

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

## ФАЗА II: ВАРИАНТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОЕКТА

### Том 2: Основные Данные

#### Глава 6: Седиментация

Август 2014

Отчет № P.002378 RP 43 Ред. Г

|                 |             |   |                          |                  |                 |
|-----------------|-------------|---|--------------------------|------------------|-----------------|
| Г               | 11/08/2014  | Финальная версия – Август 2014                      | О. Клав                  | А. Лара          | Л. Буза         |
| В               | 31/03/2014  | Финальная версия – Март 2014                        | О. Клав                  | А. Лара          | Н. Санс         |
| Б               | 15/11/2013  | Комментарии ВБ, панели экспертов и правительства РТ | О. Клав                  | А. Лара          | Н. Санс         |
| А               | 09/04/2013  | Первое издание                                      | О. Клав                  | А. Лара/С. Алам  | Н. Санс         |
| <b>Редакция</b> | <b>Дата</b> | <b>Тема редакции</b>                                | <b>Подготовлен<br/>о</b> | <b>Проверено</b> | <b>Одобрено</b> |

## СОДЕРЖАНИЕ

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>ЦЕЛИ И КОНТЕКСТ</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>СПРАВОЧНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОСОВ РЕКИ ВАХШ</b>                            | <b>6</b>  |
| 3.1      | <i>Общая информация</i>  | 6         |
| 3.2      | <i>Гранулометрический состав</i>                                   | 6         |
| 3.3      | <i>Удельный вес</i>  | 8         |
| 3.4      | <i>Концентрация</i>  | 9         |
| <b>4</b> | <b>ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ НУРЕКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА</b>                  | <b>12</b> |
| 4.1      | <i>Доступная информация</i>  | 12        |
| 4.2      | <i>Оценка</i>  | 13        |
| 4.3      | <i>Дополнительная кампания</i>                                     | 14        |
| <b>5</b> | <b>ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ТВЕРДОГО СТОКА РОГУНСКОЙ ГЭС</b>              | <b>15</b> |
| 5.1      | <i>Из измерений гидропоста</i>                                     | 15        |
| 5.2      | <i>Эмпирический метод</i>  | 15        |
| 5.3      | <i>Сравнение и заключение</i>                                      | 16        |
| <b>6</b> | <b>ОБЗОР ДОСТУПНЫХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ СЕДИМЕНТАЦИЕЙ</b>         | <b>17</b> |
| 6.1      | <i>Список возможных мер</i>  | 17        |
| 6.2      | <i>Сокращение притоков седиментации</i>                            | 18        |
| 6.2.1    | <i>Управление водосборным бассейном</i>                            | 18        |
| 6.2.2    | <i>Верхние шлюз-регуляторы</i>                                     | 19        |
| 6.2.3    | <i>Внерусловое хранение</i>  | 19        |
| 6.2.4    | <i>Перепускной канал водохранилища</i>                             | 19        |
| 6.3      | <i>Управление наносами в водохранилище</i>                         | 21        |
| 6.3.1    | <i>Соответствующие эксплуатационные правила</i>                    | 21        |
| 6.3.2    | <i>Тактические дноуглубительные работы</i>                         | 22        |
| 6.4      | <i>Эвакуация седиментации из водохранилища</i>                     | 22        |
| 6.4.1    | <i>Промывка водохранилища</i>                                      | 22        |
| 6.4.3    | <i>Механическое удаление</i>                                       | 24        |
| 6.5      | <i>Замена потерянной емкости</i>                                   | 25        |
| <b>7</b> | <b>План управления седиментацией для Рогунского проекта</b>        | <b>25</b> |
|          | <i>Влияние на емкость регулирования и выработку электроэнергии</i> | 30        |
| 7.1.4    | <i>Подъем напорных водоприемников</i>                              | 32        |
| 7.1.5    | <i>Влияние на электромеханическое оборудование</i>                 | 33        |
| 7.4      | <i>Долгосрочное управление наносами и устойчивость:</i>            | 34        |
| 7.4.1    | <i>Определение конца срока службы:</i>                             | 34        |
| 7.4.2    | <i>Управление наносами в конце срока службы:</i>                   | 34        |
| 7.5      | <i>Вахшский ваткад</i>   | 36        |
| <b>8</b> | <b>Выводы</b>  | <b>36</b> |
| <b>9</b> | <b>РЕКОММЕНДАЦИИ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ШАГИ</b>                             | <b>37</b> |

## РИСУНКИ

|   |    |
|---|----|
| Рисунок 3.1: Наносы во взвешенном состоянии – Гранулометрический состав.....  | 7  |
| Рисунок 3.2 : График гранулометрического состава .....  | 8  |
| Рисунок 3.3 : Наносы во взвешенном состоянии (кг/с относительно м <sup>3</sup> /с)- Источник [1]10  |    |
| Рисунок 3.4 : Донные наносы (кг/с относительно м <sup>3</sup> /с) - Источник [1].....   | 10 |
| Рисунок 3.5 : Наносы во взвешенном состоянии – Данные ИГП [1] .....   | 11 |
| Рисунок 3.6: Донные наносы - Данные ИГП [1] .....   | 12 |
| Рисунок 4.1: Эволюция емкости Нурекского водохранилища .....  | 13 |
| Рисунок 6.1: Список возможных мер для управления наносами ( после Глейса и Оеху, 2002 г.).....  | 18 |
| Рисунок 6.2: Плотина Недл (Южная Африка) – Перепускной канал водохранилища ...  | 20 |
| Рисунок 6.3: Предполагаемая схема – Перепускной канал наносов Рогунской ГЭС ....  | 21 |
| Рисунок 6.4: Предварительная схема – Промывочный туннель.....   | 23 |
| Рисунок 6.5: Удаление крупнозернистых наносов седиментации плотины Саутет (Франция).....  | 25 |
| Рисунок 7.1 Типичный профиль отложения наносов (источник БМ США) .....  | 26 |
| Рисунок 7.2: Кривая полезного объема Рогунского водохранилища – НПУ = 1290 м.н.у.м. ....  | 27 |
| Рисунок 7.3: Чертеж ИГП – Временный напорный водоприемник.....  | 29 |
| Рисунок 7.4: Эволюция оптимального минимального уровня водохранилища, гарантированной электроэнергии и уровня наносов со временем, для наносов в 100 млн. м <sup>3</sup> /год ..... | 31 |
| Рисунок 7.5: Схема напорного водоприемника для увеличенного срока службы.....   | 33 |
| Рисунок 7.6 : Продольное сечение предлагаемого поверхностного водосброса .....  | 35 |

## ТАБЛИЦЫ

|  |    |
|--|----|
| Таблица 3.1 : Наносы во взвешенном состоянии – Гранулометрический состав.....                        | 6  |
| Таблица 3.2: Донные наносы - Гранулометрический состав .....   | 6  |
| Таблица 3.3 : Удельный вес (т/м <sup>3</sup> ) .....   | 9  |
| Таблица 4.1: Эволюция емкости Нурекского водохранилища .....   | 12 |
| Таблица 5.1 : Расчет годового твердого стока – Эмпирический метод.....                               | 16 |
| Таблица 7.1 : Анализ чувствительности и срок службы напорных водоприемников без специальных мер..... | 32 |
| Таблица 7.2 : Срок службы напорного водоприемника с поднимающимся водоприемником.....                | 32 |
| Таблица 7.3 : Прогнозный окончательный срок службы Рогуна .....                                      | 34 |

## 1 ЦЕЛИ И КОНТЕКСТ

Предлагаемый Рогунский проект является крупным водохранилищем с плотиной, где в природном контексте фиксируется очень высокая скорость наносов. Следовательно, проект будет подвержен процессу седиментации, так как водохранилище благоприятно для распределения частиц.

Следовательно, это требует оценку жизнеспособности предлагаемых вариантов, учитывая влияние наносов в частности относительно емкости водохранилища и ограничения в эксплуатации. Это также поднимает необходимость на решение общей озабоченности о долгосрочном поведении крупных водохранилищ и определение соответствующей стратегии окончания срока эксплуатации, которая должна реализоваться для обеспечения долгосрочной устойчивости проекта.

Текущая записка состоит из полного обзора существующих данных по характеристикам и количеству твердых частиц, транспортируемых рекой Вахш, включая анализ изыскательных компаний, проведенных в прошлом на Нурекском водохранилище. Это позволит сделать на этом этапе обоснованную оценку годового твердого стока в Рогуне.

Второй частью данной главы является обзор состояния современных вариантов управления наносами, используемых во всем мире и их применимость к Рогунскому проекту.

Третья часть описывает предлагаемый план управления наносами для Рогунского проекта во время эксплуатационного этапа, гарантируя, что все варианты спроектированы для максимально возможной экономической жизни вместе с безопасной эксплуатацией. Также приведены соображения по стратегии окончания срока эксплуатации, для обеспечения устойчивости и безопасности Рогунского проекта в долгосрочном плане.

## 2 СПРАВОЧНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Существуют различные документы, связанные с седиментацией на Рогунской и Нурекской ГЭС: отчеты, записки, таблицы ... Ниже перечислены те, что были доступны Консультанту.

[1] Проект достройки строительства Рогунской ГЭС - Отчет N ° 1861-2-2-2: Природные условия, гидрометеорологические условия, Институт Гидропроект (ИГП), 2009.

[2] Банковское ТЭО для достройки Строительства Стадии 1 -Том 3D Гидрология, Ламайер Интернэшнл, 2006.

[3] Записка под названием "Расчет твердого стока реки Вахш", Министерство водных ресурсов, 2012 год.

[4] Записка под названием "Характеристика реки Амударья», Барки Точик, 2012

[5] Отчет по инженерной гидрологии Нурекского водохранилища, Таджикский Государственный проектно-изыскательский, научно-исследовательский институт «Гидроэнергопроект», Душанбе 2001

[6] Excel файл, содержащий измерения твердого стока на различных гидростаях (Дарбанд, Саригузар, Туткаул, Чорсада ..), Институт Гидромет Душанбе, 2012

Общие документы по вопросу седиментации были опубликованы, ниже перечислены те, что используются Консультантом.

[7] Седиментация и Рациональное Использование Водоохранилищ и Речных Систем, бюллетень №147, ICOLD 2009 г.

[8] Защита водохранилища, подход RESCON, А.Пальмиери, Ф.Шах, Дж. Аннандале, А. Динар, Всемирный Банк, 2003 г.

[9] Возможность смывки седиментации из водохранилищ, Е.Аткинсон, 1996

[10] Проект небольших плотин-Приложение А: Седиментация водохранилища, БМ США. 1987

[11] Справочник заиления водохранилищ, Г. Л. Моррис, Дж. Фэн, МкГроу-Хилл, 1998

[12] Шлейс, А., и Оехи, С., 2002. Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit. Wasser, Energie, Luft-Eau, Énergie, Air, 94 (7/8), 227 – 234.

### 3 ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОСОВ РЕКИ ВАХШ

#### 3.1 Общая информация

Твердый сток в реке Вахш в основном формируется за счет смыва ила из речных бассейнов и в значительно меньшей степени за счет деградации речного русла. Наносы уносятся с ледниковыми потоками и оттаянным снегом и дождевой водой.

Речная вода в системе реки Вахш отличается высокой мутностью. Самая высокая мутность происходит в паводковые сезоны с двумя максимумами, происходящими в мае в период интенсивного сезонного таяния снега, а в июле-августе в период таяния ледника. Самый низкий уровень мутности наблюдается в зимние месяцы.

#### 3.2 Гранулометрический состав

##### *Доступные данные*

Гранулометрический состав наносов во взвешенном состоянии и донных наносов в Рогунской ГЭС приведены в таблицах 3.1 и 3.3. Эти значения представлены как в отчете Ламайер [2] и отчет ИГП [1]. Данное исходит от Гидрометеорологического института Таджикистана и их анализ наблюдений в различных гидростаях.

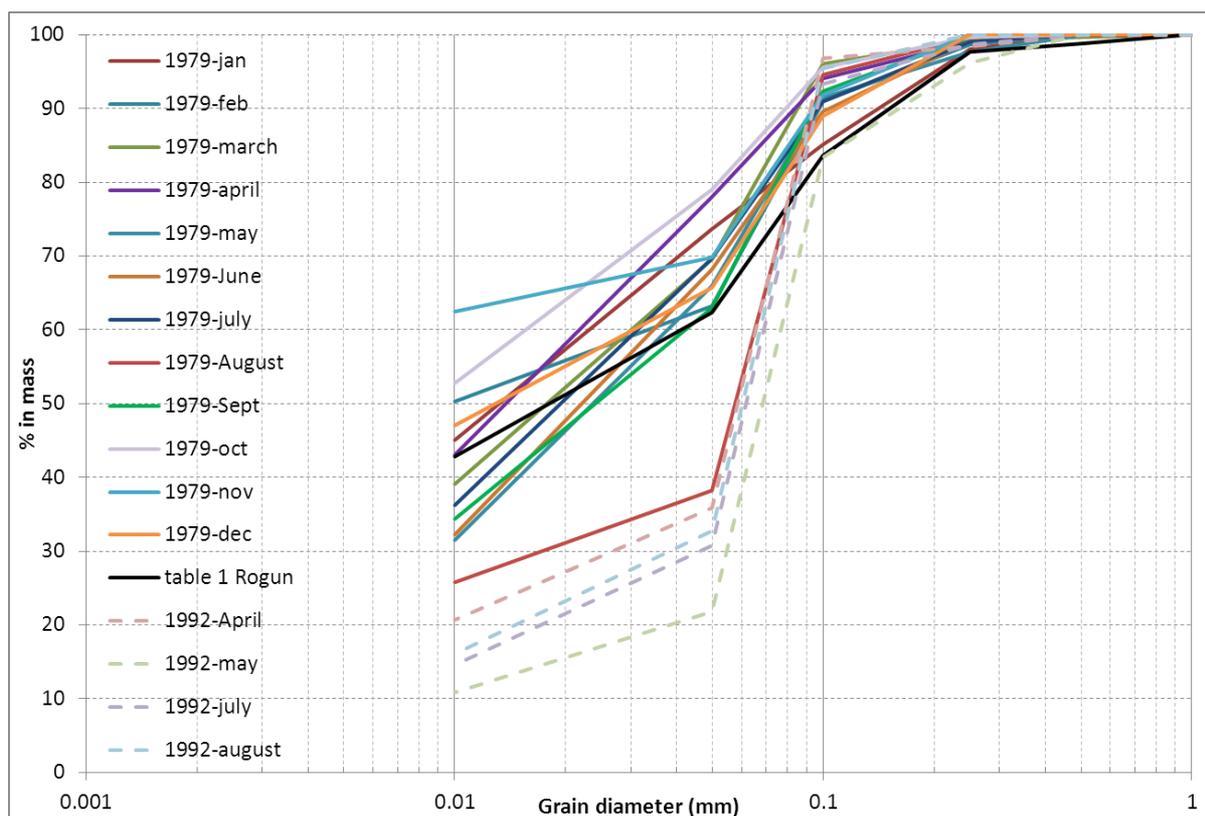
|       |       |          |          |          |           |       |
|-------|-------|----------|----------|----------|-----------|-------|
| D, mm | 1-0.5 | 0.5-0.25 | 0.25-0.1 | 0.1-0.05 | 0.05-0.01 | <0.01 |
| %     | 1.17  | 1.19     | 13.99    | 21.25    | 19.60     | 42.80 |

Таблица 3.1 : Наносы во взвешенном состоянии – Гранулометрический состав

|       |         |         |        |       |       |       |       |      |
|-------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| D, mm | 500-250 | 250-120 | 120-80 | 80-40 | 40-20 | 20-10 | 5-1.2 | <1.2 |
| %     | 3.0     | 17.8    | 14.2   | 27.1  | 19.6  | 4.1   | 2.9   | 8.0  |

Таблица 3.2: Донные наносы - Гранулометрический состав

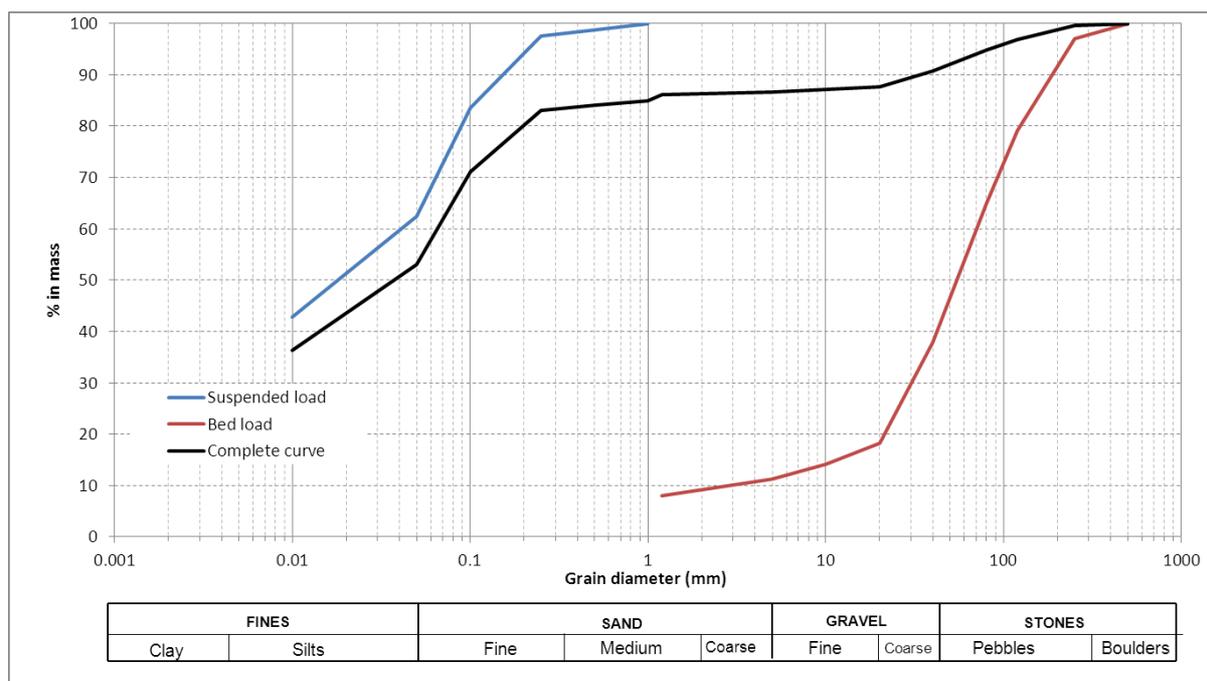
Несколько гранулометрических составов, определены благодаря измерениям, выполненным во время паводка 1992 года и в течение 1979 года, приведены в отчете ИГП [1] для наносов в подвешенном состоянии.



**Рисунок 3.1: Наносы во взвешенном состоянии – Гранулометрический состав**

### Оценка

Рисунок 3.2 показывает значения, представленные в таблице 3.1 и таблице 3.2, нанесенные на том же графике. Черная кривая общий гранулометрический состав наносов реки Вахш, предполагая, донные наносы составляют 15%, а наносы во взвешенном состоянии 85% от общего количества твердого стока.



**Рисунок 3.2 : График гранулометрического состава**

Черная кривая представляет собой ровную площадь, охватывающую почти всю песочную часть графика. Это может означать, что почти нет песка в осадочном материале, транспортируемом рекой Вахш. Это не может адекватно отражать реальность.

Рисунок 3.1 представляет гранулометрический состав наносов реки во взвешенном состоянии по различным месяцам и годам показывает важное разбрасывание измеренных гранулометрических составов наносов во взвешенном состоянии.

### 3.3 Удельный вес

Все измерения и оценка твердого стока проведена относительно веса. Преобразование в объеме осуществляется благодаря удельному весу наносов.

#### **Имеющиеся данные**

В различных документах, нет упоминания о каких-либо лабораторных испытаниях для измерения этой плотности. Тем не менее, разные значения, найденные в предыдущих исследованиях приведены в следующей таблице.

| Ссылка                                | Наносы во взвешенном состоянии | Донные наносы | Всего |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------|
| ИГП 2009 [1]                          | 1.15                           | 2.60          | -     |
| Ламайер Банковское ТЭО [2]            | -                              | -             | 1.39  |
| Министерство водных ресурсов 2012 [3] | -                              | -             | 1.34  |

Таблица 3.3 : Удельный вес (т/м<sup>3</sup>)

### Оценка

2.6 т/м<sup>3</sup> составляет среднее значение удельного веса породы.

Обычные значения диапазона удельного веса твердого стока от 1,2 до 1,4 т/м<sup>3</sup>. Значения, приведенные со стороны Ламайер [2] и Министерством водных ресурсов [3] находятся в верхнем соединении этого диапазона.

Значение 1,15 т/м<sup>3</sup> рассматриваемое для наносов во взвешенном состоянии сомнительно, обычный диапазон удельного веса наносов во взвешенном состоянии составляет 1,4 т/м<sup>3</sup>.

## 3.4 Концентрация

### Данные

Концентрация седиментации измеряется на нескольких гидропостах и представлена в нескольких документах:

- [6]: измерения наносов во взвешенном состоянии на Головной, Тигровой, Чорсада, Саригузар, Дарбанд и Туткаул. Станцией с самым длинным рядом является Туткаул с ежемесячными данными с января 190 года по декабрь 1943 года и с мая 1947 года и апреля 1967 года.
- [2]: измерения наносов во взвешенном состоянии на Туткаул, Саригузар, Сурхоб, Чорсада и донных наносов на Туткаул.
- [1]: измерения наносов во взвешенном состоянии на нескольких гидропостах и измерение донных наносов на Туткаул.

Кроме того, в [1], ИГП представляет длинные серии ежемесячных твердых сбросов (взвешенных и донных наносов) на участке Рогунской ГЭС. Эти серии были вычислены благодаря нескольким станциям учета в речном бассейне Вахш: Туткаул (1942-1944, 1948-1972), Нурабад (1976-1978, 1980-1982), и Кичрог (1984-1986, 1990-1993). Когда данные отсутствуют, серии были завершены благодаря закону корреляции между твердым и жидким ежемесячным сбросом. Следующие рисунки взяты из [1] и

представляют корреляцию, обнаруженную между взвешенным наносом и сбросом воды, а также между донными наносами и сбросом воды.

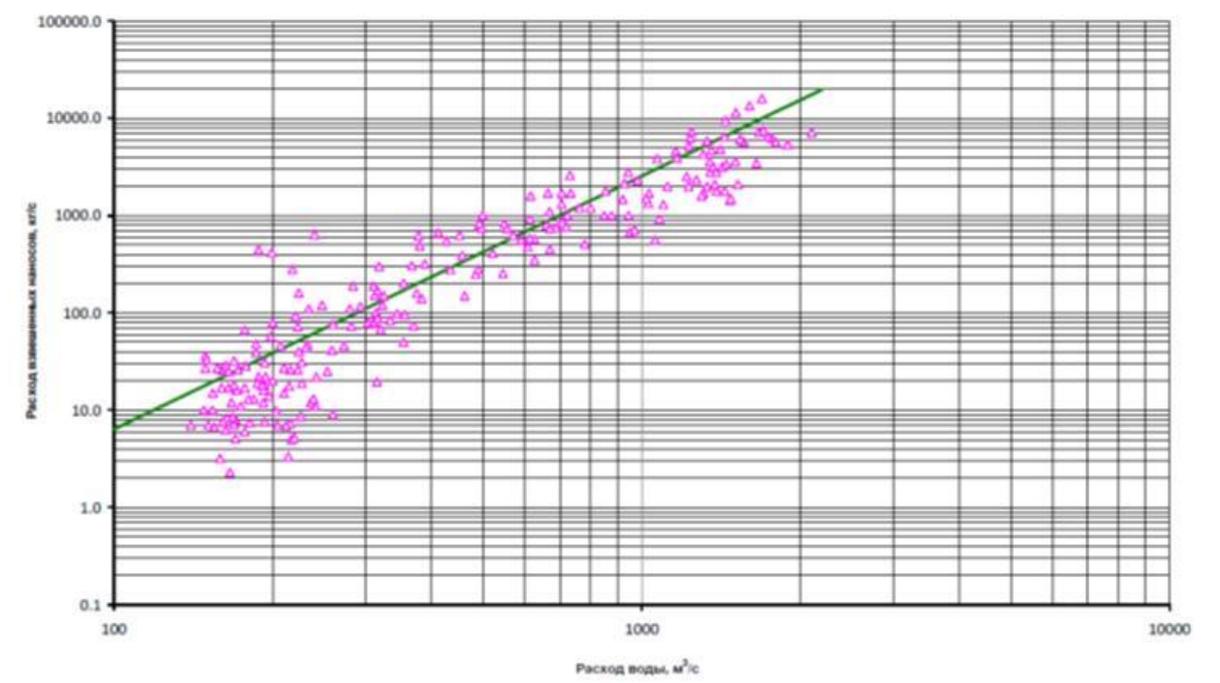


Рисунок 3.3 : Наносы во взвешенном состоянии (кг/с относительно м³/с)- Источник [1]

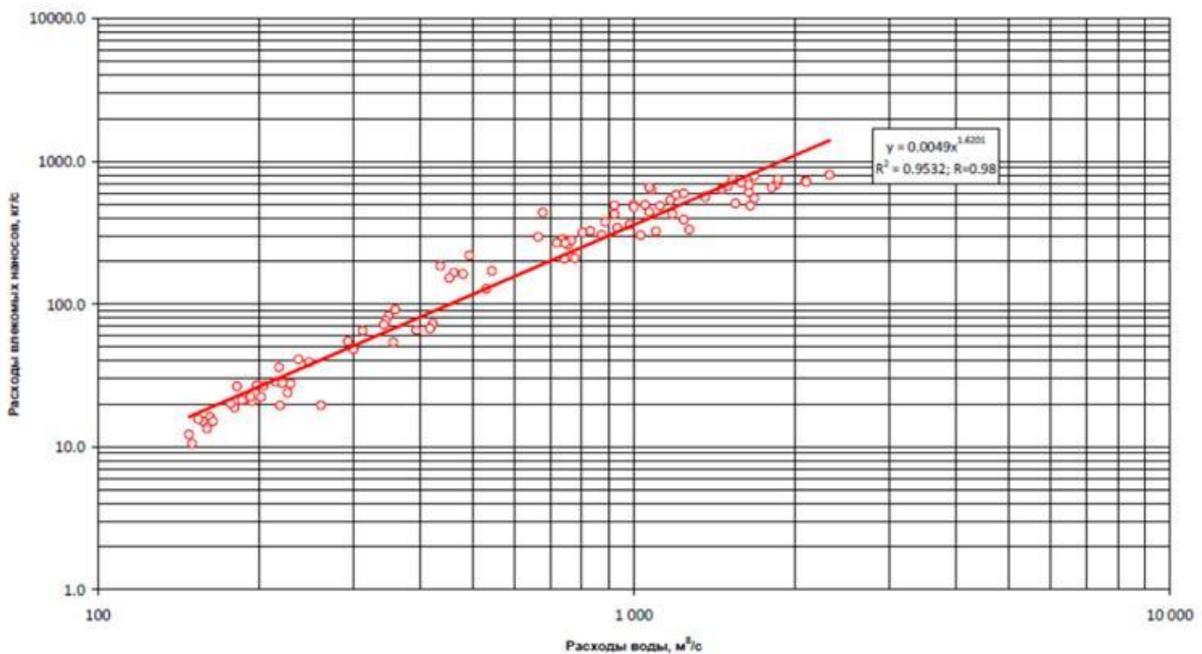


Рисунок 3.4 : Донные наносы (кг/с относительно м³/с) - Источник [1]

### Оценка

Данные о наносах во взвешенном состоянии [2] и [6] схожи: когда мера в данной станции и конкретная дата доступны по обоим источникам, значение одинаковое. Данные по донным наносам, представленные в [1] и [2] идентичны. Измерение наносов во взвешенном состоянии приведены в [1] и воспроизведены на рисунке 3.3 собирают

измерения из нескольких станций (Туткаул, Нурабад и Кичрог) и, следовательно, не могут быть сравнены с измерением Туткаул, приведенные в [2] и [6].

Все данные, представленные в различных документах, являются совместимыми друг с другом. Тем не менее, процедура отбора образцов, подробно не описана ни в одном документе, что затрудняет оценку надежности измерений наносов во взвешенном состоянии.

В тексте [1] говорится, что движение донных наносов начинается, когда жидкий сброс превышает  $300 \text{ м}^3/\text{с}$  и, что измерение донных наносов невозможно, когда сброс жидкости составляет более  $500 \text{ м}^3/\text{с}$ . Данные, представленные на рисунке 3.4, сомнительны, так как есть измеренные точки более  $500 \text{ м}^3/\text{с}$  и до  $300 \text{ м}^3/\text{с}$ .

На следующих рисунках, сравниваются завершенные серии ИГП и измеренные данные. Видно, что большое число точек в точности совпадают, что означает, что они были рассчитаны на основе найденной корреляции твердого/жидкого стока. Они являются теоретическими значениями, а не фактические меры. Фактические данные, измеренные и перемещенные из их местоположения измерения на участке Рогунской ГЭС, представляют собой небольшую часть всех серий. Репрезентативность серий является, поэтому ограниченной, так как расчетные значения искажают образец.

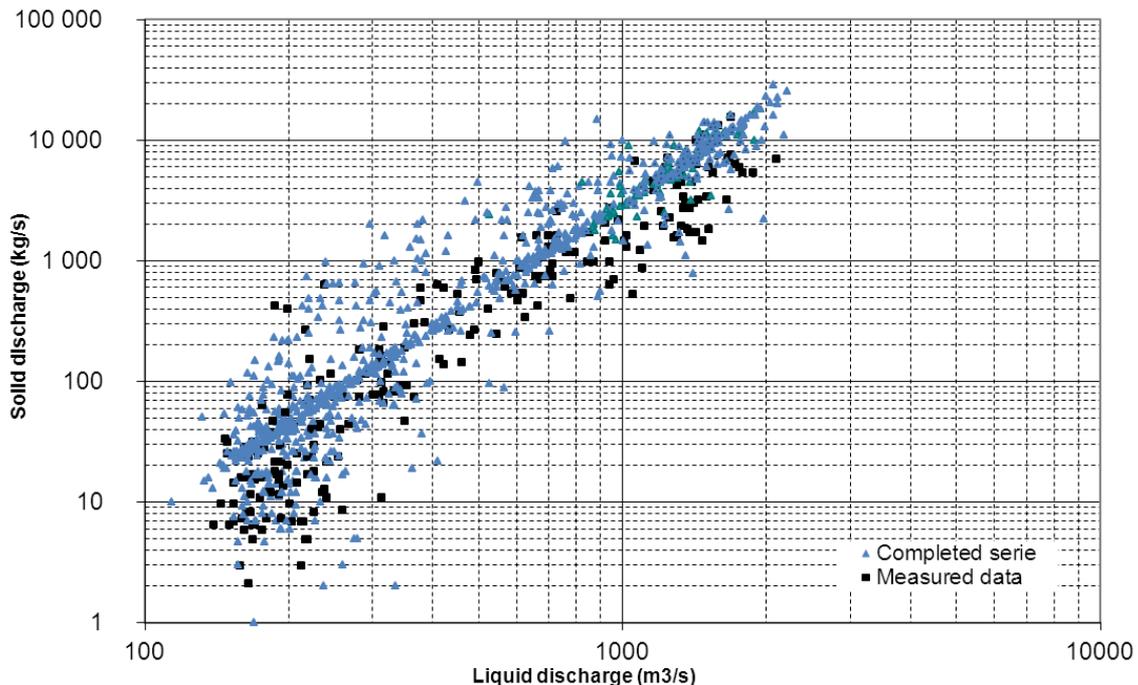


Рисунок 3.5 : Наносы во взвешенном состоянии – Данные ИГП [1]

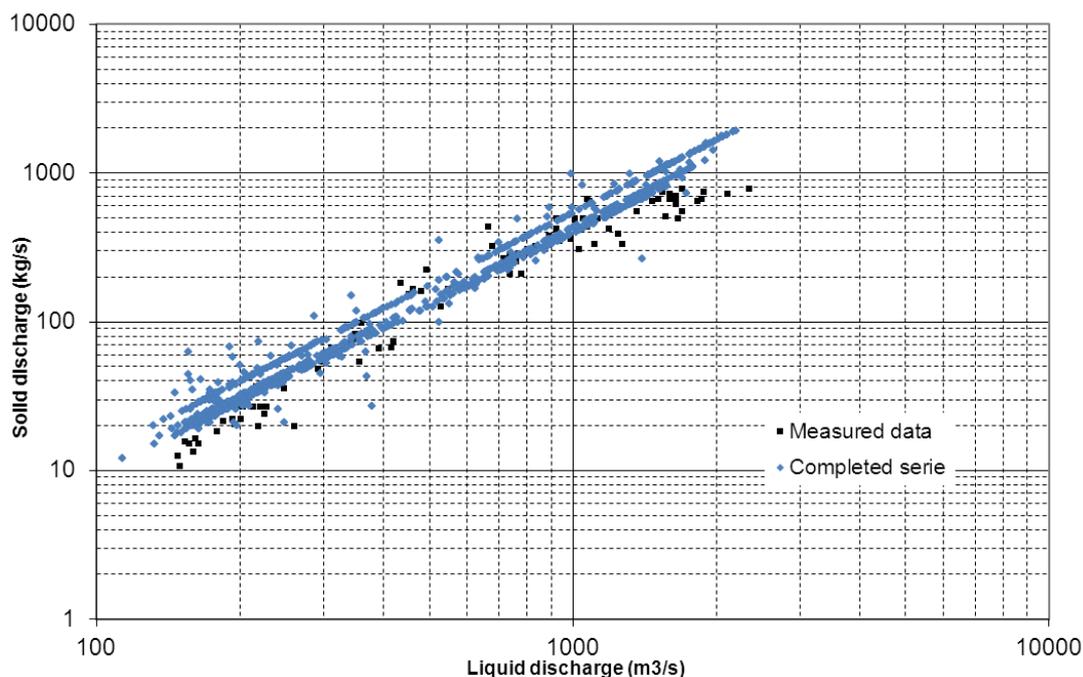


Рисунок 3.6: Донные наносы - Данные ИГП [1]

## 4 ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ НУРЕКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

### 4.1 Доступная информация

С момента его заполнения в 1972 году, Нурекское водохранилище ловит наносы из реки Вахш. В соответствии с различными документами, за последующие годы были проведены несколько исследований для получения сведений о седиментации в Нурекском водохранилище: в 1989, 1994 и 2001.

Следующая таблица и графики показывают основные результаты этих исследований.

| Полезный объем | Объем (км <sup>3</sup> ) |      |      |      |
|----------------|--------------------------|------|------|------|
|                | 1972                     | 1989 | 1994 | 2001 |
| Всего          | 10.50                    | 8.66 | 7.96 | 8.63 |
| Полезный       | 4.50                     | 3.40 | 3.06 | 4.27 |
| Мертвый        | 6.00                     | 5.26 | 4.90 | 4.36 |

Таблица 4.1: Эволюция емкости Нурекского водохранилища

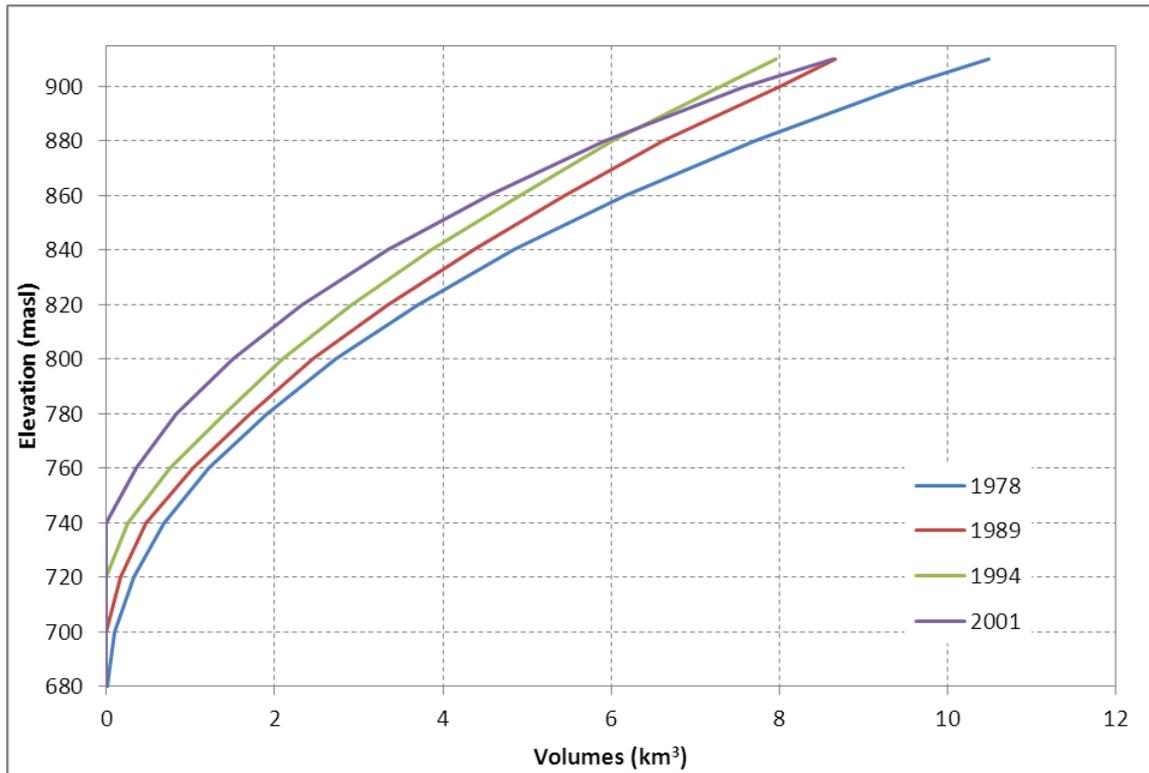


Рисунок 4.1: Эволюция емкости Нурекского водохранилища

Нет документации по характеристикам наносам, заполняющим Нурек. Понятно, что специфичное исследование проводится по этой теме. Это имеет первостепенное значение для понимания будущих условий седиментации в Рогунском водохранилище.

## 4.2 Оценка

Согласно этим исследованиям, емкость водохранилища при НПУ в 910 м нум:

- снижение на 108 млн. м<sup>3</sup>/год с 1972 по 1989 год,
- снижение на 115 млн. м<sup>3</sup>/год в период между 1994 и 1989 годами,
- снижение на 64 млн. м<sup>3</sup>/год в период между 2007 и 1972 годами.

Даже принимая во внимание преобразования берегов, трудно объяснить увеличение емкости в период между 1994 и 2001:

- в отчете по Нурекскому водохранилищу [5], эрозия берегов оценивается в 77 млн. м<sup>3</sup> за весь период 1972-2001, т.е. 2,66 млн. м<sup>3</sup>/год.
- Ламайер [2] ссылается на отчет исследования 1994 года, где он говорится, что объем преобразования берега составляет 21 млн. м<sup>3</sup> в период между 1989 и 1994 годами, то есть 4,2 М<sup>3</sup>/год.

Таким образом, наиболее надежным периодом измерений являются 1972-1989, когда Нурекское водохранилище было заполнено по 108 млн. м<sup>3</sup>/год.

### 4.3 Дополнительная кампания

Для долгосрочного устойчивого управления наносами водохранилища Рогунской ГЭС, ирбуется четкое понимание не только о годовом объеме транспортировки наносов и соответствующую потерю полезного объема водохранилища, но и о конфигурации диаграмм отложений наносов в течение всего срока реализации проекта. Для получения такого рода информации, седиментация Нурекского водохранилища с момента его заполнения в 1972 году, может стать хорошим источником. Это почти как крупномасштабная гидравлическая модель и может предоставить нам всю необходимую информацию, чтобы прогнозировать и управлять некоторыми аспектами долгосрочной седиментацией водохранилища Рогунской ГЭС. Хорошее понимание эволюции заиления водохранилища Нурека, поэтому очень важно спроектировать точный план управления наносами на третьем этапе. Будет необходимо найти все имеющиеся исторические данные по седиментации существующего водохранилища Нурекского ГЭС.

#### **Батиметрические исследования седиментации водохранилища**

Важно оценить и понять актуальные аспекты процесса осаждения водохранилища Нурекской ГЭС, так как последнее исследование было проведено в 2001 году, т.е. 12 лет назад. Следовательно, мы бы предложили, чтобы батиметрическая съемка с использованием нескольких многолучевых эхолотов проводилась для той части водохранилища, которая была подвергнута значительной седиментации. Это позволило бы оценку общих образцов наносов водохранилища, как функцию вариаций в поперечных сечениях водохранилища, ежегодных уровней воды и соответствующих гидрографов речного стока.

#### **Продольные и поперечные сечения отложений седиментации в водохранилище**

Измерение продольных и поперечных сечений позволит нам оценить общую величину седиментации на сегодняшний день. В то же время определить верхние и фронтальные склоны отложенных наносов. Одновременно уровень воды водохранилища и речного стока должны быть зарегистрированы, чтобы определить соответствующие скорости потока в продольном направлении. В то же время определение того, есть ли зоны с поверхностными обратными завихрениями, влияющие на скорость потока и образцы отложенной седиментации.

#### **Донные образцы отложенных наносов**

Возьмите образцы (предпочтительно при большом речном стоке) от поверхности отложенных наносов в водохранилище с интервалом на каждые 1000 м вдоль трех продольных линий. Один вдоль центральной линии водохранилища, а два других на равном расстоянии от средней линии и берега.

#### **Образцы ядра из верхних и фронтальных откосов**

Если возможно собрать образцы ядра из верхних и фронтальных откосов отложенных наносов в водохранилище. Такая выборка образцов позволит оценку годового развития дельты, а также сегрегации и осаждения различных размеров частиц,

транспортированные рекой. Место сборов образцов кернов будет определено после оценки разовых проб.

### **Ежегодные колебания уровня водохранилища и соответствующие стоки реки**

Информация о ежегодном колебании уровня водохранилища и скорость, при которой уровень воды был снижен и поднят в течение последних 32 лет с указаниями (если это возможно) на соответствующие стоки реки.

### **Измерение концентрации взвешенных наносов и гранулометрический состав на разной глубине вдоль водохранилища для различных речных стоков**

Это позволило бы понимание транспортируемых образцов и оценки концентраций взвешенных частиц и соответствующих гранулометрических составов вдоль водохранилища, поскольку скорости течения уменьшаются с измерением соответствующих температур воды.

## **5 ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОГО ТВЕРДОГО СТОКА РОГУНСКОЙ ГЭС**

### **5.1 Из измерений гидропоста**

#### ***Доступные данные***

В работе [1], ИГП вычисляет ежегодный твердый сток как среднее значение всего ежемесячного твердого стока построенных рядов. Это дает долгосрочный ежегодный твердый сток 87,8 млн. т (донные и взвешенные наносы).

В [3], автор использует измерения гидропоста Туткаул и выполняет анализ частоты по ежегодному среднему твердому стоку для получения 50% вероятности случая. Ежегодный твердый сток, полученный с этим методом составляет 90,45 Млн.т.

#### ***Оценка***

Как пояснялось в 3.4, серии взвешенных и донных наносов, представленные ИГП в [1] являются экстраполированными рядами, основанными на ограниченном количестве фактических измерений.

С другой стороны, проведенный расчет в [3] годового твердого стока основан на фактических измерениях Туткаул. Туткаул находится ниже участка Рогунской ГЭС, примерно на месте Нурека.

### **5.2 Эмпирический метод**

#### ***Данные***

В отчетах Ламайер и ИГП представлены результаты исследований, проведенные другими организациями. Их расчет твердого стока основан на трех эмпирических методах:

- Интенсивность смыва из водосборной площади;

- Мутность-кривая зависимости высоты водосбора;
- Модуль стока взвешенного наноса.

С помощью этих методов, донные наносы предполагается на 30% наносов во взвешенном состоянии.

| Метод  | Наносы во взвешенном состоянии (Млн.тонн) | Донные наносы (Млн.тонн) | Всего (Млн.тонн) | Кэфф. Донных наносов относительно взвешенных наносов |
|--|---|--------------------------|------------------|--|
| Согласно интенсивности смыва из водосборной площади              | 79.0                                      | 23.7                     | 102.7            | 30%  |
| Согласно кривой мутности- зависимости высоты водосборной площади | 92.8                                      | 27.8                     | 120.6            | 30%  |
| Согласно модулю стока взвешенного наноса.                        | 95.9                                      | 28.8                     | 124.7            | 30%  |

Таблица 5.1 : Расчет годового твердого стока – Эмпирический метод

### 5.3 Сравнение и заключение

| Метод  | Наносы во взвешенном состоянии (Млн.тонн) | Донные наносы (Млн.тонн) | Всего (Млн.тонн) | Кэфф. Донных наносов относительно взвешенных наносов |
|--|---|--------------------------|------------------|--|
| Гидропост и интерполяция (ИГП [1])                               | 78.6                                      | 9.2                      | 87.8             | 12%  |
| Гидропост Туткаул (Министерство водных ресурсов [3])             | -   | -                        | 90.5             | -  |
| Проект 1978  | 80.8                                      | 3.6                      | 84.4             | 4.5%   |
| исследования 1993  | 79.4                                      | 7.9                      | 87.3             | 10%  |
| Согласно интенсивности смыва из водосборной площади              | 79.0                                      | 23.7                     | 102.7            | 30%  |
| Согласно кривой мутности- зависимости высоты водосборной площади | 92.8                                      | 27.8                     | 120.6            | 30%  |
| Согласно модулю стока взвешенного наноса.                        | 95.9                                      | 28.8                     | 124.7            | 30%  |
| <i>Средний</i>   | <i>84.4</i>                               | <i>16.8</i>              | <i>99.7</i>      |  |
| <i>Стандартное</i>   | <i>7.8</i>                                | <i>11.2</i>              | <i>16.8</i>      |  |

|                   |  |  |  |  |
|-------------------|--|--|--|--|
| <i>отклонение</i> |  |  |  |  |
|-------------------|--|--|--|--|

**Таблица 5.2 : Ежегодный твердый сток**

Различные методы сходятся в значении ежегодных взвешенных наносов в диапазоне [79, 96] миллион тонн в год.

В зависимости от метода, объем донных наносов составляет от 5% до 30% от объема взвешенного наноса.

Наконец, общий годовой твердый сток составляет от 87 до 125 миллион тонн в зависимости от используемого метода.

Как сказано в параграфе 4.2, водохранилище Нурекской ГЭС заполняется приблизительно на 100 млн. м<sup>3</sup> в год, в период наиболее надежных данных. Даже при довольно низкой плотности седиментации в 1,35, соответствующий вес составляет 135 миллион тонн, то есть больше, чем верхняя граница оценочного диапазона общего годового твердого стока. С плотностью седиментации в 1.4, соответствующий вес составляет 140 миллион тонн.

**Наконец, общий годовой твердый сток реки Вахш колеблется между 87 и 140 миллион тонн в год, или между 62 и 100 млн. м<sup>3</sup> в год.**

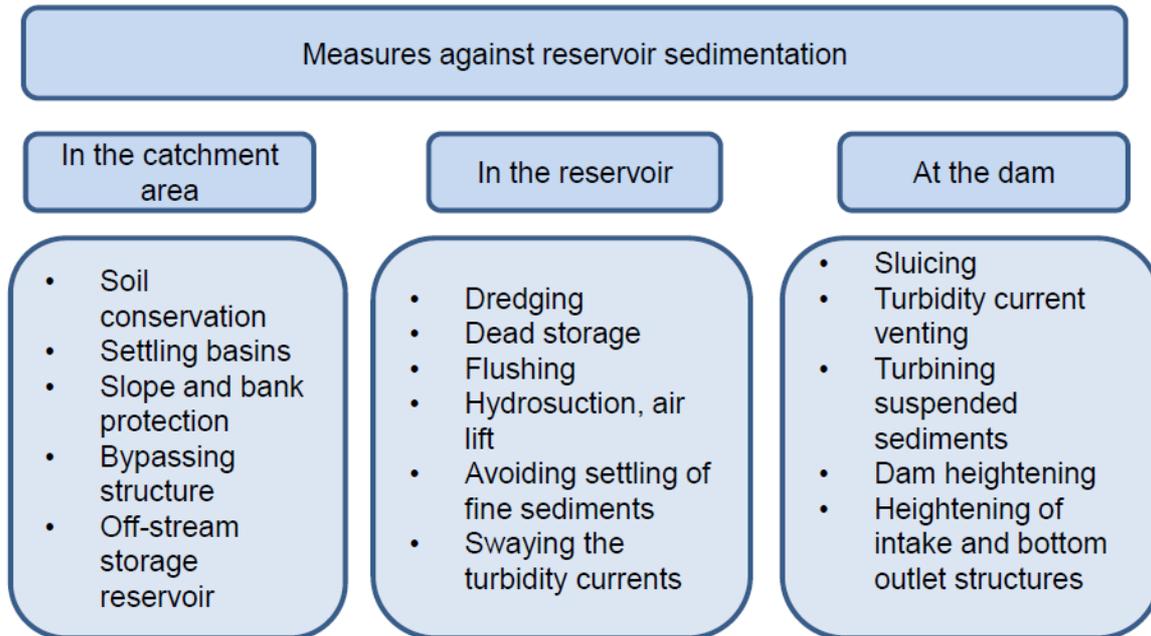
Этот диапазон неопределенности не может быть сужен на этом этапе исследований. В целях исследования, в виде консервативного подхода, рассматривается значение 100 млн м<sup>3</sup>/год, как репрезентативное предположение по твердому стоку наносов.

В следующей фазе исследования необходимо завершить оценку твердого стока реки Вахш с использованием современного оборудования по измерению наносов, чтобы уменьшить диапазон неопределенностей по годовому твердому стоку.

## **6 ОБЗОР ДОСТУПНЫХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ СЕДИМЕНТАЦИЕЙ**

### **6.1 Список возможных мер**

Для обеспечения безопасности и устойчивости проекта, можно рассмотреть несколько решений для уменьшения воздействия седиментации:



**Рисунок 6.1: Список возможных мер для управления наносами ( после Глейса и Оеху, 2002 г.)**

Следующие возможные смягчающие меры и их применимость к условиям Рогунской ГЭС рассматриваются в следующих параграфах:

- Уменьшение притоков наносов с:
  - управление водосборным бассейном
  - верхние шлюз-регуляторы
  - перепускной канал водохранилища
  - внеусловное хранение
- Управление седиментацией в водохранилище с:
  - Соответствующие эксплуатационные правила
  - Тактические дноуглубительные работы
- Вынос седиментации из водохранилища с:
  - Промывкой

## 6.2 Сокращение притоков седиментации

### 6.2.1 Управление водосборным бассейном

Управление водосборным бассейном доказало свою эффективность в снижении эрозии почвы в некоторых случаях, когда водосборный бассейн был ограничен, и тип растительности подходящий.

В случае Рогунской ГЭС, водосборный бассейн является вне пропорции и, кроме того, почва естественно бедная и не подходит для лесонасаждения или специфичного метода сельского хозяйства (защита дамбой, террасирование ...), поскольку сельское хозяйство в водосборном бассейне Рогунской ГЭС ограничено скотоводством.

## 6.2.2 Верхние шлюз-регуляторы

Вариант верхних шлюз-регуляторов будет состоять из перехватывании или хранения наносных притоков Вахша на притоках вверх по течению от водохранилища Рогунской ГЭС. Это требует опорожнения уловителей от седиментации после каждого паводка.

В случае с Рогунской ГЭС, основные притоки, должны быть оборудованы, чтобы иметь значительный эффект. Количество улавливания наносов в ловушках и чистка его после паводка является важным и может потребовать значительных средств: даже если половина от общих притоков может быть захвачена, то это означает, что 30 млн. м<sup>3</sup> седиментации должна быть чистой и перевозиться грузовыми автомобилями каждый год. Это потребует оборудования и рабочих больше, чем во время строительства плотины, где около 5 млн. м<sup>3</sup> (71 млн.м<sup>3</sup> в 15 лет) материала будет транспортироваться из занимаемых площадей и помещено в плотину каждый год.

Это решение не может быть применено в Рогуне, учитывая количество эвакуируемых наносов.

## 6.2.3 Внерусловое хранение

Внерусловое хранение состоит в отводе реки во время большой транспортировки наносов в специфичное водохранилище за пределами русла реки, в небольшом притоке, например.

В случае с Рогунской ГЭС, рельеф не подходит для такого решения: потому что притоки это долины с крутыми склонами, сборные площади в верхней части очень маленькие по сравнению с ежегодным твердым стоком.

## 6.2.4 Перепускной канал водохранилища

Это решение состоит в отводе паводка наносов вокруг водохранилища: во время большого паводка река будет отводиться из водохранилища в определенный водовод, что достигает основную реку вниз по течению от плотины.

Эта техника является возможной, когда топография участка подходит это позволяет построить ограниченные водоотводящие сооружения. Успешным примером является плотина Недл в Южной Африке (см. рис 6.2).



**Рисунок 6.3: Плотина Недл (Южная Африка) – Перепускной канал водохранилища**

В случае с Рогунской ГЭС, водохранилище довольно прямой формы делает это решение трудным: как показано на рисунке 6.3, аналогичной концепции потребуются по меньшей мере туннель в 30 километров через правый берег, чтобы только продлить срок службы половины водохранилища ниже по течению. Это беспрецедентный в прошлом опыт для таких сооружений. Кроме того, поперечное сечение таких туннелей должно быть достаточно большим для безопасного пропускания паводков с отложениями (*наносами*) и могут потребоваться крупных эксплуатационных затрат, ставящих под сомнение экономическую осуществимость такого сооружения.

Более того, сбрасывание наносов в водохранилище Нурека может только усилить проблему Нурекского проекта. И вдобавок годовой расход наносов не сконцентрированы на короткий период времени, но распространяется на весь сезон половодья. Отвод всего сезона половодья не допускает ежегодного наполнения водохранилища.

Технические проблемы, связанные с оседанием наносов и высокими затратами на такой крупный и длинный туннель, предполагают, что обходной туннель не может быть осуществим.

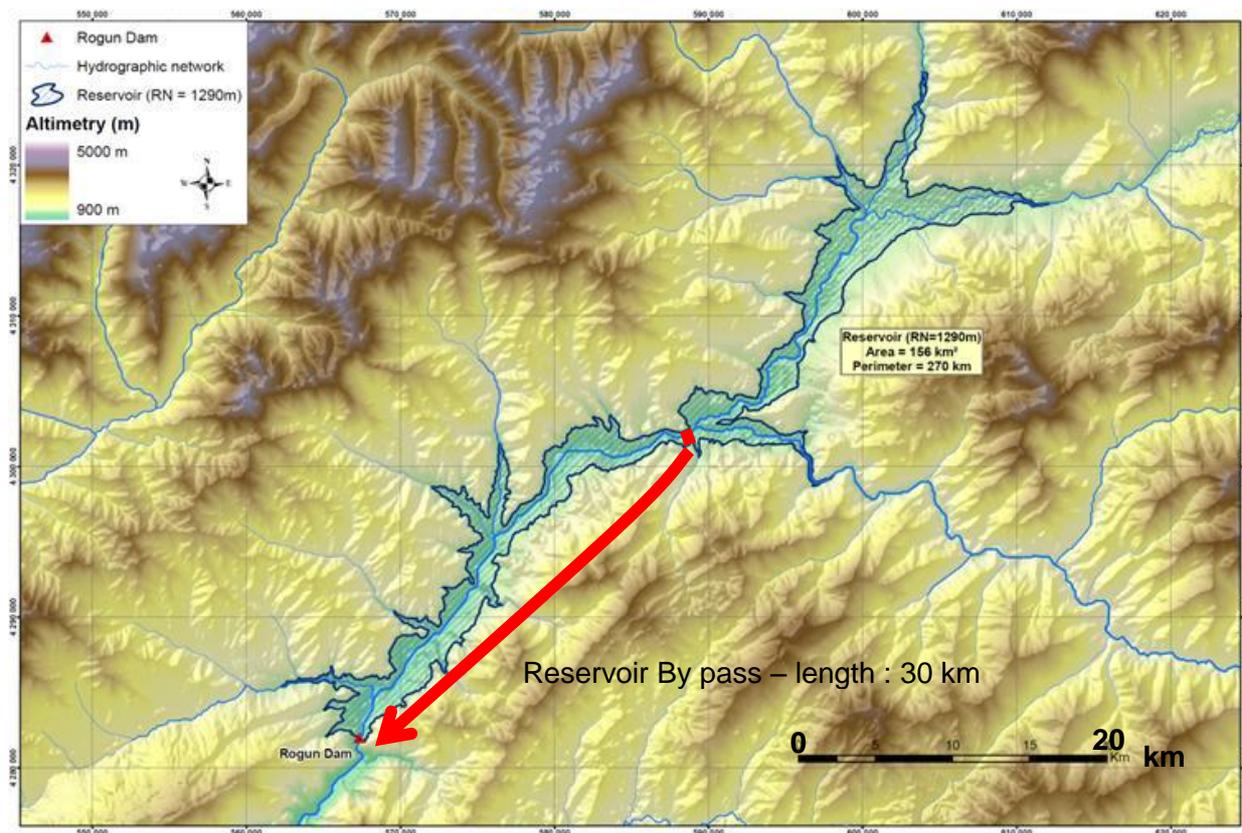


Рисунок 6.4: Предполагаемая схема – Перепускной канал наносов Рогунской ГЭС

### 6.3 Управление наносами в водохранилище

#### 6.3.1 Соответствующие эксплуатационные правила

Седиментация водохранилища и развитие дельты наносов в сторону плотины может быть проконтролирована до определенной степени, контролируя условия эксплуатации водохранилища (включая модификацию уровня водоприемников в течение срока службы проекта, для продления этапа выработки).

На плотине Тарбела в Пакистане водохранилище составляет около 90 км в длину и около 30 летний фронтальный откос продвинулся в 10 км от водоприемников и песок уже входит в выпускное отверстие ГЭС. Уровень водохранилища снижается каждый год примерно на 70 м и в начале паводкового сезона высокая скорость течет над фронтальным откосом осажженной седиментации в основном мелкий песок помог фронтальному откосу двигаться вниз по течению в очень быстром темпе, около 2,5 км/в год.

Согласно исследованиям по эксплуатации, годовая сработка водохранилища равна 30 м для самого высокого варианта (10% от максимальной глубины водохранилища), 50 м для среднего (17%) и 80 м для самого низкого варианта (33%). Чем выше вариант, тем менее он чувствителен к ежегодной сработке.

*Однако устойчивое управление наносами такого крупного водохранилища в любом случае желательно скорректировать эксплуатационное правило водохранилища в соответствии с распределением наносов. Это включает поднятие уровня водоприемников для удлинения срока службы энергосистемы. Предлагаемый план управления наносами во время эксплуатации описывается в следующем параграфе.*

*Интерпретация седиментации Нурекского водохранилища даст нам фактическую скорость седиментации, скорость его конфигурации и развития фронтальных откосов за последние 40 лет. Эта информация позволила бы хороший прогноз краткосрочной (Стадия 1) эволюции седиментации водохранилища Рогунской ГЭС.*

### **6.3.2 Тактические дноуглубительные работы**

Тактические дноуглубительные работы состоят в локализованных дноуглубительных работах наиболее критической области: водоприемники, оголовки водосбросов. Удаленный объем здесь намного ниже, чем ежегодного стока (ил и глинистые фракции могут проходить), это может продлить срок службы водохранилища.

*В случае Рогунской ГЭС, такие дноуглубительные работы могут быть определены только через несколько десятилетий, когда фронтальная седиментация подберётся к водоприемникам ГЭС. Тем не менее, учитывая наносы за год, тактические дноуглубительные работы могут не принести значительного эффекта по защите водоприемников от засорения.*

## **6.4 Эвакуация седиментации из водохранилища**

### **6.4.1 Промывка водохранилища**

Промывка заключается в использовании туннели низкого уровня для удаления седиментации, уже отложенной в водохранилище, благодаря скорости потока и ее транспортировки вниз по течению от плотины.

Такое решение может быть очень эффективным в узких и небольших водохранилищах: в этом случае промывка производится до полного попуска водохранилища. "Отчет возможность промывки седиментации из водохранилищ", написанный в 1996 году Аткинсоном [9] представляет некоторых водохранилищ, которые были успешно промыты, там начальная емкость всех ниже  $15 \text{ гм}^3$  (100 раз меньше, чем Рогунской ГЭС).

*Такая полная промывка не представляется возможной в случае Рогунской ГЭС, учитывая размер водохранилища: сбрасывание  $13000 \text{ hm}^3$  (или даже  $5000 \text{ hm}^3$ ) воды в паводковый сезон невозможно из-за регулирования использования воды в пределах Амударьинского бассейна, которое запрещает хранить значительный объем воды, который может потребоваться для заполнения водохранилища после промывания. Более того, значительный расход, необходимый для промывания водохранилища не будет пропущен через турбины и выработка электроэнергии значительно упадет:  $13000 \text{ hm}^3$  за год дает средний расход  $400 \text{ м}^3/\text{с}$ , что приблизительно равно модулю (абсолютному значению) реки.*

Тем не менее, частичная сработка может быть использована для очистки территории, близкой к напорным водоприемникам и удлинения срока службы оборудования машинного зала.

Туннель, расположенный чуть ниже водоприемников и сбрасывающий в сая Обишур первоначально предлагался со схемой, описанной на следующем рисунке. Особое внимание должно уделяться поведению локализованного передового слоя перед нестабильностью склона перед напорными водоприемниками и волне песка в напорных водоводах.

Однако было признано, что это решение ведет себя ненадлежащим образом; ввиду того факта, что оно должно будет работать при большом напоре, не меньше чем 110 м для варианта НПУ 1290, так как входное положение расположено примерно в 30 м ниже напорных водоприемников. Были отмечены другие недостатки, связанные с природой сая Оби-Шур, который является единственной возможной точкой расхода для туннеля, начиная от зоны водоприемников.

Особое внимание должно быть уделено поведению неустойчивости локализованного фронтального откоса перед головными сооружениями и песочной волны в водоводах ГЭС.

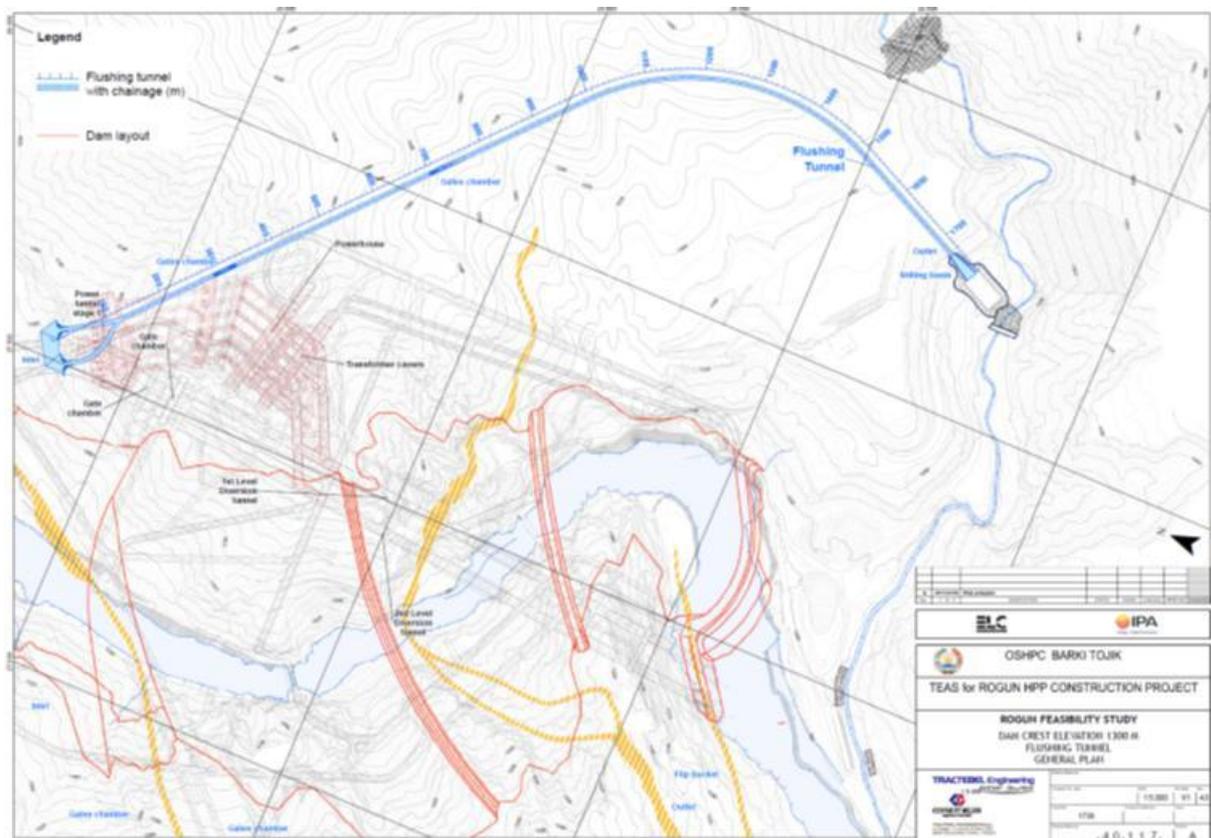


Рисунок 6.5: Предварительная схема – Промывочный туннель

#### 6.4.2 Промывка наносов и отвод мутяевого потока

Промывка наносов состоит в выполнении потокораспределения нагрузки через выходы, прежде чем они отложатся в водохранилище.

*Промывка наносов была доказана эффективной на определенных крупных плотинах по всему миру. Но и наносный тип, и плотинный тип не применимы к Рогуну. Крупные промывные затворы не могут быть установлены внизу или на среднем уровне Рогунского водохранилища для пересечения плотины, так как это насыпная плотина и более того, общий напор на затвор может превысить приемлемый напор (порядка от 50 до 60 м) для предотвращения серьезной кавитации и вибрации затвора*

Отвод мутьевого потока состоит из использования потока, созданного градиентом плотности воды водохранилища для транспортировки наносов вниз по течению от плотины, через специальные туннели или через турбины.

*В случае Рогуна, поток взвешенных наносов мог бы пропускаться через турбины, используя многоуровневые водоприемники, представленные в §7.1.4. и в гидравлических характеристиках компонентов проекта (том 3, глава 3, приложение 4). Естественно, водоприемники установлены ниже, чем требуется нормальной эксплуатацией водохранилища. Эта особенность может позволить пропускать поток взвешенных наносов через турбины, которые могут возникать на дне водохранилища.*

*В лучшем случае, такое устройство может позволить удаление мелких частиц наносов, приблизительно 40% от общего объема наносов. Следовательно, это не позволит держать баланс твердого притока и оттока, зато может замедлить уменьшение емкости водохранилища.*

*Пропуск потока взвешенных наносов через турбины является компромиссным путем для замедления уменьшения емкости Рогунского водохранилища, и должно быть исследовано на следующем этапе исследований, когда будет разработана детальная модель и откалибрована по точному набору данных по Нурекскому водохранилищу.*

*Абразивность мелких наносов транспортируемые рекой Вахш должны быть изучены для оценки осуществимости пропуска потока взвешенных наносов через турбин и оценить влияние такой эксплуатации на гидромеханических оборудований.*

*Следует подчеркнуть, что учитывая большие неопределенности по параметрам, управляющим этим явлением (среднегодовой сток, количество мелких частиц, плотность, объем взвешенных наносов, который достигнет водоприемников, влияние на емкости Нурека и т.д.) консультант не рассматривал сброс потока взвешенных наносов через турбины в определении эксплуатационного срока службы каждого варианта, как это использовалось в экономическом анализе вариантов проекта.*

#### **6.4.3 Механическое удаление**

Извлечение наноса дноуглубительными работами, гидро-отсасывание или сухая экскавация выполняется на нескольких водохранилищах в мире. Во Франции на плотинах Сере Пончон и Сотет крупномасштабные грубые донные наносы добываются на протяжении многих лет.

Емкость Сере Понchon составляет  $1,3 \text{ км}^3$ , т.е. 10% от емкости Рогунской ГЭС. И годовой твердый сток оценивается в 350 000 тонн, т. е. меньше, чем 1% твердого стока Рогунской ГЭС.



**Рисунок 6.6: Удаление крупнозернистых наносов седиментации плотины Саутет (Франция)**

*Здесь, объем ежегодного твердого стока слишком большой для такого метода: если предположить, что  $300\,000 \text{ м}^3/\text{месяц}$  (довольно высокая скорость размещения материала на плотине) материал может быть удалено в течение 6 сухих месяцев, это составит  $1,8 \text{ гм}^3$ , т.е. менее 3% от общего годового твердого стока.*

*Таким образом, механическое удаление не является возможным решением в случае плотины Рогунской ГЭС.*

## **6.5 Замена потерянной емкости**

В случае Рогуна, наращивание плотины не рассматривается как решение, поскольку она достигает практическое ограничение, особенно в отношении управления паводком и гашения энергии.

*С другой стороны, может быть предусмотрено строительство новых плотин, если это даже не решает проблему управления наносами, то отодвинет его выше по течению. Техническая и экономическая осуществимость проектов, выше по течению от Рогуна все еще должна быть оценена, что выходит за рамки данного исследования. Этот вариант не предоставляет никакого долгосрочного решения проблемы седиментации для всего каскада, так как оно только откладывает проблему плотин, заполненных наносами на долгий срок.*

## **7 План управления седиментацией для Рогунского проекта**

### **7.1 Эксплуатационный этап проекта**

#### **7.1.1. Уменьшение емкости в течение эксплуатационного срока проекта**

В течение срока службы водохранилища, прогрессивно уменьшение полезного объема водохранилища. Распределение отложенных наносов в водохранилище и ее эволюция во времени является хорошо известным явлением, хотя его количественное

определение является сложным. На следующем рисунке представлено типичное распределение отложенной седиментации вдоль водохранилища.

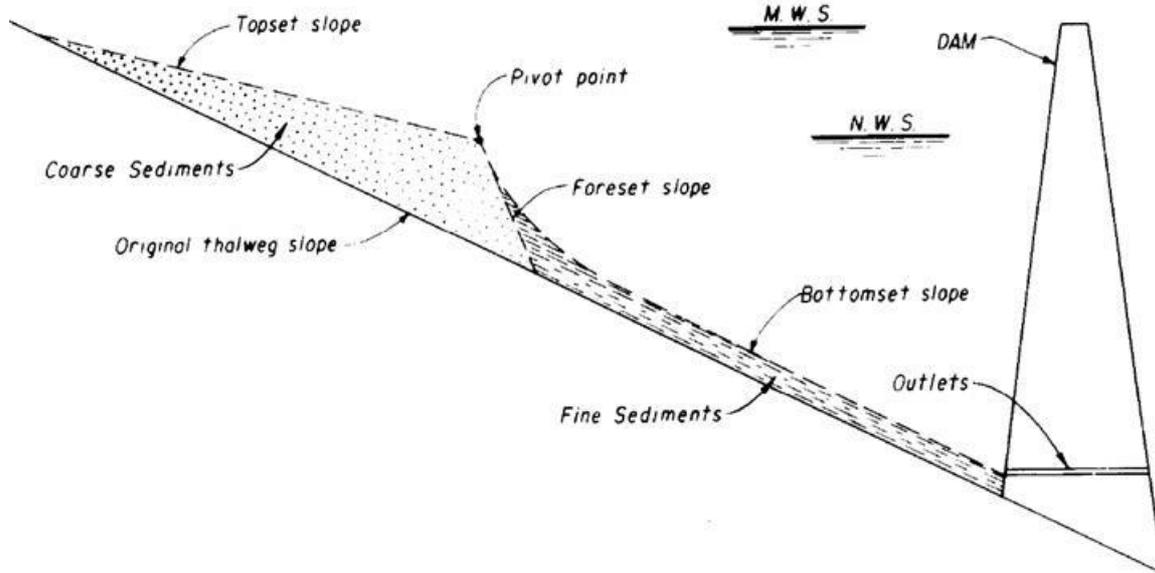


Рисунок 7.1 Типичный профиль отложения наносов (источник БМ США)

В верхней конечности водохранилища, отложены крупнозернистые наносы, так как уменьшается скорость речной воды. Чем мельче элемент, тем меньше скорость его уноса и ближе к плотине его отложения.

Фронтальный откос создается за счет изменения уровня водохранилища: быстрый спуск водохранилища снижает устойчивость отложенной седиментации, что имеет тенденцию скользить в сторону плотины и увеличить толщину подстилающего слоя.

Это показывает, что уменьшение полезного объема начинается в начале срока эксплуатации водохранилища. Водохранилище не заполнено по горизонтали от основания до вершины.

На основе годового твердого стока в  $100 \text{ гм}^3$ , кривая емкости водохранилища может быть подсчитана благодаря предлагаемому методу Бюро мелиорации США (1987) [10], основанному на "Пересмотр процедуры для расчета распределения наносов в Больших Водохранилищах" Дж. М. Лара (USBR, 1962).

Эта процедура является упрощенной, она не учитывает колебания задерживающей способности и распределение наносов по прошествии времени. Этот упрощенный метод достаточен для уровня данного исследования и относительно других факторов неопределенности, особенно оценка годового твердого стока.

На следующем этапе исследования, распределение седиментации в Рогунском водохранилище будет прогнозироваться используя моделирование транспортирования наносов, используя информацию по Нурекскому водохранилищу для калибровки.

На Нурекской ГЭС, можно найти очень точную информацию по седиментации около 40 лет (1972 - 2013), и это довольно длительный срок. Таким образом, очень точный обратный анализ седиментации Нурекской ГЭС можно было бы провести и применить к конфигурации водохранилища Рогунской ГЭС.

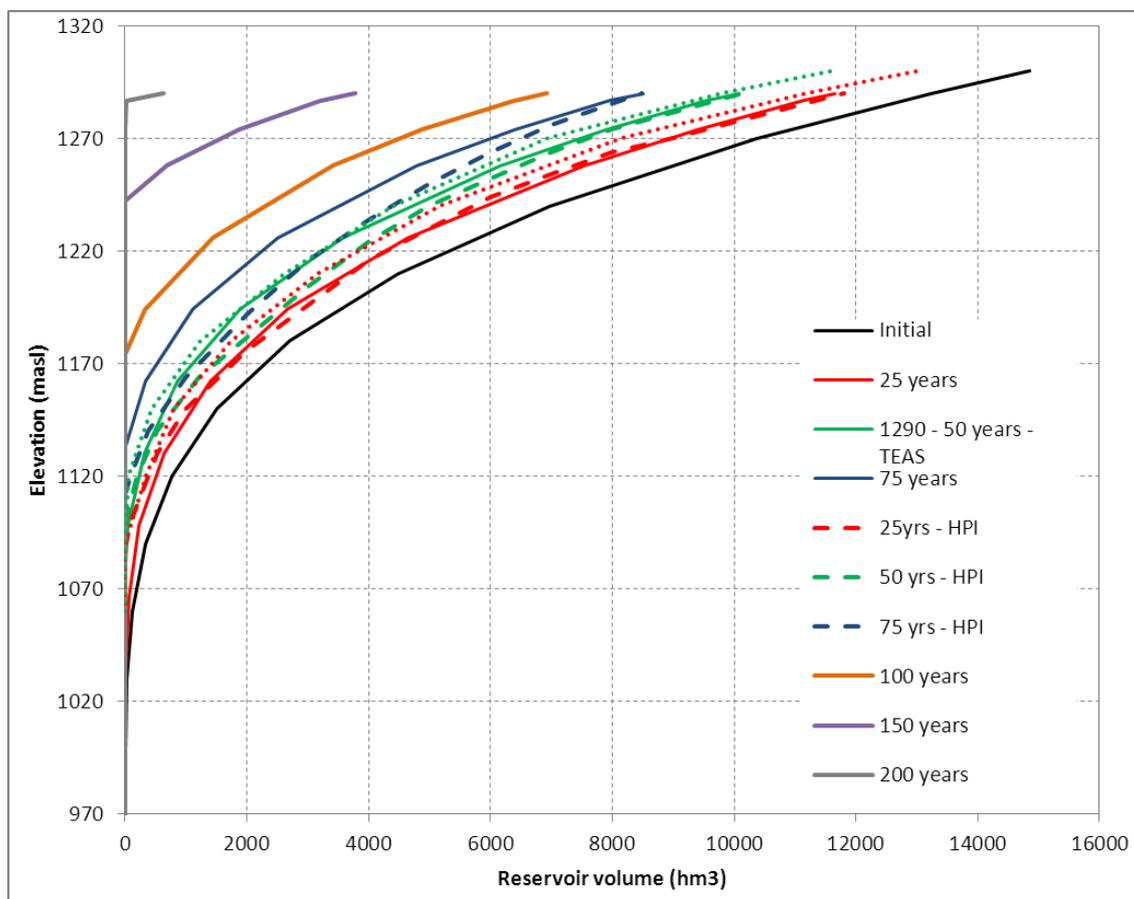


Рисунок 7.2: Кривая полезного объема Рогунского водохранилища – НПУ = 1290 м.н.у.м.

### 7.1.2. Ранняя выработка

Ранняя выработка планируется в период строительства проекта Рогунской ГЭС, необходимо будет адаптировать подачу воды в Агрегаты 5 и 6 для разных уровней водохранилища.

Следствием выработки электроэнергии с использованием низкого уровня водохранилища, когда полезный объем маленький, является то, что риск интрузии седиментации в расход ГЭС может быть высоким. Особенно из-за высокой сейсмичностью в регионе и сжижения фронтального склона может быть вызвана песчаная волна, способная уничтожить водоприемник турбина, как и в случае с Водоприемником ГЭС Амбуклау на Филиппинах.

Следующие устройства, спроектированные ИГП, направлены на защиту машзала от попадания седиментации во время ранней выработки электроэнергии.

- Сначала подающие устройства 5 и 6 специфического водоприемника, используемые от отметки 1055 мнум до 1160 м над уровнем моря, он имеет специальную конструкцию, что делает его пригодным для всего диапазона уровня водохранилища от 1055 до 1160 м над уровнем моря (см. рис 7,3).
- 2 постоянных водоприемных сооружений установлены на отметке 1152 м над уровнем моря и с началом использования через 10 лет после отвода реки.
- 4 другие установлены на отметке 1175 м над уровнем моря.

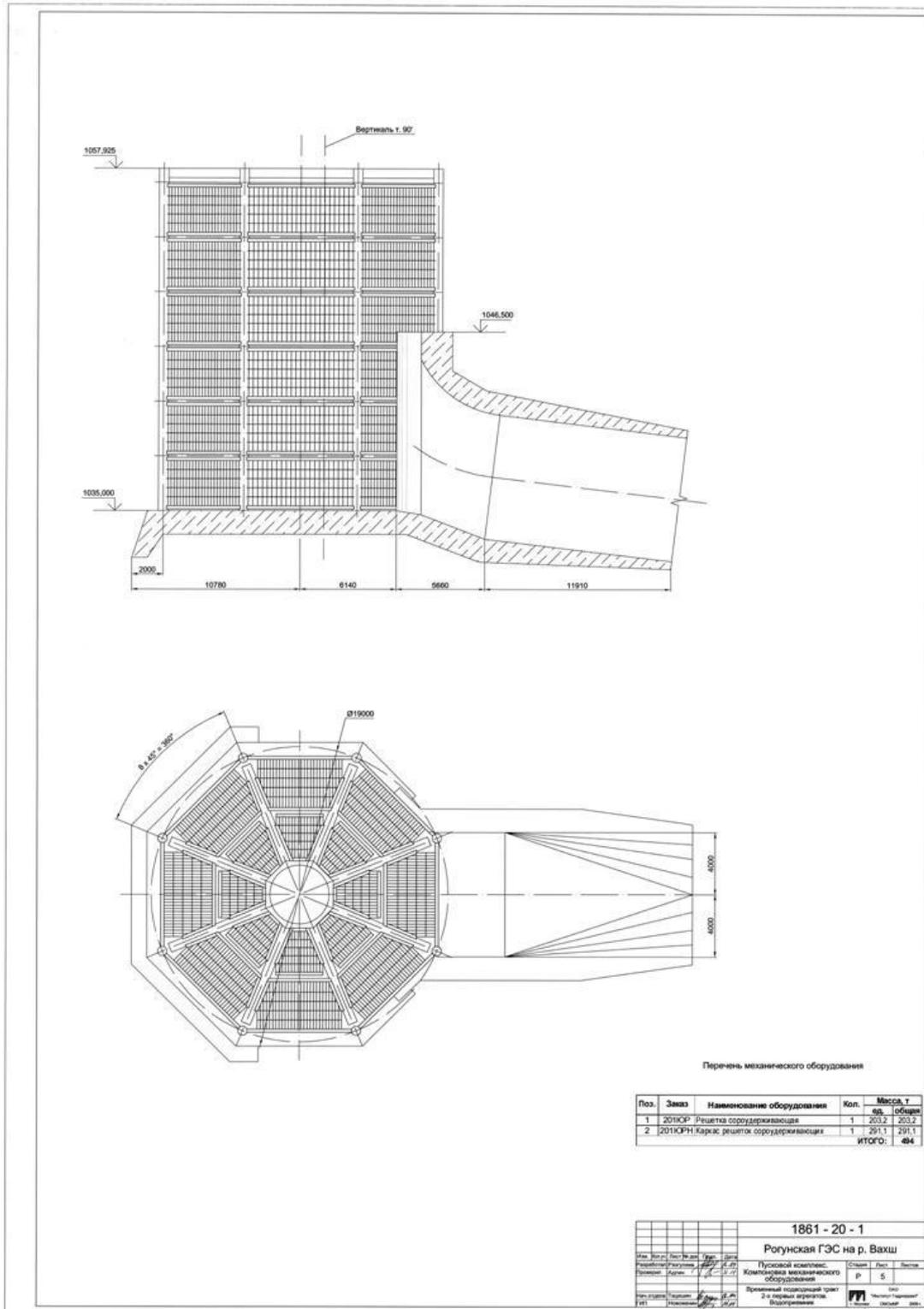


Рисунок 7.3: Кривая полезного объема Рогунского водохранилища – НПУ = 1290 м.н.у.м.

Рисунок 7.4: Чертеж ИГП – Временный напорный водоприемник

### **7.1.3. Влияние на емкость регулирования и выработку электроэнергии**

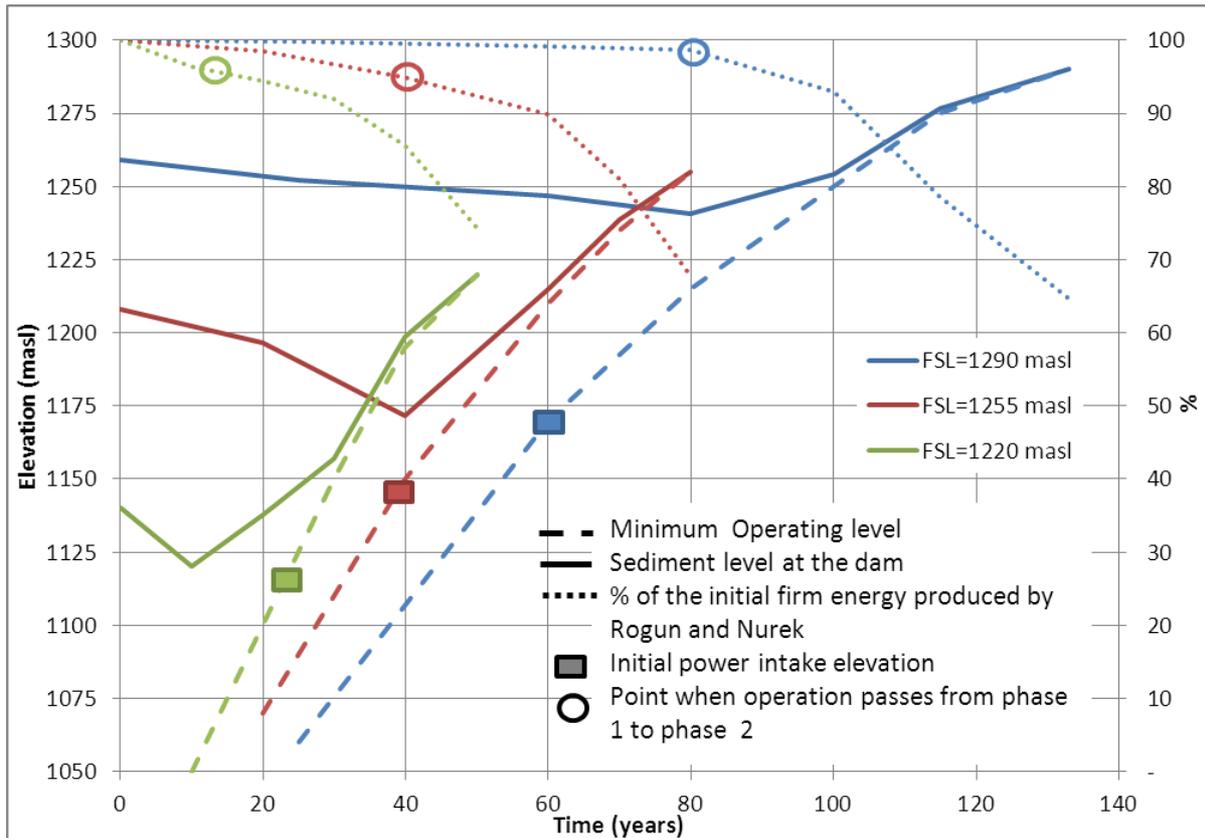
Воздействие на выработку электроэнергии будет оказано сразу, как только полезный объем начнет уменьшаться из-за наносов в водохранилище.

В случае связанной эксплуатации Рогунского и Нурекского водохранилищ, следующее будет постепенно происходить, так как наносы будут оставаться в Рогунском водохранилище:

- Этап 1: Так как увеличиваются потери полезного объема, амплитуда годового колебаний уровней водохранилища (необходимая для регулирования расходов реки) увеличивается, чтобы компенсировать потерю емкости водохранилища. На регулирование расходов (увеличение зимних расходов) это не влияет, но напоры в конце зимы снижаются. Следовательно, выработка электроэнергии может пострадать, если потеря напора значительна по сравнению с общим напором.
- Этап 2: Когда понижение уровня водохранилища (необходимого для регулирования расхода) слишком важно, должна быть пересмотрена оптимальная эксплуатация Рогуна и Нурека: водохранилище Нурека начинает делать вклад в регулирования стока, получая снижение напора зимой. Выработка электроэнергии постепенно снижается.

Сроки этих разных эксплуатационных этапов трудно оценить на данном этапе исследований, в частности из неопределенностей в оценке средних наносов. Тем не менее, было проведено несколько моделирований для оценки выработки электроэнергии на различных этапах, предполагая, что общий объем наносов равен 100 млн м<sup>3</sup>/год и что все наносы остаются в Рогуна (без резерва для потока взвешенных наносов как консервативный подход).

На следующей графике представлена временная вариация минимального уровня Рогунского водохранилища и временная вариация гарантированной электроэнергии, выработанной Рогуном и Нуреком. Этот упрощенный подход позволяет оценить срок службы Рогунского водохранилища с учетом его емкости регулирования и выработки электроэнергии.



**Рисунок 7.5: Эволюция оптимального минимального уровня водохранилища, гарантированной электроэнергии и уровня наносов со временем, для наносов в 100 млн. м<sup>3</sup>/год**

Этапы, описанные выше, могут быть оценены на графике.

Для трех вариантов, первый этап (когда минимальный уровень водохранилища медленно понижается) является постепенным и влияние на электроэнергию ограничено. Чем выше плотина, тем длиннее длится этот этап тем меньше потеря электроэнергии.

В качестве заключения можно сказать, что выработка электроэнергии начинает серьезно страдать (например потеря 5%):

- Через 20 лет для самого низкого варианта;
- Через 40 лет для среднего варианта;
- Через 90 лет для самого высокого варианта.

Когда во время второго этапа минимальный эксплуатационный уровень опять начнет расти, кривая электроэнергии продолжает медленно снижаться и происходит изменение склона, когда новый нижний уровень водохранилища достигает минимального уровня. Затем, кривая более острая и электроэнергия быстро падает, поскольку Рогун потеряет свою регулирующую способность.

#### 7.1.4. Подъем напорных водоприемников

Параллельно со снижением емкости и модификацией совместной эксплуатации Рогуна-Нурека, другое явление способное оказать влияние на выработку электроэнергии является заглужение напорных водоприемников наносами.

Отметки напорных водоприемников должны быть достаточно низкими для удовлетворения требований ранней выработки во время строительства плотины. В таблице 7.1 представлен анализ чувствительности, произведенный по сроку службы напорных водоприемников.

| Вариант плотины (НПУ)                                  | 1290  | 1255  | 1220  |
|--|-------|-------|-------|
| Отметка (Первоначальный порог водоприемника)           | 1172  | 1140  | 1115  |
| Срок службы (года) (с 60/100 млн. м <sup>3</sup> /год) | 90/60 | 60/40 | 30/25 |

**Таблица 7.1 : Анализ чувствительности и срок службы напорных водоприемников без специальных мер**

Устанавливая эти данные на предыдущий график, можно заметить, что для двух высоких вариантов, заглужение водоприемников наступит задолго до уменьшения емкости регулирования. Без специальных проектных мер, выработка электроэнергии может быть ограничена сроком службы водоприемников.

Поэтому консультант предлагает специальный проект водоприемников, который удлинит срок службы станции. Порог напорного водоприемника останется на той же отметке, но будет продолжено бетонное сооружение на склоне берега, оборудованное несколькими затворами на нескольких отметках. Это позволит открывать и закрывать затворы по мере подъема наносов, и адаптировать отметку напорного водоприемника по мере необходимости. Упрощенная схема представлен ниже, подробности сооружений представлены в разделе гидравлики (том 3, раздел 3, приложение 4).

Это сооружение так же может позволить пропускать возможные наносы в взвешенном состоянии через турбины, как описано в разделе гидравлики. Но это явление не учитывается для определения срока службы каждого варианта, так как на этом этапе трудно точно оценить объем взвешенных наносов, которые ежегодно могут пропускаться через турбины и поскольку влияние на гидромеханических оборудований не оценена.

Благодаря этому устройству, которое виртуально позволяет поднять уровень водоприемника, срок выработки электроэнергии удлинится и адаптируется к сроку службы водохранилища. Поэтому рассматривается, что это сооружение может использоваться пока наносы не достигнут НПУ минус резерв безопасности 15 м. Следующая таблица представляет срок выработки электроэнергии Рогуном, который рассматривается в экономических и финансовых исследованиях вариантов:

| Вариант плотины (НПУ)                               | 1290 | 1255 | 1220 |
|---|------|------|------|
| Срок службы (лет) (с 100 млн. гм <sup>3</sup> /год) | 115  | 75   | 45   |

**Таблица 7.2 : Срок службы напорного водоприемника с поднимающимся водоприемником**

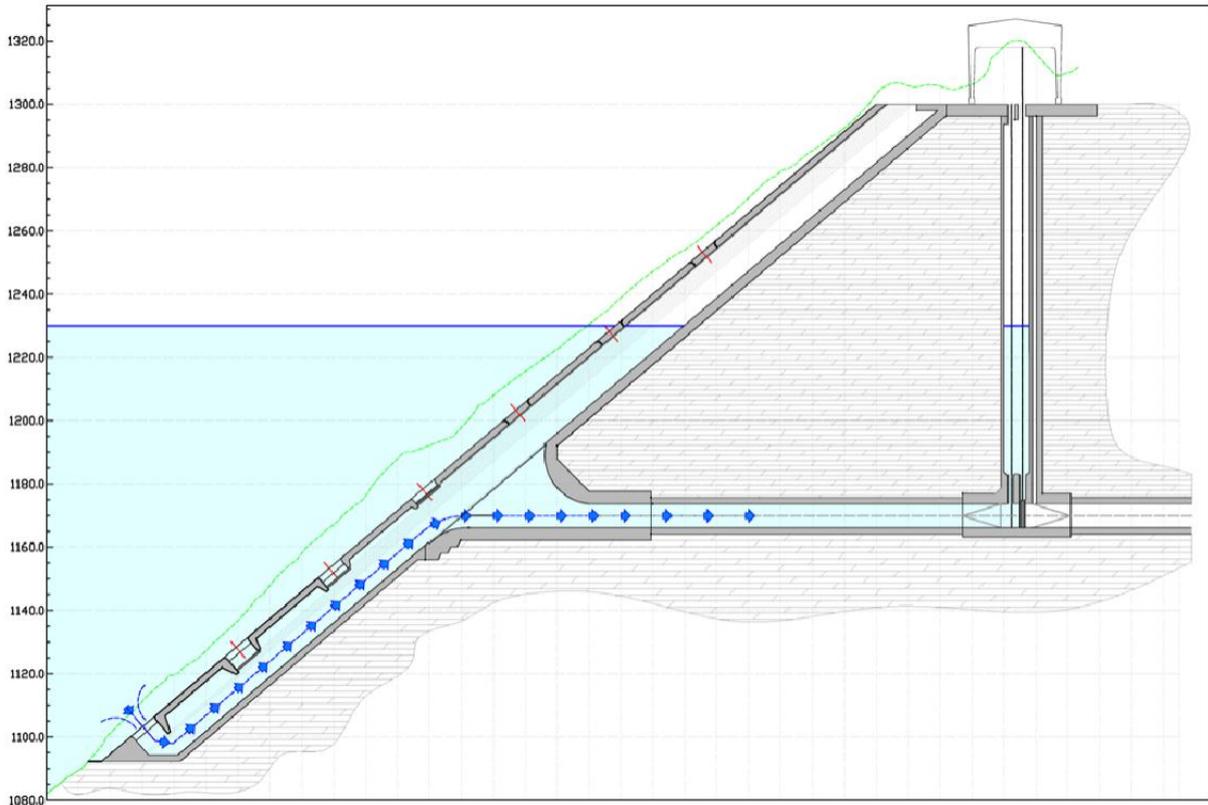


Рисунок 7.6: Схема напорного водоприемника для увеличенного срока службы

#### 7.1.5. Влияние на электромеханическое оборудование

На электромеханическое оборудование Рогуна наносы окажут влияние только после долгого эксплуатационного периода: водохранилище выступает в роли илоотделителя и вода проходящая через турбины будет свободной от наносов, пока не будет достигнут порог водоприемника. Сегодня то происходит в Нуреке.

Когда мутевой поток достигнет специального водоприемного сооружения, необходимо принять решение если взвешенным наносам будет дозволено проходить через турбины, или предотвратить их попадания с использованием водоприемника на более высокой отметки. Требуется дополнительные испытания, для полного понимания свойства взвешенного материала в мутевом потоке. Это поможет при оценки полезности их пропуска через агрегатов против потенциального негативного влияния на электромеханических оборудований.

Когда крупнозернистый материал достигнет верхней позиции специального водоприемника:

- Оборудование будет подвержено эрозии крупнозернистыми наносами и машинный зал должен быть выведен из эксплуатации;
- Или должен быть спроектирован специальный илоотделитель и введен в эксплуатацию, для сохранения Рогуна в качестве русловой гидроэлектростанции.

В обоих случаях должно быть введено долгосрочное управление наносами, для гарантирования баланса между притоками наносов и оттоками, для обеспечения долгосрочной безопасности. Это подробно изложено в следующем параграфе.

## 7.2 Долгосрочное управление наносами и устойчивость:

### 7.2.1 Определение конца срока службы:

Как уже указывалось выше, основываясь на прогнозном диапазоне стока, для каждого варианта может быть вычислен конечный срок службы (когда машинный зал выводится из эксплуатации с окончательным уровнем водоприемника на уровне НПУ – 15 м) (см. таблица 7.3).

|                   | Общий объем<br>(hm <sup>3</sup> ) | 100 млн. м <sup>3</sup> /год |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| НПУ=1290 м.н.у.м. | 13 300                            | 115 years                    |
| НПУ=1255 м.н.у.м. | 8 600                             | 75 years                     |
| НПУ=1220 м.н.у.м. | 5 200                             | 45 years                     |

Таблица 7.3 : Прогнозный окончательный срок службы Рогуна

### 7.2.2 Управление наносами в конце срока службы:

Рогунский проект при текущем проекте предусматривает шахтные водосбросы с затопленными водоприемниками. Свойственные риски в таких концепциях являются кавитация, вызванная высокими скоростями и деградация, вызванная абразивными наносами. Такой риск будет неприемлем после десятилетий, когда крупнозернистые отложения будут пропускаться через водосбросные тоннели и могут вызвать повреждения сооружений.

Риски кавитации без абразивного материала могут быть успешно решены средствами соответствующего гидравлического проектирования и с помощью аэрации. Несколько плотин с поверхностными водосбросами, такие как Братск и Карун и шахтный водосброс в Гленн Каньон, которые страдали от многочисленных проблем с кавитацией, теперь удовлетворительно работают с добавленными аэрационными проблемами.

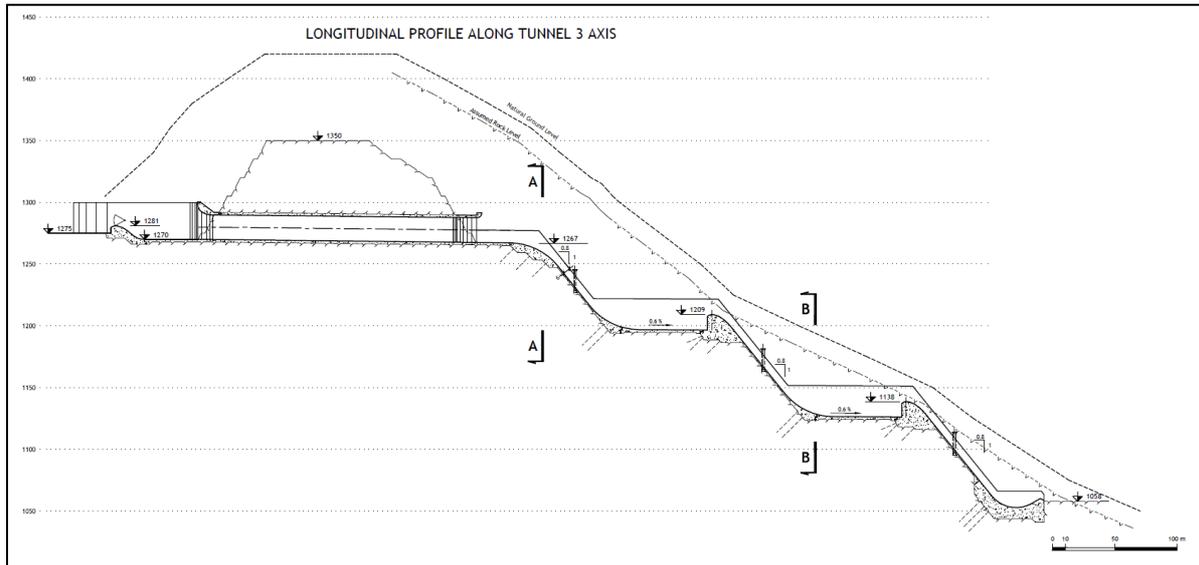
Таким образом, если будут спроектированы соответствующие аэрационные характеристики, то погружные (*затопленные*) водоприемники могут безопасно использоваться в первые десятилетия эксплуатации Рогуна, пока будет сбрасываться чистая вода.

Но, если в определенный период времени, абразивные материалы попадут в тоннель, то могут быть серьезные повреждения.

Более того, согласно проекту консультанта по пропуску паводков, эти тоннельные водосбросы предназначены для защиты Рогуна и всего низового каскада от МВП, благодаря способности Рогунского водохранилища принять и трансформировать паводок. Так как возможности трансформировать паводок со временем будут снижаться, эта защитная функция спроектирована таким образом, чтобы быть эффективной ограниченными периодом времени.

Поэтому свободный поверхностный водосброс с соответствующей аэрацией и гасителем энергии может быть обязательным решением для долгосрочного периода, чтобы безопасно пропускать проектный паводок, когда водосбросные тоннели будут выведены из эксплуатации из-за седиментации.

Консультант разработал проект для такого поверхностного водосброса, который детально описан в отчете по гидравлике (том 3, раздел 3, приложение 4). Устройство для гашения энергии состоит из последовательных водобойных колодцев, которые позволяют контролировать скорость воды в канале до приемлемых величин.



**Рисунок 7.7 : Продольное сечение предлагаемого поверхностного водосброса**

В долгосрочном плане, поверхностный водосброс так же может пропускать твердые притоки и управлять балансом наносов, когда станция и другие водосбросные сооружения будут выведены из эксплуатации. Это может быть решением для пропуска крупнозернистых наносов в долгосрочном периоде и для предотвращения чрезвычайных проблем с безопасностью плотины. Это может потребовать крупных эксплуатационных расходов во время первых лет эксплуатации, с пропуском крупнозернистого материала, проходящим каждый паводковый сезон.

Окончательным концом варианта закрытия может быть демонтаж затворов с поверхностного водосброса, позволяя наносам проходить через водосброс и нижележащие породы в течение нескольких десятилетий.

Данная сценария предусматривает, что врезанная река сможет обойти сооружение плотины, которое будет законсервировано, и медленно пропускать наносы вниз по течению. Могут быть рассмотрены другие варианты за период более 100 лет для обеспечения долгосрочной безопасности законсервированного сооружения, но поверхностный водосброс может рассматриваться как ответ для предотвращения экстремальных сценариев в случае, если в долгосрочном будущем не будет найдено других инженерных решений для Рогунского проекта.

### 7.3 Вахшский каскад

В настоящее время наносы реки Вахш остаются в Нурекском водохранилище. В будущем, если не будет построен Рогун, Нурек будет постепенно заполнен наносами. В среднесрочной перспективе будут затронуты некоторые сооружения (например напорный водоприемник, глубинный водосброс) и в долгосрочном периоде под вопросом будет безопасность проекта.

В это время река Вахш не будет иметь никакой возможности для регулирования, что может значительно снизить электроэнергию, производимую зимой.

Пропуск паводков в Нуреке так же будет проблемой, поскольку водосбросная система Нурека состоит в основном из тоннельного водосброса, как описывался выше, который не справится с твердым стоком. Общая пропускная способность Нурека, в таком случае будет ниже, чем значение ВМП..

Строительство Рогуна значительно снизит скорость заполнения Нурека наносами, обеспечивая регулирование реки для значительного дополнительного периода времени, и отсрочке в необходимости реконструкции системы пропуска паводков, в соответствии с проблемой седиментации.

Это является важной характеристикой проекта Рогун относительно общей устойчивости Вахшского каскада.

## 8 Выводы

Во время первых десятилетий срока службы проекта, весь приток наносов будет откладываться в водохранилище. Согласно произведенному исследованию эксплуатации водохранилища, уровень колебаний водохранилища ограничен по сравнению с глубиной водохранилища. Таким образом, это не будет значительно влиять на выработанную электроэнергию. Этот этап продлится приблизительно 20, 40 и 90 лет соответственно для вариантов плотин 1220, 1255 и 1290 м.н.у.м.

Ввиду необходимости ранней выработки, водоприемники расположены ниже, чем требуется для нормальной эксплуатации водохранилища. В то время как уровень наносов продолжает расти, проект напорных водоприемников позволяет им постепенно подниматься от их первоначального уровня, следуя за подъемом уровня наносов и предотвращая их раннее заглужение. Эта система так же может быть использована для пропуска мелкозернистых взвешенных наносов через турбины, но требуются дальнейшие изыскания и моделирования для оценки объема наносов, которые могут быть пропущены через Рогун.

Во время этого этапа подъема напорных водоприемников, выработка электроэнергии будет постепенно снижаться, по мере того, как постепенно будет снижаться регулирование реки и завершится регулированием Нуреком, который вначале планируется использовать в качестве русловой гидроэлектростанции.

На основе оценки диапазона твердого стока максимальный срок службы водохранилища составляет: 45, 75 и 115 лет для вариантов плотины 1220, 1255 и 1290 м.н.у.м. соответственно.

Относительно пропуска паводка, тоннельные водосбросы и способности водохранилища трансформировать паводок будут способны защитить Рогун и каскад на ограниченное время. Затем должен быть готов весь поверхностный водосброс для эксплуатации и обеспечения безопасного пропуска паводков.

В долгосрочном плане водохранилище будет полностью заполнено наносами, и годовой твердый сток будет пропускаться через поверхностный водосброс. Там каждый год будут значительные работы по техническому обслуживанию, для ремонта повреждений, вызванных транспортировкой наносов в водосбросном канале, но безопасность плотины будет обеспечена. После нескольких десятилетий этой ситуации, должен быть предусмотрен сценарий закрытия, включая предложенный поверхностный водосброс, в качестве сооружения байпаса реки, предотвращая крайние катастрофические сценарии.

## 9 РЕКОМЕНДАЦИИ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ШАГИ

Диапазон твердого стока реки Вахш составляет 60-100 млн м<sup>3</sup>. Оценка твердого стока Вахш должна быть завершена с помощью современного технического уровня отбора образцов наносов и проведением подробного исследования седиментации в водохранилища Нурека до фазы детального проектирования.

В зависимости от вариантов, конечный срок службы всего водохранилища находится в диапазоне 50-80 лет для самого низкого варианта, 80-140 для среднего и 130-210 лет для самого высокого варианта.

Человек не сможет контролировать транспортировку наносов реки Вахш, в лучшем случае, это можно задержать и/или ограничить их влияние на предлагаемый проект Рогунской ГЭС и предложить вариант для завершения эксплуатации, гарантирующего баланс наносов, когда плотина будет законсервирована.

На данном этапе исследования и с учетом имеющихся данных, некоторые общие рекомендации по проектированию и эксплуатации могут быть сделаны:

- полный поверхностный водосброс необходим в качестве долгосрочной меры, для безопасного пропуска паводков и их твердых частиц
- эксплуатация и Рогуна, и Нурека будет адаптироваться по мере отложения наносов в водохранилище Рогунской ГЭС.
- Должен быть построен многоуровневый напорный водоприемник для продления срока службы станции.
- В конце должно быть спроектировано илоотделительное устройство, для сохранения Рогуна в качестве русловой гидроэлектростанции, с одновременным пропуском излишних отложений через предложенный поверхностный водосброс.

Дальнейшие исследования и физическое гидравлическое моделирование будет необходимо, чтобы разработать полный план управления наносами, который должен быть с использованием опыта Нурекской ГЭС. Таким образом, рекомендуется следующее:

- Тщательный анализ Нурекской седиментации благодаря новым исследованиям, включая батиметрию эхолотами, отбор керна, измерения концентрации взвешенных наносов и гранулометрический состав;
- Подробное моделирование распределения наносов в Нуреке и Рогуне, включая поведение возможных взвешенных наносов;
- Анализ возможного влияния на постоянных оборудований идущее от пропуска мутьевого потока через многоуровневого водоприемника; если исследования покажут неприемлемого неблагоприятного влияния, многоуровневый водоприемник будет использоваться только для продолжения эксплуатации станции, когда наносы будут выше уровня подводящего тоннеля.
- Оптимизация управления наносами для всего каскада.