Финансирование Европейского Союза

EUROPEAN UNION

Рекомендации по техническим решениям по очистке и переработке наносов Руслового водохранилища с учетом международного опыта

Июль, 2022

Дисклеймер:

Данная работа подготовлена в рамках проекта Европейского Союза «Центрально-Азиатский Диалог по стимулированию межсекторального финансирования на основе взаимосвязи «вода-энергия-продовольствие» (Фаза II)», реализующий со стороны Регионального экологического центра Центральной Азии (РЭЦЦА) при финансовой поддержке проекта «Лаборатория инновационных решений для водного сектора Центральной Азии», осуществляемого в рамках Водно-энергетической программы для Центральной Азии (CAWEP).

Содержание данной работы является исключительной ответственностью авторов и не обязательно отражает точку зрения Европейского Союза, CAWEP и РЭЦЦА.

Авторы:

Санджай Гири

Эрик Штерн

Краткое содержание

В рамках данного задания мы сначала провели комплексный обзор прошлых исследований и имеющихся данных, а также экспресс-анализ проблем заиления на Туямуюнском гидроузле (ТМГУ). Анализ текущего состояния ТМГУ показал, что проблемы заиления в Русловом водохранилище ТМГУ довольно серьезные, и нужно начать их решать. Заиление происходит последние 40 лет. Заиление водохранилища привело не только к потере объема, но и повысило риски для сооружений ТМГУ и для безопасного прохождения паводка, что увеличивает риск для населения. Большой слой отложения возле гидроэнергетических и оросительных водозаборных сооружений привел к плохому функционированию гидроэнергетических и оросительных сооружений и объектов, а также к увеличению риска наводнения и угроз, связанных с наносами. Кроме того, значительно снизился объем водохранилища, что приводит к ситуации недостатка воды, отражающейся на жизнеобеспечении более 5 миллионов человек, получающих воду из ТМГУ, в регионе (в Узбекистане и Туркменистане).

Мы разделили проблемы по их степени воздействия и срочности решения. В соответствии с этим, меры были разделены на две категории по типу и масштабу. Первая категория проблем связана с заилением возле головных сооружений (водозаборы и водоспуски), которое плохо отражается на функциональности и безопасности сооружений (например, на работе гидроэнергетических сооружений и канала), а также на безопасном пропуске паводка. Таким образом, эти проблемы следует решить в срочном порядке. В частности, для решения этой проблемы мы предложили техническую концепцию с описанием комплексной программы управления наносами, предусматривающую утилизацию наносов с полезным использованием. Эта концепция включает четыре основных компонента: (1) удаление наносов в Русловом водохранилище и каналах (т.е. основные меры по эксплуатации и обслуживанию) в сочетании с промыванием водохранилища (т.е. дополнительные меры); (2) управление эрозией и притоком наносов в Туямуюнском бассейне, реке, притоках и Русловом водохранилище (т.е. меры смягчения); (3) коммерческая пилотная кампания по выявлению потенциальных вариантов утилизации наносов с полезным использованием (т.е. определение масштаба спроса и предварительное технико-экономическое обоснование); и (4) создание систем мониторинга, информации, прогнозирования и раннего предупреждения для притока и качества воды и наносов, а также состояния водохранилища (т.е. меры для адаптации и поддержки). Эти меры (первой категории) не требуют больших инвестиций (по сравнению с потерями, которые несет ТМГУ в течение последних нескольких лет). Кроме того, в рамках этой категории мы предложили провести оценку мер по восстановлению объема, которая включает техническую оценку возможности повышения максимального уровня эксплуатации водохранилища на 1,5 – 2 м (т.е. с текущего уровня 130 м до 131,5-132 м). Скорее всего, для этого потребуются определенные мягкие структурные меры по укреплению и улучшению некоторой части сооружнений. Кроме того, эту меру следует принимать только в сочетании с надлежащей программой управления наносами.

Вторая категория проблем связана с потерей объема Руслового водохранилища (почти 1,5 млрд. м^3) из-за значительного заиления. Для решения этой проблемы потребуются крупномасштабные меры по восстановлению объема или альтернативные структурные решения. Мы предложили несколько вариантов для рассмотрения их технико-экономического обоснования, а именно: (i) капитальные дноуглубительные работы в Русловом водохранилище с утилизацией наносов с полезным использованием (Вариант 1); (ii) строительство нового и/или расширение существующего наливного

водохранилища (Вариант 2); (iii) реконструкция сооружений (например, наращивание или замена плотины) (Вариант 3). Все эти варианты требуют большого объема технических, инженерных и финансовых ресурсов. Кроме того, прежде чем выбрать какую-либо из этих мер, нужно провести тщательную оценку их воздействия.

Следует отметить, что реализация мер для решения проблем первой категории, в конечном счете, будет полезна для оценки осуществимости крупномасштабных мер по проблемам второй категории и, следовательно, поможет принять соответствующие решения, которые могут поддержать программу управления наносами и окружающей средой.

В отношении утилизации наносов из Руслового водохранилища с их полезным использованием, мы предложили некоторые возможные варианты для рассмотрения, а именно: (i) производство и / или улучшение почвенного покрова и производство удобрений для сельского хозяйства и лесонасаждения; (ii) создание и восстановление экологических зон, поддерживающих функции средств существования; (iii) формирование коммерческих отраслей по производству строительных материалов, ландшафтному дизайну, производству уплотненного насыпного грунта (структурного и неструктурного); (iv) строительство земляных сооружений для регулирования стока в реках и водохранилищах (например, крепление берегов, бермы, песчаные пробки, земляные плотины, и т.д.) для управления потоком и наносами. Мы предложили провести коммерческую пилотную кампанию (в рамках комплексной программы управления наносами) для технико-экономической оценки их применения в реальной жизни. Она должна включать рыночные факторы и анализ выгод и затрат, а также детальную оценку воздействия и рисков (социальных, экономических и экологических).

Один из важных компонентов, касающихся как проблем первой категории, так и проблем второй категории, является установлением мер по адаптации и поддержке. Эти меры связаны с регулярным и систематическим мониторингом в бассейне, реке и водохранилищах (относящимся к ТМГУ). Мониторинг и измерения должны включать различные процессы и параметры по различным пространственным (от водосбора до реки, притоков и участков водохранилища) и временным разрешениям и частотам. Однако мониторинг и сбор данных сами по себе не принесут много пользы, если не будет надлежащего управления данными, хранения, анализа и применения данных для дальнейшего улучшения и адаптации мер, включая устойчивое управление ТМГУ. Кроме того, данные следует использовать для создания систем информации, прогнозирования и раннего предупреждения в сочетании с некоторыми методами (например, эмпирических, на основе данных и/или основанными на физике численными моделями). Эти системы можно использовать не только для распространения информации, но и для принятия решений в критических и чрезвычайных ситуациях.

В данном отчете мы также приводим несколько примеров из мировой практики и ссылки на источники, которые могут быть полезны в выборе и проектировании мер для ТМГУ. Однако, универсального метода или подхода нет. Следовательно, предлагаемое решение и меры следует разрабатывать с учетом местной / региональной специфики и ситуации на ТМГУ на основе комплексного изучения социальной, технической, экологической и экономической осуществимости и воздействия. Это самое важное, так как нужно будет утилизировать значительный объем наносов в течение продолжительного периода времени и принять долгосрочный план управления наносами, чтобы стабилизировать ТМГУ в течение много лет. Все выбранные меры и вмешательства должны быть надлежащим образом изучены на предмет их неблагоприятного воздействия, которое может привести к угрозам и рискам, не только для ТМГУ, но и для участков, инфраструктуры, экосистемы и среды обитания ниже по течению. Более того, важно установить и надлежащим образом изучить ограничения и

вызовы оптимального выбора мер (или комбинации мер). Следует подчеркнуть, что выгоды и осуществимость первой категории мер очевидны, так как они являются срочными и неизбежными. Важный аспект – проведение оценки воздействия и вопросов безопасности во время оценки, планирования, проектирования и реализации мер. Что касается второй категории проблем и мер, сначала необходимо провести общее исследование по определению масштабов на основе предварительного изучения и обсуждения с заинтересованными сторонами возможности получения финансовых и технических ресурсов. Все потенциальные меры второй категории требуют комплексной оценки осуществимости и воздействия. Оценка осуществимости и воздействия не входит в рамки данного задания. Тем не менее, мы включили краткое, обобщенное описание воздействия и предварительной оценки осуществимости всех предлагаемых мер. Мы также попытались дополнить предлагаемые меры подходом Nexus и устойчивости водохранилища, который в конечном итоге способствует достижению целей устойчивого развития (ЦУР).

Содержание

Предварительная оценка, основанная на обзоре имеющихся данных 1

Краткое содержание **3**

1 Введение **10**

1.1 Общая информация 10

1.2 Цель задания 10

1.3 Задачи и подходы 11
1.3.1 Проведение обзора 11
1.3.2 Рекомендации по решению проблем заиления на ТМГУ 11
1.3.3 Разработка концепции (-ий) потенциальной утилизации наносов на ТМГУ 11
1.3.4 Участие в обсуждениях и мозговом штурме по подготовке анализа выгод-затрат технических решений 11

1.4 Содержание отчета 11

2 Изучение информации об эксплуатации ТМГУ и его текущем состоянии **13**

2.1 Введение 13

2.2 Повторное рассмотрение проблем заиления на ТМГУ 15
2.2.1 Сфера исследования – ТМГУ и его функции 15
2.2.1.1 Комплекс водохранилища и головные сооружения 15
2.2.1.2 Сельское хозяйство, аквакультура, питьевое водоснабжение 18
2.2.1.3 Управление паводками 19
2.2.2 Анализ гидрологических данных и информации о наносах 20
2.2.2.1 Наличие и полезность данных 20
2.2.2.2 Поток и сток наносов 20
2.2.2.3 Морфологические изменения в Русловом водохранилище 23
2.2.2.4 Состав наносов и потенциал утилизации 26
2.2.2.5 Эксплуатация водохранилища 29
2.2.2.6 Потери воды 30
2.2.3 Экономические потери 31
2.2.4 Неопределенность и неточность данных 31

2.3 Характеристика проблем заиления и воздействие на ТМГУ 31
2.3.1 Первая категория проблем: работоспособность и безопасность головных сооружений 32
2.3.2 Вторая категория проблем: потеря объема водохранилища 33

2.4 Заключение 33

3 Решение проблем заиления на ТМГУ **35**

3.1 Введение 35

3.2 Отбор возможных мер для ТМГУ 35
3.2.1 Текущие меры 36
3.2.1.1 Удаление и утилизация наносов 36
3.2.1.2 Промывание наносов в Русловом водохранилище 37
3.2.1.3 Пополнение наносов ниже по течению 37

3.2.2	Структурные (мягкие и твердые) меры	38
3.2.2.1	Поднятие нормального подпорного уровня (НПУ)	38
3.2.2.2	Дополнительные внерусловые водохранилища	40
3.2.2.3	Ремонт и/или перемещение (твердых) сооружений	41
3.2.3	Неструктурные и дополнительные меры	42
3.2.3.1	Улучшение эксплуатации водохранилища с учетом управления наносами	42
3.2.3.2	Улучшение технологий, практик, мониторинга и управления	42
3.3	Отбор возможных вариантов утилизации наносов на ТМГУ	43
3.3.1	Производство добавки для верхнего слоя почвы и производство удобрений для сельского хозяйства и лесонасаждения	44
3.3.2	Создание и восстановление экологических зон и средств существования	44
3.3.3	Создание отраслей для производства строительных / инженерных материалов	45
3.3.4	Регулирование речного русла и направляющие сооружения	45
3.4	Разработка предварительных рекомендаций по решениям для ТМГУ	45
3.4.1	Срочная, основополагающая программа управления наносами и восстановления объема водохранилища	46
3.4.1.1	Регулярное ремонтное дноуглубление	46
3.4.1.2	Регулярное промывание водохранилища	47
3.4.1.3	Повышение нормального подпорного уровня (НПУ) над проектным значением	48
3.4.1.4	Пилотные мероприятия по утилизации наносов	49
3.4.1.5	Неструктурные меры	50
3.4.2	Крупномасштабные меры и вмешательства	51
3.4.2.1	Вариант 1: Капитальное дноуглубление в Русловом водохранилище с утилизацией наносов	52
3.4.2.2	Вариант 2: Строительство и/или расширение внеруслового водохранилища (-щ)	52
3.4.2.3	Вариант 3: Ремонт/перемещение сооружений	53
3.5	Разработка технической концепции управления наносами с утилизацией на ТМГУ	54
3.5.1	Общая информация	54
3.5.2	Техническая концепция	54
3.5.3	План удаления наносов и реализация	55
3.5.3.1	План и технология ремонтного дноуглубления	55
3.5.3.2	Промывание наносов	61
3.5.4	Пилотная кампания по утилизации наносов	62
3.5.4.1	Варианты утилизации наносов	62
3.5.4.2	Перевозка, удаление, обработка и переработка	63
3.5.4.3	Примеры объектов для размещения вычерпанных наносов	67
3.5.5	Борьба с эрозией и управление притоком наносов	73
3.5.5.1	Эрозия в водосборе и меры борьбы с ней	73
3.5.5.2	Борьба с эрозией и управление наносами в реке и водохранилище	74
3.5.6	Системы мониторинга, информации, прогнозирования и раннего предупреждения	75
3.6	Заключение	78
4	**Осуществимость, воздействие, выгоды и ограничения**	**80**
4.1	Введение	80
4.2	Техническая, экономическая, экологическая и социальная осуществимость и воздействие	80
4.2.1	Подход и методы	80
4.2.2	Экспресс-оценка предлагаемых мер	81
4.2.3	Возможные превентивные меры и условия	83

4.3 Вклад в принципы Нексус и Цели устойчивого развития (ЦУР) 85

4.4 Ограничения и сложности 86
4.4.1 Физические ограничения и сложности 86
4.4.2 Социальные и экологические ограничения и сложности 87
4.4.3 Экономические ограничения и сложности 87
4.4.4 Юридические и прочие ограничения и сложности 87

4.5 Заключение 87

5 Мировая практика и примеры 89

5.1 Введение 89

5.2 Решение проблем заиления в водохранилищах 89
5.2.1 Водохранилище Шимэнь (Тайвань) 91
5.2.2 Управление наносами в водохранилище Сакума (Япония) 94
5.2.3 Промывание наносов на Чамера-I и Чамера-II (Индия) 95
5.2.4 Решение нехватки воды вследствие заиления на плотине Хашм Эль Гирба (Судан) 98

5.3 Примеры модернизации плотины 100
5.3.1 Модернизация плотины в Японии 100
5.3.1.1 Общие вопросы и примеры 100
5.3.1.2 Дополнительные водовыпускные сооружения на плотине Цуруда 103
5.3.1.3 Замена плотины Оюбари 104
5.3.2 Повышение плотины Жушу (Китай) 104
5.3.3 Повышение плотины Розейрес (Судан) 105

5.4 Мировой опыт по переработке, обработке и утилизации наносов 106
5.4.1 Проект по восстановлению окружающей среды в Кубуки (Китай) 106
5.4.1.1 Общая информация 106
5.4.1.2 Государственно-частное партнерство 108
5.4.2 Проекты по дноуглублению водохранилищ и утилизации наносов компании Great Lakes Dredge & Dock Company (США) 109
5.4.2.1 Дноуглубление водохранилища Джона Редмонда 109
5.4.2.2 Дноуглубление на озере Декейтер (Фаза 2) 109
5.4.2.3 Дноуглубление в Пасс-а-Лутр 110
5.4.2.4 Дноуглубление Mosaic 110
5.4.3 Восстановительные проекты в Нидерландах (Ecoshape) 111
5.4.3.1 Проект по восстановлению природы Маркер Вадден 111
5.4.3.2 Пилотный проект по созреванию глины 112
5.4.4 Проект «Новый Суэцкий канал»: известный проект по дноуглублению 114

5.5 Заключение 114

6 Заключения и рекомендации 116

6.1 Общие заключения 116

6.2 Решение проблем заиления с утилизацией наносов на ТМГУ 116

6.3 Устойчивое управление ТМГУ 118

6.4 Ограничения и сложности 119

Выражение признательности 119

Литература 120

Приложение 1: Водные ресурсы и заиление водохранилищ в Узбекистане – некоторые факты и цифры **133**

Приложение 2: Химический и агрохимический состав образцов наносов **136**

Приложение 3: Краткий обзор национальных стратегий и практик управления удаленными наносами в некоторых странах **139**

Приложение 4: Применимость удаленных наносов для утилизации на основе вида и качества **142**

Приложение 5: Варианты обработки удаленных наносов, используемые в Ирландии **144**

1 Введение

1.1 Общая информация

Туямуюнский гидроузел (ТМГУ) был построен в нижнем течении р. Амударья в 1980 году. Это трансграничный комплекс, расположенный на территории двух стран – Узбекистан и Туркменистан. ТМГУ является важным активом многоцелевого водопользования (в основном, для питьевого водоснабжения, орошения и гидроэнергетики) и управления водными ресурсами. ТМГУ состоит из четырех взаимосвязанных водохранилищ – одного руслового водохранилища (Русловое) и трех наливных: Капарас, Султансанджар, Кошбулак. На ТМГУ есть более 30 крупных гидротехнических сооружений – плотин, водосбросов, насыпей, водозаборов и каналов. Общая проектная регулирующая способность составляет 7,8 км^3 (Олссон и др., 2011).

ТМГУ был выбран в качестве объекта для трансграничного демонстрационного проекта технического содействия Министерством водного хозяйства Республики Узбекистан и Государственным комитетом по водному хозяйству Туркменистана. Целью данного проекта является продвижение регионального сотрудничества в области водного хозяйства и энергетики с акцентом на инновационных и технических решениях, в частности для устранения проблем, связанных с наносами, на ТМГУ из-за очень большого заиления Руслового водохранилища, находящегося на р. Амударье. Объем пилотного задания также включает изучение возможностей полезной (инновационной) утилизации наносов, удаленных из водохранилища в результате землечерпательных работ. Это должно быть важным компонентом, который следует рассмотреть при подготовке целостного плана управления / смягчения по решению проблем, вызванных большим масштабом отложения наносов в водохранилище (почти 1,5 млрд. м^3).

1.2 Цель задания

Главная цель задания – предложить реализуемые возможные технические решения проблем заиления на ТМГУ. Для реализации этой цели необходимо провести количественную оценку проблем заиления ТМГУ, вызванных большим масштабом отложения наносов в Русловом водохранилище, включая обзор текущих практик и исследований, которые были выполнены ранее или проводятся сейчас. Один из важных аспектов предлагаемых решений – изучение возможности утилизации удаленных наносов. Это мероприятие также включает демонстрацию подтвержденных международных практик, которые могут быть уместны для региона в целом и для ТМГУ в частности с учетом того, что каждый объект проекта отличается и имеет свои собственные экологические, социальные, экономические и инженерные сложности.

Задание состоит из двух основных аспектов: (i) оценка проблем заиления (количественная и качественная), (ii) управление вызовами, связанными с заилением, с учетом утилизации наносов. Необходимо подчеркнуть, что решение проблем заиления в русловом водохранилище, особенно на фоне больших, долгосрочных морфологических изменений, – сложная задача. Надлежащее решение проблем заиления требует детальной, тщательной оценки и анализа, учитывающего техническую, экономическую, а также социальную и экологическую осуществимость и воздействие. В связи с этим, было также предложено провести оценку других структурных и неструктурных решений как возможных альтернатив крупномасштабному плану удаления наносов, который может быть неэффективным из-за социальных, экономических и экологических ограничений и воздействия.

1.3 Задачи и подходы

1.3.1 Проведение обзора

Эта задача касается обзора имеющейся информации и отчетов, связанных с ТМГУ. Уже есть значительный объем документов и материалов по проекту, которые помогают в проведении комплексной оценки и анализа текущего состояния дел на ТМГУ, его эксплуатации и других прошлых и настоящих мероприятий. Кроме того, есть данные и технические отчеты о заилении водохранилища (количественная оценка временных изменений в потерях объема за несколько лет), а также анализ механических и химических характеристик наносов в Русловом водохранилище (Икрамова, 2021; Широкова, 2022). Оценить качество данных, особенно химической классификации наносов, не представляется возможным. Кроме того, мы не рассматривали детальную химическую классификацию наносов. Эти отчеты также включают методы прогнозирования заиления водохранилища и предварительные рекомендации по техническим решениям для эксплуатации водохранилища и утилизации наносов. Более того, мы подготовили краткий обзор и представили некоторые мировые практики управления наносами и их утилизации, которые могут быть уместными для начала обсуждения решений по ТМГУ.

1.3.2 Рекомендации по решению проблем заиления на ТМГУ

Эта задача сосредоточена на отборе вариантов и альтернатив (текущих, структурных, неструктурных) для решения проблем заиления на ТМГУ, связанных со значительным объемом наносов в Русловом водохранилище. По результатам детального обзора проблем, анализа характеристик, количества и качества наносов в Русловом водохранилище в сочетании с обсуждениями с различными заинтересованными сторонами и органами управления водохранилища, вырабатываются рекомендации по всем потенциально возможным вариантам и альтернативам мер и решений. Предлагаемые методы и варианты также основываются на обзоре современного мирового опыта и практики.

1.3.3 Разработка концепции (-ий) потенциальной утилизации наносов на ТМГУ

Цель этой задачи – выработка рекомендации со всеми возможными вариантами утилизации наносов из Руслового водохранилища, исходя из подходящего использования наносов, местной ситуации и существующей мировой практики. Мы разрабатываем специальный подход для объекта и набор рекомендаций, целесообразных для ТМГУ, на основе комплексного анализа проблем в сочетании с собранной информацией и выводами передовой мировой практики и опыта. Эти рекомендации следует использовать при проведении оценки технической, социальной, экономической и экологической осуществимости и воздействия.

1.3.4 Участие в обсуждениях и мозговом штурме по подготовке анализа выгод-затрат технических решений

В соответствии с содержанием задания, эксперт Глобального Нексус Секретариата должен подготовить анализ выгод-затрат по предлагаемому техническому решению (-ям). Мы тесно сотрудничаем с заинтересованными сторонами проекта и предоставляем свою информацию, комментарии и предложения, по мере необходимости. Кроме того, мы активно участвуем в семинарах, обмене знаниями, обсуждениях и мозговых штурмах по различным аспектам проекта, связанным с проблемами заиления в Русловом водохранилище, предлагаемому техническому решению (-ям), включая утилизацию, их воздействию и осуществимости дальнейших мер.

1.4 Содержание отчета

Глава 1 отчета содержит общее введение. Обзор и исследование, касающееся понимания системы и проблем ТМГУ, отражены в Главе 2, в которой мы

охарактеризовали проблемы, требующие решения. Описание мировой практики и примеры решения проблем заиления, утилизации наносов и других структурных мер по реабилитации плотины содержатся в Главе 3. Экспресс-отбор возможных мер, включая утилизацию наносов, которые могут быть потенциально применимыми к ТМГУ, для решения проблем заиления описан в Главе 4 (т.е. обзор вариантов представлен в Главе 3, а более подробное описание – в Главе 4). Эта глава также включает краткое описание предварительных рекомендаций по комбинации мер и альтернативам для ТМГУ. В Главе 5 мы обсуждаем осуществимость, преимущества и ограничения, связанные с предлагаемыми мерами и решениями. Эта глава также содержит описание принципов Нексус и Целей устойчивого развития (ЦУР) и того, как реализуемые на ТМГУ меры могут способствовать их достижению. Глава 6 посвящена общим выводам и рекомендациям. Отчет также включает приложения с соответствующей дополнительной информацией.

2 Изучение информации об эксплуатации ТМГУ и его текущем состоянии

2.1 Введение

Амударья – крупнейшая река в Центральной Азии (Рисунок 2-1), площадь ее водосборного бассейна составляет 534 739 км^2 (сократилась до 309 км^2, так как речной поток из Зеравшана и Кашкадарьи уже не доходит до Амударьи), а длина равна 2 620 км. Речная сеть находится, в основном, на территории четырех стран Центральной Азии, а именно Таджикистана, Узбекистана, Туркменистана и Афганистана. Главные притоки: Пяндж, Вахш (Амударья начинается, когда река Пяндж впадает в реку Вахш), Кафирниган, Шерабад, Сурхандарья, Кундуз (левый приток). Согласно одному из отчетов, годовой сток реки составляет около 78.4 км^3 при этом наполняемость составляет 29,8 млрд. м^3 (в разных источниках приводятся разные показатели). Река в значительной степени регулируется (примерно 80%) более чем 35 водохранилищами объемом свыше 10 млрд. м ^{3} (Духовный и др., 2018). Есть две большие системы водохранилищ – Нурек и ТМГУ. Вдоль реки и притоков есть и другие водохранилища и каналы (например, Каракум, Карши, Аму-Бухара).

ТМГУ, который был введен в эксплуатацию в 1983 году, находится в нижнем бьефе р. Амударьи, разделяющей две центральноазиатские страны – Узбекистан и Туркменистан. Это трансграничный гидрокомплекс, имеющий огромное значение для окружающего региона в обеих странах. Это гидроэнергетический комплекс многоцелевого назначения, используемый для орошения, водоснабжения и гидроэнергетики, который имеет большое значения для жизнеобеспечения 5,3 миллионов человек в обеих странах. Окружающий регион относится к пустынной зоне, лишенной растительности или со скудной растительностью. Карта землепользования и растительного покрова (LULC) этой зоны изображена на Рисунок 2-2, показывающем масштабы сельскохозяйственных угодий. Общее сельскохозяйственное производство составляет 117 млрд. узбекских сумов, или около 53% в секторе растениеводства и 47% в секторе животноводства (согласно данным 2018 года, УзНКИД, 2020). Важно отметить, что ниже по течению от ТМГУ есть еще одно крупное гидросооружение в Каракалпакстане, а именно Тахиаташский гидроузел (Рисунок 2-3) с пропускной способностью более 10 500 м^3/сек (УзНКИД, 2020). Некоторые факты и рисунки по водным ресурсам, а также проблемам заиления водохранилища, содержатся также в Приложении 1.

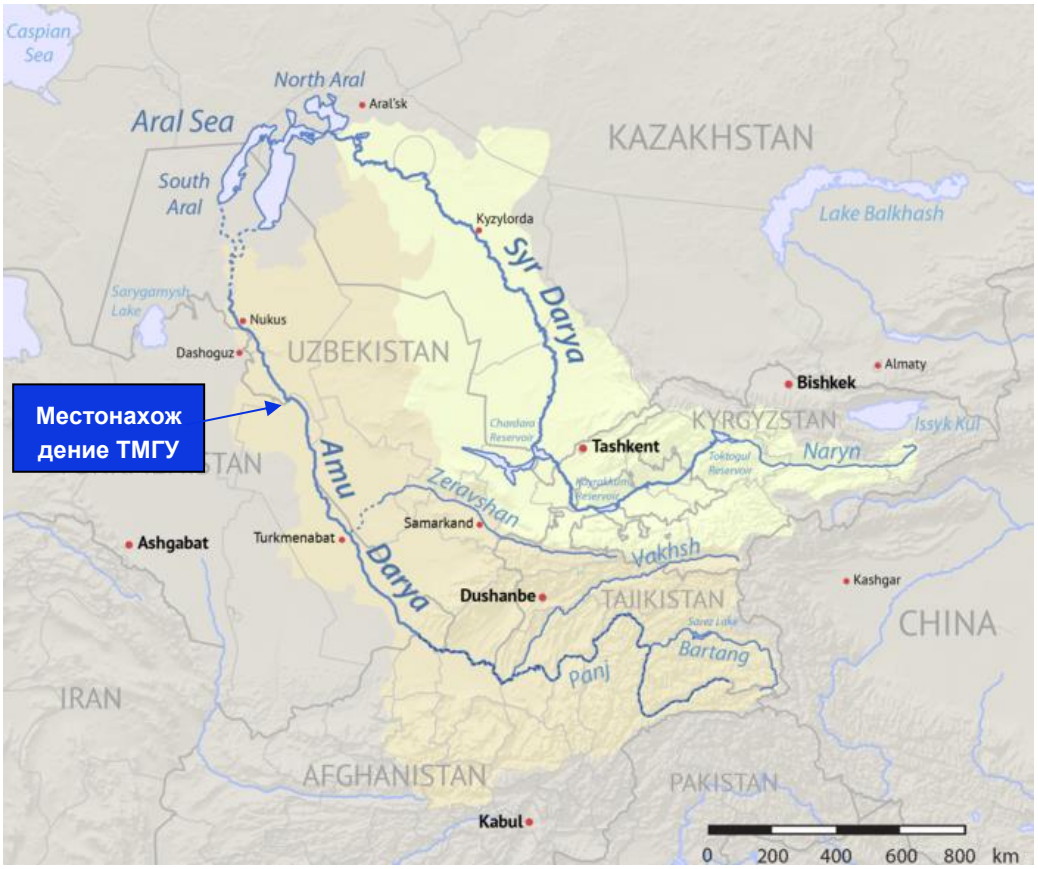


Рисунок 2-1 Реки Амударья и Сырдарья в бассейне Аральского моря (Источник: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Aral_Sea_watershed.png)

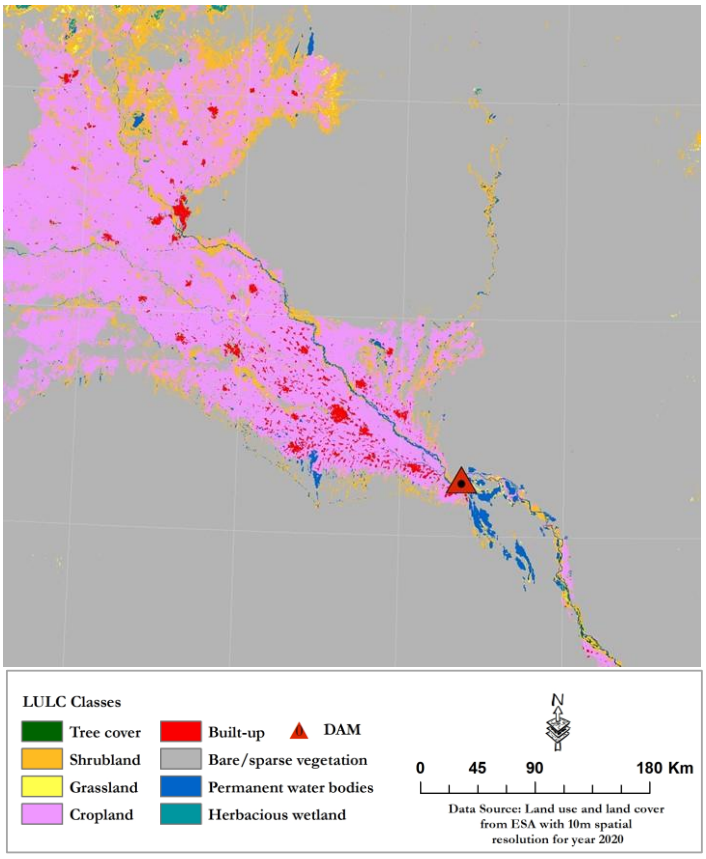


Рисунок 2-2 Карта землепользования и растительного покрова (LULC) в зоне вокруг ТМГУ

Рисунок 2-3 Тахиаташский гидроузел, расположенный ниже по течению от ТМГУ, в Каракалпакстане (УзНКИД, 2020)

2.2 Повторное рассмотрение проблем заиления на ТМГУ

2.2.1 Сфера исследования – ТМГУ и его функции

2.2.1.1 Комплекс водохранилища и головные сооружения

Гидрокомлекс со всеми русловыми и внерусловыми водохранилищами и головными сооружениями показан на Рисунок 2-4. Русловое водохранилище находится на главной реке, Амударье. В левой пойме есть три внерусловых водохранилища, находящиеся на территории Туркменистана (граница между двумя странами проходит посередине Руслового водохранилища).

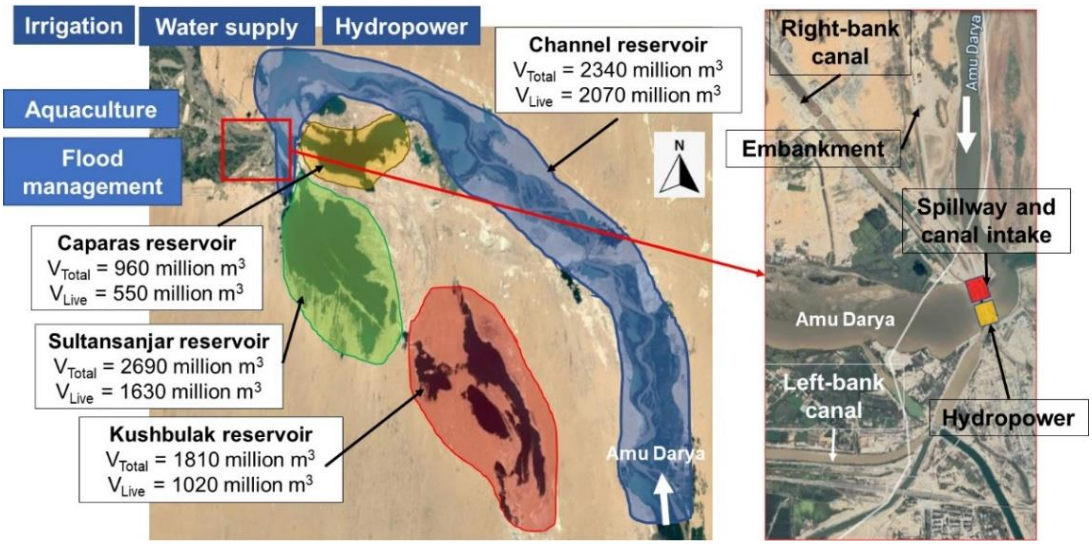


Рисунок 2-4 Комплекс водохранилищ (слева) и головные сооружения (справа)

Головные сооружения включают водослив (Рисунок 2-5), донные отверстия (Рисунок 2-6) и гидроэлектростанцию (Рисунок 2-7). Они также включают водозаборы левобережных и правобережных каналов, которые изображены на Рисунок 2-8 и Рисунок 2-9, соответственно. Наличие донных отверстий означает, что головные сооружения оснащены системой слива. Дно донных отверстий, гидроэлектростанции и водозаборов находится на том же уровне, 110 м. Ниже указаны некоторые характеристики:

- Год ввода в эксплуатацию – 1980 г
- Нормальный подпорный уровень водохранилища = 130 м (максимальный / принудительный уровень – 131,5 м)
- Минимальный уровень сработки = 106 м

- Изначальный уровень дна возле плотины = 110 -112,5 м
- Длина / высота водослива = 141 м / 34 м (головное сооружение = 24 м)
- Пропускная способность водослива (с 8 затворами) = 920 м^3/сек (каждый затвор)
- Уровень гребня водослива = 118 м (Рисунок 2-5)
- Пропускная способность донного отверстия = 8 700 м^3/сек
- Уровень порога донного отверстия = 110 м (Рисунок 2-6)
- Высота / длина земляной плотины = 34 м /900 м
- Уровень гребня земляной плотины = 134 м
- Общая мощность гидроэлектростанции = 150 МВт (25 МВт * 6 турбин).

Головные сооружения также включают замок для пропуска судов (хотя это не ясно). Есть также и другие сооружения, например, водозаборные сооружения для соединения с другими внерусловыми водохранилищами.

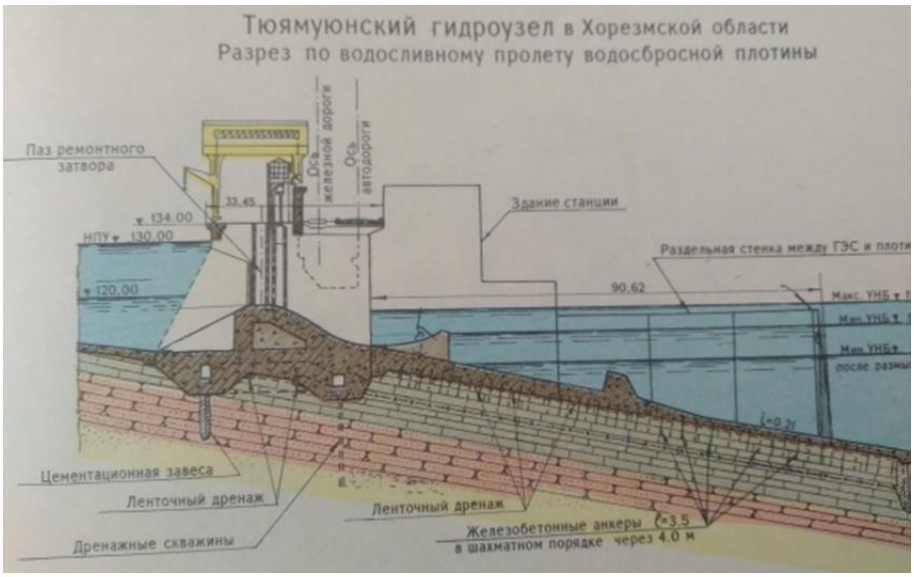


Рисунок 2-5 Разрез по водосливному пролету

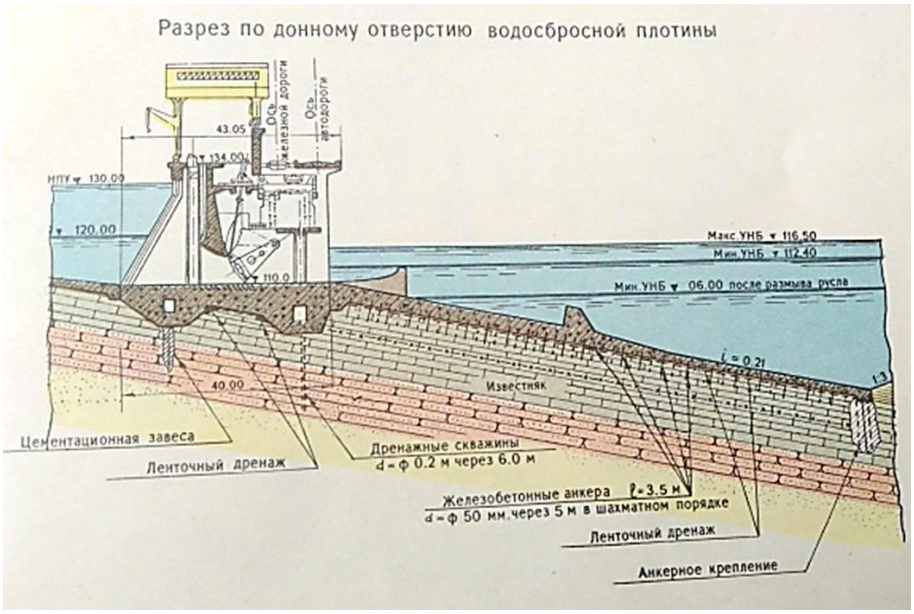


Рисунок 2-6 Разрез по донному отверстию

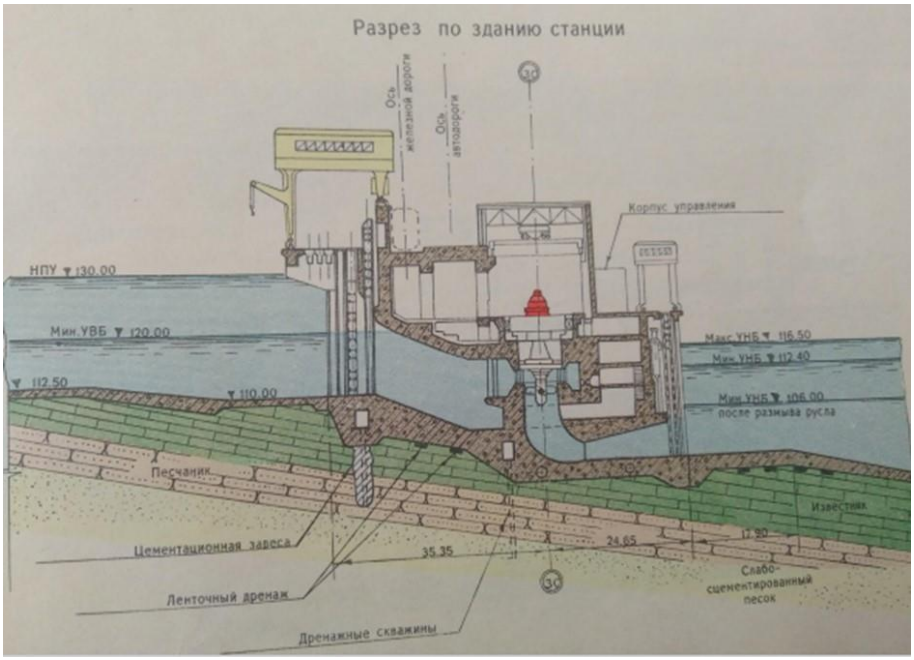


Рисунок 2-7 Разрез по зданию электростанции

Рисунок 2-8 Разрез по левобережному каналу

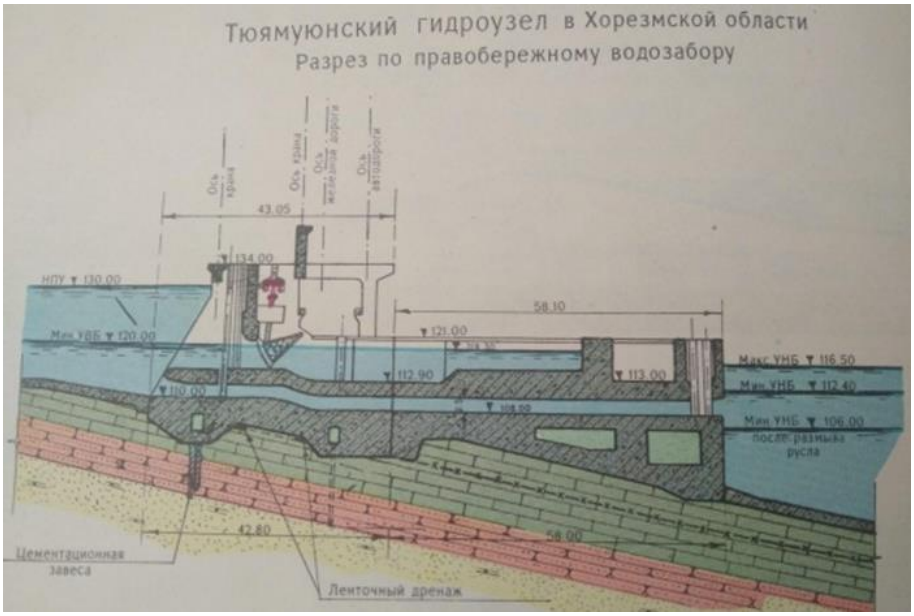


Рисунок 2-9 Разрез по правобережному каналу

2.2.1.2 Сельское хозяйство, аквакультура, питьевое водоснабжение

Сельское хозяйство – основной сектор, использующий большую часть аккумулированных водных ресурсов в Узбекистане. Так, согласно данным 2018 года, более 90% забора воды использовалось для сельского хозяйства (УзНКИД, 2020). На территории комплекса также осуществляется деятельность, связанная с аквакультурой (при поддержке властей).

Гидросооружение от ТМГУ до Тахиаташского гидроузла вдоль р. Амударьи регулируется Управлением эксплуатации ТМГУ, включая зону орошения, а именно Хорезмскую область, Берунийский и Турткульский районы в Каракалпакстане (Узбекистан), а также Дашогузский велаят (Туркменистан), как показано на Рисунок 2-10 (ирригационные системы в Туркменистане и Узбекистане изображены на Рисунок 2-11 и Рисунок 2-12). Общая территория, орошаемая ТМГУ, составляет 782 257 гектар и 273 734 гектар в Узбекистане и Туркменистане, соответственно (в разных источниках указаны разные значения). Для возврата воды есть водосборные системы.

Питьевое водоснабжение – одна из важных функций ТМГУ. Для питьевого водоснабжения в основном используется вода из Капарасского водохранилища. Оно обеспечивает гарантированное снабжение воды в объеме около 0,15 км^3 (согласно данным 2011 года).

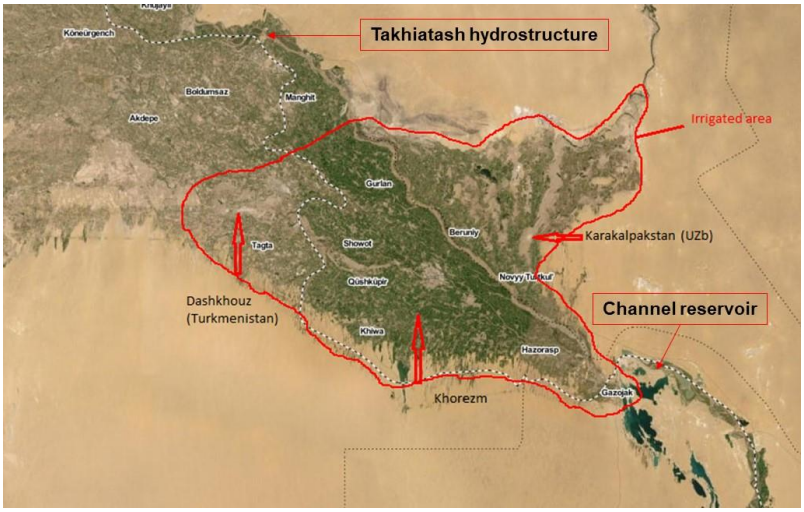


Рисунок 2-10 Зона, орошаемая ТМГУ, в Узбекистане и Туркменистане

№ п/п	Наименование районов	Колхозы	Площадь орошения
1	Акдепе	17	45 355
2	С.А.Ниязов	18	72 297
3	Гороглы	14	41 760
4	Гурбансолтан Эдже	14	89 671
5	Рухыбелент	10	17 651
Всего:		*73*	*273 734*

Рисунок 2-11 Ирригационная система в Туркменистане, охваченная ТМГУ

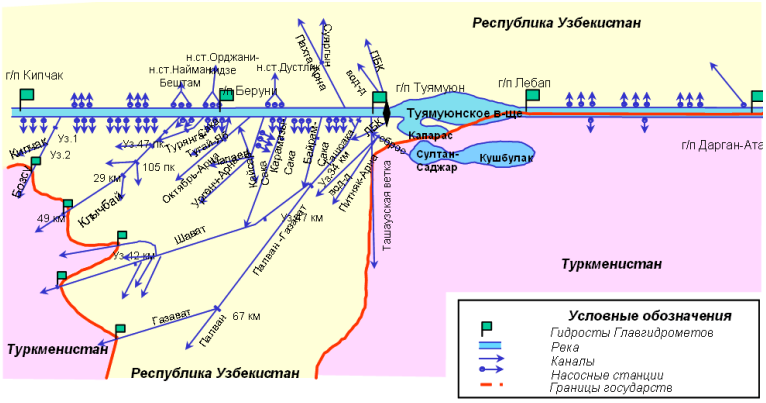


Рисунок 2-12 Ирригационная система в Узбекистане, охваченная ТМГУ

2.2.1.3 Управление паводками

ТМГУ контролирует поток р. Амударьи и регулирует сезонный гидрологический режим реки, также с учетом находящегося ниже по течению Тахиаташского гидроузла в Узбекистане. Не ясно, учтено ли надлежащим образом управление паводками в регулировании эксплуатации водохранилища. Из-за высокого спроса на воду для орошения, водоснабжения и гидроэнергетики, возможно, выделенного объема для

управления паводками нет. Тем не менее, водохранилище должно иметь возможность для сброса паводковых расходов при чрезвычайных гидрометеорологических условиях.

2.2.2 Анализ гидрологических данных и информации о наносах

2.2.2.1 Наличие и полезность данных

Краткое описание наличия и полезности данных:

- Есть значительный объем надежных данных и информации о потоке и переносе наносов, который позволяет понять систему и процессы, касающиеся проблемы ТМГУ и Руслового водохранилища, в частности.
- Есть хорошие измерения и анализ проблем заиления и морфологических изменений, в частности касающихся потери объема, которые дают ясное количественное представление о проблеме.
- Некоторые результаты, представленные в прошлых исследованиях, требуют повторного анализа для оценки их согласованности, включая цели данных по отношению к ТМГУ.
- Эти данные и анализ важны для подготовки управления наносами, а также для удаления наносов в рамках планов утилизации.
- Наиболее важных данных (механические и химические характеристики наносов, отложенных в водохранилище) все еще нет (есть измерения по химическим свойствам 10 давности, включающие ограниченный набор загрязняющих веществ с ссылкой на стандарты наносов США и ЕС, но за этот период могли произойти некоторые изменения). Они очень важны для отбора и анализа вариантов удаления, обработки и утилизации наносов и, в конечном счете, для выбора технологий.

2.2.2.2 Поток и сток наносов

На основе обзора и экспресс-анализа имеющихся данных о характеристиках потока и переноса наносов, установлены следующие основные аспекты:

- Динамика среднегодового сброса (приток в водохранилище) изображена на Рисунок 2-13, который показывает, что сброс варьируется между 400 м^3/сек и 2 000 м^3/сек, указывая на понижающую тенденцию в течение последних 15 лет.
- Динамика годовых объемов притока воды в Русловом водохранилище за последние 42 года изображена на Рисунок 2-14. Можно сделать следующие заключения:
    - Разница между максимальным (многоводным годом) и минимальным (маловодным годом) объемом годового притока за этот период почти четырехкратная (максимальный и минимальный объем притока составляют около 54 км^3 и 13 км^3 и наблюдались в 1991 и 2021годах, соответственно).
    - Средний объем годового притока за период с 1979 по 2021 год составил около 31 км^3.
    - Колебания в объемах притока воды в водохранилище указывают на понижающую тенденцию в течение последних 15 лет. Это может быть связано с увеличением задержания / забора воды в верхних бьефах и водосборах. Этот вопрос необходимо изучить детально, так как это важный аспект оптимального решения проблем заиления в Русловом водохранилище (некоторые причины, судя по всему, связаны с увеличением задержания и отвода воды в верхних водосборах, например, в Каракумском канале, а также с сокращением ледников).
- На основе имеющихся данных вычисляются среднемесячные объемы потока и наносов в местах притока и оттока в Русловом водохранилище (см. Рисунок 2-15). Несколько важных наблюдений:
    - Объемы притока и оттока воды не сильно отличаются, в то время как приток и отток наносов отличаются значительно. Это означает, что большой объем наносов задерживается в Русловом водохранилище, несмотря на выпуск

значительного объема потока воды через водохранилище. Это может быть связано с тем, что Русловое водохранилище довольно большое по длине (в настоящее время ~80 км) и находится на плоской территории. Таким образом, наносы оседают в водохранилище из-за подпора воды, даже когда отток почти равен притоку воды.

- Пиковый объем потока наблюдается в июле, в то время как пиковый сток наносов наблюдается в мае. Это может быть связано с характеристиками водосбора, которые приводят к большим объемам наносов в начале паводкового периода (т.е. в мае). Этот вопрос можно более подробно дополнительно изучить, так как он имеет большое значение для усилий по управлению наносами.
- Большой объем наносов переносится в период снеготаяния, т.е. с мая до августа (более 70% общего стока наносов).

- Динамика среднемесячной концентрации наносов в верхней и нижней части Руслового водохранилища также показывает большую разницу, указывающую на значительно более чистый отток воды (Рисунок 2-16). Это также показывает воздействие водохранилища на заиление. Пиковая концентрация в верхней части наблюдается в мае (следовательно, и сток наносов, как отмечалось выше).
- Некоторые прошлые исследования показывают, что сток наносов варьируется в зависимости от гидрологических характеристик года, например, годовой сток наносов составляет 30-40 миллионов тонн в маловодные годы, в то время как в многоводные годы он достигает 150-170 миллионов тонн (указанное выше значение относится к средним по многоводности годам).

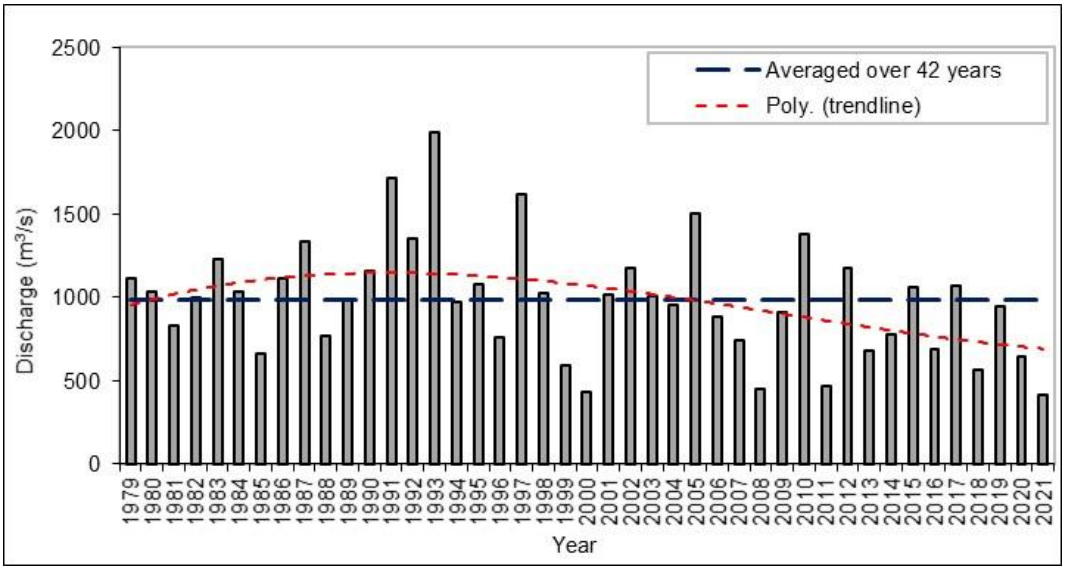


Рисунок 2-13 Динамика среднегодового сброса (приток в водохранилище)

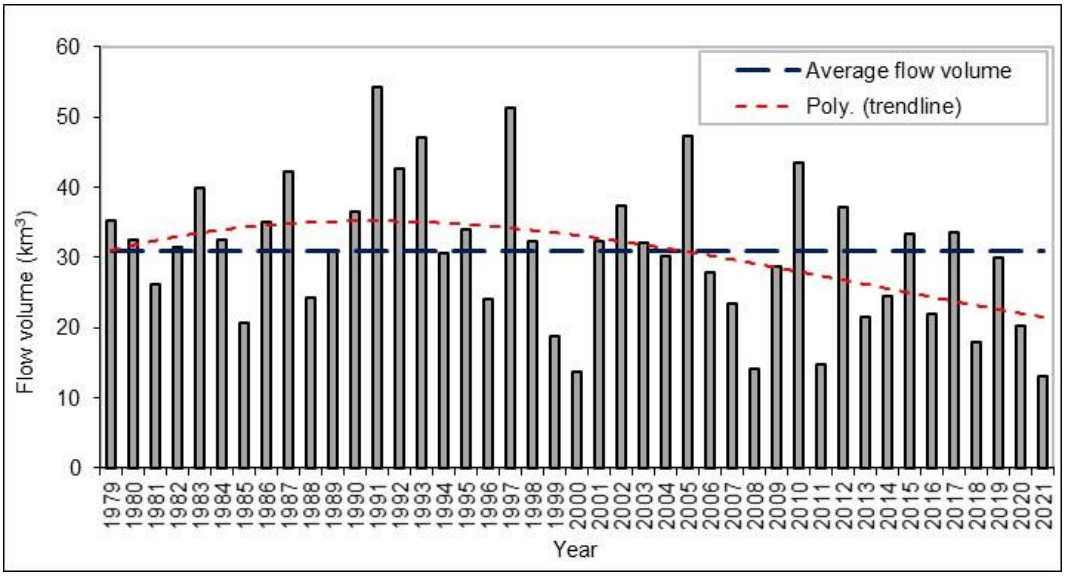


Рисунок 2-14 Динамика годовых объемов притока воды в Русловом водохранилище

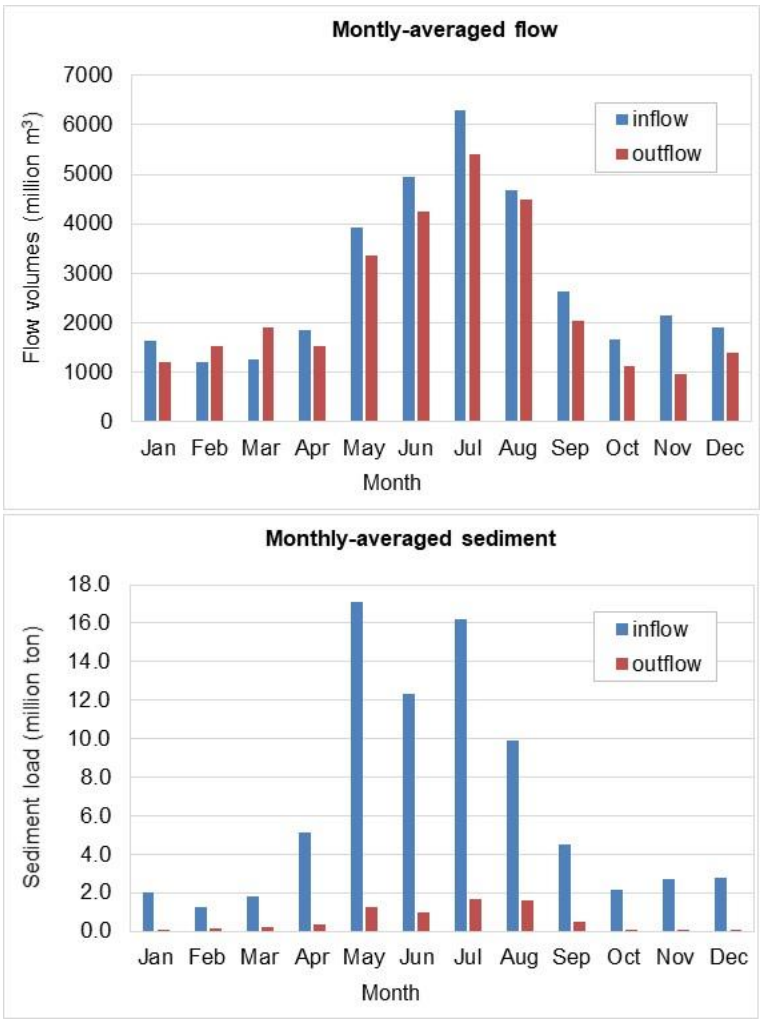


Рисунок 2-15 Динамика среднемесячного сброса воды (верхний график) и наносов (нижний график) в местах притока и оттока воды в Русловом водохранилище

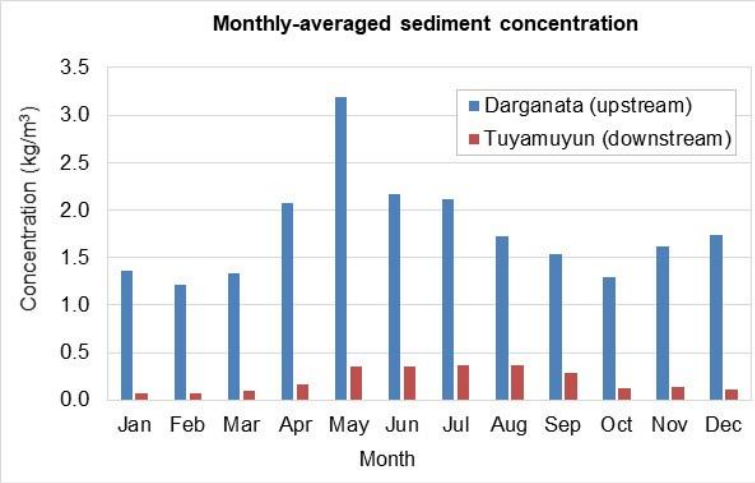


Рисунок 2-16 Среднемесячная концентрация наносов в верхней и нижней частях Руслового водохранилища

2.2.2.3 Морфологические изменения в Русловом водохранилище

Есть эпизодические измерения глубины Руслового водохранилища. Последнее измерение проводилось в 2021 году. Некоторые характеристики морфологических изменений в Русловом водохранилище по результатам измерений:

- Кривые объема на уровне водохранилища за три (3) выбранных года (включая начальный и последний годы), изображенные на Рисунок 2-17, показывают значительную потерю объема, даже в нормальном подпорном уровне (130 м). Общая потеря объема составляет примерно 1,48 млрд. м^3, т.е. 63% общего начального объема (2,34 млрд. м^3)
- Объем ниже уровня 124 м был почти полностью потерян в 2021 году (проектный уровень мертвого объема – 120 м). Потеря объема на этом уровне составляет около 31% общего начального объема (включая мертвый объем, который составляет около 11% общего объема). Потеря объема между уровнями 124 м и 130 м (нормальный подпорный уровень) составляет 32% общего начального объема.
- Мертвый объем был полностью потерян уже в 2008 году.
- Исходя их имеющихся данных (см. Рисунок 2-18), можно заключить, что более большие объемы наносов были отложены в верхнем бьефе (≈ 720 млн. м^3) и меньше возле плотины (≈ 120 млн. м^3). Однако отложение наносов возле плотины существенно увеличилось в 2021 году (≈ 812 млн. м^3). Это означает, что большая часть наносов из верхней части (если не все) в 2008 году передалась в зону плотины в 2021 году.
- Примерно 200 млн. м ^{3} наносов оседает в пределах 10 км вверх по течению от плотины, как показывают измерения, сделанные в 2021 году.
- Кроме того, мы попытались дать количественную оценку площади заиления вдоль бьефа возле головных сооружений (в пределах 10-15 км) при помощи автоматизированного онлайн-инструмента Aqua Monitor на основе углубленной обработки спутниковых изображений, разработанных Deltares, чтобы составить количественную оценку изменений в местах нахождения воды между выбранными годами. Инструмент можно использовать (внимательно) для количественной оценки морфологических изменений (заиление и эрозия) в крупных реках и водохранилищах. Морфологические изменения между 2008 и 2022 годом вдоль Руслового водохранилища, в частности возле головных сооружений, показаны на Рисунок 2-19. Он показывает большой масштаб заиления на этой территории. Это соответствует наземным измерениям. Инструмент не может определить изменения ниже минимального уровня воды, так как спутниковые изображения их не

охватывают. Тем не менее, этот инструмент полезен в случае рек и водохранилищ, которые почти высыхают в маловодные периоды.

- Сравнение продольных профилей 1981 и 2021 годов демонстрирует большие масштабы заиления вдоль Руслового водохранилища, при котором осажденный слой достигает 15 м возле плотины и вызывает значительное изменение наклона ложа водохранилища (см. Рисунок 2-20).
- Потеря объема в 1981-2021 годах более или менее соответствует балансу наносов между притоком и оттоком воды в водохранилище (см. Раздел 2.2.2.2 выше).

Очевидно, что Русловое водохранилище страдает от заиления со времени ввода в эксплуатацию. Серьезности проблемы можно было бы избежать, если мы меры были приняты хотя бы в 2008 году, когда большой объем осевших наносов еще был в верхнем бьефе (есть и более ранние измерения). Возможно, ранее принимались некоторые меры, но информации о каких-либо прошлых мерах по управлению наносами нет. Было бы полезно знать, принимались ли какие-либо меры, и почему они оказались неэффективными и / или не были реализованы. Эта информация бы помогла в дальнейшей работе.

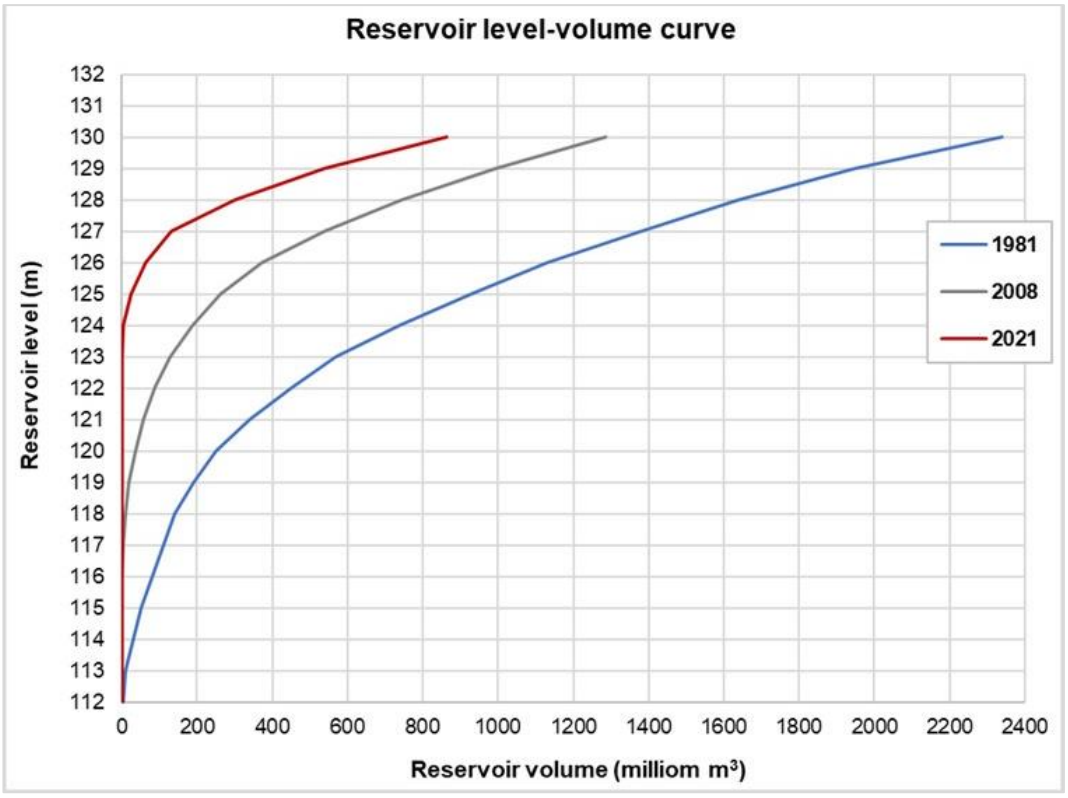


Рисунок 2-17 Кривые объема на уровне водохранилища за три года (включая начальный 1981 год)

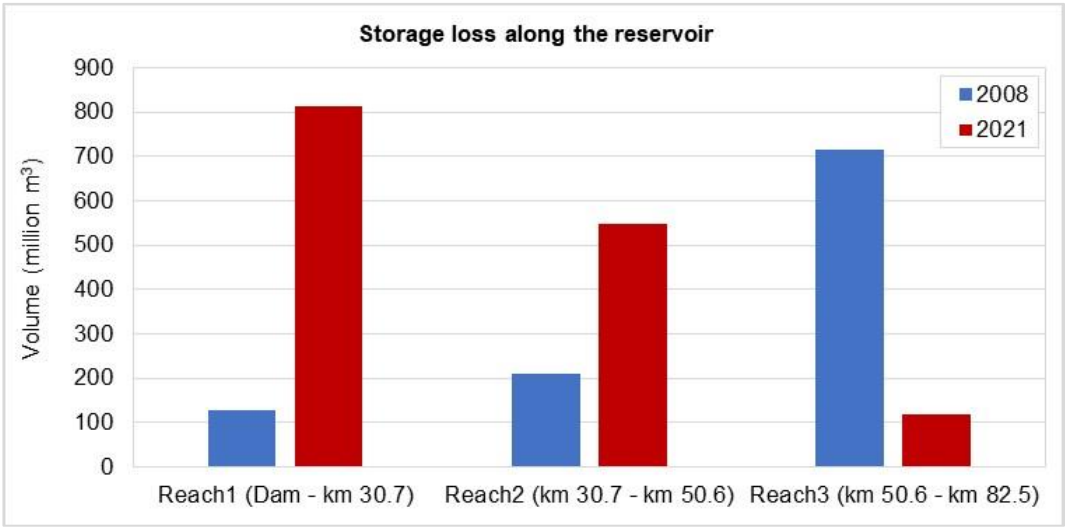


Рисунок 2-18 Сравнение потери объема вдоль Руслового водохранилища между 2008 и 2021 годом

Рисунок 2-19 Зоны заиления (обозначено зеленым цветом), сформировавшиеся в 2008-2022 годах вдоль Руслового водохранилища возле головных сооружений (количественная оценка Aqua Monitor на основе спутниковых изображений)

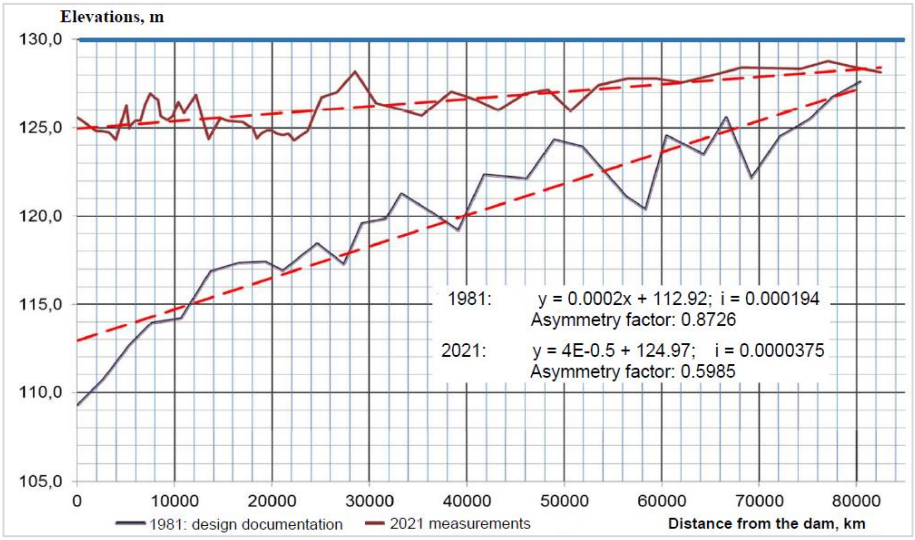


Рисунок 2-20 Сравнение продольных профилей между начальным годом (1981) и последним годом (2021) вдоль Руслового водохранилища (Икрамова, 2021)

2.2.2.4 Состав наносов и потенциал утилизации

Для измерения механического и химического состава наносов и воды были проведены две разные полевые кампании: 14-24 июня 2021 года со стороны Туркменистана (уровень возле плотины – 126 м), и 5-15 августа со стороны Узбекистана (уровень возле плотины – 125 м) (Широкова, 2022). Измерения проводились в лаборатории по образцам осевших наносов и воды из выбранных мест вдоль Руслового водохранилища. Некоторые факты и показатели, а также замечания, основанные на обзоре и экспресс-анализе измеренных данных, представлены ниже:

- Места взятия образцов наносов и воды ограничиваются нижней половиной водохранилища (т.е. возле головных сооружений и внерусловых зон). Однако нет информации о глубине взятия образцов. Кроме того, не ясно, какие правила были использованы в стратегии взятия образцов наносов. Механический и химический состав наносов в верхней части может отличаться. В будущем нужно будет их учесть, так как наносы в верхней части водохранилища тоже могут быть удалены (вычерпаны) и утилизированы.
- На основе данных измерений мы составили график содержания фракций по всем образам осевших наносов вдоль Руслового водохранилища (преимущественно в нижнем бьефе), который изображен на Рисунок 2-21. Кроме того, по некоторым образцам были подготовлены кривые распределения гранулометрического состава (Рисунок 2-22). Можно отметить следующее:
    - Большинство образцов имеют большое содержание фракций размером 0,01-0,05 мм (более 45%, за исключением трех образцов).
    - Один образец показывает высокое содержание крупных фракций, а именно примерно 39% фракций размером 0,1-0,25 мм и 37% фракций размером более 0,25 мм. Между тем, все другие образцы почти не содержат фракции размером более 0,1 мм.
    - Средний диаметр (D_{50}) варьируется в диапазоне от 0,003 мм до 0,2 мм. Однако в большинстве образцов он находится в пределах от 0,01 мм до 0,02.
    - Содержание глины в образцах измерялось отдельно от песочных фракций. Оно в большой степени варьируется в разных образцах, т.е. от 2,4% до 82%. Минимальное содержание глины (2,4%) обнаружено в образце с наиболее крупными фракциями (D_{50} примерно 0,2 мм), в то время как максимальное содержание глины (82%) обнаружено в образце с более мелкими фракциями (D_{50} примерно 0,003 мм).

- Из водохранилища взято 13 образцов воды для измерения концентрации наносов (в основном, вдоль нижнего бьефа водохранилища, как и образцы наносов). Результаты изображены на Рисунок 2-23 и показывают, что концентрация наносов варьируется между 0,7 г/л и 3,85 г/л.
- Химический анализ образцов наносов и воды показывает следующее (некоторые результаты лабораторных анализов представлены в Приложении 2 на основе отчета Широковой, 2022):
    - Вредных (токсичных) и/или опасных веществ и загрязнения в образцах наносов нет. Кроме того, образцы содержат полезные элементы в следовых количествах, например, железо, медь, бор, магний, цинк, марганец, кобальт, молибден.
    - Определение гумуса и общего содержания питательных веществ (значения АФК) с использованием принятого в агрохимии метода показывает, что образцы наносов можно отнести к «низким» и «очень низким».
    - Химический состав образцов воды показывает, что у них – очень хорошие свойства, например, pH от 6.9 до 8,0; электропроводимость менее 1дСм/м, общее количество растворенных твердых веществ менее 1г/л (за исключением одного образца). Это означает, что вода подходит для питья и других бытовых, промышленных и ирригационных целей.
    - Сравнение предельной допустимой концентрации и фактического содержания тяжелых металлов в образцах наносов показывает, что присутствие тяжелых металлов не представляет опасности по всем показателям во всех образцах (за исключением одного образца глины). Фактическое содержание вредных элементов – ниже предельной допустимой концентрации, причем по некоторым элементам в 50-60 раз.
    - Учитывая результаты химического анализа, можно заключить, что наносы подходят для всех видов утилизации (биотической и абиотической).
- Кроме того, было проведено экспериментальное исследование по потенциальной утилизации наносов из Руслового водохранилища (Центрально - Азиатским институтом экологических исследований в 2022 году). Некоторые факты и показатели этого исследования:
    - Лабораторный эксперимент касался применимости наносов из водохранилища в производстве строительных материалов (в этом случае – кирпичей)
    - Были взяты три разных виды образцов из разных регионов и с разной глубины Руслового водохранилища, которые описаны в отчете (Рисунок 2-24).
    - По всем трем образцам был проведен химический анализ. Результаты представлены в Таблица 2-1. Некоторые показатели существенно отличаются в трех образцах. Все показатели – в пределах допустимой нормы.
    - Были проведены различные эксперименты. Кирпичи были сделаны без каких-либо добавок (Рисунок 2-25).
    - Рекомендовано рассмотреть и другие варианты использования, например, в сельском хозяйстве и животноводстве.
    - Результаты экспериментов необходимо дополнительно скрупулезно изучить с учетом крупномасштабного коммерческого применения и повышения ценности.
- Образцы наносов были взяты из верхнего слоя ложа водохранилища. Учитывая, что осажденный слой довольно большой (до 15 м возле плотины), и под ним, судя по всему, есть более старые отложения, только состав и качество верхнего или поверхностного слоя могут не быть репрезентативными для всех осажденных наносов. Таким образом, необходимо оценить образцы из более глубоких слоев. Это должно быть учтено в будущих исследованиях и проектах.

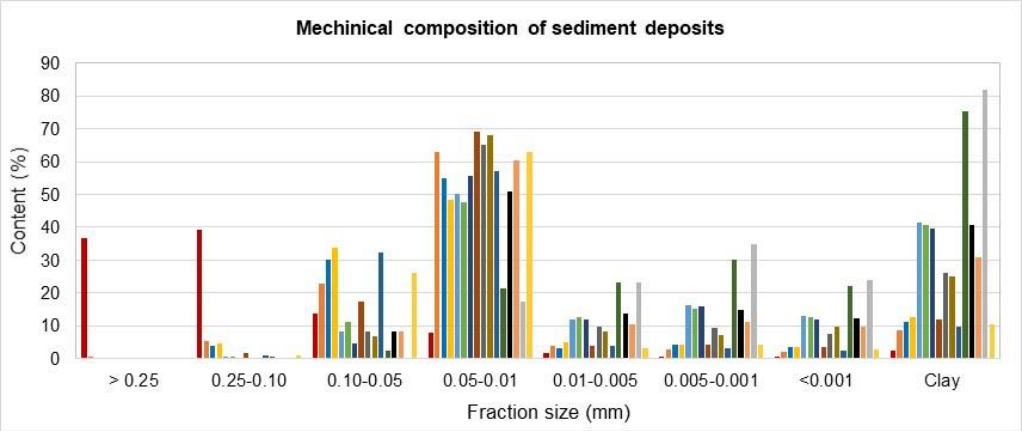


Рисунок 2-21 Содержание фракций наносов в разных образцах (столбцы одинакового цвета по всем размерам фракций относятся к одному образцу – было взято 16 образцов наносов вдоль водохранилища)

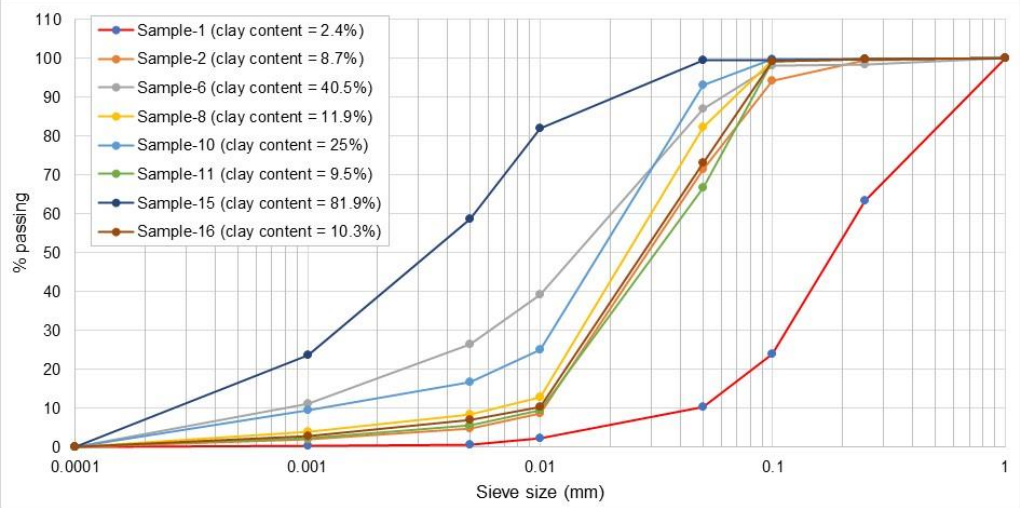


Рисунок 2-22 Кривая распределения гранулометрического состава по некоторым образцам из Руслового водохранилища

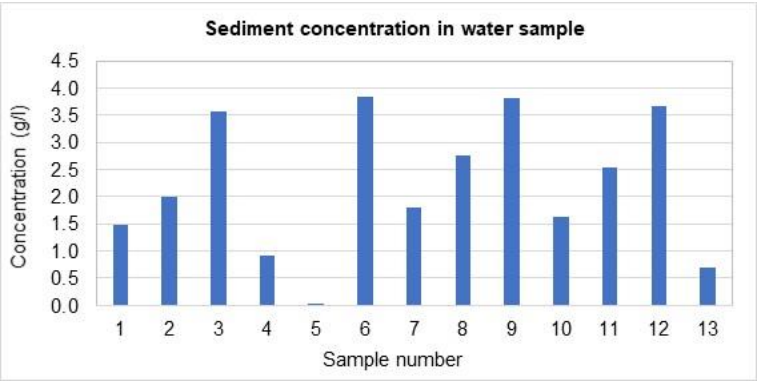


Рисунок 2-23 Концентрация наносов (мутность) в образцах воды (было взято 13 образцов воды вдоль водохранилища)

Рисунок 2-24 Образцы, взятые для лабораторных экспериментов (слева – почва из ложа водохранилища; посередине – песчаная почва; справа – глиняная почва) (Центрально-Азиатский институт экологических исследований, 2022)

Таблица 2-1 Химический состав трех образцов, указанных выше (Центрально-Азиатский институт экологических исследований, 2022) – таблица (справа) показывает проверенные элементы в переводе на английский.

№	Определяемый показатель	Норма по НД	Результаты, мг/кг		
			Почва 1	Почва 2	Почва 3
1	pH, мСм/см		7,99	7,91	7,69
2	Нефтепродукты, мг/кг		< 5,0	< 5,0	< 5,0
3	Хлорид-ион, мг/кг		30,5	88,5	485,7
4	Нитрат-ион, мг/кг	130	8,66	12,8	< 3,0
5	Сульфат-ион, мг/кг		98,7	140,1	1573
6	Фторид-ион, мг/кг	2,8	3,1	14,6	< 1,0
7	Фосфат-ион, мг/кг		40,1	34,7	< 3,0
8	Аммоний, мг/кг		2,9	2,6	< 2,0
9	Калий, мг/кг		11,6	13,2	< 2,0
10	Натрий, мг/кг		73,05	136	862
11	Магний, мг/кг		24,5	32,6	237
12	Кальций, мг/кг		107	130	876
13	Алюминий, мг/кг		< 5,0	< 5,0	< 5,0
14	Марганец, мг/кг	100,0	2,535	2,510	2,485
15	Молибден, мг/кг		< 1,0	< 1,0	< 1,0
16	Кадмий, мг/кг	0,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05
17	Свинец, мг/кг	6,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
18	Кобальт, мг/кг	5,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
19	Железо, мг/кг		< 0,5	< 0,5	< 0,5
20	Никель, мг/кг	4,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
21	Медь, мг/кг	3,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
22	Ртуть, мг/кг	2,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005
23	Хром, мг/кг	6,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
24	Цинк, мг/кг	23,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
25	Плотный остаток, %		0,084	0,096	0,734

	Tested indicators
1	pH
2	Oil products [mg/kg]
3	Chloride [mg/kg]
4	Nitrate [mg/kg]
5	Sulphate [mg/kg]
6	Fluoride [mg/kg]
7	Phosphate [mg/kg]
8	Ammonia [mg/kg]
9	Potassium [mg/kg]
10	Sodium [mg/kg]
11	Magnum [mg/kg]
12	Calcium [mg/kg]
13	Aluminium [mg/kg]
14	Manganese [mg/kg]
15	Molybdenum [mg/kg]
16	Cadmium [mg/kg]
17	Lead [mg/kg]
18	Cobalt [mg/kg]
19	Iron [mg/kg]
20	Nickel [mg/kg]
21	Copper [mg/kg]
22	Mercury [mg/kg]
23	Chromium [mg/kg]
24	Zinc [mg/kg]
25	Solid residue [mg/kg]

Рисунок 2-25 Готовые образцы продуктов (кирпичи), сделанные с использованием образцов наносов из Руслового водохранилища (Центрально-азиатский институт экологических исследований, 2022)

2.2.2.5 Эксплуатация водохранилища

На основе имеющихся данных о динамике уровня и объема Руслового водохранилища в 2015-2020 годах можно выделить следующие факты и показатели (более подробную информацию можно найти в отчете М. Икрамовой, 2021):

- Изменения в уровне водохранилища, изображенные на Рисунок 2-26, показывают, что нормальный подпорный уровень не достигается в течение большей части периода, особенно в более маловодные годы. Как показывает анализ данных о

стоках (см. выше Рисунок 2-13 и Рисунок 2-14), последние 15 лет были относительно маловодными с понижающей тенденцией.

- Нормальный подпорный уровень не был достигнут в 2020 году. Это указывает на еще более серьезную проблему в отношении наличия воды, учитывая, что водохранилище потеряло почти 60% общего начального объема к 2020 году. Это означает, что водохранилище должно наполняться быстрее, и нормальный подпорный уровень должен достигаться даже при более низком притоке воды.
- Изменения в среднемесячном объеме потока в 2015-2021 годах (частично) показаны на Рисунок 2-27. Он отражает изменения в уровне водохранилища. Однако здесь видно, что при (том же) нормальном подпорном уровне в 2015, 2017 и 2019 годах, объемы показывают понижающую тенденцию. Это может быть связано с потерей объема из-за заиления.

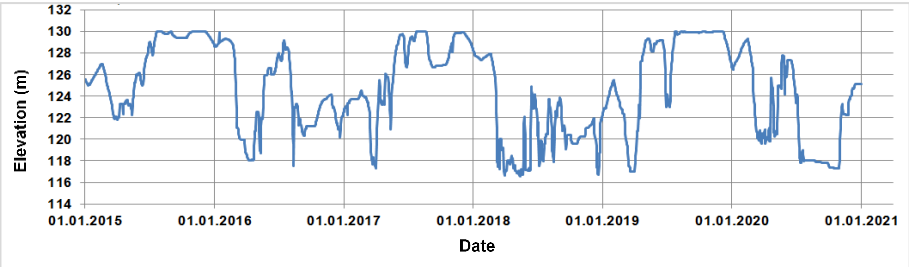


Рисунок 2-26 Динамика уровня Руслового водохранилища в 2015-2020 годах

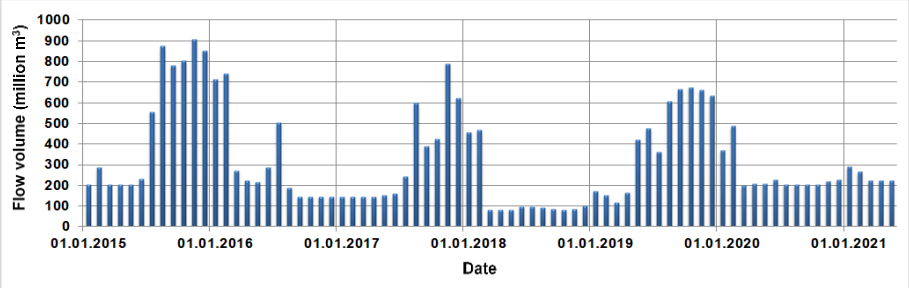


Рисунок 2-27 Динамика среднемесячных объемов потока в Русловом водохранилище в 2015-2021 годах

2.2.2.6 Потери воды

Необходима количественная оценка потерь воды из водохранилища по другим причинам. Вычисления водного баланса, сделанные М. Икрамовой (2021), показывают следующие факты и значения:

- Потери воды из-за испарения и транспирации на ТМГУ. Кроме того, была проведена количественная оценка воздействия фильтрации.
- Анализ показал, что после ввода Руслового водохранилища в эксплуатацию, в зависимости от фактического режима эксплуатации, годовые потери от испарения достигали 250 млн. м^3. Потери были высокими на протяжении долгого времени в многоводные годы из-за высокого уровня водохранилища в течение более длительного периода, в то время как в маловодные годы потери минимальны из-за большого понижения уровня воды.
- Фильтрационные потери воды значительны в многоводные годы, в то время как в маловодные годы наблюдался приток фильтрационных потоков, который может быть связан с сильным понижением уровня воды. Максимальные наблюдаемые годовые объемы притоков и оттоков, вызванные фильтрацией в Русловом водохранилище, достигают 130 млн. м^3 и 280 млн. м^3, соответственно.
- Годовые объемы воды, судя по всему, значительны и сопоставимы с годовой потерей объема из-за заиления. Это нужно будет учесть при рассмотрении решения

проблем заиления. Необходимо провести более скрупулезные наблюдения и анализ, чтобы дать точную количественную оценку потерям воды.

Следует отметить, что данных и информации о потерях воды в каналах, связанных с просачиванием и заилением, нет.

2.2.3 Экономические потери

М. Икрамова (2021) сделала приближенные расчеты по экономическим потерям, связанным со снижением сельскохозяйственного производства и выработки гидроэнергии. Эти расчеты показывают приблизительные годовые потери в размере 37 млн. долл. США и 6-16 млн. долл. США из-за потерь в сельскохозяйственном производстве и выработке гидроэнергии, соответственно. Потери сельского хозяйства и гидроэнергетики в 2021 году, согласно расчетам, составили 59 млн. долл. США и 16 млн. долл. США, соответственно. Подробная информация о расчетах содержится в отчете М. Икрамовой (2021).

Стоит отметить, что это относится к финансовым потерям и исключает другие потери и последствия, которые были упомянуты выше, т.е.: (i) потери в сельскохозяйственных угодьях и водоснабжении, ведущие к ухудшению источников средств существования населения; (ii) экологические проблемы (ухудшение экологии рек, качества воды, среды обитания); (iii) безопасность населения и инфраструктуры (например, защита от паводков, плохое функционирование и полная блокировка водозаборов).

2.2.4 Неопределенность и неточность данных

Обзор и экспресс-анализ проводился на основе имеющихся данных, отчетов и информации. Возможно, данные и результаты не лишены неопределенности и неточности по различным причинам. Можно выделить некоторые из них:

- Неточность в объемах водохранилища в связи с низкой разрешающей способностью измерений. Например, расстояние между измеряемыми сечениями составляет более одного километра, что может привести к пропуску песчаных островов или глубоких участков между измеряемыми сечениями (в зависимости от того, как они были выбраны).
- Подходы и методы измерений и анализа чувствительности, используемые в разных измерениях в разные периоды (например, измерения глубины, которые проводятся вначале и в другие годы) могут приводить к некоторым неточностям.
- Другие аспекты, например, использование недостаточного числа образцов, взятых вдоль водохранилища, и их частота, например, использование образцов только по поверхностным наносам в месте с большим слоем наносов; одноточечный образец воды для измерения мутности, в то время как показатели могут существенно меняться с глубиной воды; неподходящий период для измерений или сложности в измерениях в многоводные периоды, т.д., тоже могут привести к неточной количественной оценке и трактовке. В целом, несоблюдение четких международных правил и стандартов стратегии взятия образцов, выбора мест взятия образцов, взятия образцов, гомогенизации образцов, сохранения образцов и аккредитованных аналитических методов приводят к неопределенности качества химических данных.
- Артефакты и ошибки измерений тоже могут привести к неточной оценке.

2.3 Характеристика проблем заиления и воздействие на ТМГУ

ТМГУ – многоцелевой гидроузел, используемый в сельском хозяйстве, энергетике, водоснабжении, рыбоводстве и противопаводковой защите. На основе представленного выше обзора и анализа данных и информации можно заключить, что проблемы заиления оказывают существенное неблагоприятное воздействие на различные аспекты и функции ТМГУ. В связи с этим, проблемы и воздействие можно разделить на категории,

которые описаны ниже. Это может помочь в дальнейшей соответствующей классификации мер и решений.

2.3.1 Первая категория проблем: работоспособность и безопасность головных сооружений

Измерение, проведенное в 2021 году, указывает на значительное заиление (осажденный слой толщиной ≈12 м, см. Рисунок 2-28) перед гидроэлектростанцией и водозаборными сооружениями каналов. Эта проблема привела к плохой работе гидроэлектростанции, отражающейся на производстве энергии и эффективности станции. Дальнейшее ухудшение ситуации приведет к сбоям в работе гидроэлектростанции. Более того, большой фронт заиления распространился на водозаборные сооружения ирригационных каналов. Ситуация – довольно серьезная, особенно на водозаборе правобережного канала, и ведет к сбоям в работе канала. Положение будет ухудшаться, учитывая, что водозабор находится на внутреннем сгибе реки, который больше склонен к заилению. Песчаный остров виден даже на снимке (см. Рисунок 2-29).

Такое большое заиление перед головными сооружения также создает большие риски для безопасного пропуска паводка, который может повлиять не только на сооружения, но и на территорию и население. В связи с этим, эту проблему необходимо решить в срочном порядке с учетом комплексной, внимательной инженерной оценки.

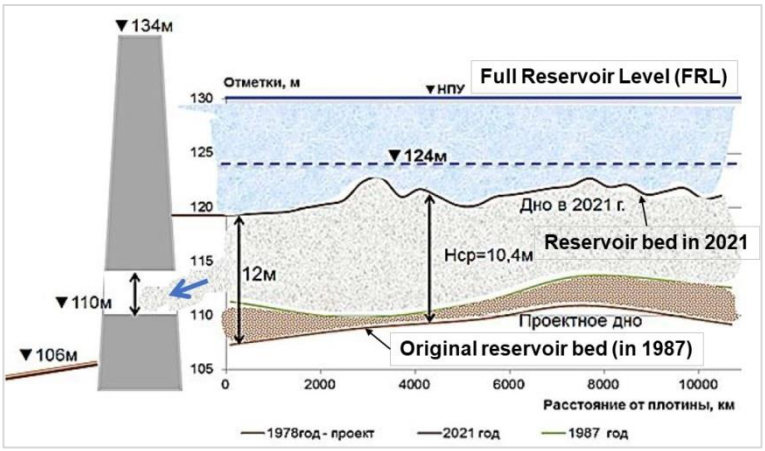


Рисунок 2-28 Схематическое изображение заиления возле головных сооружений (М. Икрамова, 2021)

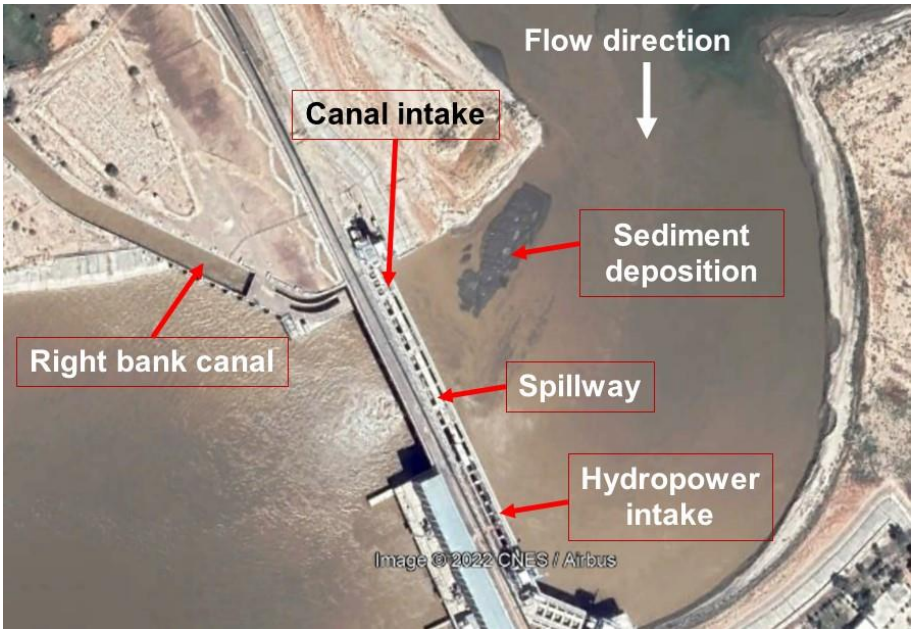


Рисунок 2-29 Головные сооружения гидроэлектростанции и каналов (снимок Google Earth)

2.3.2 Вторая категория проблем: потеря объема водохранилища

Измерение, проведенное в 2021 году (см. предыдущий раздел), показало большое заиление вдоль Руслового водохранилища, в частности в пределах 50 км вверх по течению от плотины. Оно привело к потере объема примерно на 1,5 млрд. м^3 в Русловом водохранилище (это приблизительно 63% общего объема). По всей видимости, большое заиление Руслового водохранилища начало создавать проблемы и для других внерусловых водохранилищ. Однако данных и информации о проблемах во внерусловых водохранилищах нет.

Потеря объема означает уменьшение подачи воды для сельского хозяйства и питьевого водоснабжения. Уже сейчас наблюдается проблема заброшенных сельскохозяйственных угодий. Более того, состояние водохранилища будет дальше ухудшаться, если не будут приняты меры, и это приведет к серьезным социально-экономическим (неблагоприятным) последствиям для региона, влияя на средства существования населения и экономику региона.

Кроме того, значительная потеря объема водохранилища несет достаточно большие риски для защиты от наводнений, так как регулирование паводков почти невозможно в настоящее время из-за сильного сокращения объема для принятия проектного уровня паводка. Это может привести к угрозе в случае сильного паводка, которую не следует исключать.

2.4 Заключение

В настоящей Главе представлен детальный обзор прошлого и текущего состояния ТМГУ. Очевидно, что ТМГУ испытывает серьезные проблемы, вызванные заилением Руслового водохранилища, уже в течение нескольких десятилетий. Эти проблемы оказывают различное воздействие на функции и работу гидроузла. Исходя из вида и масштаба воздействия, мы разделили проблемы на две категории с разными потребностями в ресурсах и степенью срочности. Первая категория проблем требует срочного планирования и действий (чтобы не потерять ресурс, т.е. сам ТМГУ), а также краткосрочных мер по критической инфраструктуре (ухудшение и окончательная замена), включая соответствие требованиям, которые могут быть реализованы быстро

и с ограниченными инвестициями и ресурсами. Вторая категория проблем требует проведения надлежащего исследования по определению объема работ, крупномасштабного планирования, технико-экономического обоснования, проектирования и реализации с долгосрочной стратегией (необходимы большие инвестиции и ресурсы). Это было сделано, чтобы дополнительно классифицировать меры и решения для определения их приоритетности на основе возможности получения необходимых финансовых и технических ресурсов.

3 Решение проблем заиления на ТМГУ

3.1 Введение

С учетом проведенного нами обзора и экспресс-оценки проблем заиления на ТМГУ (в частности в Русловом водохранилище), мы рассматриваем три основных аспекта и предлагаем соответствующие меры/решения, а именно:

1) Укрепление функциональности и безопасности головных сооружений гидроэлектростанции и каналов
2) Улучшение ситуации с аккумулированием и наличием воды
3) Повышение устойчивости водохранилища и адаптивный подход (-ы)

Первый аспект требует срочного плана действий из-за обеспокоенности по поводу функциональности и безопасности гидроузла. Меры по данному аспекту, главным образом, связаны с регулярным облуживанием, мониторингом и адаптацией. Это не потребует больших инвестиций и технических ресурсов (на самом деле, меры по техническому обслуживанию уже должны быть предусмотрены в повседневных мероприятиях такого большого комплекса).

Второй аспект связан с более долгосрочными, крупномасштабными мерами и вмешательствами. У этих мер – хороший потенциал в части осуществимости и эффективности, в частности для решения проблемы потери объема Руслового водохранилища. Однако они требуют проведения надлежащих исследований по определению объема проекта в сочетании с внимательной, детальной оценкой осуществимости и воздействия, учитывая необходимость значительных финансовых и технических ресурсов.

Третий аспект касается беспроигрышных мер и программ, которые необходимы для поддержания и адаптации реализованных мер, а также для повышения долгосрочной устойчивости комплекса. Все меры и решения должны соответствовать критериям устойчивости и, в то же время, подходу Нексус.

Здесь мы вкратце изложили возможные меры, основываясь на экспресс-отборе, и подготовили предварительные рекомендации по мерам/решениям для ТМГУ с учетом вышеописанных аспектов.

3.2 Отбор возможных мер для ТМГУ

На основе обзора существующих данных и информации, а также экспресс-анализе проблем и условий ТМГУ, мы выделили некоторые возможные меры, которые могут быть применены для решения проблем заиления. Эти меры разделены на текущие, структурные / мягкие структурные и неструктурные меры (см. Рисунок 3-1).

Можно использовать разные комбинации (гибридные подходы) предлагаемых возможных мер. Выбор решений должен быть основан на: (i) виде, степени и срочности решаемых проблем (например, безопасность сооружений и жителей, восстановление водохранилища (-щ) для увеличения объема, устойчивость гидроузла); (ii) наличии финансовых и технических ресурсов; (iii) социальных, экономических и экологических последствиях и выгодах; (iv) региональной специфике и ограничениях (юридический, трансграничный аспект), помимо прочего.

Рисунок 3-1 Возможные меры для решения проблем заиления ТМГУ

3.2.1 Текущие меры

3.2.1.1 Удаление и утилизация наносов

Одна из очень важных мер, необходимых для решения проблем Руслового водохранилища, — это удаление и утилизация и/или размещение наносов. Принимая во внимание характер проблемы, условия и ресурсы, меры по удалению наносов можно разделить на две части, а именно: (i) ремонтное дноуглубление; и (ii) крупномасштабное удаление наносов (капитальное дноуглубление) в сочетании с планом удаления наносов и долгосрочного управления с учетом утилизации наносов (в обоих случаях).

1) План ремонтного дноуглубления

Необходимо незамедлительно рассмотреть вопрос проведения регулярного ремонтного дноуглубления в рамках комплексной программы управления наносами. Это неизбежно для Руслового водохранилища, чтобы не допустить ухудшения работы гидроэлектростанции и внерусловых водохранилищ, а также угрозы безопасности строительных/механических конструкций, и восстановить потенциал производства энергии и безопасность самой инфраструктуры гидроэлектростанции. Эта мера должна включая следующие мероприятия (помимо прочего):

- Принятие программы регулярного ремонтного дноуглубления для удаления наносов возле плотин, гидроэлектростанции и головных сооружений канала в сочетании с комплексной программой управления наносами
- Приобретение оборудования для выемки грунта и дноуглубления (с долгосрочным контрактом (-ами) по эксплуатации и техническому обслуживанию и развитием потенциала местных властей)
- Варианты пилотной утилизации удаленных наносов, желательно с использованием опыта коммерческого масштаба в утилизации удаленных наносов, подходящей для региона, например, для инженерного/геотехнического, сельскохозяйственного и экологического применения – восстановление среды обитания
- Принятие протокола испытания соответствия наносов для утилизации

2) План крупномасштабного удаления и утилизации наносов

Эта мера является основным мероприятием, связанным с капитальным дноуглублением в сочетании с крупномасштабной утилизацией наносов. Эта мера может включать следующие мероприятия (помимо прочего):

- Установление цели и стратегическое удаление до 500 миллионов $м^3$ наносов в возможно короткие сроки и максимально эффективно (с учетом затрат). Это многолетняя капитальная программа.

- Определение масштаба проекта, заинтересованных сторон, источников финансирования, общее планирование и выработка предложения, предварительная оценка осуществимости
- Общее планирование и выработка предложения по крупномасштабной утилизации удаленных наносов, например, разработка коммерческого производства / отраслей, создание экологических зон и зеленое развитие в близлежащих районах

3.2.1.2 Промывание наносов в Русловом водохранилище

Промывание наносов является предварительным условием для поддержания и повышения эффективности мер по удалению наносов, предлагаемых выше. Общий пример возможной последовательности промывания наносов показан на Рисунок 3-2. Предварительное предложение по правилу эксплуатации водохранилища для Руслового водохранилища было включено в одно из прошлых исследований. Правило эксплуатации было предложено на основе среднемесячного уровня водохранилища в периоды с высоким, средним и низким уровнем речного стока (см. М. Икрамова, 2021). Это предложение следует изучить более подробно в сочетании с мерами технического обслуживания в рамках комплексной программы управления наносами, которая должна также включать надлежащую оценку социального, экономического и экологического воздействия.

Следует отметить, что промывание наносов требует выпуска значительного объема воды. Таким образом, необходимо внимательно изучить оптимальный подход к эксплуатации водохранилища, чтобы можно повторное заполнение водохранилища прошло без потери объема воды. Это лучше сделать в сочетании с некоторыми неструктурными мерами, например, созданием системы мониторинга в водосборе, позволяющей прогнозировать притоки в водохранилище с достаточным упредительным временем. Впоследствии это можно будет сочетать с эксплуатацией плотины (например, использование гидротехнических вычислительных моделей с эксплуатацией плотины).

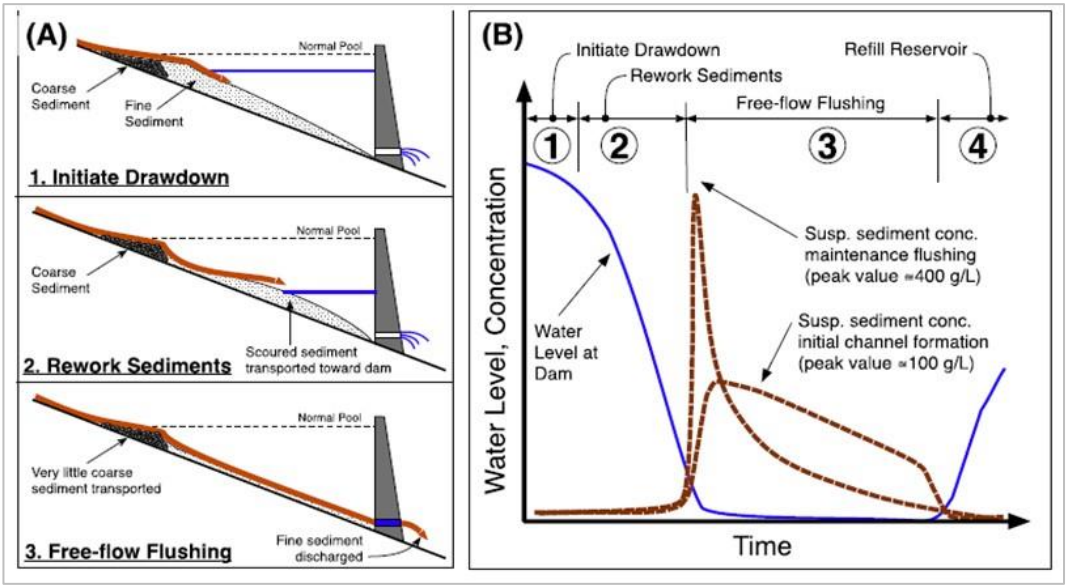


Рисунок 3-2 Пример последовательности промывания (слева) и соответствующие изменение стока и концентрации наносов (Аннандейл и др., 2016)

3.2.1.3 Пополнение наносов ниже по течению

Эта мера связана с переносом удаленных наносов из водохранилища в участки ниже по течению. Наносы удаляются планомерно на той части реки, где они могут быть перенесены потоком в полноводный период. Эта мера может быть частью комплексной

программы управления наносами и может быть полезной, особенно если учесть, что русло реки в нижнем бьефе страдает от деградации после строительства водохранилища (хотя у нас нет данных, это лишь утверждение из отчета М. Икрамовой, 2021). Кроме того, пополнение наносов в нижнем бьефе можно использовать для создания экологических зон (предварительное предложение, изображенное на Рисунок 3-3).

Нужно отметить, что эта мера может оказаться не очень полезной, учитывая характеристики наносов (очень мелкие материалы) и состояние нижних участков р. Аму-Дарьи, которые могут пострадать от переноса пополненных материалов, вызывающих большое помутнение, так как в нижних участках расположены каналы и головные сооружения. Во-вторых, пополненный материал может быстро уплотниться в сухой сезон. Это может даже не потребоваться, если предлагаемые мероприятия по промыванию наносов будут эффективными. Таким образом, эту меру нужно тщательно рассмотреть.

Рисунок 3-3 Часть нижнего участка, где могут быть пополнены удаленные наносы, а также где можно рассмотреть создание экологической зоны.

3.2.2 Структурные (мягкие и твердые) меры

3.2.2.1 Поднятие нормального подпорного уровня (НПУ)

В качестве мягкой структурной меры предлагается рассмотреть повышение НПУ (без увеличения высоты плотины) как вариант увеличения объема водохранилища. Предлагается поднять уровень не более чем на 2 м. Согласно проекту, НПУ равен 130 м (Рисунок 3-4). Принимая во внимание надводный борт высотой 4 м (так как уровень гребня плотины и насыпей равен 134 м), предлагается поднять НПУ до 132 м (максимум). Это также учитывает то, что 131,5 м считается максимальным уровнем (уровень, называемый «принудительный уровень», который можно использовать при чрезвычайных обстоятельствах и нельзя поддерживать в течение долгого времени), согласно проекту. Так, мы обнаружили данные (учитывая достоверность записей), указывающие, что уровень водохранилища достигал 132 м в августе 2004 года (см. Рисунок 3-6).

Предлагаемое повышение уровня водохранилища может привести к заметному увеличению объема Руслового водохранилища (как можно заключить по Рисунок 3-6, который показывает экстраполяцию кривой уровень-объем, хотя это нужно должным образом изучить и более точно оценить прирост объема). Более того, возможно, есть потенциал и для увеличения объема других внерусловых водохранилищ. Это можно рассмотреть в качестве альтернативы программе капитального дноуглубления. Однако потребуется очень тщательный анализ, учитывая возможные отрицательные последствия и риски. Некоторые последствия и риски можно минимизировать, реализовав меры структурного укрепления.

При рассмотрении этой меры нужно учесть следующие аспекты:

- Комплексная оценка стабильности и безопасности плотины
- Изучение и расследование определенных мер структурного укрепления для снижения рисков, связанных со структурной стабильностью
- Разработка стратегии и программы оптимальной эксплуатации и управления наносами
- Подробная оценка состояния других внерусловых водохранилищ
- Надлежащая программа мониторинга и обслуживания (например, дноуглубление, промывание)

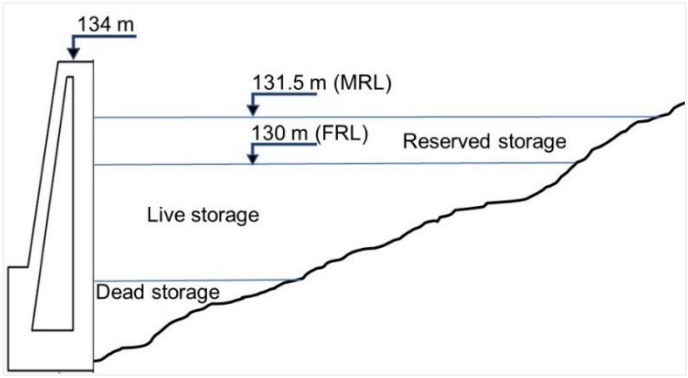


Рисунок 3-4 Схематический чертеж проектных уровней Руслового водохранилища

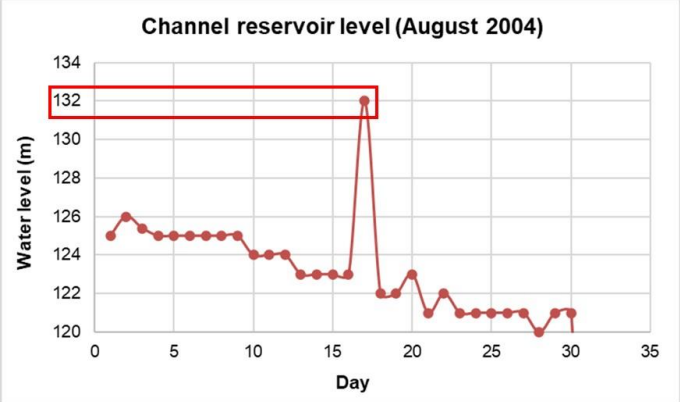


Рисунок 3-5 Наблюдаемый уровень водохранилища в августе 2004 года, когда уровень достиг 132 м

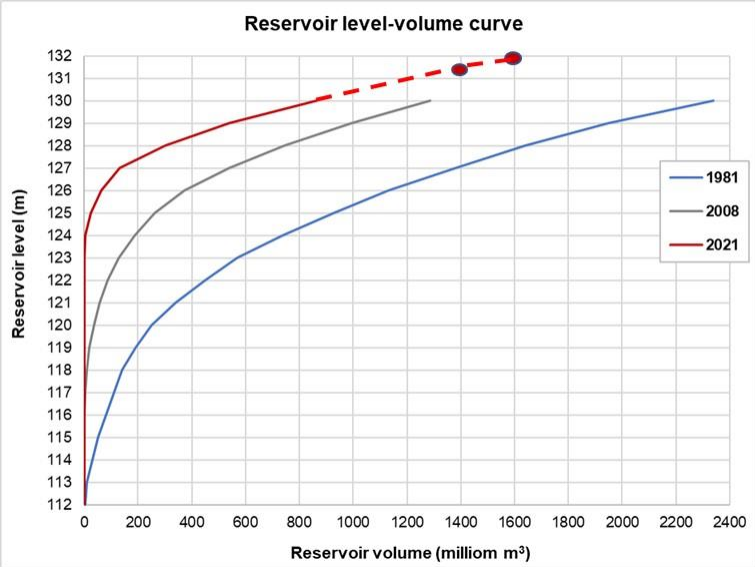


Рисунок 3-6 Кривая уровня-объема водохранилища

3.2.2.2 Дополнительные внерусловые водохранилища

Эта структурная мера является еще одной альтернативой капитального дноуглубления, которая компенсирует потерю объема Руслового водохранилища за счет дополнительных внерусловых водохранилищ. Наш экспресс-анализ, основанный на имеющихся в свободном доступе данных дистанционного зондирования (Рисунок 3-7) и изображений, показывает, что есть места, где, возможно, можно было построить дополнительное внерусловое водохранилище (-ща) на обеих сторонах Руслового водохранилища (в Узбекистане и Туркменистане). Есть участки со значительными понижениями (Рисунок 3-8), которые можно было бы использовать для накопления воды. Однако необходим надлежащий, детальный анализ и оценка осуществимости с учетом технических (например, геотехнических, геологических), экологических и социальных аспектов.

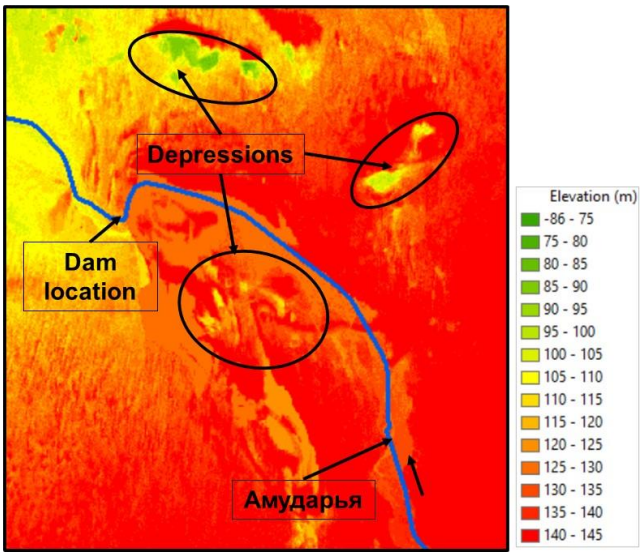


Рисунок 3-7 Топография на основе данных SRTM, показывающих понижения возле ТМГУ.

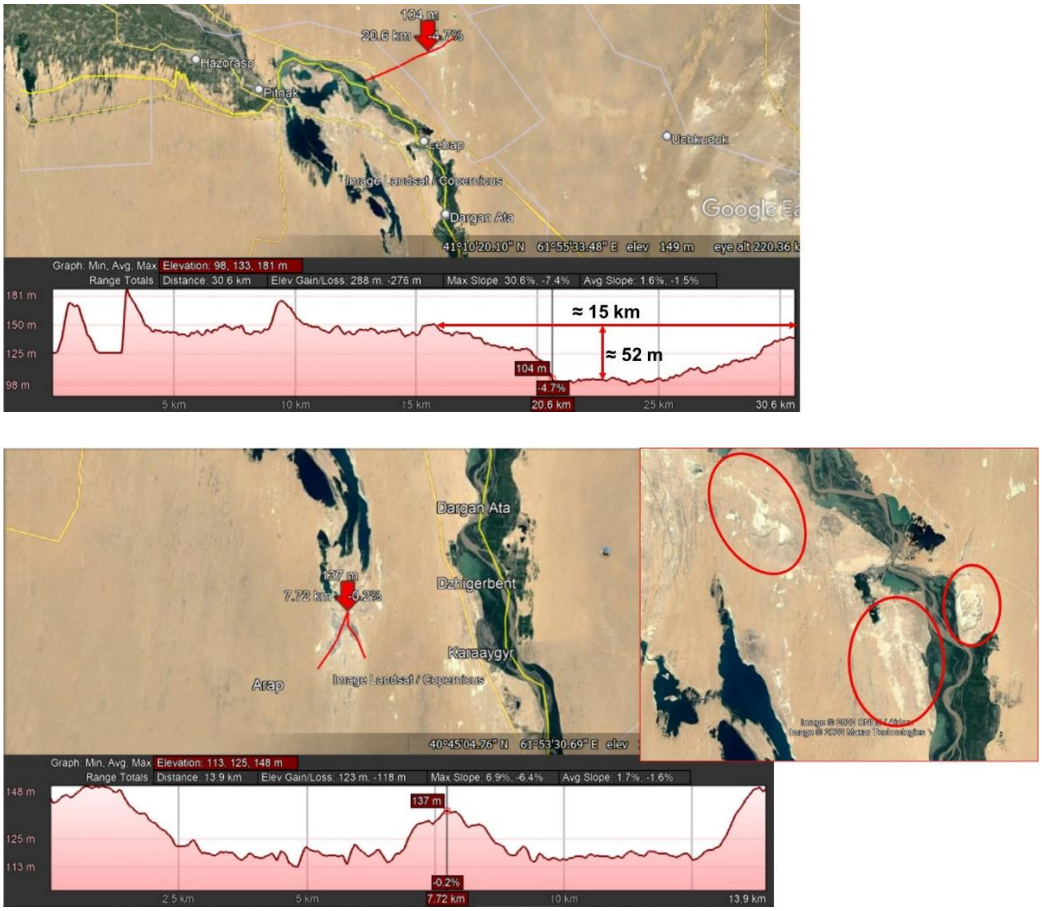


Рисунок 3-8 Профили русла вдоль некоторых понижений (на основе Google Earth), которые можно использоваться для внерусловых водохранилищ.

3.2.2.3 Ремонт и/или перемещение (твердых) сооружений

Еще один вариант твердых мер, который заслуживает рассмотрения в качестве альтернативы капитальному дноуглублению или внерусловому водохранилищу (-ам), - ремонт или перемещение гидросооружений. Можно рассмотреть два варианта для их технической, социальной, экономической, экологической оценки, а именно: (i) перемещение головных сооружение и гидроэлектростанции, что является резким, значительным изменением, которое может быть менее предпочтительным на данном этапе и более подходящим для рассмотрения в будущем; (ii) повышение плотин / насыпей (например, с использованием умных предохранительных ворот), которое может стать частью решения в сочетании с предлагаемой мягкой мерой по увеличению НПУ над проектным уровнем (см. описание в Разделе 3.2.2.1), поскольку оно может потребовать структурного укрепления. Для реализации этой меры (в частности, перемещения) нужна комплексная работа по определению объема проекта, существенное финансирование, надлежащая оценка осуществимости и воздействия. Тем не менее, есть мировая практика в регионах, где наличие воды и защита от наводнений жизненно важны для населения и их средств существования. Некоторые иллюстративные примеры изображены на Рисунок 3-9 и Рисунок 3-10.

Есть примеры из других стран, которые вкратце описаны в Разделе 5.3 (Глава 5).

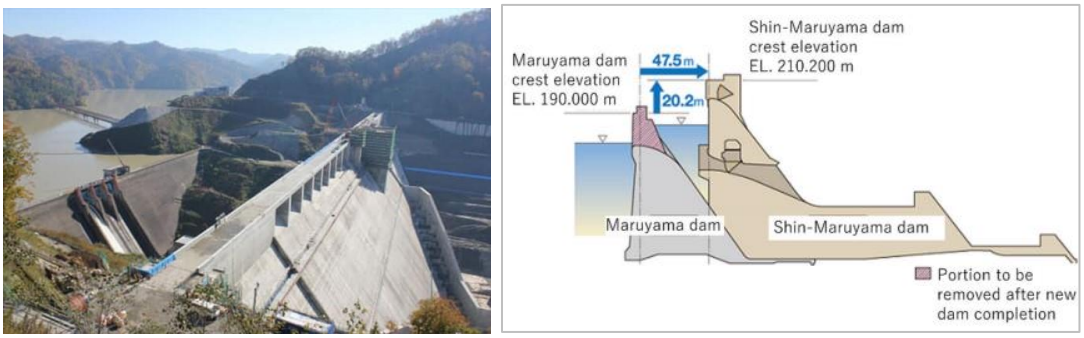


Рисунок 3-9 Опыт по наращиванию (перемещению) плотин в Японии: замена плотины Оюбари более крупной Юбари Шупаро (изображение слева – получено от И. Шимизу) и наращивание плотины Маруяма при помощи Шин-Маруяма (график справа - https://doi.org/10.20965/jdr.2018.p0585)

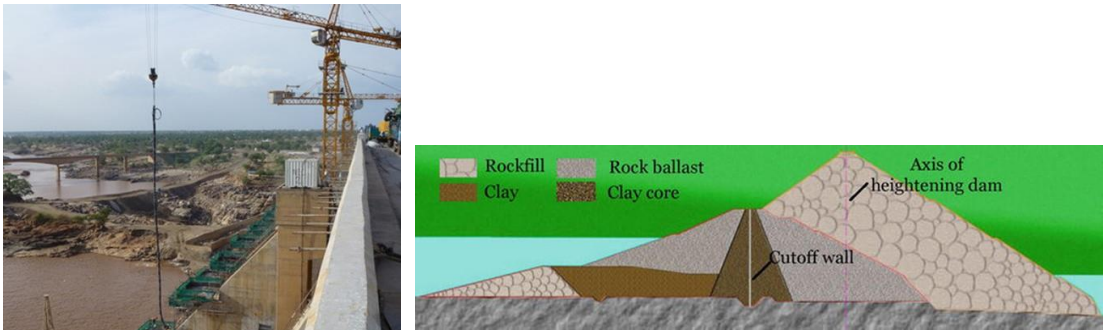


Рисунок 3-10 Повышение плотины Розейрес в Судане (изображение слева - http://pf.bbrnetwork.com/Projects/Manager/media287A-INFOslider_medium.jpg) и профиль повышения плотины Жушу в Китае (график справа - https://www.intechopen.com/Chapters/71980)

3.2.3 Неструктурные и дополнительные меры

Важно проводить неструктурные меры в сочетании с текущими и/или структурными (мягкими и твердыми) для эффективного управления, адаптации, эксплуатации и обслуживания объектов восстановления. Эти меры также необходимы для предотвращения и снижения неблагоприятного воздействия в будущем. Можно выделить два вида неструктурных мер, а именно: (i) улучшение эксплуатации водохранилища с учетом управления наносами, (ii) улучшение технологий, практик, мониторинга и управления.

3.2.3.1 Улучшение эксплуатации водохранилища с учетом управления наносами

В случае всех предлагаемых выше мер необходимо проанализировать и оптимизировать стратегию эксплуатации водохранилища как неотъемлемую часть комплексной программы управления наносами. Оптимизация правил эксплуатации необходима, чтобы отразить изменения, связанные с реализацией мер. Во-вторых, большинство предлагаемых мер, связанных с увеличением объема водохранилища, также приведут к увеличению проблем заиления. В связи с этим, необходимо разработать оптимальную стратегию эксплуатации водохранилища, чтобы минимизировать проблемы заиления, в сочетании с некоторыми текущими мерами (например, ремонтное дноуглубление, промывание наносов, пополнение наносов), для поддержания эффективности и устойчивости мер.

3.2.3.2 Улучшение технологий, практик, мониторинга и управления

Поскольку большинство крупномасштабных мер (в частности мер, связанных с увеличением объема водохранилища) требует значительных технических и финансовых ресурсов, необходимы другие, косвенные меры, которые помогут отчасти решить

проблему нехватки и потери воды. Это позволит оптимизировать усилия, необходимые для крупномасштабных мер. Такие косвенные (неструктурные) меры включают, помимо прочего, следующее:

- Улучшение сельскохозяйственных практик и методов для уменьшения / минимизации потребления воды
- Внедрение технологии(-й) для минимизации потерь в водохранилищах и каналах (вследствие заиления, фильтрации, испарения)
- Создание систем мониторинга, информации и прогнозирования водных ресурсов / наносов, разработка программы управления наносами для эффективного решения проблем, связанных с водой и наносами, и, следовательно, улучшения ситуации вокруг водных ресурсов и безопасности сооружений
- Регулирование водосбора и реки для снижения образования и переноса наносов (в рамках комплексной программы управления наносами)
- Регулярные инвестиции в НИОКР для поддержки местных научно-исследовательских организаций, а также коммерческих пилотных проектов, поскольку они являются неотъемлемой частью мер по решению проблем и адаптации решений (т.е. основанный на знаниях и информации подход адаптации) – это также будет способствовать созданию рабочих мест, развитию экономики и восстановлению и улучшению кадрового потенциала.
- Внедрение интегрированного управления с участием заинтересованных сторон (в соответствии с подходом Нексус) – это важно, поскольку ТМГУ является трансграничным комплексом многоцелевого назначения, и решение проблем требует участия всех заинтересованных сторон, властей и стран.

Дополнительное описание и примеры содержатся в Разделе 3.5.6.

3.3 Отбор возможных вариантов утилизации наносов на ТМГУ

Принимая во внимание довольно большой масштаб проблемы, т.е. значительные объемы отложенных наносов в Русловом водохранилище, большинство крупномасштабных мер не будут осуществимы без надлежащих методов удаления наносов, стратегии размещения и операционных методов. Решения по удалению наносов будут эффективны только в синергии с вариантами вывоза и возможностями размещения наносов с учетом их утилизации.

На основе проведенного обзора и экспресс-анализа, составлен следующий короткий список потенциальных вариантов утилизации удаленных наносов для дальнейшего рассмотрения ТМГУ:
Производство добавки для верхнего слоя почвы и производство удобрений для сельского хозяйства и лесонасаждения
Создание и восстановление экологических зон (среды обитания) для поддержки функций средств существования
Создание коммерческих отраслей производства строительных материалов (включая добавление полимеров), ландшафтного (экологического) дизайна, производства композитного наполнителя (структурного и неструктурного) и применение в сфере окружающей среды
Сооружения по регулированию стока (крепление берегов и бермы, песчаные пробки, земляные плотины, т.д.) для защиты от поводков и устойчивости

Все предлагаемые варианты требуют комплексной оценки воздействия и рисков (социальных, экономических, экологических) в сочетании с соответствующими текущими и/или структурными мерами.

3.3.1 Производство добавки для верхнего слоя почвы и производство удобрений для сельского хозяйства и лесонасаждения

Применение наносов для улучшения верхнего слоя почвы – распространенная практика, при условии, что качество наносов позволяет применять их для этой цели. Такое применение подходит и для территории вокруг ТМГУ, учитывая, что это засушливая местность с пустынями. Более того, недавние лабораторные исследования по химическим и механическим свойствам наносов (см. выше в Разделе 2.2.2.4) показывают, что они могут подойти для различных способов утилизации с добавленной стоимостью. Результаты по развитию зеленых / сельскохозяйственных угодий вдоль р. Амударьи и Руслового водохранилища (Рисунок 3-11) тоже указывают на то, что использование наносов в качестве добавки для верхнего слоя почвы может быть возможным.

Кроме того, мы узнали о том, что уже есть некоторые примеры использования местными фермерами наносов из водохранилища и каналов в качестве удобрений. Следовательно, удаленные наносы можно использовать в качестве удобрений в большом масштабе и систематически для целей сельского хозяйства, лесонасаждения и экологического развития (устойчивости). Природный верхний слой почвы не является возобновляемым ресурсом. Этот вариант утилизации может также быть полезен для улучшения ситуации с заброшенными сельскохозяйственными угодьями (из-за нехватки воды) в сочетании с мерами по увеличению наличия воды.

Рисунок 3-11 Зеленые сельскохозяйственные угодья вдоль Руслового водохранилища на р. Амударье

3.3.2 Создание и восстановление экологических зон и средств существования

Одно из преимуществ расположения – это наличие большой территории на ТМГУ и вокруг него (Рисунок 3-12) для создания закрытых и нагорных объектов для удаления и обработки наносов (например, созревания). Большая часть объектов для удаления наносов может быть преобразована и спроектирована так, чтобы они способствовали развитию экологических зон, созданию новой среды обитания (и улучшения существующей) и новых ландшафтных контуров. Принимая во внимание большую пустынную территорию вокруг ТМГУ, есть потенциал для создания и восстановления экологических зон для природы и средств существования. Большой объем наносов можно утилизировать таким путем, проводя дноуглубление и боковую выгрузку наносов.

Есть хорошие практики в разных странах мира, из которых можно перенять опыт – см. Раздел 5.4 (Глава 5).

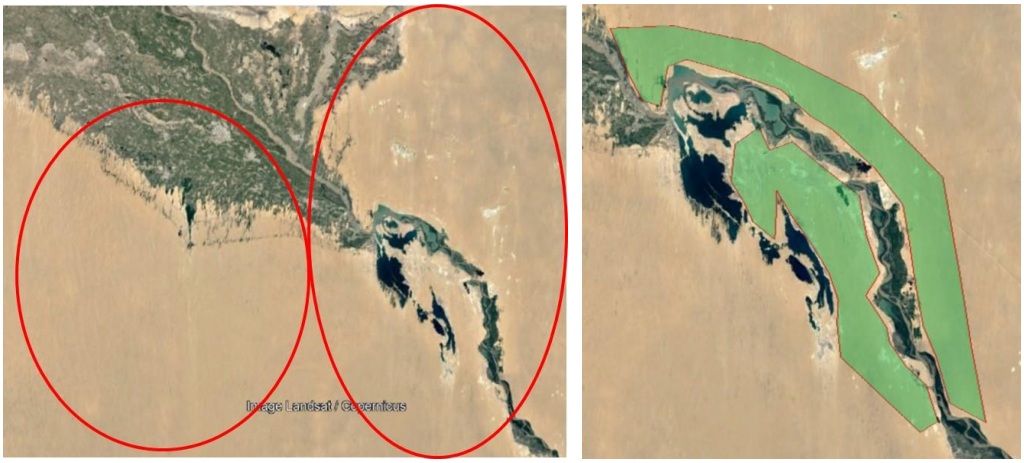


Рисунок 3-12 Большая территория вокруг ТМГУ (слева) и вдоль Руслового водохранилища (справа), которую можно использовать для улучшения земель при помощи удаленных наносов

3.3.3 Создание отраслей для производства строительных / инженерных материалов

Наносы – очень полезный ресурс для производства строительных материалов. Уже проводятся небольшие эксперименты по утилизации наносов из Руслового водохранилища для производства кирпичей (см. краткое описание в Разделе 2.2.2.4). Таким образом, есть потенциал даже для образования производств и коммерческих отраслей в регионе. Для этого необходима более детальная оценка. Есть множество примеров такого применения утилизированных наносов (хотя, в основном, из рек и прибрежных зон, и не так много из водохранилищ). Крайне важно понять существующий рынок и прогнозы, чтобы не перенасытить существующий рынок.
Некоторые примеры описаны в Разделе 5.4 (Глава 5).

3.3.4 Регулирование речного русла и направляющие сооружения

Необходимо надлежащим образом поддерживать и управлять мерами и работами, связанными с удалением наносов (например, дноуглублением) из Руслового водохранилища, предлагаемыми в предыдущем разделе, чтобы минимизировать морфологическое воздействие и риски. Это может потребовать дополнительной работы и земляных сооружений для регулирования речного русла в водохранилище и верхних участках. Это полезно (и даже необходимо) для защиты от паводков и управления наносами. Более того, некоторые сооружения (земляные плотины, бермы, насыпи) могут потребоваться для объектов по удалению наносов. Для строительства таких сооружений можно также использовать удаленные наносы.

3.4 Разработка предварительных рекомендаций по решениям для ТМГУ

Исходя из предварительного отбора описанных выше возможных мер, мы предлагаем предварительные рекомендации по набору возможных наиболее благоприятных реализуемых мер и решений, которые могут быть рассмотрены для дальнейшего анализа и оценки (анализ выгод-затрат, а также оценка социального, экологического, технического воздействия). Мы попытались разделить меры на две категории. Первая категория мер является срочной и принципиально важной, их необходимо изучить, спроектировать и реализовать как можно скорее из-за непосредственного ущерба ресурсу (ТМГУ). Вторая категория мер включает крупномасштабные мероприятия, которые требуют более тщательной оценки, а также больших, многофункциональных технических и финансовых ресурсов. Первая категория мер потребует меньше технических и финансовых ресурсов по сравнению со второй категорией мер

(крупномасштабных). Кроме того, мы постарались вкратце описать преимущества и недостатки каждой предлагаемой меры (см. ниже).

3.4.1 Срочная, основополагающая программа управления наносами и восстановления объема водохранилища

Текущее состояние дел на ТМГУ показывает, что проблема стоит довольно остро и влияет на ТМГУ и водные ресурсы в реальном времени, т.е. происходит сейчас. В связи с этим, она требует срочного плана действий по *разработке и реализации программы управления наносами и восстановления объема водохранилища.*

Предлагается, чтобы программа включала сочетание мер и пилотное мероприятие, а именно: (i) регулярное ремонтное дноуглубление; (ii) техническую оценку повышения нормального подпорного уровня (НПУ); (iii) регулярное промывание; (iv) пилотное мероприятие по утилизации удаленных наносов; (v) неструктурные меры в наиболее проблемных местах ТМГУ, включая воздействие на гидроэнергетическую инфраструктуру плотины, влияющее на производство энергии.

3.4.1.1 Регулярное ремонтное дноуглубление

Срочно необходима хорошо спланированная программа регулярного ремонтного дноуглубления, чтобы существующие функции гидроэлектростанции и головных сооружений канала не ухудшились. Это необходимо для восстановления производства энергии (эффективность электростанции) и ирригационных функций. Что более важно, это необходимо для обеспечения безопасности сооружений и безопасного пропуска паводка, чтобы избежать возможных угроз и стихийных бедствий вниз по течению. Эти меры должны быть предусмотрены в комплексном плане управления наносами и исполняться регулярно на протяжении всего времени эксплуатации водохранилища в сочетании с другими мягкими текущими мерами.

Ремонтное дноуглубление необходимо проводить возле гидроэлектростанции и головных сооружений канала, водоспусков и водозаборов внерусловых водохранилищ. Для этой цели предлагается провести следующие мероприятия:

- Планирование программы удаления наносов первого уровня, направленной на удаление не менее 1-2 млн. м^3 в год (можно увеличить со временем, наработкой опыта и производительности)
- Проведение: (i) комплексной технической оценки безопасного и эффективного удаления наносов; и (ii) оценки социально-экономического воздействия
- Реализация плана удаления наносов с приобретением оборудования для выемки грунта и дноуглубления в сочетании с договорами эксплуатации и технического обслуживания на 2-3 года (по мере необходимости), заключенными с профессиональной компаний (-ями), оказывающей услуги по дноуглубительным работам, и предусматривающими развитие потенциала местных кадров. Это включает разработку долгосрочных, слаженных, эффективных контрактных механизмов.

Преимущества

- Основные преимущества довольно очевидны, так как срочная мера по ремонтному дноуглублению неизбежна, чтобы не допустить проблем безопасности и обеспечить надлежащую работу гидротехнических и гидроэнергетических сооружений. Каковы кратко- и долгосрочные издержки для ресурса и инфраструктуры, если эта мера не будет своевременно принята?
- Создание региональных возможностей занятости и развития потенциала, связанных с управлением наносами в водохранилище и эффективным

удалением наносов с использованием различных видов дноуглубительных технологий (смешанных, где применимо).
- Этот опыт будет полезен для оценки эффективности и осуществимости крупномасштабного капитального дноуглубления (предлагается в числе одного из возможных показателей технической, экономической и экологической осуществимости)
- Относительно низкие финансовые инвестиции (по сравнению с потерей ресурса)

Недостатки
- Дно водохранилища может быть в состоянии квазиравновесия. Любое нарушение состояния без надлежащего планирования и технического исследования может негативно отразиться на головных сооружениях, насыпях (эрозия, разрушение), других внерусловых водохранилищах.
- Если большой слой (или осадочную линзу) наносов перед головными сооружениями (примерно 12 м) не удалить надлежащим образом и постепенно при должном планировании, это может вызвать отступающую эрозию и/или нестабильность/рассечение склона, которые приведут к обрушению большого слоя и блокированию наносами водозаборов, что создать больше рисков для безопасности и работы гидротехнических сооружений, каналов и гидроэлектростанции.
- Риски и воздействие удаления наносов и дноуглубительных работ описаны в следующей главе.

3.4.1.2 Регулярное промывание водохранилища

В Русловом водохранилище есть механизмы для промывания (есть донные отверстия / низкие водосливы, спроектированные для переноса придонных наносов вниз по течению). План регулярного промывания Руслового водохранилища должен быть подготовлен, реализован, адаптирован в сочетании с ремонтным дноуглублением. Более того, также следует рассмотреть контролируемое пополнение наносов вдоль участка реки вниз по течению от плотины, которое может быть перенесено при паводковых стоках. Можно выделить (помимо прочего) следующие мероприятия:
- Проведение: (i) комплексной технической оценки промывания для безопасного и эффективного удаления наносов и переноса вниз по течению; и (ii) оценки социально-экологического воздействия (см. следующую главу с подробной технической оценкой и оценкой воздействия)
- Принятие оптимального правила эксплуатации водохранилища с учетом регулярного промывания и ремонтного дноуглубления на основе оценки воздействия и эффективности
- Оценка и принятие неструктурных мер по поддержке безопасности, эффективности и адаптации, а также смягчению неблагоприятного воздействия мероприятий по промыванию и дноуглублению
- Рассмотрение вопроса об установлении наносоуловителей в стратегических местах для перехвата мобилизованных наносов
- Техническая и экологическая оценка контролируемого пополнения наносов вдоль нижних участков реки

Преимущества
- Промывание водохранилища во время паводковых стоков, несущих наносы, позволяет осуществить квазиестественный перенос наносов через водохранилище и, в то же время, выпустить высококонцентрированный поток, что приводит к уменьшению заиления водохранилища (обычно это должно быть стандартной практикой в рамках эксплуатации водохранилища)

- Регулярное и плановое промывание (под напором или методом понижения уровня воды) водохранилища помогает поддерживать, по крайней мере, участок вблизи головных сооружений (например, перед головными сооружениями канала и гидроэлектростанции в случае Руслового водохранилища)
- Регулярное промывание необходимо в сочетании с необходимым ремонтным дноуглублением (предлагается выше), чтобы оно было эффективным
- Контролируемое пополнение вниз по течение имеет преимущества перед промыванием (по крайней мере, в начальный период технического обслуживания), особенно если учесть плохое состояние руслового водохранилища с довольно большим осажденным слоем возле водосливов и водозаборов.
- Относительно небольшие финансовые инвестиции

Недостатки

- Из-за большого осаждения перед водозаборами / донными отверстиями в Русловом водохранилище, наиболее вероятно, что промывание будет сложно осуществить без надлежащего ремонтного дноуглубления
- Промывание может не быть очень эффективным в длинном, широком водохранилище, таком как Русловое водохранилище, если только не рассматривать его как ремонтную меру, принимаемую в сочетании с другими мерами (например, дноуглубление)
- Промывание не поможет увеличить объем такого большого водохранилища с существующей проблемой, как Русловое водохранилище
- Будет риск неожиданного сверхконцентрированного массового переноса наносов из-за большого отложения наносов в водохранилище, который может повредить гидроэлектростанции, а также каналам и головным сооружениям вниз по течению (есть пример)
- Пополнение наносов ниже по течению требует переноса наносов. Объемы не должны быть слишком большими, чтобы не допустить проблем ниже по течению (принимая во внимание, что большинство отложенных наносов состоит из мелкозернистых материалов)
- Кроме того, есть риск обрушения (нарушения склона) слоя наносов при промывании перед водосбросами, которые приведет к серьезным последствиям, например, блокировке головных сооружений гидроэлектростанции и каналов
- Промывание может потребовать изменений в правилах эксплуатации водохранилища (поскольку, судя по всему, промывание не предусмотрено надлежащим образом в русловом водохранилище)
- Эффективность промывания зависит от имеющегося времени и объемов потока, характеристик наносов, установок и состояния плотины (которое не очень благоприятно в текущем виде)

3.4.1.3 Повышение нормального подпорного уровня (НПУ) над проектным значением

Предлагается провести техническую оценку воздействия, которое произведет повышение НПУ Руслового водохранилища над проектным значением на 1,5-2 м, т.е. увеличение НПУ с текущего уровня 130 м до 132 м (максимум) при уровне гребня плотины и насыпей 134 м (так как будет надводный борт высотой 2 м). Эта мера поможет увеличить объем водохранилища до 500-700 млн. $м^3$ (необходимо подробное исследование для надлежащей оценки объема над НПУ).

Необходимо провести следующие мероприятия, чтобы подтвердить целесообразность предлагаемой меры:

- Точная оценка объема над текущим НПУ
- Подробная оценка стабильности плотины с учетом того, что повышение НПУ над проектным значением повлияет на структурную стабильность

- Подробное изучение необходимости дополнительных мер по укреплению и повышению стабильности плотины и насыпей, которые могут потребоваться из-за повышения уровня водохранилища
- Оптимизация правила эксплуатации водохранилища, а также надлежащий план и меры по управлению наносами, с учетом того, что повышение уровня водохранилища может привести к изменению распределения объема и увеличению осаждения наносов
- Надлежащее изучение воздействия, которое увеличение НПУ произведет на состояние других внерусловых водохранилищ, в сочетании с оценкой потенциала их улучшения и увеличения объема

Преимущества

- Вероятное прибавление значительного объема Руслового водохранилища без масштабного вмешательства (-в)
- Возможность увеличения объема других внерусловых водохранилищ, если условия будут благоприятными / осуществимыми (требуется тщательная оценка)
- Относительно небольшие финансовые инвестиции

Недостатки

- Есть риск снижения стабильности плотин, водосбросов и насыпей из-за дополнительной гидротехнической нагрузки (требуется тщательный анализ).
- Увеличение уровня водохранилища ведет к увеличению степени разлива в верхнем участке реки.
- Эта мера может потребовать дополнительного укрепления и усиления сооружений.
- Это может привести к увеличению отложения наносов и, тем самым, к необходимости дополнительных мер по управлению наносами.
- Увеличение уровня водохранилища может неблагоприятно отразиться на внерусловых водохранилищах и сооружениях.
- Эта мера потребует изменения стратегии эксплуатации водохранилища.
- Резервные возможности для пикового расхода частично уменьшатся (остается только 1-1,5 м надводного борта).

3.4.1.4 Пилотные мероприятия по утилизации наносов

Поскольку все вышеупомянутые решения / меры требуют удаления наносов (например, ремонтное дноуглубление), принимая во внимание большие ожидаемые объемы дноуглубления, мы предлагаем рассмотреть возможность проведения пилотной кампании по утилизации удаленных наносов. Нужно учесть, что утилизация наносов на ТМГУ является одним из неотъемлемых компонентов, и уже были проведены некоторые мероприятия, связанные с лабораторными исследованиями механических и химических свойств наносов в Русловом водохранилище, а также первая пробная утилизация наносов для производства строительных материалов (кирпичи).

Для пилотного мероприятия мы предлагаем испытать несколько следующих вариантов утилизации для изучения их технической, экологической и экономической жизнеспособности:

- Производство строительных материалов (кирпичи, блоки, дорожное строительство, композитный заполнитель)
- Производство добавок для улучшения верхнего слоя почвы и удобрений для сельского хозяйства
- Создание и восстановление экологических зон
- Меры по регулированию речного русла и управлению наносами в Русловом водохранилище, например, укрепление берегов и регулирование речного русла

при помощи геопакетов, наполненных удаленными материалами; управление потоком и наносами при помощи песчаных пробок, земляных дамб для перехвата наносов и отклонения потока

Все эти варианты требуют надлежащего рассмотрения следующих вопросов (помимо прочего):

- Применимость / полезность удаленных материалов (также наносов из нижних слоев осаждения и из разных мест вдоль водохранилища)
- Оценка спроса и предложения (оценка регионального и национального рынка и экономических факторов)
- Оценка необходимых объемов
- Изучение возможностей промышленного производства
- Методы дренажа, транспортировки и хранения и оценка их воздействия
- Аспекты устойчивости наносов в разработке этих продуктов для компенсации невозобновляемых ресурсов

Преимущества

- Утилизация удаленных наносов (с упором на круговом управлении наносами)
- Решение проблем, связанных с использованием большого объема удаленных наносов
- Наличие достаточного места для удаления и обработки в целях утилизации
- Создание региональных отраслей и инновационных бизнес-инкубаторов, новых рабочих мест, занятости и квалификаций
- Социальное, экономическое и экологическое развитие и восстановление
- Есть мировой опыт в производстве этих продуктов утилизации и технологии (геотрубы). ТМГУ не будет первым и будет использовать мировой опыт, поэтому не потребуется долгосрочная проверка предлагаемых альтернатив.

Недостатки

- Неблагоприятное воздействие на окружающую среду (например, при перевозке и обработке)
- Неизвестное качество и полезность наносов в водохранилище, в частности из нижних слоев (которые отложились несколько десятилетий назад)
- Потенциальные экотоксилогические (восстановление среды обитания) и человеческие токсилогические риски (сельскохозяйственное использование) при несоответствии химического качества наносов (международным) стандартам
- Приобретение других добавок для производства грунта
- Относительно большие технические и финансовые инвестиции и усилия (в зависимости от масштабов утилизации)
- Наличие воды, необходимой для поддержания усилий по улучшению верхнего слоя почвы и восстановлению окружающей среды
- Трансграничные споры и неготовность

3.4.1.5 Неструктурные меры

Неструктурные меры необходимо рассматривать вместе со всеми предлагаемыми текущими и (мягкими) структурными мерами и решениями. Для этого следует начать с инвентаризации имеющихся неструктурных мер и систем, принимая во внимание, что некоторые меры, усилия и инициативы уже могут иметь место.

Можно разделить неструктурные меры на основные и желательные, чтобы определить их приоритетность в случае ограничений по их осуществлению / применению.

i) Основные меры

Основные меры включают следующее:

- Создание систем мониторинга, информации и прогнозирования воды и наносов
- Разработка программы управления наносами
- Оптимизация правил эксплуатации водохранилища с учетом других мер и вмешательств
- Регулярные инвестиции в мероприятия по исследованиям и разработкам в сотрудничестве с местными и региональными научно-исследовательскими учреждениями / коммерческими пилотными проектами
- Просвещение сообщества и населения, чтобы люли понимали ресурс и знали, как о нем заботиться и развивать для будущих поколений. Это включает участие населения в системах мониторинга и отчетности

Основные меры и программы необходимы для регулярного мониторинга и оценки эффективности и воздействия текущих и структурных мер. Такой регулярный мониторинг и оценка также помогут в управлении и адаптации мер для повышения и оптимизации их эффективности и минимизации их неблагоприятного воздействия.

ii) Желательные меры

Желательные меры включают следующее:

- Улучшение сельскохозяйственных практик и методов (также путем улучшения надлежащей координации и синергии с другими текущими и/или планируемыми усилиями и программами, связанными с этими вопросами)
- Внедрение (инновационной) технологии (-ий), работающей в режиме реального времени, для минимизации потерь воды в водохранилищах и каналах (вследствие заиления, просачивания, испарения)
- Создание системы комплексного управления с участием заинтересованных сторон (в соответствии с подходом Нексус, как по техническим аспектам, так и по вопросам управления): *это важно, учитывая, что ТМГУ является трансграничным комплексом с многоцелевым водопользованием, поэтому решение проблем требует оптимального использования водных ресурсов и участия всех заинтересованных сторон, органов и стран.*

Желательные меры помогут минимизировать вызовы и последствия, в частности в отношении проблем недостатка воды, и найти пути компенсирования потери объема за счет сбережения водных ресурсов в рамках других мер и усилий.

3.4.2 Крупномасштабные меры и вмешательства

Помимо регулярных (срочных) мер по техническому обслуживанию и решению проблем заиления в Русловом водохранилище, которые описаны выше, мы также предлагаем несколько крупномасштабных мер (включая структурные меры) для дальнейшего рассмотрения. Мы предлагаем три варианта, которые можно сравнить по их технической, социальной, экологической, инженерной и экономической осуществимости и воздействию. Поскольку эти меры требуют намного больше ресурсов и инвестиций, необходимо провести тщательное, детальное планирование, подготовку и исследования.

Для таких мер, на данном этапе должно быть достаточно общего анализа, чтобы начать обсуждения с донорами (национальными / международными) касательно потенциальной инвестиционной стратегии / программы, а также изучения возможности подготовки заявления о содержании проекта и технического задания. Следует поощрить международный интерес и участие, поскольку есть богатый выбор экспертных знаний и оборудования в области дноуглубительных работ / земляных работ для приречного строительства.

Далее описывается ряд возможных вариантов.

3.4.2.1 Вариант 1: Капитальное дноуглубление в Русловом водохранилище с утилизацией наносов

Капитальное или новое дноуглубление предусматривает удаление большого объема наносов из Руслового водохранилища (в отличие от ремонтного дноуглубления) с целью восстановления некоторой части объема водохранилища в сочетании с утилизацией большого объема удаленных наносов. Первое предложение включает следующие меры:

- Удаление до 500 млн. м^3 (не ограничивается этим) удаленных наносов в Русловом водохранилище за 5 лет (объем удаленных наносов нужно будет оптимизировать в сочетании с анализом притоков в водохранилище на основе исторических данных и будущих ожидаемых сценариев).
- Крупномасштабная утилизация удаленных наносов, в частности для развития проекта по восстановлению окружающей среды (подобно Пилотной инициативе по зеленой экономике пустыни)

Преимущества

- Заметное увеличение объема водохранилища
- Наличие большого объема наносов для утилизации, в частности для реализации региональных программ развития, отраслей, инкубаторов и предприятий (инвестиций)
- Возможности для экологического восстановления местности, инициативы для развития пустыни, ведущие к социальному, экономическому, экологическому развитию и восстановлению
- В связи с большим объемом наносов, которые будут удалены в рамках этой кампании, будет привлечен международный интерес к работе по долгосрочным контрактам с внутренними корпоративными инвестициями.

Недостатки

- См. также пилотные проекты по утилизации наносов
- Большие финансовые инвестиции
- Значительные технические усилия и требования
- Большие вмешательства, ведущие к неблагоприятному морфологическому воздействию и рискам
- Существенные инвестиции и усилия для проведения предварительной оценки осуществимости и оценки воздействия
- Значительные усилия, человеческие ресурсы, квалификации, институциональные механизмы для мониторинга, управления и адаптации
- Новые механизмы закупок и заключения контрактов, которые ранее не использовались в регионе
- Неосуществимо без масштабной утилизации и/или площадок для размещения, прилегающих к ТМГУ
- Трансграничные споры, барьеры, неготовность из-за большого масштаба инициатив

3.4.2.2 Вариант 2: Строительство и/или расширение внеруслового водохранилища (-щ)

На близлежащих участках есть некоторые большие понижения (установлены при проведении быстрого удаленного исследования местности, как показано выше). Следовательно, для дальнейшего изучения и оценки предлагаем следующие структурные меры по созданию дополнительных водохранилищ объемом 0,5-1 млрд. м^3:

- Строительство дополнительных внерусловых водохранилищ возле ТМГУ (в Узбекистане и/или Туркменистане), учитывая наличие подходящих для этого понижений (в радиусе 25-30 км).
- Улучшение / расширение существующих внерусловых водохранилищ
- Эту меру следует рассматривать как альтернативу капитальному дноуглублению, но в сочетании с управлением наносами и техническим обслуживанием
- Проектирование наносоуловителей в рамках комплексной программы управления наносами

Преимущества

- Значительное увеличение объема водохранилища
- Нет большого морфологического вмешательства в Русловое водохранилище

Недостатки

- Большие финансовые инвестиции
- Значительные технические усилия и требования (хотя уже есть внерусловые водохранилища, поэтому опыт есть, в отличие от капитального дноуглубления)
- Морфологическое и экологическое воздействие на главную реку из-за существенного объема отвода потока
- Проблемы, связанные с геологическими / геотехническими условиями, например, просачивание, безопасности и стабильность, ведущие к неэффективности, опасности и рискам
- Трансграничные споры, барьеры, неготовность из-за большого масштаба вмешательств и водопользования

3.4.2.3 Вариант 3: Ремонт/перемещение сооружений

В качестве возможной альтернативы капитального дноуглубления и внерусловых водохранилищ (которые могут стоить не меньше строительства новой плотины), мы предлагаем изучить структурные меры, такие как улучшение или даже перемещение головных сооружения и гидроэлектростанции, учитывая, что такая практика существует, как показано в Разделе 5.3 (Глава 5). Можно рассмотреть одну из следующих мер для проведения предварительной оценки осуществимости:

- Повышение плотин и насыпей для поднятия НПУ (оценка этой меры будет выполнения в сочетании с мерой по увеличению текущего уровня НПУ над проектным значением, которая предлагается в Разделе 3.4.1.3)
- Перемещение головных сооружений и гидроэлектростанции

Преимущества

- Повышение плотин значительно увеличит объем водохранилища (>500 млн. $м^3$)
- Перемещение головных сооружений может решить проблему потери объема, а также структурной безопасности и устойчивости (почти с такой же стоимостью, что и капитальное дноуглубление и строительство новых внерусловых водохранилищ)
- Эти меры можно сочетать с управлением наносами и утилизацией

Недостатки

- Большие финансовые инвестиции
- Значительные технические усилия и требования, особенно для перемещения сооружений
- Морфологическое и экологическое воздействие перемещения плотины
- Увеличение зоны затопления выше по течению из-за повышения уровня водохранилища, которое может привести к социально-экологическим проблемам

- Проблема заиления вследствие повышения плотины, требующая дополнительного управления наносами и стратегии эксплуатации плотины
- Проблемы, касающиеся стабильности сооружений вследствие повышения плотины и связанных с этим рисками (из-за увеличения гидротехнической нагрузки)
- Трансграничные споры, барьеры, неготовность из-за большого масштаба вмешательств, в частности перемещения сооружений

3.5 Разработка технической концепции управления наносами с утилизацией на ТМГУ

3.5.1 Общая информация

Мы предложили различные возможные структурные, текущие и неструктурные меры решения проблем заиления на ТМГУ. Данный раздел сосредоточен на программе управления наносами, включающей удаление и утилизацию наносов. Мы рассматриваем здесь первую категорию проблем и соответствующие меры, которые описаны в разделе выше. Удаление наносов из Руслового водохранилища, как текущая ремонтная мера, неизбежно из-за высокого риска, связанного с работой и безопасностью гидросооружений на головных сооружениях (например, гидроэлектростанция и водозаборы каналов). В связи с этим, мы подготовили предварительную техническую концепцию управления наносами с утилизацией на ТМГУ. Это предложение представляет собой просто предварительную техническую концепцию, основанную на экспресс-анализе ограниченных данных и информации. Таким образом, потребуется ее доработка на основе детального изучения и исследований, включая технико-экономическое обоснование и оценку воздействия.

3.5.2 Техническая концепция

Схематическая диаграмма базовой технической концепции по комплексной программе управления наносами на ТМГУ изображена на Рисунок 3-13. Концепция включает четыре основных компонента, а именно: (1) удаление наносов в Русловом водохранилище и каналах (основные меры по техническому обслуживанию) в сочетании с промыванием (дополнительные меры); (2) борьба с эрозией и управление притоком наносов в водосборе ТМГУ, реке, притоках и Русловом водохранилище (меры смягчения); (3) пилотная кампания по выбранным вариантам утилизации удаленных наносов, а именно, производство строительных материалов, удобрений, верхнего слоя грунта, меры по регулированию речного русла и водохранилища (в рамках оценки по определению содержания проекта и предварительной оценки осуществимости); и (4) создание систем мониторинга, информации, прогнозирования и раннего предупреждения по воде (количество и качество), наносам (качество, количество и утилизация) и морфологии водохранилища, которые необходимы для регулярного пересмотра и адаптации программы управления наносами (неструктурные меры) .

Рисунок 3-13 Базовая техническая концепция комплексного управления наносами на ТМГУ с утилизацией

Ниже содержится краткое описание каждого компонента.

3.5.3 План удаления наносов и реализация

План удаления наносов включает два основных мероприятия по техническому обслуживанию, а именно: (i) удаление наносов из Руслового водохранилища и каналов с использованием соответствующей технологии дноуглубления в качестве основной меры по техническому обслуживанию (требует срочных действий и исполнения); (ii) промывание в качестве дополнительной меры в сочетании с дноуглублением.

3.5.3.1 План и технология ремонтного дноуглубления

Поскольку это предложение направлено на решение проблем первой категории, ремонтное дноуглубление должно проводиться возле гидроэлектростанции и головных сооружений канала, водосбросов и водозаборов внерусловых водохранилищ. В рамках управления наносами для сокращения притока наносов из верхней части, можно также провести дноуглубительные работы в верхнем участке водохранилища и использовать наносоуловители с регулярным удалением наносов. Для этого нужно будет разработать детальный проект.

Если начать с плана ремонтного дноуглубления, нужно определить предварительный объем наносов для удаления (по крайней мере, на первые пару лет) и соответствующую технологию дноуглубления. Первая рекомендация (описана в Разделе 3.4.1.1) предусматривает годовой объем дноуглубления 1-2 млн. м^3 в течение первых лет. Со временем и с приобретением опыта его можно будет увеличить. Поскольку это должно стать постоянным мероприятием по техническому обслуживанию, органам ТМГУ нужно будет приобрести технологию дноуглубления (соответствующее оборудование). Это нужно будет сделать в сочетании с договором эксплуатации и технического обслуживания на 1-3 года с разработчиком (-ами) технологии или профессиональной

компанией (-ями) по дноуглубительным работам. Это также предполагает разработку долгосрочных, слаженных, эффективных договорных механизмов с профессиональной компанией (-ями) по дноуглубительным работам, включая развитие потенциала местного населения.

Некоторые варианты технологии дноуглубления / оборудования, которые могут подойти для удаления наносов из водохранилища, изображены на Рисунок 3-14. Выбор подходящего оборудования зависит от гидравлических и морфологических условий. Условия могут варьироваться в зависимости от сезона и с течением времени, если регулярно будет удаляться большой объем наносов. В Русловом водохранилище большая часть водохранилища довольно неглубокая. Более того, наиболее вероятно, нужно будет проводить и сухую выемку грунта, особенно в сухой период (и в верхней части). В части водохранилища возле головных сооружений (водосброс, канал, гидроэлектростанция), где следует провести дноуглубительные работы, глубина может варьироваться от 2 до 4 м при текущем состоянии. Однако учитывая, что слой наносов может достигать 15 м, глубина будет увеличиваться, если дноуглубление будет проводиться надлежащим образом в сочетании с управлением наносами выше по течению. В связи с этим, оборудование нужно будет выбирать соответствующим образом. Судя по всему, потребуется несколько видов технологий, принимая по внимание масштабы и серьезность проблем (описаны в Разделе 2.2.2.3). Некоторые подходящие виды оборудования для дноуглубительных работ описаны на Рисунок 3-15, Рисунок 3-16 и Рисунок 3-17. Как видно из спецификации некоторых из этих технологий, коэффициент производства по удалению наносов зависит от вида и состояния наносов, а также от дальности откачки (есть несколько полезных графиков, показывающих эту связь, которые изображены на Рисунок 3-17 и Рисунок 3-18 по двум разным технологиям).

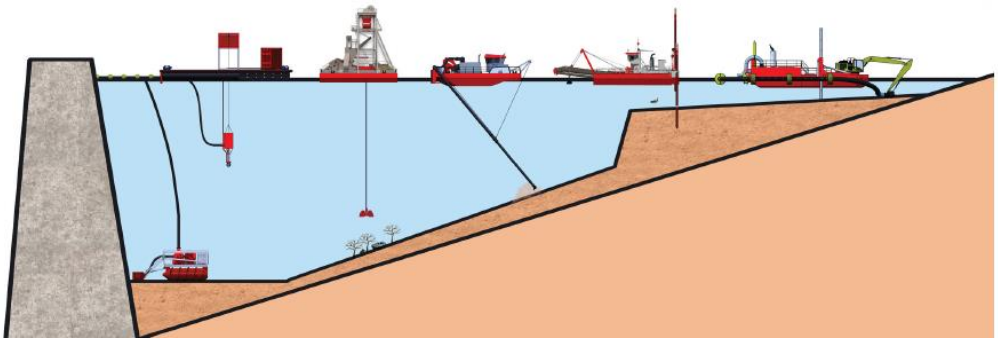


Рисунок 3-14 Различные дноуглубительные технологии для удаления наносов из водохранилища в зависимости от гидравлических и морфологических условий (предоставлено Royal IHC)

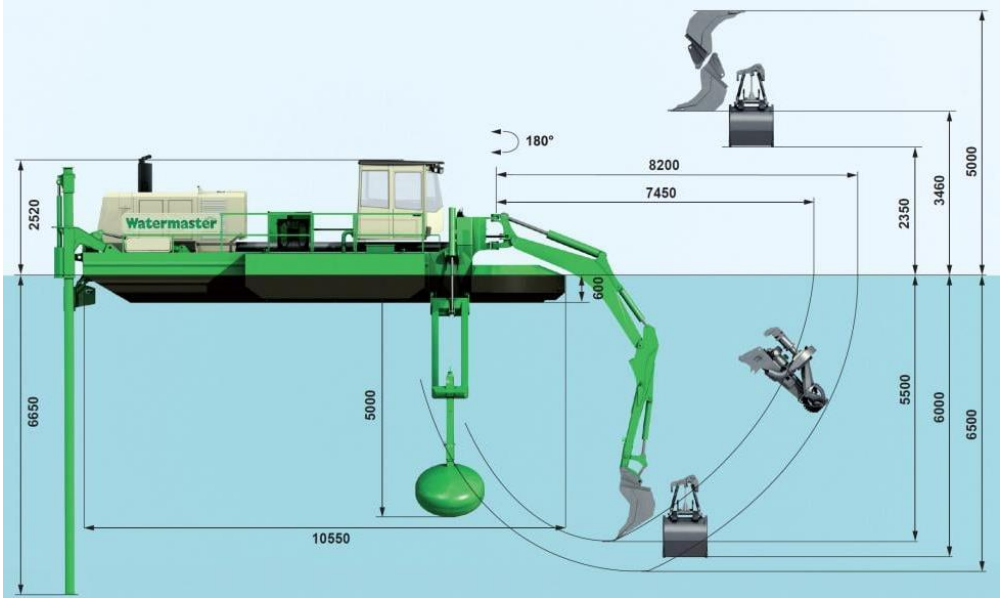
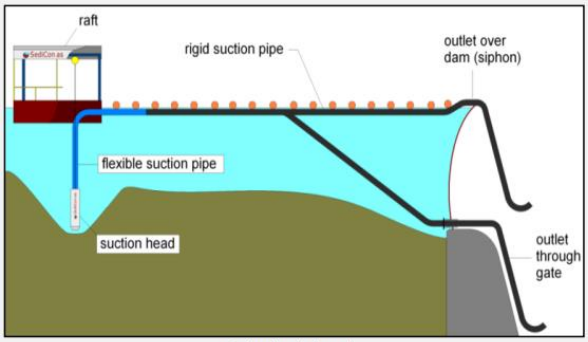


Рисунок 3-15 Водоходный многофункциональный Watermaster – подходит для сухих участков глубиной до 6,5 м; скорость откачки – 600-900 м^3/час (при 10-30% твердых веществ) с максимальной дальностью откачки до 1,5 км. Коэффициент производства очень сильно зависит от разных условий, например, от состояния почвы, высоты и дальности откачки, наличия обломков или камней, опыта операторов, т.д. (https://watermaster.fi).



Principal sketch

Powerful water jetting disintegrates sediments

Рисунок 3-16 SediCon Dredge – гидровсасывающая система, использующая имеющийся напор между водохранилищем и выпуском отводной трубы для откачки воды и наносов (таким образом, не требует энергии). Типичная средняя мощность варьируется от 50 м^3 связных наносов в час с 200 мм снарядами до 1000 м^3 в час песчаных материалов с 500 мм снарядом (www.sedicon.no).

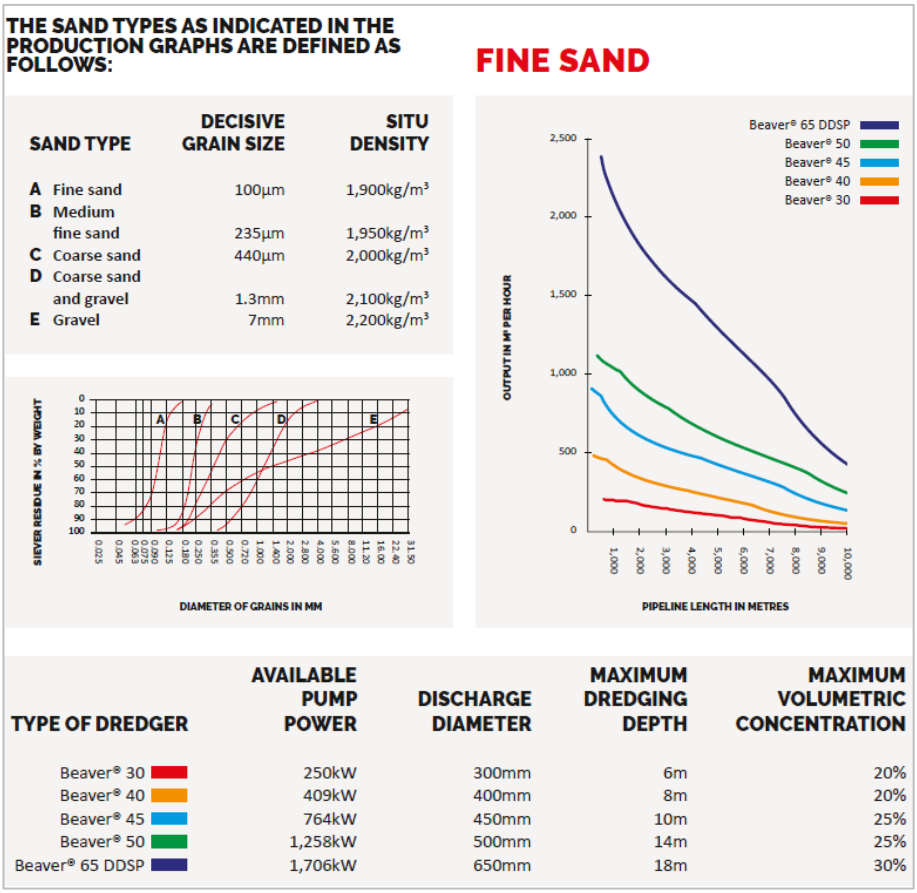


Рисунок 3-17 Коэффициенты производства по разным видам земснарядов с фрезерным рыхлителем IHC Beaver (предоставлено Royal IHC)

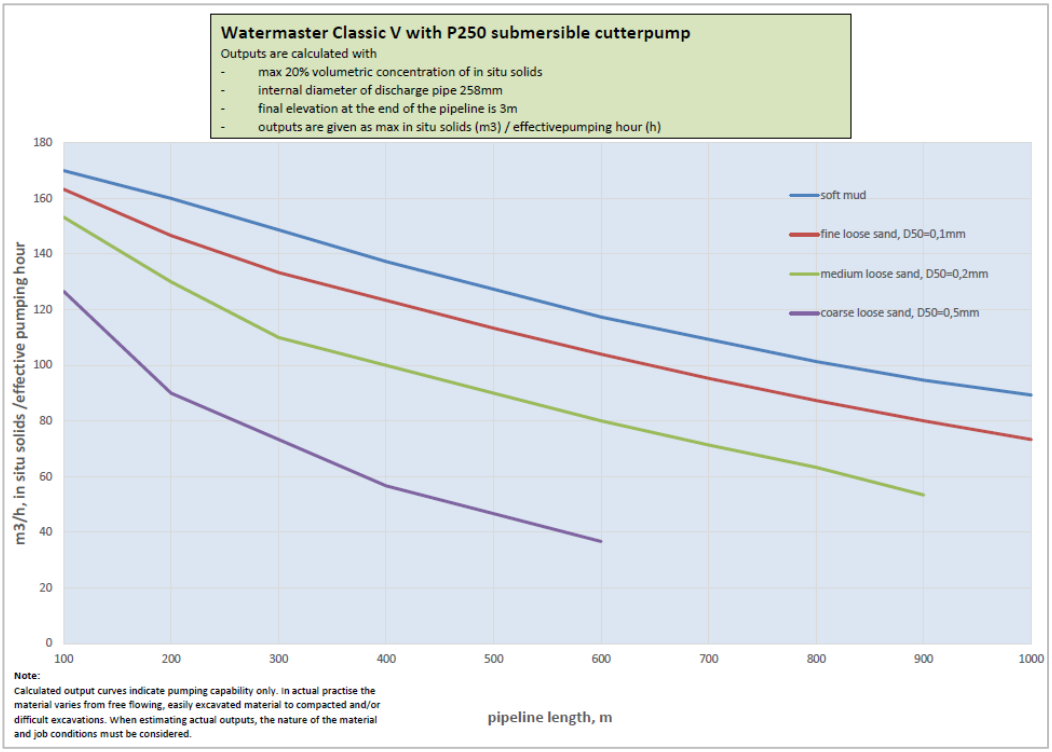
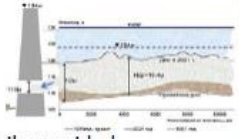


Рисунок 3-18 Коэффициенты производства (при 20% твердых частиц в общем объеме откачки) Watermaster (Classic V) по разным видам наносов и дальности откачки.

Пример выбора возможного оборудования и предварительная оценка удельной стоимости дноуглубления в Русловом водохранилище, исходя из некоторых параметров, допущений и возможных требований (объема (-ов) дноуглубления и целевого производства), показан в Таблица 3-1. Нужно отметить, что это включает только базовые дноуглубительные работы (с предполагаемой стоимостью топлива / бригады / трубопровода, т.д.) и не включает какие-либо другие затраты (например, затраты, связанные с местными законами / законодательством, развертыванием / свертыванием работ, накладными расходами, подготовкой участка, дальнейшим удалением / обработкой вынутого материала, исследованиями, т.д.). Поскольку здесь представлен лишь беглый отбор и анализ, рекомендуется провести углубленный анализ, чтобы более детально изучить данные и требования проекта и проанализировать необходимые дноуглубительные работы и связанные с ними затраты.

Таблица 3-1 Пример предварительного отбора оборудования и начальная оценка удельной стоимости дноуглубления в Русловом водохранилище (предоставлено Royal IHC)

Project location :	Tuyamuyun Hydro-Complex Turkmenistan	
coordinates:	41.211768°, 61.405978°	
water depth in dry season [m]:	5	
water depth in wet season [m]:	10	
dredging layer {m]	12	
elevation up to {m}	4	Standard value, no details provided
max pumping distance [m]	500	Assuming disposal of material is possible onshore close to dredging area
material type	MEDIUM FINE SAND	
Volume to be dredged [m3]:		
Phase 1 volume to be dredge year 1:	2,000,000.00	Maintenance dredging close to the dam (length of channel to be dredged unknown)
Phase 2 volume to be dredge year 1:	20,000,000.00	Capital dredging to 10km upstream & downstream of the dam
Operational indicators:		
Operational hours per day [h]	24	Working 2 shifts of 12h each
Effective pumping hours per day [h]	16	Taking into account (minor) delays for crew change, cutter operation etc
days per week	7	
week per year	40	
operational factor	0.75	
ANNUAL PRODUCTION TARGET PHASE 1 [m3]	2,000,000.00	



	TTPump 30-250	Beaver 45	Beaver 50		Beaver 65
			standard version	extended ladder*	
estimated production according to given parameters [m3/oh]	350	700	1000	900	1500
annual production [m3]	1,176,000.0	2,352,000.0	3,360,000.0	3,024,000.0	5,040,000.0
time to close the project (2MLN m2 to be dredged) [year]	1.7	0.9	0.6	0.7	0.4
dredging depth [m]	10	10	14	17*	18
price per unit [Euro/m3]			1.81	1.98	1.66

* standard dredging depth extension is -2m, but can be further extended to reach -17.0m. Additional analysis is advised with regards to the pump performance and the material to be pumped

3.5.3.2 Промывание наносов

Некоторые общие описания работ по промыванию наносов содержатся в Разделе 3.2.1.2. При нынешнем состоянии заиления возле донных отверстий и головных сооружений, проводить активное промывание представляется рискованным (и, может быть, даже невозможным). Следовательно, до проведения и планирования работ по промыванию, необходимо надлежащим образом удалить наносы из участков возле плотин и головных сооружений. Дноуглубление следует провести так, чтобы обнаженный склон осажденного слоя не был крутым. Это поможет предотвратить обрушение осажденного слоя (например, при промывании или даже от гидравлической нагрузки при нормальном подпорном уровне). Здесь содержится предложение по эксплуатации водохранилища для промывания поступающих наносов (см. Рисунок 3-19). Однако оно довольно приблизительное и требует должного анализа (например, моделирование гидравлических условий и наносов). Промывание будет необходимо и полезно для повышения эффективности мероприятий по удалению наносов, а также для поддержания функциональных требований возле участков плотины в будущем. Тем не менее, эти мероприятия следует надлежащим образом спланировать и изучить до их исполнения. Есть несколько примеров того, как это можно сделать. Кроме того, нужно будет внимательно реализовывать мероприятия и вести их мониторинг, чтобы не допустить непредвиденного воздействия, ведущего к опасностям и рискам для головных сооружений, гидроэлектростанции и каналов.

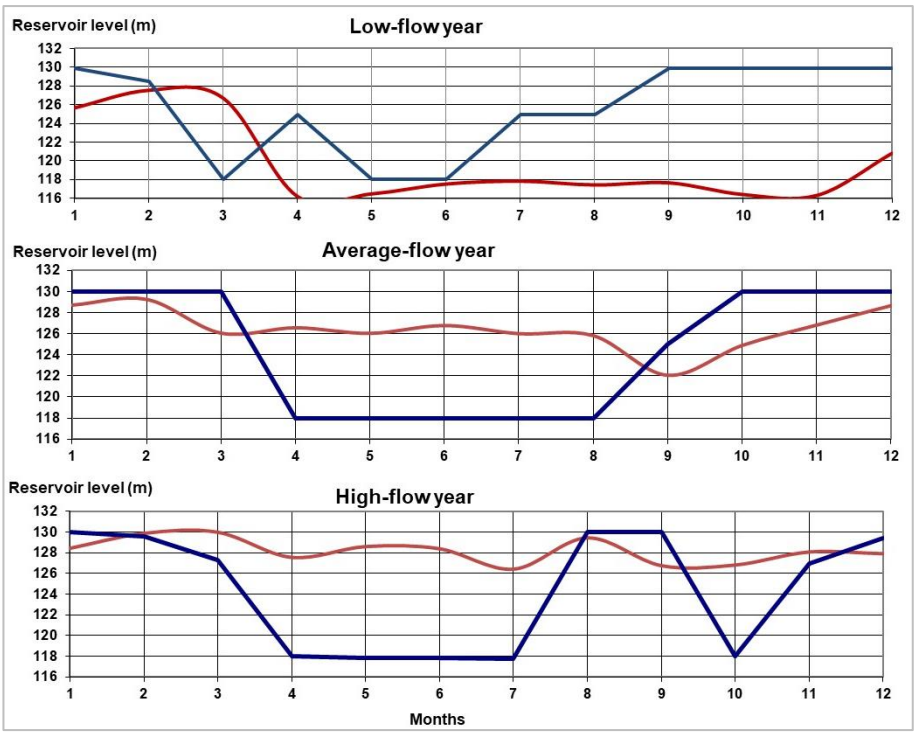


Рисунок 3-19 Предлагаемая эксплуатация водохранилища на основе среднемесячного уровня водохранилища в годы высокого, среднего и низкого уровня воды (М. Икрамова, 2021)

Есть плохие примеры воздействия заиления и экологических стихийных бедствий, вызванные промыванием наносов, которое проводилось без надлежащего анализа количества, качества и условий отложенных наносов. Например, промывание водохранилища в Индии завершилось огромным стихийным бедствием. Объемы заиления были большими, поэтому ил во время промывания стал очень сконцентрированным. Он вел себя как сжиженная масса наносов (или как

сверконцентрированный мутный поток). Кроме того, произошла непредвиденная проблема засорения донных отверстий (судя по всему, из-за помех, вызванных обломками пород), которая привела к массовому прорыву наносов в сторону здания электростанции (расположенного на левой стороне водосброса, как на ТМГУ). Территория здания электростанции была покрыта большим количеством ила, поэтому выработку электроэнергии пришлось остановить на значительный период времени. На Рисунок 3-20 показаны последствия аварии. Есть еще один плохой пример экологической катастрофы, вызванной промыванием водохранилища. Авария произошла из-за неконтролируемого промывания водохранилища Каларкутты в Керале без надлежащей оценки количества и качества наносов. Промывание привело к экологической катастрофе и вызвало загрязнение нижнего участка реки Перияр, блокировав водоснабжение на несколько месяцев и повлияв на водную жизнь (Гири и др., 2019). Некоторые другие примеры содержатся в Разделе 5.2 (Глава 5).

Рисунок 3-20 Затопление илом внутри (слева) и вокруг здания электростанции (справа) в результате аварии, произошедшей при промывании наносов в водохранилище Пиллур в Индии (Гири и др., 2019)

3.5.4 Пилотная кампания по утилизации наносов

Еще один важный компонент предлагаемой программы управления наносами – пилотная кампания по утилизации наносов. Утилизация удаленных наносов сделает вариант удаления наносов более эффективным и устойчивым. Поскольку осуществимость вариантов утилизации пока еще не очень ясна, предлагаем подготовить план кампании по утилизации наносов. Есть некоторые результаты испытаний и экспериментов небольшого масштаба, но пилотная кампания поможет определить техническую, экономическую и экологическую осуществимость утилизации удаленных наносов из Руслового водохранилища и каналов в большом масштабе. Крайне важна способность коммерческого развертывания этих вариантов утилизации.

3.5.4.1 Варианты утилизации наносов

Для пилотной кампании рассматриваются следующие варианты утилизации наносов:

i) Производство добавки для верхнего слоя почвы (улучшение сельскохозяйственных угодий и создание экологических зон)

ii) Производство удобрений

iii) Производство строительных материалов (кирпичи, блоки, композитный заполнитель)

iv) Земляные сооружения по регулированию стока (крепление берегов, земляные плотины, песчаные пробки) для строительства объектов по утилизации, управления потоком и наносами в водохранилище и реке

Можно дополнительно рассмотреть приоритетность этих вариантов с учетом дополнительной информации, условий, а также технических и финансовых ресурсов и удобства для пилотной кампании.

3.5.4.2 Перевозка, удаление, обработка и переработка

Будут построены ограниченные или неограниченные объекты по утилизации для размещения удаленных наносов, их обработки и переработки, например, объекты по дренажу и испытаниям в зависимости от выбранных вариантов утилизации.

На первый взгляд (рассматривая Google Earth) видно пару мест для пилотной кампании, которые показаны на Рисунок 3-21. Эти участки находятся возле головных сооружений, т.е. возле основного участка ремонтного дноуглубления в водохранилище. Таким образом, расстояние перевозки небольшое, что позволяет использовать трубы для ила и возвращать поток после дренажа (пример показан на Рисунок 3-22). Часть ограниченных или неограниченных объектов по утилизации можно разработать как сельскохозяйственные и экологические зоны. Часть площадки для размещения можно использовать для переработки и производства (например, удобрений и строительных материалов).

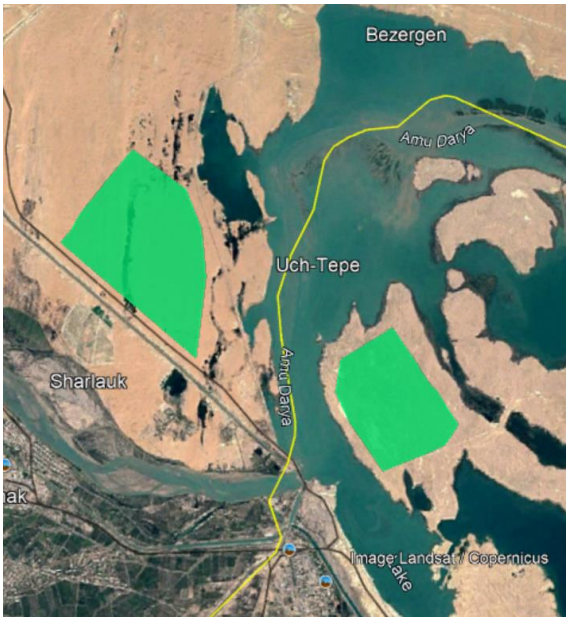


Рисунок 3-21 Два возможных участка (показаны зелеными многоугольниками) для удаления, обработки и переработки возле головных сооружений (необходимо дальнейшее детальное исследование на месте)

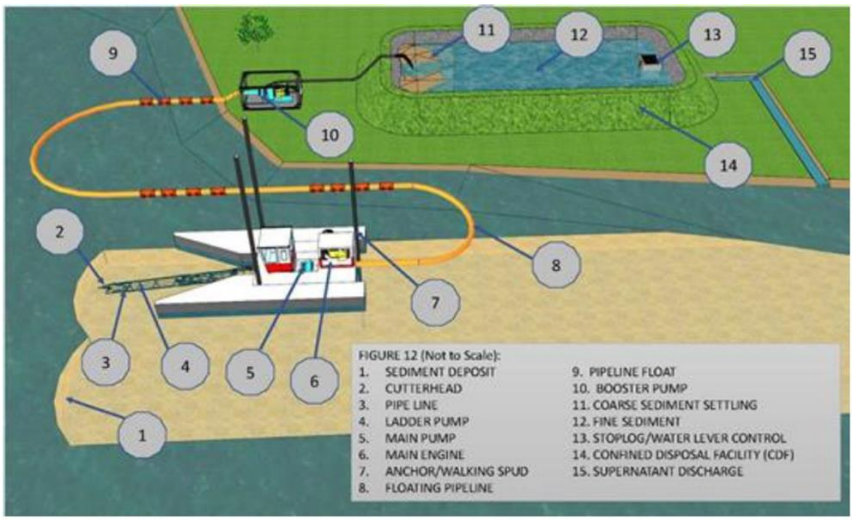


Рисунок 3-22 Пример схемы дноуглубления, перевозки, удаления (на ограниченном объекте по утилизации) и дренажа (Источник: Дж. Ф. Бреннан)

Система пневматического смешивания в расходной трубе (PFTM) для переработки и повторного использования наносов

Стабилизация мягких наносов, подобных наносам на ТМГУ, для производства структурного и/или неструктурного продукта утилизации с консистенцией плотного глиняного композитного заполнителя может представлять ценность для программы утилизации. Система PFTM – метод скоростного строительства для стабилизации, транспортировки и размещения вычерпанного материала, мягкой почвы и грязи, который позволяет утилизировать наносы в качестве структурных и неструктурных наполнителей (Рисунок 3-23 и Рисунок 3-24). Ее можно использовать на земле или на воде (в реках и каналах), и она особенно хорошо подходит для восстановления и переработки загрязненного (или незагрязненного) вычерпанного материала в рамках крупномасштабных навигационных и ремонтных проектов по дноуглублению. До того, как был разработан этот метод, для стабилизации вычерпанных наносов и грунта приходилось использовать судна со смесительными установками или громоздкие наземные перерабатывающие установки. С системой PFTM, можно использовать возможности пневматической транспортировки на месте, для которых нужно обычное оборудование и установки, чтобы упростить процесс смешивания в пределах небольшой территории. Сам процесс осуществляется через трубу для минимизации разливов и запахов. Кроме того, как показывает практика, она устраняет необходимость дорогостоящего и экологически проблематичного удаления вычерпанного материала и в то же время позволяет его экономично и эффективно утилизировать для производства композитного заполнителя.

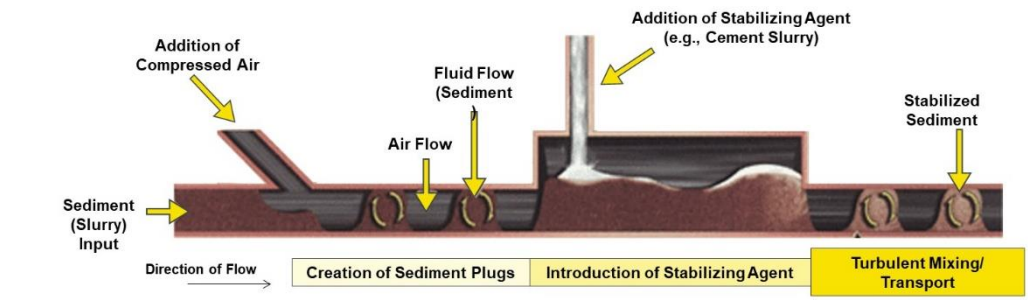


Рисунок 3-23 Механизм PFTM (Kitazume, 2002)

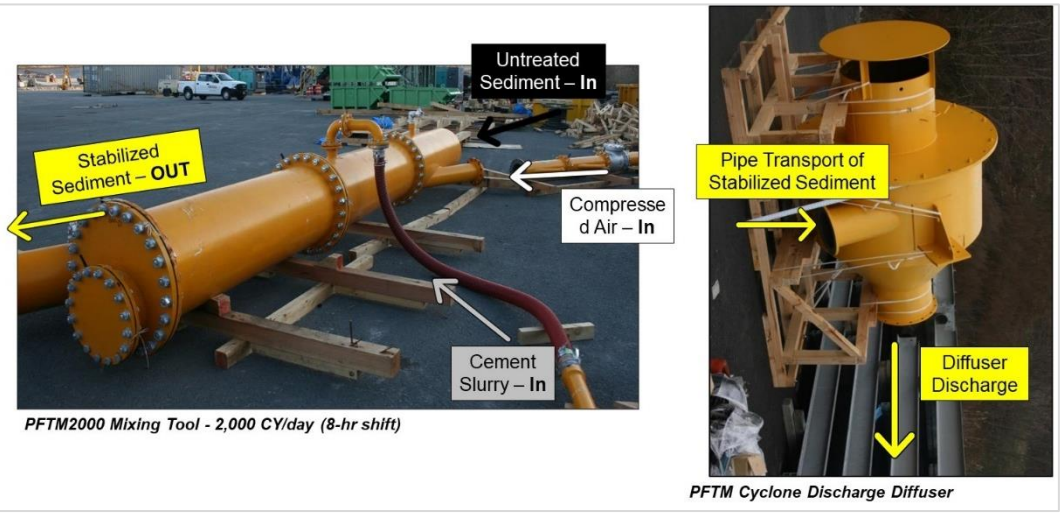


Рисунок 3-24 Технологическое оборудование PFTM

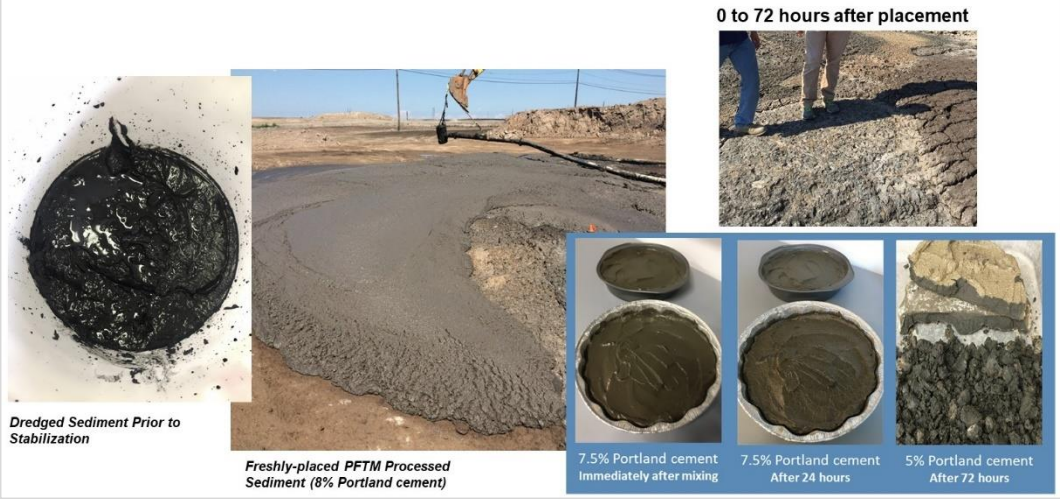


Рисунок 3-25 Переработанные наносы с использованием PFTM

Процесс PFTM позволяет производить качественный утилизированный заполнитель (т.е. единообразно усовершенствованный с использованием портланд-цемента или других вяжущих веществ, таких как топочный шлак или цементная пыль), который можно использовать как для экологических, так и для структурных целей. Варианты утилизации или удаления / размещения зависят от проекта и могут включать реновацию заброшенных промзон, засыпку для подпорной стены, покрытие для полигонов, укрепление берегов и улучшение мелководья. Система PFTM переработала более 20 миллионов кубических ярдов (≈15,3 миллиона м^3) наносов в Японии для строительства аэропортов и проектов освоения земель в морской среде. Этот процесс стабилизации цемента может работать на земле или на барже и способен перерабатывать и откачивать стабилизированные наносы на расстояние до 3 000 футов (или дальше, если использовать бустер-насос) для структурной или неструктурной утилизации. Схема плавучей переносной системы PFTM показана на Рисунок 3-26.

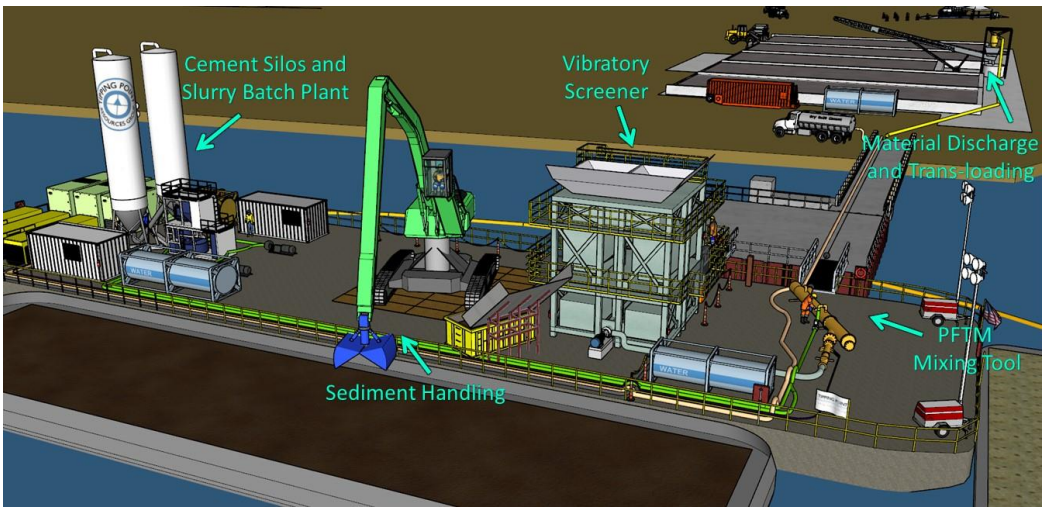


Рисунок 3-26 Плавучая система PFTM: мобильная операционная инженерная система переработки наносов (MOSES)

Этот метод, который был разработан в начале 2000-ых годов в Японии, обширно используется в проектах всех размеров в разных сферах, включая рекламацию земель для строительства взлетно-посадочной полосы в Международном аэропорту Токио Ханэда, Международном аэропорту Осаки, Международном аэропорту Нагоя и во множестве гаваней в Японии (Рисунок 3-27). Процесс стабилизации происходит полностью в закрытых условиях, с момента загрузки до выпуска стабилизированного

материала из системы. Система PFTM получает вычерпанный материал, похожий на материал в других стабилизационных системах; баржа с вычерпанным материалом довозится до места переработки. Баржа разгружается при помощи экскаватора и загружается в грохот и сепаратор наносов. Из-за компактности системы PFTM (для более больших систем нужно меньше отсева), для грохота потребуется двухдюймовое вибрационное сито снизу в дополнение к шестидюймовой решетке.

Рисунок 3-27 Примеры искусственного острова в Японии (верхний рисунок), построенного при помощи метода PTFM (нижний рисунок показывает рабочий процесс и свойства системы переработки вычерпанных наносов) (Гири и др., 2019, источник в интернете)

Система PFTM смешивает наносы со связующими веществами в трубе за счет сжатого воздуха при транспортировке от источника к месту окончательного размещения. Смесь мягких наносов и связующего вещества (цемент) образует множество разделенных илистых пробок в трубе, которые тщательно смешиваются при транспортировке за счет турбулентного потока (короткое расстояние), образуемого в пробке. Мягкие наносы, стабилизированные при помощи связующего вещества, быстро увеличиваются в прочности, при этом прочность стабилизированных наносов можно легко регулировать, изменяя количество связующего вещества и содержание воды в компьютерной системе мониторинга в режиме реального времени. Смесь наносов, которая осаждается и выдерживается на объекте, может быстро набрать относительную прочность, поэтому дополнительного улучшения наносов / почвы не требуется. Транспортировка мягких наносов через трубу без воздуха требует высокого давления, компенсирующего трение, образуемое вдоль внутренней поверхности трубы. Когда пульсы сжатого воздуха подаются в трубу вместе с мягкими наносами и связующим веществом, смесь разделяется на небольшие пробки. Затем пробки выталкиваются к выпускному отверстию. Образование пробок снижает трение вдоль внутренней поверхности трубы и может существенно уменьшить давление воздуха, необходимое для транспортировки. Давление воздуха, необходимое для транспортировки наносов, зависит от множества факторов, таких как свойства наносов, объем закачиваемого воздуха, диаметр и длина трубы. В текущей практике используется давление воздуха на впуске от 400 до 500 кПа. Пробки переносятся со скоростью, превышающей 10 м/сек, в трубе, что приводит к турбулентному потоку внутри пробок из-за трения вдоль внутренней поверхности трубы, который смешивает наносы и связующее вещество. PFTM используется для различных видов наносов с разной степенью эффективности. Практика показывает, что она хорошо

работает со сжиженными илистыми глиняными наносами с высоким содержанием органических веществ и содержанием воды от 50% до 200%.

3.5.4.3 Примеры объектов для размещения вычерпанных наносов

Одно из основных требований пилотной кампании по утилизации – подготовка объектов для размещения вычерпанных наносов, например, ограниченных или неограниченных объектов по утилизации. Эти объекты могут быть сооружены на возвышенности или в воде. Здесь мы приводим два примера из мировой практики, которые можно рассмотреть в отношении ТМГУ. Однако проект, исполнение и мониторинг пилотных объектов для размещения наносов на ТМГУ должны быть специально разработанными с учетом детального изучения различных местных условий и нюансов (технических, экономических, социальных и экологических). Некоторые другие примеры из мировой практики показаны в 5.4 (Глава 5).

1) Объекты для размещения вычерпанного материала на Больших озерах (США)

Инженерный корпус построил несколько объектов для удаления / размещения наносов на Больших озерах с конца 1960-ых годов для удаления загрязненных и незагрязненных вычерпанных материалов по различным навигационным проектам. Они находятся в нескольких местах вокруг Больших озер / гаваней и портов. Они построены на возвышенности, в воде, возле берега и в виде ограниченного объекта утилизации (Рисунок 3-28). Ниже представлены основные сведения по одному из ограниченных объектов утилизации в гавани Толедо штата Огайо – Остров 18 (см. отчеты, подготовленные Hull & Associates, которые содержатся в данном отчете):

- Остров 18 (также известный как Травянистый остров) – водный объект в Толедо, штат Огайо, находящийся в заливе Моми к северо-западу от устья реки Моми.
- Местный спонсор – Портовое управление Толедо – округ Лукас
- Площадь объекта: 150 акров с общей пропускной способностью 5 000 000 кубических ярдов (3,8 млн. м^3)
- Объект был построен в 1961-1962 годах в рамках нового рабочего проекта (стоимость не известна). Дамбы были впоследствии подняты для удаления вычерпанного материала. Новые дамбы были построены в 1977 году поверх существующей насыпи, затраты при этом составили 5 000 000 долл. США.
- Дамбы представляют собой земляные валы из вычерпанных материалов, полученных от новых работ и ранее проведенного ремонтного дноуглубления.
- Материалы размещаются на объекте из саморазгружающейся землечерпалки по трубопроводу.
- Дренаж объекта путем сброса из водослива и истечения воды через дамбу в озеро Эри
- Очистка стоков путем первичного отстаивания и фильтрации в ядре дамбы
- Оценка воздействия на качество воды во время пилотной программы (округ Буфало, 1969).
- Местный спонсор планирует использовать объект для переработки вычерпанного материала

Объект был расширен в 1994 году (гавань Толедо, объект 3 – отсек 2), как показано на Рисунок 3-29. Некоторые факты о расширенном объекте:

- Площадь объекта «гавань Толедо, объект 3 – отсек 2» составляет 155 акров, пропускная способность – 5 300 000 кубических ярдов (примерно 4 млн. м^3).
- Испытания и анализ показали, что большая часть канала Моми подходит для открытого размещения в озере, из-за чего будущая потребность в мощностях ограниченного объекта утилизации будет очень небольшая.

- Нефедеральные заинтересованные стороны могут использовать этот объект, если будет установлено, что мощности, используемые нефедеральными заинтересованными сторонами, не снизят наличие объекта для целей федерального навигационного проекта, что материалы экологически приемлемы, и после оплаты тарифа за утилизацию.
- Прямой транспортный доступ к объекту осуществляется через автомобильную дорогу и по воде.

В отчете содержится целый перечень ограниченных объектов утилизации. Некоторые из них перечислены в Таблица 3-2, которая содержит описание основных характеристик и предварительных затрат объектов. Полный перечень есть в отчете.

Ограниченный объект утилизации может служить объектом для хранения больших объемов удаленных наносов из ТМГУ. Он дает необходимую вместимость для осуществления капитального и ремонтного дноуглубления. Вычерпанный материал, размещаемый на ограниченном объекте утилизации, можно также вырабатывать для утилизации, продлевая тем самым продолжительность службы объекта.

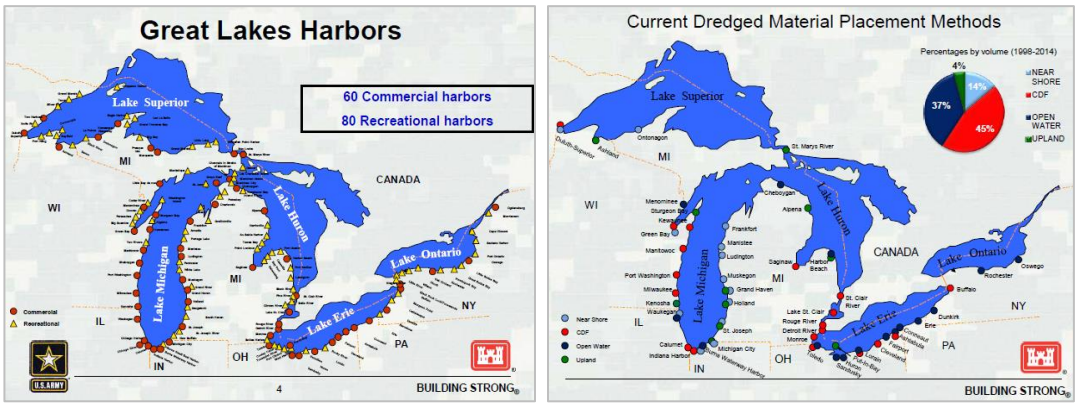


Рисунок 3-28 Гавани Больших озер (слева) и месторасположение объекта для размещения вычерпанного материала и методы (предоставлено Д. Романо, 2015)

Рисунок 3-29 Один из ограниченных объектов утилизации на Больших озерах (расширен в 1994 году) в гавани Толедо – остров 18

Инновационный центр утилизации вычерпанного материала на Больших озерах

Это образцовый опыт, который может быть адаптирован и на ТМГУ. Эта специальная программа по пилотной утилизации удаленных наносов была начата в 2016 году Портовым управлением Толедо – округ Лукас в рамках гранта 2,5 млн. долл. США, выделенного Фондом здорового озера Эри штата Огайо, в сотрудничестве с Управлением по охране окружающей среды штата Огайо, Департаментом природных ресурсов штата Огайо, Портовым управлением, городом Толедо и Инженерным корпусом сухопутных войск США.

Порт Толедо вычерпывает из судоходного канала около 6-8 млн. м^3 наносов в год. Это исследовательский проект, который направлен на изучение утилизации удаленных наносов (которые иначе просто сбрасываются на объектах), например, на оценку размещения удаленных наносов, дренажа, использования промежуточных покровных культур, улучшения почвы, прочие испытания и мероприятия по эксплуатации и техническую обслуживанию, необходимые для планирования полномасштабной реализации программы утилизации удаленных наносов для сельского хозяйства и производства смешанного грунта (Hull & Associates, 2018). Он также является примером государственно-частного партнерства.

Согласно отчету Hull & Associates (2018 – см. подробности в отчете), этот грант был предоставлен для проектирования, получения разрешений и строительства различных отсеков (Рисунок 3-30), связанных со следующими научными мероприятиями и исследованиями:

- *Зона полевых испытаний сельскохозяйственных технологий*: Четыре отсека площадью 2,5 акра для демонстрации и анализа осуществимости улучшения сельскохозяйственных угодий с использованием удаленных наносов. Отсеки можно использовать по отдельности для оценки различных методов обработки или добавок, коэффициентов уплотнения, насаждений, т.д.
- *Зона исследования системы обработки полевой межи:* Система поддержания фильтрующей среды, установленная в отсеках для слива воды в систему обработки полевой мрежи. Эта система управления водой и обработки может поддержать будущее исследование по сокращению смыва питательных веществ.
- *Зона производства смешанного грунта:* Удаленные наносы можно смешать с другими материалами, включая листовой компост с предприятия по выработке компоста города Толедо. Планируется создание Программы сертификации материалов, которая будет обеспечивать, чтобы производимые надлежащим образом смеси на основе удаленных наносов были приемлемы для неограниченных целей использования в государственном и коммерческом секторе.
- *Причал:* могут быть сделаны улучшения на набережной для участка выгрузки удаленных наносов.
- *Доступ к объекту и инфраструктура*: Потенциальные улучшения включают модернизацию/расширение подъездной дороги, расширение системы водоснабжения и канализации, защитные ограждения и ворота.

Некоторые другие факты:

- Удаленные наносы должны перевозиться с барж в отсеки при помощи гидротехнических средств и затем уплотняться и осушаться в дренажной системе и системе обработки полевой межи.
- Может быть построено причальное и перегораживающее сооружение для осуществления гидравлической и механической разгрузки.
- Объект изначально предполагался для размещения около 100 000 кубических ярдов (76 000 м^3) вычерпанного материала.

- Наращивание производства смешанного грунта может способствовать вывозу значительного объема материала с объекта, когда начнет работу Программа сертификации материалов, и удаленные наносы будут достаточно сухими и готовыми для переработки.
- Предполагалось, что удаленные материалы будут размещаться в течение двух лет. Будущие мероприятия на объекте и анализ, как предполагалось, продлятся после даты завершения проекта Фонда здорового озера Эри.

Рисунок 3-30 Различные отсеки для размещения удаленных наносов

Таблица 3-2 Некоторые ограниченные объекты по утилизации на Больших озерах (Hull & Associates, 2018)

CDF Name[1]	Navigation Projects Served	State	Type[3]	Year Built	Size (acres)	Initial Design Capacity[4] (cu yd)	Percent filled[5]	Authority[6]	CDF Construction Cost[7]	Existing or Planned Uses After Filling	Status
Sebewaing Harbor	Sebewaing Harbor	MI	U	1979	9	84,000	100	Sec 123, PL 91-611	$1,300,000	airport expansion	last used in 1988
Sebewaing Harbor - Marina Site	Sebewaing Harbor	MI	U		11			Provided by sponsor			active
St, Clair River - Dickinson Island	St. Clair River and Channels in Lake St. Clair	MI	U	1975	174	2,000,000	71	Sec 123, PL 91-611	$5,072,000	wildlife area	active
St. Joseph Harbor - Malleable Site	St. Joseph Harbor	MI	U	1978	15	35,000	100		$173,474	private land	material removed from site
St. Joseph Harbor - Whirlpool Site	St. Joseph Harbor	MI	U	1978	14	25,000	100	Project specific O&M	$638,000	tranfer site	last used in 1999
Toledo Harbor - Island 18	Toledo Harbor	OH	I	1961	150	5,000,000	92	provided by sponsor	$5,000,000	wildlife area	last used in 1978, although capacity still remains
Toledo Harbor - Riverside Park	Toledo Harbor	OH	U	1961	150		100	Project specific O&M			last used in 1961
Toledo Harbor - Site 3	Toledo Harbor	OH	L	1976	242	11,100,000	98	Sec 123, PL 91-611	$18,400,000	wildlife area	active
Toledo Harbor - Site 3 Extension	Toledo Harbor	OH	L	1994	155	5,300,000	0	Project specific O&M	$4,800,000	wildlife area	active
									$297,796,474		
Legend											
1 - CDF name is that most commonly applied, not necessarily a formal title											
2 - Federal navigation project from which material was dredged											
3 - CDF types (L = in-lake site attached to land; I = in-lake island; U = upland site)											
4 - Planned capacity of CDF at time of construction											
5 - Percent filled, based on adjusted capacity estimates											
6 - Authority for CDF construction. Bayport CDF expanded by non-Federal sponsor with local funding and grant from EPA											
7 - Contract cost for CDF construction, not inflated to current value. Does not include planning and design costs. Some early CDFs were developed by non-Federal interests for limited or one-time use, and construction costs are unknown.											

2) Ограниченные объекты по утилизации в Слафтере (Нидерланды)

Порту Роттердама приходится проводить регулярное ремонтное дноуглубление с годовым объемом 12-15 млн. м^3. Большой объем удаляемых наносов (преимущественно глина и ил) загрязнен и должен размещаться на ограниченном объекте утилизации. Слафтер – прибрежный ограниченный объект утилизации, расположенный вблизи Порта Роттердама (Рисунок 3-31). Он был открыт в 1987 году как защищенный дамбой, подводный, прибрежный ограниченный объект утилизации, расположенный на 25 м ниже уровня моря, но спустя двадцать лет был заполнен до уровня моря, а в будущем будет заполнен до 25 м выше уровня моря. В настоящее время происходит отделение песка и производства глины для утилизации. Это может компенсировать некоторые затраты (Pianc Working Group Envicom 5).

Некоторые факты и цифры об ограниченном объекте утилизации в Слафтере:

- Работает с 1987 года.
- Партнерство между Портовым управлением Роттердама и Министерством инфраструктуры и окружающей среды; управление объектом осуществляется компанией по дноуглубительным работам Boskalis.
- Площадь – около 260 га (2,6 км^2), емкость – 150 млн. м^3
- На объекте размещаются наносы из двух крупных рек (Рейн и Маас).
- Загрязненные наносы тоже размещаются на объекте.
- На дамбах установлены ветроэнергоустановки.
- После сооружения насыпей была посажена специальная трава, чтобы предотвращать эрозию. На береговой территории объекта была создана зона отдыха, которая компенсирует потерю существующих мест отдыха. Поверх насыпи была построена смотровая дорога (протяженностью около 6 км) с общественными смотровыми площадками для обзора раскопок.
- К югу от Слафтера был создан природный заповедник, который постепенно зарос растительностью и привлек разные виды птиц.
- Сухие части объекта часто используются птицами (чайки, утки и другие береговые птицы) как места размножения. Это иногда мешает работе на объекте.
- Была установлена система мониторинга для проверки мобильности загрязнения.
- На объекте также размещаются удаленные наносы из Бельгии и Германии (интерес со стороны других стран, а именно Великобритании, Швеции, Дании, Ирландии)
- Общая стоимость строительства объекта составила около 68 млн. евро. Эксплуатационные затраты составляют примерно 9 млн. евро в год, и более или менее не зависят от количества размещаемого материала. В эту цифру не включена стоимость выгружающих барж и землечерпательных машин. Также не включена стоимость обновления оборудования на объекте, расходы после обработки и стоимость нескольких испытаний. Все включенные удельные затраты остаются гораздо ниже 4,5 евро/м^3. Средняя стоимость обработки песчаных материалов с использованием механического сита составляет 11 евро/тсв. Использование осадочных бассейнов добавляет 2,7 евро/м^3 к общей стоимости.

Рисунок 3-31 Вид сверху на Слафтер (изображение GE слева) и осадочный бассейн и площадки производства глины (изображение справа - Pianc Working Group Envicom 5)

3.5.5 Борьба с эрозией и управление притоком наносов

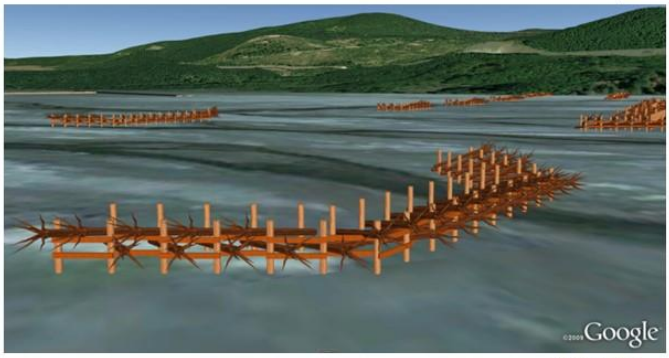
3.5.5.1 Эрозия в водосборе и меры борьбы с ней

Деградация водосбора – одна из основных причин высокого образования, переноса и осаждения наносов. Как показывают прошлые исследования (Рахматуллаев и др., 2013), деградация земли в бассейне р. Амударьи привела к опустыниванию, потере биоразнообразия, засолению земли и чрезмерному выпасу. В Узбекистане распространенными формами эрозии является ветровая эрозия и орошение. Согласно исследованию Рахматуллаева и др. (2013), ветровая эрозия особенно преобладает в пустынных районах Хорезмской, Бухарской областей и Каракалпакстана. Эрозия от воды и орошения увеличилась из-за ненадлежащих методов орошения и расширения орошаемых территорий на крутых склонах. Кроме того, главными факторами, способствующими эрозии, является обезлесение и чрезмерный выпас (ЮНЕСКО, 2000). В настоящее время, ветровая эрозия резко сократилась, на 50% по сравнению с 1980-ыми годами из-за превентивных планов мероприятий с созданием зеленых полос вокруг зон орошения, но потери гумусового слоя за сезон в результате эрозии все равно могут достигать 80 т/га (ПРООН, 2007). Аналогичным образом, согласно отчету (ЮНЕП, 2005), около 75% общего количества селевых потоков в регионе Центральной Азии происходят в Узбекистане. В Узбекистане принимались различные смягчающие меры, например, создание зеленых полос, террасирование крутых склонов, установка технических сооружений по предотвращению эрозии и применение консервативных методов обработки почвы (Рахматуллаев и Ле Кустумер 2006; Рахматуллаев и др. 2008b). Пылевые облака в восточном Узбекистане преимущественно связаны с лессовым грунтом, но на западе пыль идет с высыхающего дна Аральского моря; она в основном состоит из агломерированного материала с глиной и переносит опасные загрязняющие вещества (Рахматуллаев и др., 2013).

Один из вариантов утилизации удаленных наносов из Руслового водохранилища можно использовать для озеленения пустыни, лесонасаждения и улучшений вдоль водохранилища (например, насаждение деревьев и кустарников с низкой водопотребностью – Рисунок 3-32), и это также поможет снизить ветровую эрозию. Можно использовать несколько методов и мягких мер борьбы с эрозией и переносом наносов, чтобы снизить образование наносов из верхнего участка реки и притоков (Рисунок 3-33).

Рисунок 3-32 Озеленение пустыни для борьбы с ветровой эрозией

Malesu et al. (2007)



USACE

Рисунок 3-33 Некоторые примеры (мягких структурных) мер управления наносами в водосборе и реке

3.5.5.2 Борьба с эрозией и управление наносами в реке и водохранилище

Перенос наносов вследствие эрозии в русле и на берегу реки, а также распространение осажденных наносов в верхнем участке, тоже, судя по всему, вызывают заиление в водохранилище (особенно возле плотины). Так, большое количество наносов в 2008 году было обнаружено в верхней части водохранилища, которые впоследствии распространились к плотине в 2021 году (см. Раздел 2.2.2.3). Это означает, что помимо заиления, вызванного осаждением взвешенных частиц, серьезную проблему представляет и перенос донных наносов из верхнего участка водохранилища вниз по течению (к головным сооружениям). Его можно минимизировать посредством улавливания и/или отклонения наносов выше по течению и их своевременного удаления, чтобы они не переносились вниз по течению к плотине и водозаборам. Для борьбы с эрозией и переносом наносов из верхней части можно использовать некоторые мягкие сооружения для борьбы с эрозией и улавливания наносов (например, с

использованием осажденного материала). Эти меры нужно изучить и спроектировать надлежащим образом. Кроме того, можно построить перегородки и регулирующие мягкие сооружения вдоль водохранилища, чтобы изменять направление, улавливать и удалять наносы, уменьшая тем самым их перенос вниз по течению.

После ремонтного дноуглубления возле плотины, необходимо предотвратить перенос донных наносов к водозаборам. Для этого можно использовать различные мягкие сооружения, например, экологически безопасные донные фильтры и барьеры. Однако необходимо надлежащим образом изучить эффективность таких мер. Пример показан на Рисунок 3-34.

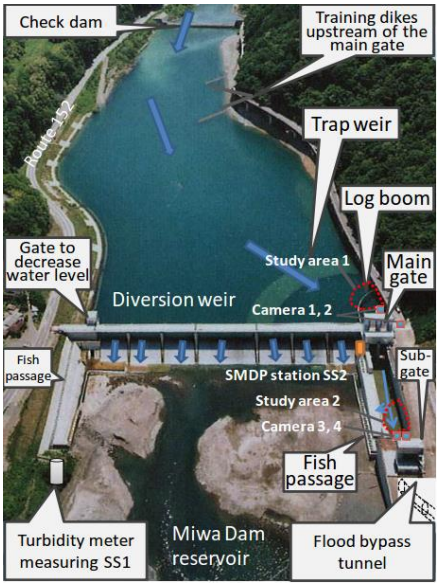


Рисунок 3-34 Меры управления и мониторинга наносов на плотине Мива в Японии (Кантуш и др., 2011)

3.5.6 Системы мониторинга, информации, прогнозирования и раннего предупреждения

Важным компонентом является регулярный и систематический мониторинг в водосборе, реке и участках водохранилища. Мониторинг и измерения должны быть комплексными и включать различные процессы и параметры в различных пространственных (от водосбора до реки и участков водохранилища) и временных разрешениях и частотах (Рисунок 3-35). Однако мониторинг и сбор данных сами по себе не несут большой ценности, если не осуществляется надлежащее управление данными, хранение, анализ и использование данных для целей улучшения и адаптации мер. Более того, данные необходимо использовать для создания систем информации, прогнозирования и раннего предупреждения в сочетании с методами предсказания, например, эмпирическими, основанными на данных и/или основанными на физике вычислительными моделями. Такие системы можно использовать не только для распространения информации, но и в процессе принятия решений в критических ситуациях.

Вдоль р. Амударьи и на ТМГУ уже есть некоторые наблюдательные станции для сбора регулярных данных, касающихся осадков, потока, уровня водохранилища и переноса наносов (концентрации). Кроме того, несколько раз проводилось измерение глубины водохранилища. Однако нет много информации о пространственном и временном разрешении наблюдений, о том, насколько автоматизированы системы сбора и управления данными, а также о качестве и частоте их обработки, анализа и использования. Это нужно будет изучить в первую очередь. Есть усовершенствованные измерительные приборы для автоматизированного наблюдения и наблюдения в режиме

реального времени (например, для высокочастотного наблюдения за осадками, уровнем воды, сбросом, концентрацией наносов). Кроме того, есть несколько инструментов и информационных систем (открытый источник), которые не только используются для управления и распространения данных и информации, но и включают методы и модели предсказания, используемые для прогнозирования и раннего предупреждения, например, Delft-FEWS (система прогнозирования и раннего предупреждения), разработанная компанией Deltares. Система Delft-FEWS может автоматически включать все виды данных из различных источников (например, широкодоступные глобальные данные, наземные данные в режиме реального времени или в автономном режиме). Эта система также содержит различные инструменты статистического анализа и возможности включать методы и модели предсказания (Рисунок 3-36). Система Delft-FEWS широко используется не только как информационная и операционная система, но также и как система прогнозирования и раннего предупреждения, как в автономном режиме, так и в режиме реального времени.

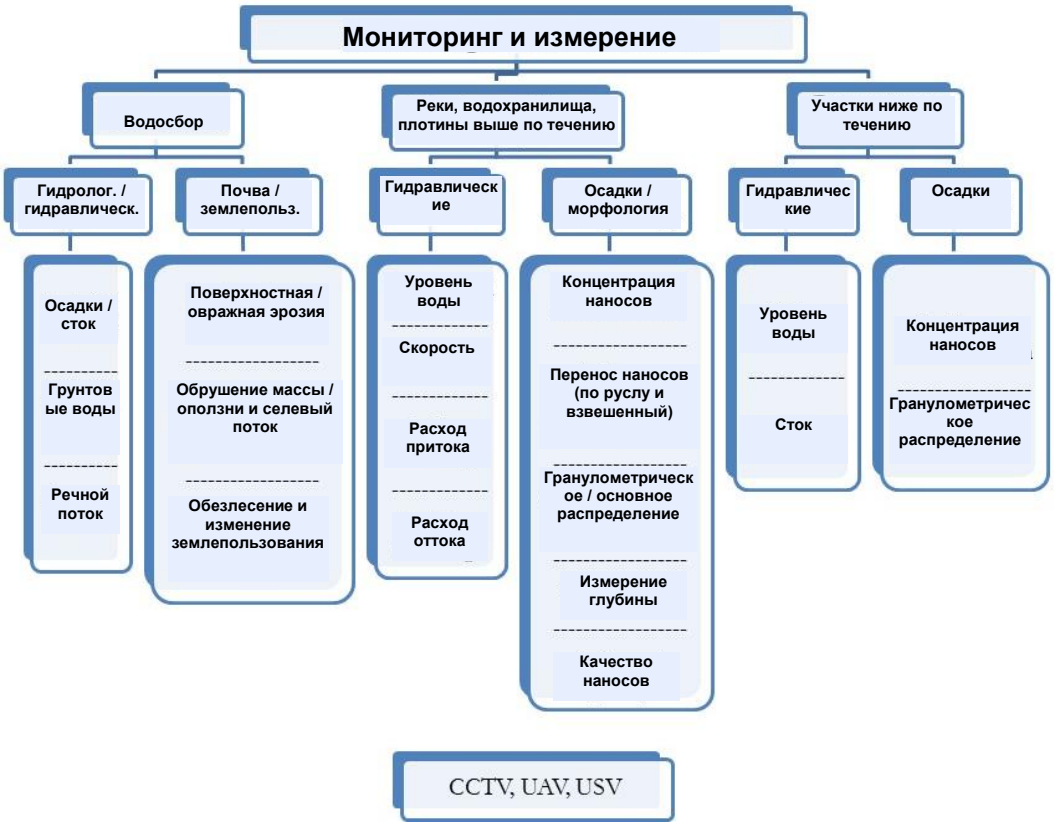


Рисунок 3-35 Некоторые показатели, которые следует отслеживать и измерять (Гири и др., 2019)

В случае ТМГУ, можно сначала внедрить такую систему, как Delft-FEWS, чтобы автоматизировать мониторинг, управление данными и анализ (например, данные по осадкам, уровню воды, сбросу, концентрации наносов). После этого, можно разработать модели гидрологии водосбора и поверхностной эрозии (концептуальные и основанные на физике), модели речного потока и переноса наносов, а также модель эксплуатации водохранилища и морфологического состояния для Руслового водохранилища, и включить их в систему, чтобы использовать в целях эксплуатации и прогнозирования, что будет очень полезно при адаптации мер управления наносами и в процессе принятия решений. Некоторые примеры показаны на Рисунок 3-37 и Рисунок 3-38.

Аналогичным образом, в руководстве по управлению наносами (Гири и др., 2019) описан подход, содержащий процедуру и необходимые отчеты и документы, касающиеся разработки Информационной системы морфологии водохранилища (RMIS). Этот подход

основан на передовой практике и многолетнем опыте Инженерного корпуса сухопутных войск США по разработке Рабочего плана исследований по наносам (SSWP) для рек и водохранилищ (Инженерный корпус сухопутных войск США, 1989; Пинсон и др., 2016), а также опыте Геологической службы США по разработке Информационной системы исследования заиления водохранилищ (RESIS) (Акерман и др., 2009).

Наличие такой системы необходимо и очень полезно для ТМГУ, вне зависимости от того, какие будут приняты меры (ремонтные или/и крупномасштабные). Это важные неструктурные и адаптационные меры, которые помогут решить проблемы, касающиеся потока (наводнения и засуха) и заиления на ТМГУ.

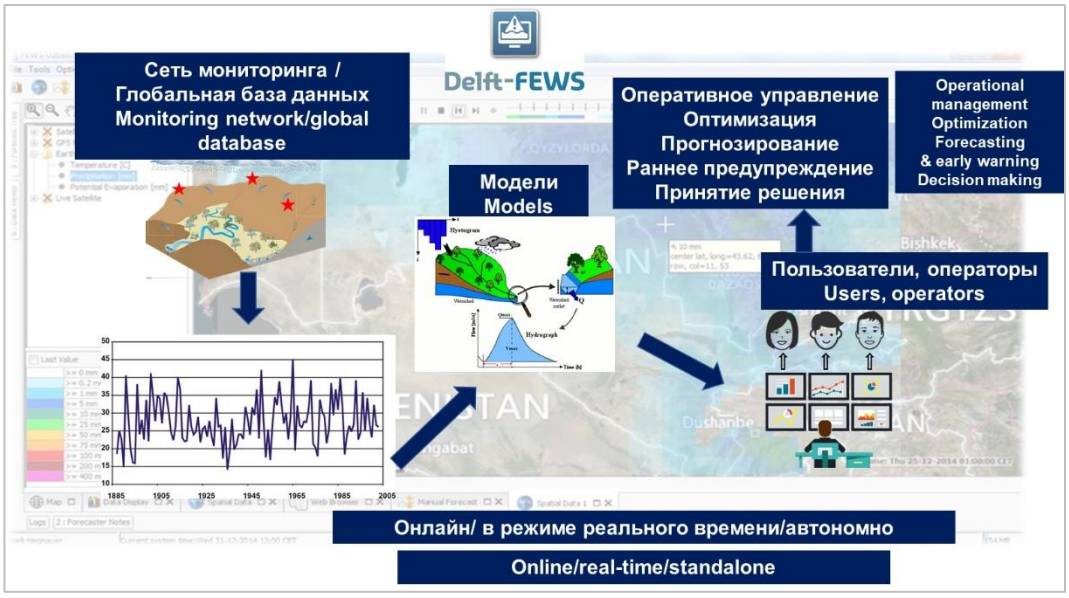


Рисунок 3-36 Базовый принцип и составляющие Delft-FEWS

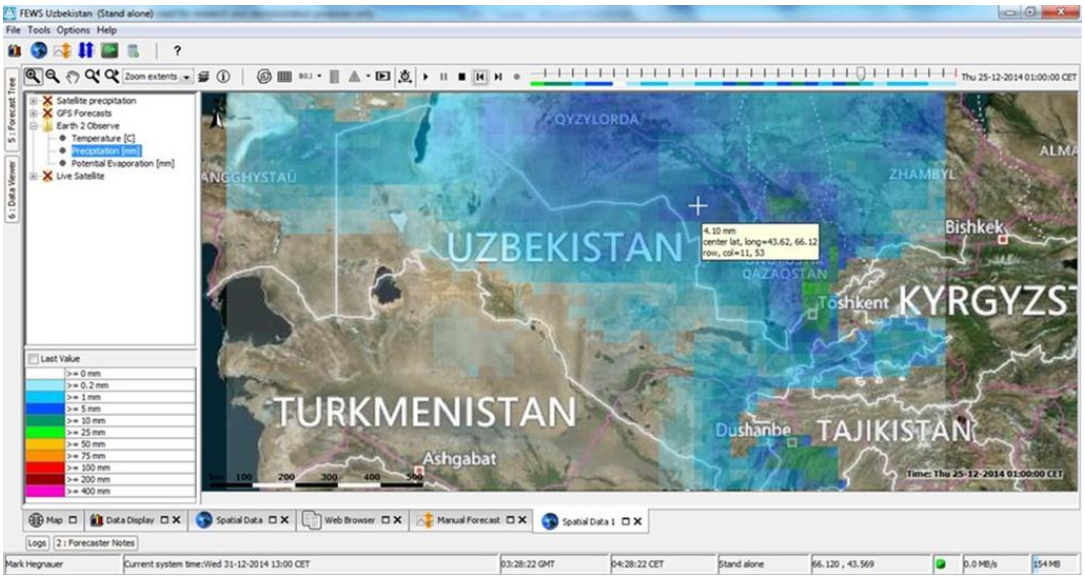


Рисунок 3-37 Пример адаптации Delft-FEWS в качестве информационной системы водных ресурсов в Центральной Азии

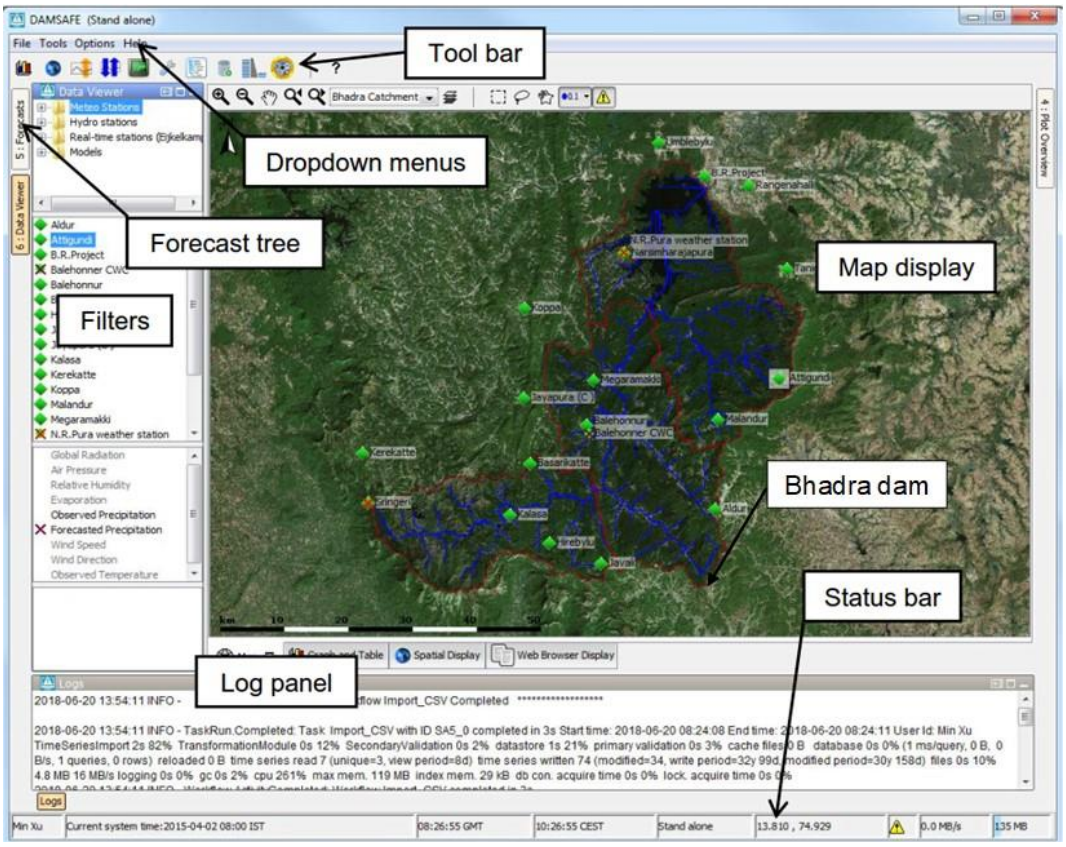


Рисунок 3-38 Пример применения Delft-FEWS для мониторинга и прогнозирования гидрологического состояния, притока в водохранилище и стабильности плотины в бассейне Бхадры и водохранилище (Индия)

3.6 Заключение

На основе экспресс-отбора меры для решения проблем заиления, мы предложили две категории мер / решений по проблемам заиления на ТМГУ, а именно: (i) срочные и основные меры программы управления наносами и восстановления объема водохранилища; (ii) крупномасштабные меры и вмешательства. Все эти предлагаемые категории мер практически используются в разных частях света (хотя не во всех случаях проблемы касались заиления водохранилища), при этом большинство из них связаны с крупномасштабными земляными работами и капитальными проектами по удалению наносов. Тем не менее, учитывая специфику проблемы и региона, меры и решения должны быть специально адаптированными к ТМГУ.

Первая категория мер является очень важной и принципиальной для решения проблем, связанных не только с потерей объема водохранилища, но и с безопасностью комплекса и населения. В связи с этим, большинство этих мер являются беспроигрышными и даже не требуют детального анализа затрат-выгод. Однако нужна оценка технического, социального, инженерного и экономического воздействия для надлежащего планирования, проектирования и реализации мер, чтобы избежать каких-либо рисков или снизить их.

Вторая категория мер требует больше времени для рассмотрения, так как необходимо провести работу по определению объема проекта, а также надлежащую оценку осуществимости и воздействия с учетом технических, финансовых, инженерных и экологических аспектов. Предлагаемые меры требуют больших инвестиций и, следовательно, больше исследований, переговоров, надлежащего планирования. Эти

мероприятия можно провести одновременно с реализацией первой категории мер, которые могут быть, в конечном счете, адаптированы в случае реализации второй категории мер.

В итоге, мы предложили техническую концепцию по комплексной программе управления наносами, которая включает удаление наносов и утилизацию. Техническая концепция подготовлена для первой категории проблем и соответствующих мер. Мы представили некоторые технические решения и примеры удаления наносов (дноуглубление) и полезного применения (главным образом, сосредоточены на размещении и утилизации). Это предложение представляет собой просто предварительную техническую концепцию, основанную на экспресс-анализе ограниченных данных, информации и мировой практики. Таким образом, потребуется ее доработка на основе детального изучения и исследований, включая технико-экономическое обоснование и оценку воздействия.

Лучше выбрать комбинацию текущих, мягких и твердых мер в сочетании с неструктурными адаптивными мерами. Неструктурные адаптивные меры очень важны для мониторинга и поддержания эффективности и устойчивости восстановительной работы с подходом адаптивного управления. Кроме того, неотъемлемой частью комплексного программы управления наносами должны быть дополнительные меры, например, управление и обработка водосбора и реки для снижения образования и переноса наносов.

4 Осуществимость, воздействие, выгоды и ограничения

4.1 Введение

Очевидно, что проблемы заиления на ТМГУ стоят довольно остро. В предыдущей главе мы разделили проблемы и возможные меры и решения на две категории. Эти меры и решения довольно сложны с технической и экономической точки зрения. Кроме того, они могут вызвать различные неблагоприятные последствия. Следовательно, необходимо провести оценку осуществимости и воздействия с учетом социальных, экономических и экологических аспектов. Помимо этого, нужно оценить выгоды и ограничения оптимальной выбранной меры (или комбинации мер). Возможен и вариант, когда на этапе предварительного отбора и общего определения объема проекта проводится предварительная экспресс-оценка осуществимости и воздействия. В случае Руслового водохранилища, проблемы первой категории нужно решить в срочном порядке, поэтому осуществимость этих мер очевидна. При этом важно оценить воздействие и вопросы безопасности, чтобы планирование, проектирование и реализация мер были осуществлены надлежащим образом. Что касается второй категории проблем, сначала необходимо определить общий объем проекта на основе предварительного анализа и обсуждений возможностей получения финансовых и технических ресурсов. На последующих этапах потребуется комплексная оценка осуществимости и воздействия.

4.2 Техническая, экономическая, экологическая и социальная осуществимость и воздействие

4.2.1 Подход и методы

При предварительном отборе мер и решений желательно иметь предварительный экспресс-анализ осуществимости и воздействия. Это не всегда возможно из-за отсутствия достаточных данных и информации. Общие аспекты подхода и методов оценки осуществимости и воздействия описаны ниже:

- В общем, когда информация и данные есть в определенной степени, можно провести специальный анализ по конкретному водохранилищу, чтобы получить достаточно представления о предварительной осуществимости и воздействии возможных мер и решений. Так обстоит дело в случае ТМГУ, поскольку проблема ясна. Более того, часть мер очевидна и неизбежна.
- Комплексная оценка осуществимости и воздействия – не всегда простая задача, так как она требует сложных исследований, например, доскональных полевых измерений, сложного анализа с использованием усовершенствованных инструментов и методов, например, основанного на процессе гидротехнического и морфологического моделирования, экономического анализа и моделирования, оценки экологического и социального воздействия.
- В рамках предварительной оценки осуществимости можно рассмотреть перечень всех соответствующих последствий, чтобы получить первое приблизительное представление (обычно воздействие очевидно, и только его количественное выражение и связанные с ними риски не известны полностью). Изучение некоторых примеров плохой и хорошей практики и происшествий может быть полезным, особенно когда воздействие не настолько очевидно.
- Подход должен учитывать специфику проекта, несмотря на некоторые общие аспекты, которые могут быть заимствованы из мирового опыта, поскольку

осуществимость решения основывается на региональных и общественных факторах и важности, которые не всегда можно оценить в обобщенном смысле.

- Кроме того, есть юридические ограничения, связанные с мерами и решениями, которые необходимо изучить и проанализировать.
- Также есть варианты и вопросы, связанные со смягчением и минимизацией неблагоприятного воздействия. Они могут потребовать проведения комплексных исследований.

4.2.2 Экспресс-оценка предлагаемых мер

Главная цель этого задания – предложить некоторые возможные меры и решения проблем заиления ТМГУ на основе мирового опыта. Комплексная оценка осуществимости и воздействия не входит в содержание данного задания. Таким образом, мы лишь вкратце описали положительные и отрицательные последствия каждой меры, которые также могут дать представление об осуществимости. Это может также помочь в выполнении первого анализа затрат-выгод, особенно по решениям первой категории проблем.

Некоторые очевидные последствия (положительные и отрицательные) предлагаемых мер для решения проблем заиления ТМГУ описаны в Таблица 4-1. На основе этого была проведена предварительная экспресс-оценка с определением осуществимости каждой меры по трем категория «*Высокая»*, «*Средняя*» и «*Низкая*» (см. Таблица 4-2). Нужно отметить, что для оценки воздействия и предварительной осуществимости мы рассмотрели в рамках этих мер возможности утилизации наносов из водохранилища.

Таблица 4-1 Возможные отрицательные и положительные последствия предлагаемых мер

Меры	**Последствия: отрицательные (-) / положительные (+)**		
	Общество / безопасность	**Окружающая среда**	**Экономика**
Ремонтное дноуглубление / выемка грунта	1) Уязвимость и риски (регрессивная эрозия, стабильность русла и берегового откоса, т.д. во время исполнения и перевозки) (-) 2) Функциональные возможности ГЭС (+) 3) Защита от паводков (+) 4) Безопасность сооружений 5) Занятость и развитие потенциала (+)	1) Загрязнение воздуха (пыль), воды (мутность), шум (-) 2) Нарушение водной жизни и дикой природы (-) 3) Зеленая энергия (+)	1) Временная потеря воды и энергии (-) 2) Умеренные инвестиции (+) 3) Утилизация наносов (+) 4) Наращивание мощности ГЭС (+)
Капитальное дноуглубление	1) Уязвимость и риски (регрессивная эрозия, обрушение русла и берегового откоса, т.д.) (-) 2) Наличие воды (+/-) 3) Функциональные возможности ГЭС (+) 4) Защита от паводков (+) 5) Безопасность сооружений (+) 6) Занятость и развитие потенциала (+)	1) Загрязнение воздуха (пыль), воды (мутность), шум (-) 2) Нарушение водной жизни и дикой природы (-) 3) Утилизация наносов для восстановления окружающей среды (+) 4) Зеленая энергия (+)	1) Большие инвестиции (-) 2) Временная потеря воды и энергии (-) 3) Утилизация наносов (+) 4) Выгоды для орошения и водоснабжения (+) 5) Наращивание мощности ГЭС (+)
Промывание, пополнение наносов	1) Потеря воды (-) 2) Риски наводнения и заиления ниже по течению (-) 3) Наличие воды (+)	1) Изменение потока ниже по течению, эрозия, заиление, мутность воды (-)	1) Временная потеря энергии (-) 2) Потеря воды (-) 3) Небольшие инвестиции (+)

	4) Функциональные возможности ГЭС (+)	2) Непрерывность переноса наносов ниже по течению (+)	4) Наращивание мощности ГЭС (+)
Повышение НПУ	1) Стабильность сооружений (-) 2) Затопление выше по течению (-) 3) Наличие воды (+) 4) Защита от паводков (+)	1) Гидротехническое и морфологическое воздействие выше и ниже по течению (-) 2) Заиление (-) 3) Зеленая энергия (+)	1) Небольшие инвестиции (+) 2) Выгоды для орошения и водоснабжения (+) 3) Наращивание мощности ГЭС (+) 4) Утилизация наносов (+)
Дополнительное внерусловое водохранилище (-ща)	1) Нарушение ландшафта (-) 2) Уязвимость и риски (геотехнические, наводнение, т.д.) (-) 3) Защита от паводков (+) 4) Наличие воды (+) 5) Занятость (+)	1) Гидротехническое и морфологическое воздействие (-) 2) Изменение в землепользовании (-) 3) Водная жизнь и восстановление экологии в пустыне (+) 4) Зеленая энергия (+)	1) Большие инвестиции (-) 2) Выгоды для орошения и водоснабжения (+) 3) Наращивание мощности ГЭС (+) 4) Утилизация наносов (+)
Повышение плотины	1) Стабильность сооружений (-) 2) Затопление выше по течению (-) 3) Наличие воды (+) 4) Защита от паводков (+)	1) Гидротехническое и морфологическое воздействие выше и ниже по течению (-) 2) Заиление (-) 3) Зеленая энергия (+)	1) Умеренные инвестиции (+/-) 2) Выгоды для орошения и водоснабжения (+) 3) Наращивание мощности ГЭС (+) 4) Утилизация наносов (+)
Перемещение плотины	1) Затопление выше по течению (-) 2) Уязвимость и риски (-) 3) Наличие воды (+) 4) ГЭС (+) 5) Защита от паводков (+) 6) Занятость (+)	1) Гидротехническое и морфологическое воздействие выше и ниже по течению (-) 2) Экологическое воздействие (-) 3) Зеленая энергия (+)	1) Большие инвестиции (-) 2) Выгоды для орошения и водоснабжения (+) 3) Наращивание мощности ГЭС (+) 4) Утилизация наносов (+)
Утилизация наносов	1) Уязвимость и риски (например, загрязнение, уплотнение наносов, качество) (-) 2) Занятость и развитие потенциала (+) 3) Общественное развитие (+) 4) Сельскохозяйственное развитие (+)	1) Загрязнение воздуха (пыль), шум (-) 2) Промышленные стоки (-) 3) Изменение в землепользовании (-/+) 4) Зеленое восстановление пустыни (+)	1) Большие инвестиции (-) 2) Потеря воды (-) 3) Экономическое развитие (+) 4) Прямой прирост экономики (+)

Таблица 4-2 Предварительная экспресс-оценка предлагаемых мер

Меры	**Осуществимость**			**Общая оценка и замечания**
	Техническая	**Экологическая**	**Экономическая**	
Ремонтное дноуглубление / выемка грунта	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая осуществимость (необходимо надлежащее проектирование и оценка воздействия)
Капитальное дноуглубление	Средняя	Средняя	Низкая	Умеренная осуществимость (необходимо дополнительное исследование)

Промывание, пополнение наносов	Высокая	Средняя	Высокая	Высокая осуществимость (необходимо надлежащее проектирование и оценка воздействия)
Повышение НПУ	Средняя	Средняя	Высокая	Умеренная осуществимость (необходимо дополнительное исследование)
Дополнительное внерусловое водохранилище (-ща)	Средняя	Средняя	Средняя	Умеренная осуществимость (необходимо дополнительное исследование)
Повышение плотины	Средняя	Низкая	Средняя	Умеренная осуществимость (необходимо дополнительное исследование)
Перемещение плотины	Низкая	Низкая	Средняя	Низкая осуществимость
Утилизация наносов	Высокая	Средняя	Высокая	Высокая осуществимость (необходимо надлежащее проектирование и оценка воздействия)

4.2.3 Возможные превентивные меры и условия

Предлагаемые неструктурные и дополнительные меры и условия следует рассмотреть и реализовать, чтобы минимизировать отрицательные последствия решений проблема заиления на ТМГУ. Некоторые возможные последствия и соответствующие превентивные меры и условия представлены в Таблица 4-3. Эти последствия связаны со всеми предлагаемыми мерами (описанными в предыдущем разделе). Все неструктурные меры, описанные в Разделе 3.4.1.5, необходимо рассматривать как превентивные меры от возможных последствий и рисков.

Таблица 4-3 Возможные меры и условия предотвращения отрицательных последствий

Возможные последствия	Превентивные меры и условия
Перенос наносов и морфологическое воздействие ниже и выше по течению (в отношении всех мер)	1) Комплексное исследование и анализ для количественного определения воздействия до осуществления мер (например, с использованием морфологических моделей, аналитических методов, спутниковых изображений, подкрепленный мнением эксперта – действительно для всех мер) 2) Регулярное измерение и мониторинг во время и после осуществления мер, например, мониторинг заиления выше по течению, изменения глубины (в ключевых местах), состояние берега и пяты плотины, мутность воды ниже по течению (например, во время промывания и пополнения наносов), морфологические изменения ниже по течению 3) Надлежащий морфологический анализ и ремонтное дноуглубление возле плотины перед проведением промывания 4) Исследование существование инфраструктуры ниже и выше по течению, например, систем водоснабжения, водозаборов оросительной системы, плотин и запруд, мест отдыха, населенных пунктов, чтобы учесть меры для их безопасности 5) Регулярное (или в режиме реального времени) измерение мутности воды для регулирования экологически опасного количества, использование баланса между наносами и выпуском потока во время промывания, например, выпуск дополнительного потока из водослива или других водовыпусков во время промывания, чтобы разрядить поток вниз по течению и снизить концентрацию наносов и риски 6) Надлежащее измерение качества наносов (также в более глубоких слоях осажденных наносов) 7) Анализ опасности и рисков (например, риски, связанные с наносами), включая план действий в чрезвычайной ситуации

	8) Разработка и исполнение комплексной программы управления наносами (включая план обработки водосбора и управления рекой и меры по минимизации притока наносов)
Регрессивная эрозия, обрушение слоя наносов (из-за удаления наносов / дноуглубления)	1) Надлежащее планирование и проектирование мероприятий по удалению наносов 2) Количественная оценка регрессивной эрозии выше по течению (вычисление, экспертное заключение) – это особенно важно, если поблизости есть объекты инфраструктуры реки и водохранилища, например, мосты, насыпи, земляные плотины) 3) Следует надлежащим образом изучить последствия удаления наносов возле плотины и водозаборных сооружений, должным образом спроектировать и исполнить, чтобы не было сползания / обрушения склона (например, удаление наносов из слоев с небольшим уклоном) 4) Анализ стабильности русла и берега 5) Анализ опасности и рисков (например, блокировка водозаборных сооружений), включая план действий в чрезвычайной ситуации 6) Регулярное измерение и мониторинг
Увеличение затопления и заиления выше по течению (из-за увеличения уровня водохранилища и повышения плотины)	1) Количественная оценка / вычисление степени затопления 2) Тщательное изучение социального и экологического воздействия и превентивных мер (компенсация, переселение, восстановление) 3) Количественная оценка / вычисление заиления водохранилища 4) Изучение и разработка правил и сценариев эксплуатации 5) Анализ опасности и рисков (например, последствия прорыва плотины), включая план действий в чрезвычайной ситуации 6) Разработка и исполнение комплексной программы управления наносами (включая план обработки водосбора и управления рекой и меры по минимизации притока наносов)
Экологические и социальное воздействие, загрязнение, затруднения и беспокойство (во время сухого / гидромеханического дноуглубления, движения грузовиков, перевозки жижи, удаления наносов и некоторых других мер)	1) Мероприятия по дноуглублению и выгрузке не должны мешать водоснабжению и орошению, иначе необходимо обеспечить надлежащие альтернативы 2) Работа должна проводиться систематически, с регулярной уборкой, разбрызгиванием воды, ремонтом объекта и проездного пути 3) Необходимо строго требовать проведения очистки площадки и поддержания чистоты, чтобы было меньше визуального воздействия работ по дноуглублению и удалению наносов 4) Оборудование и автотранспортные средств, используемые для перевозки удаленных наносов, должны соответствовать установленным нормам выбросов, например, иметь Сертификат экологической безопасности 5) Следует избегать шума (от оборудования и перевозки), а также использовать экологически безвредное оборудование 6) Движение грузовиков не должно нарушать обычное движение 7) Следует обеспечить защиту водной жизни 8) Должен быть конкретный план по восстановлению окружающей среды 9) Следует позаботиться об охране здоровья и безопасности рабочих 10) Следует надлежащим образом оценить воздействие истощения водохранилища, например, на дикую природу 11) Регулярный мониторинг мероприятий по дноуглублению и выгрузке для обеспечения эффективного соблюдения всех предусмотренных условий 12) Комплексная оценка социального и экологического воздействия и план действий
Угроза безопасности и стабильности сооружений (из-за увеличения уровня водохранилища и повышения плотины)	1) Детальный анализ стабильности (вычисления) плотин и насыпей при изменении гидравлической нагрузки 2) Выбор более безопасных методов, например, предохранительные ворота для повышения плотины 3) Анализ опасности и рисков (например, последствия прорыва плотины), включая план действий в чрезвычайной ситуации
Гидравлическая, геотехническая и геологическая безопасность и последствия (из-за дополнительных внерусловых водохранилищ)	1) Комплексное исследование и анализ опасностей и рисков, связанных с дополнительными водоемами, отводом потока и потерями 2) Комплексное геотехническое и геологическое исследование для оценки целесообразности меры 3) Анализ опасности и рисков (например, последствия прорыва плотины), включая план действий в чрезвычайной ситуации

Качество и количество наносов, потери воды, удаление (связанное с утилизацией наносов)	1) Надлежащее, более полное исследование, принимая во внимание неизвестное качество и состояние наносов, в частности на более глубоком уровне наносов в водохранилище, так как они могут быть загрязненными и/или уплотненными 2) Надлежащая оценка полезных объемов наносов, включая регулярное наличие в будущем (т.е. надлежащее исследование целесообразности вариантов утилизации наносов) 3) Комплексный анализ и оценка потребности в воде для вариантов утилизации наносов (например, для восстановления окружающей среды, производства добавки для верхнего слоя почвы, строительных материалов) 4) Комплексные исследования для надлежащего планирования, проектирования и осуществления перевозки, удаления и переработки удаленных наносов 5) Анализ опасности и рисков, включая план действий в чрезвычайной ситуации

4.3 Вклад в принципы Нексус и Цели устойчивого развития (ЦУР)

Функции ТМГУ непосредственным образом связаны с водной, продовольственной и энергетической безопасностью. Эти функции связаны с услугами экосистемы в масштабе бассейна и должны учитывать социально-экономические аспекты. Следовательно, подход Нексус «вода – продовольствие – энергия + окружающая среда» (WFEE) следует рассматривать как неотъемлемую часть устойчивого управления гидроузлом.

Рисунок 4-1 Подход Нексус WFEE с расширенным подходом к устойчивости водохранилища

Все предлагаемые меры и вмешательства по улучшению положения ТМГУ непосредственно или косвенно способствуют Целям устойчивого развития (ЦУР). Это следует принять во внимание при проведении оценки их осуществимости и воздействия. Мы попытались описать взаимосвязь между Нексус и ЦУР через меры, связанные с устойчивым управлением ТМГУ, в виде диаграммы, изображенной на Рисунок 4-2. Еще один важный аспект, касающийся устойчивого управления ТМГУ – управление в масштабе бассейна. Должна быть надлежащая связь между технической частью Нексус и частью по управлению как важнейший критерий устойчивости. Это означает, что устойчивое управление связано с «комплексным управлением речным бассейном с участием заинтересованных сторон» (IPRBM). Это кратко изображено на Рисунок 4-3.

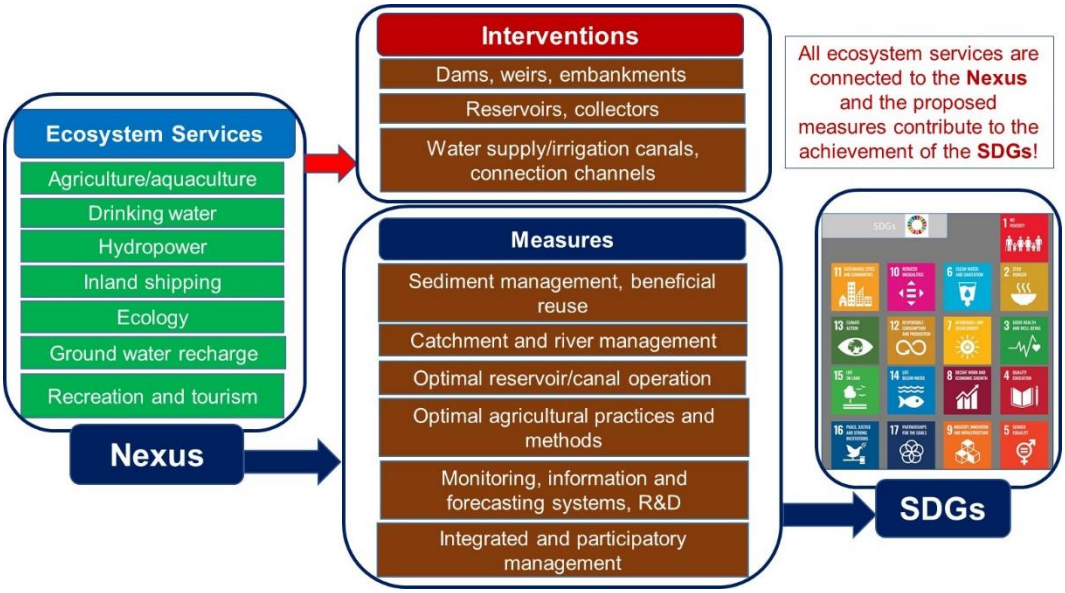


Рисунок 4-2 Связь между Нексус и ЦУР через меры и вмешательства: применяется к устойчивому управлению ТМГУ

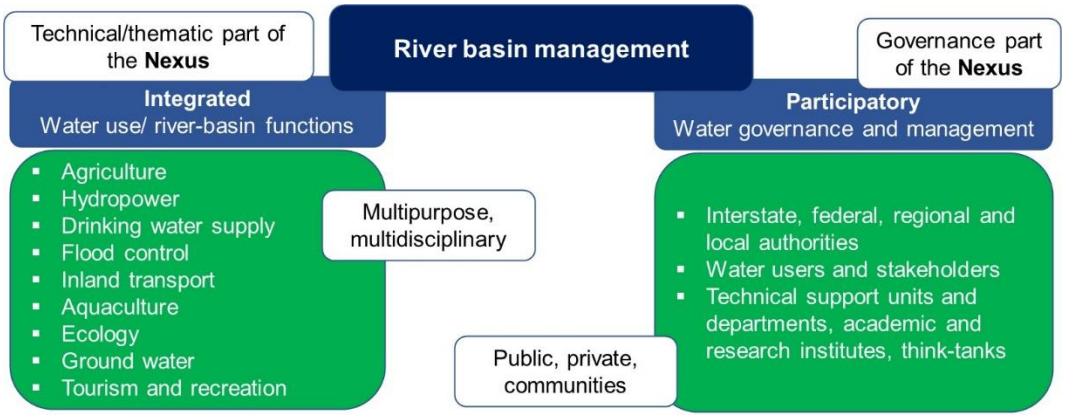


Рисунок 4-3 Комплексное управление речным бассейном с участием заинтересованных сторон (IPRBM): важнейший критерий устойчивости (уместен для ТМГУ)

4.4 Ограничения и сложности

Есть несколько сложностей, условий и ограничений, связанных с решением проблем заиления, а также утилизации удаленных наносов. Как любой другой гидроузел, ТМГУ может иметь отдельные ограничения и сложности. Эти аспекты следует изучить еще на предварительном этапе определения объема проекта. В общем, ограничения и сложности можно разделить на: (i) физические; (ii) социальные и экологические; (iii) экономические; (iv) юридические и прочие.

4.4.1 Физические ограничения и сложности

Некоторые возможные физические ограничения и сложности:

- Степень и серьезность проблем (например, объем наносов, масштаб отложения наносов, количество отложенных наносов)
- Состояние отложенных наносов (например, очень плотные наносы удалятся трудно)
- Продолжительность, сроки получения разрешений, нормативные сроки
- Наличие пространства и передовой технологии для объектов по удалению и вторичной переработке
- Отсутствие отраслей для переработки, обработки и утилизации (в частности, в близлежащих районах)

- Неподходящий размер и характеристики сооружений и водохранилища для реализации некоторых мер (например, повышения плотины)
- Неподходящие гидрологические, геологические и геотехнические условия для реализации некоторых мер (например, внерусловые водохранилища)
- Доступность (транспорт, инфраструктура) и логистика проекта
- Отсутствие рынка и/или перенасыщение продуктами, предполагаемыми для реализации в качестве вторичного сырья (например, строительные кирпичи)
- Ограничения по утилизации из-за стандартов продуктов
- Будущая деградация и неблагоприятные изменения (например, снижение притока или рост эрозии из-за деградации верхнего водосбора и проводимых там вмешательств)

4.4.2 Социальные и экологические ограничения и сложности

Некоторые возможные социальные и экологические ограничения и сложности:

- Воздействие и риски для населения (безопасность, функциональные возможности) и экологии вследствие крупных вмешательств и изменений (например, для фермеров, рыбаков и других жителей)
- Сопротивление и неготовность населения к нововведениям и вмешательствам
- Загрязнение (воздух, вода, шум)
- Загрязненные или некачественные наносы

4.4.3 Экономические ограничения и сложности

Некоторые возможные экономические ограничения и сложности:

- Наличие инвестиций и готовность инвесторов (например, частных инвесторов, доноров)
- Ограничение бюджета (например, в случае государственных органов)
- Неопределенность экономической жизнеспособности и обоснования
- Финансовые риски (потеря или снижения выгод, например, из-за возможных чрезвычайных ситуаций, рисков, отрицательных результатов, экономической нестабильности)

4.4.4 Юридические и прочие ограничения и сложности

Некоторые возможные юридические и прочие ограничения и сложности:

- Правовые аспекты и нормы конкретных стран, в частности касающиеся удаления наносов и утилизации (эти меры можно рассматривать как горнорудные мероприятия и вмешательства)
- Приоритеты и интересы заинтересованных сторон (гидроэнергия, ирригация, водоснабжение, защита от паводков)
- Строгое регулирование, например, правило эксплуатации водохранилища
- Непринятие инновационного подхода и технологии
- Трансграничные споры
- Политическая воля
- Разница в восприятии срочности, т.е. «Я понял» = «Ничего не предпринимать»

4.5 Заключение

В данной Главе мы вкратце описали аспекты, касающиеся осуществимости и воздействия предлагаемых мер для решения проблем заиления на ТМГУ. Мы попытались описать результаты экспресс-оценки осуществимости и воздействия. Это может стать отправной точкой для проведения комплексной оценки, особенно когда будет больше ясности, и будут известны предпочтения по предлагаемым мерам. Мы также описали возможные превентивные меры и условия, которые следует выполнять, чтобы смягчить / минимизировать отрицательные последствия эти мер. Более того, мы попытались определить взаимосвязь с Нексус (на основе функций ТМГУ) и Целями

устойчивого развития через предлагаемые меры и вмешательства, чтобы продемонстрировать их вклад в критерий устойчивости. Кроме того, мы затронули необходимость комплексного управления бассейном с участием заинтересованных сторон как критерия устойчивости, применимого к ТМГУ. Наконец, мы вкратце описали несколько ограничений и сложностей, которые нужно учитывать и надлежащим образом решать при отборе и дальнейшей оценке мер.

5 Мировая практика и примеры

5.1 Введение

Представление мирового опыта не входит в рамки данного задания. Тем не менее, мы включили несколько примеров и материалов, которые могут быть уместны для решения проблем заиления на ТМГУ.

Управление наносами в водохранилище – сложный процесс, особенно для больших водохранилищ, ввиду технических, экономических, экологических требований, вопросов безопасности, а также юридических ограничений в некоторых случаях (в частности, касается удаления наносов и их утилизации). Заиление водохранилищ – мировая проблема. Многие годы и десятилетия бездействия и/или оценки усугубили ситуацию и привели к тому, что большие объемы наносов отражаются на структурной целостности и/или работе плотин, водохранилищ (включая потерю объема) или гидроэлектростанций. Мы включили некоторые примеры проектов по удалению наносов, не только по водохранилищам и каналам, чтобы продемонстрировать техническую возможность удаления наносов, например, дноуглубления, которое может быть целесообразно для ТМГУ, принимая во внимание большой масштаб заиления.

Кроме того, мы включили некоторые примеры утилизации наносов. Поскольку не все примеры управления наносами в водохранилище включают обработку и утилизацию наносов (ввиду различных условий и ограничений, в том числе безопасности и законодательства в некоторых странах), мы рассмотрели примеры обработки и утилизации наносов, вне зависимости от того, относятся ли наносы к водохранилищам или рекам, озерам и прибрежным зонам. По всему миру есть опыт обработки и утилизации наносов. Мировой опыт и практика показывают, что утилизация наносов (в частности, мягких и/или загрязненных) часто требует изучения возможности очистки (в частности, для геотехнического применения) и пилотного применения до начала фактической реализации. Таким образом, могут быть полезны существующие примеры опыта и практики по таким пилотным проектам.

Вне зависимости от того, что мировая практика и опыт дают очень полезную информацию и идеи, которые можно адаптировать, нужно подчеркнуть, что подход к решению проблем заиления и потенциалу утилизации должен быть специальным и целесообразным с технической, социальной, экономической и экологической точки зрения для условий ТМГУ.

5.2 Решение проблем заиления в водохранилищах

Есть несколько руководств и пособий с описанием подходов и методов, касающихся проблем заиления в водохранилищах. Одно из последних руководств включает пособие, написанное нами (Гири и др., 2019) в рамках Программы восстановления и улучшения плотин в Индии. Схематические изображение мер, процедур и инструментов для решения проблем заиления представлено на Рисунок 5-1. В схеме также указаны соответствующие главы и разделы пособия (имеется в свободном доступе). Рисунок 5-2 дает представление о вариантах и стратегиях управления наносами. Здесь приводятся краткие описания некоторых примеров из других стран по решению проблем заиления (большинство примеров адаптированы из пособия). Пособие (Гири и др., 2019) включает больше случаев и примеров.

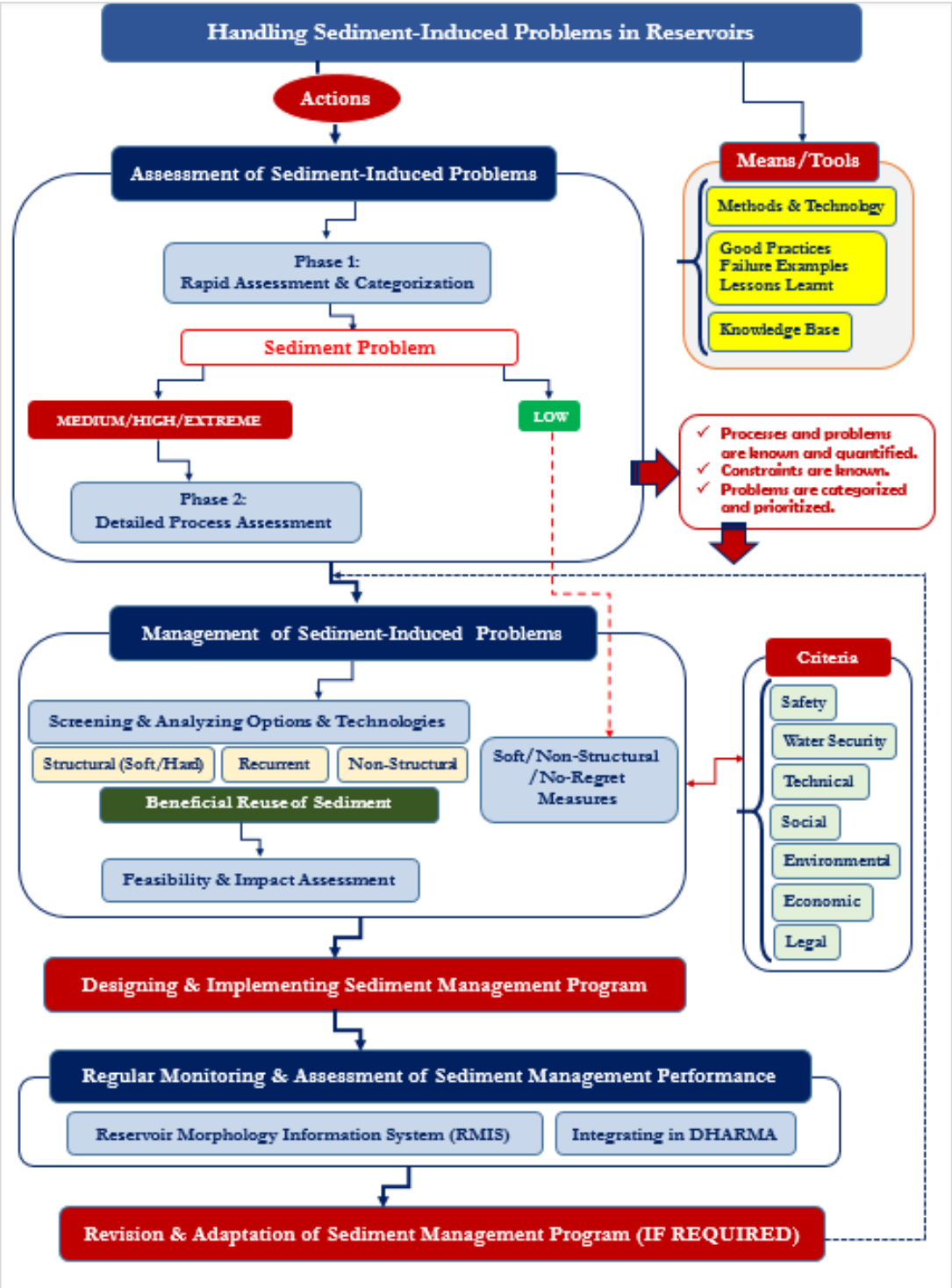


Рисунок 5-1 Схематическое изображение мер и инструментов для решения проблем заиления в водохранилищах (Гири и др., 2019)

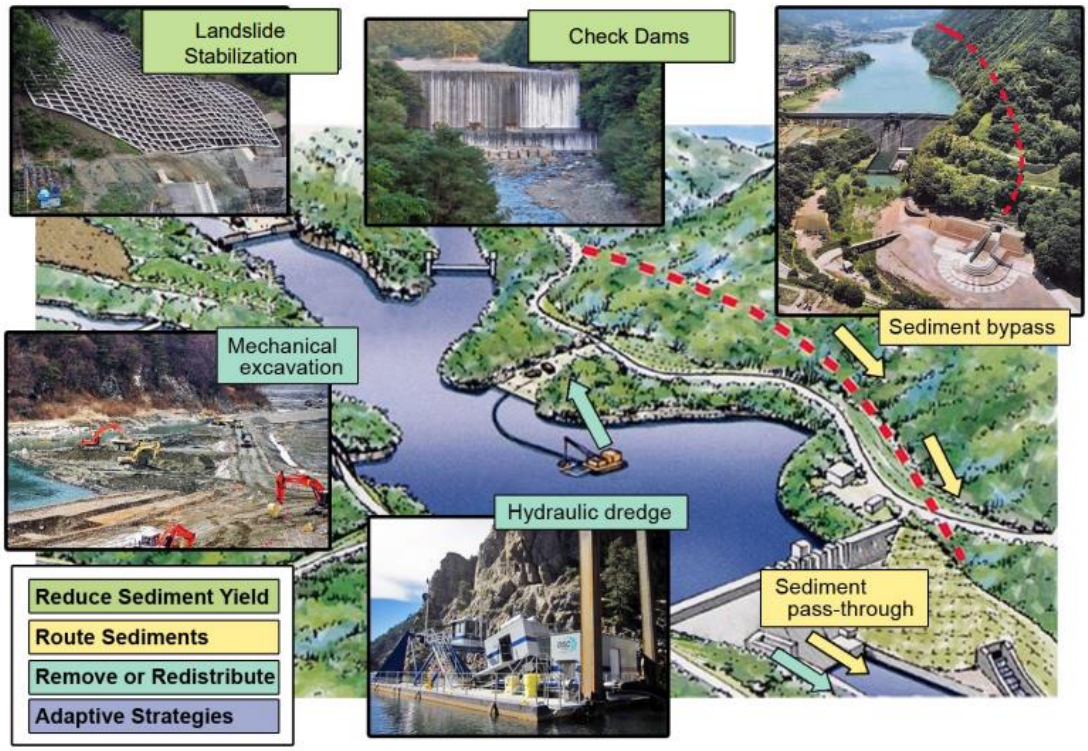


Рисунок 5-2 Варианты и стратегии решения проблем заиления в водохранилищах (Рэндл и др., 2019)

5.2.1 Водохранилище Шимэнь (Тайвань)

Водохранилище Шимэнь находится посередине р. Дахань в Тайване. Плотина была введена в эксплуатацию в 1963 году. Высота плотины – 133 м, длина по гребню – 360 м. Проектный объем водохранилища – 309 млн. м^3 при максимальном уровне водохранилища (245 м), при этом проектный активный объем равен примерно 252 млн. м^3. Протяженность водохранилища – 16,5 км, площадь поверхности – 8,0 км^2 (при НПУ). Водохранилище имеет очень большое значение, учитывая, что оно используется для нескольких целей, т.е. производство электроэнергии, ирригация, городское водоснабжение, защита от поводков, а также для отдыха. Большинство представленных здесь сведений, фактов и цифр основано на недавней публикации Лай и Ву (2018). Этот пример показывает, что плотинные сооружения могут быть изменены в сочетании с несколькими вариантами управления наносами для решения проблемы заиления.

a) Проблема заиления водохранилища

- Скорость заиления, наблюдаемая в течение последних двадцати лет, показывает более высокие значения, чем было предусмотрено при проектировании. Главной причиной стал совокупный эффект двух чрезвычайных событий, а именно тайфуна в 1996 году и землетрясения в 1999 году.
- В результате землетрясения 1999 года увеличилось число оползней, и усилилась эрозия поверхности.
- В верхних участках было более 100 чековых валов (емкость накопления наносов около 35 млн. м^3). Все эти чековые валы были полностью заполнены после тайфуна в 1996 году. Только во время тайфуна в водохранилище было перенесено около 8,7 млн. м^3 наносов.
- Уровень русла возле плотины увеличился примерно на 25 м за период с 1964 года по 2005 год, и водохранилище потеряло около 35% своего объема (согласно наблюдениям 2009 года).

- Крупнозернистые наносы оседают в верхней части, образуя дельту. Мелкозернистые наносы передвигаются к плотине, главным образом, из-за плотного потока возле русла. Мутный слой появляется на поверхности только при очень большом тайфуне.
- Большой тайфун в 2004 году привел к нарушению водоснабжения на 18 дней, что затронуло более одного миллиона человек. Более того, согласно данным, тайфун принес около 27,9 млн. м^3 наносов в водохранилище, что привело к потере примерно 11% емкости водохранилища.
- После этих событий были проведены различные исследования по управлению наносами, и были предложены различные варианты решения проблем заиления. Один из этих вариантов, который был включен в долгосрочную стратегию управления наносами – это обходной тоннель для наносов.

b) Меры управления наносами

- На водохранилище был только водослив для сброса паводковых вод с максимальной пропускной способностью 11 400 м^3/сек. Дополнительный водовыпуск для отвода паводка с пропускной способностью 2 400 м^3/сек был построен в 1984 году.
- Другие объекты, которые обычно используются для выпуска наносов: водозабор электростанции, водовыпуск постоянного канала и водозабор Шимэнь (см. Рисунок 5-3).
- С 2006 года было проведено несколько мероприятий по изменению и восстановлению объектов для увеличения пропускной способности по выпуску наносов, например, восстановление водовыпуска постоянного канала, потому что он был засорен, изменение водозабора электростанции, чтобы один из двух напорных водоводов использовался исключительно для смыва наносов (что позволило увеличить пропускную способность промывания с 137 до 380 м^3/сек), как показано на Рисунок 5-4
- В качестве следующего этапа стратегии управления наносами были предложены новые обходные тоннели. Были проведены комплексные исследования, чтобы оценить техническую, экономическую и экологическую осуществимость и воздействие. Рисунок 5-5 дает представление о функциях и работе обходного тоннеля. Подробное исследование на основе моделирования описано в работе Лай и Ву (2018).
- Кроме того, есть система мониторинга в режиме реального времени для установления мутного потока в водохранилище, которая позволяет промывать его, открывая затвор в подходящий момент. Метод измерения называется «рефлектометрия во временной области» (TDR) для автоматического мониторинга концентрации взвешенных наносов по всей глубине (работает на солнечной энергии). Этот метод описан в работе Гири и др. (2019).
- Системы управления водосбором, прогнозирования и поддержки решений, которые очень полезны для устойчивого управления водохранилищем, тоже есть.
- Рисунок 5-6 дает хорошее представление о существующих и предлагаемых вариантах управления наносами и их эффективности.

Некоторые подходящие исследования можно найти у Цай и др. (2012) и Ли и др. (2016).

Рисунок 5-3 Местонахождение существующих водовыпусков, которые могут быть использованы для выпуска наносов (карта Google Earth)

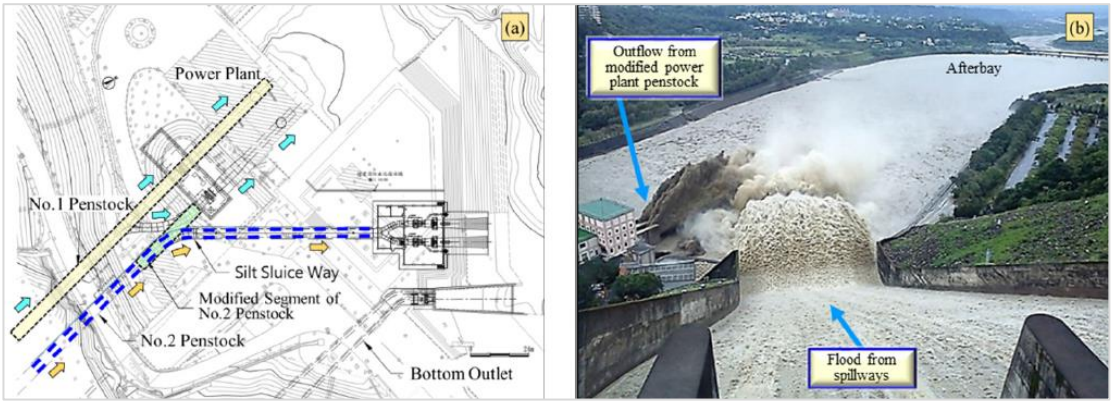


Рисунок 5-4 Измененный участок второго напорного водовода, используемого для промывания наносов (чертеж слева, и промывание наносов через измененный напорный водовод и водосброс (изображение справа) во время первой операции в 2013 году, когда произошел тайфун (Ли и др., 2022)

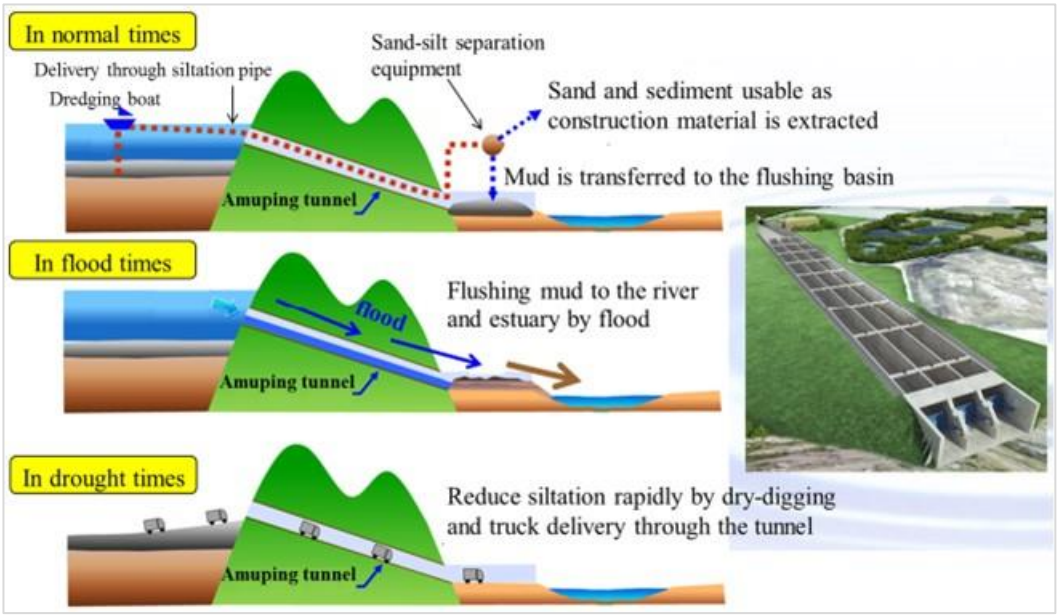


Рисунок 5-5 Функции и работа спроектированного обходного тоннеля (Лай, 2017)

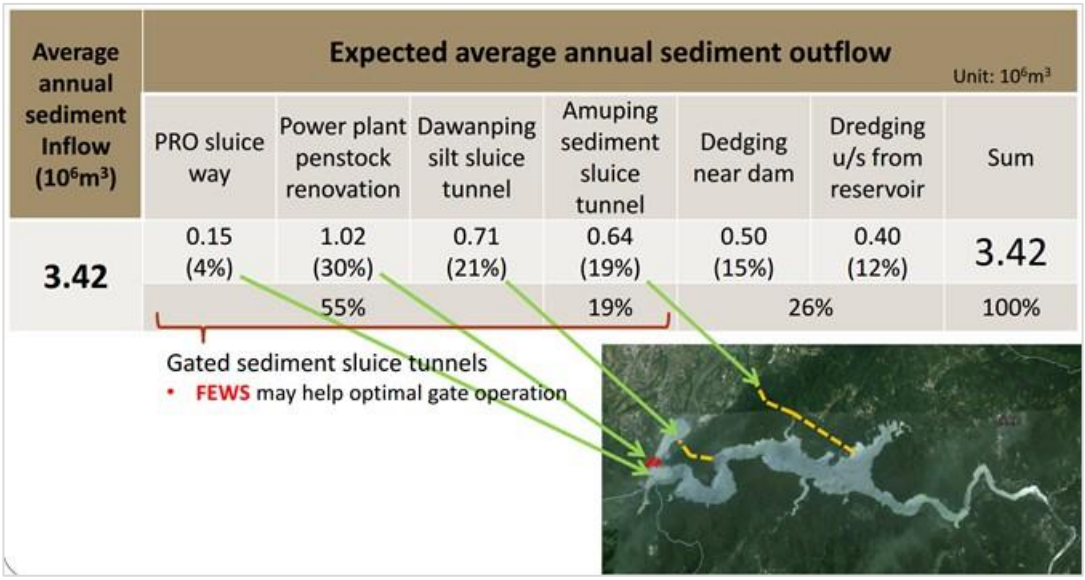


Рисунок 5-6 Существующие и предлагаемые меры управления наносами в водохранилище Шимэнь и ожидаемые результаты реализации (предоставлено: Джинн Чанг Янг)

5.2.2 Управление наносами в водохранилище Сакума (Япония)

Плотина Сакума – одна из плотин каскадной системы в бассейне р. Тенрю. Геология бассейна характеризуется как хрупкая. В связи с этим содержание наносов довольно высокое, особенно в паводковый сезон. Плотина представляет собой бетонную гравитационную плотину с протяженностью по гребню 293,5 м, высотой 155,5 м, объемом водохранилища 1,12 млн. м^3. Плотина была построена в 1956 году. Вода, используемая для выработки электроэнергии на ГЭС Сакума, повторно используется для выработки электроэнергии на пяти ГЭС, находящихся вниз по течению (ГЭС Сакума 2, ГЭС Акиба 1, 2 и 3, ГЭС Фунагира), в сельском хозяйстве и промышленности, на гидротехнических сооружениях и для поддержания нормального стока реки (личное сообщение от Исследовательской лаборатории Чигасаки J-Power). Компания Electric Power Development Co. Ltd. (EPDC) реализовала план управления наносами для водохранилища, чтобы снизить уровень заиления до уровня речного русла 1970 года. Одной из причин реализации этих мер была необходимость уменьшить воздействие от паводков в верхнем участке реки. Чертеж, изображенный на Рисунке 6 1, дает представление о подходе. Как видно на чертеже, водохранилище разделено на три участка, а именно на верхний, средний и нижний. Реализованный план управления наносами описан ниже (см. также Рисунок 5-7):

1) Перенос наносов с потоком воды в водохранилище: создание условий для переноса наносов из верхнего и среднего участков в нижний участок путем снижения уровня воды в маловодный период, чтобы был естественный поток в верхних участках, и способствовать переносу наносов в нижний участок. Объем переноса ограничивается рабочим объемом нижнего участка. В год переносится (по оценке EPDC) около 800 000 м^3 (обозначено желтой стрелкой на Рисунок 5-7). Реализуется EPDC.
2) Перенос наносов внутри водохранилища: реализуется путем дноуглубления и выгрузки наносов из среднего участка в нижнем участке в пределах рабочего объема. Целевой годовой объем – 400 000 м^3 (обозначено зеленой стрелкой на Рисунок 5-7). В качестве дополнительной меры для ускорения реализации плана, также начинается работа по дноуглублению в верхнем участке с целевым годовым объемом 300 000 м^3 (обозначено красной стрелкой на Рисунок 5-7). Это мероприятие тоже реализуется EPDC.

3) Удаление наносов из водохранилища: это включает удаление песка и гравия путем дноуглубления в нижнем участке и вывоза за пределы водохранилища. Работы по дноуглублению и удалению осуществляются фирмами по реализации песка. Целевой годовой объем удаленного материала – 400 000 м3. Фирмы получают право на использование вычерпанного песка и гравия в качестве строительного материала и для других целей, например, для производства бетона, асфальта, подготовки поля для гольфа, пр. Механизм дноуглубления и удаления показан на Рисунок 5-8.

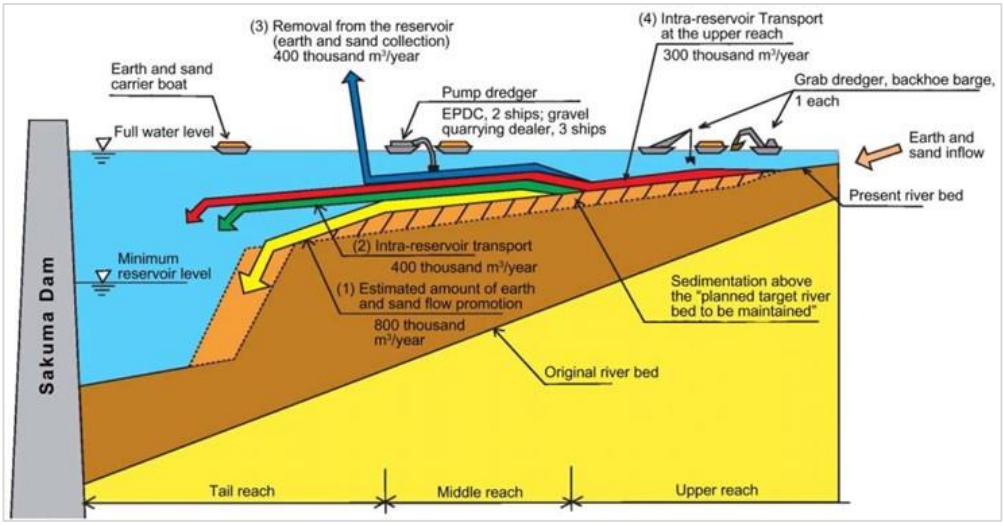


Рисунок 5-7 Управление наносами на плотине Сакума (предоставлено J-Power)

Рисунок 5-8 Механизм дноуглубления и удаления наносов (предоставлено J-Power)

5.2.3 Промывание наносов на Чамера-I и Чамера-II (Индия)

Национальная гидроэнергетическая корпорация (NHPC) провела мероприятия по управлению наносами в двух водохранилищах. Оба водохранилища находятся на р. Рави, притоке р. Инда в северной части Индии. Чамера-I – среднее по размеру водохранилище с общим объемом 412,8 млн. м^3, подводной площадью 9,5 км^2 и протяженностью около 15 км. Общая площадь водосбора 4 725 км^2. Чамера-II –

небольшое водохранилище с общим объемом 2,25 млн. м^3 и протяженностью около 3,6 км. Схематический план обоих водохранилищ показан на Рисунок 5-9.

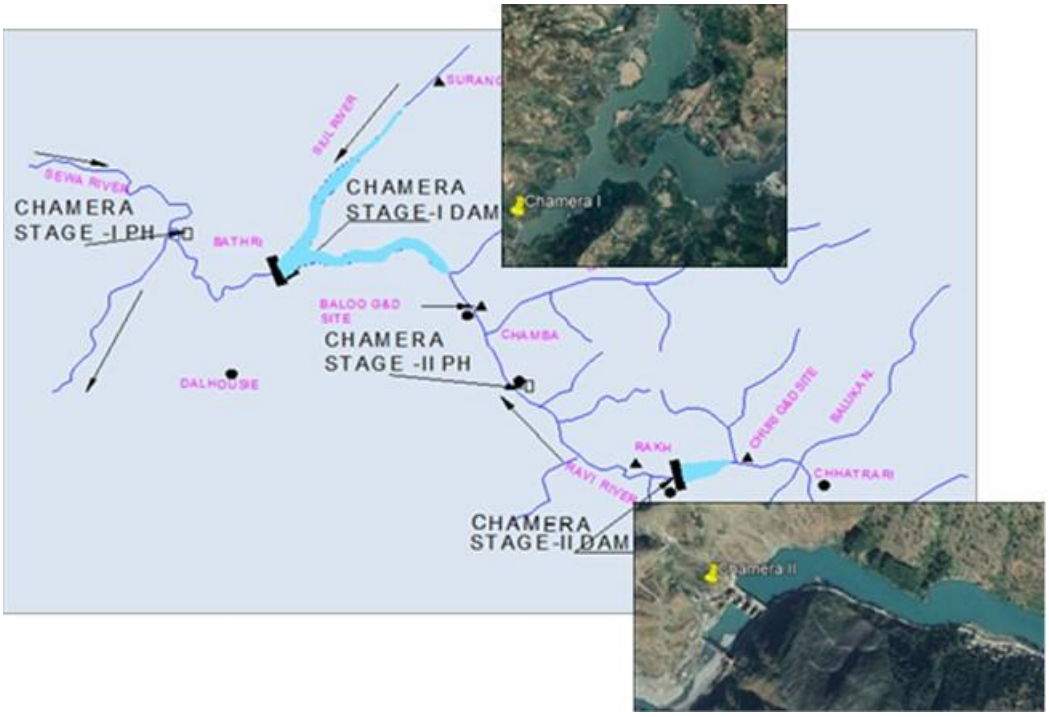


Рисунок 5-9 Схематический план Чамера-I и Чамера-II (Даял и др., 2016; Google Earth)

Данные показывают, что общий объем сократился в обоих водохранилищах, хотя потери полезного объема все еще незначительны. Это может быть связано с проведением регулярных мер по управлению наносами, которые описаны ниже.

а) Промывание наносов на Чамера-I

Практики управления наносами и операционные указания по Чамера-I и Чамера-II, представленные в работе Даял и др. (2016), описаны ниже:

- Из-за более большого размера Чамера-I, промывание наносов осуществляется путем поддержания уровня водохранилища на более низкой отметке и использования донных отверстий (т.е. промывание под давлением), а не путем понижения уровня воды (так как опустошение и повторное заполнение водохранилища заняло бы несколько дней)
- Эксплуатационное правило во время многоводного сезона с учетом управления наносами выглядит следующим образом:

Period	Reservoir Level (m + Datum)
1 June to 20 June	757 m
21 June to 31 Aug	753 m
1 Sep to 15 Sep	754 m
16 Sep to 30 Sep	754 m to 757 m
1 Oct to 15 Oct	757 m to 760 m

- Это эксплуатационное правило считается эффективным и оптимальным, принимая во внимание как управление наносами, так и выработку электроэнергии несмотря на то, что во время многоводного сезона происходит небольшая краткосрочная потеря выработки энергии, которая компенсируется долгосрочными преимуществами мероприятий по управлению наносами.

- Кроме того, на Чамера-I проводится регулярное промывание через четыре затвора, расположенных на низком уровне. Судя по всему, промывание работает эффективно и поддерживает площадь водозабора более чистой.
- Несмотря на управление наносами на Чамера-I, объем водохранилища уменьшается. Это может быть обусловлено несколькими факторами, включая: (i) относительно большой размер водохранилища, (ii) оно находится после слияния двух рек, что не очень благоприятно для морфологического состояния, (iii) водослив (и, следовательно, донные отверстия) не выверен должным образом против направления потока, (iv) донные отверстия относительно небольшие (водослив с низким гребнем и большими затворами был бы более эффективным).
- Тем не менее, управление наносами кажется эффективным достаточно, чтобы поддерживать объем водохранилища в определенной степени и избегать проблемы заиления возле водозабора в реке с большим содержанием наносов.

b) Промывание наносов на Чамера-II

- Учитывая, что это водохранилище относительно небольшое и узкое, управление наносами в Чамера-II представляется более легким и эффективным. Кроме того, у него есть большие затворы, которые позволяют проводить безнапорное промывание.
- Управление наносами в Чамера-II осуществляется путем поддержания более низкого уровня водохранилища в паводковый сезон, что синхронизируется также с Чамера-III (водохранилище выше по течению).
- На Чамера-II проводится безнапорное промывание. Промывание осуществляется, когда во время сезона дождей есть чрезмерный сток.
- Минимальные стоки с 1 июня до 31 августа и с 1 сентября до 30 сентября составляют 350 $м^3$/сек и 250 $м^3$/сек, соответственно. В первом случае, даже если сток не превышает 350 $м^3$/сек, промывание проводится примерно в последний день каждого месяца, независимо от стока. При этом в последнем случае промывание проводится между 26 и 30 сентября, независимо от стока.
- Минимальный промежуток между двумя последовательными операциями промывания составляет 10 дней. Если сразу же после регулярного промывания пропускается более большой сток (в частности, когда сток более чем 1,5 раза превышает предлагаемый сток промывания), излишек воды используется для продолжения промывания.
- Промывание должно начинаться во время ветви подъема паводковой воды, чтобы обеспечить эффективное использование пикового потока.
- Уровень воды нужно снижать постепенно, держа все затворы одинаково открытыми. Уровень воды должен быть как можно ниже, чтобы получить более сильный эффект от промывания,
- Промывание разрешается в течение периода, пока концентрация наносов выше по течению и ниже по течению не будет примерно одинаковой. Однако промывание должно продолжаться не менее 12 часов.
- Выше по течению и ниже по течению нужно проводить постоянные наблюдения и измерения притока, оттока из водослива, уровня водохранилища и концентрации наносов. Кроме того, в конце сезона дождей (т.е. после операций по промыванию) в определенных местах измеряется поперечное сечение водохранилища.
- Электростанция должна быть закрыта во время промывания. Выработка электроэнергии возобновляется после закрытия всех затворов и получения желаемого уровня водохранилища.
- Результаты операций по промыванию, проведенных с 2008 года, показаны в Таблица 5-1.
- Кроме того, для мероприятий по промыванию в водохранилище Чамера-II проводились исследования по числовому и физическому моделированию, которые

могут послужить примером того, как проводятся такие исследования (Айзак и др., 2014).

Таблица 5-1 Результаты операций по промыванию в водохранилище Чамера-II (Даял и др., 2016)

Year	No. of flushing operation	Cumulative hours of flushing	Observed sediment concentration (max) during flushing (ppm)	Total flushed sediment (M tonne)
2008	4	44	102250	2.5
2009	4	53	143560	2.7
2010	8	156	76450	5.7
2011	4	67	134330	4.3
2012	4	21	256940	2.66

5.2.4 Решение нехватки воды вследствие заиления на плотине Хашм Эль Гирба (Судан)

Полезные факты и цифры из различных источников:

- Плотина Хашм Эль Гирба – гравитационная смешанная каменно-земляная плотина на реке Атбара в Восточном Судане (Рисунок 5-10).
- Плотина была введена в эксплуатацию в 1964 году. Общий проектный объем – 1,3 млрд. $м^3$.
- Главное предназначение плотины – орошение для обеспечения местного населения водоснабжением на площади около 2 000 $км^2$.
- Основная часть плотины – земляная насыпь; водослив и ирригационные головные сооружения – гравитационные, из бетона.
- В 2002 году на плотине была построена небольшая ГЭС с мощностью 10 МВт (на реке) и 6 МВт (на канале).
- Водохранилище потеряло около ~60% мощности (по измерениям 2009 года). Около 25% объема было потеряно в первые 6 лет вследствие заиления. Ранее эта проблема не признавалась.
- После того, как проблему признали, рассматривался вариант регулярного промывания, чтобы (отчасти) снизить потерю объема. Временные записи по меняющейся во времени потере объема (изображены на Рисунок 5-11) показывают, что скорость уменьшения объема была меньше после регулярного промывания. Однако это не решило проблему полностью.
- В начале 1970-ых годов проводились исследования по нехватке воды. Исследования указали на два места, наиболее подходящих для разработки двух новых связанных водохранилища на верхних двух основных притоках реке Атбара (Рисунок 5-12).
- Каждое водохранилище должно обеспечить наличие воды примерно на 30 лет.
- В 2010 году правительство Судана решило построить эти два водохранилища вместе с двойной плотиной. Новая плотина «Плотинный комплекс Верхней Атбары» (Рисунок 5-12).
- У новой плотины – два водослива, потому что она пересекает две реки и гидроэлектростанцию. Общий объем водохранилища – 3,68 млрд. $м^3$.
- Новое водохранилище обслуживает примерно 160 000 фермеров, занимающихся орошаемым земледелием.
- Комплекс «Верхняя Атбара» был введен в эксплуатацию в 2018 году.
- В целях снижения проблемы заиления были проведены надлежащие исследования по управлению наносами и эксплуатации для этого двойного водохранилища (с учетом уроков, извлеченных из прошлой проблемы). Deltares участвовала в этом исследовании. В исследовании рассматривалось: (i) начальная насыпка; (ii) время насыпки; (iii) гидрологический год; (iv) надлежащий подход к промыванию

водохранилища через шлюзы; (v) надлежащий подход к промыванию водохранилища с потоком воды (полностью и наполовину); (vi) комбинация мер.

- Ремонтное дноуглубление возле плотины и водозаборных сооружений проводится регулярно. Водохранилище оснащено для этого.
- Общая стоимость проекта – около 1,5 млрд. долл. США, с финансированием от следующих организаций:
    - Фонд Организации стран-экспортеров нефти (администратор займа)
    - Саудовский фонд развития (SFD)
    - Исламский банк развития (ISDB)
    - Кувейтский фонд арабского экономического развития (KFAED)
    - Фонд развития Абу-даби (ADFD)
    - Правительство Китая
    - Правительство Алжира
    - Правительство Судана
- Финансирование использовалось для следующих мероприятий:
    - Строительство плотинного комплекса, состоящего из двух основных плотин – Румела и Бурдана на реках Верхняя Атбара и Сеттит, соответственно
    - Строительство системы защитных насыпей протяженностью 13 км для образования общего водохранилища для аккумулирования воды (емкостью 3,68 млрд. м^3), соединяющего две плотины
    - Строительство водослива, оснащенного радиальными гидравлическими затворами
    - Строительство ГЭС мощностью 320 МВт на плотине Румела
    - Установка линии электропередачи 220 кВ протяженностью 28 км до подстанции Шувак, подключенной к национальной электросети
    - Приобретение земли и переселение
    - Строительные и консультационные услуги

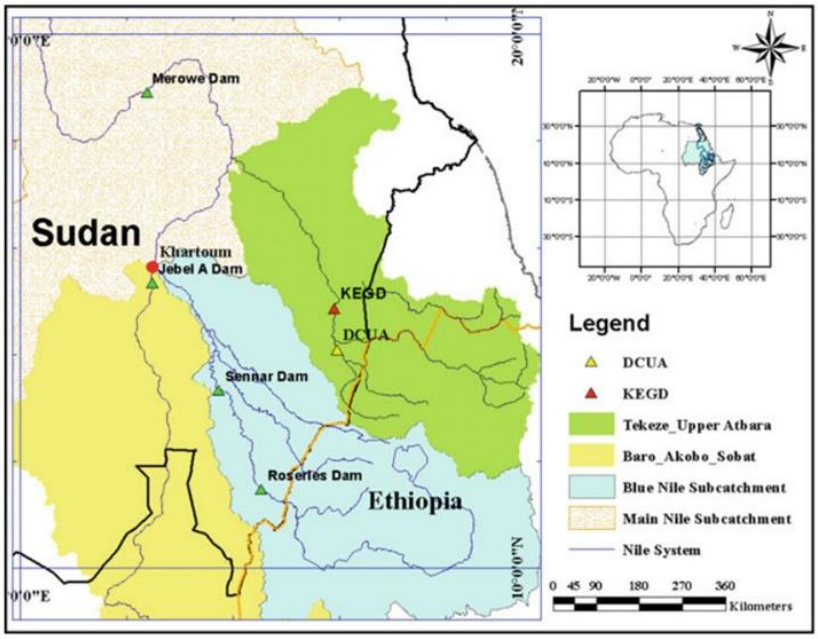


Рисунок 5-10 Расположение плотины

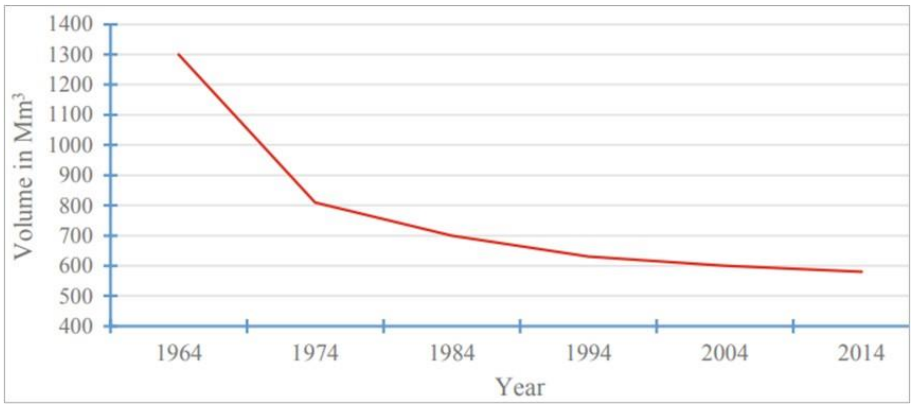


Рисунок 5-11 Динамика потери объема водохранилища Хашм Эль Гирба во времени

Рисунок 5-12 Расположение нового двойного водохранилища (Плотинный комплекс Верхней Атбары) на двух притоках

5.3 Примеры модернизации плотины

Есть уже десятилетия мирового опыта по модернизации плотин в качестве структурной меры. Это может быть связано с различными мерами, такими как дополнительная (более большая) плотина для замены старой, повышение плотины, улучшение / реконструкция части плотины (например, водосливов, водозаборов, водовыпусков, труб, тоннелей, т.д.). Япония – одна из стран, где модернизация проводится активно на ряде плотин в течение последних нескольких десятилетий (Рисунок 5-13).
Кроме того, есть много других стран, где модернизация плотин практикуется в течение последних двадцати лет.

5.3.1 Модернизация плотины в Японии

5.3.1.1 Общие вопросы и примеры

Исследовательский комитет по эффективному использованию существующих плотин (2007–2008 годы), который был образован при Японской комиссии по крупным плотинам, собрал 240 примеров проектов по модернизации плотин (эффективное использование существующих плотин) и изучил их национальный статус (Сасаки и Кондо, 2018). Отчет

Сасаки и Кондо (2018) дает хороший обзор тенденций модернизации плотин в Японии. Отчет полезен и сосредоточен на повышении плотин и укреплении функциональных возможностей и водопропускных сооружений в теле плотины, так как есть много примеров модернизации плотин, предусматривающих переоснащение тела плотины. Некоторые общие и специальные характеристики и примеры из опыта, приведенные в отчете:

- Чтобы эффективно провести необходимую модернизацию плотины, необходимо учесть техническую специфику данной плотины, например, усовершенствованное регулирование затворов, принимая во внимание прогноз погоды, или методы проектирования и строительства, необходимые для изменения существующих плотин, например, повышения плотины.
- Примеры улучшения водопропускных сооружений в Японии включают строительство нового тоннельного водопропускного сооружения в естественном грунте по таким проектам, как плотина Амагасе (бетонная арочная плотина, завершена в 1964 году, высота плотины 73 м, модернизация в настоящее время в процессе реализации) и плотина Каногава (бетонная гравитационная плотина, завершена в 1958 году, высота плотины 61 м, модернизация в настоящее время в процессе реализации). Поскольку модернизация обеспечивает эффективное использование существующих плотин, она позволяет усилить функциональные возможности и эффективно продлить срок службы.
- Есть определенные аспекты, которые более сложны, чем в строительстве новой плотины. Например, когда существующая плотина, планируемая для модернизации, уже старая, информации о существующей плотине и ее основании, необходимой при проведении модернизации, зачастую недостаточно. В таких случаях необходимо провести исследования, например бурение основания плотины или тела плотины, при этом, однако сохранение существующих функциональных возможностей плотины может быть ограниченным условием исследований. Более того, при бурении тела плотины для установки дополнительных труб, необходимо предотвратить какие-либо побочные последствия, которые не может вынести существующая плотина.
- Исследовательский комитет по эффективному использованию существующих плотин при Японской комиссии по крупным плотинам указал на технические проблемы на основе случаев эффективного использования, полученных в рамках обследования. Его преемник, Комитет по обновлению плотин, изучает конкретные технические проблемы и направления для их решения в части повышения плотины, изменения водозаборных и водопропускных сооружений и мер по борьбе с заилением для проектов по модернизации.
- Добавление мер по борьбе с заилением на плотинах и водохранилищах началось преимущественно с 2000 год.
- Рисунок 5-14 показывает пример повышения плотины на бетонной гравитационной плотине, а именно плотине Шин Маруяма. Первоначальная плотина была введена в эксплуатацию в 1955 году. Высота плотины была увеличена с 98,2 м до 118,4 м, что привело к увеличению общего объема водохранилища с 7 952 м^3 до 13 135 м^3.
- Рисунок 5-15 показывает пример переоснащения выбранного водозаборного и водопропускного сооружения на плотине Нагаясугучи. Это бетонная гравитационная плотина, введенная в эксплуатацию в 1955 году. Высота плотины – 85,5 м.

Рисунок 5-13 Модернизация различных плотин в Японии (предоставлено Бюро по управлению водой и стихийными бедствиями, Министерство земельных ресурсов, инфраструктуры, транспорта и туризма, Япония)

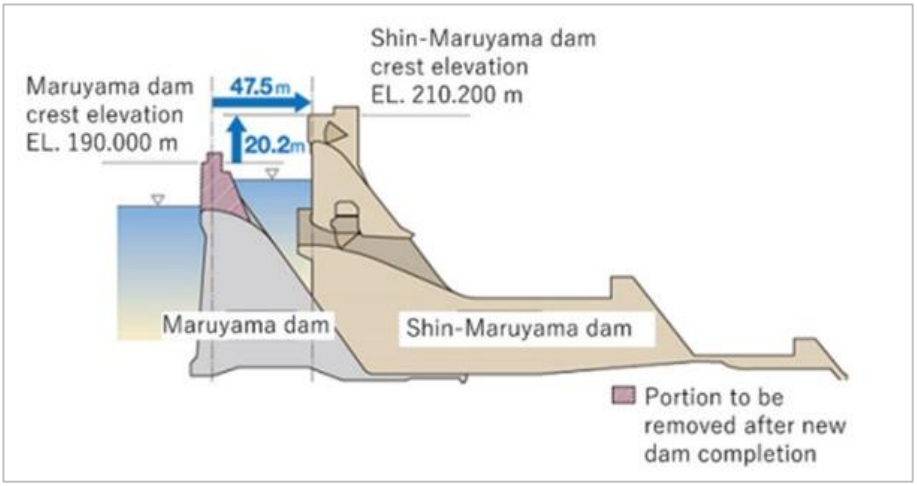


Рисунок 5-14 Модернизация (повышение) плотины Маруяма

Рисунок 5-15 Пример изменения водозаборного и водопропускного сооружения на плотине Нагаясугучи (Сасаки и Кондо, 2018)

5.3.1.2 Дополнительные водовыпускные сооружения на плотине Цуруда

Отчет Казунори и др. (2019) содержит набор информации о строительстве дополнительных водовыпускных сооружений на плотине Цуруда. Некоторые факты и цифры, включенные в этот отчет, приведены ниже:

- Плотина Цуруда (префектура Кагосима), расположенная посередине реки Сендай, многоцелевая плотина с полезным объемом водохранилища 77,5 млн. м^3. Она была построена для целей защиты от паводка и выработки электроэнергии и завершена в 1966 году.
- В июле 2006 года в результате катастрофического наводнения, вызванного рекордными ливневыми дождями, сильно пострадала водосборная площадь плотины Цуруда. Вследствие этого, был подготовлен проект по реконструкции плотины Цуруда. В частности, планировалось увеличить максимальную противопаводочную емкость с 75,00 млн. м^3 до 98,00 млн. м^3.
- План включал установку дополнительных водовыпускных сооружений, которая предусматривала строительство пяти тоннелей через плотину. Кроме того, на плотине были установлены затворы водосброса. С этой точки зрения, проект был крупнейшим по масштабу среди проектов по реконструкции плотин в Японии. Проект столкнулся с несколькими сложностями. Рисунок 5-16 дает хорошее представление о модернизации плотины.

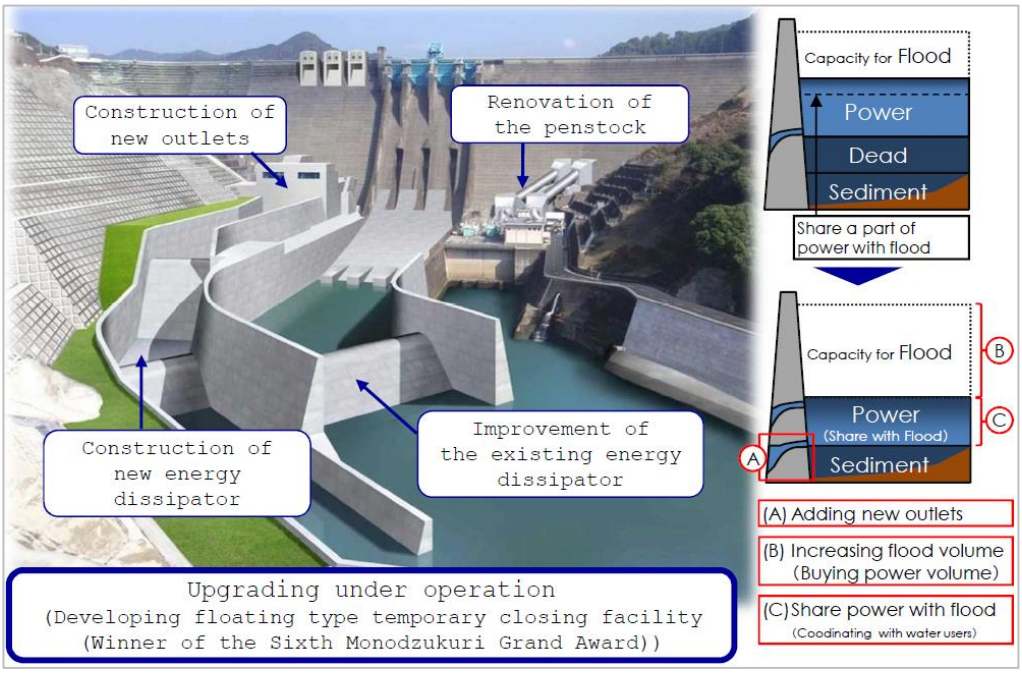


Рисунок 5-16 Модернизация плотины Цуруда (предоставлено Бюро по управлению водой и стихийными бедствиями, Министерство земельных ресурсов, инфраструктуры, транспорта и туризма, Япония)

5.3.1.3 Замена плотины Оюбари

Некоторые факты и цифры:

- В рамках Комплексного плана развития Хоккайдо в 1953 году была построена плотина Оюбари как часть Проекта по улучшению земельных ресурсов Оюбари. Плотина предназначена для орошения и выработки электроэнергии.
- В 1981 году Тайфун № 12 ударил по Хоккайдо, и бассейн реки Ишикари пострадал от сильнейшего в истории наблюдений наводнения. В связи с этим Бюро по развитию Хоккайдо пересмотрело Базовый план реализации строительства в бассейне реки Ишикари и включило в план строительство плотины для регулирования паводков как замену плотине Оюбари. Кроме того, из-за увеличения спроса на воду на фоне роста населения в Саппоро и других городах, рассматривался вопрос о разработке многоцелевой плотины. В результате, была построена новая плотина (Юбари Шупаро), которая заменила старую плотину (Оюбари). Новая плотина была построена в 155 м ниже по течению от старой плотины (Рисунок 5-17 и Рисунок 5-18).
- Высота плотины была увеличена с 67,5 м до 110,6 м.
- Подробную информацию можно найти на официальном веб-сайте Бюро по развитию Хоккайдо (на японском языке): https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/yuubari_damu/index.html

Рисунок 5-17 Сравнение изображений Google Earth до (слева) и после (справа) удаления плотины Оюбари

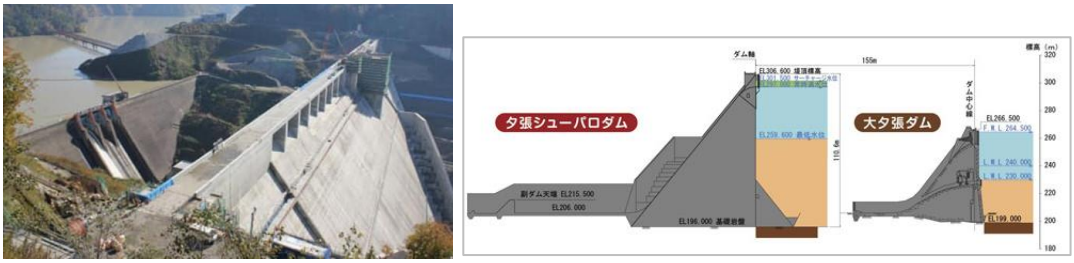


Рисунок 5-18 Плотины Оюбари и Юбари Шупаро (предоставлено И. Шимизу)

5.3.2 Повышение плотины Жушу (Китай)

Информация представлена в отчете Юменг и др. (2020). Некоторые факты и цифры из отчета:

- Плотина Жушу среднего размера, расположенная в префектуре Ляншань, провинция Сычуань. Отметка гребня – 2 416,1 м, протяженность плотины – 190 м, верхняя отметка волнозащитной стены – 2 417,1 м, высота плотины – 63,4 м, ширина верха плотины – 6 м.

- В соответствии с планированием проекта водоснабжения, чтобы удовлетворить спрос воды для промышленности и бытового потребления в месте расселения, плотина Жушу была расширена и подстроена под соответствующий проект отвода воды.
- Старая плотина была сооружена из глины с ядром из обломков пород, с максимальной высотой 63,4 м. После повышения была сооружена каменно-набросная плотина с бетонным экраном, с максимальной высотой 98,1 м.
- Когда плотина была повышена, непроницаемое тело старой плотины пришлось укрепить.
- Проектирование предусматривало использование водоудерживающей способности старого ядра плотины для производства каменной насыпи при повышении плотины на верху и на низовом откосе старой плотины, чтобы тело старой плотины стало частью повышенной плотины. В то же время было укреплено земляное ядро и основание противофильтрационной системы старой плотины, была добавлена бетонная отсечная стенка, было укреплено основание устройства противофильтрационной завесы.
- Срок строительства повышения плотины – 31 месяц.

Подробную информацию можно найти в работе Юменг и др. (2020).

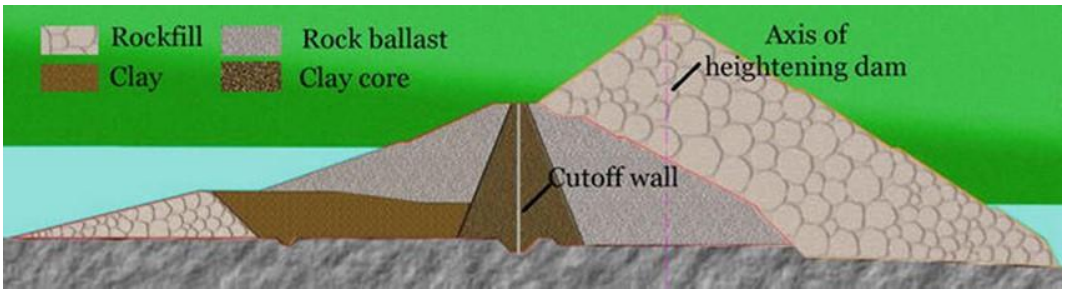


Рисунок 5-19 Профиль повышенной плотины (Юменг и др., 2020)

5.3.3 Повышение плотины Розейрес (Судан)

Некоторые факты и цифры:

- Плотина Розейрес была построена на реке Голубой Нил в Ад-Дамазин в Судане в 1996 году, вначале для целей ирригации. ГЭС мощностью 280 МВт была добавлена в 1971 году.
- Плотина Розейрес состоит из основной плотины и двух вспомогательных каменно-набросных плотин. За год заиление уменьшило объем водохранилища. Вследствие этого, проект пришлось усиливать, чтобы улучшить регулирование воды в Голубом Ниле.
- В результате, были сделаны следующие улучшения на существующей плотине: (i) увеличение высоты основной бетонной плотины на 11 м для увеличения объема с 3 млрд. $м^3$ до 7,3 млрд. $м^3$; (ii) повышение тела плотины на 10 м; (iii) строительство подъездного моста; (iv) восстановление ГЭС для выработки дополнительных 566 ГВт-ч электроэнергии; (v) переселение примерно 7 400 семей в новые населенные пункты с социальной инфраструктурой.
- Проект был утвержден в 2008 году и завершен в 2013 году.
- Общая стоимость проекта – около 476 млн. долл. США.

https://opecfund.org/operations/list/heightening-of-the-roseires-dam-rehabilitation-project

Рисунок 5-20 Повышение плотины Розейрес (http://pf.bbrnetwork.com/)

5.4 Мировой опыт по переработке, обработке и утилизации наносов

Некоторые полезные технологии и практики, в частности касающиеся дноуглубления и размещения удаленных наносов (например, ограниченные объекты по удалению наносов), которые могут быть уместны для ТМГУ, представлены также в Разделе 3.5. Здесь мы вкратце описали еще несколько проектов, касающихся удаления и утилизации наносов (например, экологическое восстановление и инициативы по озеленению пустыни). Некоторые из этих практик не относятся к плотинам и водохранилищам и не имеют очевидной связи с ТМГУ. Тем не менее, некоторые компоненты и опыт могут быть полезными для рассмотрения на ТМГУ, учитывая похожие потребности и масштаб.

Некоторые национальные стратегии и практики, касающиеся управления удаленными наносами в развитых странах, представлены в Приложение 3: Краткий обзор национальных стратегий и практик управления удаленными наносами в некоторых страна. Также см. Приложение 4: Применимость удаленных наносов для утилизации на основе вида и качества и Приложение 5: Варианты обработки удаленных наносов, используемые в Ирландии .

5.4.1 Проект по восстановлению окружающей среды в Кубуки (Китай)

Некоторые полезные аспекты, факты и цифры обобщены из отчета ЮНЕП (2015) и представлены здесь. Более подробную информацию можно найти в отчете.

5.4.1.1 Общая информация

В 1988 году Elion Resources Group начала восстановление части пустыни Кубуки, находящейся в автономном районе Внутренняя Монголия, Китай (Рисунок 5-21), в рамках инициативы, которая стала примером Зеленой экономики пустыни. Спустя почти три десятилетия треть Кубуки была озеленена. При помощи инновационной модели государственно-частных инвестиций, более 5 000 км^2 было засажено деревьями, кустарниками и травами (Elion 2014).

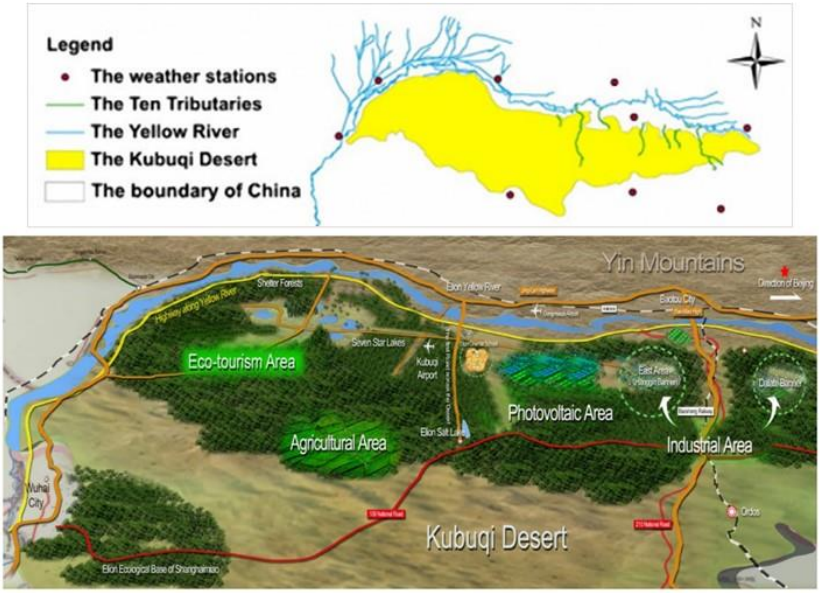


Рисунок 5-21 Место реализации проекта по восстановлению Кубуки (ЮНЕП, 2015)

Есть три важных аспекта, которые вкратце описаны ниже (Elion, 2014):

1) **Экономическое развитие** включает развитие инфраструктуры, экологических отраслей промышленности, экологически безвредного сельского хозяйства, производства новых строительных материалов из песка, экотуризма, возобновляемых источников энергии, например, солнечной энергии. Насаждение ценных трав, например лакрицы, теперь поддерживает крупномасштабное производство лекарственных средств.

2) **Социальное развитие** включает строительство новых домов и школ, развитие культурных программ.

3) **Экологическое восстановление** привело к уменьшению пылевых бурь и распространения песчаной почвы и восстановлению степени и масштабов биоразнообразия.

Более 100 000 фермеров и животноводов, получивших различные выгоды, стали одной из крупнейших групп бенефициаров проекта по зеленой экономике, в частности:

- предоставили землю в пустыне в аренду предприятию и стали акционерами;
- развили национальный туризм в пустыне и стали собственниками туристических объектов;
- посадили деревья и травы для использования в малом бизнесе или работе;
- развили сельскохозяйственную деятельность, например, выращивание овощей и фруктов и разведение крупного рогатого скота и овец.

Фермы поставляют мясо, яйца, птицу, молоко, зеленые органичные продукты предприятиям и туристическим объектам. График на Рисунок 5-22 дает представление о различных предприятиях, связанных с проектом.

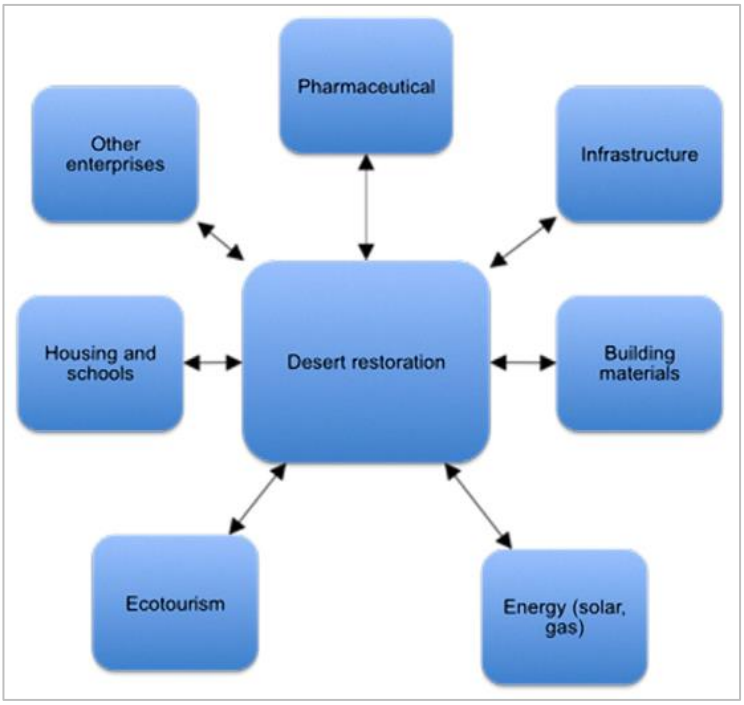


Рисунок 5-22 Различные предприятия Elion, связанные с проектом ЮНЕП, 2015

5.4.1.2 Государственно-частное партнерство

Elion Resources Group и правительство создали комплексное партнерство со следующими характеристиками:

- **Финансирование.** Центральные и местные исполнительные органы предоставили необходимые инструменты политики и создали систему сотрудничества между банками или финансовыми компаниями и Elion. Это включает координацию с Национальным банком развития, Сельскохозяйственным банком Китая, Промышленно-коммерческим банком Китая, Строительным банком Китая и другими государственными или коммерческими банками. Эта система предоставила финансовую гарантию для мероприятий Elion по саморазвитию и восстановлению пустыни.
- **Инвестиционные механизмы**. Центральные и местные исполнительные органы открыли некоторые проекты для частных предприятий, например, государственные проекты по борьбе с опустыниванием, проекты по восстановлению окружающей среды, проекты по восстановлению растительности. Группа Elion может быть поставщиком услуг или подрядчиком национальных проектов. Это дало новый источник прибыли для Elion. Так, Elion выиграла конкурс по строительству для проекта по восстановлению окружающей среды, связанного с Зимними Олимпийскими играми в Пекине.
- **Технологические инновации и услуги.** Правительство взяло на себя обязанности по предоставлению технических услуг предприятию в 1990-ых годах. Однако с 2005 года Elion стала основным участником в исследованиях и разработках технологий для предотвращения опустынивания и активно внедряла передовые мировые технологии по использованию и управлению воды в орошении. В 2014 году Elion основала Институт по исследованию пустынь.
- **Политика и проекты.** Elion стала ведущей заинтересованной стороной, участвуя во всех уровнях государственных реформ по политике борьбы с опустыниванием, институциональным инновациям и управлению.

Отчет ЮНЕП (2015) также содержит подробный анализ затрат-выгод.

5.4.2 Проекты по дноуглублению водохранилищ и утилизации наносов компании Great Lakes Dredge & Dock Company (США)

5.4.2.1 Дноуглубление водохранилища Джона Редмонда

Некоторые факты и цифры:

- Проект по дноуглублению водохранилища Джона Редмонда представлял собой контракт по проектированию / строительству, который предусматривал дноуглубительные работы гидромеханическим способом для удаления 3 000 000 кубических ярдов наносов из водохранилища Джона Редмонда возле Берлингтона, штат Канзас. Это был первый в США контракт по дноуглубительным работам правительства штата на федеральной собственности.
- Наносы выкапывались и прокачивались по трубопроводу на шесть миль. Они размещались на трех существующих газопроводах, с одним речным и пятью дорожными пересечениями до предоставленного подрядчиком ограниченного объекта по удалению.
- Ограниченные объекты по удалению включали проект и строительство 41 350 линейных футов дамб, 775 000 кубических ярдов уплотненной насыпи. Ограниченные объекты по удалению, в конечном итоге, будут возвращены в сельскохозяйственное использование.
- Проект по дноуглублению водохранилища Джона Редмонда был выбран победителем Годовой награды за высокие достижения в области качества Западной ассоциации по дноуглублению (WEDA) 2017 года среди проектов по дноуглублению.

Рисунок 5-23 Водохранилище Джона Редмонда (слева) и сведения о проекте (Great Lakes Dredge & Dock Company)

5.4.2.2 Дноуглубление на озере Декейтер (Фаза 2)

Некоторые факты и цифры:

- Дноуглубление включало как ремонтные, так и углубительные работы на Бассейнах 1-4 и удаление ила из наносоуловителей в Бассейнах 1 и 6 (Рисунок 5-24). Эта работа также включала восстановление ограниченного объекта по удалению в Окли путем повышения существующей бермы на 10 футов, что потребовало более 769 000 кубических ярдов земляных работ.
- Наносы выкапывались и прокачивались по трубопроводу на 9-10 миль и размещались в ограниченном наносоулавливающем бассейне Окли.
- В целях экономии средств города, повышения эффективности и улучшения решения экологических вопросов, все землесосные и нагнетательные насосные станции были электрическими.
- Этот проект увеличит объем водохранилища города Декейтер на 30 процентов и в то же время обеспечит будущий спрос и улучшит возможности отдыха для развития туризма.

Рисунок 5-24 Озеро Декейтер (слева) и сведения о проекте(Great Lakes Dredge & Dock Company)

5.4.2.3 Дноуглубление в Пасс-а-Лутр

Некоторые факты и цифры:

- Этот проект предусматривал ремонтное навигационное дноуглубление в судоходном канале река Миссисипи с Мексиканского залива до г. Батон-Руж, штат Луизиана (Рисунок 5-25).
- Объем проекта включал углубление судоходного входного канала с глубины 40 футов до -45,0 и с шириной 750 футов, что улучшило поездки через участки реки Миссисипи на Новом Орлеане и Батон-Руж.
- В целом, приблизительно 8 миллионов кубических ярдов наносов было вычерпано на объекте по удалению наносов в Хэд-оф-Пасса.
- Калифорния, Флорида и Остров Террапин удаляли наносы в зоне создания водно-болотных угодий для утилизации.

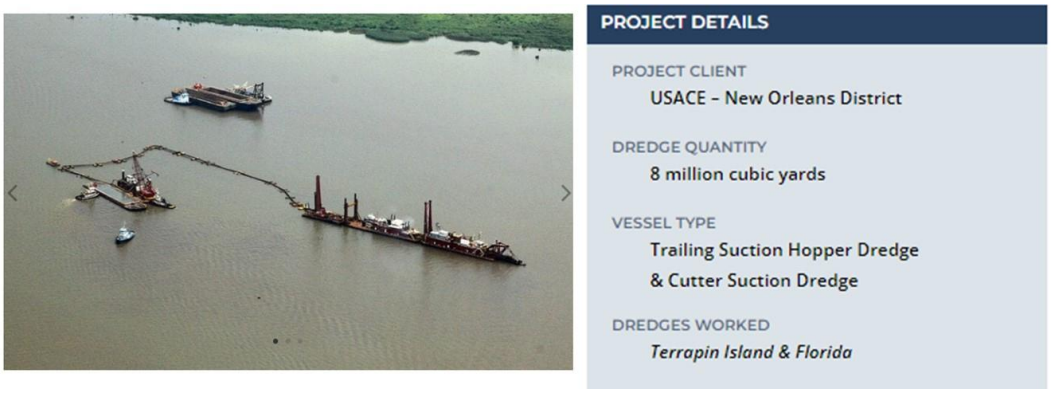


Рисунок 5-25 Дноуглубительные работы на Хэд-оф-Пасса (слева) и сведения о проекте (Great Lakes Dredge & Dock Company)

5.4.2.4 Дноуглубление Mosaic

В рамках проекта было вычерпано 16 000 000 кубических ярдов отходов глины и прокачено на пять миль до конечного участка удаления отходов и восстановления. У Mosaic – тысячи акров карьеров в районе Флорины.

Рисунок 5-26 Дноуглубительные работы Mosaic (слева) и сведения о проекте (Great Lakes Dredge & Dock Company)

5.4.3 Восстановительные проекты в Нидерландах (Ecoshape)

«EcoShape – Building with Nature» - сеть организаций и физических лиц, работающих над применением «Building with Nature» для решения проблем водных ресурсов и заиления. Организация стимулирует развитие знаний через пилотные проекты, чтобы демонстрировать и отслеживать «Building with Nature» на практике (основанные на природе решения). В целях реализации проектов и связанного с ними развития прикладных знаний, EcoShape заключила соглашение об образовании консорциума с 15 сторонами (инженеры-консультанты, исследовательские институты, подрядчики и НПО), включая Deltares. Более того, EcoShape регулярно сотрудничает с другими сторонами, помимо участников соглашения об образовании консорциума, например, с государственными организациями и университетами.
По результатам мониторинга разрабатываются руководства по тиражированию и развертыванию проектов и публикуются на веб-сайте EcoShape (www.ecoshape.org/en).

Мы обобщили информацию о некоторых пилотных проектах Ecoshape. Подробную информацию о представленных и других проектах можно найти на веб-сайте.

5.4.3.1 Проект по восстановлению природы Маркер Вадден

Проект касается создания от 6 000 до 10 000 гектар искусственных островов для увеличения мест обитания дикой природы. Некоторые факты и цифры:

- Общая площадь группы островов – 4,5 км на 2,3 км (Рисунок 5-27).
- Схема Маркер Ваддена разделена на основную плотину, второстепенные плотины, компоненты природной среды, защищенные болота, зоны отдыха, песчаный карьер, отстойные траншеи.
- Строительство первой фазы началось в 2016 году и завершилось в 2020 году.
- Строительство включало размещение связных и несвязных наносов, происходящих из экосистемы озера Маркер, строительство сквозных причальных сооружений, создание пляжей, дюн и болотистой местности.
- Объемы использованных материалов (Боскалис, 2019)
    - Скальная порода =100 000 тонн
    - Песок = 12 500 000 м^3
    - Глина, ил, торф = 15 500 000 м^3
- Финансирование, заинтересованные стороны, государственно-частное партнерство:
    - Проектирование и строительство Маркер Ваддена (первая фаза) финансируется голландской природоохранной НПО Natuurmonumenten через благотворительный фонд из средств национальной лотереи Postcodeloterij (30,5 млн. евро), Министерства инфраструктуры и управления водными ресурсами (18,5 млн. евро), Министерства экономики (18,5 млн. евро) и провинции Флеволанд (6,5 млн. евро).
    - Соответствующее финансирование было зачислено на внешний счет голландского национального фонда зеленых инвестиций.

- Мероприятия по мониторингу и развитию знаний финансировались отдельно.
- Активное участие приняли двенадцать сторон: муниципалитет Лелистад, Natuurmonumenten, Boskalis, Министерство экономики, Министерство сельского хозяйства, Министерство инфраструктуры и управления водными ресурсами, провинция Флеволанд, Nationaal Groeifonds, RWS Midden-Nederland и KIMA associates.

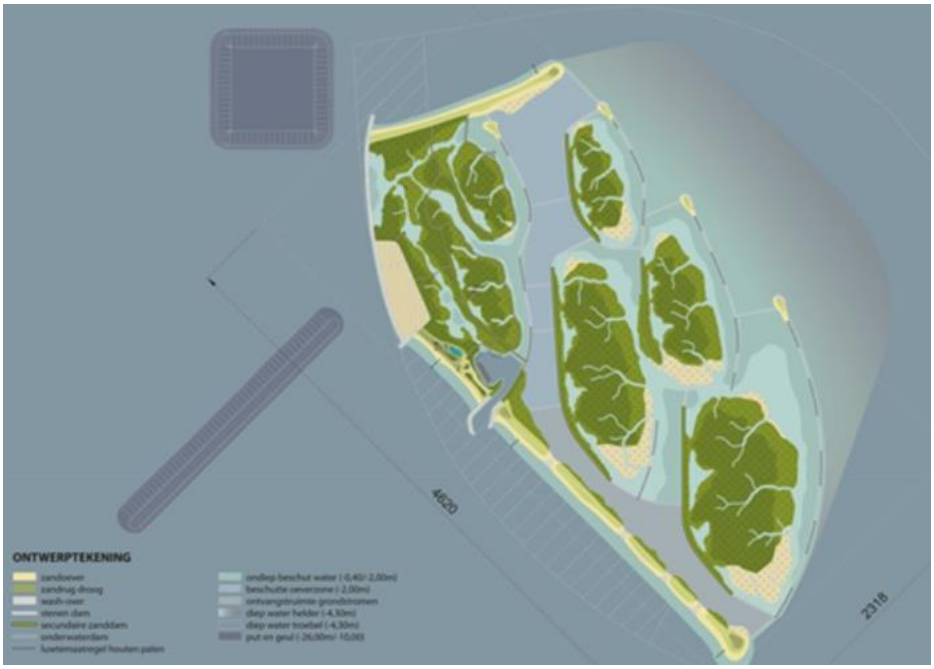


Рисунок 5-27 Зона восстановления Маркер Вадден

5.4.3.2 Пилотный проект по созреванию глины

Один из пилотных проектов Ecoshape, целью которого является поиск инновационных способов полезного и экономически эффективного преобразования ила на земле в глину. Пилотный проект эффективно объединяет цели множества заинтересованных сторон. В рамках проекта оценивается коммерческое обоснование сценария по крупномасштабной реализации.

Пилотный проект основан на сборе илистых осадков из устья Эмс-Доллард и преобразовании в глинистую почву, что дает двойную выгоду: качество воды и экосистемы улучшается, производится больше глинистой почвы для укрепления морских дамб вдоль устья Эмс-Доллард. Материал можно также использовать для поднятия сельскохозяйственных угодий, чтобы компенсировать проседание почвы.

Rijkswaterstaat (часть Министерства инфраструктуры и управления водными ресурсами Нидерландов), провинция Гронинген, Морские порты Гронингена, водное управление Hunze en Aa's, природоохранная организация Het Groninger Landschap и EcoShape объединились для реализации пилотного проекта по созреванию глины, чтобы изучить различные способы преобразования вычерпанных мелкозернистых наносов в глинистую почву, подходящую для укрепления дамб. Исследователи EcoShape занимаются практическими экспериментами, чтобы изучить наиболее оптимальные подходы к созреванию глины.

Пилотный проект стал хорошим примером того, как активное, конструктивное участие заинтересованных сторон может привести к уникальному проекту, в котором можно

эффективно объединить цели множества заинтересованных сторон, собравшихся для решения проблемы свободно перемещающего ила в устье реки.

Цель пилотного проекта – преобразовать 290 000 м^3 илистых осадков в устье реки примерно в 105 000 м^3 глины, чтобы удовлетворить потребность в глине для дамб. Водное управление Hunze en Aa's будет использовать 70 000 м^3 произведенной глины для преобразования / укрепления одного километра дамб в Широкую зеленую дамбу, последующий пилотный проект. Это дамба с пологим откосом, покрытым травой. Если произведенная глина будет успешно использована на этом пробном участке, оставшийся участок (примерно 11,5 км) противопаводкового сооружения тоже можно будет укрепить этим методом. Кроме того, созревшие осадки могут подойти как сырье для производства кирпичей и поднятия сельскохозяйственных угодий.

Пилотный проект даст знания о преобразовании вычерпанного материала в глинистую почву и полезности этого процесса. Эти знания могут также быть полезны в других сферах, где не хватает строительных материалов, и интенсивные потоки мелкозернистых наносов приводят к высоким затратам на дноуглубление и / или потере экологической ценности, как, например, в Сингапуре или устье р. Западной Шельды (Нидерланды).

Рисунок 5-28 Место созревания глины в Делфзейл (слева) и место источника наносов (справа) (снимок: Satelliet data portaal, 2018)

- Местонахождение: устье Эмс-Доллард, Делфзейл (Нидерланды)
- Планируемый период реализации проекта: с января 2018 года до января 2022 года
- Участвующие стороны: Rijkswaterstaat, провинция Гронинген, Морские порты Гронингена, водное управление Hunze en Aa's, Het Groninger Landschap и EcoShape. Проект реализуется при финансовой поддержке Waddenfonds и Национальной программы защиты от паводков Нидерландов HWBP.
- Уровень готовности технологий (TRL): 3 (т.е. экспериментальная проверка концепции)
- Окружающая среда: илистое побережье, реки и устья реки, порты

Более подробную информацию о проекте можно найти на веб-сайте: www.ecoshape.org/en/cases/clay-ripening-pilot-project-delfzijl-nl/

5.4.4 Проект «Новый Суэцкий канал»: известный проект по дноуглублению

Некоторые факты и цифры об этом известном проекте (Ван Беммелен и др., 2016):

- Участие шести основных подрядчиков по дноуглубительным работам: Challenge Consortium, состоящий из Royal Boskalis и Van Oord из Нидерландов; National Marine Dredging Company (NMDC) из Абу-Даби; Jan De Nul NV из Бельгии. Общая стоимость контракта – 1,5 млрд. долл. США. Второй консорциум, Dredging International NV (компания-оператор DEME Group) из Бельгии и Great Lakes Dredge & Dock Company (GLDD) из США, получили задание по углублению и расширению западного притока Суэцкого канала на сумму 540 млн. долл. США.
- Наибольшее число землечерпательных машин, когда-либо использованных по одному проекту, – 28 единиц и 40 единиц вспомогательного оборудования.
- За 9 месяцев было вычерпано примерно 245 млн. $м^3$ песка.
- Большая часть финансирования проекта поступила от населения Египта, которое пригласили принять участие в покупке инвестиционных сертификатов с начислением процентов. Целевая сумма 8,4 млрд. долл. США была достигнута за 8 дней.

Рисунок 5-29 Спутниковое изображение разных видов землечерпательного оборудования Challenge Consortium на рабочей площадке (сверху) и изображение судов (снизу)

5.5 Заключение

Были вкратце описаны различные примеры из других стран по решению проблем заиления. Кроме этого, были показаны некоторые примеры, которые могут быть полезны при рассмотрении утилизации наносов на ТМГУ. Почти нет примеров управления большими объемами наносов в водохранилищах (как в Русловом водохранилище), в частности их удаления и утилизации. В большинстве случаев объемы намного меньше. Однако этот опыт может быть полезен при рассмотрении срочных ремонтных работ на ТМГУ, а также пилотной кампании по утилизации наносов.

Мы также предлагаем посмотреть наши презентации, которые содержат короткие примеры мирового опыта. Кроме того, в отчет включен перечень различных источников литературы и публикаций, которые могут быть полезны (см. Список литературы).

6 Заключения и рекомендации

6.1 Общие заключения

Углубленный обзор и оценка имеющихся прошлых исследований и экспресс-анализ проблем заиления на ТМГУ показали, что ситуация довольно серьезная, причем не только в части потери объема водохранилища, но и в части безопасности сооружнений и населения, а также влияния на местную экономику и средства существования. Эта проблема уже привела к повышенному риску, связанному с прохождением паводков, а также к сбоям в работе гидроэлектростанции и ирригационных сооружений и объектов. Кроме того, Русловое водохранилище потеряло значительный объем (почти 1,5 млрд. $м^3$), которая приводит к нехватке воды, сильно отражающейся на средствах существования более 5 миллионов человек в регионе. В связи с этим, авторы отчета считают, что эти проблемы и связанные с ними вызовы нужно решить в срочном порядке.

Предоставлено несколько примеров и ссылок на мировой опыт. Их можно рассмотреть и изучить более подробно при рассмотрении и проектировании возможных мер по борьбе с заилением. Однако универсального метода или подхода нет. Следовательно, предлагаемые решения и меры следует разрабатывать с учетом местной / региональной специфики и ситуации на основе изучения социальной, технической, экологической и экономической осуществимости. Нужно подчеркнуть, что все меры и вмешательства должны быть надлежащим образом рассмотрены на предмет неблагоприятного воздействия и осуществимости. Например, меры, связанные с удалением наносов (путем выемки, дноуглубления, а также промывания), должны быть изучены надлежащим образом, чтобы избежать неблагоприятного воздействия, ведущего к рискам и угрозам, таким как обрушение слоя наносов, которое может вызывать блокировку водозаборов, перенос большого объема наносов, которое создает риски и угрозы в водохранилище и инфраструктуре и среде обитания в нижнем бьефе.

В мировом опыте – все еще много пробелов, в частности в вопросах утилизации мелкозернистых, глинисто-илистых наносов, к которым, судя по всему, относится большинство наносов в Русловом водохранилище. Мелкозернистые наносы можно использовать для утилизации в большом масштабе, но обычно применяются механические и другие добавки, чтобы произвести качественный грунт и стабилизированные наносы, например механическое-упрочненное структурное (неструктурное) основание. Эти продукты имеют высокую значимость и относятся к возобновляемым ресурсам. Большинство применений относятся к крупнозернистым наносам, которые легче поддаются переработке с использованием устоявшихся технологий разделения жидкости и твердого вещества, и могут быть даже непосредственно использованы для ряда целей с высокой экономической ценностью, например, для производства песка. Что касается мелкозернистых наносов, размещение и / или удаление наносов, переработка наносов для утилизации требуют надлежащей оценки в рамках пилотной кампании коммерческого масштаба (как предлагается). Это предполагает создание больших инкубаторов / объектов по переработке наносов в коммерческом масштабе, которые могут стимулировать экономический рост региона. Многие описанные здесь процессы поддаются масштабированию. Как отмечалось выше, наносы – это ресурс, а не отходы.

6.2 Решение проблем заиления с утилизацией наносов на ТМГУ

Проблемы и связанные с ними меры разделены на категории по срочности и масштабу. Первая категория проблем и мер требует срочного внимания и действий, в то время как

вторая категория проблем и мер нуждается в более подробной оценке воздействия и осуществимости. Кроме того, опыт реализации мер для решения проблем первой категории будет полезен для оценки мер по решениям проблем второй категории. Проблемы и предлагаемые меры вкратце описаны в
Таблица 6-1.

Таблица 6-1 Категории проблем на ТМГУ и предлагаемые меры

	Описание проблем	**Предлагаемые меры**	**Примечания**
Первая категория	- Эффективная эксплуатация и безопасность ГЭС и ирригационных сооружений - Пропуск паводок (из-за частичной блокировки водосливов)	Предлагается комплексная программа управления наносами с утилизацией: - Основная мера технического обслуживания (план удаления наносов в Русловом водохранилище и головных сооружениях канала) -Дополнительная мера технического обслуживания (промывание наносов в Русловом водохранилище) -Мера снижения воздействия (борьба с эрозией и управление притоком наносов в водосборе, реке и водохранилище) -Меры адаптации и поддержки (системы мониторинга, информации, прогнозирования, раннего предупреждения; сокращение потерь воды) - Пилотная кампания по утилизации удаленных наносов из Руслового водохранилища с их полезным использованием (производство добавок для улучшения верхнего слоя почвы и удобрений, производство строительных материалов, сооружения для объектов утилизации, водохранилища, реки)	- Срочные меры - Анализ затрат-выгод и осуществимости (в частности, по утилизации наносов – должно быть частью пилотной кампании) - Подробная оценка воздействия (в частности, по удалению наносов) - Анализ рынка по продуктам утилизации наносов (объем, стоимость, потенциальные сегменты клиентов, динамика спроса в регионе, перенасыщение рынка, другие продукты и конкуренция, прочие местные и важные факторы).

Вторая категория	-Потеря объема водохранилища, ведущая к нехватке воды для орошения, питьевого водоснабжения и отражающаяся на средства существования населения -Уменьшение размера Руслового водохранилища, отражающееся на безопасном (проектном) пропуске паводков	- Предлагается три варианта для сравнительной оценки осуществимости и воздействия: Вариант 1: Капитальные дноуглубительные работы в Русловом водохранилище с утилизацией наносов Вариант 2: Строительство нового и / или расширение существующего наливного водохранилища (-щ) Вариант 3: Расширение / перемещение сооружений (например, повышение или укрепление плотины для увеличения максимального уровня водохранилища) - Меры снижения воздействия - Меры адаптации и поддержки - Утилизация наносов с полезным использованием (крупномасштабное применение, которое должно быть основано на результатах пилотной кампании)	- Крупномасштабные вмешательства, поэтому необходима детальная оценка осуществимости и воздействия. - Необходимо учесть опыт, полученный в результате применения и пилотной реализации в рамках первой (срочной) категории мер. - Может потребоваться больше времени для оценки осуществимости и воздействия, а также принятия решений.

Исходя из обзора прошлых исследований и лабораторных анализов, мы составили короткий список потенциальных вариантов утилизации наносов с полезным использованием для дальнейшего рассмотрения:

- Производство добавки для верхнего слоя почвы и производство удобрений для сельского хозяйства и лесонасаждения
- Создание и восстановление экологических зон (среды обитания) для поддержки функций средств существования
- Создание коммерческих отраслей производства строительных материалов (включая добавление полимеров), ландшафтного (экологического) дизайна, производства композитного наполнителя (структурного и неструктурного) и применение в сфере окружающей среды
- Сооружения по регулированию реки и водохранилища (крепление берегов и бермы, песчаные пробки, земляные плотины, и т.д.) для управления потоком и наносами

Мы предлагаем провести пилотную кампанию коммерческого масштаба (в рамках комплексной программы управления наносами), чтобы оценить техническую осуществимость для применения в реальной жизни. Это должно включать анализ рынка и анализ выгод-затрат, а также детальную оценку воздействия и рисков (социальных, экономических и экологических).

6.3 Устойчивое управление ТМГУ

Функции ТМГУ непосредственным образом связаны с водной, продовольственной и энергетической безопасностью региона с населением более 5 миллионов человек. Эти функции связаны с услугами экосистемы в масштабе бассейна и должны учитывать социально-экономические аспекты. Следовательно, подход Нексус «вода – продовольствие – энергия + окружающая среда» (WFEE) следует рассматривать как неотъемлемую часть устойчивого управления ТМГУ.

Все предлагаемые меры и вмешательства по улучшению положения ТМГУ непосредственно или косвенно способствуют Целям Устойчивого Развития (ЦУР). Это следует принять во внимание при проведении оценки осуществимости и воздействия

предлагаемых мер. Мы попытались описать взаимосвязь между Нексус и ЦУР через меры, связанные с устойчивым управлением ТМГУ. Еще один важный аспект, касающийся устойчивого управления ТМГУ – управление в масштабе бассейна, так как есть различные вмешательства, которые влияют на водосбор выше по течению. Кроме того, ТМГУ – трансграничный комплекс, в связи с чем сотрудничество и понимание между двумя странами имеет большое значение для улучшения ситуации на ТМГУ. Должна быть надлежащая связь между технической частью Нексус и частью по управлению как важнейший критерий устойчивости. Это означает, что устойчивое управление связано с «комплексным управлением речным бассейном с участием заинтересованных сторон», которое, судя по всему, отчасти уже учтено в рамках управления бассейном р. Амударьи.

6.4 Ограничения и сложности

Есть несколько сложностей и ограничений, связанных с решением проблем заиления, а также утилизации наносов на ТМГУ. В общем, ограничения и сложности, которые могут иметь место на ТМГУ, можно разделить на следующие категории:
(i) Физические ограничения: степень и серьезность проблем, и состояние объектов; сроки; наличие пространства и передовой технологии; доступность и логистика проекта; рынок и ограничения по продуктам (касательно утилизации наносов); неблагоприятные изменения в будущем (например, снижение притока или рост эрозии из-за деградации верхнего водосбора и проводимых там вмешательств).
(ii) Социальные и экологические ограничения: вопросы безопасности, воздействие и риски для экологии вследствие крупных вмешательств и изменений (например, для фермеров, рыбаков и других жителей); сопротивление и неготовность населения; загрязнение (воздух, вода, шум); загрязненные или некачественные наносы.
(iii) Экономические ограничения: наличие инвестиций и готовность инвесторов; ограничение бюджета (например, в случае государственных инвестиций); неопределенность экономической жизнеспособности и обоснования; финансовые риски (потеря или снижения выгод, например, из-за возможных чрезвычайных ситуаций, рисков, отрицательных результатов, экономической нестабильности)
(iv) Юридические и прочие ограничения: правила и нормы, приоритеты и интересы заинтересованных сторон; нежелание принятия инновационного подхода и технологии (делать так, как делали всегда); трансграничные споры; политическая воля; разница в восприятии срочности.

Все соответствующие ограничения и нюансы следует надлежащим образом изучить еще на предварительном этапе проекта и предварительной оценки осуществимости.

Выражение признательности

Выражаем большую благодарность профессору, доктору технических наук Малике Икрамовой за постоянную помощь и предоставленные данные, информацию и ценные предложения. Мы также выражаем благодарность экспертам ЦАРЭС и управлению ТМГУ за постоянную помощь и плодотворные обсуждения.

Литература

Руководства, книги, пособия и отчеты

1) Ackerman et al. (2009): RESIS–II: An Updated Version of the Original Reservoir Sedimentation Survey Information System (RESIS) Database. Data Series 434, U.S. Geological Survey.
2) Annandale et al. (2016): Extending the Life of Reservoirs: Sustainable Sediment Management for Damsand Run-of-River Hydropower. World Bank publication.
3) Atkinson E. (1996): The Feasibility of Flushing Sediment from Reservoirs. Report OD 137. HR Wallingford.
4) Battisacco E. (2016): Replenishment of sediment downstream of dams: Erosion and transport processes. Communication 67, Laboratory of Hydraulic Construction, Swiss Federal Institute of Technology (EPFL).
5) Blanton J. O. (1982): Procedures for Monitoring Reservoir Sedimentation. Technical Guideline for Bureau of Reclamation. Sedimentation and River Hydraulics Section, Engineering and Research Center, Colorado.
6) Carvalho et al. (2000): Reservoir Sedimentation Assessment Guideline. Brazilian Electricity Regulatory Agency - Aneel Hydrological Studies and Information Department – SIH
7) Carvalho et al. (2000): Sedimentometric Practices Guide. Brazilian Electricity Regulatory Agency - Aneel Hydrological Studies and Information Department – SIH
8) CWC (2015): Comependium on Silting of Reservoirs in India. Watershed & Reservoir Sedimentation Directorate. Central Water Commission.
9) CWC (2018): National Register of Large Dam (NRLD). Internet Source: http://www.cwc.nic.in/main/downloads/NRLD_06042018.pdf
10) DB Sediment (2013): Sediment Management of John Compton Dam. Feasibility Study. Final Report, June 24th 2013.
11) Dennis et al. (2004): Restoration and management of Lakes and Reservoirs. ISBN 0-7484-0772-3. Taylor & Francis Group Publication.
12) **Giri et al. (2019): Handbook for Assessing and Managing Reservoir Sedimentation, Doc. No. CDSO_GUD_DS_04_v1.0. A handbook prepared under Dam Rehabilitation and Improvement Project in India – available online**.
13) Giri S. (2015): Reservoir Sedimentation and Desiltation: Sediment Management Plan for Selected Reservoirs. Mission Report. Engineering and Management Consultancy Services for Central Project Management Unit under Dam Rehabilitation and Improvement Project.
14) Halcrow Water (2001): Sedimentation in Storage Reservoirs. Final Report. Department of the Environment, Transport and the Regions.
15) Hydrology Project (2003): Sediment Transport Measurement – Design Manual. Volume 5.
16) http://nhp.mowr.gov.in/docs/HP1/MANUALS/Surface%20Water/5014/SW%20Design%20Manual%20Volume%205%20Sediment.pdf).
17) IAEA (2005). Fluvial sediment transport: Analytical techniques for measuring sediment load. IAEA-TECDOC-1461. International Atomic Energy Agency (IAEA).
18) ICOLD (2011): Reservoir and Seismicity. Bulletin 137.
19) ICOLD (2010): Icold Bulletin on Environmental Hydraulics. The Interaction of Hydraulic Processes and Reservoirs Management of the Impacts Through Construction and Operation. Downstream Impacts of Large Dams. Bulletin 162.
20) ICOLD (2009): Sedimentation and Sustainable Use of Reservoirs and River Systems. Draft Bulletin 147.
21) ICOLD (2007): Mathematical Modelling of Sediment Transport and Deposition in Reservoirs. Guidelines and case studies. Bulletin 140.

22) ICOLD (2000): Reservoir Landslides: Investigation and Management. Guidelines and case studies. Bulletin 124.
23) ICOLD (1996): Dealing with Reservoir Sedimentation. Guidelines and case studies. Bulletin 115.
24) ICOLD (1989): Sedimentation Control of Reservoirs. Guidelines. Bulletin 67.
25) ISI (2011): Sediment Issues & Sediment Management in Large River Basins. Interim Case Study Synthesis Report. International Sediment Initiative Technical Documents in Hydrology. CN/2011/SC/IHP/PI/2
26) Julien P. Y. (2010) : Erosion and Sedimentation. 2nd Edition. ISBN-13 978-0-511-71294-4, Cambridge University Press. The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK.
27) K-State Research and Extension publication (2008): Sedimentation in Our Reservoirs: Causes and Solutions. Edited and designed by the Department of Communications at Kansas State University.
28) Kawashima et al. (2003): Reservoir Conservation, Volume 2. RESCON Model and User Manual. Economic and engineering evaluationof alternative strategies for managing sedimentation in storage reservoirs. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK.
29) Kimbrel et al. (2015): Formulating Guidelines for Reservoir Sustainability Plans. U.S. Department of Agriculture, Bureau of Reclamation (internet source).
30) Klik et al. (2010). Soil erosion and sediment transport measurement and assessment. Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering Faculty of Civil Engineering, CTU Prague.
31) Levec and Skinner (2004): Manual Instructions: Bathymetric Surveys. Ministry of Natural Resources, Ontario.
32) Lysne et al. (2003): Hydraulic Design. Hydropower Development, Volume 8, Department of Hydraulic and Environmental Engineering Norwegian University of Science and Technology N 7491 Trondheim, Norway.
33) Ministry of Environment, Forest and Climate Change (2016): Sustainable Sand Mining Guidelines. www.moef.in
34) Ministry of Mines (2018): Sand Mining Recommendations. A draft report: https://mines.gov.in/writereaddata/UploadFile/sandmining16022018.pdf
35) Morris and Fan (2010): Design and Management of Dams, Reservoirs and Watersheds for Sustainable Use. Reservoir Sedimentation Handbook. McGraw-Hill.
36) Mekong River Commission (MRC) (2017): Guidelines for hydropower environmental impact mitigation and risk management in the Lower Mekong mainstream and tributaries (ISH0306). Volume 1 to 4. 2017. Info: www.mrcmekong.org/assets/Publications/leaflet/ISH-0306-brochur-update-2016.pdf
37) Palmieri et al. (2003) : Reservoir Conservation, Volume 1. The RESCON Approach. Economic and engineering evaluationof alternative strategies for managing sedimentation in storage reservoirs. The International Bank for Reconstruction and Development / THE WORLD BANK.
38) Randle et al. (2013): Dam Removal Analysis Guidelines for Sediment Draft Report, September 10, 2013. Prepared for Subcommittee on Sedimentation, U.S. Department of Agriculture, Bureau of Reclamation.
39) Rasmussen et al. (2011). Guidelines and Procedures for Computing Time-Series Suspended-Sediment Concentrations and Loads from In-Stream Turbidity-Sensor and Streamflow Data. Techniques and Methods 3–C4. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.
40) USBR (2006): Erosion and Sedimentation Manual, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Technical Service Center Sedimentation and River Hydraulics Group, Denver, Colorado, USA.
41) UNEP/MAP Athens (2006): Methods for Sediment Sampling and Analysis. UNEP (DEC)/MED WG.282/Inf.5/Rev.1.

42) USACE (1989): Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoirs. EM 1110-2-4000. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000.
43) Utah State Water Plan (2010): Managing Sediment in Utah's Reservoirs. A report by Utah Division of Water Resources of USWP.
44) Wischmeier, W.H. and Smith D.D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp.
45) WMO (2009): Guide to Hydrological Practices. Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information WMO-No. 168.
46) WMO (2008): Guide to Hydrological Practices. Volume II: Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices WMO-No. 168.
47) WMO (2003): Manual on Sediment Management and Measurement. World Meteorological Organization. Operational Hydrology Report No. 47. WMO-No. 948.

Публикации по примерам решения проблем заиления водохранилищ

1) Aras T. (2009): Cost Production of Sediment Removal from Reservoir. Master's Thesis, Middle East Technical University
2) Arbat-Bofill et al. (2014): Suspended sediment dynamics of Ribarroja Reservoir (Ebro River, Spain). Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
3) Bel et al. (2014): Debris flow monitoring in the French Alps. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
4) Bollaert et al. (2014): Sequential flushing of Verbois and Chancy-Pougny reservoirs (Geneva, Switzerland). Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
5) Bonviller et al. (2017): Sedimentation in the Ruzizi 1 and 2 reservoirs: Means of response and forecasting. Proceedings of International Conference Hydro-2017, Morocco.
6) Boroujeni H. S.: Sediment Management in Hydropower Dam (Case Study – Dez Dam Project). Shahrekord University, Iran. Internet Source.
7) Brandt S. A. (1999): Reservoir Desiltation by Means of Hydraulic Flushing: Sedimentological and Geomorphological Effects in Reservoirs and Downstream Reaches as Illustrated by the Cachi Reservoir and the Reventazon River, Costa Rica. PhD Thesis. University of Copenhagen, ISSN 0908-6625.
8) Dysarz et al. (2014): Two approaches to forecasting of sedimentation in the Stare Miasto reservoir, Poland. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
9) Harb G.: Sediment management and reservoir flushing in Austria. Graz University of Technology. Internet Source.
10) Emamgholizadeh and Samadi (2008): Desilting of Deposited Sediment at the Upstream of the Dez Reservoir in Iran. Journal of Applied Science and Environmental Sanitation, Volume 3, Number 1: 25-35.
11) Fruchart and Camenen (2012): Reservoir Sedimentation Different Type of Flushing - Friendly Flushing Example of Genissiat Dam Flushing. International Symposium on Dam for a Changing World, Kyoto, Japan.
12) Ghomari and Khalid (2017): Mitigation of reservoir sedimentation: A new life for the Timi N'Outine dam. Proceedings of International Conference Hydro-2017, Morocco.
13) Hasnaoui M. D. (2017): Impact of siltation on the use of surface water resources in the Moulouya watershed and upstream storage method as a countermeasure: The Case of Mohamed V dam. Proceedings of International Conference Hydro-2017, Morocco.
14) Hasnaoui et al. (2017): Upstream storage method and RUSLE model to assess and rationalize erosion and siltation for efficient watershed planning and management. Proceedings of International Conference Hydro-2017, Morocco.
15) Lai and Wu (2018): A numerical modeling study of sediment bypass tunnels at shihmen reservoir, Taiwan. International Journal of Hydrology, Volume 2, Issue I.

16) Lai C. H. (2017): Hydraulic desilting of reservoir in Taiwan. 2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels. Kyoto, Japan.
17) Lee et al. (2016): Downstream Impact Investigation of Released Sediment from Reservoir Desilting Operation. 12th International Conference on Hydroscience & Engineering Hydro-Science & Engineering for Environmental Resilience November 6-10, Tainan, Taiwan.
18) Lewis et al. (2013): Calculating sediment trapping efficiencies for reservoirs in tropical settings: A case study from the Burdekin Falls Dam, NE Australia. Water Resources Research, Vol.49,1017–1029,doi:10.1002/wrcr.20117
19) Maricar and Hashimoto (2014). A comparison of wood-sediment-water mixture flows at a closed type and an open type of check dams in mountain rivers. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
20) Mathieu et al. (2014): Storage Capacity of the Fena Valley Reservoir, Guam, Mariana Islands, 2014, Scientific Investigations Report 2015–5128, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
21) Meile et al. (2014): Reservoir sedimentation management at Gebidem Dam (Switzerland). Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
22) Morris G. L. (2011): Preliminary Sediment Management Recommendations Aimores Reservoir, Rio Doce, Brazil. Report, Gregory L Morris Engineering, and CEMIG.
23) Peteuil et al. (2013): Sustainable management of sediment fluxes in reservoir by environmentally friendly flushing: the case study of the Genissiat dam on the upper Rhone River (France). www.researchgate.net/publication/259272333
24) Sabir et al. (2013): The Impact of Suspended Sediment Load on Reservoir Siltation and Energy Production: A Case Study of Indus River and Its Tributaries. Pol. J. Environ. Stud., Vol. 12, No. 1.
25) Sawagashira et al. (2017): Sedimentation control effect and environmental impact of sediment bypass in Miwa Dam Redevelopment Project. 2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Kyoto, Japan.
26) Shreshtha H. (2012): Sedimentation and Sediment Handling In Himalayan Reservoirs. PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology.
27) Sloff et al. (2018): Applying New Guidelines for Sediment Mitigation in Hydropower Projects In The Mekong Basin. Submitted to ICOLD-2018, Vienna, Austria.
28) Sloff et al. (2015): Design and modelling of reservoir operation strategies for sediment management, RCEM2015 - River and Coastal and Estuarine Morphodynamics, Peru, August.
29) Sumi T.: Evaluation of Efficiency of Reservoir Sediment Flushing in Kurobe River. Internet Source.
30) Taveira-Pinto et al. (2014): Global analysis of the sedimentation volume on Portuguese reservoirs. . Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
31) Tsai et al. (2012): Modeling the sediment yield from landslides in the Shihmen Reservoir watershed, Taiwan. Earth Surf. Process. Landforms. DOI:10.1002/esp.3309.
32) Van der Vat, M. (2015): Optimizing reservoir operation for flood storage, hydropower and irrigation using a hydro-economic model for the Citarum River, West-Java, Indonesia. Dissertation for fulfilment of degree of Msc. International Program at University of London.
33) Weirich F. (2014): The impact of flow transformations and reservoir floor topography on reservoir deposition patterns in high energy environments. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
34) Wu B. (2007): Reservoir Sedimentation – with the Sanmenxia Reservoir as a Case Study. Tsinghua University, Incheon, South Korea. Internet Source.
35) Zamora and Jacobsen (2018): Sediment handling at the Indrawati III intake, Nepal. Seventh International Conference and Exhibition on Water Resource and Renewable Energy Development in Asia" organized by The international journal on Hydropower and dams, 13-15 March in Vietnam.

Note: Most guidelines (mentioned in the reference list above) also include a number of case studies.

Публикации по исследованиям с моделированием (примеры и исследования)

1) Ahn J. (2011): Numerical Modeling of Reservoir Sedimentation and Flushing Processes. In partial fulfilment of the requirements For the Degree of Doctor of Philosophy Colorado State University Fort Collins, Colorado.
2) Amini et al. (2014): Comprehensive Numerical Simulations of Sediment Transport and Flushing of a Peruvian Reservoir. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
3) Antoine et al. (2014): Numerical modeling of suspended sediment transport during dam flushing: From reservoir dynamic to downstream propagation. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
4) Cajot et al. (2012): Reservoir Sediment Management Using Replenishment: A Numerical Study of Nunome Dam. International Symposium on Dams for a Changing World. Kyoto, Japan.
5) Castillo et al. (2015): Complementary Methods for Determining the Sedimentation and Flushing in a Reservoir. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, ISSN0733-9429/05015004 (10).
6) Commandeur A. S. (2015): Turbidity Currents in Reservoirs. Master's Thesis. Delft University of Technology. The Netherlands.
7) Esmaeili et al. (2017): Three-Dimensional Numerical Study of Free-Flow Sediment Flushing to Increase the Flushing Efficiency: A Case-Study Reservoir in Japan. Water, 9, 900, doi:10.3390/w9110900.
8) Esmaeili et al. (2014): Three-dimensional numerical modeling of flow field in rectangular shallow reservoirs. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
9) Fukuda et al. (2012): Study on Flushing Mechanism of Dam Reservoir Sedimentation and Recovery of Riffle-Pool in Downstream Reach by a Flushing Bypass Tunnel. International Symposium on Dams for A Changing World. Kyoto, Japan.
10) Gibson and Boyd (2014) : Modeling long term alternatives for sustainable sediment management using operational sediment transport rules. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
11) Giri et al. (2016): Reservoir sedimentation issues in India as a part of Dam Rehabilitation and Improvement Project (DRIP): Field reconnaissance and modelling. Accepted paper for International Symposium on River Sedimentation, Stuttgart, Germany.
12) Giri et al. (2016): Reservoir sedimentation issue in Pillur reservoir in Nilgiris basin (India): Field reconnaissance and numerical modelling using Delft3D. Accepted paper for River Flow 2016, St. Louis, USA.
13) Harb et al. (2014): Numerical analysis of sediment transport processes during a flushing event of an Alpine reservoir. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
14) Hosseinzadeh et al. (2014): The numerical investigation of the effect of subsequent check dams on flood peaks and the time of concentration using the MIKE 11 modeling system (Case study: Golabdareh catchment, Iran). Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
15) Huffaker et al. (2010): Stability and Bifurcation Analysis of Reservoir Sedimentation Management. The Open Hydrology Journal, 2010, 4, 102-112.
16) Jodeau et al. (2014): Innovative in-situ measurements, analysis and modeling of sediment dynamics in Chambon reservoir, France. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
17) Kostic S. (2014): Advances in numerical modeling of reservoir sedimentation. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.

18) Lai et al. (2015): Reservoir Turbidity Current Modelling with a Two-Dimensional Layer-Averaged Model. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, ISSN0733-9429/04015029 (15)
19) Luis et al. (2014): Simulation of the flushing into the dam-reservoir Paute-Cardenillo.
20) Maskey S. L. (2016): Sediment yield of the upper Koshi River basin: scenarios with and without reservoirs. Master Thesis. UNESCO-Institute of Hydraulic Engineering, The Netherlands.
21) Me et al. (2015): Effects of hydrologic conditions on SWAT model performance and parameter sensitivity for a small, mixed land use catchment in New Zealand. Hydrology and Earth System Sciences. 19: 4127-4147. Doi: 10.5194/hess-19-4127.
22) Mehshakti et al. (2012): Experimental Investigation of Pressure Flushing Technique in Reservoir Storages. Water and Geoscience. ISBN: 978-960-474-160-1. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
23) Memarian et al. (2013): Application of SWAT for impact assessment of land use/cover change and best management practices: A review. International Journal of Advancement in Earth and Environmental Sciences. 1(1): 35-40.
24) Mool et al. (2017): Delft3D morphological modeling of sediment management in daily peaking run-of-the-river hydropower (PROR) reservoirs in Nepal. 85th Annual Meeting of ICOLD, July 3-7, Prague.
25) Omer et al. (2017): The effect of different gate opening patterns on reservoir flushing and morphological changes downstream a dam. Proceedings of International Conference Hydro-2017, Morocco.
26) Pandra et al. (2018): 3D flow simulation study for flushing at the intake of the Masang hydro plant, Indonesia. Seventh International Conference and Exhibition on Water Resource and Renewable Energy Development in Asia" organized by The international journal on Hydropower and dams, 13-15 March in Vietnam.
27) Shen et al. (2009): A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area. Agricultural Water ManagementVolume 96, Issue 10.
28) Shrestha, N.K., P.C. Shakti and P. Gurung (2010): Calibration and validation of SWAT model for low lying watersheds: A case study on the Kliene Nete Watershed, Belgium. Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment. 6: 47-51. Doi: 10.3126/hn.v6i0.4194.
29) Sloff et al. (2016): New modelling approach for impact assessment of hydropower development and reservoir sediment management in the Mekong. Proc. ASIA 2016 conference (Hydropower and Dams), Vientiane, Laos, March 2016.
30) Sloff, C.J. (1994): Modelling turbidity currents in reservoirs. Comm. on hydr. and geotechn. engrg., Report No. 94-5, Delft Univ. of Technology, The Netherlands, 142 pp.
31) Tarekegn et al. (2014): Modelling suspended sediment wave dynamics of reservoir flushing. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
32) Pringle et al. (2014): Numerical study of flushing half-cone formation due to pressurized sediment flushing. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
33) Rai N. N. (2016): Optimization and Simulation of Reservoir Operation for Sediment Control. Second National Dam Safety Conference 12-13 January 2016, Bengaluru.
34) Rehman et al. (2015): Application of a 1d Numerical Model For Sediment Management in Dasu Hydropower Project. Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 3-5 September 2015.
35) Singh A. (2009): Characterizing runoff generation mechanism for modelling runoff and soil erosion, in small watershed of Himalayan region. Master thesis submitted to the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.

36) Toniolo and Parker (2003). 1D numerical modelling of reservoir sedimentation. Proceedings, IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Barcelona, Spain.
37) Valette et al. (2014): St-Egrève reservoir—modelling of flushing and evolution of the channel bed. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.
38) Wei et al. (2014): Combination of 2D shallow water and full 3D numerical modeling for sediment transport in reservoirs and basins. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9.

Note: Most guidelines (mentioned in the reference list above) also include descriptions and details about numerical modelling.

Публикации по дноуглублению и утилизации наносов

1) Dukhovniy et al. (2018): Future use of the Amu Darya in the face of climate change. USAID report. Scientific Information Center of the Interstate Water Coordinating Commission of Central Asia
2) Agricultural Reuse of Polluted Dredged Sediments. Published on Eco-Innovation (https://ec.europa.eu/environment/eco-innovation/projects)
3) CIT (2013): Guidance on the Beneficial Use of Dredge Material in Ireland. Dr. Joseph Harrington & Gary Smith School of Building & Civil Engineering Cork Institute of Technology.
4) Dutch-German Exchange on Dredged Material (DGEDM) (2002): Treatment and Confined Disposal of Dredged Material (Part 2).
5) Dutch-German Exchange on Dredged Material (DGEDM) (2003): Dredged Material and Legislation (Part 1).
6) Englis and Hunter: A Description of Sediment Dewatering Methods. Internet source
7) Great Lakes Commission (2013): Beneficial Use of Dredged Material in the Great Lakes. www.seagrant.wisc.edu/home/Portals/0/BeneficialUse_online_FINAL.pdf
8) Honders et al.: Sediment Reuse, Treatment and Disposal in Netherlands: An Overview of Options.
9) https://rwsenvironment.eu/publish/pages/126603/sediment_treatment_24_310101.pdf
10) Hull, J. H. (2016): Reuse of Dredged Sediments. Lake Erie Waterkeeper Conference, W.W. Knight Nature Preserve, Perrysburg, Ohio.
11) Laboyrie, H. P.: Handling of Dredged Material in The Netherlands.
12) www.htg- baggergut.de/Downloads/Sprechtag03Laboyrie.pdf
13) Marcus O.P. (2018): Multifunctional small dredging solution for the maintenance of deep irrigation reservoirs and hydropower dams. Seventh International Conference and Exhibition on Water Resource and Renewable Energy Development in Asia" organized by The international journal on Hydropower and dams, 13-15 March in Vietnam.
14) OSPAR Commission: Revised OSPAR Guidelines for the Management of Dredged Material. Reference number: 2004-08.
15) Plummer et al. (2005): Dredging vs. New Reservoirs. Report, Texas Water Development Board (TWDB Contract #2004-483-534)
16) Sheehan, C. (2012): An analysis of dredge material reuse techniques for Ireland, PhD Dissertation, Cork Institute of Technology.
17) Sheehan et al. (2009): An Overview of Dredging and Dredge Material Beneficial Use in Ireland." Terra et Aqua, June Issue 2009, No. 115, pp. 3-14, The Hague, Netherlands.
18) Studds and Millar (2010): Sustainable material reuse solutions for dredged sediments. International Journal of Sustainable Engineering, Volume 3 - Issue 1: Materials and Sustainable Engineering
19) Sumi et al. (2017): Experimental study on the siphon dredging system at the Wonogiri multipurpose dam. Proceedings of International Conference Hydro-2017, Morocco.

Различные публикации

1) Lee, F.-Z.; Lai, J.-S.; Sumi, T. (2022): Reservoir Sediment Management and Downstream River Impacts for Sustainable Water Resources—Case Study of Shihmen Reservoir. Water, 14, 479. https://doi.org/10.3390/w14030479.
2) **Shirokova Y. I. (2022): ОТЧЕТ по** проекту **«Проведение комплексного биохимического анализа состава ила руслового водохранилища Туямуюнского гидроузла» Контракт № EMP-2022-C-026. Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан (МВХ РУз). Научно-исследовательский институт Ирригации и водных проблем (НИИИВП)**
3) **Ikramova M. (2021): Technical recommendations: Ruslovoye reservoir sedimentation management at the Tuyamuyun hydrocomplex on the amu river and sediment control. Central Asia Nexus Dialogue Project: Fostering Water, Energy and Food Security Nexus and Multi-Sector Investment (Phase II). Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan Research Institute of Irrigation and Water Problems.**
4) Allen and Dunbar (2005): Dredging vs. New Reservoirs. Texas Water Development Board. Austin, Texas.
5) American Society of Civil Engineers, ed. (1995): Guidelines for Design of Intakes for Hydroelectric Plants. American Society of Civil Engineers: New York.
6) Annandale et al. (2016): RESCON 2: Rapid identification of optimal strategies to mitigate reservoir sedimentation and climate change impacts on water supply reliability. Proceedings of International Conference Hydro-2017, Morocco.
7) Annandale, G.W. (1987): Reservoir Sedimentation. Elsevier Science Publishers, New York.
8) Annandale, G.W. (2008): Engineering and Hydrosystems Report: Tarbela Dam Fifth Periodic Inspection: Reservoir Sedimentation Management, Submitted to WAPDA, Islamabad, Pakistan.
9) Annandale, G.W. (2015): Policy Considerations for Sustainable Hydropower – Reliability, Climate Change and Sedimentation, HYDRO 2105, Bordeaux, France.
10) Ansari and Athar (2012): Design parameters of vortex settling basin. Water Management 166:262-271. Issue WM5.
11) Anselmetti et al. (2007): Effects of Alpine hydropower dams on particle transport and lacustrine sedimentation. Aquatic Sciences 69(2), DOI: 10.1007/s00027-007-0875-4
12) Arrow et al. (2013): Determining Benefits and Costs for Future Generations. Science 341.
13) Asselman, N.E.M. (2000): Fitting and interpretation of sediment rating curves. Jour. of Hydrology 234(2000):224-248.
14) Asselman et al. (2003): The impact of changes in climate and land use on soil erosion, transport and deposition on suspended sediment in the River Rhine. Hydrological Processes 17(6):3225-3244.
15) Athar et al. (2002): Sediment Removal Efficiency of Vortex Chamber Type Sediment Extractor. J. Hyd Eng 128(12):1051-1059.
16) Atkinson, E. (1996) The Feasibility of Flushing Sediment from Reservoirs. Report OD-137. HR Wallingford, Wallingford.
17) Auel et al. (2010): Sediment management in the Solis Reservoir using a bypass tunnel. Proc. of the 8th ICOLD European Club Symposium, 22-23 Sept. Innsbruck.
18) Auel et al. (2011): Design and Construction of the Sediment Bypass Tunnel at Solis. Hydropower and Dams 3: 62–66.
19) Auel and Boes (2011): Sediment bypass tunnel design – hydraulic model tests. Downloaded from ResearchGate: www.researchgate.net/publication/266420740.
20) Basson and Rooseboom (1997): Dealing with Reservoir Sedimentation. South African Water Research Commission Publication No. TT91/97, ISBN 1 8684G 2557.
21) Basson and Rooseboom (1999): Dealing with Reservoir Sedimentation: Guidelines and Case Studies. ICOLD Bulletin 115. Paris.
22) Bhatia et al. (2008): Indirect Economic Impacts of Dams: Case Studies from India, Egypt and Brazil. The World Bank: Washington D.C.

23) Bouvard, M. (1992): Mobile Barrages and Intakes on Sediment Transporting Rivers. Rotterdam; Brookfield: A.A. Balkema.
24) Boes, R.W. (2015): Proc. First Intl. Workshop on Sediment Bypass Tunnels. Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, ETH, Zurich, Switzerland. ISSN 0574-0056.
25) Boyce, R. C. (1975): Sediment Routing with Sediment-Delivery Ratios. In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. ARS-S-40. USDA Sedimentation Lab., Oxford. Miss.
26) Brune, G.M. (1953): Trap Efficiency of Reservoirs. Transactions of the American Geophysical Union 34(3): 407-418.
27) Bagnold, R.A. (1956): The Flow of Cohesionless Grains in Fluids. Proc. Royal Soc. Philos.Trans., London, Vol. 249.
28) Bagnold, R.A. (1966): An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics. Geological Survey Prof. Paper 422-I, Washington.
29) Borland, W.M. and Miller, C.R. (1960): Distribution of sediment in large reservoirs. Paper No. 3019, ASCE, Transactions, Vol. 125, p. 166-180
30) Bronsvoort K. (2013): Sedimentation in Reservoirs. Investigating Reservoir Preservation Options and the possibility of Implementing Water Injection Dredging in Reservoirs. MSc Thesis, TU Delft.
31) Cost and Williams (1984): Debris-flow Dynamics. USGS Open-file Report 84/606.
32) Crosato, A. (2015), Morphological Response at the Reach Scale. River Morphodynamics Lecture Notes LN0381, UNESCO-Institute of Hydraulic Engineering.
33) Chaudhry and Rehman (2012): Worldwide Experience of Sediment Flushing Through Reservoirs. Mehran University Research Journal of Engineering & Technology, Volume 31, No. 3.
34) David et al.: Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands: A Review of RUSLE Factors and U.S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Data Gaps. Center for Ecological Management of Military Lands Department of Forest Science, Colorado State University Fort Collins, CO 80523 (internet source)
35) Dehgani et al. (internet). Evolution of Developing Flushing Cone during the Pressurized Flushing in Reservoir Storage.
36) De Vries, M. (1975): A morphological time scale for rivers. In Proc. 16th Congr. IAHR, São Paulo, Vol. 2, Paper B3, pp. 17-23.
37) Desta and Adugna (2012): A Field Guide on Gully Prevention and Control. Nile Basin Initiative.
http://www.bebuffered.com/downloads/ManualonGullyTreatment_TOTFinal_ENTRO_TBIWRDP.pdf
38) Doyle et al. (2003): Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin. Water Resources Research, Vol.39, No.1, 1011, doi:10.1029/2002WR001714.
39) Efthymiou et al. (2017): Rapid Assessment Tool for Sustainable Sediment Management, RESCON 2 User Manual, the World Bank, Washington DC.
40) Efthimiou et al. (2017): Comparative analysis of sediment yield estimations using different empirical soil erosion models. Hydrological Sciences Journal, DOI: 10.1080/02626667.2017.1404068
41) Einstein, H.A., 1950. The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flow. Technical Bulletin No. 1026, U.S. Dep. of Agriculture, Washington, D.C.
42) Engelund, F. & Hansen, E. (1967): A monograph on sediment transport in alluvial streams. Copenhagen, Danish Technical Press.
43) Engelund, F. and Hansen, E., 1967. A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark.
44) Espa et al. (2014): Downstream ecological impacts of controlled sediment flushing in an alpine valley river: a case study. River Research and Applications.
45) Ferrari, R.L. (2006) : Reconnaissance technique for reservoir surveys. U.S. Bureau of Reclamation: Denver.

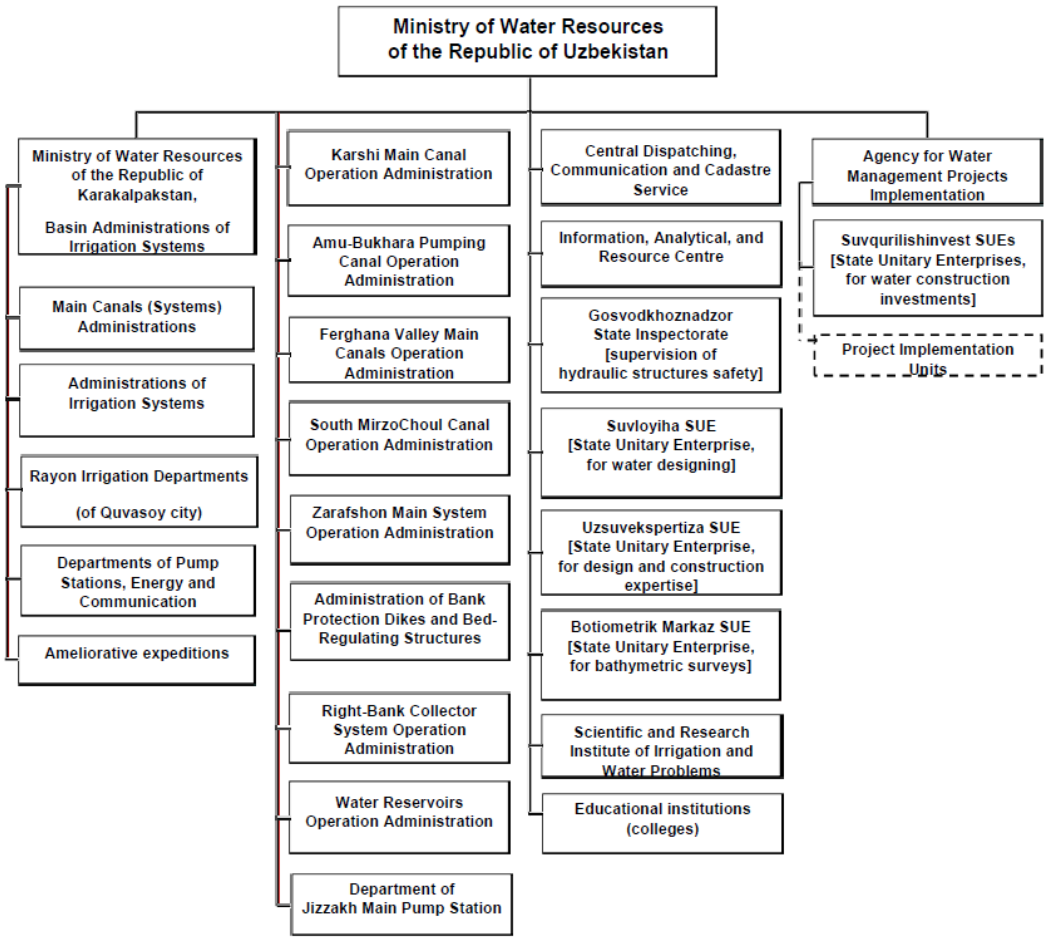
46) Ffolliott, Peter F., Kenneth N. Brooks, Daniel G. Neary, Roberto Pizarro Tapia, and Pablo Garcia Chevesich. 2013. Soil Erosion and Sediment Production on Watershed Landscapes: Processes, Prevention , and Control. UNESCO.
47) Florsheim et al. (2011): From Deposition to Erosion: Spatial and Temporal Variability of Sediment Sources, Storage, and Transport in a Small Agricultural Watershed. Geomorphology 132 (3-4): 272–86.
48) Freeman et al. (2013): Declining discount rates and the Fisher effect: Inflated past, discounted future. Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 129, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, Working paper No. 109, London School of Economics, London.
49) Gao, B.C. (1996): NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, Vol. 58: 257-266.
50) Gellis et al. (1995): Assessment of Gully-Control Structures in the Rio Nutria Watershed, Zuni Reservation, New Mexico. AWRA Water Resources Bull. 31(4): 633-46.
51) Geyik, M.P. (1986): FAO Watershed Management Field Manual: Gully Control. Rome:FAO. http://www.fao.org/docrep/006/AD082E/AD082e00.htm.
52) Giovanni et al. (2001): Impact of Turbidity Currents on Reservoir Sedimentation. ASCE J. Hyd. Engineeri.ng 127(1): 6-16.
53) Głowacka et al. (2018): Photo system II Subunit S overexpression increases the fficiency of water use in a field-grown crop. Nature communications. DOI: 10.1038/s41467-018-03231-x
54) Glysson, G.D. (1987): Sediment Transport Curves. USGS Open-file Report 87-218, Reston.
55) Hotchkiss R. H. (2018): Financing reservoir sediment management for sustainability. Seventh International Conference and Exhibition on Water Resource and Renewable Energy Development in Asia" organized by The international journal on Hydropower and dams, 13-15 March in Vietnam.
56) Jansen et al. (1979): Principles of River Engineering; The non-tidal alluvial river. Pitman, London, Heruitgave Delftse Uitgevers Maatschappij, 1994, ISBN 90 6562 146 6.
57) Jacobsen and Gupta (2016): Sedicon Sluicers as Effective Method of Sediment Removal from Desilting Tanks and Chambers. Compendium of Second Dam Safety Conference, Bengaluru, India.
58) Kantoush and Schleiss (2014): Influence of geometry shape factor on trapping and flushing efficiencies. Reservoir Sedimentation – Schleiss et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02675-9
59) Kantoush et al. (2011): Lighten the load. International Water Power & Dam Construction.
60) Kantoush and Sumi (2010): River Morphology and Sediment Management Strategies for Sustainable Reservoir in Japan and European Alps. Anuuals of DPRI Kyoto University, No. 53.
61) Kondwani et al. (2011): Reservoir Sedimentation and Flood Control: Using a Geographical Information System to Estimate Sediment Yield of the Songwe River Watershed in Malawi. Sustainability 2011, 3, 254-269; doi:10.3390/su3010254 .
62) Kovacs, A. and Parker, G. (1994): A new vectorial bedloadformulation and its application to the time evolution ofstraight river channels, J. Fluid Mech., 267, 153–183.
63) McFeeters S. K. (1996): The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing Volume 17, Issue 7.
64) Meshkati et al. (2009): Evolution of Developing Flushing Cone during the Pressurized Flushing in Reservoir Storage. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering Vol 3, No. 10.
65) Meyer-Peter, E. and Mueller, R., 1948. Formulas for Bed-Load Transport. Sec. Int. IAHR congress, Stockholm, Sweden.
66) Munk, W.H. and Anderson, E.R., 1948. Notes on the theory of the thermocline. Journal of Marine Research, Vol. 3, p 276-295.

67) Morris, G.L. (2015a): Collection and Interpretation of Reservoir Data to Support Sustainable Use. SEDHYD 2015, 10th Federal Interagency Sedimentation Conference, Reno.
68) Morris, G.L. (2015b): Management Alternatives to Combat Reservoir Sedimentation. Proceedings of International Workshop on Sediment Bypass Tunnels. Zurich.
69) Morris, G.L. (2010): Offstream reservoirs for sustainable water supply in Puerto Rico. Am. Water Resource Assn., Summer Specialty Conf. Aug 30 – Sept 1, San Juan.
70) Moun et al. (2013): Assessment of potential suspended sediment yield in Japan in the 21st century with reference to the general circulation model climate change scenarios, Global and Planetary Change, Vol. 102, pp. 1-9.
71) Okumura and Sumi (2012): Reservoir Sedimentation Management in Hydropower Plant Regarding Flood Risk and Loss of Power Generation, Proc. Of the International Symposium on Dams for a Changing World, 80th Annual Meeting of ICOLD.
72) Okumura and Sumi (2013): Influence of Reservoir Sedimentation on Power Generation, Proc. Of the12th International Symposium on River Sedimentation. Advances in River Sediment Research, pp. 1157-1163.
73) Parker, G. (1990): Surface-based bedload transport relation for gravel rivers, Journal of Hydraulic Research, 28(4): 417-436.
74) Pilton and Recking (2015a): Design of Sediment Traps with Open Check Dams. I: Hydraulic and Deposition Processes. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, ISSN0733-9429/04015045 (16).
75) Pilton and Recking (2015b): Design of Sediment Traps with Open Check Dams. II: Woody Debris. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, ISSN0733-9429/04015046 (13).
76) Randle and Bountry (2015). How to deal with sediment in dam removal. Sedimentation and River Hydraulics Group, USBR.
77) Shen H. W. (1999): Flushing sediment through reservoirs. Journal Of Hydraulic Research. Vol. 37, 1999. No. 6.
78) Shrestha et al. (2013): Impact of climate change on sediment yield in the Mekong River basin: A case study of the Nam Ou basin, Lao PDR. Hydrology and Earth System Sciences. 01/2013; 17(1):1-20. DOI: 10.5194/hess-17-1-2013.
79) Shrestha, H.S. (2012): Sedimentation and Sediment Handling in Himalayan Reservoirs. PhD Thesis. Trondheim, Norway: Norwegian Univ. of Science & Technology.
80) Simons et al. (1965): Bedload equation for ripples and dunes. U.S. Geological Survey Professional Paper 462-H, 9 p.
81) Sloff, C. J. (1997) Sedimentation in Reservoirs. Doctoral Thesis, Delft University of Technology, 270 pp.
82) Sumi, T. (2003): Approaches to Reservoir Sedimentation Management in Japan, Reservoir Sedimentation Management Symposium, Third World Water Forum, Kyoto, Japan.
83) Sumi et al. (2004): Reservoir sedimentation management with bypass tunnels in Japan. Proc. 9th Intl. Symp. on River Sedimentation, Oct 18-21, Yichang, China.
84) Sumi et al. (2010): Integrated management of reservoir sediment routing by flushing, replenishing, and bypassing sediments in Japanese river basins. Intl. Syp on Ecohydrology, Kyoto. pp.831-838
85) Syvitski, J.P.M. and Milliman, J.D (2007): Geology, Geography, and Human Battle for Dominance over the Delivery of Fluvial Sediment to the Coastal Ocean, The Journal of Geology, Vol. 115, pp. 1-19.
86) Swart R. (2015): Autonomous dredging of mud. Master thesis, Delft University of Technology.
87) Temmuyu et al. (2013): Sediment relocation trial by Ejector Pump Dredger System (EPDS) in a dam reservoir. Advances in River Sediment Research – Fukuoka et al. (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00062-9.
88) Van den Berg, J.H. (1987): Bedform migration and bed-load transport in some rivers and tidal environments. Sedimentology, Vol. 34, pp. 681-698.

89) Van Rhee (2003): The Breaching Process, Lecture notes Dredging Processes. Delft: Delft University of Technology.
90) Van Rijn L. (2013): Sedimentation of Sand and Mud in in Reservoirs in Rivers. Internet Source: www.leovanrijn-sediment.com
91) Van Rijn, L.C. (2012) : Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands (WWW.AQUAPUBLICATIONS.NL)
92) Van Rijn, L.C. (2007): Unified view of sediment transport by currents and waves, I: Initiation of motion, bed roughness, and bed-load transport. Journal of Hydraulic Engineering, 133(6), p 649-667.
93) Van Rijn, L.C. (2007): Unified view of sediment transport by currents and waves, II: Suspended transport. Journal of Hydraulic Engineering, 133(6), p 668-389.
94) Van Rijn, L.C. (1984a): Sediment Transport, Part I: Bedload Transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 10.
95) Van Rijn, L.C. (1984b): Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 11.
96) Van Rijn, L.C. (1984c): Sediment Transport, Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 12.
97) Walling, D.E. (2008): The Changing Sediment Load of the Mekong River, Ambio, Vol. 37, No. 3, pp. 150 – 157.
98) Wang Z. Y. and Wu B.: Management of impounded rivers (Internet source)
99) Wehrmann et al. (2006): Classification of dams in torrential watersheds. Proc. INTERPRAEVENT Conf., Universal Academy Press, Tokyo.
100) Wilcock & Crowe (2003): Surface-based Transport Model for Mixed-Size Sediment. J. Hydraul. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:2(120), 120-128.
101) World Bank (2013): Toward a Sustainable Energy Future for All: Directions for the World Bank Group's Energy Sector. Report No 79597. http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/SDN/energy-2013-0281-2.pdf
102) World Bank (2015): Climate & Disaster Risk Screening Tools. http://climatescreeningtools.worldbank.org.
103) Xie et al. (2013): Rapid Reservoir Storage-Based Benefit Calculations. Journal of Water Res Planning and Management 139(6): 712-722.
104) Xu H. (2006): Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing 27 (14).
105) Yang et al. (2003): Global potential soil erosion with reference to land use and climate change. Hydrological Processes 17: 2913-2928.

Приложение 1: Водные ресурсы и заиление водохранилищ в Узбекистане – некоторые факты и цифры

Институциональная структура управления водными ресурсами в Узбекистане



УзНКИД (2020)

Фактическое и прогнозируемое потребление воды, по отраслям, в Узбекистане (млн. м³/год)

Water consumers (by priority)	Total water requirement	including by source		
		Surface Water	Underground Water	Return Water
2018				
Domestic utilities	5320	2200	3120	0
Industry	1885	855	1030	0
Rural water supply	485	415	70	0
Fisheries	640	460	0	180
Energy	770	770	0	0
Irrigated Agriculture	55100	50000	1100	4000
Total	**64200**	**54700**	**5320**	**4180**
2030				
Domestic utilities	6200	2450	3750	0
Industry	3500	1580	1920	0
Rural water supply	950	810	140	0
Fisheries	640	460	0	180
Energy	780	780	0	0
Irrigated Agriculture	48000	46800	700	500
Total	**60070**	**52880**	**6510**	**680**

Динамика фактического забора воды из рек (млн. м³)

1960		1980		1990		2000		2010		2018	
Total	Irrigation	Total	Irrigation	Total	Irrigation	Total	Irrigation	Total	Irrigation	Total	Irrigation
30780	27900	64910	55510	56611	58156	53265	35687	56611	44718	54700	50000

Данные о заилении водохранилищ в Узбекистане (Батиметрический центр Министерства сельского хозяйства и водных ресурсов Узбекистана, 2013)

Reservoir	Initial Volume (Mm^3)	Silted volume (%)	Initial Volume (Mm^3)	Silted Volume (%)	Started to operate (Year)
	Total Volume Capacity		Dead Volume Capacity		
Tashkent	250	16.9	26	76.3	1962
Talimarjan	1525	3.9	125	2.23	1985
Janubiy Surkhandarya	800	37	100	78.7	1967
Kuyimazar	310	11.2	47	6.7	1958
Tudakul	1200	13.7	600	9.6	1983
Akhangaran	198	4.8	13	27.7	1969
Andijan	1900	13.4	150	39.2	1970
Jizzak	100	19.9	4	96.2	1966
Kattakurgan	900	22.5	24	87	1953
Tupalang	100	16.6	8.79	88.4	1992
Khissarak	170	13.2	8.4	100	1985
Chimkurgan	500	22.7	50	31.8	1963
Pachkamar	260	25.9	10	99.8	1967
Akdarya	112.5	17.2	2.5	41.6	1984
Ruslovoy	2340	44.9	270	86.5	1980
Kaparas	960	1.9	410	1.65	1983
Average		**17.8**		**54.6**	

Рахматуллаев и др. (2013): Водохранилища, ирригация и заиление в Центральной Азии: предварительная оценка по Узбекистану. Environmental Earth Sciences, Springer, 68 (4)

Приложение 2: Химический и агрохимический состав образцов наносов

Таблица 0-1 Химические свойства образцов наносов, взятых из Руслового водохранилища (Широкова, 2022)

Код проб	pH	ECe, dS/m	Плотный остаток, %	Содержание растворимых ионов												
				%							в милиграммэквивалентах, 100 грамм					
				$HCO_3^{'}$	$Cl^{'}$	$SO_4^{''}$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	Na'+K'	S ионов, %	$HCO_3^{''}$	$Cl^{'}$	$SO_4^{''}$	$Ca^{··}$	$Mg^{··}$	Na'+K'
1	8,9	0,60	0,068	0,026	0,005	0,024	0,008	0,002	0,011	0,063	0,420	0,148	0,499	0,400	0,197	0,471
2	8,8	1,08	0,112	0,018	0,011	0,048	0,012	0,002	0,018	0,100	0,300	0,296	0,998	0,600	0,197	0,800
3	8,9	0,68	0,074	0,026	0,007	0,026	0,008	0,002	0,013	0,069	0,420	0,197	0,541	0,400	0,197	0,562
4	8,9	0,64	0,072	0,027	0,007	0,024	0,008	0,002	0,012	0,067	0,440	0,197	0,499	0,400	0,197	0,541
5	8,7	1,04	0,106	0,028	0,007	0,045	0,012	0,005	0,014	0,097	0,460	0,197	0,936	0,600	0,395	0,601
6	8,6	1,04	0,108	0,034	0,011	0,039	0,013	0,004	0,017	0,100	0,560	0,296	0,811	0,650	0,296	0,724
7	8,7	1,76	0,168	0,033	0,014	0,060	0,014	0,002	0,030	0,137	0,540	0,395	1,248	0,700	0,197	1,289
8	8,7	1,08	0,110	0,020	0,014	0,045	0,01	0,004	0,020	0,102	0,320	0,395	0,936	0,500	0,296	0,857
9	8,7	1,12	0,112	0,021	0,011	0,048	0,012	0,004	0,017	0,102	0,340	0,296	0,998	0,600	0,296	0,741
10	8,8	0,72	0,078	0,028	0,007	0,028	0,008	0,004	0,013	0,073	0,460	0,197	0,582	0,400	0,296	0,545

11	8,9	0,64	0,076	0,027	0,009	0,024	0,008	0,002	0,014	0,070	0,440	0,247	0,499	0,400	0,197	0,590
12	8,7	1,96	0,184	0,035	0,011	0,092	0,02	0,007	0,028	0,175	0,580	0,296	1,914	1,000	0,592	1,202
13	8,5	1,32	0,132	0,033	0,007	0,060	0,016	0,005	0,018	0,123	0,540	0,197	1,248	0,800	0,395	0,794
14	8,5	1,84	0,174	0,027	0,018	0,076	0,018	0,004	0,030	0,159	0,440	0,494	1,581	0,900	0,296	1,323
15	8,6	6,96	0,502	0,035	0,179	0,088	0,024	0,012	0,121	0,441	0,580	5,034	1,830	1,200	0,986	5,264
16	8,9	0,92	0,094	0,024	0,011	0,036	0,01	0,002	0,017	0,088	0,400	0,296	0,749	0,500	0,197	0,750

Таблица 0-2 Агрохимические свойства образцов наносов, взятых из Руслового водохранилища (Широкова, 2022)

Код проб	**Место взятия проб**	**Гумус, %**	**Общая оценка**	**Гумус-карбон., (Cg, %)**	**Содержание больших форм**						**C/N**	**Насыщение азотом, C/N**
					Азот, %	Общая оценка	Фосфор, %	Общая оценка	Калий, %	Общая оценка		
1	PK-23 "Uz"	0.19	Очень низкое	0.11	0.021	Очень низкое	0.155	Среднее	0.20	Очень низкое	5.3	Высокое
2	TMGU Ave. coast of Uzb	0.51	Низкое	0.29	0.038	Очень низкое	0.195	Среднее	0.72	Очень низкое	7.7	Высокое
3	№130®515 m Ave. Bank Ruslovaya ST-1	0.30	Очень низкое	0.17	0.024	Очень низкое	0.200	Среднее	0.42	Очень низкое	7.1	Высокое
4	№130®515 m Ave. Bank Ruslovaya ST-1	0.34	Очень низкое	0.20	0.025	Очень низкое	0.180	Среднее	0.66	Очень низкое	7.9	Высокое
5	PK-25 "Uz"	0.74	Низкое	0.43	0.052	Низкое	0.160	Среднее	0.90	Очень низкое	8.3	Среднее
6	Military unit of TMGU Uzbek	0.68	Низкое	0.39	0.048	Низкое	0.150	Низкое	0.69	Очень низкое	8.2	Среднее

7	ST 22 Uzb	0.80	Низкое	0.47	0.061	Низкое	0.132	Низкое	0.72	Очень низкое	7.6	Высокое
8	TMGU Ave. beregTMGU	0.32	Очень низкое	0.18	0.024	Очень низкое	0.165	Среднее	0.49	Очень низкое	7.7	Высокое
9	Etc. Bank No. 130 Run-of-river dam	0.57	Низкое	0.33	0.042	Очень низкое	0.145	Низкое	0.60	Очень низкое	7.9	Высокое
10	Etc. Ruslovaya bank №130	0.53	Низкое	0.31	0.039	Очень низкое	0.132	Низкое	0.63	Очень низкое	7.9	Высокое
11	ST 2® 436m Pr Bank Ruslova	0.27	Очень низкое	0.16	0.024	Очень низкое	0.141	Низкое	0.37	Очень низкое	6.6	Высокое
12	Sulton Sanzhar Ave. Ruslovaya bank	0.78	Низкое	0.45	0.056	Низкое	0.112	Низкое	1.02	Низкое	8.1	Высокое
13	Military unit of TMGU Uzbek	0.84	Низкое	0.49	0.064	Низкое	0.136	Низкое	0.72	Очень низкое	7.7	Среднее
14	ST 2® 237m Pr Bank Ruslova	0.38	Очень низкое	0.22	0.027	Очень низкое	0.141	Низкое	0.40	Очень низкое	8.2	Высокое
15	Pr shore® 65 Run-of-river ST 5	0.95	Среднее	0.55	0.068	Низкое	0.108	Низкое	1.46	Низкое	8.1	Высокое
16	ST 2® 436m Pr Bank Ruslova	0.36	Очень низкое	0.21	0.025	Очень низкое	0.145	Низкое	0.54	Очень низкое	8.3	Высокое

Приложение 3: Краткий обзор национальных стратегий и практик управления удаленными наносами в некоторых странах

CIT (2013), Гири и др. (2019)

Страна	Стратегии и практики управления удаленными наносами
Нидерланды	Годовое производство наносов 25-30 млн. м^3 со среднегодовым бюджетом 130 млн. евро, большая часть которого используется для ремонтного дноуглубления в порту Роттердама. • Приоритетность мероприятий по дноуглублению с наибольшими выгодами и количественная оценка экономических и социальных доходов • Введение субсидий для дноуглубления в городах и финансовые стимулы для ремонтного дноуглубления • Адаптация законодательства в сфере дноуглубления, чтобы оно было более согласованным, простым и подходящим для достижения целей политики Пример из практики – Лимбург, Зеланд • Ремонтный проект по каналам с загрязненными илисто-песчаными наносами • Обработка и утилизация 50% удаленных наносов путем вызревания, отделения песка и иммобилизации
Германия	Годовое производство наносов около 46 млн. м^3, 76% которых поступает от ремонтного дноуглубления в прибрежных районах. • Образована Рабочая группа по прибрежному дноуглублению (AKN) – для определения практик управления по ремонтному дноуглублению и повышению экономической эффективности оборудования и техники. • Большая установка по обработке загрязненных наносов (METHA) в Гамбурге. • Механическое разделение и дренаж загрязненных наносов (CDMS). Пример из практики – порт Бремена • Ремонтное удаление загрязненных наносов из порта, используемых для производства кирпичей • Загрязненный слой на полигонах и производство легкого заполнителя.

Норвегия	Вычерпывается менее 100 000 м^3 в год, но есть существенные проблемы с загрязненными наносами. • Образовано Управление по борьбе с загрязнением Норвегии (SFT) для мониторинга и оценки загрязненных наносов. • Политика реализуется через пилотные проекты, исследования, мониторинг и образование национального совета по решению проблем заиления. • Введено требование о проведении загрязняющими субъектами обязательной очистки Пример – морской порт / залив Саннефьорд • Дренаж загрязненных наносов с морского дна, чтобы использовать как барьер • Покрывается геотекстилем и чистым песком.
Бельгия	Основной регион дноуглубительных работ – Фландрия, годовой производство наносов 6,3 млн. м^3. • Введение подхода TRIADE в классификации удаленных наносов; 4 категории загрязнения, от «без загрязнения» (категория 1) до «сильное загрязнение (категория 4). • Распределение удаленных наносов по реке, каналам и водным путям для улучшения судоходных зон. • Фламандское водное регулирование (VLAREA) позволяет относить удаленные наносы (после анализа) к «вторичному сырью»; уже не считаются отходами, что упрощает утилизацию удаленных наносов. Пример • 2.5 млн. м^3 сухих загрязненных наносов распределяется между 13 очистными установками, где они сушатся и проходят биологическую обработку для удаления загрязняющих веществ. • Оставшиеся чистые наносы (песок и мелкий заполнитель) сертифицируется фламандским органом по контролю отходов (OVAM) как «грунт» или «строительный материал» для утилизации.
Франция	Годовой объем производства наносов примерно 56 млн. м^3, 89% из которых – морские наносы из 6 основных портов. • Разработан метод GEODRISK для характеристики удаленных наносов; определяет геохимические характеристики удаленных наносов, а также потенциальные риски. • История реализации ряда вариантов утилизации удаленных наносов, включая мелиорацию, производство сельскохозяйственного наполнителя, восстановление пляжа, борьбу с эрозией на побережье, производство строительных материалов и верхнего слоя почвы. Пример – р. Шаранта • Ремонтное дноуглубление с использованием удаленных наносов для восстановления пляжа, чтобы улучшить прибрежный режим и возможности отдыха.
Италия	Приблизительная годовая потребность страны – 6 млн. м^3. • Национальная политика рассмотрения удаленных наносов как «ресурса», а не «отходов». • Национальная программа восстановления окружающей среды и обработки загрязненных наносов.

	• Испытание технологий обработки загрязненных наносов, чтобы определить экологически устойчивые варианты управления наносами. Пример • Ограниченный объект по удалению (CDF) для локализации загрязненных наносов в порту Специя. • Уровень загрязнения требует использования облицовки толщиной 1 м из непроницаемого материла по сторонам и на дне ограниченного объекта по удалению.
США	Приблизительная годовая потребность страны – 200-300 млн. $м^3$ наносов. • Образованы национальные и региональные команды (USEPA, USACOE и RDT) для содействия в коммуникации, координации и решении национальных вопросов по дноуглубительным работам. • Обширная, детальная национальная программа управления дноуглубительными работами под руководством Агентства по охране окружающей среды и DMMO (Служба управления удаленными наносами). • Опубликовано Руководство по планированию утилизации, которое содержит структуру определения, планирования и финансирования проектов по утилизации в США. • Приняты обязательства по внедрению утилизации удаленных наносов в течение прошлого десятилетия согласно «Повестке действий на 2003-2013 годы», определяющей вопросы и принципы надлежащего управления удаленными наносами. Пример – залив Сан-Франциско • Долгосрочная стратегия управления RDT предусматривает несколько программ утилизации удаленных наносов и ставит целью утилизацию 40% всех удаленных наносов в долгосрочной перспективе. • Текущие способы утилизации включают: ежедневное покрытие полигона, восстановление пляжа, песок для строительных компаний, строительное наполнение для отдельно утвержденных проектов по возвышенностям и водоемам (как чистый материал, так и неподходящих для удаления в водоемах).

Приложение 4: Применимость удаленных наносов для утилизации на основе вида и качества

Шихан (2012), Гири и dpl. (2019)

Категория утилизации	Вид утилизации	Применимость удаленных наносов									
		Незагрязненные	**Загрязненные**	**Пресная вода**	**Соленая вода**	**Мягкая глина**	**Илисто-мягкая глина**	**Песчано-илистые**	**Плотная глина**	**Гравий и песок**	**Камни**
Техническое применение	**Восстановление пляжа**	√	×	√	√	×	×	×	×	√	+
	Мелиорация	√	+	√	√	√	+	√	√	√	√
	Покрытие полигона	√	+	√	√	√	√	√	×	×	×
	Создание берм на суше	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√
	Укрепление берегов	√	√	√	√	×	×	√	√	√	√

Восстановление окружающей среды	**Создание / восстановление среды обитания водно-болотных угодий**	√	×	√	√	+	+	√	√	√	×
	Поддержание участков наносов	√	×	√	√	√	×	√	√	+	×
	Заполнитель для брошенных шахт / карьеров	√	√	√	√	√	+	√	×	×	×
	Создание / восстановление среды обитания гористой местности	√	×	√	×	+	√	+	√	√	√
Сельское хозяйство / производство	**Производство бетона**	√	+	√	+	×	√	√	×	√	×
	Нижний слой дорожного покрытия	√	√	√	×	×	+	√	√	√	×
	Облицовка полигона	√	+	√	√	×	+	×	√	×	×
	Производство верхнего слоя почвы	√	+	×	√	√	√	√	×	×	×
	Производство керамики / кирпичей	√	√	√	√	√	×	√	√	×	×

Приложение 5: Варианты обработки удаленных наносов, используемые в Ирландии

CIT (2013), Гири и др. (2019)

Способы обработки и примечания		Применимость									
		Распространенные загрязняющие вещества				Виды наносов					
		Тяжелые металлы	PAH[1]	TBT[2]	PCB[3]	Соленая вода	Мягкая глина	Илистая мягкая	Песчано-илистые	Плотная глина	Смесь гравия и
Вымывание из почвы	Загрязненные наносы отделяются от утилизируемых наносов. Оставшиеся загрязненные наносы[4] стабилизируются в виде фильтр-кека, готового для обработки / удаления.	√	√	√	√	√	×	√	√	×	√
Механический дренаж	С помощью фильтр-прессов достигается до 80% уменьшения содержания воды в наносах, с удалением взвешенных / растворимых загрязняющих веществ. Производится фильтр-кек. Широко используется как предварительная обработка при других видах обработки.	√	√	√	√	√	√	×	√	√	×

Дренаж при помощи геотекстильной трубы	Трубы производятся из синтетического геотекстиля, который «просеивает» удаленные наносы, при этом уменьшается концентрация загрязняющих веществ, фильтруется обработанная вода, а твердое вещество удаленных наносов удерживается и уплотняется.	√	×	√	×	√	√	√	√	×	×
Термическая десорбция	Опасные органические соединения и некоторые летучие металлы подогреваются и преобразуются в газы / жидкости, которые собираются для безопасного удаления.	+	√	+	√	×	√	√	√	×	√
Ландфарминг или вызревание	Удаленные наносы распределяются по земле для естественного аэробного разложения с удалением органических загрязняющих веществ. Тяжелые металлы могут быть тоже удалены при помощи дополнительной обработки (см. 11 и 12).	×	√	×	√	√	√	√	√	×	×
Биореакторы	Используются разные размеры судов с удаленными наносами, которые подвергаются различным микробиологическим процессам для разложения органических загрязняющих веществ. Процент разложения зависит от протяженности обработки.	×	√	+	√	√	√	√	√	√	√
Стабилизация	В загрязненные наносы добавляются химические соединения (например, цемент) для стабилизации и / или иммобилизации материала, который потом используется в строительстве, или для сокращения вымываемости и биодоступности при удалении. Может потребоваться предварительный дренаж.	√	+	√	+	√	√	√	√	√	×
Термальная иммобилизация	Высушенные наносы растапливаются и кристаллизуются. Органические загрязняющие вещества разрушаются в процессе, в то время как неорганика аккумулируется для безопасного удаления или обработки.	√	√	√	√	√	√	×	√	√	×
Термохимическая иммобилизация с использованием печи для обжига цемента	Удаленные наносы смешиваются с топливом, воздухом и модификаторами в печи для обжига цемента. Органические загрязняющие вещества разрушаются, а тяжелые металлы иммобилизуются в цементной матрице. Производится спекшийся материал, который может образовать цемент.	+	√	√	√	√	×	√	√	×	√
Пиролиз	Органические загрязняющие вещества разрушаются в анаэробных условиях. Органические и неорганические соединения разделяются в процессе. Требует значительного предварительного дренажа.	×	√	+	√	√	√	×	√	√	×

Сверхкритическое водяное окисление*	Новый метод, который в настоящее время изучается в Ирландии. Удаленные наносы нагреваются под высоким давлением, из-за чего содержание воды вступает в сверхкритическую фазу, которая разрушает все органические загрязняющие вещества. Неорганика минерализуется в стерильные соединения, которые подходят для утилизации.	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Дренаж при помощи околоводных растений*	Исследования показали, что определенные виды околоводных растений подходят для дренажа и последующего удаления загрязняющих веществ из удаленных наносов.	×	√	×	√	√	√	√	√	×	√
Электро-осмотическое удаление воды*	Применяется небольшое электрическое напряжение по удаленным наносам, которое вызывает быстрый поток воды в результате физико-химических и электрохимических процессов. Кроме этого, увеличивается гидравлическая проводимость и сдвигающее напряжение уплотненных наносов.	√	√	√	+	√	√	√	√	√	√
Электрокинетическая экстракция*	Электрокинетическая технология – метод, в котором применяется слабый постоянный ток для стимулирования ионного переноса металлов через пористую среду (удаленные наносы).	√	+	√	+	×	√	√	√	×	√

Обозначение: √ ***подходит*** + ***частично подходит*** × ***не подходит***

* Метод обработки все еще изучается на предмет применимости в практической обработке наносов в промышленном масштабе.

[4]CDMS: загрязненные вычерпанные наносы

Примечание: наиболее вредными для водной среды считаются химические вещества, которые являются стойкими, токсичными и биоаккумулируются в пищевой цепочке и включают (CIT, 2013):

Тяжелые металлы (например, ртуть, свинец, мышьяк, цинк, кадмий)

[1] Полиядерные ароматические углеводороды (ПАУ) (например, масла, дизель, гидравлическая жидкость)

[2] Трибутилолово (ТВТ) (органическое соединение)

[3] Полихлорбифенилы (ПХБ) (например, краски, пластмассы, адгезивные вещества)

Контакты:

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