, перемещение в чашу водохранилища обрушенного материала; оседание на дне продуктов отмирания высшей водной растительности и т.д.) он пришел к выводу, что полное заиление водохранилища (именно заиление, а не заиление плюс занесение) произойдет через 1000 лет. Заиление водохранилища на 8-10% от его полного объема по расчетам Г.С. Пашнева произойдет соответственно через 50-100 лет. Наибольшую практическую ценность представляет прогноз заиления и занесения водохранилища для его верхней части (V гидрологический район), где сосредоточены основные водозаборы, обеспечивающие население г. Воронежа питьевой водой. Иными словами, до полного заиления и занесения этой зоны, с учетом уже просуществовавших лет осталось 45-50 лет. Учитывая, что основные водозаборы (Южно-Чертовицкий, ВПС-11, ВПС-8) сосредоточены в верхней части этой зоны, то можно утверждать, что уже в ближайшие десятилетия акватория водохранилища в районе основных водозаборов перестанет существовать. Поэтому для борьбы с прогрессирующим заилением верхней части водохранилища необходимо выполнить комплекс противозрозионных мероприятий на прилегающей водосборной площади с одновременным проведением гидромеханизированных работ по защите берегов, очистке ложа водохранилища от донных отложений и ликвидации мелководий. Практическая ценность указанных работ в том числе и на продление срока службы водохранилища очевидна. Так, например, до строительства водохранилища, когда русло р. Воронеж прижималось к Лысой горе, происходил интенсивный размыв ее основания, сопровождавшийся значительными обвалами и осыпями. После намыва защитного песчаного откоса шириной до 50 м обвалы и осыпи прекратились и теперь Лысая гора полностью покрыта и защищена от разрушения древесно-кустарниковой растительностью. Гидромеханизированных работы по замыву мелководной в этой части водохранилища включены в состав первоочередных мероприятий «Программы экологогигиенической безопасности Воронежского водохранилища и р. Воронеж на период 2005-2015 гг.».

Необходимость проведения гидромеханизированных работ с целью продления срока службы водохранилища была заложена еще в первоначальном проекте подготовки ложа. В проекте на всем верхнем участке (выше

железнодорожных мостов) предусматривалось снятие и перемещение поверхностного слоя с укладкой разрабатываемого грунта, тут же в отвалы, которые по проекту образовали бы цепь островов и тем самым увеличили бы минимальную глубину до 4 м. В итоге выполнения указанных работ площадь мелководий сократится с 19,7 км² до 16,7 км² (т.е. на 15%) и, главное, абразионные берега практически исчезнут.

Намытые территории станут своеобразным щитом на пути проникновения в водохранилище наносов, будут служить «буферной» зеленой зоной между городом и водохранилищем, образовав элемент природного ландшафта в виде открытых озелененных островов и водных пространств, что в конечном итоге продлит срок службы водохранилища.

Борьба с заилением Волгоградского водохранилища⁵

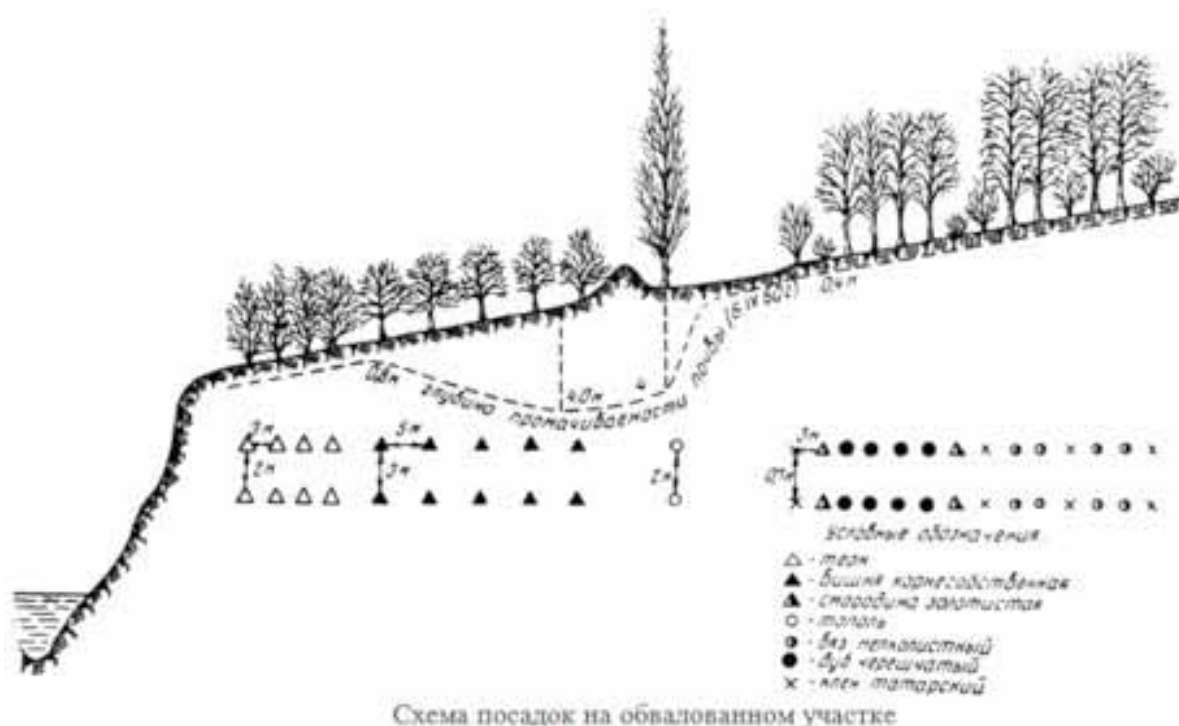
Всесоюзный научно-исследовательский институт агролесомелиорации совместно с Дубовским механизированным лесхозом с 1959 г. проводит работы по разработке системы лесомелиоративных, фитомелиоративных и гидротехнических мероприятий по защите от заиления Волгоградского водохранилища. Участок, на котором проводятся работы, расположен на прибрежных склонах балки «Водяная», которая непосредственно впадает в водохранилище. Начинается эта система всего в 2,5–2,8 км от Волго-Донского водораздела. Как левый, так и правый склоны имеют большую крутизну (до 6°), в сильной степени подвержены водной эрозии и изрезаны различными современными размывами (донные, береговые, отвершковы, концевые, склоновые). Почвы каштановые, разной степени смывистости.

В результате заполнения водохранилища весной 1960 г. устьевая часть балки «Водяная» заполнилась водой и образовался лиман длиной около 1 км и шириной 80–100 м.

Балочная система «Водяная» отличается крутыми склонами, лишенными не только лесной, но и травянистой растительности, сильно разрушенными эрозией. Из этой балки можно ожидать большого выноса твердого стока в водохранилище.

Производственные опыты, проведенные на больших площадях, показали, что наиболее перспективным и экономически целесообразным способом закрепления склонов, прилегающих к балкам и оврагам и непосредственно к водохранилищу, является обвалование их с использованием обвалованной площади под лесосады.

⁵ www.lesnoj-atlas.com



В этих условиях водозадерживающие валы высотой 120 см при размещении их по горизонталям на расстоянии 50–80 м один от другого способны задерживать весь сток, образующийся на обвалованных участках. Так, весной 1962 г. у валов в результате стока образовались прудки, общий объем которых составил около 8,5 тыс. м³. Такой объем воды был собран с обвалованной площади в 92 га. В январе 1963 г. во время зимней оттепели эти валы задержали 14 тыс. м³ воды.

Задержание воды у валов действовало на весеннее увлажнение почвогрунтов в пределах обвалованной площади. Как показали наблюдения, лучшие условия увлажнения создаются ниже на склоне в пределах первых 20–25 м от валов.

Выше по склону перед валами зона повышенного увлажнения незначительная, всего 3–5 м. Кроме того, здесь и почвенные условия плохие, так как при насыпке валов почва перед ними срезается бульдозером в пределах 20–25 м.

В 1960–1961 гг. на обвалованных участках были посажены лесосады. Плодовые и древесные породы размещались с учетом особенностей увлажнения. Так, на обвалованной площади в 92 га, на участках ниже валов оказалось 10 га земли, пригодной по увлажнению под сады, где последние и были посажены.

Посадка лесных пород проводилась выше валов по склону однолетними сеянцами с размещением 0,7 в ряду и 3 м между рядами. Лесные и плодовые культуры хорошо растут, о чем свидетельствуют данные

В настоящее время на этом участке водозадерживающие валы, а также лесные и плодовые культуры препятствуют переносу снега в балочную сеть, задерживают твердый и жидкий сток, в результате чего прекратился рост береговых оврагов и поступление мелкозема в лиман и в водохранилище.

На крутых прибрежных склонах с тяжелыми лесорастительными условиями, особенно при смытых или щебенистых почвах, закрепление успешно проводится путем посадки древесных и кустарниковых кулис с одновременным коренным улучшением межкулисных участков путем посева на них многолетних трав.

В порядке производственного опыта в Дубовском районе таким путем закреплены склоны на площади 30 га. Для этого поперек склона, по возможности по горизонталям, проводится вспашка почвы лентами шириной 5–7 м для посадки кулис. Подготовка почвы под посадку кулис применяется такая же, что и для других насаждений в условиях засушливого юго-востока. Древесные или кустарниковые кулисы создаются посадкой однолетних сеянцев с размещением в ряду 0,7 м, между рядами в двухрядных кулисах – 3 м.

Лучшими породами для кулис на каштановых почвах являются: вяз мелколистный, акация белая, смородина золотистая, лох узколистный. Кулисы размещаются одна от другой на расстоянии 50 м. При таком размещении в кулисах хорошо задерживается снег и по склону он распределяется равномерно. Последнее обеспечивает дополнительную влагозарядку почвы, что благоприятно сказывается на росте многолетних трав.

Вспашка межкулисных участков под посев трав проводится лентами: одна лента вспахивается, а другая остается нераспаханной. После того как на засеянных травой участках образуется травяной покров, обрабатывают и высевают травы на остальной части межкулисных участков. Для этих бедных и сухих почв лучшими травами являются: люцерна желтая, донник, житняк узкоколосый и волоснец ситниковой.

Дополнительное накопление снега и хорошее увлажнение почвы обеспечивает успешное развитие травостоя, что предохраняет склон от эрозии. Кроме того, такие склоны, являющиеся часто бросовыми землями, превращаются в высокопродуктивные сенокосные угодья и пастбища. Так, при посеве многолетних трав на склонах можно получить в среднем по 15–20 ц высококачественного бобово-злакового сена.

Для лучшего задержания стекающей со склона воды кулисы целесообразно обваловывать, нарезая по нижнему их краю вал одним-двумя проходами плантажного плуга.

Все овраги, как расположенные ниже обвалованной площади, так и на залуженных участках с кулисами, с целью их окончательного закрепления и хозяйственного использования должны быть облесены.

Дубовский лесхоз в течение ряда лет при облесении оврагов на склонах Волгоградского водохранилища применяет посев семян древесных пород, что предложено Клетским опытно-овражным пунктом ВНИАЛМИ.

Высеваются семена клена ясенелистного, акации белой, терна и абрикоса. За 1961–1965 гг. лесхоз таким способом провел облесение оврагов на общем протяжении 6 км.

Опыт Дубовского механизированного лесхоза подтверждает эффективность закрепления прибрежных склонов Волгоградского водохранилища путем обвалования, залужения, создания лесосадов и защитных лесных насаждений.

Создаваемые на таких местоположениях вишневые сады, плодоносящие с 4-летнего возраста, могут ежегодно давать по 3,5–4 т плодов с 1 га.

Опыт борьбы с заилением водохранилищ в Кыргызстане⁶

Не менее важной проблемой, чем «старение» плотин гидротехнических сооружений, является сокращение объёмов водохранилищ в результате заиления.

По данным Технического отчёта Всемирного банка средняя потеря объёма водохранилищ достигает 50 км в год или 1% общего объёма. В водохранилища бассейна Сырдарьи ежегодно поступает от 390 тыс. тонн до 32 млн. тонн наносов, включая мелкозём, из них только на долю наносов ледникового происхождения приходится 30–50%. Например, в Токтогульское водохранилище ежегодно поступает 6,8 млн. тонн ледниковой муки.

В Кыргызской Республике в последние годы увеличилось число водохранилищ и бассейнов сезонного, декадного регулирования, заиленных на 50–70% или до высот гребня (например, бассейн сезонного регулирования на р. Майлуу-Суу ниже пос. Кок-Таш). Принимая во внимание важное значение проблемы заиления на устойчивость плотин необходимо выполнить комплекс работ по прогнозируемым процессам заиления, анализ предлагаемых контрмер, или направленных на смягчение воздействия заиления на безопасность и сокращение срока службы водохранилищ. В частности, при известном сроке службы водохранилища необходимо дать условия окончания службы плотины, например: будет ли она устойчива при условии заиления до гребня; при каком уровне заиления станет необходимым вывести плотину из эксплуатации, и что затем делать с пропуском паводков и наносов.

В гидротехнической практике известны различные методы борьбы с заилением, включая регулирование водоразделов, промыв наносов, землечерпательные работы.

⁶ www.bibliofond.ru

Заиление водохранилищ на реке Нарын⁷

Река Нарын прорезает гряды юрских меловых и третичных песчаников, глин и конгломератов. Большие уклоны и скорости течения обуславливают перенос рекой огромного количества взвешенных наносов, крупных донных наносов и даже валунов. Основной сток как взвешенных, так и донных наносов проходит в паводок. По минералогическому составу взвешенные наносы представлены кварцем, гранитом, полевым шпатом, кремнием, биотитом, рудными минералами и др.

Освоение водных ресурсов Нарына началось в конце 50-х годов, когда была создана строительная организация «Нарынгидроэнергострой» для сооружения Учкурганского гидроузла, а в дальнейшем и последующих гидроузлов в бассейне Нарына. Непосредственно на Нарыне построено пять ГЭС, в табл. 1 даны характеристики гидроузлов с водохранилищами.

Первенцем в Нарынском каскаде ГЭС является Учкурганский гидроузел, введенный в эксплуатацию в 1961 г., а наиболее крупным как по мощности, так и по объему водохранилища является Токтогульский гидроузел, введенный в эксплуатацию в 1975 г. Хронологический ход ввода в эксплуатацию водохранилищ соответствует и ходу их заиления. Рассмотрение процессов заиления начнем с Учкурганского водохранилища.

Таблица 1

Характеристики гидроузлов Нижнениарынского каскада ГЭС

Название гидроэлектростанции	Год ввода первого агрегата	Расчет. напор Н, м	Устан. мощность МВт	Водохранилище			
				Площадь зеркала, км ²	Полный объем, млн. м ³	Полезный объем, м ³	Протяженность км
Токтогульская	1975	140	1200	284,3	19500	14000	80
Курпайская	1981	91,5	800	12,0	370	35	40
Ташкумырская	1985	53	450	7,8	140	16	20
Шамалдысайская	1990	26	240	2,4	40	5,7	12
Учкурганская	1961	29	180	4,0	53,4	20,9	17

Сооружение плотины Учкурганской ГЭС в узком каньоне образовало водохранилище длиной около 17 км и с площадью зеркала 4 км², объемом

⁷ В.А. Биленко. Заиление водохранилищ на реке Нарын / www.planet.elcat.kg/?cont=article&article=6

52,5 млн. м³, с полезной емкостью 20,9 млн. м³ предназначенное для суточного регулирования стока и создания запаса воды для орошения.

В целях сохранения полезной емкости водохранилища и обеспечения транзита наносов в нижний бьеф в период концентрации твердого стока (апрель - август) в Саогидропроекте, при участии персонала станции, были разработаны мероприятия по рациональному режиму эксплуатации водохранилища. Мероприятия предусматривали снижение уровня воды в верхнем бьефе на 5 м относительно нормально подпертого уровня (НПУ) и проведение промывок сосредоточенными расходами 1000-1500 м³/с. Предполагалось, что при таком режиме «мертвый» объем водохранилища окажется занесенным за 5-6 лет, а объем полезной призмы останется не тронутым [3].

За период с 1962 по 1973 гг., до перекрытия р. Нарын в створе Токтогульской ГЭС, в Учкурганское водохранилище поступал бытовой сток наносов реки, а проведению специальных мероприятий по рациональному режиму эксплуатации водохранилища препятствовал забор воды в каналы (Большой Ферганский, Уч-Курганский, Северо-Ферганский и имени Ахун-Бабаева), расположенные ниже Учкурганской ГЭС, вследствие чего оно существенно заилено.

Наблюдения за изменениями емкости водохранилища велись и в последующие годы [8]. В состав работ входили промеры русла р.Нарын на участке водохранилища и подсчет объемов водохранилища.

По данным промеров глубин [8] построены кривые объемов Учкурганского водохранилища, приведенные на рис. 1.

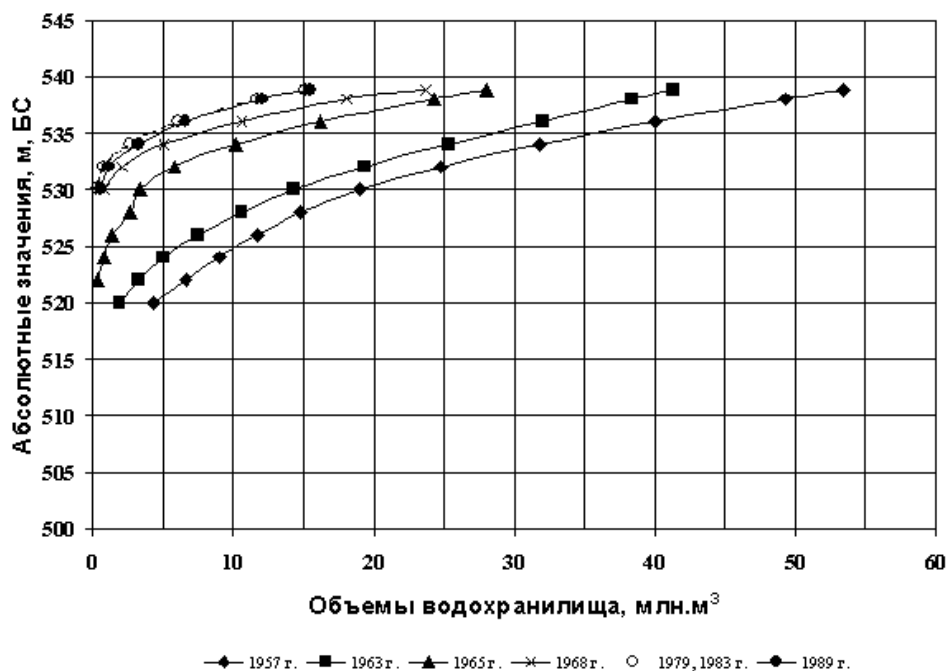


Рис. 1. Кривые объемов Учкурганского водохранилища

По годам изменение емкости Учкурганского водохранилища имеет следующую динамику: в 1957 г. – 54 млн.м³, в 1963 г. – 42 млн.м³ в 1968 г. – 24 млн.м³, с 1978 г. и по настоящее время – 15,5 млн.м³. Таким образом, полная емкость Учкурганского водохранилища равна 15,5 млн. м³, что почти в 3,5 раза меньше его проектной емкости, а полезная – 11,0 млн.м³.

Сопоставление продольных профилей, выполненных по съемкам 1957-1989 гг. показывает, что наибольшая толща отложения наносов до 25 м по глубине отмечаются на расстоянии 1880-2735 м от створа плотины. По результатам анализа гранулометрического состава [8], толща этих отложений на этом участке сформирована наносами с процентным содержанием пылевых фракций диаметром менее 0,05 мм до 62,5%. В верхней части водохранилища толщина наносов уменьшается и сформирована преимущественно наносами $d=0,004...0,04$ мм, перемежающимися фракциями со средним диаметром 0,1 мм с включением камней $d=0,3$ м.

Водохранилище на данный момент почти полностью заполнено наносами и это обстоятельство оказывает отрицательное влияние на режим работы водохранилища и безопасность плотины в отношении паводковых явлений, в частности, по результатам обследования, выполненного нами в 2000 г. [4], было выявлено, что из 8 донных водосбросов плотины 3 оголовка водосброса заилены. Задача очистки водохранилища Уч-Курганской ГЭС на р. Нарын является актуальной для его эксплуатации.

Объем выноса твердой фазы малых водотоков на участке Учкурганского водохранилища незначительный и существенно не может влиять на его заиливание [8]. Кроме того, как следует из [3], при правильной эксплуатации возможна самоочистка водохранилища. Поэтому, на наш взгляд, единожды проведенная очистка обеспечит нормальную эксплуатацию водохранилища на многие десятки лет.

Заиливание вышележащих водохранилищ Шамалдысайской, Ташкумырской и Курпсайской ГЭС нами не рассматривается, т.к. сток наносов р. Нарын к началу их строительства уже полностью задерживается Токтогульским водохранилищем.

Рассмотрим заиливание Токтогульского водохранилища расположенного первым в Нижнениарынском каскаде ГЭС с полным объемом 19,5 млрд. м³. Анализ расходов и стока взвешенных наносов в Токтогульское водохранилище производился на основании наблюдений, проводимых с 1964 г. на гидропосту Уч-Терек, расположенном выше водохранилища.

Согласно данным Гидрометцентра Кыргызстана [5] был составлен ряд значений средних месячных расходов наносов на реке Нарын, в районе станции Уч-Терек. К сожалению, некоторые данные отсутствовали (помечены скобками), что объясняется недостатком материальной базы Гидрометцентра Кыргызстана и неблагоприятными погодными условиями (наличие ледяного покрова и др.) во время проведения замеров, не позволяющими проведение данного вида работ. Недостающие данные были получены нами интерполяцией имеющихся данных.

В результате получился ряд размером 27 лет, с 1964 по 1992 г., за исключением 1976 и 1988 г., который представлен в табл. 2. Вычисление среднегодового расхода взвешенных наносов R_0 и коэффициента вариации C_{vr} произведены по известным формулам [2, 6]. При наличии данных многолетних измерений стока наносов среднегодовое значение расхода R_0 определен по формуле:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, (1)$$

где n – период наблюдений, а коэффициент вариации C_{vr} вычислен по формуле:

$$C_{vr} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{Ri} - I)^2}{n}}. (2)$$

Таблица 2

**Среднемесячные расходы наносов на р. Нарын, в районе
станции Уч-Терек, кг/с**

Год	Месяцы												Ср. годов ые
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1964	(10)	(10)	(70)	(60)	40	2700	440	68	13	1,4	(2)	(2)	(285)
1965	(10)	(10)	24	90	90	120	1100	580	98	37	48	(18)	(185)
1966	52	(25)	(40)	(750)	1500	7000	1900	1700	250	50	29	32	(1111)
1967	(15)	20	53	970	(250 0)	2000	1200	460	85	30	9,5	17	(613)
1968	(7,2)	18	74	470	970	2500	1500	980	120	14	22	9,4	(557)
1969	18	27	510	1500	5200	5200	4400	1200	530	89	30	18	1600
1970	6,9	31	35	370	1300	1300	1900	700	210	23	15	7,4	490
1971	6,1	31	210	270	360	2500	880	470	65	28	31	16	410
1972	10	10	95	150	590	1600	840	920	71	33	50	11	360
1973	(10)	(20)	42	600	1400	3200	2000	670	210	3,2	(16)	(10)	680
1974	(15)	(20)	5,9	140	370	630	680	330	43	7,7	(10)	(20)	190
1975	(8)	(10)	6,4	220	220	1900	590	570	64	(10)	(15)	(4)	(301)
1977	(2)	(10)	(75)	150	(900)	(970)	600	400	62	71	46	8,3	(275)
1978	3,5	1,8	69	1100	1400	930	1000	1000	35	9,1	8	20	460
1979	4,1	6,9	110	1200	1000	2700	(170 0)	880	85	170	23	(18)	(658)
1980	(2)	(17)	(75)	180	1700	930	640	380	46	14	(6)	(8)	(333)
1981	15	35	49	230	1300	1100	1100	270	41	19	21	6,4	350
1982	(10)	(6)	35	340	340	130	360	450	38	12	10	(2)	(144)
1983	1,1	7,9	37	160	880	1300	1100	1100	170	49	14	10	400
1984	5,8	12	110	520	320	720	480	1100	46	15	14	2,8	280
1985	(10)	(10)	41	430	280	780	520	230	(10)	15	17	(10)	(196)
1986	2,1	16	32	200	280	940	880	360	54	28	10	7	230

Год	Месяцы												Ср. годов ые
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1987	6,7	8,2	120	240	1200	3000	2900	1100	110	100	34	21	740
1989	(10)	(10)	(110)	(610)	(240 0)	1800	1400	450	90	26	23	12	(578)
1990	45	35	280	720	2100	1400	1200	520	270	43	24	24	560
1991	(15)	(15)	200	320	440	2300	1400	670	170	24	25	(10)	(466)
1992	(12)	(10)	130	480	580	920	1300	310	63	22	15	15	(321)

В результате вычислений выполненных по формулам (1) и (2) получили среднегодовое расходом наносов $R_0=473 \text{ кг/с}$ и коэффициент вариации $C_{vr}=0,655$.

Результаты выполненного расчета расхода наносов заданной обеспеченности по программе FLIKE (Log Pearson III) приведены в табл.3.

Таблица 3

Расход наносов при различных значениях обеспеченности

Обеспеченность $P\%$	0,1	0,5	1,0	2,0	10,0	50,0
Расход наносов R_0 , кг/с	3548	2335	1920	1560	894	392

Фракционный состав наносов принят по [5] для гидростов, ближайших к гидроствору Уч-Терек. В табл. 4 приведены значения фракционного состава наносов Нарына на участке Нижнеарынского каскада ГЭС.

Таблица 4

Средний гранулометрический состав взвешенных наносов в р. Нарын

Пост	Годы наблюдений	Число проб	Крупность наносов в мм и содержание в % от общего количества			
			>0,20	0,20- 0,05	0,05- 0,01	<0,01
р. Кекирим	1938-1943, 1956- 1960	202	2,9	21,2	17,7	58,2
с. Алексеевка	1933-1935, 1937- 1942 1948, 1950- 1952, 1954, 1957, 1958	74	1,8	21,9	21,5	54,8
ст. Верхне- Учукганская	1953-1957		2,8	25,0	19,1	53,2
кишл. Учкурган	1929, 1931-1944, 1946-1962	124	2,4	15,2	27,2	55,2

Из табл.4 видно, что средний гранулометрический состав взвешенных наносов в р. Нарын на данном участке реки почти не изменяется, поэтому нами для дальнейших расчетов принято распределение по гидроствору с. Алексеевка.

Суммарная приближенная оценка продолжительности периода заполнения водохранилища наносами может быть произведена по уравнению [2]:

$$T = \frac{W_E}{W_H(1 - \delta)}, \quad (3)$$

где T – средняя продолжительность периода заиления водохранилища в годах; W_E – мертвый объем водохранилища в м³; W_H – средний годовой объем наносов в м³; δ – транзитная часть наносов мелких фракций, сбрасываемых из водохранилища при паводках, в долях от общего объема наносов, для равнинных водотоков в среднем $\delta=0,3-0,4$.

Средний годовой объем наносов W_H , может быть определен по формуле:

$$W_H = \frac{31500R_0}{\beta}, \quad (4)$$

где R_0 – средний годовой расход наносов в кг/сек; β – объемный вес наносов в т/м³, равный от 0,5...0,7 для илистых наносов в первые годы отложений до 1,0...1,5 для песчаных или илистых уплотненных наносов.

Оценка распределения наносов по акватории водохранилища основывается на учете скоростей течения в водохранилище V_{cp} и скорости выпадения взвешенных в потоке частиц данной крупности V_v . Зависимость между V_{cp} и V_v можно выразить следующим уравнением:

$$v_v = u \left(1 - \frac{v_{cp}}{v_k} \right), \quad (5)$$

где u – гидравлическая крупность наносов; v_k – предельная скорость выпадения частиц, определяемая по формуле:

$$v_k = 3,7 d^{\frac{1}{3}} H^{\frac{1}{6}} \text{ м/с}, \quad (6)$$

где H – средняя глубина на участке длиной L ; d – средний диаметр частиц в м.

Зная скорость осаждения взвешенных наносов и среднюю скорость течения на каком-либо участке водохранилища, можно вычислить путь L , на протяжении которого выпадут наносы рассматриваемой крупности

$$L = t v_{cp} = \frac{H}{v_v} v_{cp}, \quad (7)$$

где L – длина участка в м, на котором выпадут наносы, имеющие скорость падения в текучей воде u м/сек;

t – время выпадения частиц данной фракции;

V_{cp} —средняя скорость течения воды на участке водохранилища длиной L , которая может быть получена как частное от деления расхода воды Q , вытекающего из водохранилища, на среднюю площадь сечения водохранилища ω на участке длиной L , т. е.

$$v_{cp} = \frac{Q}{\omega} \quad (8)$$

При расчете заиления Токтогульского водохранилища за основу был взят ряд наблюдений за твердым стоком на гидропосту Уч-Терек (см. табл. 3), расположенным выше Токтогульского водохранилища. По формуле (4) был рассчитан средний годовой объем стока наносов равный

$$W_H = \frac{31500 \cdot 473}{1} = 16.6 \text{ млн. тонн}$$

Далее принимая, что мертвый объем Токтогульского водохранилища равен 5,5 млрд. м³, и принимая транзитную часть наносов мелких фракций, сбрасываемых из водохранилища при паводках, в долях от общего объема наносов $d = 5\%$, по формуле (3) было рассчитано возможное время заиления мертвого объема Токтогульского водохранилища которое составило

$$T = \frac{5,5 \cdot 10^9}{16.6 \cdot 10^6 (1 - 0.05)} = 350 \text{ лет}$$

Как следует из изложенного выше, оценка распределения наносов по акватории водохранилища основывается на учете скоростей течения V_{cp} в водохранилище и скорости выпадения взвешенных в потоке частиц данной крупности V_b , зависимость между которыми определяется по формуле (5). Гидравлическую крупность наносов, входящую в формулу (5) определяли по табл. 9.3 [2], а предельную скорость выпадения частиц, определяли по формуле (6).

При расчете распределения наносов по акватории водохранилища принято 6 створов на равном расстоянии друг от друга. Таким образом, имея данные о твердом расходе, крупности, или гранулометрическом составе наносов, поступающих в водохранилище, о величине расхода воды и площади поперечных сечений на различных участках водохранилища, по уравнению (7) было определено, на каком расстоянии от зоны выклинивания подпора произойдет осаждение частиц различной крупности. Расчеты сведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчет распределения наносов по акватории водохранилища

Расчетные параметры	Диаметр частиц, мм	Номера расчетных створов (расстояние, км)					
		1 (0,0)	2 (2,0)	3 (4,0)	4 (6,0)	5 (8,0)	6 (10,0)
Площадь сечения водохр., м ²		1000	5000	10000	25000	50000	100000
Ширина водохранил., м		200	500	700	1120	1570	2200
Глубина водохранил., м		5,0	10,0	14,3	22,3	31,8	45,5
Ср. скорость воды V_{cp} , м/с		1,558	0,3116	0,1558	0,06232	0,03116	0,01558
Предельная скорость выпадения частиц, V_k , м/с	0,2	0,283	0,318	0,337	0,363	0,385	0,409
	0,05	0,178	0,200	0,212	0,229	0,243	0,258
	0,01	0,104	0,117	0,124	0,134	0,142	0,151
Скорость выпадения частиц, V_b , м/с	0,2	отриц.	0,004	0,113	0,174	0,193	0,202
	0,05	отриц.	отриц.	0,001	0,001	0,002	0,002
	0,01	отриц.	отриц.	отриц.	0,00004	0,00006	0,00007
Длина уч. выпадения частиц, L, м	0,2	проносится	785,6	19,7	8,0	5,1	3,5
	0,05	проносится	проносится	4180,0	956,0	569,3	376,8
	0,01	проносится	проносится	проносится	32557,2	15894,1	9873,8

На основании результатов, приведенных в табл.6 определено расстояние, на котором произойдет выпадение частиц взвешенных наносов заданного фракционного состава: фракции диаметром $d=0,2$ мм выпадут приблизительно на расстоянии 2,8 км, $d=0,05$ мм – 8,2 км и $d=0,01$ мм – 19,9 км.

По результатам полученных данных можно сделать следующие выводы:

По Учкурганскому водохранилищу:

- Сравнение результатов промеров по поперечникам с изучением мутности показывает, что объем заиления почти полностью определяется объемом взвешенных наносов; донные наносы не оказывают существенного влияния на заиление водохранилища.
- На основании изучения имеющихся материалов по заилению водохранилища и его очистке [8] и наших обследований (2000 г.) установлено, что очистка водохранилища остается актуальной задачей. Для проведения мероприятий по очистке необходимо: провести батиграфическую съемку водохранилища; разработать проект очистки.

По Токтогульскому водохранилищу:

- Период заиления мертвого объема довольно продолжительный, более 350 лет, но заиление устьевой части водохранилища может привести к поднятию дна.
- Выпадение даже самых мелких фракций наносов произойдет на расстоянии до 20 км от устья, т.е. в пределах Кетмень-Тюбинской долины.
- В обозримом будущем наносы не достигнут створа плотины и не могут повлиять на работу и безопасность Токтогульской ГЭС.

Литература

1. Бассейн реки Нарын (физико-географическая характеристика) /Под редакцией Р.Д.Забирова и В.А.Благообразова. – Фрунзе: Изд-во АН Кирг. ССР, 1960. – 229 с.
2. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1979.
3. Зырянов А.Г. Динамика заиления водохранилища Учкурганской ГЭС и опыт борьбы с наносами // Гидротехническое строительство, № 1. – М., 1973, – С. 32–37.
4. Отчет по оценке безопасности Токтогульской и Учкурганской плотин. Компонент С «Безопасность плотин и управление водохранилищами». Проект GEF. – Бишкек, 2001.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 14. Средняя Азия. Вып. 1. Бассейн р. Сыр-Дарьи // Под ред. И.А. Ильина. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 439 с.
6. Строительные нормы и правила. СНиП 2.01.14–83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985.
7. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Технический проект основных сооружений, том 1. Природные условия. Кн. 2. Инженерно – геологические условия. – 1036-ТЗ. – САО «Гидропроект», 1969.
8. ТЭР расчистки водохранилища Учкурганской ГЭС на р.Нарын. Проект № 3805-17 / ВО «СОЮЗГИДРОЭНЕРГОСТРОЙ». – М., 1990.

Опыт борьбы с заилением водохранилищ на Южном Кавказе

Экологические аспекты проектирования водохранилищ в Азербайджане⁸

Проблема борьбы с заилением и занесением водохранилищ приобретает в настоящее время большую актуальность и народнохозяйственную значимость. Эта проблема особенно остро стоит в Закавказье, Средней Азии и других местах, где построено множество горных водохранилищ. В связи с большой крутизной бортов горных водохранилищ и уклонов речных русел, массы породы обвалов - оползней и селей в большинстве случаев резко увеличивают объемы заиливания и тем самым уменьшают его регулируемую емкость.

В настоящее время суммарная среднегодовая величина поступающих в водохранилища Азербайджана наносов составляет 37 млн.т. За период существования всех водохранилищ Азербайджана в них накопилось около 1,6 млрд.т наносов и образовалось 1,99 млрд.м³ донных отложений. Из них 1,28 млрд.т наносов или 1,6 млрд.м³ отложений, т.е. более 80% суммарного объема отложений приходится на долю Мингечаурского водохранилища. В настоящее время в процесса заиливания суммарный объем водохранилища республики уменьшается в среднем на 0,22% или на 47 млн.м³ в год. За период существования их объем уменьшился на 2,0 км³ и их суммарный объем в настоящее время составляет не 21,5, а 19,5 км³ [1].

С самого начала наполнения чаши горных водохранилищ их заиливание и занесение вследствие большой насыщенности горных водотоков наносами, протекает очень интенсивно. Заиливание вызывает быстрое понижение объема водоемов, что осложняет их эксплуатацию и сокращает срок службы гидроузлов.

Мероприятия по уменьшению заиливания горных водохранилищ можно разделить на две группы - предупредительные и эксплуатационные.

К предупредительным относятся мероприятия, направленные на общее уменьшение поступления наносов в водохранилища за счет снижения эрозии почв в бассейне регулируемого водотока.

Указанные мероприятия, являются наиболее эффективным средством борьбы с заилением и занесением горных водохранилищ.

Эксплуатационные мероприятия по способу исполнения можно сгруппировать в следующем виде:

- гидравлическая промывка отложившихся на дне наносов сосредоточенным расходом воды после опорожнения водоема с пропуском потока через донные промывные или водосборные отверстия с низкими

⁸ Мамедов А.ИИ. Экологические аспекты проектирования водохранилищ в Азербайджане / <http://2010.sibico.com/abstracts/2008/1.1/782.doc>

порогами. Основным недостатком этого способа является то, что он не предупреждает заиливание водохранилищ, а направлен на очистку уже уплотнившейся затвердевшей на дне водохранилищ массы наносов. Сосредоточенный поток воды размывает грунт только вдоль пути своего перемещения, образуя узкое глубокое русло на дне водохранилища. Основная же часть дна остается по-прежнему заиленной. Это говорит о недостаточной эффективности данного способа.

- механическая очистка ложа от отложений и растительности, борьба с зарастанием. Механическую очистку применяют в исключительных случаях (при малых емкостях, относительно малом количестве наносов).

- наращивание гребня плотин и дамб или постепенное увеличения емкости водохранилища. Этот способ требует затопления новых площадей, перестройки дорожной сети, коммуникаций и т.д., поэтому применяется редко.

- свободный транзитный сброс полного расхода половодья и паводков в нижний бьеф через донные отверстия плотины или боковые паводкосбросы с низкими порогами и последующее наполнение чащи осветленной водой на спаде половодья. По этому способу несуществующих сооружений перед началом прохождения паводка водохранилище должно быть опорожненным.

- отвод половодья и паводков сбросными устройствами (обводные каналы, туннели) в нижний бьеф без понижения уровня водоема. Однако в сложных рельефных и геолого-геоморфологических условиях горных областей строительство обходных каналов весьма затруднительно, а сооружение туннелей и штолен требует значительных капитальных вложений.

Учитывая сложившуюся ситуацию по эксплуатации водохранилищ нами предлагается два варианта для борьбы с наносами при проектировании и эксплуатации водохранилищ.

В условиях аридного климата, крайне неравномерного распределения стока рек по территории, к которому относится наша республика, для рационального использования водных ресурсов имеется необходимость в строительстве водохранилищ. Вместе с тем крупные водохранилища оказывают ощутимое воздействие на природную среду и заметно нарушают экологическое равновесие, а также создают трудноразрешимые противоречия между отдельными потребителями народного хозяйства.

На наш взгляд в будущем необходимо отказаться от сооружения на реках крупных водохранилищ, как экологически нецелесообразных для окружающей среды. Для сохранения экологического равновесия в перспективе наиболее эффективным является строительство преимущественно внерусловых (наливных) малых и средних водохранилищ. При проектировании и строительстве подобных водохранилищ предварительно тщательно надо изучить режимы существующих внерусловых водохранилищ (Ханбуланчайского, Джейранбатанского и Джаванширского и других) составив прогноз возможных экологических последствий строительства каждого из них в отдельности. При таком подходе к созданию гидротехнических сооружений можно эффективно бороться с донными и взвешенными наносами в русле реки. С этой целью можно

использовать рациональные конструкции водозаборных и очистных сооружений [2, 3, 4, 5, 6, 7]. После сепарации и отстаивания забираемую воду можно направить в водохранилище. При больших паводках в реках можно прекратить забор воды и при этом полностью защитить водохранилище от занесения. Строительство внеусловых водохранилищ позволяет минимально влиять на гидроэкологическое равновесие в русле реки, так как само водохранилище находится вне русла реки.

Предлагаемый второй способ с применением паводкосбросного сооружения обеспечивает гарантированную защиту от заиливания и занесения водохранилищ такого типа, а также защиту нижнего бьефа и берегов приемного водоема от возможных деформаций.

Существующие водосбросные сооружения не приемлемы для решения поставленных задач, т.к. они расположены в пределах плотины и сбрасывают лишние расходы в нижний бьеф из более осветленной части водохранилища. Они не обеспечивают ежегодный сброс определенной части высокомутного потока в нижний бьеф и это приводит к преждевременному заиливанию водохранилища.

Для решения поставленных задач, нами разработана новая компоновка водосбросных сооружений водохранилища, которая заключается в том, что оголовок водосбросного сооружения перемещается в начальный участок водохранилища.

Головная часть водосбросного сооружения в виде водоприемной башни располагается в русле реки между мертвым и нормальным горизонтами.

Водоприемная башня состоит из двух порогов. Первый водоприемный порог (отверстие) располагается на уровне водохранилища, и способствует прохождению первого весеннего половодья. Второй порог располагается на уровне нормального горизонта и работает в автоматическом режиме (типа шахтного сброса) [8, 9].

Первое водоприемное отверстие закрывается затворами при работе поверхностных водоприемных порогов. Такое расположение порогов позволяет во время прохождения паводков и селей осуществлять сброс в нижний бьеф более мутного слоя потока при незаполненном водохранилище с помощью первого водоприемного порога. При полном наполнении водохранилища, автоматический водосброс (второй порог) обеспечивает сброс лишних расходов. При этом сбрасывается более мутный поток в нижний бьеф.

Применение предлагаемой компоновки водосбросного сооружения позволяет эффективно бороться с наносами в эксплуатационный период, не снижая уровня воды в верхнем бьефе.

Такая компоновка обеспечивает рациональное использование емкости водохранилища в борьбе с заиливанием в эксплуатационном периоде. Путем пропуска суспензионного и паводочного расхода в нижний бьеф с большими мутностями, можно частично предотвратить размыв русла реки на участке ниже

водохранилища, т.к. в этом случае, поток поступает сюда в первоначальном, естественном состоянии.

Последнее позволяет значительно уменьшить отрицательное воздействие водохранилища на экологическое равновесие коренного русла реки в нижнем бьефе.

Предлагаемый способ борьбы с заилением и занесением чаш водохранилищ осуществляется в эксплуатационный период и поэтому он более эффективен, чем способы применяемые для очистки после заилиения.

Заиление речного бассейна Куры на Южном Кавказе⁹

Введение

На территории Азербайджана находится 135 водохранилищ с более чем 0.5 миллионов кубических метров вместимости, большинство которых расположено в пределах Речного Бассейна Куры. Объем в 21.6 км³ водохранилища является общенациональным, 85 % (18.4 км³) от общего объема содержится в трех водохранилищах, расположенных на реке Куре, как показано в таблице 1. Данные три водохранилища, включая водохранилище Мингечевир, расположены одно за другим на наиболее низких участках течения.

Таблица 1

Сводка о водохранилищах, расположенных на основном течении реки Кура

Наименование	Год строительства	Максимальный уровень воды, м	Первоначальная емкость, Мм ³	Гидроэнергетическая мощность, МВт	Ирригация
Варвара	1956	18	60	16.5	Да
Мингечевир	1953	83	16,060	380 а/	Да
Еникенд	1998	104	158	150	Нет
Шамкир	1980	158	2,677	370	Да
Сумма			19,495	816.5	

Сокращения: Мм³ = миллион кубических метров, МВт = мегаватт,

а/ Увеличение мощности от 360 до 380 МВт вследствие текущего строительства.

⁹ Сводный отчет «Седиментация реки Куры на Южном Кавказе» Корпорации Альтернативы Развития, октябрь 2002 г.
<http://www.awp.am/pdf/Report/Armenian/2002/SedimentationFinalRUS.PDF>

На территории Азербайджана орошается приблизительно 1.4 миллиона гектаров, сельскохозяйственная экономика страны в большей степени зависит от водохранилищ, включая водохранилище Мингечевир, орошающее приблизительно половину общей территории. На основном течении Куры на территории Грузии нет ни одного водохранилища, однако на некоторых притоках расположены гидроэнергетические водохранилища, и по всей территории Грузии существует значительный неэксплуатируемый потенциал гидроэлектроэнергии.

Водохранилища оказывают значительное воздействие на гидрологические условия и баланс твердого стока по речной системе в нижнем бьефе плотины. Нижнее течение реки лишено твердых отложений (наносов), способствующие возникновению эрозии и деградации русла реки. С другой стороны, сглаживания паводкового стока посредством водохранилища может явиться причиной скопления твердых наносов в нижнем течении. Ярким примером может служить происшествие, имевшее место в устье Куры, глубина которого в прошлом составляла 4 метра, а вследствие отложения твердых наносов уменьшилась до 0.5-1.0 метр. В результате регулирования течения и забора воды на орошение, ежегодные паводки больше не размывают твердые наносы из устья реки, вследствие чего мелководье и заграждения в устье реки препятствуют проникновению осетра в реку.

Заиление водохранилища и потери в водоснабжении

Срок эксплуатации больших водохранилищ обычно ограничивается нормой скопления твердых наносов. В таких больших водохранилищах, типа тех, которые расположены на реке Кура, объем скопляющихся наносов настолько велик, что их устранение неосуществимо. Как правило, водохранилища серьезно воздействуют, если половина объема заилена. В целях поддержания долгосрочного функционирования данной водоснабжающей инфраструктуры народного значения необходимо определить соответствующие стратегии по регулированию твердых наносов. Существующие на сегодня данные недостаточны, к тому же не проводился систематический общенациональный обзор проблем по заилению водохранилищ.

Принимая во внимание стабильность твердого стока, существующие данные свидетельствуют, что проблемы, связанные со скоплением твердых наносов, не будут серьезно влиять на самые большие водохранилища в течение последующих 100 лет, тем не менее они могут оказать влияние на многие малые водохранилища.

- В последующие 50 лет в малых водохранилищах на территории Азербайджана могут возникнуть серьезные проблемы, связанные с отложением твердых наносов. Множеству водохранилищ более 30 лет, высокий показатель скопления твердых наносов наблюдается при полувасушливом и засушливом климате и огромном ландшафте, а в результате опустынивания увеличивается эрозия.

- Моделирования в данном отчете свидетельствуют, что к 2100 году водохранилище Шамкир, расположенное на реке Куре в верховой стороне Мингечевира, вследствие скопления твердых наносов лишится приблизительно половины своего общего объема.
- Моделирования в данном отчете указывают, что к 2500 году объем водохранилища Мингечевир сократится приблизительно на половину.
- Водохранилище Джейранбатан, снабжающее водой город Баку, уже испытало локальные проблемы, связанные со скоплением твердых наносов, которые препятствовали водоснабжению города Баку.

Из-за отсутствия надлежащих исследований в стране в настоящее время нет каких-либо собранных сведений по водохранилищам, находящимся больше всего под воздействием отложенных твердых наносов. В данном отчете проблемы, проанализированные по водохранилищам на реке Куре могут оказаться такими же серьезными, как и для остальных участков.

Хотя скопление твердых наносов является серьезной проблемой, существуют очень веские основания для определения водохранилищ, подверженных интенсивному заилению, и предварительной идентификации стратегий по контролю над твердыми наносами.

Наносы и эксплуатация водохозяйственной системы. В большинстве случаев, единственным эффективным способом по управлению наносами является в первую очередь избежание скопления твердых наносов. Другая стратегия при сокращении водоснабжения из-за заиления, это усовершенствование управления доступными водными ресурсами. Разработка стратегий по контролю над твердыми наносами требует глубоких знаний гидрологических условий и процессов происхождения твердых наносов в пределах водораздела в верхнем бьефе водохранилищ. Что касается водохранилищ Куры, состояние которых в Азербайджане критическое, необходимо коллективное сотрудничество между Азербайджаном и Грузией при сборе и использовании имеющихся данных.

- **Планирование будущей инфраструктуры.** В целях создания инфраструктуры для ирригации и остальных водных ресурсов требуется всесторонняя долгосрочная инвестиция. Перед таким инвестированием следует выяснить наличие водных ресурсов при долгосрочном планировании. Строительство дорогостоящих ирригационных систем в области, которая может столкнуться с серьезными проблемами, связанными с нехваткой водных ресурсов из-за заиления водохранилища, является лишней тратой ресурсов, выделенных на строительство.
- **Повышение высотной отметки плотин.** Одна из стратегий по управлению твердыми наносами состоит в повышении высотной отметки плотины, которая таким образом увеличивая объем водохранилища, наводняет другие области. В случае осуществления этой стратегии в будущем, уже в настоящее время следует определить земельные участки,

подверженные воздействию с тем, чтобы отказаться от устройства и создания новой дорогостоящей инфраструктуры и поселений в областях, которые могут быть подвержены наводнениям в будущем.

- **Новые водохранилища.** Когда строятся новые водохранилища, в некоторых случаях возможно проектировать их таким образом, чтобы сократить скопление твердых наносов. Однако данные проекты требуют наличия соответствующих сведений по гидрологии и отложению наносов. В целях надлежащего проектирования новых водохранилищ следует разработать оценку твердого стока по данным твердых наносов, полученным путем изысканий по существующим водохранилищам. На территории Азербайджана в настоящее время осуществляется строительство нового водохранилища.

Проблемы заиления в нижнем бьефе плотин

Основной проблемой заиления водохранилищ в нижнем бьефе является скопление твердых наносов в устье реки Куры, что препятствует перемещению осетра, а также возможно и других разновидностей рыб. Эта безотлагательная проблема может рассматриваться как угрожающий статус для лосося в Каспийском море, и для исторической значимости Куры, как естественной среды икромета.

Заиление устья реки происходит в результате удаления максимального стока Куры водохранилищами; оставшийся сток из-за уменьшенной силы течения не в силах размыть отложенные наносы из рек. Проблемы типа заиления рек в нижнем бьефе плотин решаются посредством установления графика попуска воды из водохранилища, в целях обеспечения периодического промывочного потока. График попуска воды должен учитывать оптимальный проход рыбы и минимальное воздействие на других пользователей. Наличие предварительной информации свидетельствует о возможности удовлетворения потребностей окружающей среды намного лучше, чем в настоящее время, при оптимизации графика попуска воды из водохранилища. В целях решения данных проблем и анализа альтернативных решений требуется более детальная информация и гидравлическое моделирование.

Рекомендации по проблемам заиления в нижнем бьефе плотин

1. **Оценка твердых наносов в устье Куры.** Осуществление предварительной оценки проблем, связанных с вопросами экологии, водораспределением и гидравликой, соотношенными с изменением графика попуска воды у плотины Мингечевир, в целях улучшения условий окружающей среды в нижней части плотины, необходимо сосредоточить внимание на увеличении глубины воды в устье Куры в период перемещения осетра. Данные мероприятия позволяют сконцентрировать внимание на сборе и организации существующих данных, взаимодействие с местными экспертами по охране окружающей среды и управлению водохозяйственными системами,

занимающимися отбором проб в естественных или полевых условиях (наносы и живые сечения), и предварительными вычислениями с помощью модели перемещения наносов.

Для такой оценки потребуется приблизительно шесть месяцев напряженных усилий. Как только определится общая выполнимость и идентификация возможных конфликтов, будет сделан окончательный анализ и проведены переговоры, необходимые для изменения правила по эксплуатации водохранилищ, расположенных вдоль Куры.

Рекомендации по проблемам заиления в верхнем бьефе плотин

В целях предоставления помощи по предохранению существующих водохранилищ от заиления и организованному развитию любых новых видов водоснабжения рекомендуются следующие стратегии.

2. **Предварительная оценка и установление приоритетов.** Сбор доступной информации обо всех существующих и предполагаемых водохранилищах, определение их соответствующей предрасположенности к скоплению твердых наносов. Эти данные должны отражать поступление воды, объем водохранилища, площадь водораздела, по мере получения информации по твердому стоку, год постройки водохранилища и т.д. Анализ этих сведений укажет, у которых из водохранилищ будут наиболее серьезные проблемы в последующие 50 лет, и которые из водохранилищ не столкнутся с вышеупомянутыми проблемами в более далеком будущем. Выбор приблизительно дюжины водохранилищ для более детального изучения. Так как контроль за впадением твердых наносов в водохранилища, расположенные вдоль Куры, по своей сути является важным вопросом, связанным с более подробным определением твердого стока в верховье Мингечевир; в качестве объектов изучения следует также привлечь водохранилища Шамкир и Айричай (около Шеки). Эта оценка может быть разработана с помощью сбора и синтеза существующих данных, и может быть завершена приблизительно в течение двух месяцев.

3. **Исследования водохранилищ.** В идеальном случае должны быть исследованы все водохранилища и полученные данные должны быть помещены в электронный формат в целях оконтуривания и расчета объема. Окончательные результаты могут быть представлены в виде географической информационной системы (ГИС). Данный проект следует начать с приоритетных водохранилищ, отобранных согласно рекомендации No. 1, включая водохранилища Шамкир и Айричай. Позже, по мере выполнимости, следует провести исследования на остальных участках, о которых имеются соответствующие первоначальные топографические данные по определению долгосрочного твердого стока в различных частях страны. В заключение, рекомендуется проведение как можно больше исследований по оставшимся водохранилищам.

Однозначно, что при эффективной работе с современным оборудованием могло быть исследовано приблизительно 10 водохранилищ; среднее время, потраченное на полевое исследование одного водохранилища, составляющее

примерно одну неделю, должно быть адекватно времени для обработки данных и составления отчетов. Из-за большого объема вышеупомянутых мероприятий, ориентировочно две недели потребуются для полевого исследования водохранилища Шамкир и три недели для водохранилища Мингечевир.

4. Стратегии по управлению твердыми наносами. Анализ каждого из приоритетных участков с высоким потенциалом проблем по скоплению наносов, в целях определения: когда скопление твердых наносов становится потенциальной проблемой, из других возможных проблем и стратегий по управлению наносами. Этот анализ будет опираться на все доступные гидрологические данные, к тому же на информацию, собранную на вышеупомянутых этапах под номерами 1 и 2. Предложенный анализ требует в среднем приблизительно от одной до двух недель усилий по каждому водохранилищу, в зависимости от имеющейся информации.

Опыт борьбы с заилением водохранилищ в Индии¹⁰

Анализ результатов

Большая часть территории Индии зависит от осадков муссонов, длящихся 3-4 месяца. Для хранения воды вне месяцев муссонов создаются водохранилища. Водохранилища, созданные плотинами на реках, также имеют ил, который находится в воде рек, значительная часть ила оседает в резервуаре, тем самым уменьшая пространство, доступное для хранения воды.

Заиление приводит к уменьшению выгоды от объектов, построенных на огромные государственные средства. Заиливание водоемов также может иметь ряд других последствий, в том числе повышенное испарение, увеличение половодья, а также повреждение турбины электростанции.

Грегори Моррис (автор «Справочника по заилению водохранилищ», 1997) в документе, представленном на VI Международном симпозиуме по заилению рек, в Нью-Дели в 1995 году отметил: «Постепенное исчезновение водохранилищ происходит за счет осадконакопления в большинстве водохранилищ по всему миру, и не только в Индии. Плотины однозначно отличаются от инженерной инфраструктуры, такой как дороги, порты, и города, которые могут быть восстановлены на том же месте. Плотины не могут быть восстановлены в том же месте, где когда-то резервуар был заполнен осадком; осадок должен быть удален или место может быть просто заброшено. Стоимость очистки большого резервуара от осадков может легко превысить первоначальную стоимость строительства плотины».

Недавно мы получили исследования по заилению 27 водоемов в Индии из Центральной Водохозяйственной Комиссии (ЦВК) технического отдела Министерства водных ресурсов Индии. Эти исследования проводились с помощью технологий спутника дистанционного зондирования (СДЗ), данная Комиссия также предоставила информацию о результатах предыдущих исследований по заилению по соответствующим водохранилищам, которые осуществлялись с помощью более традиционных гидрографических методов. Некоторые основные выводы этих исследований приведены ниже.

Общая картина

В целом, анализ исследований с помощью спутника дистанционного зондирования оставляет желать лучшего. Отчеты Центральной водохозяйственной комиссии показывают худший результат по сравнению с Центром регионального дистанционного зондирования в г. Джодхпуре. В большинстве случаев фактический уровень заиливания водохранилищ оказывается выше, чем расчетный уровень. Ежегодные потери активного объема 23 водохранилищ (за исключением четырех водохранилищ из 27, которые

¹⁰ Himanshu Thakkar & Swarup Bhattacharyya. Reservoir Siltation in India: Latest Studies

описаны в отчетах Центральной водохозяйственной комиссии) составляют 214,2 млн. м³, то есть 0,912% от первоначального объема. Эти 23 водохранилища уже потеряли 23,11% рабочего объема к 2006 году. Распределение водоемов в отношении доли активного объема резервуаров происходит из-за заилиenia и заключается в следующем:

Потерянный объем в % активного объема водохранилища	> 40%	25- 40%	20- 25%	15- 20%	10- 15%	5-10%	< 5%
Количество водохранилищ	2	3	3	5	4	2	4

Тенденция

Заиливание является серьезной проблемой и срочно требуются действия, необходимые для борьбы с уничтожением производительной вместимости резервуаров, которые строятся на огромные средства на протяжении многих лет. Грегори Моррис в своей статье 1995 года, которая приведена ранее, отметил: «Общая картина показывает, что заилиение резервуаров является серьезной национальной проблемой, которая требует незамедлительных действий...»

Средняя оценка девятого плана также предупреждает (октябрь 2000 г., стр. 76) о том, что «существует необходимость в пересмотре состояния уровней заилиения резервуаров». Тем не менее, большинство таких предупреждений остались без внимания и очистка водосборной площади, которая может помочь уменьшить заилиение, отсутствует, кроме как на бумаге.

Доклад Государственной Национальной Комиссии Индии по интегрированному развитию водных ресурсов подразумевает, что мы теряем около 1,3 миллиардов кубических метров вместимости резервуара в год. Эти данные являются сигналом тревоги для всех, так как строительство водохранилища емкостью 1,3 млрд. кубометров будет стоить 1448 рупий на сегодняшний день. Это означает, что в среднем каждый день мы теряем 4 млн. рупий по причине заилиения водохранилищ.

Название водохранилища	Год наполнения резервуара	Первоначальный рабочий объем водохранилища (млн. м³)	Переоцененный рабочий объем водохранилища с помощью исследований спутника дистанционного зондирования/ более ранний анализ		Потери мощности (млн. м³)	Объем	Убытки %	Годовые убытки %	Уровень заиливания/ млн. м³	Потери мощности до 2006 г.	
			год	млн. м³						млн. м³	%
Бхадар	1964	223.703	2000	187.79	35.913	36	16.05	0.446	0.998	41.916	18.713
Даманганга	1983	502	1999	464.46	37.54	16	7.48	0.4675	2.35	54.05	10.7525
Гумти	1984	312.9	2003	249.07	63.83	19	20.40	1.074	3.36	73.91	23.62
Халали	1976	226.940	2003	188.583	38.357	27	16.91	0.626	1.42	42.62	18.78
Исапур	1983	928.262	2003	899.629	28.633	20	3.08	0.154	1.43	32.92	3.55
Кадана	1983	1712	1994	1491.71	220.29	11	12.87	1.17	20.03	460.65	26.91
Каллада	1985	423.953	2003	376.705	47.248	18	11.14	0.62	2.62	55.13	13.00
Кришнаражасагар	1932	1275.70	2000	1215.94	59.76	68	4.68	0.068	0.88	61.96	4.84
Кырдемкулаи	1983	3.824	2002	3.414	0.410	19	10.72	0.56	0.02	00.49	12.81
Нижний Бхавани	1955	780.546	2000	702.025	78.521	45	10.06	0.224	1.74	89.01	11.40
Мэйтон	1955	607.268	2001	453.69	153.578	46	25.29	0.549	3.34	170.25	28.04
Мататила	1956	1132.7	1999	702.33	430.37	43	38.00	0.884	10.01	500.43	44.18
Маюракши	1955	547.59	2000	474.82	72.77	45	13.29	0.295	1.617	82.47	15.045
Нараянпур	1982	867.889	1997	740.345	127.544	15	14.70	0.98	8.50	204.07	23.52
Ралитана	1959	374.832	1996	304.226	70.606	37	18.84	0.509	1.908	89.69	23.923
Панам	1977	689.567	2003	660.993	28.574	26	4.14	0.16	1.09	31.88	4.62
Парбати	1963	102.893	2003	86.405	16.488	40	16.02	0.40	0.41	17.72	17.22
Рамсагар	1905	29.397	2003	24.663	4.734	98	16.10	0.165	0.05	04.88	16.60
Ранапратап Сагар	1970	1861.36	2002	1720.13	141.23	26	7.59	0.237	4.41	158.88	8.532

Название водохранилища	Год наполнения резервуара	Первоначальный рабочий объем водохранилища (млн. м ³)	Переоцененный рабочий объем водохранилища с помощью исследований спутника дистанционного зондирования/ более ранний анализ		Потери мощности (млн. м ³)	Объем	Убытки %	Годовые убытки %	Уровень заиления/ млн. м ³	Потери мощности до 2006 г.	
			год	млн. м ³						млн. м ³	%
Ренгали	1983	3412	2001	3217.74	194.26	18	5.69	0.32	10.79	248.85	7.29
Сондур	1988	179.611	2003	134.788	44.823	15	24.95	1.66	2.99	53.77	29.94
Срисаилам	1984	7165.83	1999	5152.50	2013.33	15	28.10	1.87	134.22	2952.84	41.21
Умиам	1965	131.70	2002	130.124	1.576	37	1.19	0.03	0.04	1.73	1.31
Общее (23)		23492.465		19582.08	3910.385		16.65	0.912	214.223	5430.116	23.11

Крупные заиленные водохранилища

Исследования с помощью спутника дистанционного зондирования показали некоторые сильно заиленные водоемы Индии:

Мататила

Максимальный объем ёмкости потерян между 1956 и 1998-1999 гг. Мертвый объем дошел до уровня сработки - 295,66 м и полностью заполнен илом. В настоящее время полностью заполнены илом 296,15 м. Полная потеря емкости на 1999 равна 430,47 миллионов кубических метров.

Гумти (Трипура)

За 19 лет потеряно 63,83 миллионов кубических метров, что составляет 20,4% от полезного объёма водохранилища.

Мэйтон

25,29% полезного объёма резервуара заилилось за 46 лет.

Кадана

12,85% полезного объёма (278,6 миллионов кубических метров) заилился за 11 лет.

Срисаилам

2013,33 миллионов кубических метров или 28,096% полезного объёма заилился за 15 лет.

Высокий уровень заиления

В таблице показано, что уровень заиления 14 из 23 водохранилищ оказался выше, чем предполагаемый уровень.

Резервуар	Река	Проектная мощность, мм/год	Фактическая ставка, мм/год	Фактическая ставка в % от проектной мощности
Гумти (Трипура)	Гумти	0.362	9.94	2746
Кугедемкулаи Кыредемкулаи (Мегалай)	Умтру	0.138	0.144	104.35
Халали (МП)	Бетва	0.476	2.032	427
Мататила (УП)	Бетва	0.132	0.370	280.3
Парбати (Ражастхан)	Парбати (Чамбал)	0.157	0.524	333.8
Рамсагар (Ражастхан)	Бамани (Чамбал)	0.081	0.274	338.3
Кадана (Гужарат)	Махи	0.13	1.146	881.5
Панам (Гужарат)	Махи	0.357	0.475	133.1
Исапур (Мах)	Пенганга (Гоадавари)	0.357	0.379	106.2

Резервуар	Река	Проектная мощность, мм/год	Фактическая ставка, мм/год	Фактическая ставка в % от проектной мощности
Маюракши (Жарханд)	Маюракши	0.364	0.696	191.2
Мэйтон (Жарханд)	Дамодар	0.905	1.282	141.7
Сондур (Чаттисгарх)	Маханади	0.357	5.768	1615.7
Ренгали (Орисса)	Брахмани	0.39	0.427	109.5
Каллада (Керала)	Каллада	1.45	4.78	330
Из других исследований				
Укаи (Гужарат-1992)	Тапи	0.149	0.814	546.3

Годы халатности

Отдел дистанционного исследования заявил, что с 1958 года, когда было установлено, что активный объем водохранилищ снижается по причине заиливания, были предприняты систематические усилия различных департаментов/организаций для вычисления объема водохранилищ.

Исследования в рамках обзора показывают, что данное заявление является необоснованным. Только в водохранилищах Мататила и Мэйтон было проведено более пяти исследований. В случае водохранилища Палитана были проведены три исследования. Три водохранилища были исследованы по два раза и шесть водохранилищ по одному разу. Остальные 15 водохранилищ были исследованы по одному разу с помощью дистанционного зондирования. Рамсагар, Кришнаражасагар, Нижний Бхавани, Дудхава, Умиам - все эти старые водохранилища были исследованы в первый раз, как указывается в отчете.

Водохранилище Рамсагар в штате Раджастан, построенное в 1905 г., исследовано первый раз в 2003 году.

Ошибки при построении и эксплуатации плотин

Изучая анализ исследований спутника дистанционного зондирования, мы обнаружили серьезные ошибки при проектировании плотин. Приведем примеры из отчета:

Джахам

В соответствии с исследованиями спутникового дистанционного зондирования, полный объем водохранилища в 2002 году был больше на 32,64%, чем проектный полный объем водохранилища - 132,28 млн. м³, первое наполнение водохранилища состоялось в 1986 году. Затопленная территория была больше на 14,923 км², т.е. больше на 47,75%, чем планировалось - 10,1 км². Пересчитываемая площадь распространения воды во время наполнения водохранилища составляла до 16,218 км², что означает - затопленная территория в 1986 году была больше на 60,57%, чем запланировано. Другими словами, дополнительно было затоплено 6118 га земли, а что случилось с народом в данной области затопления - неизвестно. Исследование говорит о том, что

технологии спутникового дистанционного зондирования признают эти грубые ошибки: «Результаты по водохранилищу Джахам были обсуждены со многими должностными лицами отдела ирригации. Они высказали мнение, что изменение площади может различаться на порядок». Можно ли доверять планирование, строительство и эксплуатацию больших плотин в руки чиновников, которые могут предоставлять такое оправдание для таких грубых ошибок? А какими будут последствия этих грубых ошибок?

Мататила

Согласно исследованиям спутникового дистанционного зондирования, исходные данные являлись не соответствующими: «Так как проект разрабатывался еще в 1956 году на основе недостаточного исследования, за основу была принят полный объем 985,71 млн. м³».

Идукки

Согласно исследованиям спутникового дистанционного зондирования, данные по первоначальному полному объему водохранилища и площади затопления водохранилища были не верны.

Исапур

Согласно исследованиям спутникового дистанционного зондирования, данные по первоначальному полному объему водохранилища и площади затопления водохранилища были не верны. «После нескольких лет эксплуатации водохранилища эти данные дошли до сведения властей, в данных имеются некоторые расхождения в исходном объеме водохранилища. Исходные значения и исследования подробно были представлены Центральной организации по проектированию, г. Пуна. Руководители проекта и Центральная организация по проектированию выяснили, что имеются некоторые расхождения в расчетах исходных параметров. Данные были пересчитаны, и был установлен рабочий объем водохранилища 1241,537 и 928,262 млн. м³». Это означало сокращение на 37,523 млн. м³ общего объема и снижение рабочего объема водохранилища на 35,837 млн. м³.

Мачхунд

Первоначальный рабочий объем водохранилища (1955 г.) - 892,55 млн. м³ - увеличился до 954,23 млн. м³ в соответствии с исследованиями спутникового дистанционного зондирования. Как отмечается в исследовании, первоначальные исследования имели другие данные. Исходные данные по вместимости водохранилища также были не верны.

Рана Пратап Сагар

В соответствии с исследованиями спутникового дистанционного зондирования принят вывод: «С учетом вышеизложенных исследований можно сделать вывод, что результаты предыдущих исследований 1970 и 1996 гг. не верны».

Что следует сделать?

Полностью избежать или остановить заиление невозможно, но существуют способы по уменьшению заиления водохранилищ, одним из таких является очистка водосборной площади (ОВП). Очистка водосборной площади применяет различные методы (устройство зоны зелёных насаждений, трамбование размылов, возведение защитных дамб и т.д.) в деградированных частях водосборного бассейна для уменьшения заиления водохранилищ.

Проект ОВП как ожидается, будет реализован для минимального заиления водохранилищ до начала реализации проекта строительства. Однако и здесь ситуация вызывает тревогу. До середины 1980-х практически большинство проектов по долинам рек не использовали компонент очистки водосборной площади (ОВП). В некоторых случаях, как Бхакра, где в проекте был использован компонент очистки водосборной площади (ОВП), по словам Государственного генерального аудитора и ревизора Индии не было способа выяснить действительно ли эффективна ОВП, а деньги, выделенные на ОВП все потрачены, косвенно намекая, что ничего не было реально сделано.

Даже в случае проектов, рассмотренных во второй половине 1980-х годов, предоставление компонента ОВП существует только на бумаге. Последние примеры, финансируемые Всемирным банком - ГЭС Натпа Жахри 1500 МВт и Жаипракаш Баспа 300 МВт, оба проекта в штате Химачал-Прадеш. Оба проекта были введены в эксплуатацию в 2003 году, но планы по ОВП еще не реализованы. Проект Натпа Жахри уже столкнулся с серьезными проблемами: проект пришлось остановить на 25 дней из-за высокого уровня заиления рек.

Заключение

Емкости водохранилищ были созданы за миллиардов рупий, и мы до сих пор продолжаем каждый год тратить огромные средства для создания дополнительной вместимости резервуаров. Огромные социальные и экологические расходы были выплачены для создания этих водохранилищ. Тем не менее, мы ничего практически не делаем для того, чтобы остановить уничтожение водохранилищ из-за заиления, созданных такими огромными инвестициями. В соответствии с нашим текущим анализом, мы теряем не менее 1,95 млрд. кубометров емкости из-за заиления каждый год. Убытки вызывают тревогу и самые худшие последствия. Например, производство электроэнергии из обновленной плотины Гумти в Трипура (установленная мощность 15 МВт) настолько низко, что даже отчет Всемирного банка о стратегии Северо-Востока (2006) рекомендует исследовать прекращение эксплуатации плотины.

К тому времени когда вы проснетесь завтра утром, мы можем потерять емкость резервуаров на 5,53 млрд. рупий, и стоит помнить, что мы ничего не делаем, чтобы остановить это разрушение!

**Характеристика водохранилищ, построенных
в различных странах мира**

Название	Страны	Река	Высота плотины, м	Ёмкость, млрд. м ³	площадь зеркала, км ²
1. Алистад	США, Мексика	Рио-Гранде	87	7,0	341
2. Асад (Табка)	Сирия	Евфрат	60	11,90	630
3. Биас	Индия	Биас	125	6,90	262
4. Бин-эль Уидан	Марокко	Эль-Абид	125	1,50	348
5. Вааль	Южно-Африканская Республика	Вааль	50	2,90	300
6. Ваади Тартар	Ирак	Тигр	-	72,80	2000
7. Виктория (Оуэн-Фолс)	Уганда, Танзания, Кения	Виктория-Нил	31	204,8	7600
8. Гебель-Аулие	Судан	Белый Нил	12	3,25	596
9. Габинд сагар (Бхакра)	Индия	Сатледж	200	9,87	176
10. Каджакай	Афганистан	Гильменд	80	2,68	
11. Гове	Ангола	Кунене	55	2,57	
12. Кайраккум	Узбекистан	Сырдарья	24	4,16	513
13. Кока	Эфиопия	Аваш	40	1,90	250
14. Манантала	Мали	Бафинг	55	13,10	500
15. Мангла	Пакистан	Джелам	116	7,25	260
16. Мигель Алеман	Мексика	Рио-Тонто	70	6,52	500
17. Минге-Чаур	Азербайджан	Кура	65	16,07	605
18. Нагар-Джунгасар	Индия	Кришна	120	11,55	286
19. Насер (Саад, Эль-Аали, Асуан)	Египет, Судан	Нил	95	157,0	5120
20. Поуэлл (Нлэн-Каньон)	США	Колорадо	200	33,26	646
21. Позчос	Перу	Чира	45	120	
22. Токтогульское	Киргизстан	Нарын	180	19,5	
23. Нурекское	Таджикистан	Вахш	275	10,5	
24. Туямуюнское	Туркменистан, Узбекистан	Амударья		7,8	650
25. Серрос-Колорадос	Аргентина	Неукен	40	43,4	607
26. Тарбела	Индия	Хинди	130	13,70	260

Название	Страны	Река	Высота плотины, м	Ёмкость, млрд. м ³	площадь зеркала, км ²
27. Нагарджунсагар	Индия	Кришна	120	11,55	286

Приложение

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

**ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ**

Правила эксплуатации заиляемых водохранилищ малой и средней емкости

РД 34.22.502

(ПР 34-70-009-83)

УДК 621.311.21:627.8.034.5

РАЗРАБОТАНО Московским головным предприятием Производственного объединения по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации и сетей "Союзтехэнерго"

Исполнитель А.С. Воробьев

ОДОБРЕНО Научно-техническим советом Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР 03.07.84 г. № 416

УТВЕРЖДЕНО Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем 15.04.83 г.

Заместитель начальника Д.Я. Шамараков

ВВЕДЕНИЕ

Все водохранилища постепенно заполняются речными наносами (песок, ил и т.п.). Особенно интенсивно этому процессу подвержены те из них, которые расположены на реках с большим количеством твердого стока. Согласно опытным данным, за 5-10 лет эксплуатации многие водохранилища суточного регулирования, расположенные на горных реках, заполняются наносами на 70-90% своего объема, что отрицательно сказывается на работе водопользователей, в том числе гидроэлектростанций.

Правила имеют целью оказать помощь эксплуатационному персоналу в сохранении на возможно больший срок регулирующей емкости от заиления, а при необходимости - в организации очистки водохранилища от наносов.

В Правилах изложены основные технические и организационные требования к эксплуатации водохранилищ, выполнение которых обеспечивает решение поставленных задач. При составлении Правил использован опыт борьбы с наносами и действующие руководящие и нормативно-технические документы: "Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик", "Положение о порядке использования водных ресурсов водохранилищ СССР" (М.: Гипроводхоз, 1972), "Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей". Изд.13-е (М.: Энергия, 1977), "Типовая инструкция по эксплуатации водохранилищ для нужд орошения емкостью до 10 млн. м³": ВСН 33-3.02.01-84 (М.: Союзгипроводхоз, 1982), "Типовая инструкция по эксплуатации гидротехнических сооружений русловых (приплотинных) гидроэлектростанций" (М.: СПО Союзтехэнерго, 1979), "Типовая инструкция по эксплуатации гидротехнических сооружений деривационных гидроэлектростанций": ТИ 34-70-016-82 (М.: СПО Союзтехэнерго, 1983), "Правила техники безопасности при эксплуатации водного хозяйства, гидротехнических сооружений и гидромеханического оборудования электростанций" (М.: Атомиздат, 1978) и др. Использованные руководящие и нормативно-технические материалы включались в Правила по возможности без изменения их редакции, что обеспечивает соответствие Правил утвержденным и действующим в настоящее время документам.

Правила действительны для всех заиляемых водохранилищ суточного и недельного регулирования, находящихся в ведении Минэнерго СССР и Минводхоза СССР.

С выходом настоящих Правил все действующие отраслевые документы по вопросам эксплуатации заиляемых водохранилищ, а также местные эксплуатационные и должностные инструкции должны быть приведены в соответствие с данными Правилами.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Правила определяют общие принципы эксплуатации заиляемых водохранилищ, которыми должны руководствоваться все организации, осуществляющие водопользование.

1.2. Основной задачей эксплуатации интенсивно заиляемых водохранилищ является предохранение регулирующей емкости от заиления и обеспечение нормальных условий работы гидроузла и водопользователей с учетом охраны окружающей природной среды.

1.3. Для каждого интенсивно заиляемого водохранилища на основании настоящих Правил должна составляться местная производственная инструкция по борьбе с наносами, содержащая указания по режимам работы водохранилища и гидросооружений, расположенных на нем, в зависимости от конкретных условий: требований водопользователей, гидрологической обстановки на реке, прогноза водности, степени наполнения водохранилища и др.

1.4. Наблюдение за водохранилищем, обобщение опыта работы, а также составление местной производственной инструкции по борьбе с наносами осуществляет организация, эксплуатирующая водоподпорные сооружения и ответственная за техническое состояние водохранилища. При необходимости для выполнения указанных работ она может привлекать на договорных началах соответствующие научно-исследовательские, проектные и наладочные организации.

1.5. Местная производственная инструкция по борьбе с наносами согласовывается с заинтересованными организациями (водопользователями данного водохранилища) и утверждается местными органами по регулированию использования и охране вод Минводхоза СССР.

Примечание. Вместо самостоятельной инструкции можно предусмотреть специальный раздел в "Правилах эксплуатации водохранилища".

1.6. Местная производственная инструкция по борьбе с наносами должна включать:

- краткую характеристику водохранилища и гидроузла, их назначение и эксплуатационные функции, требования водопользователей;
- краткую характеристику жидкого и твердого стоков;
- порядок организации наблюдений за состоянием водохранилища;
- результаты последних промеров водохранилища и построенные по этим промерам кривые объемов водохранилища (статические и динамические);
- режим эксплуатации водохранилища в периоды поступления большого количества наносов;
- порядок подготовки и проведения мероприятий по очистке водохранилища от наносов;
- требования по технике безопасности при организации очисток и проведении наблюдений за состоянием водохранилища;
- журнал технического состояния водохранилища.

1.7. В журнал технического состояния водохранилища заносят результаты наблюдений за твердым стоком, состоянием берегов и мелководий, размывами и отложениями наносов в нижнем бьефе, результаты всех осмотров и промеров, а также планы мероприятий по сохранению регулирующей емкости и очистке водохранилища от наносов, отчеты о выполнении мероприятий и их эффективности, и другие сведения эксплуатационного характера. Форма журнала не регламентируется. Результаты наблюдений за состоянием водохранилища через 3-5 лет эксплуатации следует обобщать.

1.8. В случае изменения условий эксплуатации или состояния водохранилища в местную производственную инструкцию по борьбе с наносами следует вносить соответствующие изменения и дополнения, которые необходимо своевременно

доводить до сведения всех водопотребителей и персонала, обслуживающего водохранилище.

Периодически, в сроки, устанавливаемые нормативными документами, инструкция должна пересматриваться и переутверждаться.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ

2.1. Эксплуатационный контроль за состоянием и работой водохранилища должен обеспечивать:

- получение систематических достоверных данных о техническом состоянии водохранилища;
- своевременное принятие мер для уменьшения интенсивности заиления и сохранения на более длительный срок регулирующей емкости;
- получение технических данных для обоснования мероприятий по очистке от наносов;
- выбор оптимальных эксплуатационных режимов работы водохранилища, обеспечивающих требования водопользователей;
- получение данных для разработки мероприятий по охране окружающей природной среды.

2.2. Наблюдения за водохранилищем должны начинаться с момента заполнения его и продолжаться в течение всего периода эксплуатации.

2.3. В состав эксплуатационного контроля за состоянием заиляемых водохранилищ входят наблюдения за:

- уровнем водохранилища;
- жидким и твердым стоками;
- переработкой берегов;
- отложениями наносов и зарастанием мелководий, образованных в результате заиления;
- полными и регулируемыми емкостями водохранилища;
- заилением нижнего бьефа.

Периодичность каждого вида наблюдений устанавливается местной производственной инструкцией в зависимости от условий эксплуатации и состояния водохранилища. Методика проведения наблюдений определяется располагаемой измерительной аппаратурой в соответствии с требованиями "Наставлений гидрометеорологическим станциям и постам" (Л.: Гидрометеоиздат, 1972).

2.4. Уровень воды в водохранилище определяют непосредственно в районе подпорных сооружений гидроузла водомерными рейками или самописцами уровня. При значительных суточных изменениях уровня установка самописца обязательна. При этом самописцы необходимо оборудовать дистанционной передачей показаний непосредственно на пульт дежурного инженера гидроузла, регулирующего режим работы водохранилища.

2.5. Наблюдения за расходом и стоком воды проводят по расходомерам, а в их отсутствие - по характеристикам протарированного эксплуатационного оборудования в соответствии с действующими инструкциями. Наблюдения за твердым стоком организуют на входе в водохранилище и выходе из него путем взятия проб воды на мутность.

2.6. В местах интенсивного размыва и обрушения берегов проводят наблюдения за их состоянием путем установки реперов в нескольких контрольных створах и регулярных инструментальных съемок в этих створах.

2.7. Наблюдения за характером заиления верхнего бьефа, полным и регулирующим объемами водохранилища проводят в меженный период путем промеров глубин на постоянных поперечниках (створах). При необходимости определяется гранулометрический состав отложений взятием проб. В случае затруднений в проведении наблюдений собственными силами к исследованию привлекаются специализированные организации.

2.8. Систематическими наблюдениями за динамической регулирующей емкостью водохранилища определяют фактические эксплуатационные возможности по перерегулированию стока при различных условиях работы водохранилища.

2.9. В водохранилищах суточного регулирования определение динамической регулирующей емкости следует проводить по скорости сработки бьефа (см. п.1.13 приложения).

2.10. В водохранилище недельного регулирования при невозможности применить способ, указанный в п.2.9, динамическую регулирующую емкость следует определять промерами и аналитическими расчетами по створам водохранилища.

2.11. Контроль за состоянием водохранилища проводится персоналом предприятия, эксплуатирующего водохранилище и ответственного за его техническое состояние.

3. БОРЬБА С ЗАИЛЕНИЕМ

3.1. Мероприятия по борьбе с наносами должны предусматриваться в проектных документах, а в последующем корректироваться на основе опыта эксплуатации водохранилища или в случае изменения местных условий.

3.2. Мероприятия по борьбе с наносами включают:

- работу водохранилища при режимах, которые обеспечивают возможно больший транзит поступающего твердого стока;
- проведение необходимых берегоукрепительных и мелиоративных работ в случаях, когда разрушение и эрозия берегов приводят к значительному количеству наносов;
- удаление наносов механизмами;
- промыв водохранилища.

Для каждого конкретного водохранилища способы борьбы с заилением выбираются исходя из местных условий и на основании технико-экономического обоснования.

3.3. Благоприятные условия для транзитного пропуска наносов через водохранилище обеспечиваются при сниженном уровне верхнего бьефа. Поскольку наибольшее количество твердого стока проходит в паводочный период, к моменту наступления

паводка водохранилище должно быть опорожнено до минимального уровня (в пределах проектной призмы регулирования), при котором обеспечивается, согласно гидрологическому прогнозу, его последующее наполнение.

Пропуск паводка следует осуществлять при минимальных уровнях верхнего бьефа, наполнение проводить в возможно более поздний срок, на спаде паводка.

3.4. Для водохранилищ суточного регулирования необходимо обеспечивать режимы ежедневной сработки бьефа до минимально возможной отметки, предусмотренной правилами эксплуатации данного водохранилища. Такие режимы исключают интенсивное и значительное заиливание регулирующей емкости.

Местным органам, ответственным за эксплуатацию и техническое состояние водохранилища, необходимо контролировать все мероприятия, проводимые в зоне данного водохранилища, не допуская проектирования, строительства и эксплуатации сооружений (водозаборов, насосных станций, причалов и т.д.), ограничивающих сработку водохранилища в пределах призмы регулирования.

3.5. В периоды, когда приток воды в реке не может быть полностью использован для выработки электроэнергии, избыток следует использовать для смыва отложившихся наносов в нижний бьеф и промыва порогов водоприемных устройств. Пропуск излишков воды предпочтительнее проводить через донные отверстия с низким расположением порога.

3.6. На участках берегов, подверженных интенсивному разрушению, необходимо проводить берегоукрепительные работы по экономически обоснованному проекту.

3.7. Берегоукрепительные и мелиоративные работы предусматривают:

- сохранение лесного покрова на склонах гор в пределах водосборной площади водохранилища, облесение склонов, закрепление склона растительностью;
- закрепление действующих оврагов и горных склонов, уменьшающее эрозионную деятельность водных потоков: террасирование склонов, проведение пахоты по склону с горизонтальным расположением борозд;
- борьбу с селевыми выносами устройством запруд, закреплением откосов и т.п.

3.8. В случае значительного заиливания водохранилища следует предусматривать удаление наносов механическим способом (земснарядами, землечерпалками), гидравлическим способом (промывом водохранилища) или совместным использованием механического и гидравлического способов.

3.9. Применение механических способов обеспечивает удаление наносов, из любого заранее определенного района водохранилища, однако, как правило, экономически целесообразно на водохранилищах малой емкости с незначительным объемом работ.

3.10. Гидравлический способ очистки водохранилища (промыв) может обеспечивать удаление больших объемов наносов, однако не позволяет проводить очистку заранее определенных районов водохранилища. В зависимости от местных условий возможно применение следующих способов промыва: мелкого, глубокого, с регулированием мутности промывного потока. Описание способов очистки водохранилища и рекомендации по их применению даны в приложении.

3.11. При организации промывов режимы сработки и последующего наполнения водохранилища должны быть увязаны с графиками работы ГЭС, условиями эксплуатации водно-транспортных сооружений, интересами рыбного хозяйства и др.

В случае, когда при промыве ограничивается работа водопотребителей, режимы водохранилища и сроки проведения мероприятия согласовываются с соответствующими водопотребителями.

3.12. Все мероприятия по удалению наносов должны быть согласованы с местными органами по регулированию использования вод.

3.13. На каждой электростанции, в водохранилище которой имеются залежи торфа, должен быть организован перехват всплывающих масс торфа выше створа водозаборных сооружений, преимущественно в местах всплывания. Перехваченный торф должен отбуксироваться в бухты и на отмели и надежно закрепляться.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫВОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

1. СПОСОБЫ ПРОМЫВА ВОДОХРАНИЛИЩА

1.1. Наиболее эффективным мероприятием по удалению отложившихся наносов являются промывы водохранилища: мелкие, глубокие, с регулированием мутности промывного потока. Выбор способа промыва определяется технико-экономическим анализом, возможностями энергосистемы, требованиями водопользователей и другими местными факторами.

1.2. При отсутствии ограничений по режимам работы верхнего и нижнего бьефов рекомендуется проводить глубокий промыв. При глубоком промыве водохранилище полностью опорожняется (желательно через отверстия с наиболее низкими отметками порога), гидроэлектростанция останавливается, отключаются все водопользователи.

Промывы производятся в паводочный период, сроки и продолжительность их определяют исходя из возможностей энергосистемы, требований водопользователей, гидрологической обстановки и других местных условий.

1.3. При глубоком промыве интенсивность удаления наносов наибольшая. Ввиду значительной концентрации наносов в промывном потоке возможно частичное отложение их в русле нижнего бьефа, поэтому необходим постоянный контроль за состоянием русла нижнего бьефа и водозаборных сооружений, расположенных в нем.

1.4. Оптимальное значение промывных расходов зависит от ширины и глубины бьефа, пропускной способности отверстий гидроузла, используемых для промыва, характеристик отложений наносов, профиля водохранилища и ряда других факторов; оно может быть выявлено опытным путем. Для ориентировочных расчетов за оптимальный промывной расход можно принимать два среднегодовых расхода, продолжительность промыва - примерно 8-10 сут. Наполнение водохранилища после промыва следует проводить на спаде половодья (паводка) в возможно более поздний срок. Это обеспечивает охрану водохранилища от последующего заиления наносами.

1.5. При невозможности проведения глубокого промыва с полным опорожнением водохранилища следует организовать промывы с частичным снижением верхнего бьефа в пределах зоны регулирования (мелкий промыв) без нарушения работы водопотребителей.

1.6. При мелком промыве насыщение потока наносами, а следовательно, и эффективность их удаления меньше, чем при глубоком. Поэтому продолжительность мелкого промыва должна быть большей, чем глубокого промыва, и составлять примерно от 10 сут до 1-2 мес.

1.7. Промывы водохранилищ с регулированием мутности промывного потока организуют в случаях, когда необходимо обеспечить водопользователей нижнего бьефа водой, мутность которой не выходит за пределы допустимого значения по условиям их нормальной эксплуатации, или для обеспечения требований по охране окружающей среды.

1.8. Регулирование мутности осуществляют путем ступенчатого опорожнения верхнего бьефа¹¹, используя следующие зависимости:

- чем больше глубина и скорость опорожнения бьефа, тем больше мутность промывного потока;
- при поддержании верхнего бьефа на постоянной сниженной отметке мутность промывного потока со временем падает.

Порядок промыва следующий:

1.8.1. Определяют границы допустимой мутности промывного потока. Максимальное значение мутности устанавливают исходя из требований водопользователей и возможности осуществления промыва без ущерба или с минимальным ущербом для водопользователей. Минимальное значение мутности устанавливают исходя из условий экономической целесообразности промыва.

1.8.2. Постепенно опорожняют водохранилище до уровня, при котором мутность промывного потока соответствует максимально допустимой (I степень сработки). Дальнейшее опорожнение приостанавливают, и уровень воды в водохранилище поддерживают на этой отметке до момента, когда мутность промывного потока уменьшится до установленного минимального значения. Уменьшение мутности связано с тем, что по мере размыва наносов и удаления их площадь живого сечения потока (при поддержании уровня воды в водохранилище на одной и той же отметке) увеличивается, вместе с этим уменьшается размывающая способность промывного потока и, следовательно, его мутность.

1.8.3. После достижения минимального значения мутности вторично понижают уровень воды в водохранилище до тех пор, пока мутность вновь не достигнет максимально допустимого значения (II степень сработки). Дальнейшее опорожнение приостанавливают, уровень в водохранилище поддерживают на данной отметке до момента, пока мутность промывного потока постепенно не снизится до принятого минимального значения, и снова снижают уровень воды в водохранилище (III степень опорожнения) и т.д.

1.9. Для наблюдения за мутностью промывного потока организуется специальный пост в нижнем бьефе сооружения. Периодичность взятия проб воды на мутность - 2-3 раза в сутки во время опорожнения бьефа - ежечасно.

Для оперативного контроля мутности промывного потока можно использовать любой известный способ быстрого измерения. Хорошо зарекомендовал себя для этих целей, например, прибор Куприна.

1.10. В процессе промыва проводится наблюдение за состоянием нижнего бьефа водохранилища и гидросооружений, а также оценивается эффективность промыва. Эффективность суточного промыва определяется как произведение среднесуточной мутности на среднесуточный расход. Окончательный результат устанавливается инструментальными промерами после завершения промыва.

1.11. При проведении гидравлической очистки может случиться, что часть наносных отложений не будет размываться из-за недоступности их промывному потоку. Такие неразмываемые участки сохраняются обычно в виде отложений вдоль берегов или

¹¹ А.с. № 579373 (СССР). Способ очистки водохранилищ и подпертых бьефов от наносов/. Флексер Я.Н., Воробьев А.С., Магомедов З.А. - Оpubл. в бюл. "Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки". 1977, № 41.

крупных островов в русле основного потока. При необходимости удаления наносов с этих участков целесообразно совместное использование механического и гидравлического способа очистки¹².

На этих участках с помощью любого механизма, например землесосного снаряда, в слое наносов проделывают каналы, которые соединяют с основным транзитным потоком. Каналы выполняются по возможности криволинейными в плане. Выпуклая часть канала направляется в сторону наносных отложений, подлежащих преимущественному размыву. Часть водного потока из основного русла, проходя через проделанные каналы, размывает их русло и окружающие наносные отложения. Наиболее интенсивно размываются наносы, расположенные в зоне поворотов канала.

1.12. Механизмы для проделывания каналов в наносных отложениях целесообразно применять в первую очередь вблизи водозаборов насосных станций, причалов, зон отдыха и в других местах водохранилища, где наносные отложения создают трудности для нормальной эксплуатации гидросооружений и использования водных ресурсов водохранилища.

1.13. Для оперативного контроля за состоянием водохранилища целесообразно проводить регулярные измерения его динамической регулирующей емкости.

В водохранилищах суточного регулирования динамическую регулируемую емкость удобно определять по скорости сработки верхнего бьефа¹³ следующим образом.

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

Проводя аналогичные измерения во всем диапазоне сработки бьефа, строят зависимость динамической регулирующей емкости от уровня.

1.14. Периодичность определения динамической регулирующей емкости устанавливается исходя из местных условий: интенсивности отложения наносов, режимов работы водохранилища, гидрологической обстановки, наличия водпостов и т.п. В паводочный период рекомендуется производить 3-5 измерений, в том числе обязательно до и после прохождения паводка; в меженный период - 3-4 измерения и обязательно после прохождения каждого дождевого паводка.

2. РАБОТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ПРОМЫВОВ

¹² А.с. № 1183603 (СССР). Способ очистки водохранилищ и подпертых бьефов от наносов/. Воробьев А.С., Флексер Я.Н., Магомедов З.А., Поликарпов В.М. - Оpubл. в бюл.: "Открытия. Изобретения". 1985, № 37.

¹³ А.с. № 751896 (СССР). Способ определения динамической регулирующей емкости водохранилища/. Воробьев А.С. Оpubл. в бюл.: "Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки". 1980, № 28.

2.1. При проведении промывов режим работы водохранилища, нижнего бьефа, деривационных каналов, водозаборных и водосбросных сооружений должен поддерживаться в пределах, обеспечивающих надежность их эксплуатации.

2.2. Для контроля за состоянием гидротехнических сооружений нижнего бьефа, а также за процессом размыва наносных отложений организуются посты наблюдений. Места расположения постов, состав и периодичность наблюдений устанавливаются специальной программой, составляемой перед промывом; программа согласовывается с местными органами Минводхоза СССР и утверждается руководителем предприятия, эксплуатирующего водохранилище.

2.3. В период наполнения или опорожнения водохранилища проводят более частые наблюдения за уровнем воды в бьефе, положением депрессионной кривой земляных сооружений, состоянием откосов плотин и каналов, состоянием нижнего бьефа, мутностью промывного потока, береговой зоной водохранилища.

Результаты наблюдений немедленно обрабатывают, при необходимости вносят изменения в режимы работы водохранилища и сооружений.

2.4. Максимально допустимые скорости снижения уровня воды при опорожнении водохранилища ограничиваются условиями устойчивости откосов сооружений и береговой линии и принимаются согласно проектным данным или на основании специальных расчетов и опыта эксплуатации сооружений и водохранилища. Ориентировочные скорости сработки приведены в табл.1¹⁴.

Таблица 1

Рекомендуемые максимальные скорости снижения уровня воды при сработке бьефов

Характеристика откосов заиляемых плотин, дамб и каналов	Максимальные скорости снижения уровня (м/ч) для слоев сработки, м		
	от 0 до 1	свыше 1 до 2	свыше 2
Укрепленные камнем или бетонными плитами откосы заиляемых плотин и дамб, бетонированные каналы	0,60-0,40	0,30-0,25	0,20-0,15
Неукрепленные откосы земляных плотин, дамб и каналов	0,40-0,26	0,25-0,20	0,15-0,10

2.5. При сработке бьефа и пропуске повышенных расходов воды для исключения размывов дна и берегов в нижнем бьефе следует выдерживать неразмывающие скорости, а сброс воды осуществлять по возможности равномерно по всему фронту.

¹⁴ См. "Типовая инструкция по эксплуатации гидротехнических сооружений деривационных гидроэлектростанций". ТИ 34-70-016-82 (М.: СПО Союзтехэнерго, 1983).

Допускаемые размывающие средние скорости течения приведены в табл.2 и 3, а для закрепленных русел в табл. 4¹⁵.

Таблица 2

Допускаемые размывающие средние скорости потока для песчаных и крупнообломочных грунтов

Песчаные и крупнообломочные грунты при среднем диаметре частиц d_{cp} , мм	Допускаемые размывающие средние скорости (м/с) при глубине потока, м			
	0,5	1	3	5
0,25	0,37	0,39	0,41	0,45
0,50	0,41	0,44	0,50	0,52
1	0,51	0,55	0,62	0,65
2	0,64	0,7	0,79	0,83
3	0,73	0,8	0,91	0,96
5	0,87	0,96	1,1	1,17
10	1,10	1,23	1,42	1,51
15	1,26	1,42	1,65	1,76
20	1,37	1,55	1,85	1,96
30	1,56	1,76	2,1	2,26
40	1,68	1,93	2,32	2,5
75	2,01	2,35	2,89	3,14
100	2,15	2,54	3,14	3,46
150	2,35	2,84	3,62	3,96
200	2,47	3,03	3,92	4,31
300	2,9	3,32	4,4	4,94

Примечание. Средний диаметр частиц песчаных и крупнообломочных грунтов принимается как средневзвешенный по формуле $d_{cp} = \frac{\sum d_i p_i}{\sum p_i}$, где d_i, p_i - диаметр и процентное содержание каждой частицы по массе.

Таблица 3

Допускаемые размывающие средние скорости потока для глинистых грунтов

¹⁵ См. СНиП II-52-74

Глинистые грунты при расчетном удельном сцеплении C , кгс/см ²	Допускаемые неразмывающие средние скорости (м/с) при глубине потока, м							
	0,5		1		3		5	
	при содержании легкорастворимых солей (CaCl ₂ , MgCl ₂ , NaCl ₂ , Na ₂ SO ₄ , Na ₂ CO ₃ , NaHCO ₃), % по плотному остатку массы абсолютно сухого грунта							
	0,2 и менее	0,2-3	0,2 и менее	0,2-3	0,2 и менее	0,2-3	0,2 и менее	0,2-3
0,01	0,44	0,39	0,48	0,43	0,55	0,49	0,58	0,52
0,03	0,59	0,43	0,64	0,48	0,74	0,55	0,78	0,59
0,05	0,71	0,48	0,77	0,53	0,89	0,61	0,98	0,65
0,125	1,03	0,6	1,13	0,67	1,3	0,76	1,37	0,81
0,15	1,21	0,65	1,33	0,72	1,52	0,82	1,6	0,88
0,20	1,28	0,75	1,4	0,82	1,6	0,93	1,69	1
0,25	1,42	0,82	1,55	0,91	1,78	1,04	1,88	1,1
0,30	1,54	0,9	1,69	0,99	1,94	1,12	2,04	1,2
0,35	1,67	0,97	1,83	1,06	2,09	1,22	2,21	1,3
0,40	1,79	1,03	1,96	1,15	2,25	1,31	2,38	1,4
0,45	1,88	1,09	2,06	1,2	2,35	1,39	2,49	1,46
0,50	1,99	1,26	2,17	1,28	2,5	1,46	2,63	1,56
0,60	2,16	1,27	2,38	1,38	2,72	1,6	2,88	1,7
Примечание. При содержании легкорастворимых солей в глинистых грунтах более 3% допускаемые неразмывающие средние скорости должны устанавливаться на основании исследований.								

Таблица 4

Допускаемые неразмывающие средние скорости потока для закрепленных русел

Вид крепления	Проектная марка бетона или раствора по прочности на сжатие	Допускаемые неразмывающие средние скорости (м/с) при глубине потока, м			
		0,5	1	3	5
Бетонная облицовка (поток не содержит песчаных и галечниковых наносов)	100	12,5	13,8	16,0	17,0
	150	14,0	15,6	18,0	19,1
	200	15,6	17,3	20,0	41,2
	300	19,2	21,2	24,6	26,1
Облицовка из каменной кладки	150-50	7,4	8,7	10,7	11,6

(поток не содержит песчаных и галечниковых наносов)	25	6,3	7,4	9,1	9,8
	10	4,3	5,0	6,2	6,7
Габионы (размером 0,5х0,5 м и более)	-	4,7	5,5	6,8	7,3
Каменная наброска в плетневой клетке	-	3,0	3,5	4,0	4,4
Мощение одиночное на слое щебня или глины (10-15 см) с покрытием слоем глины, ила, соломы, сена: на свеженасыпанном утрамбованном грунте при крупности камней, см:					
15-20	-	2,4	2,8	3,5	3,8
20-30	-	2,8	3,3	4,1	4,4
на осевшем или плотно утрамбованном грунте при крупности камней, см:					
15-20	-	2,6	3,0	3,7	4,0
20-30	-	3,0	3,6	4,5	4,9
Мощение двойное на слое щебня при крупности камней, см:					
15-20	-	3,0	3,5	4,3	4,7
20-30	-	3,1	3,7	4,7	5,1
Дерновка плашмя	-	1,0	1,25	1,5	1,5

2.6. При организации промывов следует учитывать интересы водопользователей и требования по охране окружающей среды в максимально возможной степени. В программе работ по проведению промыва должны быть четко указаны максимальные значения промывных расходов, глубина сработки бьефа, скорости опорожнения и наполнения водохранилища, продолжительность промыва, мутность промывного потока.

2.7. При ограничениях, накладываемых на значение мутности промывного потока, промыв осуществляется только методом, изложенным в пп.1.7-1.12.

3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОМЫВАХ И ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОМЕРНЫХ РАБОТ

3.1. До начала работы необходимо проверить соблюдение всех требований настоящего раздела, относящихся к предстоящей работе. При несоблюдении этого условия персонал не имеет права приступать к работе независимо от того, кто дал ему указание на ее выполнение.

3.2. Заблаговременно, до открытия сбросных щитов, необходимо:

- а) проверить состояние ведущихся в нижнем бьефе работ;
- б) предупредить работающих о времени окончания ими работ;
- в) убедиться в отсутствии людей в бьефе после окончания работ.

3.3. Срок опорожнения водохранилища согласовывается с местными органами Минводхоза СССР и через него с местными органами власти для предупреждения населения, живущего ниже плотины, о повышении уровня воды. При расположении гидротехнических узлов в пределах населенных пунктов перед открытием затворов плотин следует подавать звуковые сигналы.

3.4. О предстоящем опорожнении водохранилища заблаговременно оповещаются водные станции, расположенные выше плотин, и прекращается передвижение лодок и купание. Паромы, расположенные в верхнем бьефе, во избежание уноса отводятся к берегу и закрепляются.

3.5. Допуск к работе в верхнем бьефе плотины может быть разрешен только после того, как уровень воды достигнет наинизшего положения, предусмотренного проектом опорожнения. Срок работы в верхнем бьефе должен быть приведен в полное соответствие с продолжительностью нахождения верхнего бьефа на низких уровнях.

3.6. К моменту начала подъема уровня в бьефе из зоны затопления, включая не защищенные щитами водоприемные устройства, должен быть выведен весь персонал и убраны стройматериалы и инструменты.

3.7. Персонал, ответственный за наполнение бьефа, обязан лично проверить плотность закрытия входных щитов перед подъемом уровня в бьефе, наличие замков на приводах подъемных механизмов и плакатов, запрещающих подъем щитов.

3.8. О ходе наполнения водохранилища и предполагаемом уровне воды необходимо информировать жителей расположенных выше населенных пунктов.

3.9. При смыве наносных отложений гидромониторами необходимо агрегаты устанавливать на прочном грунте или гравелистых отложениях.

3.10. При использовании земснарядов для удаления наносов или проделывания каналов в наносных отложениях (см. п.1.11) должны соблюдаться правила техники безопасности при эксплуатации средств гидромеханизации.

3.11. Перемещение персонала по илистым наносным отложениям разрешается только по устойчиво проложенным настилам. Если отложения недостаточно плотны, лица, передвигающиеся по ним, должны быть снабжены страховочным канатом. Всякие перемещения по наносным отложениям в одиночку запрещаются.

3.12. Удаление наносов гидромеханическим способом разрешается только при наличии проекта организации работ, который предусматривает последовательность выполнения и необходимые вспомогательные устройства для безопасного ведения работ.

Для руководства работами должно быть выделено ответственное лицо из инженерно-технического персонала организации, производящей промыв.

3.13. Рабочая зона гидромонитора в пределах полуторной дальности действия его струи, а также зона возможного обрушения грунта должны быть ограждены предупредительными знаками безопасности.

3.14. При промыве бьефа попеременным опусканием и подъемом уровня воды запрещается подходить к краю наносных отложений ближе чем на 5 м независимо от степени их плотности.

3.15. Не допускается работа в зоне промывных галерей отстойников при открытом затворе. После окончания промыва затвор должен быть плотно закрыт, а подъемный механизм обесточен.

3.16. Если промывные галереи занесены, расчистка их должна производиться "от себя" и только со стороны верхнего бьефа.

3.17. Запрещается при промыве отстойников, напорных бассейнов и песколовок персоналу находиться в пределах выходящего из-под затвора потока воды.

3.18. Запрещается находиться людям на неогражденных частях сооружения над промывным потоком.

3.19. Запрещается плавание и производство работ на водохранилищах с лодок и понтонов при силе ветра 4 балла и более (скорость ветра 6,3-7,4 м/с) и на речных катерах при силе ветра 5 баллов и более (скорость ветра 7,5-9,8 м/с). При возникновении во время работы ветра силой более 4 балла необходимо лодку или понтон направить к берегу. Во избежание опрокидывания или заплескивания лодки большой волной следует идти вразрез волне. Спасательные средства должны быть наготове.

3.20. Промеры глубин водохранилища после промыва следует производить только после достижения уровнем воды отметки нормального подпорного уровня.

3.21. Промерные работы с лодки должны производиться бригадой в составе не менее двух человек.

3.22. При промерах глубин летом вручную запрещается становиться на борта или скамейки лодки и перегибаться за борт. Запрещается наматывать на руку свободный конец лотлиня. При использовании груза массой более 10 кг должна применяться лебедка для его спуска и подъема.

3.23. Промеры глубин лотами следует производить в прорезиненных костюмах или водонепроницаемых фартуках.

3.24. При промерах глубин наметкой с лодки один человек должен находиться на веслах, другой - у наметки. Промеры наметкой с лодки при глубине более 4 м запрещаются. Если наметка прочно зацепится за какое-нибудь препятствие на дне водоема, следует немедленно ее отпустить.

3.25. При производстве промеров глубин наметкой с катеров или самоходных судов на рабочем, проводящем промеры, должен быть надет ляточный предохранительный пояс с прикрепленным к нему страховочным канатом, другой конец которого должен быть прикреплен к рыму или стойке на палубе. Промеры с самоходных судов должны производиться только в тихую погоду, при силе ветра не более 2 баллов (скорость ветра 3,3 м/с).

3.26. При применении эхолота для промеров глубин необходимо выполнять следующие правила:

- при установке эхолота на катере или шлюпке избегать крена катера или шлюпки;
- закреплять приемопередаточные устройства эхолота тросом к судну, удерживать устройства на весу руками запрещается;

- крышки прибора при работе держать постоянно закрытыми;
- не допускать регулирования аппаратуры под напряжением.

3.27. Запрещается проводить промерные работы с катера или шлюпки без спасательных и сигнальных средств, а также промерные работы в потоке при промыве бьефов.

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

Верстка - **Беглов И.Ф.**

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Швейцарского управления по развитию и сотрудничеству
в рамках проекта CAREWIB

Подготовлено к печати и отпечатано
в Научно-информационном центре МКБК

Республика Узбекистан, 100 187, г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11

info@icwc-aral.uz