

# ИССЛЕДОВАНИЯ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

## ФАЗА II: ВАРИАНТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЕКТА

### Том 2: Исходные данные

#### Глава 2: Геология

#### Част А: Оценка геологических условий

Август 2014

Отчет № P002378 RP34 Ред. В

В	19/08/201	Окончательный – Август 2014	Сильвию Ианос	Луи Буза	Луи Буза
Б	31/03/2014	Окончательный	Сильвию Ианос	Николя Санс	Николя Санс
А	11/12/2012	Первое издание	Сильвию Ианос	Кристоф Вибер	Николя Санс
<b>Редакция</b>	<b>Дата</b>	<b>Тема редакции</b>	<b>Подготовлено</b>	<b>Проверено</b>	<b>Одобрено</b>

## Содержание

<b>1. Предисловие.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Региональная геология.....</b>	<b>14</b>
2.1. Местоположение и региональная морфология.....	14
2.2. Региональные тектонические блоки .....	17
2.3. Основные региональные структуры .....	18
2.3.1. Глубинные разломы земной коры: Гиссаро-Кокшаалский и Иляко-Вахшский разломы.....	22
2.3.2. Верхние уровни земной коры.....	22
2.4. Особенности регионального строения.....	23
<b>3. Геология участка .....</b>	<b>26</b>
3.1. Морфология .....	26
3.2. Литология.....	27
3.3. Геологические структуры .....	31
3.3.1. Основные тенденции и залегания .....	31
3.3.2. Разломы .....	32
3.3.3. Характеристика разрывного нарушения .....	44
<b>4. Устойчивость склонов .....</b>	<b>48</b>
4.1. Оползни, включающие четвертичные отложения.....	48
4.2. Структурно управляемые оползни .....	52
4.3. Камнепад.....	61
<b>5. Инженерная геология .....</b>	<b>62</b>
5.1. Выветривание.....	62
5.2. Трещиноватость.....	62
5.3. Гидрогеология.....	63
5.4. Инженерно-геологическое зонирование .....	64
5.5. Основание плотины.....	65
5.6. Помещения машинного зала и трансформаторного помещения .....	66
5.7. Туннели.....	71
<b>6. Геологические условия зоны водохранилища.....</b>	<b>74</b>
6.1. Введение.....	74
6.2. Эвапоритовые массы и карсты .....	74
6.3. Сейсмические уступы .....	75
6.4. Устойчивость склонов.....	78

6.5.	<i>Просачивание из водохранилища .....</i>	79
<b>7.</b>	<b>Опасности, связанные с геологическими условиями.....</b>	<b>81</b>
7.1.	<i>Выход соли и выщелачивание.....</i>	81
7.2.	<i>Сейсмическая и асейсмическая деформация.....</i>	81
7.3.	<i>Риски оползней.....</i>	82
7.4.	<i>Наносы и селевые потоки .....</i>	86
<b>8.</b>	<b>Выводы и рекомендации.....</b>	<b>88</b>
8.1.	<i>Исследования .....</i>	88
8.2.	<i>Сейсмичная и асейсмичная деформация .....</i>	88
8.3.	<i>Риск оползней.....</i>	89
8.4.	<i>Обзор основных опасностей связанных с геологическим строением .....</i>	90
<b>9.</b>	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>92</b>

## Список рисунков

Рисунок 1. Расположение разведочных штолен и скважин на участке плотины (с [10], после чертежа 1079-03-183 ТЭО).....	12
Рисунок 2. Вид верхнего бьефа с правого берега створа плотины.....	14
Рисунок 3 Левый берег реки Вахш около створа плотины, с нижнего бьефа (выше) и с нижнего бьефа (ниже).....	15
Рисунок 4 Подробности тектонических гипсовых линз и карстовые воронки на уступе Вахшского хребта.....	16
Рисунок 5. Расположение Рогунской ГЭС на карте тектонического районирования Таджикистана с крупными сейсмогенными разломами.....	17
Рисунок 6. Широкая зона дробленных пород между двумя крупными разломами: Гиссаро-Кокшаалская (слева) и Иляко-Вахшская (справа).....	18
Рисунок 7. Карта движения Неогеновой тектоники в зоне Рогунской ГЭС, 1975 (изменен с [10], Том 3 С).....	19
Рисунок 8. Основные разломы около зоны проекта. Происхождение: выдержка из карты структурной геологии Рогунской ГЭС, 1975. ....	20
Рисунок 9. Схематическое региональное геологическое положение .....	21
Рисунок 10. Пояснительное воссоздание пред-Вахшской долины (из [8]).....	24
Рисунок 11. Вид верхнего бьефа зоны поворота реки Вахш. ....	25
Рисунок 12. Вид створа плотины с верхнего бьефа (наверху) и с нижнего бьефа (снизу). ....	26
Рисунок 13. Пояснительная блок-схема глубокого фундамента плотины (от ТЭО 1978). ....	27
Рисунок 14. Соляной пласт в Йонахшском разломе на правом берегу.....	29
Рисунок 15. Правый берег на створе плотины.....	31
Рисунок 16. Схематический разрез показывающий скорость боковых или горизонтальных движений основных разломов (модифицирован с [3]).....	32
Рисунок 17. Йонахшский разлом на правом берегу. ....	33
Рисунок 18. Йонахшский разлом в скважине WRB2.....	36
Рисунок 19. Толстая и деформированная линза гипса в Йонахшском разломе. ....	37
Рисунок 20. Краткое изложение результатов сейсмической разведки в Линии 2, пересекающий толстую линзу гипса из рисунка выше. ....	37
Рисунок 21. Гулизинданский разлом на правом берегу долины Оби-шур.....	39

Рисунок 22. Разлом № 35 на левом устое плотины. ....	40
Рисунок 23. Серия разрывных нарушений семейства разлома № 35 на правом устое. ....	41
Рисунок 24. Разрывные нарушения семейства разлома № 35, падающие в сторону верхнего бьефа на левом устое. ....	42
Рисунок 25. Разломы на верхней части левого устоя. ....	43
Рисунок 26. Заметные наборы трещин у створа плотины (здесь, в нижней части правого берега). ....	45
Рисунок 27. Смещения по субгоризонтали и разрывы S4, верхняя часть горы нижнего бьефа около границы атипичной зоны. ....	46
Рисунок 28. Смещения на сплошные субгоризонтальные/неглубокие разрывы, правый берег, нижний бьеф. ....	47
Рисунок 29. Зонирование процессов нестабильности склонов. ....	49
Рисунок 30. Накопление толстых отложений на склоне (3) на левом берегу верхнего бьефа. ....	50
Рисунок 31. Зонирование склона атипичной зоны. ....	51
Рисунок 32. Древний оползень в центральной части атипичной зоны. ....	51
Рисунок 33. Атипичная ровная территория. ....	53
Рисунок 34. Интерпретируемые поперечные разрезы «зоны оползня» (в [1]). Вид в сторону нижнего бьефа (ЮЗ). Первоначальное расположение наверху и расположение после оползня снизу. ....	54
Рисунок 35. Карстовая воронка в толстом слое гипса, левый берег сая Арарак. ....	55
Рисунок 36. Соляные тектоники, пузырьчатые складки на левом берегу напротив атипичной зоны. ....	56
Рисунок 37. Крупная складка на левом берегу сая Арарак. ....	57
Рисунок 38. Карстовые воронки вытянуты параллельно пролеганию восточной части высокой террасы. ....	58
Рисунок 39. Интерпретируемый поперечный разрез правого берега, вид с ЮЗ. ....	59
Рисунок 40. Левый берег сая Арарак. Компактная складка в Конякских слоях. ....	60
Рисунок 41. Протяженность цементационной завесы (в [1]). ....	66
Рисунок 42. Участок трещин алевролитов формации Нижний Обигарм. ....	67
Рисунок 43. Участок системы трещин в песчаниках верхне Обигармской формации. ....	69

Рисунок 44. Расщепление бетонной облицовки и вскрытие строительного шва бетонирования в СТ1 (верхний) и СТ2 (нижний). .....	72
Рисунок 45. Проседание поверхности наносит ущерб зданиям. ....	75
Рисунок 46. Недавние сдвиги (стрелки) около подножия Вахшского водораздела на территории кишлака Лабидара.....	76
Рисунок 47. Недавнее движение и предполагаемый оползень около подножия Вахшского водораздела, между долинами Ходжаалишо и Тагикамар (сгруппированные цифры из [11]). .....	77
Рисунок 48. Недавние сдвиги у подножия Вахшского водораздела, пересекающей овраг (лощину) Танакба.....	78
Рисунок 49. Оползень по нижнему бьефу правого берега Пассиморухо .....	79
Рисунок 50. Зона древнего оползня в центральной части склона. Стрелка обозначает корону недавно активизировавшегося оползня. ....	83
Рисунок 51. Местоположение геодезической системы мониторинга.....	85
Рисунок 52. Юрская соль в долине Пассиморухо. ....	86

## 1. Предисловие

### Перечень основной литературы, имеющей значение для геологических условий Рогунской ГЭС

- [1] Рогунская ГЭС на реке Вахш, Технический проект. Гидропроект Ташкент 1978.
- [2] Инженерно-геологические условия строительства плотины Рогунской ГЭС, А.В. Количко и В. Н. Фил, 1981.
- [3] Техничко-экономическое обоснование для фазы 1 первой очереди строительства плотины Рогунской ГЭС. ИГП Москва, 2000 г.
- [4] Инструментальный мониторинг новейшие тектоники в области строительства Рогунской ГЭС. Ленметрогипротранс ("ОАО" ЛМГТ), г. Санкт-Петербург 2005 г
- [5] Спецификация исходной сейсмичности области Рогунской ГЭС и определения проектирования параметров воздействия землетрясения. ООО "Центр геодинамических исследований", "РКУ", г. Москва (для Гидроспецпроект) 2005 г
- [6] Спецификация начальной сейсмичности Рогунской ГЭС площадь и характеристика проектируемой сейсмической нагрузки ИГП Москва 2005 г.
- [7] Геофизические и инженерно-геологические изыскания для диагностического исследования существующих конструкций подземной части Рогунской ГЭС Геодинамический Исследовательский Центр (ГИЦ), Москва 2005 г.
- [8] Инструментальный мониторинг новейших тектоник в районе строительства Рогунской ГЭС, А.В. Количко, 2005 г.
- [9] Современное состояние подземного машинного зала Рогунской ГЭС, Количко А.В., 2006 г
- [10] Рогунская ГЭС в Республике Таджикистан, банковское ТЭО для достройки строительства первой очереди. Геология, геотехника и сейсмические характеристики. ЛИ, 2006 г.
- [11] Сравнительный анализ риска обвалов в зоне водохранилище Рогунской ГЭС для НПУ 1240 и 1290м, ЦСГНО, Москва, 2006 г.
- [12] Отчет о сборе и анализе результатов инженерно-геологических, инфильтрации грунтовых вод, геомеханических, геофизических и других видов исследований в области основных структур для разработки проекта Рогунской ГЭС. ИГП 2009 г.
- [13] Рогунская ГЭС, Концепция достройки проекта, ИГП, 2009. В частности, «Концепция развития первой очереди станции, пояснительная записка» и «Геолого-технические условия».
- [14] ИТЭО проекта строительства Рогунской ГЭС, Первоначальный отчет, 2011
- [15] ИТЭО проекта строительства Рогунской ГЭС, Геологические исследования на правом берегу, 2012

## Ранее проведенные исследования и краткая история Рогунской ГЭС

Полевые исследования и разведка начались в 1967 году. Подавляющее большинство геологических и геотехнических исследований проводились в рамках технического проекта, изданное в 1978 году. Результаты этой комплексной работы являются основным ориентиром для всех последующих исследований. Основные места скважин и разведочных штолен показаны на рисунке № 1. Объем работ по основным видам исследований, проведенных в рамках технического проекта, представлен ниже, в таблице 1:

Таблица 1. Краткое изложение геологических исследований на стадии Технического проекта

Вид исследования	Объем
Геологическое картирование и съемка масштаба 1:25 000	390 км <sup>2</sup>
Геологическое картирование и съемка масштаба 1:5 000	19.6 км <sup>2</sup>
Геологическое картирование и съемка масштаба 1:2 000	2.5 км <sup>2</sup>
Геологическое картирование и съемка масштаба 1:1 000	0.6 км <sup>2</sup>
Бурение с отбором керна	8960 м
Испытания на проницаемость в скважинах	557
Разведочные штольни	4080 м
<i>Геофизические исследования</i>	
- Вертикальное электрическое зондирование	117
- Сейсмические профилирование в штольнях	3400 м
- Сейсмические профилирование в скважинах	480 м
Мониторинг тектонических движений выравниванием, инклинометрами, измерением деформаций вдоль разломов	

После технического проекта, дополнительные геологические и геотехнические данные были получены в ходе строительных работ, которые проводились в период между 1976 и 1993 годами. За такой длительный период наиболее ценные данные были получены из мониторинга конвергенции и поведения горных пород и опор в подземных выработках, включающий половину помещения машинного зала и трансформаторного помещения, не менее 27 км пройденных тоннелей для различных целей.

Другие исследования были проведены позднее, после наводнения 1993 года. Недавние исследования для обновления проекта согласно современным международным стандартам, были проведены с 2000 года, для которого наиболее соответствующими ссылки из списка выше, являются [4], [7], [12] и [13].

В целом, после первоначального исследования для технического проекта, соответствующие геологические данные могут быть получены из исследований, в которых рассматривались конкретные вопросы:



- Мониторинг деформаций в существующих подземных выработках
- Мониторинг неотектонических движений
- Тестирование дилатометром и геофизические исследования для выработок в помещениях машинного зала и трансформаторов
- Сейсмическая разведка атипичной зоны, расположенной на правом берегу, ниже по течению плотины, интерпретируемой как древний оползень
- Очистка и установка испытательных плиток для обработки «соляного купола» в основании плотины.

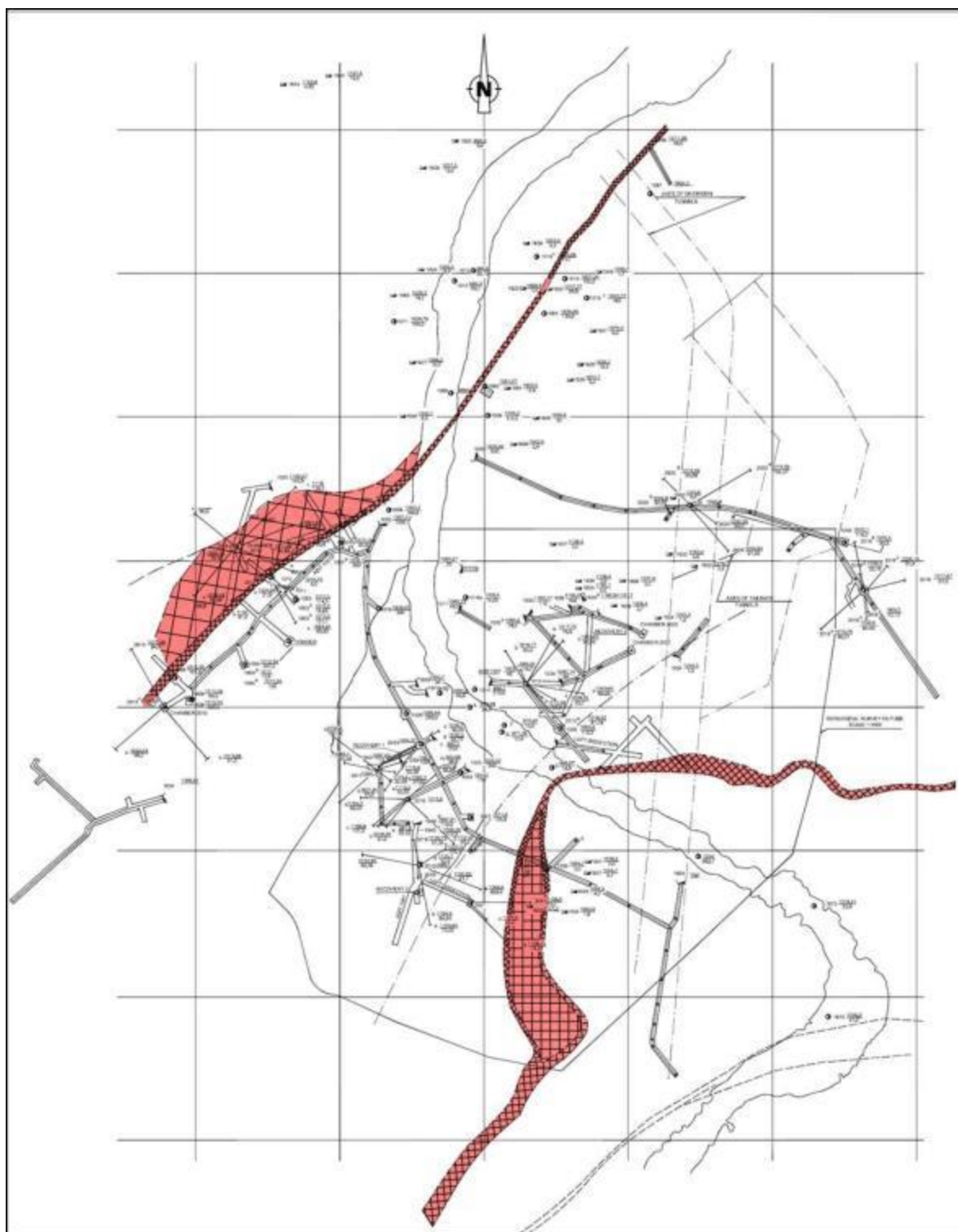


Рисунок 1. Расположение разведочных штолен и скважин на участке плотины (с [10], после чертежа 1079-03-183 ТЭО).

## Дополнительные исследования 2012 года

Принимая во внимание значительный объем геологических и геотехнических данных ранее проведенных исследований, в рамках ИТЭО потребовалась провести лишь органичные дополнительные исследования. Как говорилось в первоначальном отчете 2011 года, дополнительные исследования были разработаны для следующих основных целей:

- Лучшее понимание геологических условий в районе правого берега
- Обновление гидрогеологических данных и модели
- Обновление некоторых геотехнических характеристик

Содержание этой дополнительной программы показано ниже:

- Геологическое картирование поверхности в масштабе 1:5 000
- Бурение с отбором керна и испытания на проницаемость, как показано ниже:

Скважина	Длина (м)	Испытание Люжон
IF1	115	15
WRB1	110	10
WRB2/DZ2	217	10
DZ2	166	

- Профилирование путем преломления сейсмических волн: 3 линии, кумулятивной длиной 2380 м
- Микро гравиметрические измерения: 684 станций на 25 профилей
- Установка 30 станций для мониторинга потенциального движения склона
- Проверка существующих штолен, специально восстановленных.
- Родники: измерение расходов, химические анализы
- Бурение и установка пьезометров и измерений (установлена 19 пьезометров и взяты замеры)
- Испытания по откачке в зоне Йонахшского разлома.

Как отмечалось выше, одной из основных целей применения дополнительных исследований было уточнить интерпретацию геологических условий правого берега, особенно в отношении древнего оползня описанного на стадии технического проектирования. Отдельный отчет был издан для этой важной темы ([15]), в котором были проанализированы большинство результатов дополнительных исследований. Соответствующий вывод и результаты будут упомянуты в соответствующих местах данного отчета.

## 2. Региональная геология

Геологические условия и процессы, которые регулируют условия на створе ГЭС, могут быть полностью поняты только тогда, когда понимается региональный геологический контекст. Больше чем обычно, проектирование сооружений Рогунской ГЭС напрямую зависит от крупномасштабной тектоники и структурной геологии. По этой причине, региональная геология была полностью интегрирована, начиная с ранних исследований, и включена в настоящую оценку с необходимыми подробностями.

### 2.1. Местоположение и региональная морфология

Участок ГЭС находится в зоне контакта южного Тянь-Шаня с поднятием северного хребта афгано-таджикской депрессии (короткое имя «Таджикская депрессия» будет использовано в настоящем отчете).

Ширина долины Вахшской реки, как правило, составляет 1 или более км. Высота русла реки в районе осуществления проекта составляет примерно около 1000 метров. Вверх по течению от створа плотины, река прорезает слои аллювия четвертичных отложений, которые может достигать толщины 150 метров.

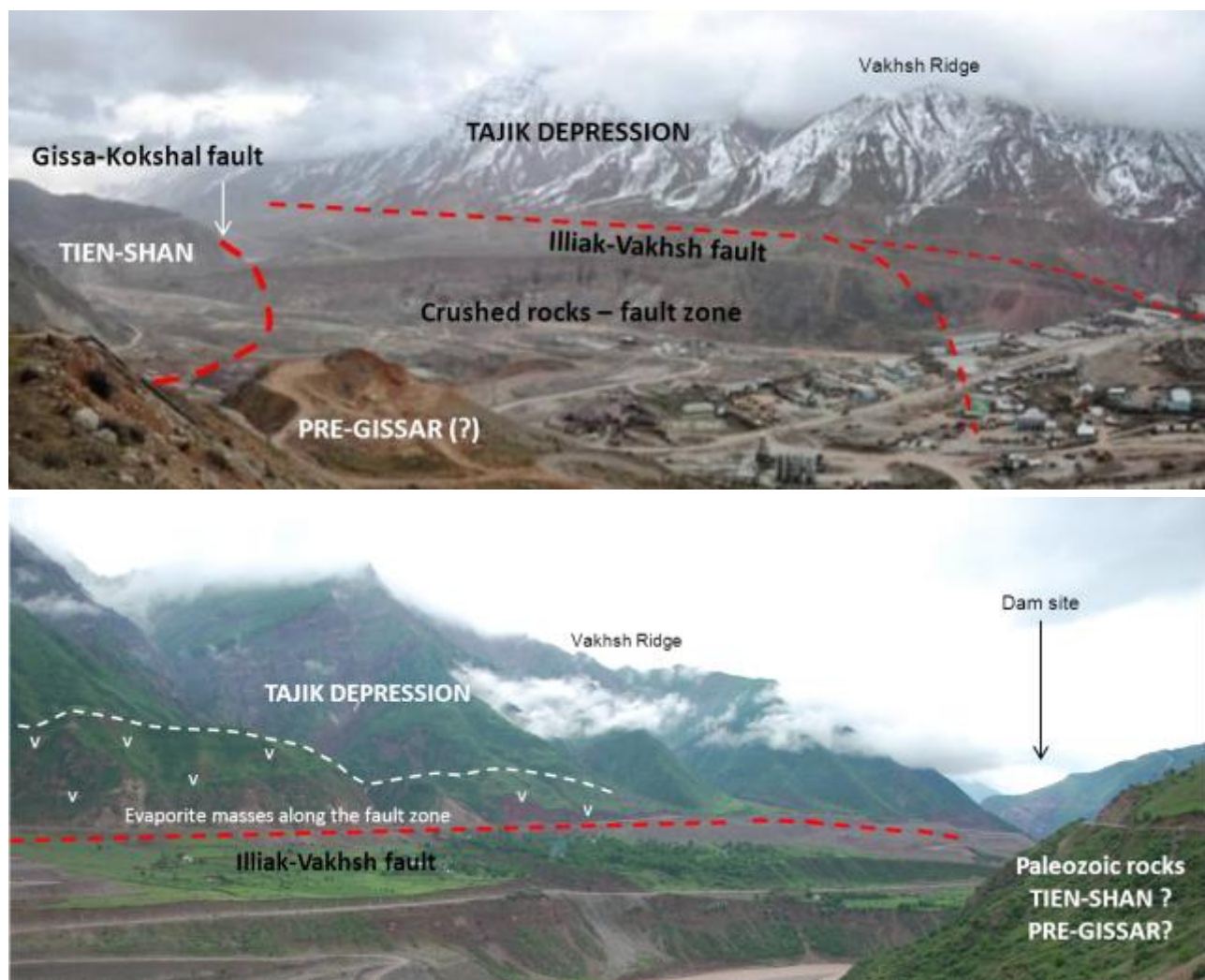
Южные склоны Тянь-Шаня формируют большую часть правого берега реки Вахш и будущего водохранилища, начиная примерно с выше по течению от сая Оби-Джушон в районе города Рогуна. В районе проекта, склоны холмов поднимаются до 2500-3000 м, с переменным углом падения. Высоко размытый и с несколькими крупными глубоко врезанный правосторонними притоками реки Вахш, этот фланг показывает довольно нерегулярную картину склона (Рисунок 2).



Рисунок 2. Вид верхнего бьефа с правого берега створа плотины.

Основные структурные элементы также выделены на рисунке. Они будут описаны в следующих разделах.

В зоне проекта, левый берег реки Вахш, в створе плотины называется Вахшский водораздел, показывает довольно регулярные склоны порядка 1,5 / 1 до 1/1, которые поднимаются до 3200 м (Рис. №. 3). Однородные склоны, скорее всего, связаны с текущей активностью Вахшского регионального сдвига, который несет в своей висячей стене Вахшского водораздела.



**Рисунок 3** Левый берег реки Вахш около створа плотины, с нижнего бьефа (выше) и с нижнего бьефа (ниже).

Как показано на рисунке, эвапоритовые массы горных пород образуют своеобразные морфологические особенности на уступе Вахшского хребта. Выровненная по зоне разлома, они отделены от основного склона вследствие высокой скорости экструзии и к дифференциальной эрозией. Обнаженная часть состоит главным образом из гипса. Нельзя отвергнуть наличие соли на более глубоких уровнях вдоль разлома или ниже, в аллювиальных и коллювиальных прикрывающих породах. Более пристальный взгляд показывает многочисленные карстовые воронки, образовавшиеся в результате растворения



(Рис. № 4 Детальные тектонические гипсовые линзы и карстовые воронки на уступе Вахшского хребта).



**Рисунок 4** Подробности тектонических гипсовых линз и карстовые воронки на уступе Вахшского хребта.

Наличие толстых эвапоритовых слоев является важным элементом в региональной тектонике, и на участке ГЭС. Наиболее заметным из них является пласт соли верхнеюрского периода Гаурдак, которому приписывают толщину около 400 метров. В

региональном масштабе, он представляет собой базовый уровень отслоения для внутренних деформаций в Таджикской депрессии. На створе плотины, он проходит в виде тонкого пласта (купола) вдоль Йонахшского разлома и становится объектом подробных исследований.

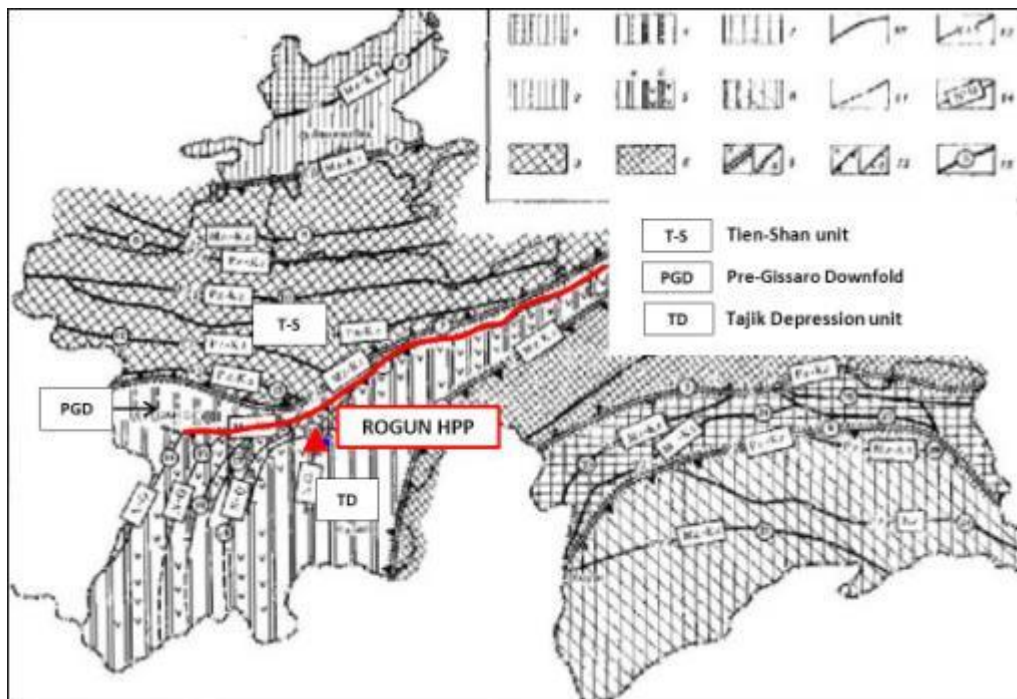
## 2.2. Региональные тектонические блоки

На рисунке № 5 показано расположение Рогунской ГЭС в рамках региональной структурной геологии.

Согласно соответствующей литературе, тектоническими блоками в зоне реализации проекта являются:

- Тянь-Шань
- Таджикская Депрессия
- Пред-Гиссарская «синклиналь»

Створ плотины находится в структурной области Таджикской депрессии, точнее, в непосредственной близости от северной границы данного блока (отмеченная на рисунке).



**Рисунок 5. Расположение Рогунской ГЭС на карте тектонического районирования Таджикистана с крупными сейсмогенными разломами.**

Блок **Таджикской депрессии** состоит из мезозойско-третичного континентального и морского осадочного чехла залегающего над Палеозойским фундаментом. Его северной границей является региональная система разлома Иляко-Вахш (Вахшский разлом в зоне реализации проекта). Как следствие высоких сжимающих напряжений и региональных поднятий, мезо-третичный осадочный чехол, ранее отложенный выше Палеозойского фундамента в районе

Афгано-Таджикского бассейна, в настоящее время выходит на поверхность в молодых горных хребтах. На основании отсутствия Мезозойских обломков пород от верхнего Неогена до отложений нижнего четвертичного периода, поднятие пенеплена (почти равнина) Вахшского хребта начался совсем недавно, в нижнем и среднем Четвертичном периоде [1]. Соответственно, для отметки примерно 2000 м, с которой хребет возвышается над долиной реки, рост баланса по сравнению с эрозией составляет порядка 2 мм/год, что вполне в характерных пределах для таких геодинамических обстановок.

На севере блок **Тянь-Шаня**, представляется блоком Каратегин, формировавшегося Палеозойскими отложениями с гранитной интрузией. Южная граница блока Тянь-Шаня формируется Гиссаро-Кокшаалской системой разломов.

Согласно существующим документам, Таджикская депрессия и Тянь-Шань, разделены узким тектоническим блоком, известным как Пред-Гиссарская (или Передняя Гиссарская) «синклиналь». Это брошенный вниз блок состоит из Палеозойских отложений и Неогеновых меласс. Тем не менее, на участке плотины, расстояние между Таджикской депрессией и блоком Тянь-Шаня снижается примерно до 1 км. В этом месте на поверхности, зоны влияния микробрекчии и разрушенных пород Гиссаро-Кокшаалской и Иляко-Вахшской зоны разломов могут быть практически в контакте друг с другом, что приводит к формированию широкой зоны разломов. На рисунках выше, № 2 и 3, показано узкое пространство между двумя структурными областями. На рисунке № 6 показана очень широкая зона дробленных и выветренных пород в интервале между Гиссаро-Кокшаалской и Иляко-Вахшской разломов, чуть выше по течению от каньона. Именно в этой же зоне, предполагается, что Вахшский разлом формирует крутой поворот к Северу, потом к Западу и пересекает реку Вахш.



**Рисунок 6. Широкая зона дробленных пород между двумя крупными разломами: Гиссаро-Кокшаалская (слева) и Иляко-Вахшская (справа).**

### **2.3. Основные региональные структуры**

В результате высоких тектонических напряжений в зоне реализации проекта, тектонические деформации происходят как сейсмические смещения по разломам, в виде проседания, а асейсмичные движения сильно связаны с соляной тектоникой, в виде складкообразования. На рисунках № 7 и 8 показаны основные разломы в зоне реализации проекта. На рисунке № 9 схематически показаны геологические условия, связанные с границей разломов земной коры и разломы внутри Таджикской депрессии.



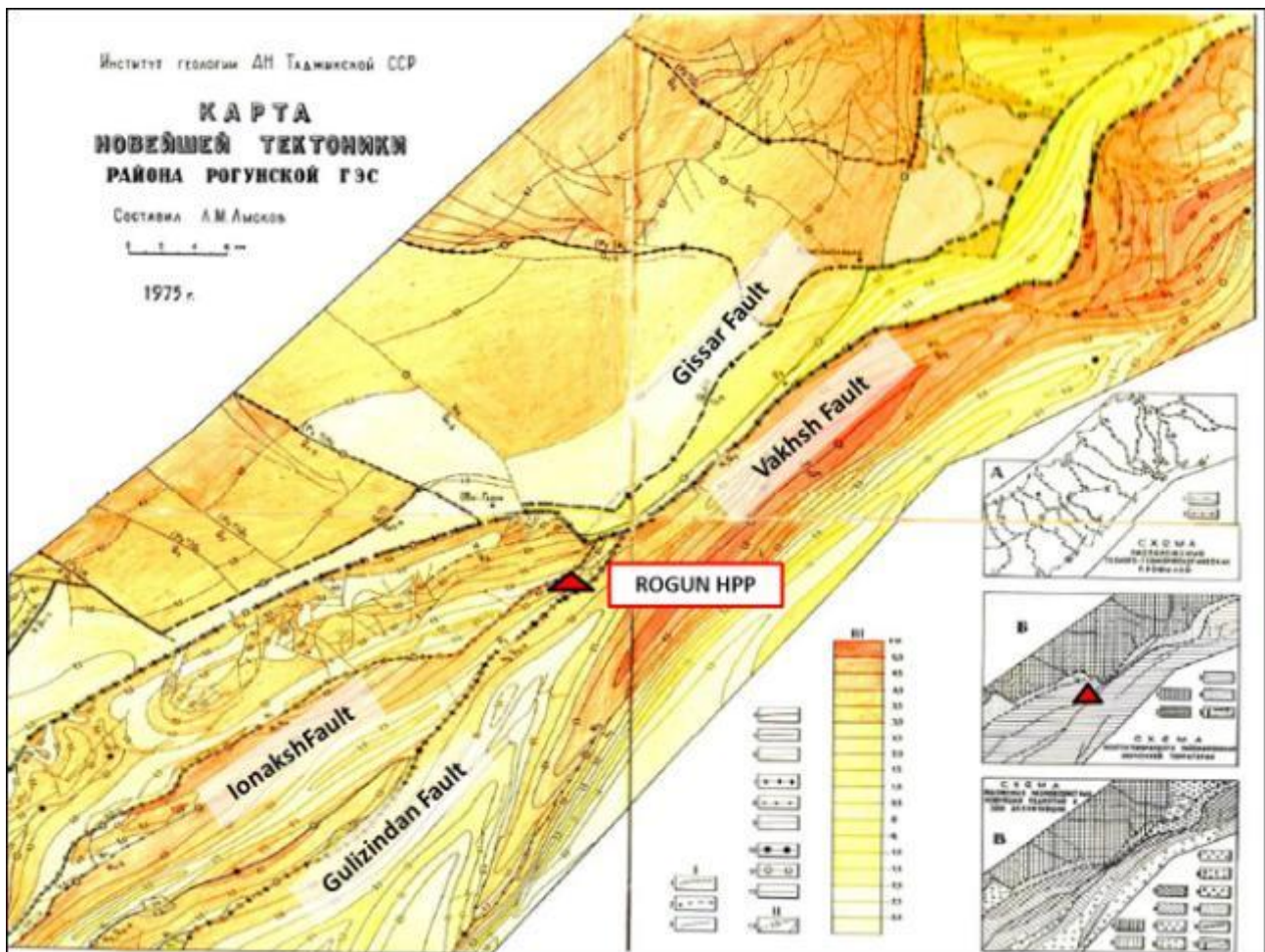


Рисунок 7. Карта движения Неогеновой тектоники в зоне Рогунской ГЭС, 1975 (изменен с [10], Том 3 С)

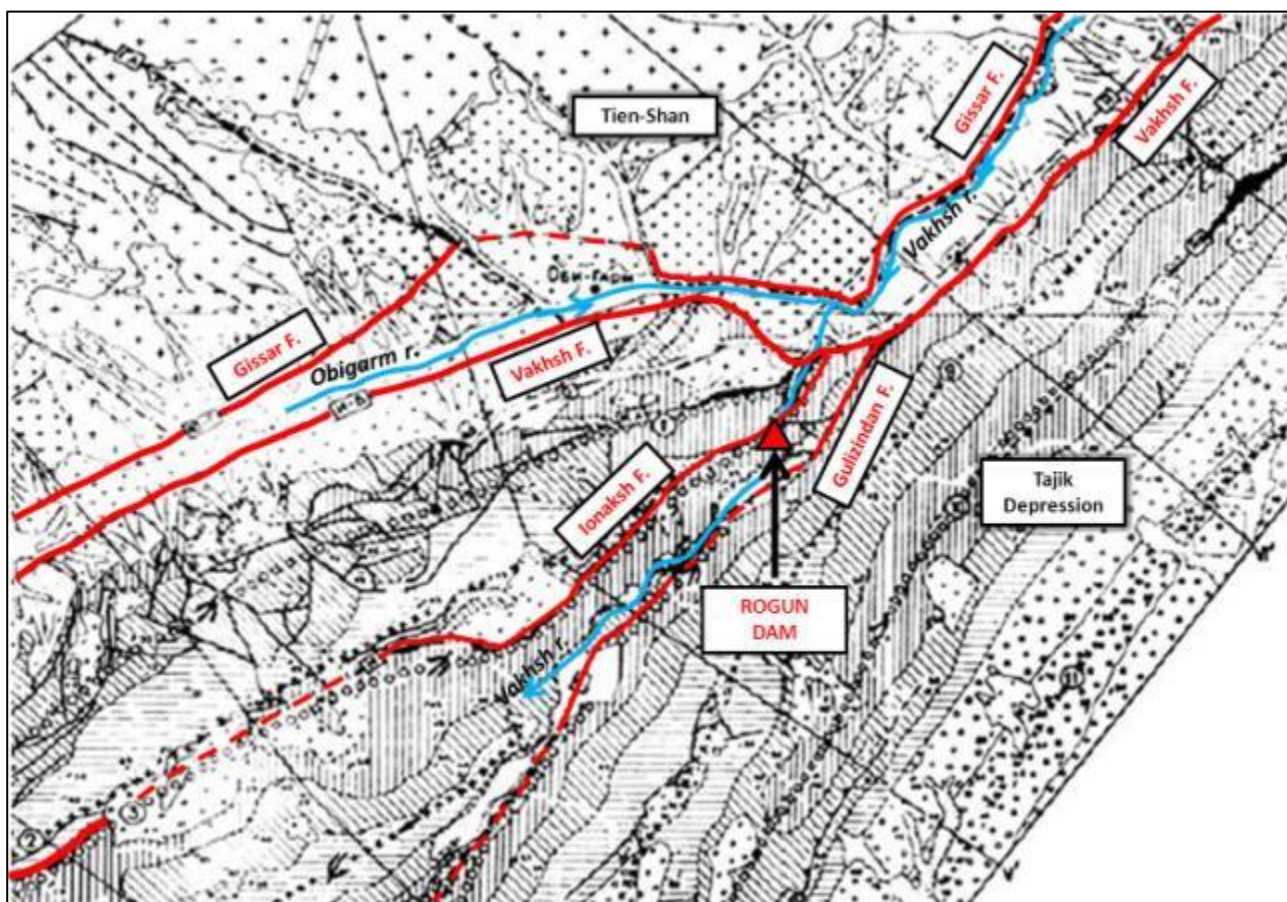


Рисунок 8. Основные разломы около зоны проекта. Происхождение: выдержка из карты структурной геологии Рогунской ГЭС, 1975.

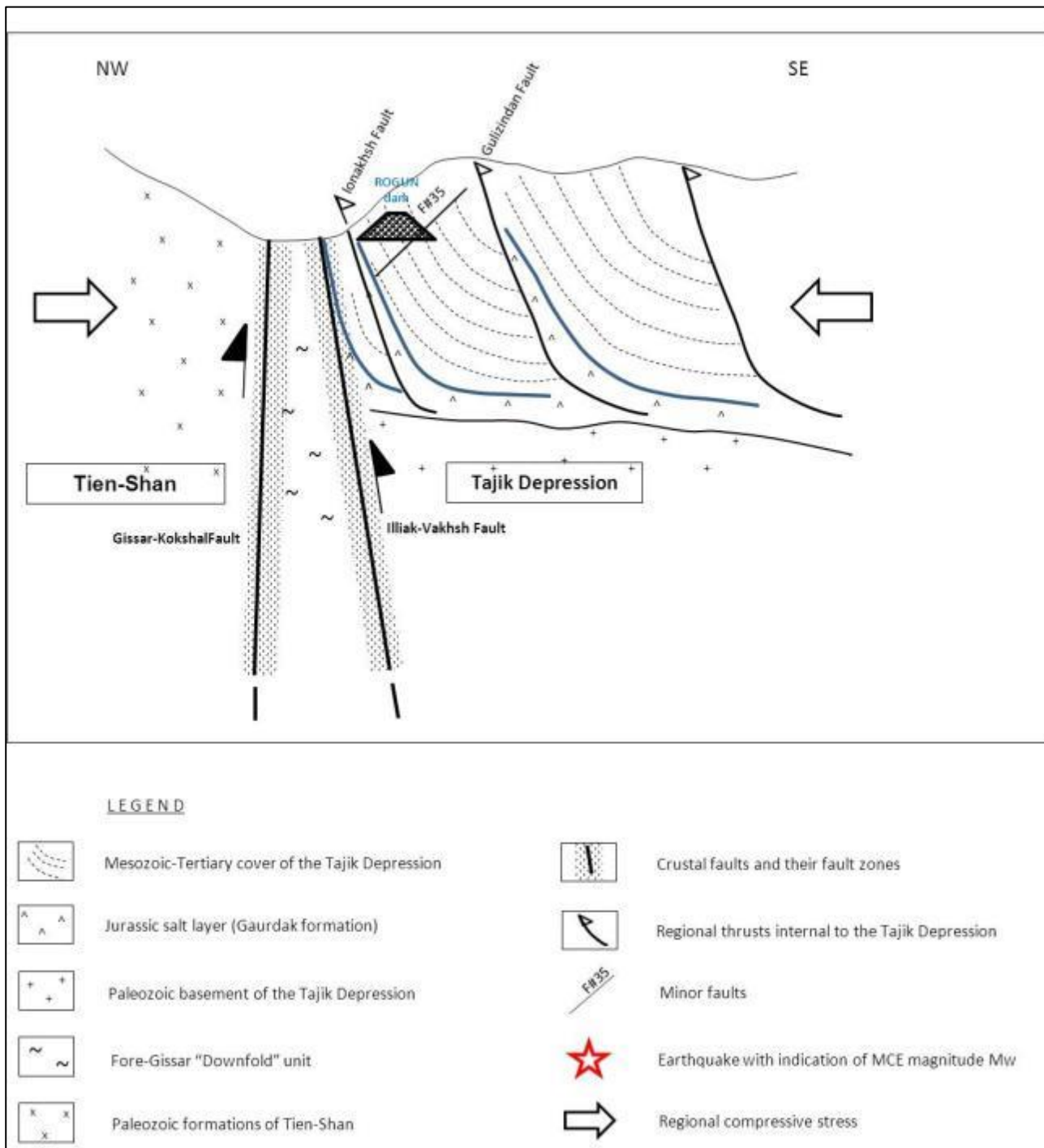


Рисунок 9. Схематическое региональное геологическое положение



### 2.3.1. Глубинные разломы земной коры: Гиссаро-Кокшаалский и Иляко-Вахшский разломы

В зоне проекта, современные тектонические напряжения, связанные с глобальной геодинамикой в основном размещены вдоль основных систем разломов Гиссаро-Кокшаала и Иляко-Вахша с интенсивным сжатием. Оба эти разломы, масштаба земной коры, имеют протяженность в несколько сотен км, 800 км для первого и 500 км для последнего. Гиссаро-Кокшаалский разлом падает на ССЗ, Иляко-Вахшский разлом ССВ, так что они расходятся в глубину. Этим двум зонам разломов приписывают самые высокие сейсмогенные возможности в зоне проекта.

Как уже говорилось выше, очертания разломов трудно отличить в зоне изгиба реки у створа плотины. Рисунки 7 и 8 выше, показывают резкое изменение простирания этих основных разломов и узкие щели между ними.

### 2.3.2. Верхние уровни земной коры

- Региональные сдвиги в Таджикской депрессии: Йонахшский и Гулизинданский разломы

В результате высоких сжимающих напряжений, Мезозойская осадочная толща, расположенная на висячей стене Иляко-Вахшского разлома, была поднята и в настоящее время выходит на поверхность. Значительное сокращение осадочного чехла в ответ на сжимающие напряжения в основном размещены серией крутых сгибов и сдвигов с СЗ падением. Основной уровень отслаивания, где сдвиги укореняются, является толстым слоем соли юрского периода, на несколько километров глубже, определенной как Гаурдакская свита. Принимая во внимание длину волны соответствующих складок, и толщину осадочного разреза над слоем соли Гаурдак, эти надвиги укореняются не глубже 5-7 км.

Рогунский гидроузел лежит между двумя этими региональными сдвигами: Йонахшский разлом, в верхнем бьефе, и Гулизинданский разлом, в нижнем бьефе (Рис. 7, 8 и 9 выше). Они падают в сторону ЮЗ и их длина составляет несколько десятков километров. На северо-востоке, в нескольких километрах вверх по течению от участка плотины, они срезаются Иляко-Вахшским разломом. Ширина зоны разломов с дробленными породами достигает обычно от 10 до 20 метров. Зона влияния может достигать 80 - 100 м, как было отмечено, в частности, вдоль Йонахшского разлома на правом берегу у створа плотины.

Согласно [1], на основе мониторинга последних деформаций, скорости смещений вдоль этих разломов составляет 0,5 - 1,8 мм/год для Йонахшского разлома и 1,0 мм/год для Гулизинданского разлома. Данный показатель может увеличиться до 2-3 мм/год в период высшей сейсмической активности.

- Локальные разломы: Разломы № 35, 70, 28,...

Многочисленные мелкие разломы участвуют в общей релаксации напряжений. Среди них разломы № 35 и 70, принимающие непосредственное участие в основании плотины. С углом падения СЗ, они, похоже, отходят от Йонахшского разлома, который падает в сторону ЮВ, от нескольких десятков до нескольких сотен метров от поверхности. Разлом № 35 был определен на поверхности между Йонахшским и Гулизинданским разломами. Он обладает выдающимися, дробленными зонами на левом берегу у створа плотины. Тем не менее, его морфологический след является более разрывным на правом берегу, и он даже становится невидимым, уже в нижнем бьефе от створа плотины.

➤ Уровни отслаивания второго порядка

Над слоем соли Гаурдак, другие толстые слои гипса верхнего мелового и Третичного периода образуют уровни отслоения для впечатляющей пузырькообразной складчатости, вероятно, таким образом, снижая общее тектоническое напряжение.

## 2.4. Особенности регионального строения

Некоторые особые свойства морфологической и структурной геологии характеризуют район участка ГЭС. Эти свойства приведены ниже.

- Региональные разломы расширяются с этого места, как с узелка, в сторону ЮЗ.
- Иляко-Вахшский разлом образует резкие изгибы и его след в западном направлении смещается на север, вместо того чтобы следовать естественным продолжением по простиранию, которая является долина Пассиморухо. Отметим, что большие эвапоритовые массы или предполагаемые оползни могли скрыть это свойство.
- Гиссаро-Кокшаалский и Иляко-Вахшский зоны разломов подходят очень близко друг к другу.
- Течение реки Вахш отклоняется от выравнивания Вахшского разлома, пересекает Вахшский водораздел, образуя в то же время каньон, топографически благоприятный для размещения плотины.
- Особый режим напряжения, выявленный по результатам измерений на участке плотины

Как сообщалось в [13], на основании измерений в скважинах, взятых из штолен рядом с выработкой машинного зала:

- $\sigma_x$ , субгоризонтальное напряжение вдоль залегания простирания пластов = 11 до 19.5 МПа (среднее 18.2 МПа)
- $\sigma_y$ , горизонтальное, перпендикулярно к залеганиям = 7.5 до 14 МПа (среднее 12.9 МПа)
- $\sigma_z$  вертикальное = 7 до 13 МПа (среднее 10.6 МПа), которое является между равной и двойной нагрузкой покрывающей породой

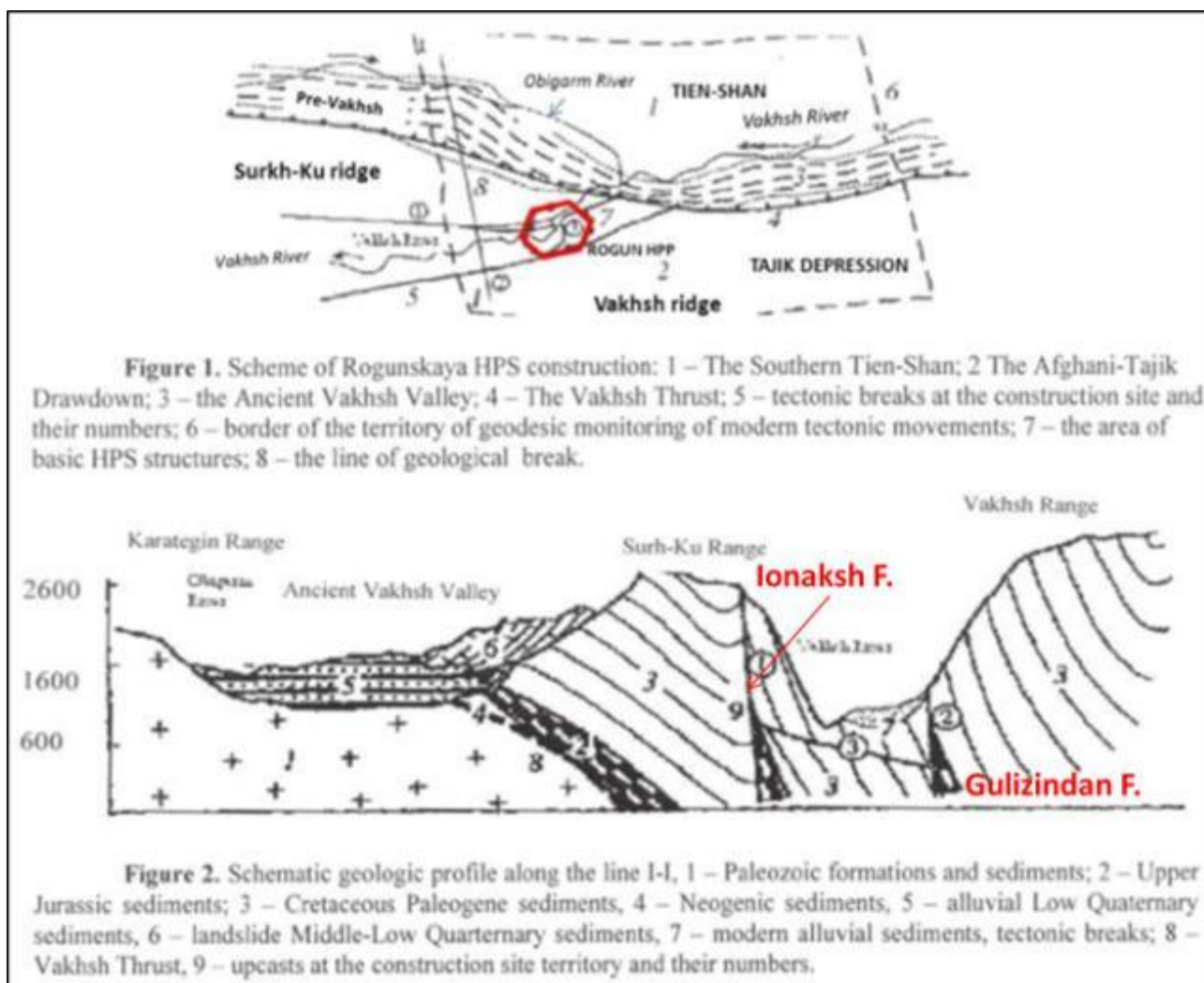
На основании измерений следуя методу компенсации напряжений ультразвуковых записей:

- $\sigma_x$  = от 11 до 33 МПа
- $\sigma_y$  = от 7.5 до 9 МПа

Данный режим напряжения, как определено из измерений в подземных выработках являются удивительным. Основные сжимающие напряжения в региональном масштабе, как ожидается, ориентированы СЗ-ЮВ, перпендикулярно к плоскости напластования. Это соответствовало бы сходимостью направления надвигов и региональных складок. Аномальные результаты испытаний на участке плотины еще не объяснены. Следует напомнить, что начальные данные в отчете ТЭО [1] указали максимальные напряжения

перпендикулярно к залеганиям в среднем 26 МПа. Как отмечалось в этой главе, район участка показывает несколько особенностей. Может быть, блокировка участка на западе, связанная со структурным поднятием, смогла бы объяснить эти результаты?

Что касается поворота русла реки, в соответствии с [1], а затем с отчетами (например, [8]), древняя долина Вахш (или пред-Вахшская долина) пролегла по нынешнему выравниванию рек Сурхоб - Вахш - Обигарм (Рис. 10). Смещение могло произойти с середины и конца четвертичного периода, но причины смещения не выяснены.



**Рисунок 10. Пояснительное воссоздание пред-Вахшской долины (из [8]).**

Указанные ссылки сообщают, что массивные оползни развивались как ползучие склоны в адаптации к прогрессивному растворению соли на подножиях. В зоне между реками Пассиморухо и Обигарм, выходы коренных пород редки и очень разрушены, в то время как морфология доминируется нижними склонами с глубоко врезанными короткими ручьями: Пассиморухо и Оби-Джушон. Полевые наблюдения показали, что действительно больше соответствует медленным деформациям, чем внезапным оползням. Взаимосвязь между смещением долины реки и теми оползнями не является очевидным. Та же обстановка с массивом соли на подножьях склона является очень распространенным явлением, но больше нигде река не поворачивает, чтобы пересечь хребет. Кроме того, поскольку

несколько заметных изменений региональных геологических структур сходятся в этом месте, движущие силы, связанные с региональной тектоники или диапировые поднятия могли бы быть приняты во внимание в качестве альтернативных объяснений.

Независимо от причины, зона рек Пассиморухо и Обигарм, включая город Рогун (Рис. 11), включают в себя нарушенные горные породы и толстые, полностью выветренные и мягкие материалы. Эти материалы в настоящее время подвержены к медленному поверхностному гравитационному движению, как описано в главе, посвященной устойчивости склона.



Рисунок 11. Вид верхнего бьефа зоны поворота реки Вахш.

### 3. Геология участка

Геологическая карта участка представлена в приложении вместе с геологической картой правого берега, подготовленной в 2012 г.

#### 3.1. Морфология

Отметка реки на участке строительства колеблется в пределах 970 - 980 м. Русло реки узкое и профиль долины имеет форму относительно стиснутой как «V» (Рис. 12).

Благоприятная морфология для удерживания сооружения является результатом пересечения реки через общие структурные направления и залегания. Большинство разрывных нарушений, в том числе разломы, которые также срезаются под благоприятными углами, что допускает относительно высокие крутые склоны. Более 350 до 450 м над уровнем реки, общий угол наклона в обе стороны реки составляет порядка 45-50°, с локальными очень крутыми участками 70-80°. «V-образный» профиль долины реки имеет двойной наклон, расширяясь выше отметки около 1300-1350.



Рисунок 12. Вид створа плотины с верхнего бьефа (наверху) и с нижнего бьефа (снизу).



### 3.2. Литология

Таблица № 2 представляет результаты компиляции из доступных источников информации о составе и толщине Мезозойского образования. В отличие от предыдущих отчетов, которые очень точно показывают толщину для каждого пласта (точность 10-1 м) адекватную для маленьких зон, таблица № 2 показывает диапазоны изменения.

Концепция, была инициирована в ТЭО 1978 года, которая состояла в различении групп образований, представлена в данном отчете. Эти группы являются:

- (I) Верхний Юрский соляной пласт (Гаурдакская свита),
- (II) Нижнемеловая континентальная последовательность
- (III) Морские последовательности, в основном верхнемелового периода.

#### Юрская Гаурдакская формация

Это образование верхнеюрского периода является самым старым из мезозойского осадочного чехла. Это главным образом состоит из соли, вторичного гипса, с тонким красноватым слоем аргиллитов наверху. Максимальная предполагаемая толщина на региональном уровне 400 метров. В зоне реализации проекта, он образует клин, который обрезается Йонахшским разломом. На основании данных из бурения и штолен, толщина клина будет увеличиваться на 15 м на каждые 100 м глубины. Таким образом, от нескольких метров около поверхности толщина будет около 100 - 150 м на глубине 800 - 1000 м ниже оси плотины. Толщина будет дальше увеличиваться вниз до пологой зоны, где Йонахшский разлом и другие региональные пропластки располагаются, около 2000 м ниже уровня воды в реке (Рис. 13).

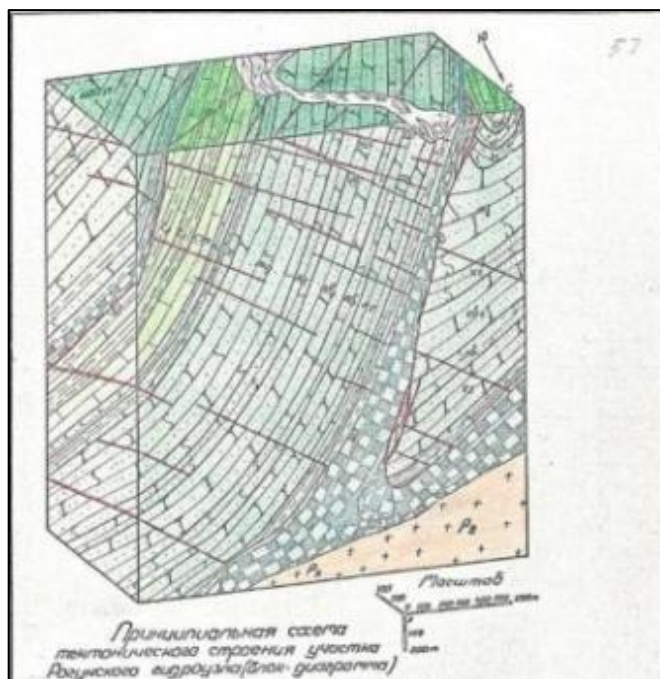


Рисунок 13. Пояснительная блок-схема глубокого фундамента плотины (от ТЭО 1978).

Толщину солевого образования на большой глубине можно только предполагать. В любом случае, при сильном режиме сжатия, толщина таких месторождений является чрезвычайно переменной: это может быть "ноль", где соль была зажата и вытиснута или во много раз превосходить ее первоначальную толщину, когда накопились в разуплотненных районах или в диапировых структурах.

#### Соляной пласт на основание плотины

Наличие соляного пласта (или купола) в верхней части опорной поверхности плотины является инженерной задачей, данное явление была тщательно изучена вместе с Йонахшским разломом. Основные характеристики приведены ниже:

- Скорость экструзии соли составляет порядка 2 см/год, то есть примерно в десять раз выше, чем вертикальная скорость скольжения по стенам разлома.
- Верхняя часть соляного пласта была найдена между отметками 952 и 970, с толщиной в диапазоне от 2 до 12 метров. Он выклинивается выше этих отметок, предположительно вследствие растворения (например, чертеж 1174-03-41 в [1]).
- Над соляным пластом, остается шлак после растворения соли, образуя шапку гетерогенного материала, от 10 до 12 м в ширину и утончаясь вверх. На 7-8 м выше соли, остаточная шапка состоит из мягкого, недостаточно ограничиваемого материала. Испытания на проницаемость показали, что эти виды горных изверженных пород могут быть локально высоко проницаемыми, поэтому была разработана особая обработка (ИГП Москва). (Эта основная тема проектирования обсуждается отдельно.)

Рисунок 14 показывает типичный разрез соляного пласта и его остаточную шапку.

#### Нижнемеловая континентальная последовательность

Эта группа, узнаваема по доминирующему красному цвету, включающую в себя образования от формы Валанжиниан до Нижнего Альбиана: Яван, Кызылташ, Обигарм, Каракуз, Мингбатман и Лятобанд.

Они состоят главным образом из песчаников, слоев алевролитов и аргиллитов и редких, как правило, тонких, эвапоритовых слоев. Толщина этой последовательности на участке плотины составляет порядка 1100 м (1082 м указывается в отчете ТЭО).

#### Морская последовательность

На участке плотины она включает в себя формирования из Верхне Альбского, Сенманского и Туронского периода. Толщина этой группы достигает около 550 м (544,7 в отчете ТЭО). Далее на правом берегу, в частности, на левом берегу родника Арарак, верхнемеловой последовательности, выявленные в ходе картирования в 2012 году, вплоть до Маастрихта, добавляя около 250 - 300 м, в зависимости от толщины верхнемеловых морских отложений.

Состоящая из песчаников, алевролитов и сланцев, эта последовательность характеризуется наличием известняков, мергелей и гипсовых слоев. Серый до темно-серого и зеленовато-серого цвета являются распространенным. Часто, также встречается окаменелость.

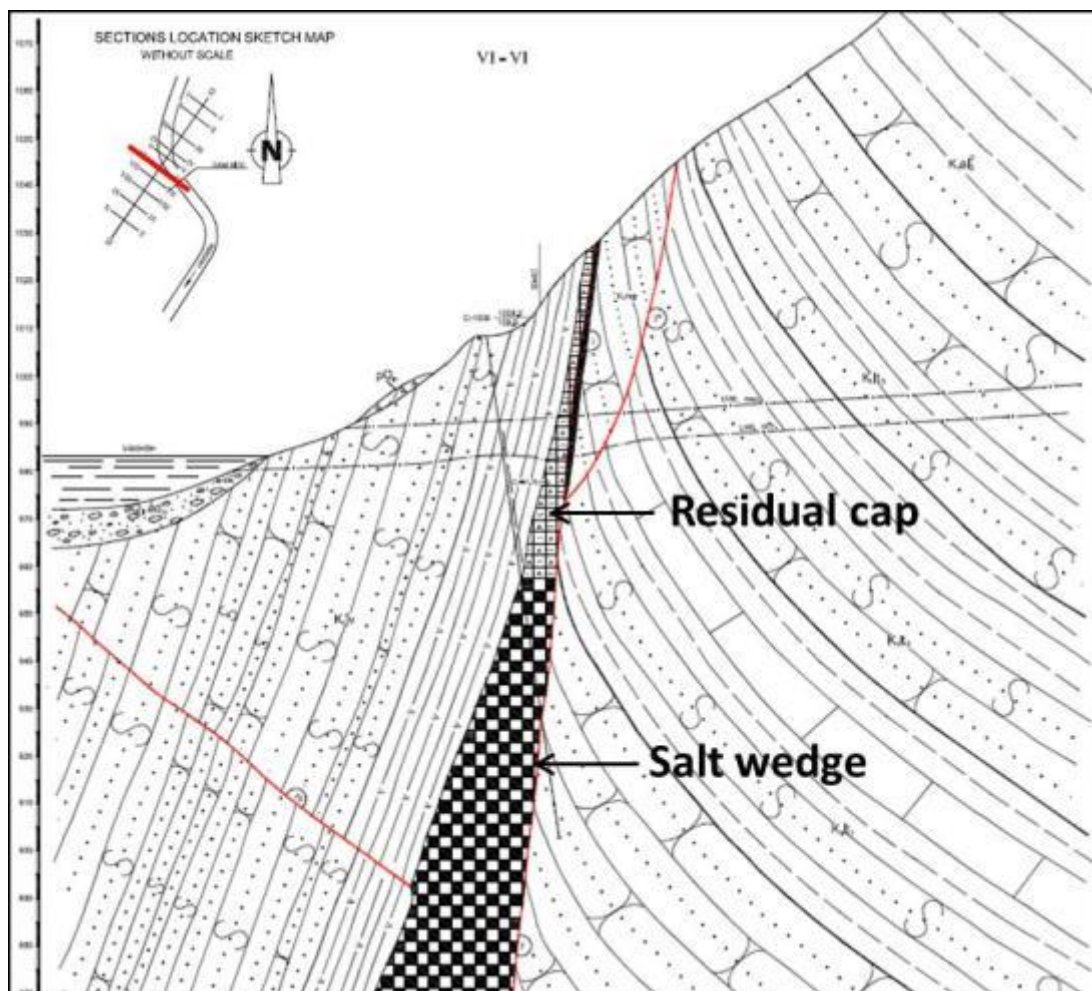


Рисунок 14. Соляной пласт в Йонахшском разломе на правом берегу.

Таблица 2. Стратиграфическая последовательность

Геологический возраст		Формирование	Символы	Толщина м	Литология
Меловый период		Гаурдак	J <sub>3</sub> gr	400 м	Красновато-коричневые аргиллиты, соль и гипс.
	Кампанская эпоха		K <sub>2</sub> cp	50 -55 м	Зеленый, серовато-зеленые аргиллиты, слегка песчаный, с прослоями (0,5 м) мергелей, серовато-зеленые, слабо песчаных известняков с ископаемой мусора; серого песчаника.
	Сантонская эпоха		K <sub>2</sub> st	53	Слоистый, зеленовато-серый и розовый, слоистый гипс, серый, желто серый, коричневый, красноватый, зеленовато-серый, фиолетовые аргиллиты, алевролиты и песчаник.
	Коньянская эпоха		K <sub>2</sub> cn	65 -80 м	Зеленовато-желтые слюдяные песчаника с прослоями серых, песчаный известняк и глинистые желтоватого известняка.
	Туранская Эпоха	Верхний турон	K <sub>2</sub> t <sub>2</sub>	150-160 м	Верхние слои: тонкие серые альтернанты и темно-серые сланцы и желтовато-серые, глинистые известняки и мергели. На основе этого набора, до 20 м толщины слоя ископаемого известняка. Нижний слой: серый ископаемый известняк, зеленовато-серые, мергелистые сланцы с прослоями ископаемых мергелей. Гипс, упомянутые в источнике (2)
		Верхний Сеноман	K <sub>2</sub> mt <sub>1</sub>	90 м	Темно-серые и зеленовато-серыми сланцами с редкими прослоями серых мергелей ископаемых.
	Сеноманский Век	Верхний Сеноман	K <sub>2</sub> cm <sub>2</sub>	33-60 м	Серые альтернанты, ископаемый глинистый известняк с темно-серыми и серыми сланцами, слюдяные песчаники, алевролиты и сланцы с гипсовыми линзами.
		Нижний Сеноман	K <sub>2</sub> cm <sub>1</sub>	45 - 50 м	(1): аргиллиты, песчаники, известняки, гипс, (2): серый, розовато-серый мелкокристаллический плотный известняк, серовато-зеленый, местами коричневатый среднезернистый песчаник. (3): альтернант темно-серый и серый сланцы, с гипсовыми линзами, серые глинистый известняк.
	Альбийский Век	Верхний Альбиан	K <sub>1</sub> al	50-65 м	Небольшой альтернант коричнево-красноватых аргиллитов и гипса, с серым песчаником.
		Верхний Лятобанд	K <sub>1</sub> lt <sub>2</sub>	30 -130 м	Частые прослойки белого и розового сахаровидного гипса с зеленовато-серым и коричневым аргиллитом, алевролитом и песчаником. Редкие прослойки светло-серого известняка.
		Нижний Лятобанд	K <sub>1</sub> lt <sub>1</sub>	35 - 115м	Тонкие, темно-серые, зеленовато-серые сланцы с тонкими слоями (0,3-0,5 м) светло-серого мелкокристаллического известняка, доломита, мергеля (0,6 м) и белого сахаровидного гипса. В средней части слоя - темно-коричневый, утяжеленный среднезернистый, слюдяной песчаник с прослоями зеленовато-серого песчаника (0,1-0,2 м).
		Мингбатман	K <sub>1</sub> mg	130 -375 м	Коричневый и красновато-коричневый, утяжеленный среднезернистый песчаник, светло-серый песчаник, до 10 м толщиной, в верхней средней части.
		Каракуз	K <sub>1</sub> kr	85 -175 м	Красно-коричневый песчаник с прослоями серых и бурых аргиллитов.
	Баремский - Аптский Век	Верхний Обигарм	K <sub>1</sub> ob <sub>2</sub>	110 -240 м	Песчаники, в основном коричнево-красноватые и фиолетовые с буровато-серыми и светло-серыми прослойками; второстепенными тонкими прослойками аргиллитов.
		Нижний Обигарм	K <sub>1</sub> ob <sub>1</sub>	80 -115 м	Коричневый, темно-серый, зеленый аргиллитов, алевролитов, белые гипсовые прослойки, до 30 CLM толстые в средней части, верхняя часть включает в светло-серых песчаников прослойки.
		Кызылташ	K <sub>1</sub> kz	165 -205 м	Буровато-красный, уплотненный среднезернистый, слюдяной песчаник, второстепенными прослоями алевролитов и аргиллитов.
Верхний Яван		K <sub>1</sub> jv <sub>2</sub>	40 -100 м	Красно-коричневые и коричневые, порода аргиллитов, алевролитов. Источник (2) упоминает малахит (Cu) в двух прослоях зеленовато-серых, голубовато-серых аргиллитов.	
Нижний Яван		K <sub>1</sub> jv <sub>1</sub>	30 -285 м	На верхней части, красновато-коричневый, коричневый и фиолетовый уплотненный мелкозернистый песчаник, алевролитов и аргиллитов. Нижняя часть: темно-коричневые и красновато-коричневые сланцев и алевролиты, некоторые количество гипсовой линзы 0,1 - 0,3 м.	
Юрский период		Гаурдак	J <sub>3</sub> gr	400 м	Красновато-коричневые аргиллиты, соль и гипс.

Источники упомянуты если описание отличается: (1) FS 1978; (2) стратиграфической колонке 1962-63; (3) Геологический отчет (проект) 2012, Барки Точик



### 3.3. Геологические структуры

#### 3.3.1. Основные тенденции и залегания

Основные структурные тенденции на региональном и местном масштабах являются ВСВ-ЗЮЗ. Это направление залегания, основного горизонтального давления, и то, что ось заметна только на участке плотины, а именно Кирбичская синклиналь. Вергентность наслоений является ССЗ. Соответственно, горизонтальное давление, а также поверхность залегания находятся далеко от оси, падают в основном в ЮЮВ направлении. На участке плотины, угол падения горизонтального давления и направления залегания, в основном высокий, более  $75^\circ$  для Ионахшского разлома и  $60^\circ$  для залегания моноклинальных последовательностей вниз по течению от Ионахшского разлома.

#### Складки

Основная крупномасштабная складка, выявленная в ходе исследований в рамках технического проекта, является Кирбичская синклиналь. Ее хорошо видно на правом берегу, где она упирается в Ионахшский разлом с верхнего бьефа. На рисунке 15 показаны правый берег, Ионахшский разлом (красного цвета), разлом № 70 и предполагаемая ось Кирбичской синклинали (в белом).



Рисунок 15. Правый берег на створе плотины

Эта складка является плотной, из-за сильного напряжения сжатия. За исключением висячей зоны, падение залегания является крутым в обоих крыльях синклинали.

В рамках настоящего ИТЭО, можно было наблюдать в полевых условиях, что структура является более сложной, чем просто асимметричной синклиналью у подножия стены сдвига. В то время как это имеет место в нижней части устоя, части последовательности, включая также верхнюю часть Ионахшского разлома и оси синклинали, сгибаются и становятся перевернутыми в верхней части устоя плотины, как показано выше, на рис. 15. На основании интерпретации полевых данных, как описано в [15], переверот мог быть вызван сжатием и

введением альбского гипса в верхней части Правого берега. На плотине изгиб, кажется начинается на уровне приблизительной отметки 1450 - 1500 м, т.е. значительно выше максимально предусмотренного уровня эксплуатации.

### 3.3.2. Разломы

Основные разломы на участке проекта были описаны в главе, посвященной региональной геологии. Некоторые подробности относительно участка проекта приводятся ниже.

Результаты мониторинга современных движений приведены на рис. 16 и таблице 3.

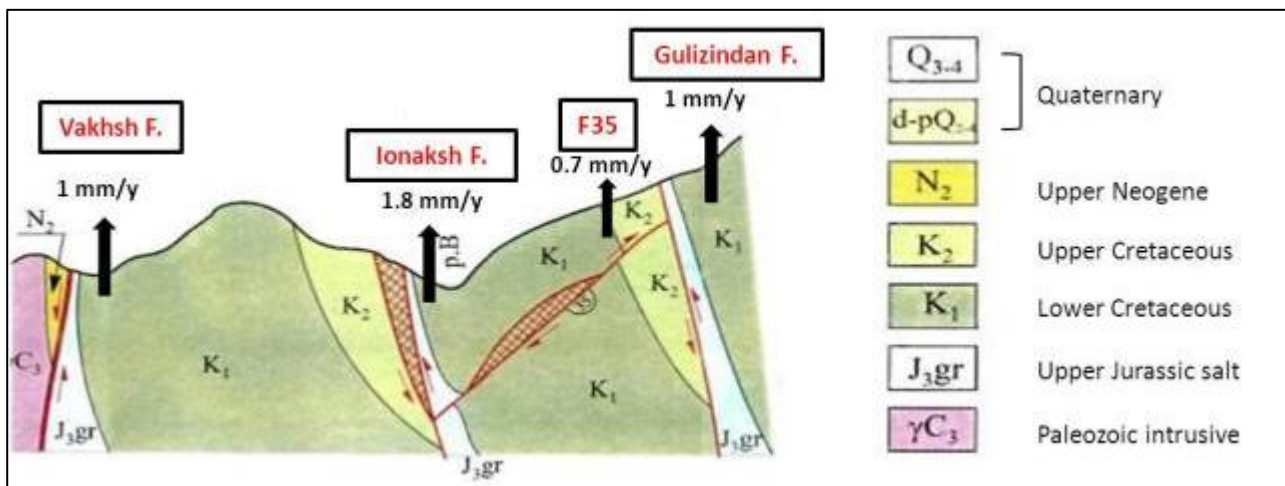


Рисунок 16. Схематический разрез показывающий скорость боковых или горизонтальных движений основных разломов (модифицирован с [3])

Таблица 3. Краткое изложение мониторинга смещений вдоль основных разломов на участке Рогунской ГЭС

Разлом №	Название и характер разлома	Средняя скорость современных вертикальных движений (мм/год)	
1	Вахшский разлом (ЮВ стена)	1.0	
2	Йонахшский разлом	Смещение стен	1.8
	Тектоническая линза	2.8*	
3	Гулизинданский надвиг	1.0	
4	Разлом № 35	Смещение стен	0.7
		Тектоническая линза	2.3*

(\*) Результаты мониторинга предлагают, что скорость поднятия пластичного материала заполнения в зоне разломов и тектонических линз, сжатых между двумя ветвями разлома, систематически выше, чем вертикальное смещение стены. Кроме того, упоминается, что в последних моделях растворения соли, расчетная скорость экструзии соляного купола по Йонахшскому разлому составляет 2 см.

Следует заметить, что в подробности, записи скорости смещения были очень контрастны между различными станциями. Результаты всех станций приведены на чертеже 1074-03-F12.

На основе анализа результатов мониторинга можно сделать вывод, что тектонический блок, разделен Йонахшским разломом и разлом № 35 поднимается в среднем на 2 мм/год. Тем не менее, дифференциальные поднятия, зарегистрированные между различными станциями, могут показать на тот факт, что движение блока в целом не является чистым поднятием, но может включать наклон. Такие сложные деформации могут быть размещены по дифференциальным движениям (вращение, наклон?) меньших блоков, разделенных незначительными разломами. Определение фактической кинематической модели может потребовать увеличения числа станций мониторинга.

### Йонахшский разлом

На рисунке 17 показан надвижной разлом в районе Правого берега у створа плотины. Оно четко обозначено в красноватых полосах аргиллитов Верхнеюрского периода. У подножия стены, юго-восточное крыло Кирбичской синклинали упирается в разлом.



**Рисунок 17. Йонахшский разлом на правом берегу.**

Наличие пласта соли вдоль данного разлома было определено как потенциальной проблемой для проекта с момента ранних исследований. Как следствие, было проведено значительное количество исследований, в том числе проходка продольных и поперечных штолен, бурение, проведение испытаний на проницаемость, геофизические исследования, лабораторные испытания и мониторинг смещений. На верхних отметках, зона разлома была пересечена правой веткой штольни № 1034.



Недавние исследования были проведены в ходе нынешней ИТЭО для завершения оценки неисправностей на верхних отметках. Они состояли из бурения 2 скважин с отбором керна и испытаний на проницаемость. Основные характеристики и выводы приведены ниже:

➤ Скважина IF1

Расположение и длина: Верхняя часть правого берега у створа плотины; пробурено с наклоном, почти перпендикулярно Йонахшскому разлому, длиной 115 м.

Цель: Изучить Йонахшский разлом в верхней части упора, чтобы проверить отсутствие соли на этой отметке, проведения испытаний на проницаемость с высоким давлением.

Основные результаты: Йонахшская зона разлома была пересечена примерно в промежутках 103 и 113 м. Зона разлома характеризуется сильно расланцованными глинами и гипсами в всياчем блоке образования (юрского периода) и брекчиями у подножия стены (верхний мел). Уровень грунтовых вод зафиксированных в октябре составлял 74 м глубины скважины. Этот уровень грунтовых вод высок по отношению к той, предположенной в отчете ТЭО в этой зоне. В таблице 4 приведены результаты испытания на проницаемость.

Таблица 4. Результаты испытания на проницаемость в скважине IF1

Этап	Эффективное давление (в барах)	Проницаемость (в Люжонах)
42-47	5	19
47-52	5	41
52-57	21	16
57-62	10	24
62-67	22	15
67-72	7	1
72-77	7	30
77-82	12	3
82-87	31	8
87-92	18	2
92-97	19	2
97-102	19	1
102-107	20	1
107-112	20	1
112-115	20	2

Зона разлома лежит в интервале 107 - 112, где проницаемость является очень низкой. Напротив, многие этапы верхней части скважины дали высокие значения.

➤ Скважина WRB2/DZ1

Расположение и длина: атипичная зона вблизи границы с неразрушенной зоны основания плотины, 217,2 м, вертикальная.



**Цель:** изучить геологическую структуру, чтобы характеризовать горную массу в атипичной зоне, пересечь и характеризовать зону Йонахшского разлома в атипичной зоне, провести испытания на проницаемость.

**Основные результаты:** Скважиной пройдено около 30 м вскрышных пород, потом породы Туронского яруса верхнего мела (от серого к темно-серому известняк, часто глинистый, мергели и сланцы) до пересечения зоны Йонахшского разлома примерно между глубинами 160 и 170 м. Зона разлома характеризуется рассланцованным красным аргиллитом и гипсом. Вся последовательность, в том числе зона Йонахшского разлома, умеренно падает в СВ. Породы Турона над зоной разлома дали несколько интервалов измельченных кернов. Значение прочности пород (RQD) изменяется главным образом от 0 до 50.

Уровень грунтовых вод записанные во время испытаний колеблется от 65,3 до 70 м глубины, т.е. около отметки 1450 м. В таблице 5 приведены результаты испытания на проницаемость (к сведению, результаты субподрядчика были изменены, чтобы интегрировать фактический уровень грунтовых вод).

Таблица 5. Результаты испытания на проницаемости в скважине WRB2

Этап	Эффективное давление (в барах)	Проницаемость (в Люжонах)
40-45	22	10
130-135	20	18
152.5-157.5	10	22
157-162	10	19
167-172	11	6
177-182	11	10
187-192	11	3
192-197	12	2
197-202	11	3
202-207	12	3

Соответственно, зона разлома показывает различные значения проницаемости в диапазоне от 6 до 19 Люжонов. Породы Верхнего мела над разломом дали почти систематические значения проницаемости от умеренных до высоких, которые, кажутся подходящими для положения кернов, в то время как нижнемеловые породы ниже разлома имеют низкую проницаемость.

На данном этапе, цементационная обработка верхней зоны соляного пласта была практически завершена. Эти разработки представили дополнительные данные о поведении этой особенности.

На основании имеющихся данных, основные характеристики этого разлома на створе плотины приведены ниже:

- Недавние наблюдения в целом подтвердили описания сделанные на этапе ТЭО.

- Фации зоны разлома являются переменными. Над соляным пластом и ее остаточной шапки, зоны разлома включает в себя размеченные красноватые аргиллиты, смешанные с сильно нарушенным гипсом и брекчией разлома.
- Толщина гипса в зоне разлома является переменной, от менее 1 м до более чем 5 метров. это очень редко видно на поверхности. На рисунке 18 показан Йонахшский разлом в скважине WRB2, который показывает толстый слой гипса в скважине WRB2. Очень вероятно, та же толстая нарушенная линза гипса также видна в обнаженных породах на срезе дороги около скважины (Рис. 19 фотография этого места и рис. 20 геофизический профиль вокруг этой линзы). Наличие этой толстой линзы совпадает с зоной изгиба структур от нормальных до перевернутых положений, которое предполагает, что такая толщина является локальным, но может произойти в специальных местах.



Рисунок 18. Йонахшский разлом в скважине WRB2



Рисунок 19. Толстая и деформированная линза гипса в Йонахшском разломе.

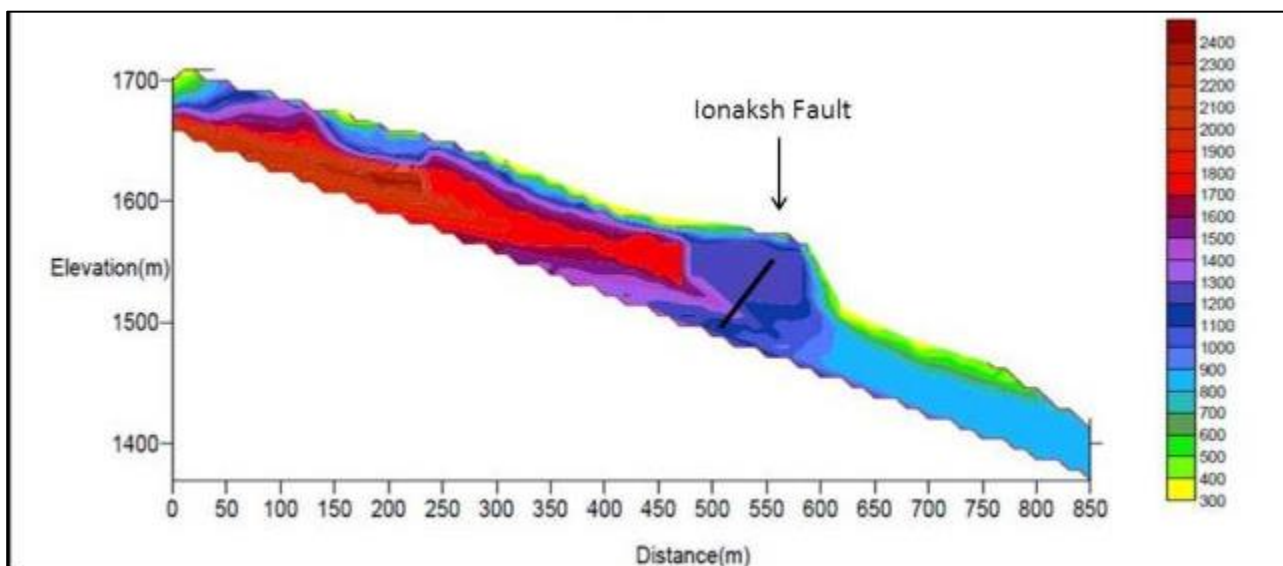


Рисунок 20. Краткое изложение результатов сейсмической разведки в Линии 2, пересекающей толстую линзу гипса из рисунка выше.

- Толщина зоны разлома, в том числе дробленной породы, сильно нарушенный гипс и брекчия разлома являются хорошей, порядка нескольких десятков метров (от 20 до 80 м в [1]).
- Наблюдения в цементационной штольне на правом берегу, как правило, подтверждают водонепроницаемость висячей стены (вниз по течению) от зоны разлома в нижней части устоя.

- По данным всего лишь нескольких испытаний, проведенных в скважинах IF1 и WRB2 на верхних отметках, значения проницаемости являются переменной: низкое в неразрушенных породах устоя плотины (IF1), от умеренной до высокой в перевернутом участке (WRB2).
- В соответствии с [1], накопленные смещения данного разлома составляет 1000 м.

Недавно были проведены испытания по откачке и растворению в рамках ИТЭО. Результаты прокомментировали в отдельном отчете посвященному соляному куполу.

#### Гулизинданский разлом

Данный разлом сравним с Йонахшским разломом по природе, отношению, размеру и порядку магнитуд для скорости смещения скольжения. Рис. 21 показывает разлом на правом берегу долины Оби-Шур. Не видно нарушений в недавних отложениях покрывающих разлом.

В отличие от Йонахшского разлома, Гулизинданский разлом не пересекает основание плотины. В свою очередь, соединяет водохранилище с нижним бьефом плотины. Вниз по течению от каньона, он проходит через левый берег реки Вахш, где он покрыт толстым слоем аллювиальных отложений.

Сообщается, что одна штольня, 2 скважины с испытаниями на проницаемость и геофизические исследования обследовали данный разлом. Результаты этих исследований были следующие:

- Соляной пласт был найден только на значительной глубине, 50 м ниже глубины ниже соляного пласта в Йонахшском разломе.
- Низкие значения проницаемости и результаты сходились в показе водонепроницаемости зоны разлома.
- Скорости сейсмических волн Р в диапазоне от 6000 м/с, что является очень высоким для горной массы с преобладающей измельченной аргиллитов и гипсов.

Высокая скорость эластичных волн была интерпретирована как доказательство высокой степени сжатия горных пород вдоль и вблизи разлома.





**Рисунок 21. Гулизинданский разлом на правом берегу долины Оби-шур.**

#### Разлом № 35

Разлом № 35 расположен почти перпендикулярно долине реки, которую он пересекает около 100 м ниже от оси плотины. Его ориентация составляет 35-45°/ 330-340°, т.е. падает в сторону верхнего бьефа.

Согласно [1], кумулятивные смещения данного разлома составляют 120 м. В обоих берегах, разлом состоит из двух ветвей, ширина тектонического пласта равна 60-70 м. Та же ширина предполагается и около основания подземной выработки ([1]). Полевые наблюдения показывают, что максимальное смещение могло значительно уменьшиться по мере простираия разлома, в частности на правом берегу плотины. Рис. 22 показывает разлом на левом устье. Тектонические линзы, в том числе весьма измельченные материалы равны нескольким метрам в ширину. В правом устье, две ветви разлома больше похожи на распил, разграниченный пластом с повышенной степенью трещиноватости, но не зоны дробления, как на противоположном берегу. Далее в сторону нижнего бьефа, разлом становится невидимым, когда он достигает атипичную зону с перевернутой последовательностью.



**Рисунок 22. Разлом № 35 на левом устое плотины.**

Несколько других крупных трещин, с ориентацией похожей на разлом № 35, но с низким или нулевым смещением, пересекают долину реки и основание плотины (Рис. 23, 24 и 25). Расстояние между этими трещинами изменяется в основном от 20 до 60 метров. Ширина брекции разлома и глины заполнения равна в основном в несколько сантиметров, но может достигать от 0,3 до 0,5 м (выводы геологического отчета в [1]). Среди них, № 70, как сообщается, имеет кумулятивное смещение 10-15 м. Следует отметить, что на правом берегу, эти трещины, кажется не пересекают Йонахшского разлома.

Как будет обсуждаться далее в отчете, эти разломы и крупные трещины являются частью общей семьи S4. Помимо основных разломов, описанных индивидуально, основные изломы этого семейства являются наиболее заметными и стойкими, как правило, на сотни метров.



**Рисунок 23. Серия разрывных нарушений семейства разлома № 35 на правом устое.**





**Рисунок 24. Разрывные нарушения семейства разлома № 35, падающие в сторону верхнего бьефа на левом устье.**





**Рисунок 25. Разломы на верхней части левого устоя.**

#### Разлом № 28

Данный разлом проходит в области выходных оголовков строительного и водосбросного тоннелей. Он ориентирован СВ-ЮЗ с очень крутым СЗ падением ( $310^{\circ}/80^{\circ}$ ), а ЮВ блок упирается на СЗ, вертикальное смещение равно 100 метрам. Его длина составляет около 1,0 км от разлома № 35 и Гулизинданского разлома. Как разлом № 35, это также не прослеживается вниз по течению от границы атипичной зоны.

#### Поперечные разломы

Разломы с поперечными направлениями к основному региональному направлению хорошо известны в Тянь-Шаньском блоке. Однако некоторые из них, кажется пересекают также в районе или близи участка проекта. Среди них, разлом № 367 был определен в ранних исследованиях. Он обнажается на правом берегу реки Вахш, вблизи перемычки верхнего бьефа и его ориентация является СЗ-ЮВ с крутым падением в ЮЗ. Амплитуда смещения приблизительно оценивается в [1] в диапазоне 150-200м. Ширина зоны дробления достигает 3 - 5 м, а пласт с очень трещиноватыми породами может достигать до 70 м в ширину. На юго-востоке он срезается Ионахшским разломом.

Разрывное нарушение одной семьи выводится из выравнивания морфологических элементов вдоль северо-восточной границы атипичной зоны на правом берегу. Он был определен на стадии ТЭО, как разлом № 24. Полевые наблюдения, такие как жесткий изгиб пластичных слоев и затухание смещения в нижней части склона, не подтвердили наличия разлома или непрерывного поверхностного разрыва.

### 3.3.3. Характеристика разрывного нарушения

Значительные количества структурных показаний были зарегистрированы в [1], с кратким изложением характеристик трещин в чертеже 1174-03-78. Соответственно, основные наборы трещин являются, как показано в таблице 6:

Таблица 6. Основные наборы трещин у створа плотины

Набор трещин	Направление (азимут/угол падения)
S1 (залегание)	130° / 65-70°
S2	32° / 20-28°
S3	220° / 45-55°
S4	345 / 45-50°

Основные элементы характеристик трещин основаны на представленных данных и недавних полевых наблюдений, которые обсуждаются ниже.

#### Набор трещин S1

Набор трещин S1 соответствует залеганию. Оно, естественно, одинаково и в алевролитах и песчаниках, и показывает низкую дисперсность. Скольжение пласт за пластом или сдвиг является очень распространенным явлением в складчатых осадочных толщах. При больших масштабах, Йонахшский и Гулизинданский разломы показывают аналогичные направления.

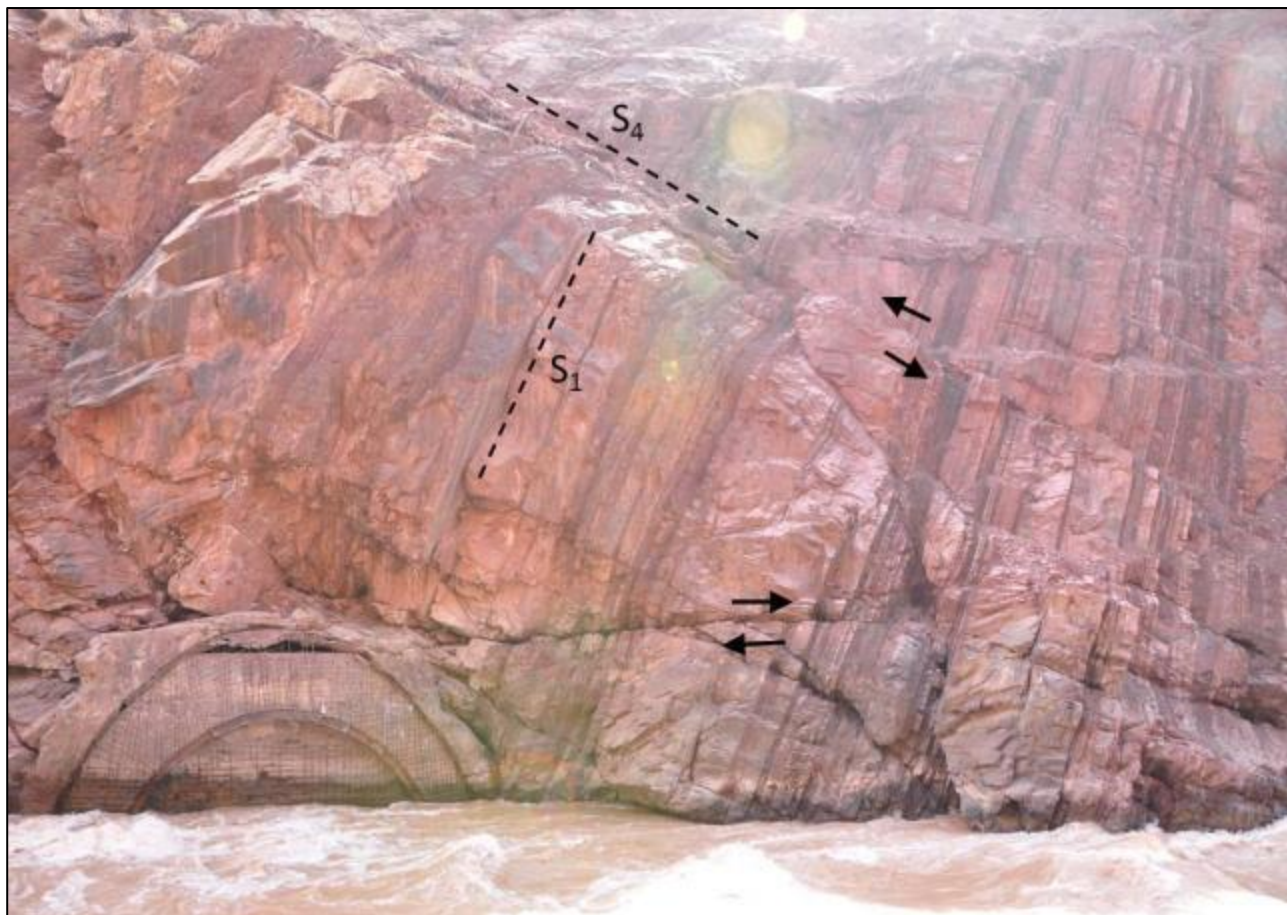
#### Набор трещин S4 – семейство разлома № 35

Набор трещин S4 имеет примерно такое же СВ-ЮЗ направление, как залегание, но угол падения напротив, СЗ, а средний угол падения ниже. Многочисленные основные разрывные нарушения, в том числе разлом № 35, 70, 28 в частности, являются крупномасштабными иллюстрациями этого набора трещин. Вместе с залеганиями, данный набор трещин является самым заметным у створа плотины (рис. 23 выше).

Трещины этого семейства являются неблагоприятными в нижних стенах выработок. Основные изломы, упомянутые выше, имеют такое же направление вдоль алевролитов и песчаников. Основные изломы в основном неблагоприятны для устойчивости склонов в верхних частях левого устоя, в зоне строительных тоннелей. Сдвиг облицовки на входном портале строительных тоннелей, вероятно, вызван гравитационным скольжением на такой поверхности. Риск скольжения вдоль таких разрывов будет увеличиваться с порового давления во время наполнения или со значительными колебаниями уровня водохранилища.

### Субгоризонтальные и неглубокие разрывные нарушения

Субгоризонтальные разрывы заметны во многих местах у створа плотины. Их значение в кинематической модели не вполне ясно, но дециметровые смещения часто связаны с такими разрывными нарушениями, показывая, что они активно участвуют в корректировке тектонических напряжений. Они часто, но не всегда, объединены с разрывами S4 (рис. 26, 27 и 28).



**Рисунок 26. Заметные наборы трещин у створа плотины (здесь, в нижней части правого берега).**





**Рисунок 27. Смещения по субгоризонтали и разрывы S4, верхняя часть горы нижнего бьефа около границы атипичной зоны.**



Рисунок 28 показаны сплошные горизонтальные разрывы, которые не выглядят как смещения второго порядка, сопровождающие разломов S4.



**Рисунок 28. Смещения на сплошные субгоризонтальные/неглубокие разрывы, правый берег, нижний бьеф.**

Субгоризонтальные смещения показывают, что кинематическая модель является более сложной, в частности, диффузная деформация по многочисленным разрывам. Положительным выводом является то, что деформация на отдельных разрывах ниже. Такая деформация наблюдалась на основных разломах и был определен порядок величины скорости скольжения (Йонахшский разлом, разлом № 35). Недостатком является то, что сдвиг может произойти в непредсказуемых местах, в массиве горных пород. Следовательно, разумное, предусмотрительное проектирование будет рассматривать не только локальную обработку, где сооружения пересекают основных разломов, но и обработку полного развития сооружений.

#### **4. Устойчивость склонов**

В этом разделе рассматриваются проблемы устойчивости склонов в районе створа плотины и приплотинных сооружений. Аспекты, связанные с устойчивостью склона в районе водохранилища, рассматриваются в разделе 6.

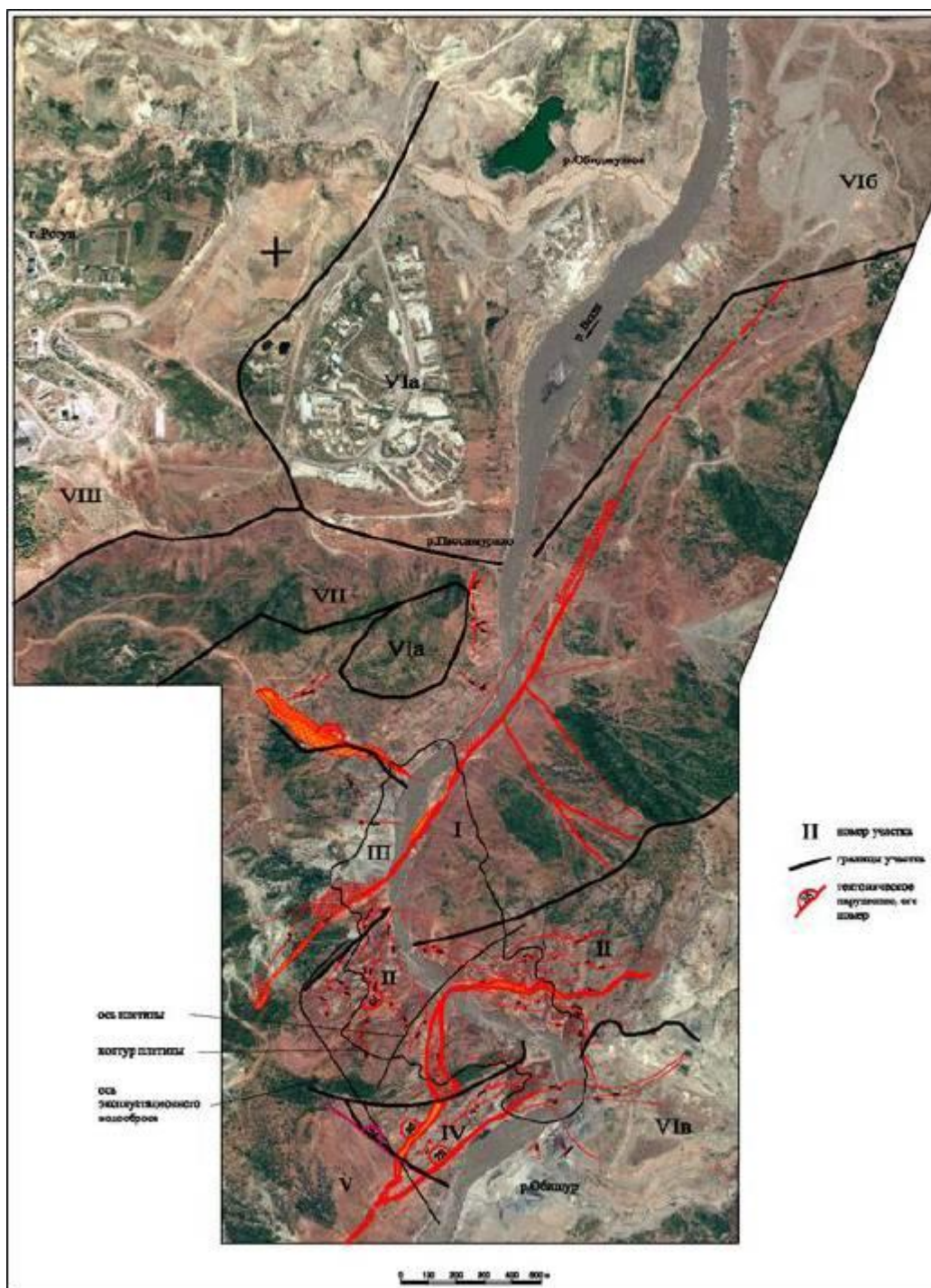
Согласно Техническому Проекту [1] в зоне реализации выделяют следующие виды оползней:

- Оползни, включающие четвертичные отложения.
- Оползни, связанные с выщелачиванием соли в основании склонов (этот тип оползня особенно связан с зоной водохранилища и будет обсуждаться в соответствующем разделе).
- Оползни, управляемые структурными или стратиграфическими разрывными нарушениями

Анализ устойчивости склонов был обновлен и представлен в [13].

##### **4.1. Оползни, включающие четвертичные отложения**

Было выделено несколько зон, как показано ниже, на рис. 29.



**Рисунок 29. Зонирование процессов нестабильности склонов**

Согласно анализу в [13], основными территориями с прошлыми и потенциальными оползнями с четвертичными породами, являются следующие :

- В «зоне I», накопление больших объемов обломочных отложений, толщиной превышающей 10 м, нависает на склоне над водозаборными сооружениями (рис. 30), основание этих отложений находится ниже уровня водохранилища. Они уже



представляют угрозу во время строительства, но вероятность схода возрастет после наполнения водохранилища. На этом этапе рекомендуются обычные меры по снижению рисков: переформирование склонов, там, где это возможно, дренаж, коллекторы воды, подпорные сооружения.



**Рисунок 30. Накопление толстых отложений на склоне (3) на левом берегу верхнего бьефа.**

- В 'зоне V', которая соответствует склонам атипичной зоны правого берега (рис. 31). Мощные нагромождения обломочных отложений широко распространены на этом склоне. Склон также имеет в центральной части древний оползень (рис. 32). Полевой осмотр показал, что этот оползень включает в себя в основном Туронские сланцы, чей сход, соответственно, повлек за собой вышележащий массивный известняк. Крутой обрыв во фронтальной части этого древнего оползня указывает на недавнюю реактивацию. Объем потенциального оползня может достигать  $500,000 \text{ м}^3$  и может временно перекрыть русло реки. Требуются дренаж и переформирование склона для предотвращения или снижения влияния этой нестабильности на сооружения Рогунской ГЭС во время строительства или эксплуатации. Эти меры должны быть обобщены для всех потенциально неустойчивых участков со значительными объемами на этом склоне.





Рисунок 31. Зонирование склона атипичной зоны.

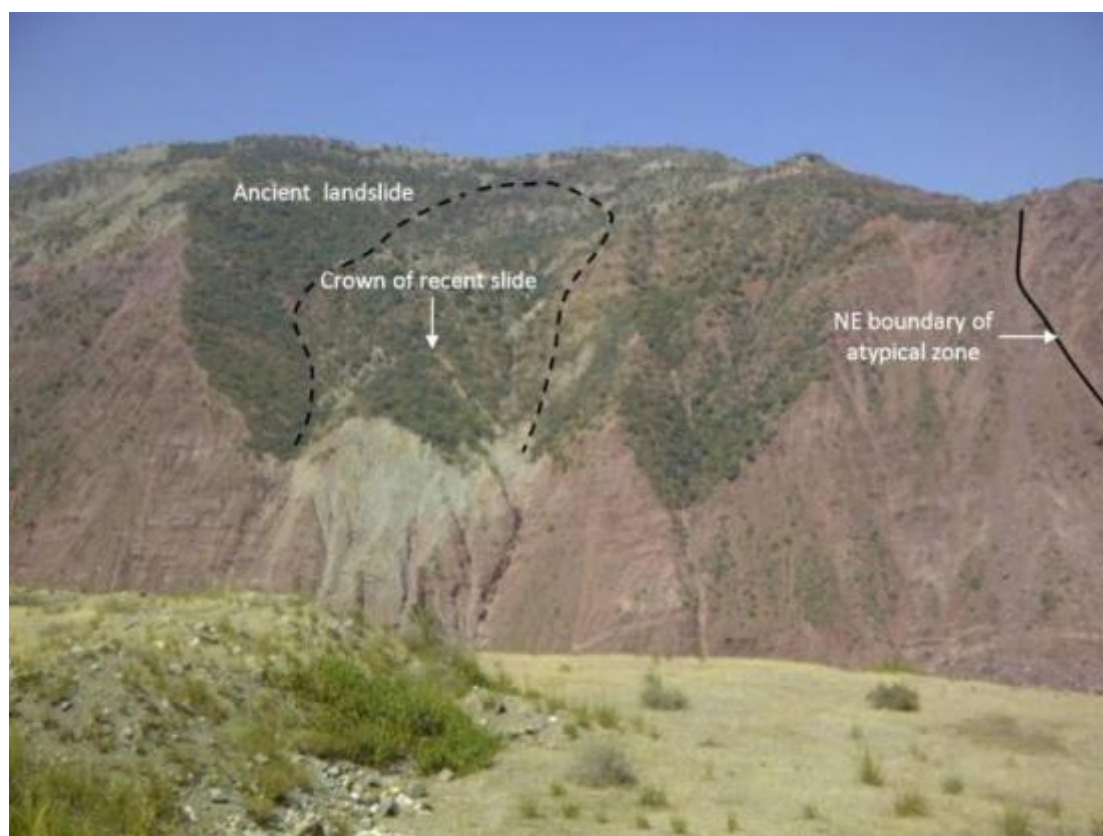


Рисунок 32. Древний оползень в центральной части атипичной зоны.

- «Зона VI» включает в себя крутые откосы в аллювиальных террасах, которые пролегают на левом берегу реки Вахш, особенно между устьем Оби-Джушон и

каньоном с одной стороны и начиная с устья Обишур, ниже по течению от каньона. Крутые откосы достигают 20-50 м в высоту и могут быть последовательно затронуты размыванием берегов из-за речной эрозии в их основании. Наиболее вероятно, что эрозия будет прогрессирующей, пока выщелачивание соли вдоль Вахшских разломов не вызовет более крупных оползней. На данном этапе это трудно спрогнозировать.

- «Зона VII» включает в себя правый берег долины Пассиморухо. Оползни на этой территории интерпретируются как изменение склона, вследствие выщелачивания соли в их основании. Рассматриваемые в [1], как типичные для старых оползней в зоне водохранилища, они рассматриваются в соответствующем разделе.
- «Зона VIII» включает в себя территорию между долинами Пассиморухо и правым берегом долины Обигарм. Эта территория, включающая в себя город Рогун и стройплощадку, является особой из-за поднимающихся пластов соли, карстового выщелачивания и многочисленных поверхностных нестабильностей. Зафиксированный ущерб зданиям в городе Рогун связан с оседанием поверхности, это обсуждается в разделе, связанном с геологией водохранилища. Что касается «зоны VI», оползневые и деформационные процессы, в основном поверхностные, будут продолжать развиваться во время наполнения водохранилища. Должно быть рассмотрено влияние наполнения водохранилища на выщелачивание и последующие нестабильности.
- В дополнение к вышесказанному, следует отметить, что на правом берегу по верхнему бьефу, территория соответствующая Кирбичской синклинали и близкой к Йонахшскому разлому, толстые отложения на склоне могут привести к оползни сотнями тысяч кубических метров.

## 4.2. Структурно управляемые оползни

Среди структурно управляемых оползней, отчет ТЭО описывает древний оползень в атипичной зоне правого берега по нижнему бьефу створа плотины, с примерным объемом 500 млн. м<sup>3</sup> (в соответствии с недавней переоценкой в 2009 году ([13]), примерный объем древнего оползня может составлять 75-100 млн. м<sup>3</sup>).

Предполагаемым механизмом является оползни крыльев синклинали вдоль слоев аргиллита и гипса. Недавние исследования и наблюдения во время ИТЭО предполагают, что конфигурация этой конкретной территории происходит от тектонической деформации. Данная тема представлена в отдельном отчете ([15]). Основные аспекты приводятся ниже.

Атипичные характеристики верхней части правого берега и более в общем плане склон правого берега по нижнему бьефу от ущелья были определены на более ранних стадиях. Характерные особенности включают в себя:

- Широкою, относительно ровную территорию (**Error! Reference source not found.**) на отметке 1700 – 1750 м над уровнем моря, которая примерно на 300 м ниже вершины и на 700-800 м над уровнем долины реки Вахш.
- Падение пласта в направлении СЗ (верхний бьеф), противоположно падению пласта в направлении СВ (нижний бьеф) в ущелье. В результате склон между ровной территорией и рекой, является Мезозойской последовательностью в обратном

положении, т.е. более старые формации пролегают над более новыми формациями. Перевернутая последовательность включает Йонахшский разлом.

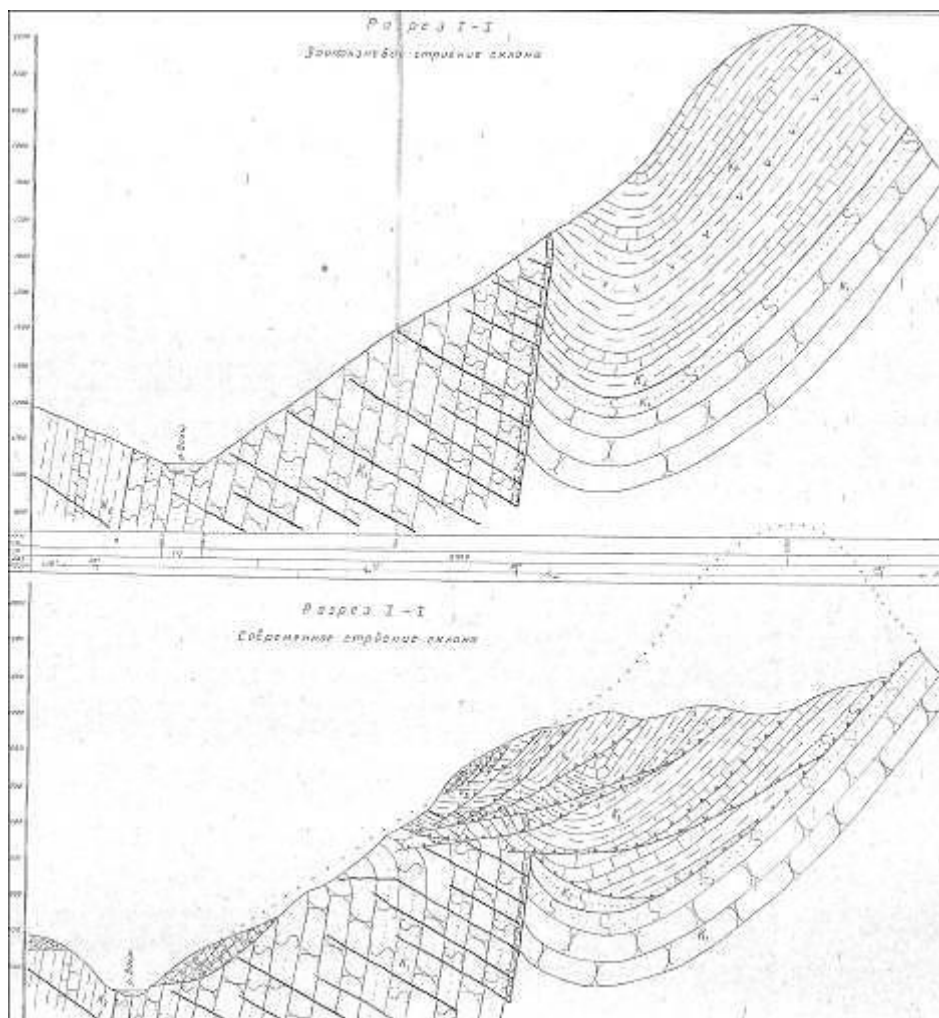
- Смещение нижних склонов формации, десятки метров на более чем 100 м, по отношению к их нормальным положением в основании плотины (сенестральное смещение).



**Рисунок 33. Атипичная ровная территория.**

На этапе технического проектирования характерное положение было объяснено нестабильностью большого объема массивных оползней на склоне. Хотя многие скользящие горные массы собраны на верхней части склона и формируют атипично ровную поверхность, значительные массы также сошли в долину реки. Соответственно, изменение падения напластования могло быть вызвано выемкой грунта в основании склона (рис. 34). В этой «модели оползня» смещение нижнего склона было интерпретировано как результат схода вдоль восточной границы зоны оползня.





**Рисунок 34. Интерпретируемые поперечные разрезы «зоны оползня» (в [1]). Вид в сторону нижнего бьефа (ЮЗ). Первоначальное расположение наверху и расположение после оползня снизу.**

Согласно техническому проекту 1978 года, зона старого оползня в основном стабилизировалась. В настоящее время, могут произойти только поверхностные оползни, из-за обвалов пластов из тела древнего оползня и из смещенных слоев склона. Максимальный размер такого потенциального оползня оценивался в «несколько сотен тысяч метров».

#### Дополнительные полевые исследования в 2012 году

Основные результаты исследований, выполненных во время ИТЭО, являются следующие:

Геологическая карта, отчеты по бурению, отчет по сейсмике и отчет по микрогравиметрии, приложенные к отчету [15].

- Атипичное геологическое строение распространяется вдоль территории, которая раньше относилась к так называемой «древней зоне оползня». Исследование было расширено до сая Арарак, которая является первым значительным правобережным притоком после нижнего бьефа плотины.



- Некоторые из верхне молвых формаций, определенных в саяе Арарака, включают в себя толстые слои гипса, который показывает многочисленное растворение (рис.35)



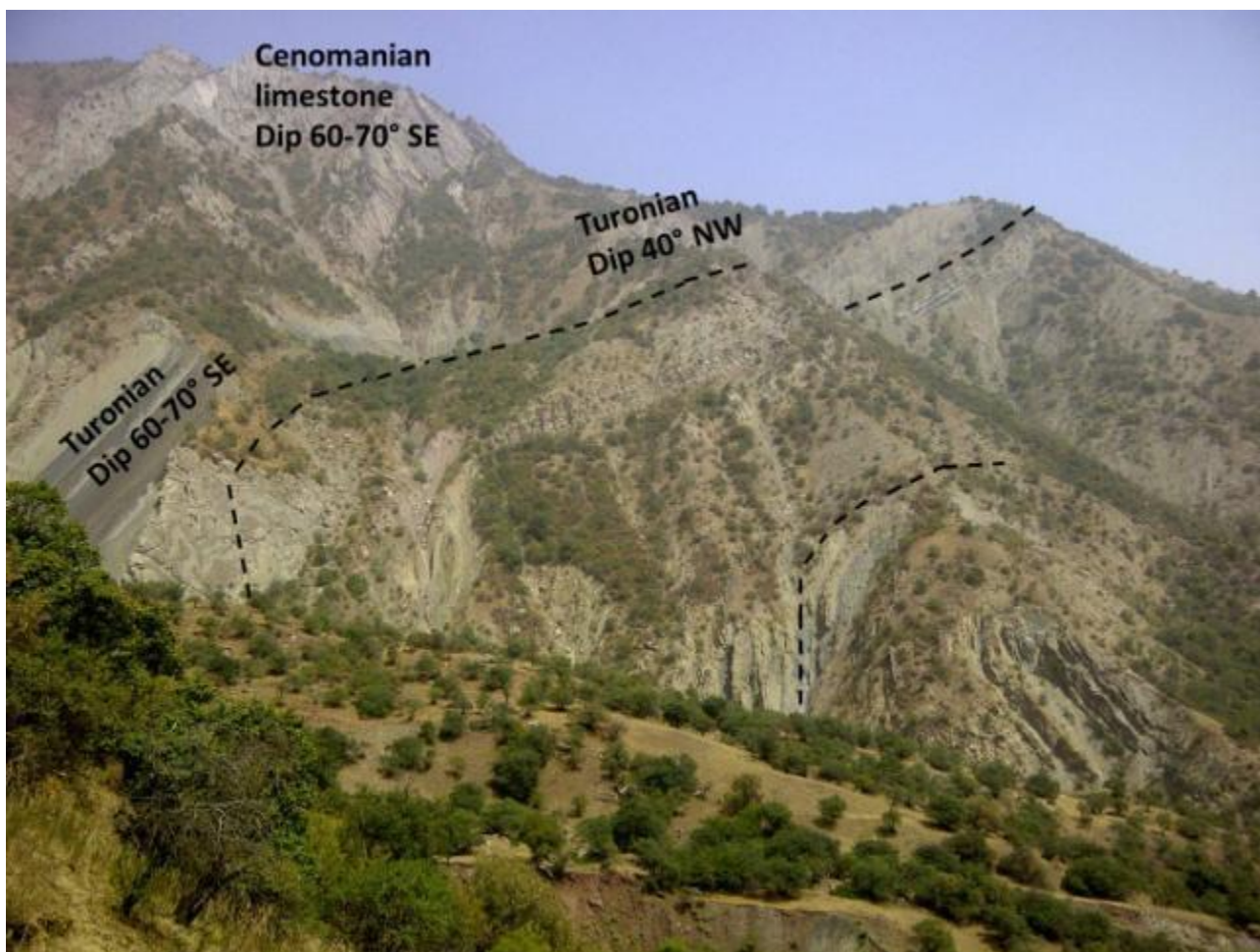
**Рисунок 35. Карстовая воронка в толстом слое гипса, левый берег сая Арарак.**

Похожие формации гипса включены как отслоение в выступающие складки, типичны для солевых / эвапоритовых отложений, которые видны на противоположном берегу реки Вахш (рис 36), Соляные тектоники, складки в форме пузырей на левом берегу, напротив атипичной зоны). Был сделан вывод, что в зоне реализации проекта, тектоническое напряжение распределяется по отслоениям, не только в Юрской солевой формации, но и в других подходящих уровнях над ним.



**Рисунок 36. Соляные тектоники, пузырчатые складки на левом берегу напротив атипичной зоны.**

- Крупномасштабные складки и опрокинутая верхне-меловая последовательность, включая Сеноманскую и молодые формации, были сразу замечены в целостности с «атипичным строением», которое ранее интерпретировалось как «оползень» верхне-меловых слоев (рис. 37). Левый берег сая Араак показывает крупномасштабный поворот и перемену направления меловой последовательности. Молодые формации идут слева направо. Слева нормальная позиция с направлением падения в сторону ЮВ. Справа, обратная позиция с направлением падения в сторону СЗ. Туронские черные сланцы и массивный известняк в контакте Турона / Сеномана, как основные породы, могут быть отслежены практически без перерыва вплоть до створа плотины.



**Рисунок 37. Крупная складка на левом берегу сая Арарак.**

- На территории восточной границы атипичной зоны, согласно полевым наблюдениям, предполагается, что пластическая деформация, как не пропускающий поворот, включены в очевидное сенестральное смещение
- Морфология широкой ровной поверхности на правом берегу усложняется многочисленными топографическими прогибами. Они могут быть вытянуты параллельно напластованию, ВСВ-ЗЮЗ (рис. 38), но так же быть и круглой формы. Их ширина очень различна, от нескольких метров до более 100 м. Маленькие карстовые воронки очень похожи на те, что находят в карстовых территориях. Обнаружение гипсовой/глиняной формации толщиной 65 м в скважине DZ2, рядом с постоянным озером, защищенного одним из таких оседаний, поддерживает карстовую природу выщелачивания, наблюдаемых карстовых воронок.





**Рисунок 38. Карстовые воронки вытянуты параллельно пролеганию восточной части высокой террасы.**

- Были выполнены сейсморазведка методом преломленных волн, для того, чтобы оценить толщину пластового давления и получить характеристики коренной породы, при помощи вариации эластичной скорости волны. Результаты подтвердили толщину толстого глиняного перекрытия на территории высокой плоской поверхности. Йонахский разлом, в его повернутом положении (падающем в сторону СЗ), хорошо распределен на геофизических разрезах.
- Наиболее значительная аномалия, выявленная измерениями микрогравиметрией в центре исследуемой территории, была интерпретирована как масса с малой плотностью, достигающей максимальной глубины 120м. Ее природа неясна, или это эвапоритовая масса (диапир?), или очень глубокая просевшая территория, заполненная глиной. Независимо от фактической природы, основание аномальной массы лежит на 200м над уровнем гребня плотины, поэтому это не представляет проблемы для проекта.



Основываясь на доступных предыдущих и недавних данных, геологическое строение атипичной зоны на правом берегу стало результатом тектонической деформации, в отличие от последовательных массивных оползней и поверхностных ползущих процессов. Тектоническая деформация может быть связана с отслаиванием на эвапоритовых слоях, расположенных в пределах верхней меловой последовательности. Одна возможная интерпретация полевых наблюдений представлена на рис. 39.

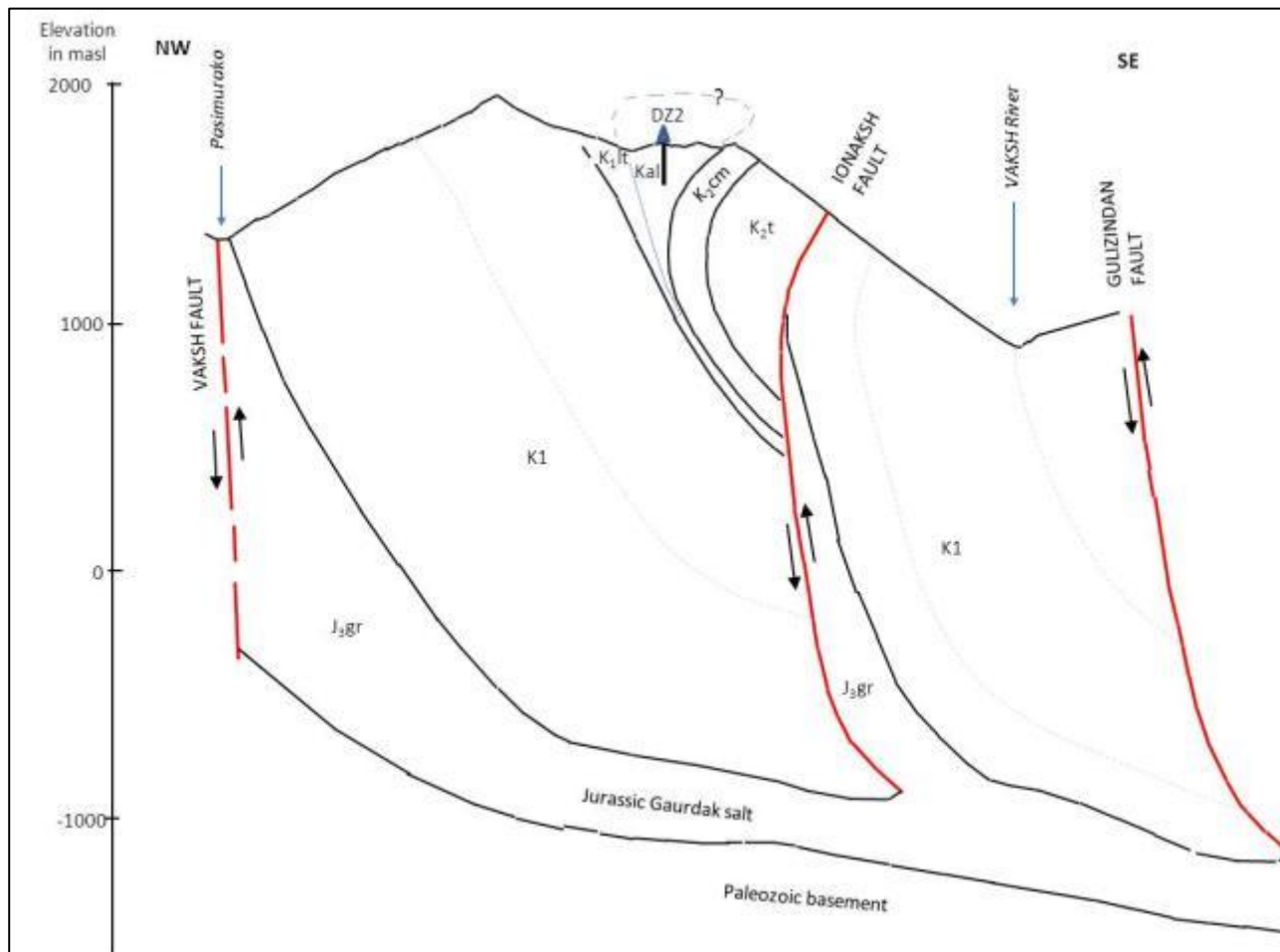


Рисунок 39. Интерпретируемый поперечный разрез правого берега, вид с ЮЗ.

Рисунок 40 ниже, показывает в малом масштабе, компактную ассиметричную пузырчатую складку, чье ядро очень похоже на ядро складки в интерпретируемом разделе.



**Рисунок 40. Левый берег сая Арарак. Компактная складка в Конякских слоях.**

Эта интерпретация не претендует на точное воспроизведение реальности, рассматривая комплексное строение и малое количество подземных исследований. Тем не менее, это включает полевое подтверждение комплексных складок в большом и малом масштабе, выводя вперед модель тектонической деформации для объяснения геологической структуры атипичной территории.

Поверхностные процессы, такие как карстовое выщелачивание, проседание и оползни, также сходятся в переформировании склонов атипичной зоны. Как обсуждалось выше, древний оползень виден в центральной части склона, между 1700 м и рекой.

Новая интерпретация предполагает два важных следствия:

- Повернутая Мезозойская последовательность, не является следствием древнего оползня, а тектонической деформации. В случае схода оползня, зона отклонения является очень слабой зоной. Учитывая, что структурный изгиб лежит глубоко в склоне, как предполагается на этом этапе, тектонический характер считается более благоприятным для стабильности склона.

- Северо-восточная граница атипичной зоны (первоначально разлом №24), могла соответствовать компактному изгибу, в отличие от резкого разрыва или зоны излома. В подробностях, строение может быть комплексным, совмещая изгибы более пластичных слоев (аргиллитов/гипса) и деформации более хрупких слоев (песчаник). Природа и характеристики этой границы важны для размещения и проектирования структур на этой территории. Можно сделать вывод, что даже если изгиб идет в соответствии с зоной излома с тектоническим происхождением, он может иметь такие же характеристики, что и разлом №35, прохождение водосбросных тоннелей по которому уже спроектировано. В любом случае, дополнительные исследования и мониторинг являются обязательными для того, чтобы предоставить надежные вводные данные для окончательного проекта. В итоге подчеркивается, что эта проблема может относиться не к возможности осуществимости, а к вопросу проектирования.

### 4.3. Камнепады

Даже на склонах, которые устойчивы в крупном масштабе, камнепады являются очень частыми. Во время дождей, они проявляются систематически. Основываясь на системе трещиноватости, размер камней может варьироваться от 0.3 до 2 м. Это уже довольно заметно, но более большие нестабильные скальные породы наблюдается лишь местами. Камнепады угрожают безопасности персонала, и иногда могут нанести ущерб сооружениям. Рекомендуются стандартные меры для предотвращения таких случаев: чистка наиболее нестабильных блоков, поддержка анкерными болтами, штанговой крепью, проволочными сетками.

## 5. Инженерная геология

### 5.1. Выветривание

На поверхности различное выветривание и эрозия очевидны, особенно для переслаивающегося песчаника и алевролита в нижних меловых отложениях и переслаивающихся сланцах и известняке или песчанике в верхних меловых отложениях. Слои твердой породы (песчаник, известняк) формируют нестабильные участки, и это одна из причин очень частых камнепадов на створе плотины.

Благодаря крутым склонам, продукты выветривания постепенно вымываются, и полоса выветренной скальной породы становится более тонкой. Выветривание только проникает вглубь открытых трещин.

Из всех типов пород, именно аргиллит из формации Обигарм быстро обрушается. Трещины могут развиваться в течении 8 – 12 часов и проникать вплоть до 0.5 м вглубь скальной породы за один день. Они также показывают набухание при поверхностном обнажении, и мутность, вырабатываемая некоторыми мокрыми образцами, говорит о присутствии дисперсионной глины.

Несмотря на чувствительность к выветриванию, предполагается, что аргиллиты трудны для выемки после 0.5-1 м глубины. Что касается механических свойств в долгосрочной перспективе, они могут быть склонны к размягчению и потере прочности.

Среди других видов скальных пород, бурые аргиллиты Юрского периода, расщепленные и перемешанные с гипсом, пролегают над соляным пластом, а также вероятно, что сланцы формаций Лятобанда и Турона наиболее чувствительны к выветриванию и склонны к размягчению.

### 5.2. Трещиноватость

В большом масштабе, плоскость напластования и трещины семейства S4, формируют наиболее постоянные и заметные большие разрывы. Эти разрывы имеют в основном плоскую поверхность. В малом масштабе, скальный массив подвержен 3 и более системам трещин различных направлений.

Общая степень трещиноватости является средней. В зоне с высокой плотностью трещиноватости, размер блоков варьируется от 15 до 40 см, он может достигать 2 м в зонах со средней трещиноватостью.

Соответственно, скальная порода делится от блочной до очень блочной, с относительно хорошими взаимосвязанными блоками. Эта взаимосвязанность отражена в крутости склонов.

Основываясь на доступных данных, заполнителем в большинстве трещин является гипс, в виде очень тонкого покрытия. Глиняный наполнитель был замечен в очень редких случаях. Присутствие гипса, ре-мобилизованного в зонах с высоким давлением и ре-кристаллизованного в открытых трещинах, не удивляет, учитывая количество гипсовых слоев в последовательности. Что касается глиняного наполнителя, его можно было видеть



во время недавних посещений некоторых галерей, в многочисленных трещинах и особенно в большинстве постоянных трещин.

### 5.3. Гидрогеология

На стадии технического проектирования были проведены несколько сотен тестов на водопроницаемость. Учитывая, что методология проведения тестов отличалась от текущего стандарта Люжона, трудно детально оценить результаты. Тем не менее, можно сделать общее заключение на основе этих результатов, это то, что скальные породы вокруг Рогунской ГЭС имеют слабую водопроницаемость. Соответственно, ошибка корреляции с текущими стандартами, серьезно не изменит выводы.

Значения водопроницаемости были интегрированы как важный параметр для геотехнического зонирования в следующем параграфе. Типичные значения для классов скальной породы, от поверхности к глубине, кратко приведены ниже:

- Класс I, на глубину от 7-40 метров от поверхности: от 1.8 до 2.2 л/мин на каждый 1 м под 1 метром указателя уровня воды, приблизительно равным 20 Люжонам.
- Класс II, от 15-25 до 40-50 м толщиной под классом I, от 0.12 до 0.3 л/мин, приблизительно равен от 1 до 3 Люжон.
- Класс III, глубиной от 20-80 м до 60-140 м, с водопроницаемостью в промежутке от 0.02 до 0.08 л/мин (от 0.2 до 0.8 Люжон)
- Класс IV, с верхней границей на глубине 60-140 м, водопроницаемость меньше 0.1 Люжона.

Как упоминается в отчете [1], высокая водопроницаемость была зафиксирована даже на глубине, соответствующей IV классу скальных пород, вероятно, связанную с местными открытыми трещинами.

Анизотропия, обычно связанная с осадочными комплексами, была слабо рассмотрена в первой оценке. Такая анизотропия может быть высокой в переслаивающихся слоях песчаника / аргиллита. Однако на створе Рогунской ГЭС, высокое горизонтальное давление нейтрализует большую часть анизотропического эффекта. Этот эффект грубо оценивается в один порядок магнитуды и сконцентрирован местами.

Результаты недавних испытаний на водопроницаемость показали неоднородность скальных пород. В скважине WRB1, которая пересекала в основном песчаник, тесты показали интервал водопроницаемости в 15 – 25 Люжон (таблица №7).

Перед началом этого ИТЭО, количество пьезометров в основании плотины было очень малым, почти все они располагались около Йонахшского разлома. Во время текущего исследования было установлено 19 пьезометров. Анализ результатов показал следующее:

Грунтовые воды текут в основном в направлении реки. Ввиду крутых склонов и скальных пород с низкой водопроницаемостью, процент инфильтрации низкий, вероятно не превышающий 10% от осадков.

Во время летнего периода, когда уровень воды поднимается, река питает грунтовые воды на устоях, следуя градиенте около 3%.

Таблица №.7. Краткие результаты испытания на водопроницаемость в скважине WRB1

Уровень	Действительное давление (в барах)	Проницаемость (в Люжонах)
60-65	13	25
65-69.9	14	25
89.9-74.9	15	23
74.9-79.9	17	20
79.9-84.9	16	21
84.9-90	18	18
90-95	17	19
95-100	18	19
100-105	11	16
105-110	20	15

Инфильтрация, гидравлическая проницаемость и градиент подземных вод в общем похожи на обоих примыканиях к плотине. Тем не менее, из-за присутствия в правом берегу гипса и известняка в верхних меловых отложениях, гидравлическая проницаемость на этом берегу оценивается немного выше.

Особенности подземных вод Йонахшского разлома, а также другие проблемы, связанные с соляным оголовком, обсуждаются в отдельном отчете.

#### 5.4. Инженерно-геологическое зонирование

Согласно первоначальному геотехническому зонированию, были выделены 4 класса скальных пород:

- Класс I относится в основном к верхней границе основания, где выветренный аргиллит, и были обнаружены глиняные заполнения в трещинах песчаника. Толщина увеличивается кверху, от 7 до 40 м. Он также характеризуется следующим:
  - Интенсивная трещиноватость
  - Высокая проницаемость (эквивалентна примерно 20 Люжон)
  - Прочность на сжатие: от 10 до 90 МПа

- Модуль деформации грунта (1.2 – 2.5 ГПа)
- Низкая скорость распространения сейсмической волны, в пределах  $V_p=1.6 - 2.2$  км/с.
- II класс скальной породы лежит под классом I. Толщина варьируется от 15-25 м около уровня реки до 40-50 м в верхних откосах.
  - Проницаемость снижается до 1-3 Люжон
  - Предел прочности при неограниченном сжатии: 110 МПа для песчаника, 60 Мпа для алевролита
  - Модуль деформации скальной породы: 1.5 ГПа для трещиноватых зон или тектонических линз, от 3.5 до 4.5 Гпа для стандартной скальной породы.
- Классы III и IV соответствуют глубоким, мало выветренным скальным породам, с низкой степенью трещиноватости. Верхняя граница лежит на уровне 20-80 м ниже уровня поверхности для класса III и от 60 до 140 м для класса IV.
  - Размер блоков от 15 до 25 см
  - Проницаемость гораздо ниже 1 Люжона, но есть открытые трещины с высоким притоком воды.
  - Модуль деформации скальной породы: 2 ГПа для выветренных зон или тектонических линз, от 4 до 8 Гпа для стандартной скальной породы.
  - Скорость  $V_p$  может превышать 4 км/сек в классе IV.

## 5.5. Основание плотины

Выемки для непроницаемого ядра плотины уже начались, склон правого берега частично заполнен неглубокими нестабильностями. В то же время, обнаженная скальная порода подверглась дополнительному выветриванию. Эта выемка должна быть продолжена в любом случае, и они должны будут дойти до уровня, где основная часть разрывов непроницаема.

Непроницаемое ядро благоразумно расположено в аргиллитах формации Нижний Обигарм. Это толстая последовательность слоев аргиллита имеет природную слабую проницаемость, особенно в скальной породе IV класса. По этой причине предложенная глубина цементационной завесы (рис.41) на этом этапе выглядит вполне адекватной. С другой стороны, было предположено, что поперечное расширение, особенно на правом берегу, не может быть спроектирована до определения характеристик границ атипичной зоны и проведения дополнительных испытаний на водопроницаемости.

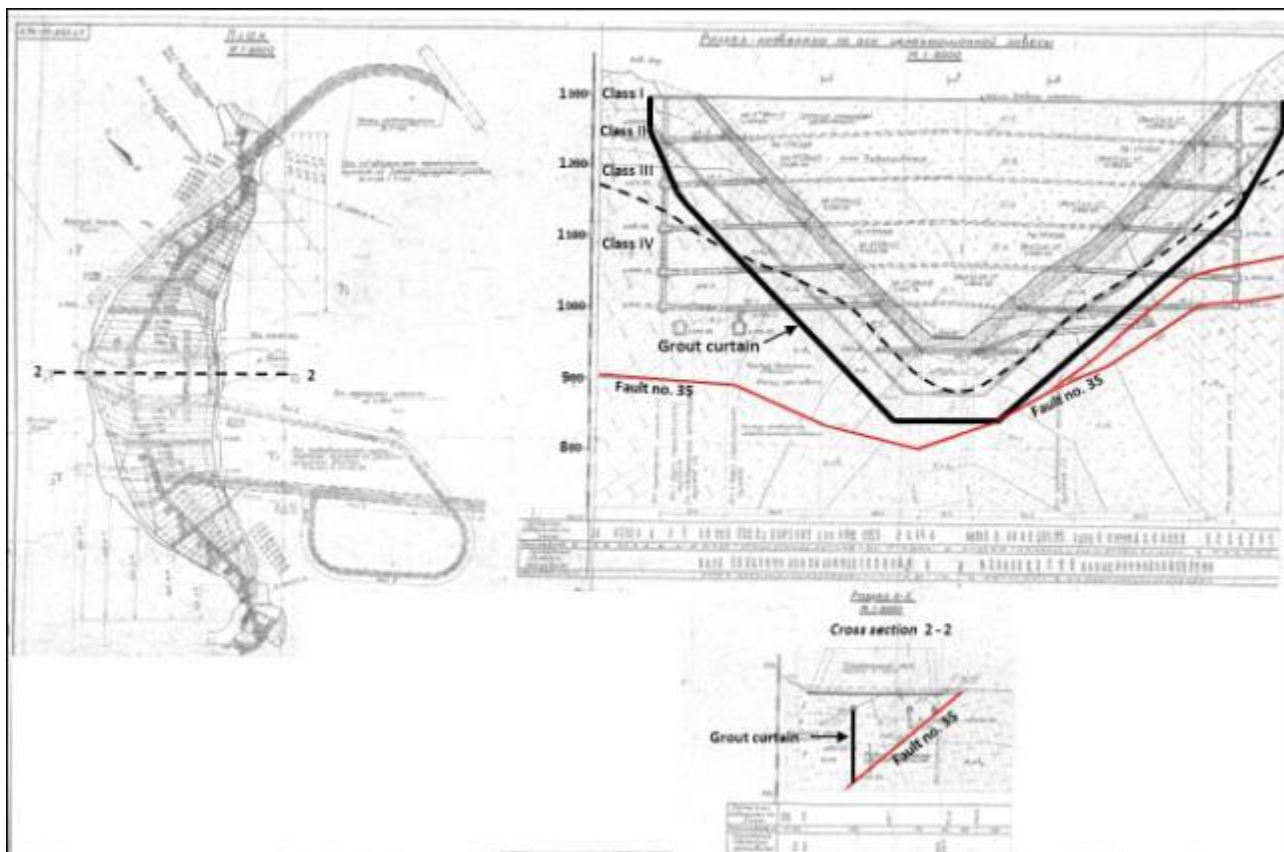


Рисунок 41. Протяженность цементационной завесы (в [1]).

## 5.6. Помещения машинного зала и трансформаторного помещения

### ➤ Местоположение

Расположение двух помещений было выбрано таким образом, чтобы они располагались в основном в песчаниках и частично в алевролитах. Это решение очень благоразумно, и недавно измеренная конвергенция показала, что деформативность алевролитов значительно выше по сравнению с песчаником.

Местоположение располагается глубоко в склоне, далеко от поверхностного влияния и в пределах зоны, устойчивой к напряжению в породе. Одним из вопросов, вызывающих озабоченность, также указанной в [13], является близость зоны влияния разлома № 35.

### ➤ Система трещиноватости

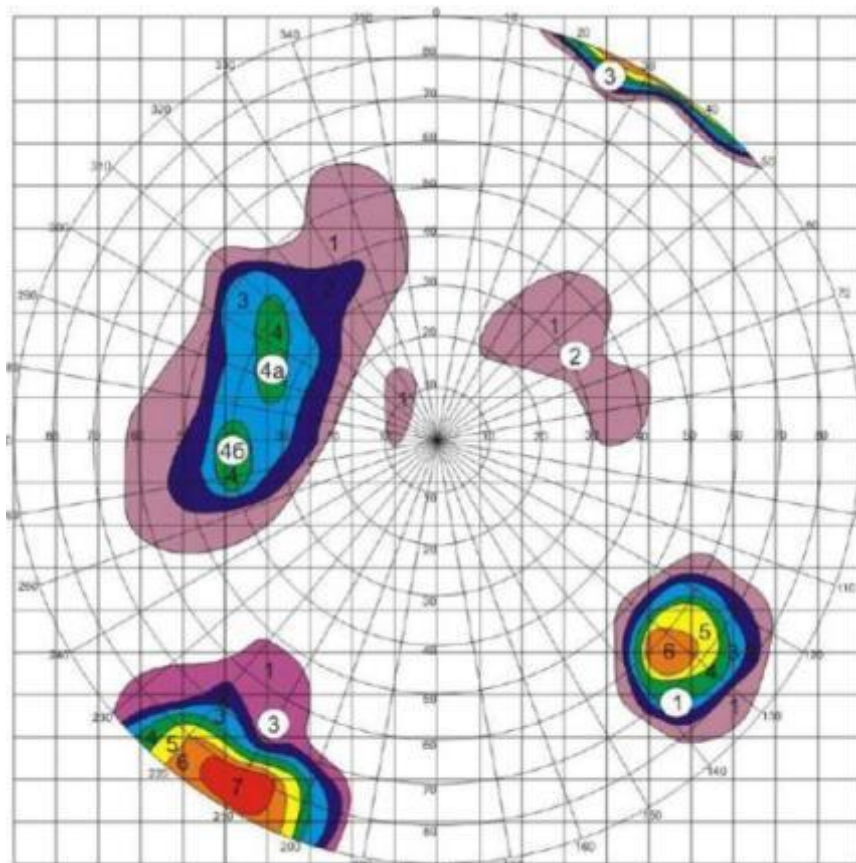
В 2009 году был проведен подробный анализ системы трещиноватости ([13]). Этот анализ использовал существующее картографирование, выполненное в 1978-1980 годах, в коротких ответвлениях разводочной штольни №1030, недалеко от месторасположения машинного зала и трансформаторного помещения. В этот анализ были включены местоположение, устойчивость и условия трещин. Основные результаты этого исследования приведены ниже.

### Системы трещиноватости в алевролитах формации Нижний Обигарм



Алевролиты формации Нижний Обигарм формируют 30% скальных пород, в которых расположен машинный зал и около 20% пачки пород между двумя помещениями. Была измерена и зафиксирована сильная конвергенция в стенах, содержащих эту породу.

Данные по направлению трещин были зафиксированы в ответвлении, вырытом на пикете 0+287 галереи №1030, с азимутом 226° и длиной 10 м. Следующий синтетический участок трещин (рис. 42) основан на 718 показаниях приборов.



**Рисунок 42. Участок трещин алевролитов формации Нижний Обигарм.**

Характеристики семейств трещин собраны в таблице № 8.

Таблица № 8. Системы трещин и их характеристики в алевролите Нижнего Обигарма.

Joint system	Dip azimuth / Dip angle	Width (mm)	Persistence (cm)	Filling
S1	115-145° / 50-85°	0.1-0.2	20 to >3000	Gypsum, clay only for the most persistent
S2	35-92° / 19-41°	0.1-2.25	10-50	Gypsum
S3	195-232° / 52-90°	0.1-0.5	10-160	Gypsum
	15-50° / 80-90°			
S4a	280-350° / 25-60°	0.1-0.5	10-90	Gypsum
S4b	245-280° - 22-62°	0.1-0.95	15-115	Gypsum

Основываясь на координатах трещин, анализ показал следующие потенциально нестабильные участки (таблица № 9):

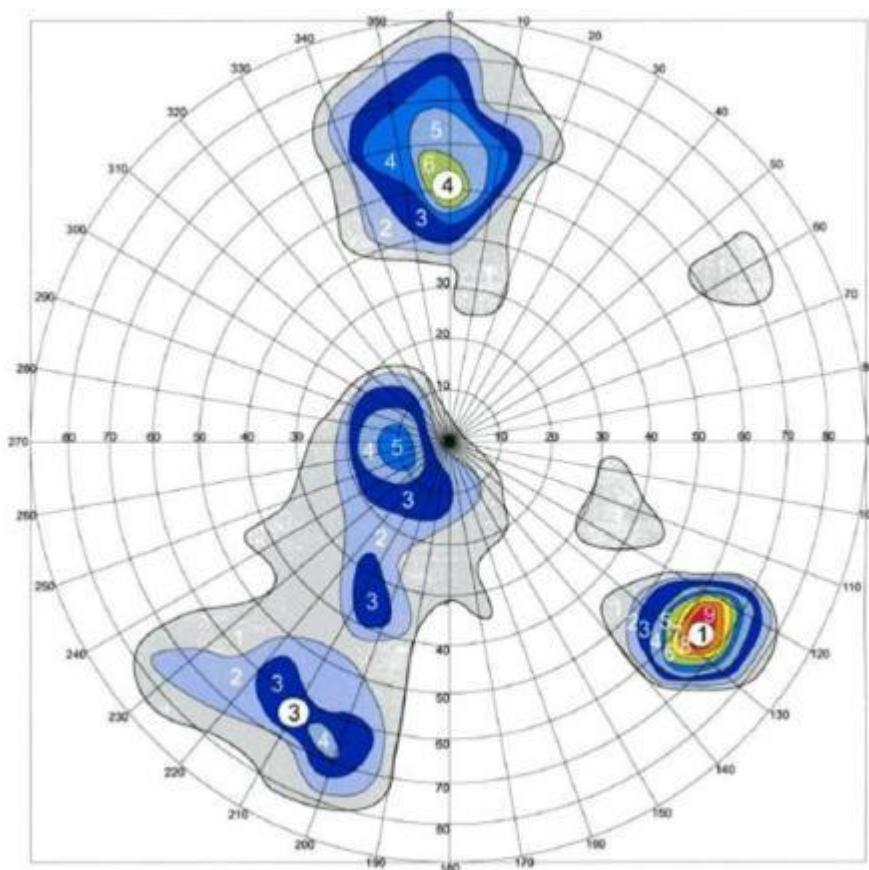
Таблица № 9. Потенциально нестабильные участки алевролитов в Нижнем Обигарме.

Joint systems	Orientation of the edge	Unfavorable location
S1 / S4a	49° / 18-22°	Downstream wall
S2 / S4a	30-40° / 28-30°	Downstream wall
S1 / S2	50-60° / 26-28°	Downstream wall
S1 / S3	130-200° / 45-48°	Upstream wall

#### Система трещиноватости в песчанике формации Верхнего Обигарма

Песчаники Верхнего Обигарма формируют основную часть машинного зала и трансформаторного помещения.

Данные были зафиксированы в ответвлении, пройденном от пикета 0+540 м галереи № 1030, с азимутом 223° и длиной в 10 м. Синтетический участок системы трещин (рис. 43) основан на 372 показаниях приборов.



**Рисунок 43. Участок системы трещин в песчаниках верхне Обигармской формации.**

Таблица № 10. Системы трещин и их характеристики в песчаниках Верхнего Обигарма.

Joint system	Dip azimuth / Dip angle	Width (mm)	Persistence (cm)	Filling
S1	110-140° / 49-74°	0.1-0.25	5-140	Gypsum, very rare clay
S2	29-70° / 52-90°, 80-90°	0.2-0.4	10-60	Gypsum
S3	184-265° / 44-90°	0.1-0.45	5-70	Gypsum
S3a	160-278° / 26-50°	0.1-0.3	15-105	Gypsum, very rare clay
S4	310-360°, 0-29° / 29-90°	0.1-0.4	10-150	Gypsum, very rare clay
S5	Dip<25°	0.1-0.3	10-150	Gypsum, very rare clay

Потенциально нестабильные участки представлены в таблице № 11:

Таблица № 11. Потенциально нестабильные участки песчаников Верхнего Обигарма.

Joint systems	Orientation of the edge	Unfavorable location
S1 / S4	55° / 30°	Downstream walls
S2 / S4	358° / 52°	Downstream walls
S3 / S4	293° / 20°	SE end wall
S1 / S3	65° / 58°	Upstream walls

➤ Данные мониторинга

Основные инженерно-геологические аспекты, связанные с помещениями машинного зала и трансформаторного помещения, выделены при помощи мониторинга деформации стен. Основные результаты:

- В 1999 году конвергенция стен машинного зала достигла 120-160 мм в песчанике и 300-330 мм в алевролите. Общая конвергенция была 280 и 630 мм, соответственно.
- До 2002 года, конвергенция продолжилась со скоростью 1 мм/год для песчаника и 15 мм/год для алевролита.
- Во время осмотра помещения в 2009 году, в зоне агрегатов № 5 и 6, бетонная облицовка стены по нижнему бьефу между отметками 977 и 985 м показала серию трещин, идущих параллельно системе трещин S4.

Эти наблюдения показали: (1) слабая прочность породы алевролитов и (2) влияние системы трещин S4.

➤ Дополнительные исследования и испытания

После оценки выработки комплекса машинного зала и трансформаторного помещения, был идентифицирован возможный комплекс мер по стабилизации. Тем не менее, стороны, участвующие в проекте согласились, что дальнейшие исследования параметров горного массива должны быть выполнены с учетом окончательного проекта укрепительных работ. Таким образом, образцы горной массы алевролита, окружающей выработку машинного зала были собраны, посредством трехколонкового бурения и отбора образцов и двухколонкового бурения. Кроме того, кубические образцы были получены с использованием отрезного станка.

Образцы были отправлены в лабораториях по механике горной породы, для выполнения испытаний, включая классификационные испытания, трехосные испытания на сжатия, прямые испытания на сдвиг, трехосные многоступенчатые испытания на насыщенных образцов и трехосных испытаний на ползучести.

Испытания в настоящее время находятся на стадии завершения. Согласно предварительному исследованию, результаты, полученные до сих пор, кажется, подтверждают параметры горной породы, принятые в реализуемое 2D модели комплекса машинного зала.



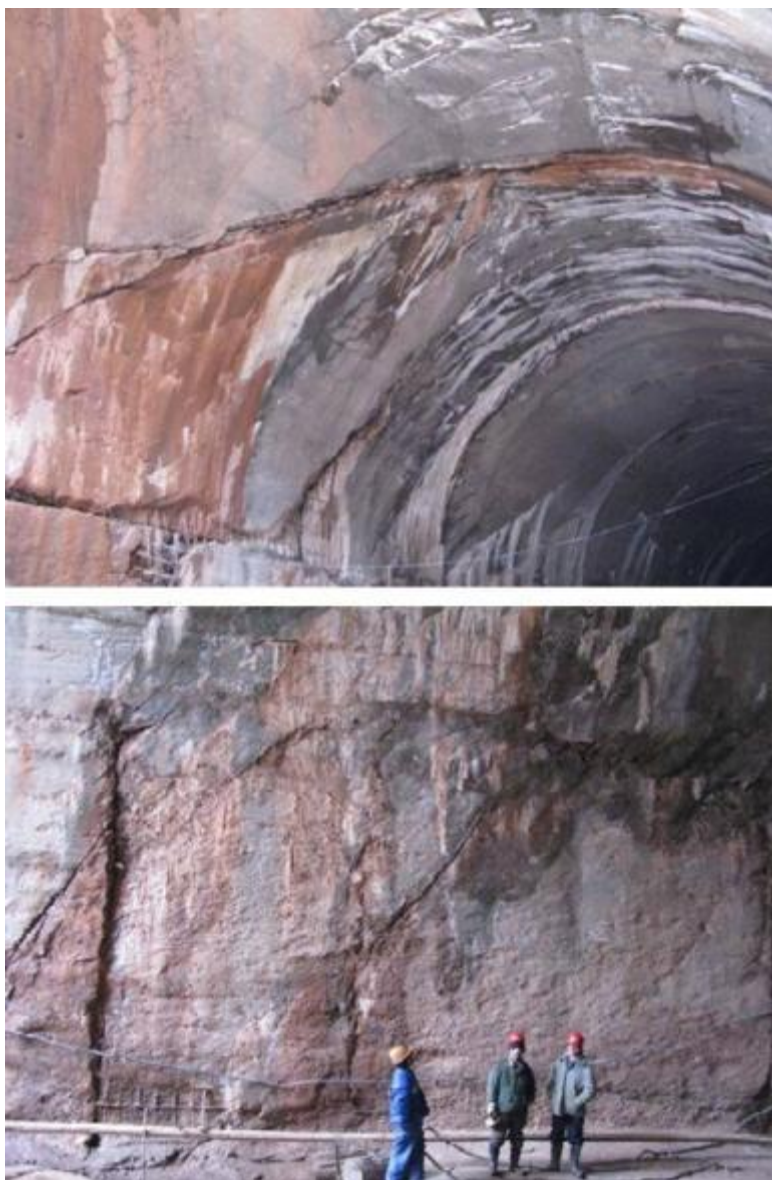
## 5.7. Туннели

Основываясь на многочисленных данных из разведочных штолен и построенных туннелей, геологическое строение и типы скальной породы были подробно описаны. На данном этапе, следующие аспекты были рассмотрены как относящиеся к оценке геологических условий:

- Анализ нарушений, которые повлияли на облицовку существующих туннелей
- Природа северо-восточной границы атипичной зоны
- **Нарушения в облицовке туннелей**

Различные нарушения в зоне порталов водоприемников можно отнести на счет ослабления скальной породы из-за близости Йонахшского разлома

В 2009 году можно было наблюдать различные разрушение сдвига в бетонной облицовке обоих строительных туннелей, пролегающие в направлении водоприемников, до 70 м от водоприемника первого строительного туннеля и до 90 м от водоприемника второго строительного туннеля (рис. 44).



**Рисунок 44. Расщепление бетонной облицовки и вскрытие строительного шва бетонирования в СТ1 (верхний) и СТ2 (нижний).**

В местном геологическом строении, направление падения дает возможность предположить, что сдвиги были вызваны гравитационным сползанием разрывных нарушений S4, параллельной разлому № 35. Согласно [13], слабой зоной, с увеличенной тектонической деформацией и трещиноватостью, может рассматриваться «тектоническая линза», ограниченной разломом № 35 с одной стороны и разрывным нарушением № 111. Скорость смещения этого участка может быть в два раза выше, чем движение вдоль разлома № 35, в среднем 2.1 мм/год за три года. Оба тоннеля пересекают слабую зону разлома № 35, который связан с основными нарушениями в СТ1 на пикетах 7+77 – 8+25.

Обвал облицовки, случившийся в СТ2 на пикетах 4+27 – 4+76, не кажется прямо связанным с любым установленным разломом или крупным разрывным нарушением.

Предположительно, это объясняется [13] аномально высоким уровнем давления, в концентрированных тектонических трещинах Кызылташского песчаника около контакта с алевритом Нижнего Обигарма.

Эти происшествия были выделены в различных геологических контекстах, как требующие исследования толщины и состояния облицовки средствами геофизических исследований. Такие исследования уже были проведены в выбранных участках. Они должны быть расширены до полного исследования тоннелей.

➤ **Природа северо-восточной границы атипичной территории**

Данных по северо-восточной границе атипичной зоны недостаточно, чтобы провести точную оценку ее природы и характеристик.

Интерпретация снимков аэросъемки даёт основание предполагать, что это может относиться к контурам трещин, в то время как полевые наблюдения показывают, что поверхностный разрыв не заденет по крайней мере пластичные слои. То же полевое наблюдение, предполагает уменьшение деформации от верхних склонов к долине реки.

Основываясь на полевых наблюдениях, деформация вдоль этого очертания должна быть ниже, чем нарушение вдоль разлома № 35. Следовательно, если тоннели проектировались для пересечения разлома № 35, они могли пересечь и эту границу. Если проект рассматривает эту альтернативу, то проходка разведочной штольни на запроектированных отметках является обязательной, для того, что обследовать граничные очертания и для установки приборов для мониторинга.

## 6. Геологические условия зоны водохранилища

### 6.1. Введение

На стадии технического проектирования [1], исследования зоны водохранилища хватило следующее:

- Инженерно-геологические съемки в масштабе 1:25 000 (300 км<sup>2</sup>) и М 1:5 000 (5 км<sup>2</sup>)
- бурение: общее - 220 м
- разведочные шурфы: в общем 70 м

Региональные особенности геологии обсуждаются во втором разделе этого отчета. Следует напомнить, что водохранилище простирается на длину 70 км, вдоль долины реки Вахш, которая течет между двух региональных разломов, Иляко-Вахшским на левом берегу и Гиссаро-Кокшальским на правом берегу.

Инженерно-геологическая классификация равнины в зоне водохранилища показана на чертеже 1079-03-183. Основные особенности потенциального влияния на проект обсуждаются ниже.

### 6.2. Эвапоритовые массы и карсты

На левом берегу реки, некоторые предгорья Вахшской гряды состоят из эвапоритовых скальных пород вдоль Вахшского разлома. Видимая часть этих скальных пород, в объеме нескольких миллионов кубических метров или больше, состоит в основном из гипса, но присутствие соли на глубине нельзя исключать. Они также были выявлены в долине Пассиморухо, которая является продолжением очертания Вахшского разлома. Соляной диапир может пролегать в междуречье между долинами Пассиморухо и Оби-Джушон.

Все эти явления показывают интенсивные особенности карстового выщелачивания. Выщелачивание и образование карстовых воронок может сопровождаться поверхностными оползнями. Такие процессы уже привели к проседанию в жилых территориях в городе Рогун, нанося ущерб зданиям (Рисунок 45).





Рисунок 45. Проседание поверхности наносит ущерб зданиям.

### 6.3. Сейсмические уступы

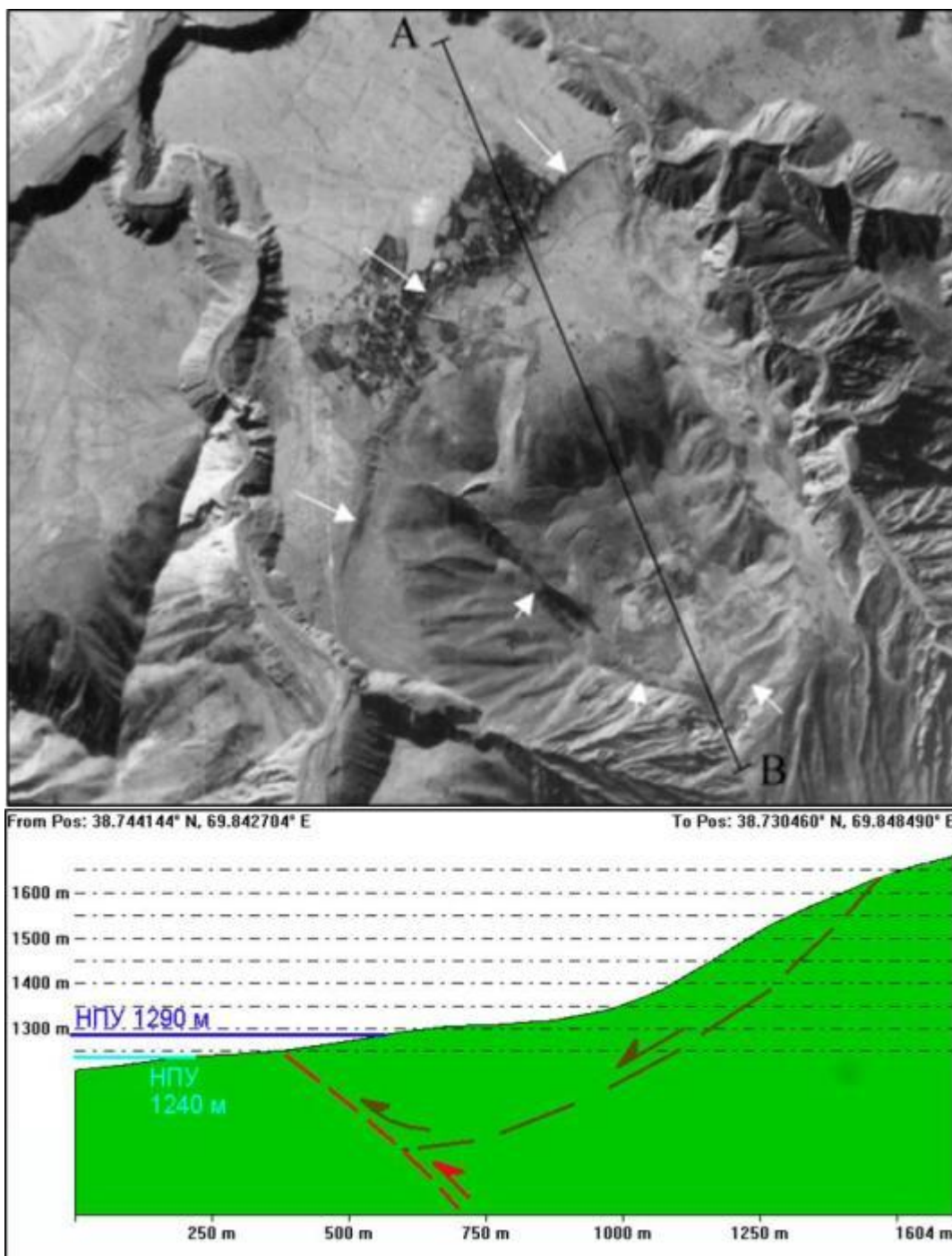
Свидетельства землетрясений верхнего четвертичного периода и современного времени были найдены и определены в зоне водохранилища. Анализ фотографий аэросъемки, выполненный в [11], показал присутствие многочисленных характеристик, интерпретированных как сейсмические уступы, распределенные по сегменту, длиной как минимум 15 км вдоль подножия Вахшского водораздела. Некоторые типичные примеры приведены ниже:

- Между Талхакчашма и Рогуни-боло, отчетливые уступы (или откосы) достигающие нескольких метров в высоту и смещение недавних течений (Рисунок 46)



**Рисунок 46. Недавние сдвиги (стрелки) около подножия Вахшского водораздела на территории кишлака Лабидара.**

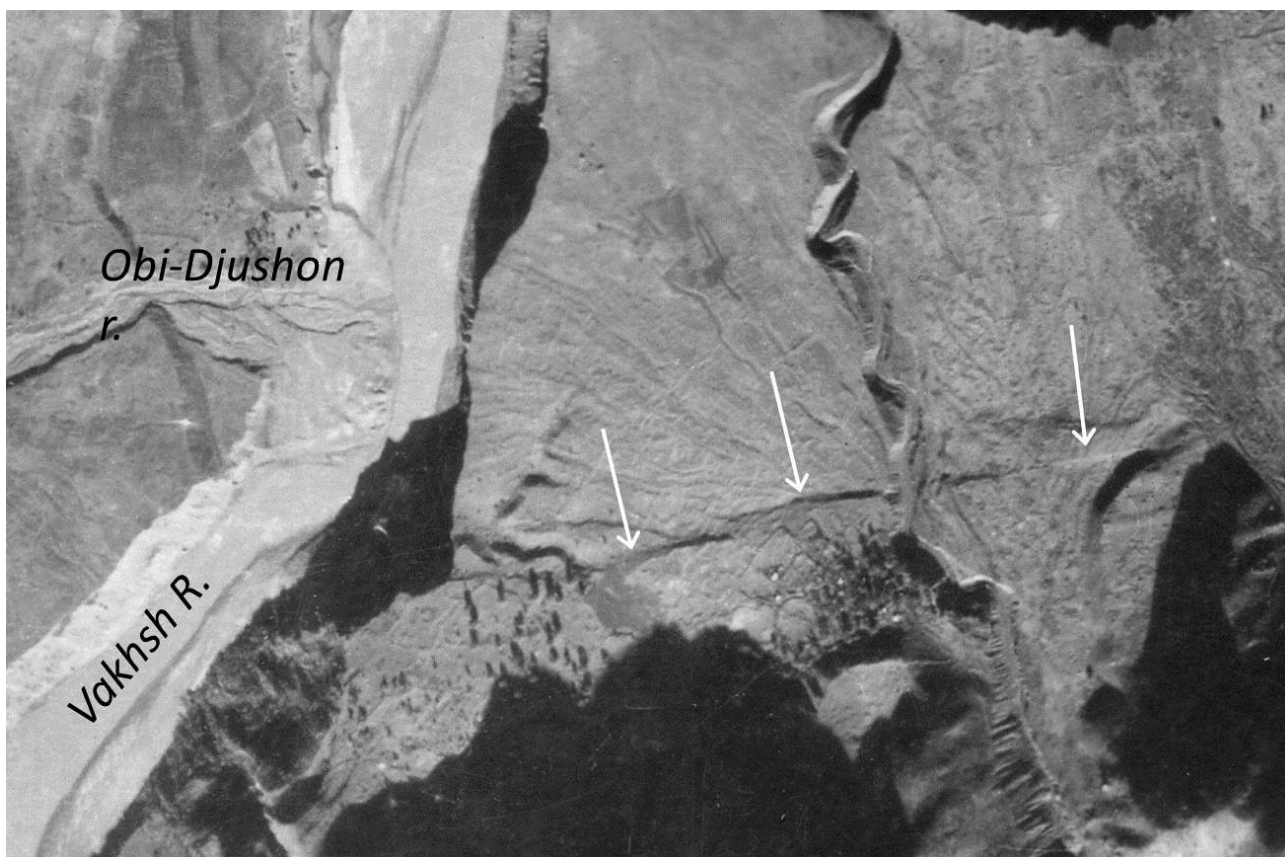
- Между саями Тагикамар и Ходжаалишо, уступы высотой 15-20 м были интерпретированы как выходы базальной поверхности большого оползня, на склоне над уступом видны особенности аномальных смещений. Фронтальная часть оползня соответствовать плоскости надвига (Рисунок 47). Длинные стрелки обозначают направление выступа, короткие стрелки показывают особенности оползня. Интерпретируемый поперечный разрез АВ представлен в нижней части рисунка. ПО результатам анализа, был сделан вывод, что оползень объемом от 10 до 15 млн м<sup>3</sup>, может (ре)активизироваться после того, как вода достигнет уровня более 1250 м.



**Рисунок 47. Недавнее движение и предполагаемый оползень около подножия Вахшского водораздела, между долинами Ходжаалишо и Тагикамар (сгруппированные цифры из [11]).**

- На запад от кишлака Талхакчашма, крутой склон пересекает овраг (лощину) Танакба. Крутого откоса дальше, на правом берегу реки Вахш не видно (рис. 48). Оползни и карстовые процессы, происходящие в долине Пассиморухо, могут скрыть фактические свидетельства.





**Рисунок 48. Недавние сдвиги у подножия Вахшского водораздела, пересекающей овраг (лощину) Танакба.**

Недавние (свежие) уступы обсужденные в [11], скорее всего имеют сейсмической происхождение. Может встать вопрос, если некоторые из них, особенно менее устойчивые или изолированные, смогут среагировать на повышающееся проседание эвапоритов.

#### **6.4. Устойчивость склонов**

Согласно [1], оползни очень распространены в зоне водохранилища. Могут быть выделены следующие типы:

- Оползни четвертичных отложений до 1 млн. м<sup>3</sup>
- Оползни, включающие Мезозойские породы, которые могут достигать нескольких сотен миллионов кубических метров для основных и 10 млн. м<sup>3</sup> для обычных оползней. Приведенные в действие выщелачиванием солей в основании склона, оползни скорее всего могут возникнуть на левом берегу, вдоль разрывных нарушений, с направлением, похожим на разлом № 35, падающим под углом 40°-60° по направлению к долине. Основываясь на наблюдениях того, что вся структура скальных пород хорошо сохранилась, отсюда сделан вывод, что оползни развиваются с малой скоростью, схожей оседанию. Два оползня на правом берегу Пассиморухо, с примерными объемами 20-30 млн. м<sup>3</sup> даны как примеры (Рисунок 49).





**Рисунок 49. Оползень по нижнему бьефу правого берега Пассиморухо**

Согласно недавней оценке нестабильности склонов в зоне водохранилища (в [11]), наиболее возможными оползнями будут следующие:

- В каньоне, где обвалы выявлены на обоих берегах
- На правом берегу водохранилища, рядом с устьем реки Лугур, потенциальный объем 1 млн. м<sup>3</sup>
- На левом берегу водохранилища, между оврагами Тагикамар и Ходжаалишо, потенциальный объем около 10-15 млн. м<sup>3</sup>
- На левом берегу водохранилища, рядом с кишлаком Хуфак, где основание склона обвала, может обвалиться при НПУ водохранилища в 1290 м.

### **6.5. Просачивание из водохранилища**

Так как река Вахш является предельным уровнем регионального водосбора, то можно исключить просачивание из водохранилища.

Гулизинданский разлом, который обходит плотину на левой стороне, пересекает Вахшского водораздела и соединяется с водохранилищем после нижнего бьефа плотины. Таким образом, это может быть основным водоводом для просачивания воды из водохранилища. Как было сказано ранее в этом отчете, результаты геологических и геофизических исследований проведенных на правом берегу долины Обишур, показали, что разлом является водонепроницаемым. Учитывая это условие, был рассмотрен вариант строительства цементационной галереи длиной 1 км, проходящей вдоль долины Обишур, как адекватная мера для предотвращения протечки из водохранилища вдоль этого разлома.

Рекомендуется внедрить эти меры и сделать проходку галереи до начала заполнения водохранилища.

## 7. Опасности, связанные с геологическими условиями

### 7.1. Выход соли и выщелачивание

Проблемы, связанные с соляным оголовком вдоль Йонахшского разлома, обсуждаются в отдельном отчете.

### 7.2. Сейсмическая и асейсмическая деформация

На створе Рогунской ГЭС, региональное тектоническое напряжение регулируется деформацией, которая является и сейсмичной, т.е. включает в себя внезапные ко-сейсмичные проявления и асейсмичной, в основном сдвигами, вероятно связанными с региональным тектоническим давлением, но также и с выходом на поверхность соли и гипса. Это движение, которое постоянно, происходит в основном на главных разломах, Йонахшского и разломе № 35, где был установлен мониторинг для измерения скорости деформации.

Основываясь на данных мониторинга и обновлении сейсмотектонического анализа, следующие значения доступны для проекта:

#### Сейсмическое смещение МСЕ

- Йонахшский и Гулизинданский разломы: 1м
- Разлом №35: 0.1-0.2м

#### Скорость поддувание почвы

- Йонахшский разлом: 1.8 мм/год
- Разлом № 35: 0.7 мм/год
- Подъем тектонического блока между Йонахшским разломом и разломом № 35: 2 мм/год

Подземные работы пересекли разлом № 35 и другие основные разрывные нарушения с похожим направлением. Они детально определены и обозначены на картах. Исследуются специальные меры защиты и они должны быть спроектированы для пересечения всех основных разрывных нарушений с подтверждением значительного сдвига. Тем не менее, два наблюдения напоминают о кинематической модели:

- Деформация и ущерб системы крепи строительных тоннелей возникли на разных участках. В некоторые из них, обязательно были вовлечены разрывные нарушения S4, а также гравитационное сползание в зоне портала водоприемника (как обсуждается ниже) или тектоническое смещение разлома № 35. Другой ущерб возник в других условиях, и объяснение предполагает наличие слабых зон, связанных со степенью трещиноватости и основным литологическим контактом между типами породы и противопоставленным механическим поведением.

- Смещение дециметрового порядка вдоль субгоризонтального или неглубоко пролегающего разрыва наблюдалось на нескольких участках. Часто очевидная, связь с разломами S4 не может быть систематической. Эти смещения, как правило, показывают, что корректировка тектонического напряжения частично передается диффузной деформацией в нарушения сплошности, отличные от основных разломов. Сдвиг этих субгоризонтальных разрывных нарушений не противоречит текущему направлению регионального напряжения.

Если диффузное дециметровое смещение, связанное с просадочным смещением тектонических блоков будет подтверждено, то местоположение сдвига подземных сооружений может стать непредсказуемым и железобетонные системы крепи должны быть установлены во всех сооружениях. Надо напомнить, что по завершению проектных исследований 2009 года, также был сделан вывод о недостаточном уровне данных для объяснения инцидентов произошедших в подземных сооружениях.

Рекомендуется дополнительные исследования для проверки причин повреждений всех выявленных участков. Если потребуется, горная порода должна быть обнажена для проверки и установки оборудования для мониторинга. Мониторинг смещений вдоль основных разломов должен быть возобновлен и установлено дополнительное оборудование. Также мониторинг должен быть расширен до главных разрывных нарушений, показывающих смещение, которое соответствует текущему направлению напряжения. В связи с этим, аномальные результаты, полученные по направлению компонентов основного напряжения, должны быть перепроверены дополнительными испытаниями. Учитывая сложные тектонические условия, эти испытания должны быть также проведены на других участках в упоре плотины.

То, что раньше интерпретировалось как граница «оползня», его северо-восточная граница атипичной зоны может пересекать водосбросные тоннели в некоторых вариантах проекта. Проходка разведочного штольня для исследований и мониторинга деформации обязательна для того, чтобы определить природу и характеристики его контуров.

### **7.3. Риски оползней**

Риск потенциальных оползней определены в следующих территориях:

- Левый берег, по верхнему бьефу плотины
- Правый берег по нижнему бьефу
- Различные участки в водохранилище

#### Левый берег, по верхнему бьефу плотины

Эта территория включает в себя склоны над строительными тоннелями и водозаборным сооружением. Уже обнаруженные повреждения облицовки могут быть объяснены гравитационным смещением на таких разрывных нарушениях. Рекомендуется точно



определить постоянные трещины, которые видны на склонах и провести вычисления по стабильности, учитывая эффект увеличивающегося порового давления после наполнения водохранилища и флуктуации уровни водохранилища.

#### Правый берег по нижнему бьефу

Основываясь на доступных данных и полевых наблюдениях, нет никаких доказательств существования неблагоприятных тектонических разрывных нарушений, которые могут вызвать массивные структурные оползни.

Материалы, оставшиеся после древнего оползня, сконцентрированы в центральной части основного склона, ниже ровной территории (Рисунок 50). Эти отложения могут быть постепенно вовлечены в будущие оползни, как уже показано короной активизировавшегося оползня, в основном в последние годы, в фронтальной части. Без специальных мер, объем этого следующего оползня может варьироваться от 100,000 до 500,000 м<sup>3</sup>. Могут ожидать другие оползни, включающие в себя отложения на склонах. Они не считаются серьезной угрозой для осуществления проекта, но меры по снижению обязательны, чтобы снизить риск во время строительства и эксплуатации.



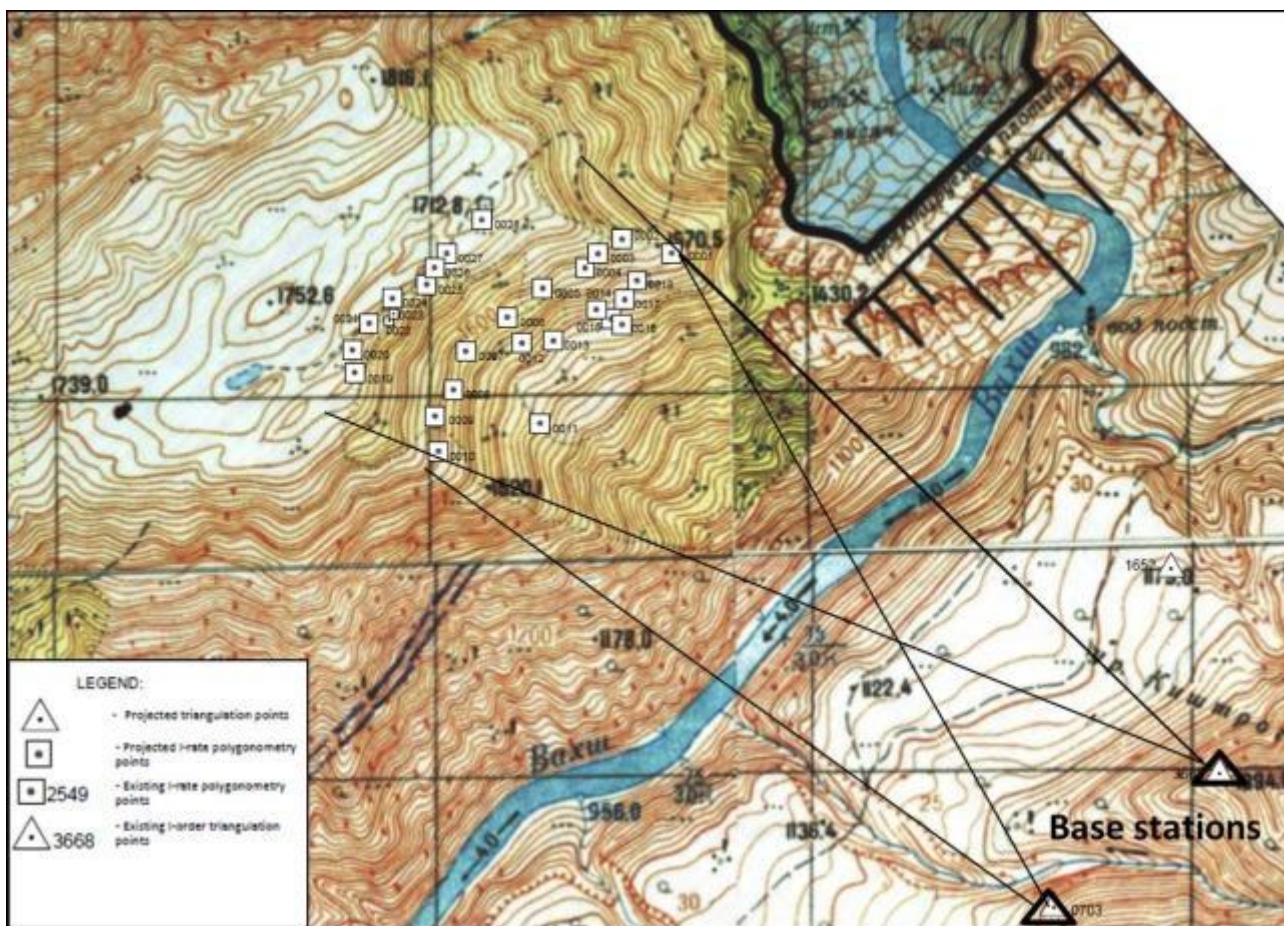
**Рисунок 50. Зона древнего оползня в центральной части склона. Стрелка обозначает корону недавно активизировавшегося оползня.**

Что касается обвала горных пород, есть один главный положительный аспект, а именно благоприятное структурное положение наслоения. При благоприятной ориентации, они дают в общем хорошую крепость всей осадочной последовательности и склону. В результате, склон относительно крутой, достигая пропорций 1:1, на высоту в несколько сотен метров. Можно ожидать, что этот склон будет постепенно вовлекаться нарушения сплошности малого масштаба.

Недавние данные показали, что геологическое строение является результатом медленной, тектонической деформации. При сравнении с первоначальной моделью оползня, текущая интерпретация более благоприятна для устойчивости склона, учитывая то, горная порода менее подвержена повреждениям во время медленной деформации. В частности, предполагаемый изгиб слоев из-за «прихватывания» оползнями может сформировать слабую зону, где может зародиться потенциальный оползень.

Местное увеличение порового давления в пределах «атипичной зоны» не может быть исключено, учитывая, что следующие условия характеризуют эту территорию: (1) сильный приток на широкое плато, включая карстовые формации и (2) неоднородные подземные потоки, которые можно ожидать от переслаивания слоев с высокой и низкой проницаемостью. Дальнейшие исследования пьезометрических уровней и проницаемость во время ранних этапов строительства помогут спроектировать подходящие дренажные сооружения, которые смогут значительно снизить такой риск.

Чтобы определить и следить за любыми движениями склона в атипичной зоне, были установлены 30 геодезических станций (включая 3 старые станции, которые были восстановлены). Цели были разбросаны на верхней части склона под плато. Показания будут сниматься 2 базовыми станциями, расположенными на противоположном берегу (Рисунок 51).



**Рисунок 51. Местоположение геодезической системы мониторинга.**

### Оползни в зоне водохранилища

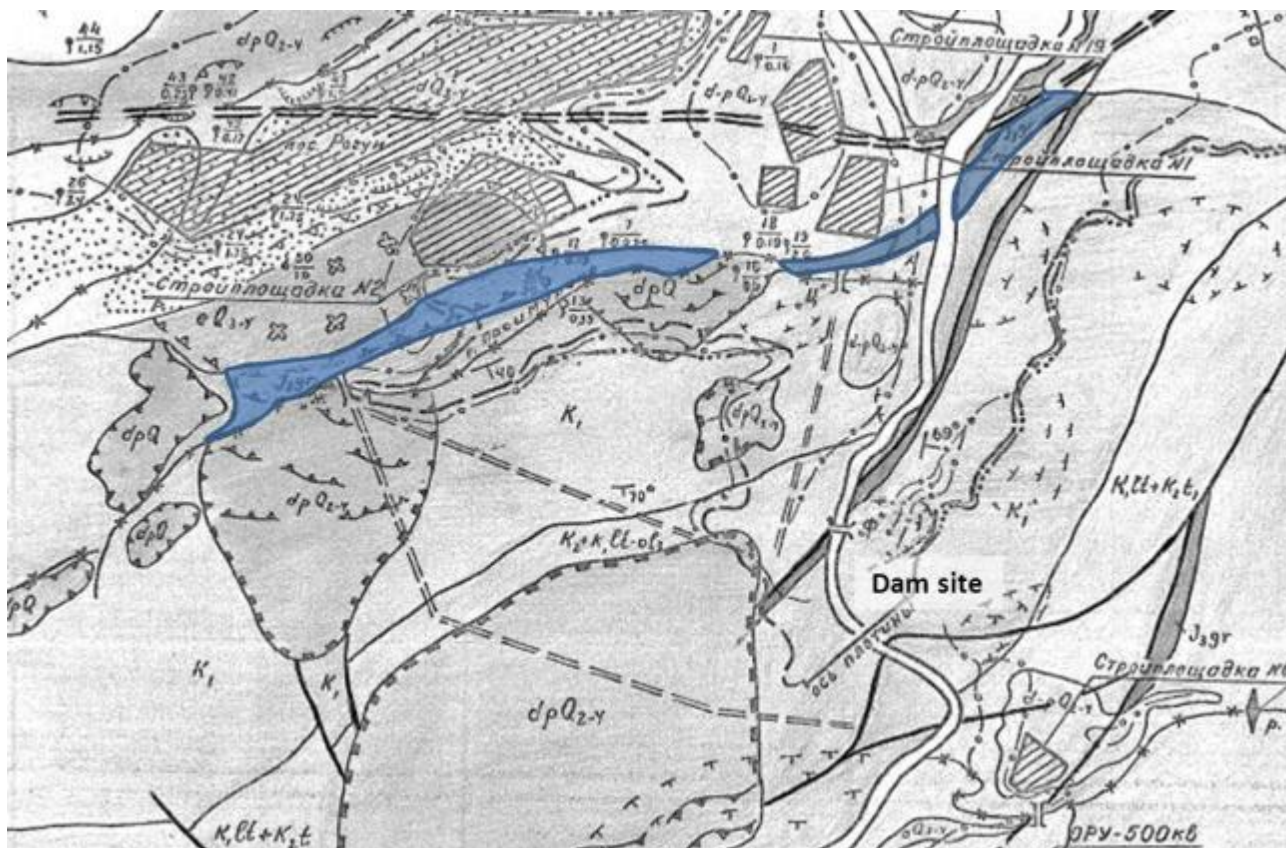
Ожидаются многочисленные незначительные нарушения сплошности во время заполнения. Они были тщательно обсуждены, наиболее недавно в [11] и [13].

Относительно значительных нарушений сплошности, могут быть выделены два варианта: (i) ре-активация старых оползней и (ii) оползни, вызванные растворением эвапоритов в основании склонов.

Потенциальный оползень на левом берегу водохранилища, между балками Тагикамар и Ходжаалишо, с потенциальным ориентировочным объемом 10-15 млн. м<sup>3</sup> относится к первому варианту. Доказательство описано в [11], и требует подтверждения исследованиями. Рисками можно управлять, но только основываясь на дополнительных данных можно оценить влияние и спроектировать меры по снижению рисков.

Относительно оползней, вызванных растворением эвапоритов в основании склонов, то согласно [1], такие оползни с большим объемом были частыми в прошлом. Наиболее близкий к створу плотины, является все еще развивающийся оползень на правом берегу долины Пассиморухо. Рисунок 52 показывает продолжение Юрской соли в основании этих склонов.





**Рисунок 52. Юрская соль в долине Пассиморухо.**

Дальше в водохранилище, эвапоритовые массы выходят на поверхность на отметках выше, чем водохранилище. Тем не менее, их нижняя часть лежит ниже уровня водохранилища, покрытая аллювиальными отложениями. Возможность возникновения массивных и внезапных оползней мала. Даже если в прошлом процессы шли медленно, заполнение водохранилища и флуктуация уровня водохранилища дадут толчок быстрым изменениям природных условий. Следовательно, рекомендуется оценить реакцию на эти изменения, в особенности для склонов на обоих берегах реки Вахш возле входа в каньон створа плотины, где было выявлено присутствие соли.

Обычно оползням предшествуют несколько месяцев постепенного открытия трещин в верхних склонах. По этой причине, первой рекомендуемой мерой является внедрение программы мониторинга склонов путем визуального осмотра.

#### **7.4. Наносы и селевые потоки**

Эти потоки являются довольно распространенным явлением на территории проекта и риски были изучены во время технического проектирования, когда был рассмотрен вариант строительства селе удерживающего сооружения в долине Обишур. Были зафиксированы мощные паводки вдоль этого левого притока, ведущих к временному перекрытию реки Вахш и поднятию уровня реки на 10-14 м.



Основная часть селей возникает в течение дождливых месяцев, в мае и июне. Между 1971 и 1991 годами, они возникали как минимум раз в год. Максимальные объемы были зафиксированы около 3.100 млн. м<sup>3</sup> в 1983 году и 1185 млн. м<sup>3</sup> в 1992 году.

Недавний селя на Обишуре произошел 19-20 мая 2009 года, вызванный сильными дождями. Уровень реки Вахш поднялся от 5 до 7.3 м на различных гидрометрических станциях. Приблизительный поток на створе плотины был 2000 м<sup>3</sup>/сек.

Противоселевое сооружение на Обишуре, а также стены для отклонения потока ниже по течению, находятся в стадии строительства.

Учитывая высокую частоту этих селевых потоков, в 2009 году было обновлено исследование для потоков с наиболее высоким потенциальным риском: Пассиморухо, Оби-Джушон, Дарайкамак, Обигарм и Обишур. Первыми элементами анализа являются следующими:

- Селевые потоки на Пассиморухо могут нести до 100,000 м<sup>3</sup>
- Селевые потоки из Пассиморухо могут временно перекрывать реку (недавно было зафиксировано на 5 минут в 2009 году) и быть причиной повышения уровня реки на несколько метров.
- Селевые потоки на Оби-Джушон очевидно менее объемные. Они могут привести к повышению уровня реки только в соединении потоков с потоками Пассиморухо.
- Селевые потоки реки Обигарм будут иметь слабое влияние на проект.
- Селевые потоки Дарайкамак, в 15 км выше по течению от створа плотины, могут вызвать повышение уровня реки в зоне строительства от 1 до 2 метров.

Как сообщалось в [13], проводится комплексная программа по оценке рисков селевых потоков.

## 8. Выводы и рекомендации

### 8.1. Исследования

Мы считаем, что количество существующих исследований достаточно для оценки осуществимости проекта.

Однако, рекомендуются дополнительные исследования направленные на специфические проблемы и для завершения детального проектирования:

- Природа границы атипичной зоны: разводочная штольня, мониторинг граничной зоны под землей и на поверхности. Завершение восстановления штольни № 1034. Если пересекаются основные зоны трещин, обе эти галереи могут быть оборудованы приборами для мониторинга деформации.
- Пьезометрические уровни – в особенности в верхней части правого берега, для проектирования цементационной завесы, и склоне по нижнему бьефу для проектирования дренажной системы по контролю за давлением в зоне ядра: бурение с проведением тестов на водопроницаемость и установка пьезометров.
- Геотехнические характеристики строительных материалов
- Мониторинг склонов и смещения разломов.

### 8.2. Сейсмичная и асейсмичная деформация

На створе Рогунской ГЭС, региональное тектоническое напряжение регулируется деформацией, которая является и сейсмичной, т.е. включает в себя внезапные ко-сейсмичные проявления (разрывы) и асейсмичной, в основном сдвигами, вероятно связанными с региональным тектоническим давлением, но также и с выходом на поверхность соли и гипса.

Сейсмическая опасность обсуждается в отдельном отчете.

Медленная деформация, которая постоянна, происходит в основном на главных разломах, Йонахшском и разломе № 35, где было установлено оборудование для мониторинга для измерения скорости деформации.

Полевые наблюдения и исследование повреждений систем крепи подземных выработок напоминает об уточнении кинематической модели, для учета диффузной дециметрической деформации связанной с подвижкой тектонических блоков. Если подтвердится диффузная деформация, то местоположение участков с деформацией подземных сооружений могут стать непредсказуемыми, поэтому потребуется проектирование усиленных опор для всех сооружений.

Рекомендуется дополнительные исследования для проверки причин повреждений всех выявленных участков. Если потребуется, горная порода должна быть обнажена для проверки и установки оборудования для мониторинга. Мониторинг смещений вдоль основных разломов должен быть возобновлен и установлено дополнительное оборудование. Также мониторинг должен быть расширен до главных разрывных нарушений,

показывающих смещение, которое соответствует текущему направлению напряжения. В связи с этим, аномальные результаты полученные по направлению компонентов основного напряжения, должны быть перепроверены дополнительными испытаниями. Учитывая сложные тектонические условия, эти испытания должны быть также проведены на других участках в упоре плотины.

### 8.3. Риск оползней

Риск потенциальных оползней был выявлен на следующих территориях:

- Левый берег верхнего бьефа плотины
- Правый берег по нижнему бьефу
- Водоохранилище

#### Верхний бьеф левого берега

На левом берегу, в части верхнего бьефа плотины, включая склоны над строительным и водозаборным тоннелем, риск связан с гравитационным смещением вскрышевания семейства S4. Рекомендуется точно определить постоянные трещины и провести вычисления по стабильности, учитывая эффект увеличивающегося порового давления после наполнения водохранилища и флуктуации уровня водохранилища. Среди возможных мер для увеличения предела прочности на сдвиг, являются галереи заполненные железобетоном вдоль разрывных нарушений, которые уже используются при похожих рисках на других проектах.

#### Нижний бьеф правого берега

Основываясь на доступных данных и полевых наблюдениях, можно сказать, что нет доказательств существования неблагоприятных ранее существовавших нарушений сплошности, которые могут стать причиной мощного обрушения склона.

Оползни, затрагивающие склон, охватывают отложения, которые не считаются большой проблемой для осуществления проекта, но снижающие меры обязательны для предотвращения рисков во время строительства и эксплуатации.

Оценка рисков схода из-за превышения силы горной породы в целом может основываться на следующих элементах:

- Структурные условия благоприятны для устойчивости

- Низкая тектоническая деформация, более благоприятная для устойчивости склона, которая имеет преимущество в этом отчете над древней моделью оползней
- Могут наблюдаться условия для местного увеличения порового давления в атипичной зоне. Поэтому рекомендуется, спроектировать подходящую дренажную систему для основного склона нижнего бьефа плотины. Для этой цели рекомендуются дополнительные исследования для определения проницаемости и определения уровня подземных вод. Эти исследования должны состоять как минимум из 5 скважин в атипичной зоне, начиная с отметки 1350 м, глубиной 100 – 150 м и достаточной глубины, чтобы определить уровень подземных вод, расположенных на глубине около 100 м.

Соответственно, геологическое строение довольно благоприятно для устойчивости склона. Риск схода горной массы может быть увеличен, если меры по контролю порового давления будут оставлены без внимания.

#### Риск оползня в водохранилище

Потенциальные оползни могут быть вызваны выщелачиванием соли в основании северных склонов Вахшского водораздела и горной кряды Сурхку. Около створа плотины, такие оползни до сих пор развиваются на правом берегу долины Пассиморухо.

Дальше по водохранилищу, эвапоритовые массы выходят на поверхность выше, чем уровень водохранилища, но их нижняя часть лежит под уровнем водохранилища, покрытая аллювиальными отложениями. Возможность возникновения массивных и внезапных оползней мала. Даже если в прошлом процессы шли медленно, заполнение водохранилища и флуктуация уровня водохранилища дадут толчок быстрым изменениям природных условий. Следовательно, рекомендуется оценить реакцию на эти изменения, в особенности для склонов на обоих берегах реки Вахш возле входа в каньон створа плотины, где было выявлено присутствие соли.

Обычно оползням предшествуют несколько месяцев постепенного открытия трещин в верхних склонах. По этой причине, первой рекомендуемой мерой является внедрение программы мониторинга склонов путем визуального осмотра.

#### **8.4. Обзор основных опасностей связанных с геологическим строением**

- Соляной купол

Эта проблема обсуждается в отдельном отчете.

- Гравитационное смещение разрывных нарушений S4



С этим риском можно справиться, спроектировав соответствующие меры по снижению, после проведения подробной оценки.

- Диффузная деформация

Этот риск наиболее сложно точно оценить. Оценка должна быть основана на возобновлении мониторинга за основными разломами и расширении мониторинга на другие основные разрывные нарушения. В отсутствие убедительных данных, должен быть задуман консервативный проект и внедрение усиленных мер должно быть расширено на все сооружения.

- Оползень по нижнему бьефу

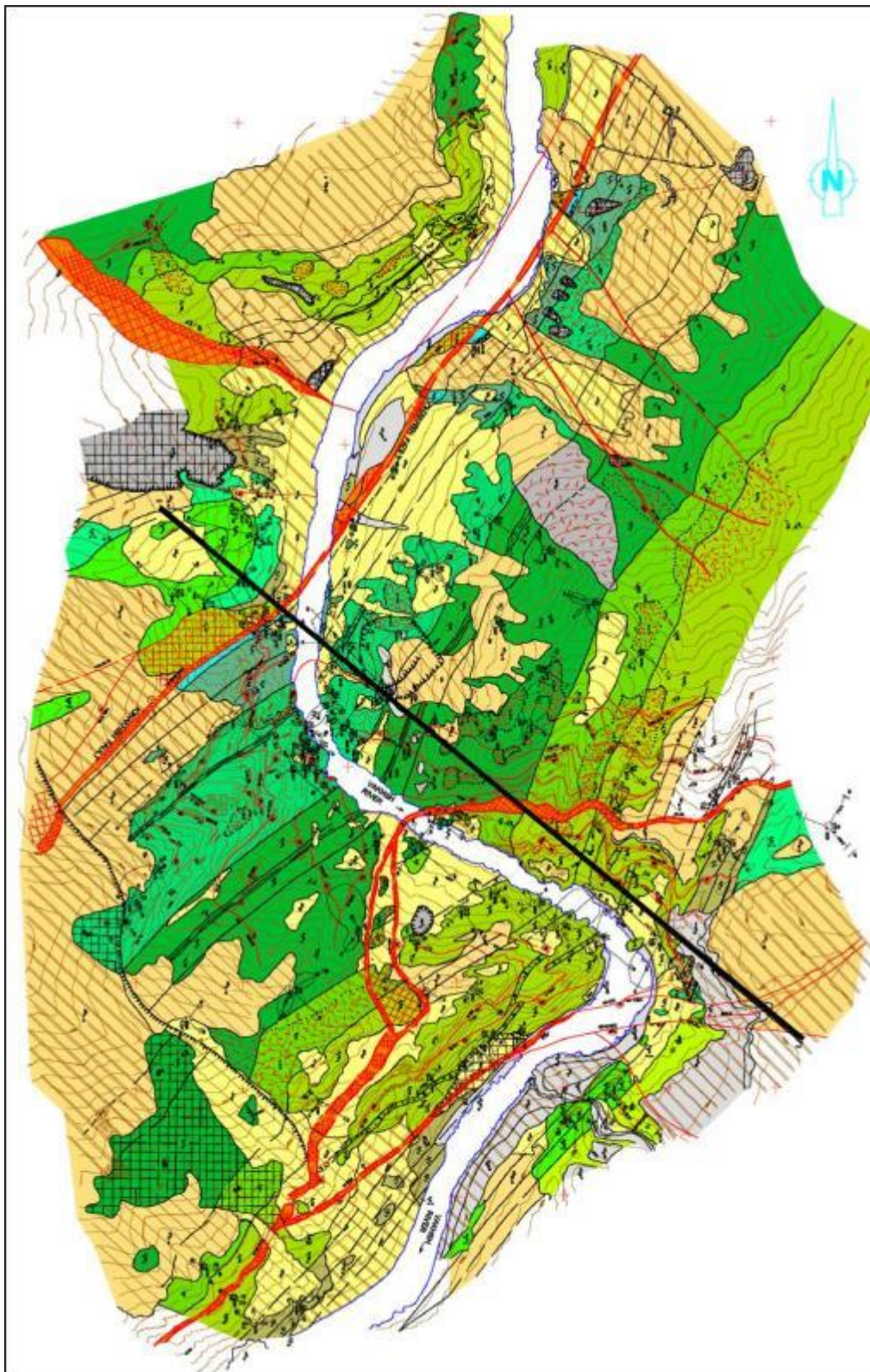
Риск является управляемым, при условии, меры по смягчению последствий внедрены для (1) предотвращения схода отложений на склонах и выветренной породы и (2) контролирование порового давления воды в горной породе

- Оползни, вызванные выщелачиванием соли

Возможность возникновения кажется низкой, но нельзя не учитывать без оценки, хотя проведение оценки нелегко. Риск наиболее высок лишь выше по течению каньона, до устья Оби-Джушон, где горные породы с солью точно будут взаимодействовать с водохранилищем.

## 9. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Геологическая карта створа плотины (ИГП Москва)





Приложение 2. Геологическая карта правого берега (2012).

