



ОАХК «БАРКИ ТОЧИК»

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС



**ФАЗА 0: ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛЯНОГО
КУПОЛА В ОСНОВАНИЕ ПЛОТИНЫ И ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

RP 38

Август 2014



ИССЛЕДОВАНИЯ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

ФАЗА 0: ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛЯНОГО КУПОЛА В ОСНОВАНИЕ ПЛОТИНЫ И ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Август 2014

Отчет №: P.002378 RP 38

Г	04/08/2014	Окончательная версия	Скиттекат Ж.	Виберт К.	Бузат Л.
В	15/09/2013	Третий выпуск	Скиттекат Ж.	Виберт К.	Санс Н.
Б	17/06/2013	Второе издание	Скиттекат Ж.	Виберт К.	Санс Н.
А	22/02/2013	Первое издание	Скиттекат Ж. Виберт К.	Алберт Р.	Санс Н.
Редакция	Дата	Тема редакции	Подготовлено	Проверено	Одобрено

СОДЕРЖАНИЕ

1	Сводное резюме	7
1.1	<i>Преамбула и цели отчета</i>	7
1.1.1	Преамбула: соляной пласт в Йонахшском разломе	7
1.1.2	Цели отчета	7
1.2	<i>Гидрогеологические условия створа.....</i>	8
1.3	<i>Феномен выщелачивания и принципы моделирования</i>	8
1.3.1	Характеристика процесса растворения.....	8
1.3.2	Геометрия и характеристики Йонахшского разлома.....	8
1.3.3	Пробная откачка в конце 2012, интерпретация результатов.....	9
1.4	<i>Математическая модель процесса растворения; анализ</i>	10
1.4.1	Оценка настоящей модели ИГП	10
1.4.2	Модели ИТЭО	11
1.5	<i>Выводы основной модели.....</i>	13
1.6	<i>Рекомендации</i>	14
1.6.1	Мониторинг.....	14
1.6.2	Гарантийное и техническое обслуживание	15
1.7	<i>Выводы</i>	15
2	СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ.....	17
3	Основные справочные документы	17
4	ПРЕАМБУЛА И ЦЕЛИ ОТЧЕТА	18
4.1	<i>Преамбула: Соляное тело в Йонахшском разломе</i>	18
4.2	<i>Цели отчета.....</i>	20
5	ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА.....	21
5.1	<i>Подразделение водоносных пластов участка</i>	21
5.2	<i>Поток грунтовых вод различных водоносных и суб-водоносных пластов.....</i>	25
5.3	<i>Характерный водоносный пласт Йонахшского разлома</i>	26
5.4	<i>Вывод.....</i>	27
6	ЯВЛЕНИЕ РАСТВОРЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	28
6.1	<i>Характеристика процессов растворения.....</i>	28
6.2	<i>Существующие данные, результаты испытаний наблюдений в Йонахшском разломе</i>	31
6.3	<i>Йонахшский разлом, геометрия и характеристики.....</i>	32
6.4	<i>Испытания по откачке и на растворимость конца 2012; интерпретация результатов</i>	36
6.5	<i>Анализ предыдущих гидрогеологических/условий растворения и нынешние условия 2012.</i>	43
6.6	<i>Анализ процессов перемещения, нынешние условия и условия первой очереди.</i>	44
6.7	<i>Выводы</i>	44
7	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ; АНАЛИЗЫ	45
7.1	<i>Оценка нынешней модели ИГП</i>	45
7.1.1	Общие комментарии.....	45

7.1.2	Выбор вводных параметров	45
7.1.3	Оценка	47
7.2	<i>Смягчающие меры</i>	48
7.3	<i>Анализ и сравнение различных методов смягчения в соответствии с моделью ИГП</i>	49
7.4	<i>Модели ИТЭО</i>	50
7.4.1	Описание модели	51
7.4.2	Анализ параметров трех суб-моделей	53
7.4.3	Моделирование сценариев	54
8	ОБЩИЙ АНАЛИЗ	60
8.1	<i>Основные заключения по процессу выщелачивания</i>	60
8.2	<i>Рекомендуемые смягчающие меры для реализации</i>	61
8.3	<i>По требованиям для гидравлического барьера</i>	61
8.4	<i>Оценка выщелачивания с учетом самых неблагоприятных условий</i>	63
9	ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РИСКА	64
9.1	<i>Выбранный подход</i>	64
9.2	<i>Вводные параметры – анализы чувствительности</i>	65
9.3	<i>Реализация и долгосрочное поведение</i>	67
9.3.1	Потеря эффективности гидравлического барьера	67
9.3.2	Обратное выщелачивание в присутствии гидравлического барьера	67
9.3.3	Плохая цементация или потеря эффективности цементации верхнего водоносного слоя	67
10	РЕКОМЕНДАЦИИ	68
10.1	<i>Мониторинг</i>	68
10.1.1	Мониторинг скорости подъема соли	68
10.1.2	Мониторинг относительно выщелачивания соли	68
10.2	<i>Рекомендации в отношении последующих мер и технического обслуживания</i>	69
10.2.1	Числовая модель ИГП	69
10.2.2	Техническое обслуживание мер по смягчению последствий	70
11	ВЫВОДЫ	70

РИСУНКИ

Рисунок 1-1: Геологическая карта створа плотины с Йонахшским разломом и другими основными разломами; границы плотины первой очереди выделены голубым цветом, границы окончательной плотины черным цветом.	7
Рисунок 1-2: Литологические условия над соляным пластом.....	9
Рисунок 4.1: Геологическая карта участка плотины с Йонахшским разломом и другими основными разломами; границы плотины первой очереди выделены, синим для участка вниз по течению (вверх по течению одинаково как для окончательной плотины, что включает в себя плотину первой очереди)	19
Рисунок 5.1 Разграничение водоносных горизонтов.	22
Рисунок 5.2. Поперечное сечение.....	22
Рисунок 5.3. Подробная геологическая карта. Расположение поперечного сечения.	23
Рисунок 5.4: Предполагаемое направление потока грунтовых вод при маловодии реки Вахш, как наблюдается в настоящее время	27
Рисунок 6.1: Уравнение для конвекции, диффузии, дисперсии.....	30
Рисунок 6.2.. Левый берег. СЗ-ЮВ поперечное сечение соляного купола в Йонахшском разломе.	35
Рисунок 6.3: Растворимое вещество над соляным куполом.	36
Рисунок 6.4: Расположение скважины для проведения испытания по откачке и ее поперечное сечение.	36
Рисунок 6.5: Каротажная диаграмма и оснастка НГ1, где был проведен испытания по откачке/растворимость	37
Рисунок 6.6. Испытание по откачке/растворимости – расход относительно времени.....	38
Рисунок 6.7; Просадка (м), расчетная просадка при постоянном расходе (м) и температура относительно зарегистрированному времени (минуты).....	39
Рисунок 6.8. Просадка на наблюдательной скважине Р31А, по отношению к журналу времени (минуты) ...	41
Рисунок 6.9: Изменение содержания минералов (в г/л) откачиваемой воды со временем (в днях).....	42
Рисунок 6.10 Линии уровня грунтовых вод на Йонахшском разломе (после ссылка [])	43
Рисунок 7.1: Геометрия модели, использованная для плотины первой очереди и основания; каменная соль в Йонахшском разломе называется как "I.F. IV" в светло-зеленом цвете.....	51
Рисунок 7.2: Геометрия модели для окончательной плотины; соляной клин Йонахшского разлома называется как "I.F. IV" в светло-зеленом цвете. "F.35 является Разлом № 35.....	52

ТАБЛИЦЫ

Таблица 5.1: Распределение гидравлических проводимостей в главных геологических образованиях левого берега, выведенные из гидравлических испытаний, проведенных на участке	24
Таблица 5.2: Распределение гидравлических проводимостей в главных геологических образованиях правого берега.....	25
Таблица 6.1: Коэффициент пропускания и гидравлической проводимости оголовки водоносного пласта как было измерено испытанием по откачки в начале и конце испытания	40
Таблица 6.2: Порядки величины чисел Пекле для различных условий; три последние строки рассматривают Стадию 1 только с цементацией, без гидравлического барьера	44
Таблица 7.1: Результаты анализа имитационной модели ИГП для различных сценариев и важных параметров (цвета относятся к диапазону уровня выщелачивания согласно условным обозначениям).....	50
Таблица 7.2: Параметры суб-моделей; источник, оценка чувствительности (где K – гидравлическая проводимость, i – гидравлический градиент, wk – кинематическая пористость).	54
Таблица 7.3: Высота полости (или интрузией клина) при стадии 1 и 2 после 150 лет для различных условий и эффективностей мер по смягчению (цифры являются баланс выщелачивания соли и поднятие соляного клина в течении 150 лет продолжительности проекта: они означают вертикальную высоту образовавшиеся полости растворением соли (или высота внедрения соляного клина вверх если негативно); Левая часть таблицы учитывает базовую очередь строительства с плотиной стадии 1, продолжающиеся 10 лет до наполнения стадии 2; Правая часть таблицы учитывает задержку в строительстве стадии 2, с плотиной стадии 1 на 40 лет	56
Таблица 7.4: Результаты различных сценариев, с солевой завесой (рассоловая завеса) за 150 лет продолжительностью Проекта: цифры означают вертикальную высоту образовавшиеся полости растворением соли (или высота поднятия соляного клина, если негативно); левая часть таблицы учитывает базовую очередь строительства, с плотиной первой очереди продолжительностью строительства 10 лет до наполнения плотины второй очереди; правая часть таблицы учитывает задержку в строительстве плотины второй очереди, с плотиной первой очереди, продолжающиеся 40 лет	59

1 СВОДНОЕ РЕЗЮМЕ

1.1 Преамбула и цели отчета

1.1.1 Преамбула: соляной пласт в Йонахшском разломе

Данный отчет Фазы 0 рассматривает конкретные проблемы, созданные обнаруженным присутствием соли в Йонахшском разломе, пересекающим площадку Рогунской плотины в направлении СВ-ЮЗ в верхней части оси плотины (см. Рис. 1-1).

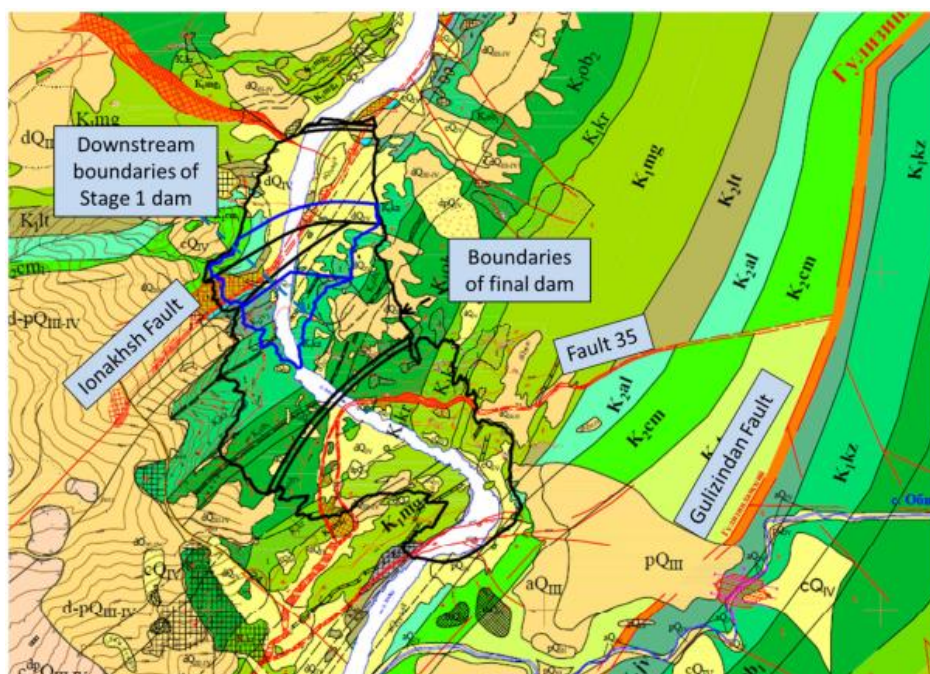


Рисунок 1-1: Геологическая карта створа плотины с Йонахшским разломом и другими основными разломами; границы плотины первой очереди выделены голубым цветом, границы окончательной плотины черным цветом.

Геометрия соляного пласта внутри Йонахшского разлома была детально расследована с первых исследований Рогунского проекта. Из исследовательских работ становится ясно, что соляной пласт имеет форму купола, верхушка которого, на максимальной отметке, имеет варьирующуюся ширину 1.5-2 м на левом берегу до 12 м на правом берегу. Также было доказано, что толщина соляного купола увеличивается в глубину, увеличиваясь в среднем на 15 м каждые 100 м вглубь. Учитывая данные особенности, мы будем постоянно ссылаться на соляной пласт Йонахшского разлома.

1.1.2 Цели отчета

Данная глава является результатом тщательного анализа гидрогеологического явления, и оценки существующих числовых моделей. Консультант ИТЭО создавал независимые модели для правильной оценки надежности существующих исследований.

Специфические гидрогеологические условия Йонахшского разлома рассматриваются в общем контексте гидрогеологических условий участка, уделяя особое внимание преобладающим условиям вокруг вершины соляного пласта, в так называемом оголовке

водоносного горизонта. Для вывода общей оценки были проанализированы результаты и интерпретация испытаний по откачке в оголовке водоносного горизонта, рекомендованного Консультантом ИТЭО в 2012 г.

Данный отчет также включает описание мер по смягчению последствий, предложенных предыдущими проектировщиками. Консультантом ИТЭО также рекомендуются новые варианты, основанные на современных технологиях. Эффективность рекомендованных мер по смягчению последствий выщелачивания оценивается в анализе чувствительности и Консультант предлагает рекомендации для мониторинга проекта прогнозным моделированием. Полученная стоимость соответствующих работ включена в общую стоимость проекта.

1.2 Гидрогеологические условия створа

Описание общих гидрогеологических условий площадки основано на полном обзоре имеющихся исследовательских работ и полевых изыскательных работ, выполненных Консультантом. Идентифицированы различные водоносные горизонты, описано их природное поведение. Из результатов тестов предыдущих исследований извлечены различные физические характеристики для внедрения в модель, и в случае недостаточности, были дополнены новыми тестами, выполненными в 2012 под руководством Консультанта ИТЭО. Например, на самой площадке плотины было оборудовано 18 скважин в наблюдательных колодцах, за которыми Консультант ИТЭО осуществлял мониторинг в 2012. Это было сделано для подтверждения того, что основные вводные данные гидрогеологической модели представляют реальные условия площадки, используя надежные записи.

1.3 Феномен выщелачивания и принципы моделирования

1.3.1 Характеристика процесса растворения

Растворение – это процесс, посредством которого вода образует раствор в контакте с растворимым материалом, действующим в качестве растворенного вещества. Этот сложный процесс описан в деталях посредством анализа каждого основного компонента явления, а именно характеристики растворимого вещества, характеристики растворителя (воды) и различные переносные явления растворенного вещества, которые необходимо предусмотреть (адвекция/конвекция, диффузия, гравитационная конвекция). Для различных предполагаемых сценариев была сделана оценка коэффициента Пекле, чтобы понять какой процесс переноса будет доминирующим.

1.3.2 Геометрия и характеристики Йонахшского разлома

Модель основана на тщательной оценке всей доступной документации с проекта 1978 года по 2012, когда была выполнена новая пробная откачка. Она дает точное местоположение и разграничение соляного пласта в Йонахшском разломе, детальный литологический состав обломочной породы, детальное описание природы и состава растворенной породы вокруг соляного пласта – в основном галит и ангидрит, гидравлическую проводимость, растворимость изучаемого материала.

Йонахский разлом ограничен солью, экструдированной из глубокого слоя эвапоритов. На вершшке находится глина и гипс. Ширина соляного пласта увеличивается в глубину, начиная от 1 до 8 м на поверхности и заканчивая 40-60 м на глубине в 200 м. Далее до глубины 2-3 км, толщина соляного пласта увеличивается на 15 м через каждые 100 м в глубину. Оголовок соляного пласта на берегах расположен на отметке от 956 до 970 м. Выше данной отметки соли нет из-за выщелачивания.

Под воздействием сдавливающих горизонтальных тектонических сил соль сползает, что приводит к повышению соляного пласта на 2.5 см/год, по оценкам прошлых исследований. Так как недавних записей по скорости повышения не было обнаружено, по данному важному параметру модели был выполнен анализ чувствительности.

Все предыдущие исследования предполагают, что глубина нерастворенного оголовка соляного пласта ниже реки Вахш не меняется со временем, что означает существование равновесия между растворением и повышением соляного пласта. Это является фундаментальным предположением в калибровочной модели.

Литологические условия соляного пласта представлены в следующем рисунке. Обломочная порода – это покрытый гипсом аргиллит формирования Гаурдак на низовой стороне и песчаник с прослоями алевролитов на верховой стороне. Этот рисунок показывает типичную последовательность, как подтверждается наблюдательными скважинами и исследованиями.

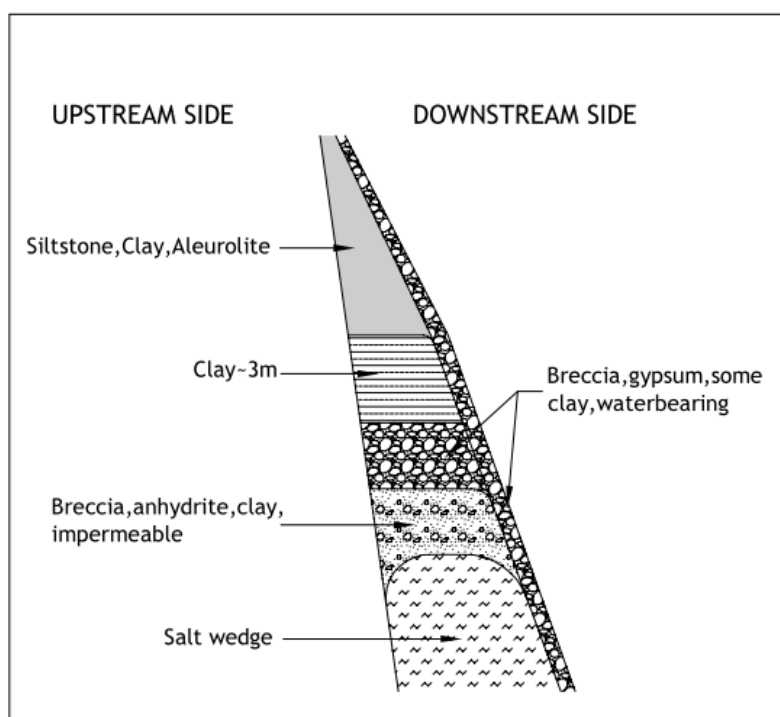


Рисунок 1-2: Литологические условия над соляным пластом

1.3.3 Пробная откачка в конце 2012, интерпретация результатов

Пробная откачка проводилась с 16 ноября по 10 декабря 2012, для чего была пробурена скважина 48 м глубиной и диаметром в 10 дюймов. Эта скважина была пробурена в ограниченной части берега, где разлом еще не был зацементирован. Во время теста были измерены следующие параметры: выход воды на поверхность, сработка уровня воды,

электропроводимость воды, общее содержание минеральных веществ в самой скважине. В дополнение также велось наблюдение за сработкой уровня воды в соседнем пьезометре.

Эта крупномасштабная пробная откачка позволила получить значения коэффициента пропускания и гидравлической проводимости для оголовка водоносного горизонта, которые являются фундаментальными вводными данными для различных моделей. Анализ результатов позволил лучше понять поведение водоносного горизонта в настоящих условиях. Данная пробная откачка позволила в некоторой степени подтвердить порядок величины скорости повышения соляного купола, основываясь на анализе содержания соли в различные периоды времени.

Полученная в данном тесте гидравлическая проводимость была использована для получения коэффициента Пекле при различных рассматриваемых условиях, показывая, что переносный процесс идет медленно и в настоящих условиях диффузия умеренно способствует процессу.

1.4 Математическая модель процесса растворения; анализ

1.4.1 Оценка настоящей модели ИГП

Данная модель калибрована по естественным условиям до цементации Йонахшского разлома, который сейчас распространяется почти вдоль всей площадки плотины, кроме русла реки Вахш и части левого берега.

Процесс калибровки основан на равновесии между предполагаемой скоростью повышения соляного пласта в 2.5 см/год и процессом растворения, выщелачивающий соль с одинаковой скоростью. Результаты модели схожи в пределах допустимости между наблюдаемой концентрацией соли в обломочной породе Йонахшского разлома и вычислениями.

Законы переноса, использованные в данной модели, включая процесс гравитационной конвекции, представляют максимально реальные условия. К сожалению, вводное значение гидравлической проводимости, являющейся одним из самых важных параметров, не является осторожным. Переоценка кинематической пористости не выглядит осторожным шагом, так как она замедляет переносный процесс. Примененное значение является результатом рассмотрения нескольких гидравлических тестов, проведенных поблизости от оголовка пласта, однако не было проведено пробной откачки, которая позволила бы определить реальное значение гидравлической проводимости оголовка водоносного горизонта.

Использование параметров, полученных из пробной откачки в 2012, вместе с илистой пленкой от 50% до 75% согласно модели ИГП, может привести к выщелачиванию в 10 раз выше, чем согласно оценке ИГП, требуя повышения соляного купола на 25 см в год для поддержания равновесия в реальных условиях. До настоящего времени полевых подтверждений такой высокой скорости повышения соляного купола в Йонахшском разломе не поступало, таким образом, показывая ограничения калибровки настоящей модели.

Все варианты были проанализированы с параметрами гидравлической проводимости с цементированным оголовком, предполагая, что оголовок пласта покрыт глиной (илом) на 50-75% на своей поверхности.

Надежность всей модели очень чувствительна и зависит от:

- Процента поверхности верхушки соляного пласта, предполагаемо покрытого илистой пленкой.
- Действительная скорость повышения соляного пласта в Йонахшском разломе.

Модель ИГП выглядит надежно, но выбор вводных параметров должен быть усилен результатами тестов и данными наблюдений (в особенности выполненного недавно теста пробной откачки).

1.4.2 Модели ИТЭО

Консультант построил свою модель для независимой оценки модели, подготовленной ИГП, а также использовал параметрический анализ для оценки вариантов и экстремальных условий, которые не были рассмотрены в существующих моделях. Это предоставляет более широкий спектр для анализа чувствительности, который будет включен в общую оценку риска феномена растворения.

Модель Консультанта менее сложна, чем модель ИГП, и предназначена как инструмент для общей оценки и принятия решений на этапе разработки технических предложений.

Весь процесс выщелачивания симулируется тремя отдельными подмоделями, которые используются последовательно:

- **Подмодель 1 – Модель течения грунтовых вод:** симулирует течение грунтовых вод вокруг соляного пласта для различных природных условий, стадий проекта, работ по снижению последствий и уровню их эффективности,
- **Подмодель 2 – Модель процесса выщелачивания:** моделирует максимальную мощность выщелачивания внутри части соляного пласта, подверженного растворению. Так как необходимо представить толщину соляного пласта подверженного выщелачиванию, представленный градиент соляного пласта является результатом из подмодели 1,
- **Подмодель 3 – Модель переноса:** она представляет переносные процессы: диффузию и адвекцию/конвекцию. Гравитационная конвекция не моделируется. В данной модели используются точные аналитические формулы (адвекция, диффузия). Представлены результаты пробной откачки: гидравлическая проводимость и кинематическая пористость. Представленные градиенты грунтовых вод являются результатом подмодели 1. Модель калибрована согласно наблюдению, что скорость выщелачивания равна скорости повышения соляного пласта.

Анализ чувствительности показывает, что наиболее чувствительными параметрами являются гидравлическая проводимость, градиент грунтовых вод, повышение пласта и илистая пленка. Относительно гидравлической проводимости нет или есть только ограниченная неопределенность, однако она существенна для илистой пленки и скорости повышения пласта.

Различные варианты рассматриваются для скорости повышения пласта в условиях стадии 1 и 2, принимая во внимание период воздействия каждой ситуации.

Было принято, что максимальный геометрический размер каверны образованной без вреда для плотины, при достаточно консервативных предположениях, будет равняться 25м. Это только теоретическое значение, основанное на геометрических соображениях. Непосредственная интерпретация данных из запланированного мониторинга должна быть выполнена для того, чтобы позволить своевременные меры корректировки при необходимости.

Рассматриваемые меры по снижению последствий:

- Цементация оголовка, или цементация породы вокруг верхушки соляного пласта,
- Применение гидравлического барьера, который состоит в поддержании водохранилищного давления в серии скважин в низовой части соляного пласта, чтобы минимизировать водный градиент между двумя сторонами соляного купола.

Следовательно, были рассмотрены следующие варианты:

- Условия, до начала работ, для калибровки модели, основанные на наблюдениях естественного равновесия между выщелачиванием и повышением соляного пласта.
- Опция «отсутствие мер по снижению последствий» после строительства плотины первой очереди, никаких мер по снижению последствий не применяется.

В таком случае, результаты вычислений следующие:

- Продолжительность плотины первой очереди в 10 лет: образование дециметровых пустот при высокой скорости повышения пласта, или в случае скорости выщелачивания выше скорости повышения пласта, их появление уже на первой стадии.
- В случае продолжительности плотины первой очереди в 40 лет: почти во всех случаях образование дециметровых пустот на первой и второй стадии.
- Следующие меры по снижению последствий были смоделированы для трех различных отметок:
 - Только цементация оголовка,
 - Только поврежденная цементация оголовка (то есть потеря эффективности цементации из-за долгого срока),

- Только гидравлический барьер,
- Гидравлический барьер и цементация оголовка,
- Гидравлический барьер и поврежденная цементация оголовка.

Во всех случаях, высота образовавшихся каверн всегда ниже 3м, означающий проникновение соляного пласта в тело плотины.

Был также изучен вариант «худшего случая», рассматривающий пониженную эффективность гидравлического барьера, поврежденную цементацию и потерю илистой пленки на соляном пласту, при продолжительности в 40 лет для первой стадии. В данном случае образование каверн может превысить 5м.

Существенной разницы градиента грунтовых вод в соляном пласте для трех вариантов плотины второй очереди не существует.

1.5 Выводы основной модели

Выводы по модели Консорциума следующие:

- Вариант «никакие меры по исправлению ситуации» по Йонахшскому разлому, т.е. плотина будет построена без использования мер по снижению последствий растворения: этот вариант не приемлем для сценариев с высокой скоростью подъема соляного пласта или продолжительного срока перед завершением второй очереди, так как со временем выщелачивание может привести к значительным провалам, что в свою очередь может повлиять на водоудерживающую функцию или даже на целостность плотины,
- Наиболее эффективной комбинацией мер по минимизации последствий являются цементационная и гидравлическая завеса. В данном случае, даже рассматривая наиболее пессимистические значения пористости и гидравлической проницаемости, не наблюдается значительное выщелачивание или образование пустот. В большинстве случаев, соляной пласт будет входить в тело плотины.
- Соляная завеса также может замедлить процесс выщелачивания. К сожалению, предыдущие опыты показали, что технология соляной завесы ненадежна, из-за эффекта закупоривания, а так же из-за чрезвычайно больших объемов соли, требуемой для ее функционирования. Модель показала, что соляная завеса выглядит чрезмерной мерой.
- Все результаты сильно зависят от, части оголовки пласта, покрытого глиной. Глиняное покрытие очень благоприятно, так как оно сдерживает процесс растворения. Нет никаких сомнений, что верхушка соляного пласта покрыта глиной, так как эвапориты демонстрируют значительное содержание глины и такое глиняное покрытие можно наблюдать на выдавливаемых диапирах по всему миру,
- Комбинация гидравлической и цементационной завесы должно привести к приемлемой скорости выщелачивания, всегда меньшей, чем подъем соляного пласта. Цементационные работы на верхушке соляного купола, на данный момент почти завершены, даже если достигнутая гидравлическая проницаемость

будет меньше 10 Люжон (гидравлическая проницаемость в 10^{-6} м/с), должны будут быть достаточными для снижения скорости растворения до приемлемого уровня,

- Использование только гидравлической завесы было бы достаточным, но в случае значительной потери эффективности, ситуация могла обернуться сценарием «никакие меры по исправления ситуации», которая не совсем безопасна. Такой же вывод сделан и для варианта только цементации оголовка пласта. Поэтому рекомендуется внедрить оба метода, цементацию оголовка пласта и гидравлическую завесу.

Учитывая неточность некоторых вводных параметров (одним из ключевых является подъем соляного пласта), результаты сценариев должны рассматриваться с коэффициентом запаса от 3 до 5. Коэффициент запаса соответствует соотношению размера полости для каждой сценарии (меньше, чем 8 м) разделенный максимальному размеру приемлемой полости (25 м). Коэффициент запаса 3 относится к стандартной практике проектирования. Кроме одного сценария, все остальные показывают, что нет никакого риска того, что выщелачивание может произвести неприемлемые полости.

Единственным критическим сценарием является тот, при котором завершение второй очереди плотины произойдет через 40 лет и ухудшится качество гидравлического барьера, цементации и разрушится глиняной купол над пластом. Это означает, что в течение этого времени не проводилось никакого мониторинга и технического обслуживания барьеров.

Учитывая опыт таджикских компетентных органов в мониторинге нижерасположенной Нурекской плотины на протяжении нескольких десятилетий, риск прорыва и/или технического отказа низок, но все равно должен быть рассмотрен в анализе общего риска проекта.

1.6 Рекомендации

1.6.1 Мониторинг

Немедленно должен начаться мониторинг повышения соляного купола. Это значение представляет особую важность в предсказании скорости растворения и надежности моделей. Он должен состоять из:

- измерения смещений внутри соляного пласта и прилегающей породы
- проверки деформаций внутри соляного пласта серией клинометров

Для данной цели мы бы рекомендовали пять профилей, состоящих из трех скважин, по крайней мере, в 100 м в глубину каждый, проникающих в породу и распределенных вдоль всего цементированного Ионахшского разлома.

Для мониторинга потенциального выщелачивания соли, предлагаются следующие системы:

- мониторинг напора грунтовых вод, чтобы проверять эффективность гидравлического барьера (скважины и ячейки давления),
- мониторинг проводимости воды для проверки надежности модели и продолжающегося процесса выщелачивания (скважины и ячейки проводимости),
- микрогравитация для проверки скорости повышения соли в Йонахшском разломе и потенциального образования каверн (одно исследование каждые шесть месяцев на этапе первой стадии),
- регулярный осмотр гидролокатора напорной грани плотины после наполнения, для обнаружения любых отклонений и деформаций напорной грани.

1.6.2 Гарантийное и техническое обслуживание

Вычислительную модель растворения, сделанную ИГП, необходимо усовершенствовать и откалибровать, используя более точные значения гидравлической проводимости и кинематической пористости оголовка водного горизонта. Дальнейшие исследования могут еще больше увеличить наши знания о вводных параметрах. Особенно необходима тщательная оценка скорости повышения соли в разломе, и измерения должны возобновиться как можно раньше. Данная модель будет полезным инструментом прогнозирования, который необходимо постоянно снабжать данными со стройплощадки, и поддерживать в эксплуатационном режиме на протяжении всего периода эксплуатации проекта.

В случае образования крупных каверн (которые например, могут быть обнаружены микрогравитацией), должно быть обеспечено своевременное вмешательство.

Если обе меры по снижению последствий окажутся неудачными или потеряют эффективность, то необходимо заново провести цементацию и установку гидравлического барьера. Необходимо предвидеть некоторые меры для предотвращения и восстановления этих двух процессов. Во время или в конце первой стадии, являющейся стадией с максимальным риском, может быть выполнена повторная цементация и установка гидравлического барьера от гребня плотины первой очереди.

На второй стадии, единственным вариантом повторной цементации и установки гидравлического барьера при полном водохранилище, станет работа с берегов, над уровнем воды в водохранилище. Это может быть выполнено только с помощью направленного бурения. Это способствует применению суб-горизонтального гидравлического барьера путем направленного бурения.

1.7 Выводы

Из вышеприведенных предположений, и существования риска отказа одной из данных двух мер по снижению последствий – особенно в случае цементации, становится ясна необходимость эффективной цементации и эффективного гидравлического барьера для предотвращения выщелачивания соли.

Более того, результаты свидетельствуют тот факт, что даже только эффективный гидравлический барьер или только эффективная цементация будут приемлемы, что говорит о необходимости поддержания в эксплуатации хотя бы одной из этих двух мер по снижению последствий на протяжении всего периода эксплуатации проекта. Обе смягчающие меры можно повторить по истечению времени во время самого критического периода после завершения стадии 1, поскольку гидравлический барьер может быть на более поздних этапах, так чтобы устойчивость процесса предотвращения растворения, могла быть обеспечена.

Для того, чтобы следить за эффективностью мер по снижению последствий, необходим адекватный мониторинг, чтобы могло выполняться своевременное вмешательство и ремонтные работы. Предложения по мониторингу даны в данном отчете и рисунках.

С применением гидравлического барьера и цементации, соответствующей системы мониторинга и проектом ремонтных работ на случай отказа мер по снижению последствий, тщательный анализ вариантов показывает, что выщелачивание в Ионахском разломе не влияет на осуществимость проекта.

2 СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Для удобства, этот пункт представляет список наиболее часто используемых сокращений и основных определений, используемых в настоящем отчете.

ИПИ: Институт Гидропроект (Гидропроект) (ИГПИ)

LU: Единица Люжона (ЕЛ) (единица измерения проницаемости для горной массы)

Соляная тектоника: в этом отчете термин означает конкретную деформацию, являющуюся результатом выдавливания, сводообразования, ползучести эвапоритовых пород, таких как соль, ангидрит или гипс

Соляной клин: выдавленный эвапорит вдоль Йонахшского разлома, в основном состоящий из каменной соли и ангидрита.

Оголовка соляного клина: оголовка породы, расположенная над соляным клином, это интерфейс между верхней частью нетронутого непроницаемого соляного пласта и пространством, находящимся выше и наполненным остатками, оставшимися после растворения соли,

Верхний водоносный слой: обозначает водоносный пласт в пространстве, заполненной остатками, оставшимися после растворения соли

Гидравлическая проводимость: символически представлена в виде K , является свойством породы, которое описывает легкость, с которой вода проходит через поры или трещины. Это зависит от собственной проницаемости материала, от степени впитывания и плотности воды и вязкости. Проницаемость и гидравлическая проводимость не должны приводить в замешательство.

Стадия 1: означает плотину первой очереди на отметке 1055 мнум, для варианта основной плотины при НПУ 1290, ее осевая линия близка к Йонахшскому разлому.

Стадия 2: означает окончательную плотину, осевая линия плотины находится в 300 м вниз по течению от Йонахшского разлома.

3 ОСНОВНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Далее приведен перечень основных документов и файлов данных для данной главы.

[1] Лехов А.В., 2009 год: Имитационное моделирование растворения соляного пласта во время строительства Рогунской ГЭС на реке Вахш в Республике Таджикистан, г. Москва

[2] Гидропроект, 1174-Т15, Центрально-Азиатский филиал: Рогунская ГЭС на реке Вахш, Технический проект, часть I, том 3, Инженерно-геологические условия, Ташкент, 1978 г., № 1174-Т15

[3] Ламайер Интернешнл 2006. Рогунская ГЭС в республике Таджикистан, Банковское ТЭО стадии 1, достройка строительство. Геологические, Геотехнические и Сейсмические характеристики. Часть 3.

- [4] Орехов. В.В. Международный институт геомеханики и гидравлических сооружений, 2005г. Математическое моделирование растворения соли, при создании водохранилища Рогунской ГЭС. Стадия 1.
- [5] Геологические архивы Рогунской ГЭС. 1979 года. Журналы по скважинам, результаты проб воды.
- [6] Геологические архивы Рогунской ГЭС.2012. Измерения уровня грунтовых вод, измерения расхода родников, Испытания по откачке/растворения.
- [7] РУСАЛ 2005 Строительство Рогунской ГЭС Инженерно-геологические условия
- [8] Количко. 2012 года. Ответы экспертам.
- [9] ПФАНКУШ, Х.О. 1963 года. Вклад в смешиваемые жидкости в пористой среде (на французском языке). Revue de l'Institut du Pétrole.
- [10] ИГП 2012. Рогунская ГЭС на реке Вахш. Разработка гео-фильтрационной модели участка основных сооружений Рогунской ГЭС.
- [11] Флетчер Г., Дрисколл. 1986. Грунтовая вода и Скважины (Библия практиков гидрогеологов).
- [12] Логан Дж. 1964. Оценка проницаемости от обычных производственных испытаний водозаборных скважин. Грунтовые воды, 2:35 - 37

4 ПРЕАМБУЛА И ЦЕЛИ ОТЧЕТА

4.1 Преамбула: Соляное тело в Йонахшском разломе

Этот отчет по Фазе 0 рассматривает конкретные вопросы, основанные обнаруженным наличием соли в Йонахшском разломе, которая срезает участок Рогунской плотины в примерно СВ-ЮЗ направлении, в верхней части оси плотины.

С самого начала исследований Рогунской плотины, наличие каменной соли было озабоченностью ТЭО, по отношению к потенциальному растворению этой соли, когда плотина первой очереди будет построена и наполнена, а также для окончательной плотины (Стадия 2).

Настоящее расположение плотины было выбрано таким образом, чтобы быть расположенным в ущелье, созданным изгибом к югу от реки Вахш, между Йонахшским разломом на север, и разломом 35 к Югу.

Этот район является тектонически очень активным, и геодезические измерения, проведенные до 1978 года, показали, что и Йонахшский разлом и Разлом 35 ползли со скоростью около 1,5 до 2 мм в год.

Таким образом, расположение плотины было выбрано так, чтобы осевая линия плотины, а также ядро плотины, были расположены на блоке между этими двумя разломами, где не предполагалось происхождение никаких перемещений.

Рисунок 4.1 показывает конфигурацию участка, с Йонахшским надвиговым разломом, который будет расположен ниже плотины первой очереди, и под верховой призмой окончательной плотины.

Гулизинданский разлом, расположенный южнее, суб-параллельно Йонахшскому разлому, является также надвиговым разломом, где был обнаружен соль, но без прямых вмешательств компонентам проекта.

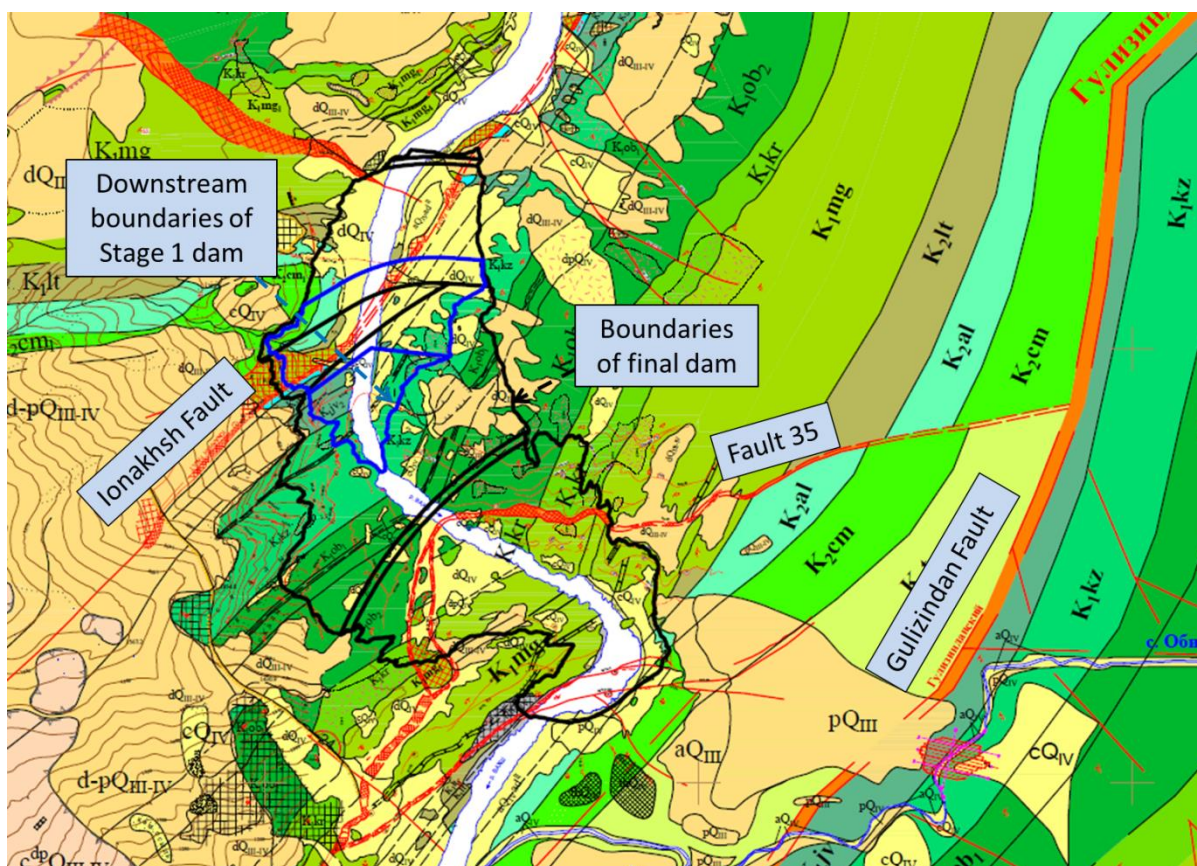


Рисунок 4.1: Геологическая карта участка плотины с Йонахшским разломом и другими основными разломами; границы плотины первой очереди выделены, синим для участка вниз по течению (вверх по течению одинаково как для окончательной плотины, что включает в себя плотину первой очереди)

Геометрия соляного тела Йонахшского Разлома была тщательно исследована до выпуска Отчета проектирования 1978 года (Ссылка [2], где результаты этих исследований изложены подробно). Скважины и исследование штольней позволила распознать соляное тело приблизительно длины более 450 м вдоль разлома на каждом из двух берегов.

Вдоль этого, около 1 км участка разлома по центру реки, выяснилось, что отметка верхней части соляного тела была расположена на отметке до 970 м над уровнем моря на левом берегу, около 950 м над уровнем моря под руслом реки, и идет снова вверх в пределах правого берега, с отметкой 956 до 964 метров над уровнем моря (последняя точка является отдалённая от правого берега).

Из скважин, кажется, что соляное тело имеет форму клина, вершина которого имеет, на максимальной отметке переменную ширину от 1,5-2 м на левом берегу до 12 м на правом берегу. Мне подтвердили, что толщина соляного клина увеличивается с глубиной, в среднем увеличивается на 15 м при каждой глубине в 100 м.

Учитывая эти особенности, мы будем ссылаться в продолжение соляного клина Йонахшского разлома.

Особые свойства пород, окружающих соляное тело будут детализированы постепенно в ходе отчета.

Тектонические воздействия выдавливают каменную соль юрской Гаурдакской свиты вдоль Йонахшского разлома при ориентировочной скорости 2,5 см/год. В то же время соль выщелачивают так, чтобы глубина оголовки не менялась со временем. После заполнения водохранилища, а более конкретно для стадии 1, градиент грунтовых вод вдоль Йонахшского разлома может значительно увеличиться.

Растворение или явление выщелачивания сложные и объединяют несколько различных процессов. Первым, является растворение самого соляного пласта, оставляя остаточную глину, которая покрывает частично соляной оголовок. Кроме галита, который является доминирующим компонентом соляного купола, часть ангидрита составляет около 25%. Ангидрит, при контакте с ненасыщенной водой превращается до утечки, в гипс, который является гидратом ангидрита. Эта трансформация приводит к увеличению объема частичного заполнения пустоты, оставленной одновременно растворением галита. После насыщения воды соль эвакуируется после нескольких процессов переноса.

4.2 Цели отчета

Целью данного исследования является оценка потенциального риска увеличения скорости выщелачивания и определения, до какой степени могут образоваться каверны в основании плотины, и влияния на общую целостность сооружения. Данный вопрос был предметом специальных исследований и проектов (включая проект мер по снижению последствий) с начала проектирования в 70-ых.

Для установления риска выщелачивания и эффективности мер по снижению последствий, в прошлом было использовано несколько моделей: аналоговая модель (1978) (ссылка {8}) и совсем недавно числовые модели в 2005 и 2009 (ссылка {1} и {4}) Эта глава является результатом тщательного анализа гидрогеологических явлений, их понимания и обязательной оценки предлагаемой числовой модели. Были разработаны независимые модели, чтобы сравнить их результатов с предложенной моделью.

Конкретные гидрогеологические условия в Йонахшском разломе ставятся в их более общие гидрогеологические условия участка. Проанализированы результаты и интерпретация недавно проведенного испытания по откачке, рекомендованная Консультантом ИТЭО в 2012 г в верхнем водоносном пласте, чтобы дополнить общую оценку.

Цель данного отчета также является оценка этих предложенных мер, которые состоялись соответственно из следующего:

- цементация верхнего водоносного пласта,
- создание гидравлического барьера для снижения градиента грунтовых вод над соляным клином,

- осуществление рассольной завесы, чтобы аннигилировать процесс выщелачивания, путем ввода рассолов (соляные растворы).

Отчет включает рекомендуемые новые варианты для смягчающих мер с их соответствующими оценками затрат. Их эффективность в сокращении выщелачивания оценена в анализе чувствительности и Консультант указывает рекомендации для мониторинга проекта с помощью прогнозного моделирования.

5 ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА

5.1 Подразделение водоносных пластов участка

Водоносные пласты, связанные с плановыми работами: плотины в две стадии, каверны, тоннели и водосбросные сооружения ограничены в размерах. Они регулируются рекой Вахш, которая является основной дренажной осью. Впоследствии существуют два основных независимых водоносных пласта, один на правом берегу, а другой на левом берегу. Оба они подразделяются на суб-водоносные пласты, действующие также самостоятельно (см. рис 5.1).

На левом берегу, водоносный пласт ограничен на востоке Гулизинданским разломом, который сильно сжат ЮВ-СЗ действующей силой сжатия (15 МПа). Он непроницаем и действует как естественный барьер.

На юге он разграничен рекой Обишур, а границу на севере невозможно четко определить.

Разлом 35 заполнен глиной (см. ссылку [7], он разделяет водоносный пласт левого берега на два суб-водоносных пластов: "левобережный северный" и "левобережный южный". Левобережный северный суб-водоносный пласт также включает в себя часть Йонахшского разлома, который осушает и небольшой аллювиальный водоносный пласт, состоящий из крупных (гравий) аллювиальных отложений.

Вмещающая порода водоносного пласта состоит из чередующихся слоев алевролитов (Рисунок 5.3 и Рисунок 5.2, см. ссылку [3]), очень мелкозернистого песчаника и аргиллитов. Слои погружаются на юго-восток под углом 60°. Вмещающая порода недостаточно проницаема и, как обычно, для водоносных пластов пород, гидравлическая проводимость (проницаемость) снижается с глубиной.

Как правило, в водоносных пластах осадочных образований, обычно наблюдается сильная анизотропия, от одного до двух порядков величины, самая высокая гидравлическая проводимость наблюдается в направлении, параллельном основанию, в то время как самая низкая направлена перпендикулярно к основанию. В случае участка Рогун, гидравлическая проводимость является самой высокой параллельно слоям падения, что составляет 60°. Но с другой стороны, действуют сильные горизонтальные силы, закрывая почти вертикальные швы, а также швы напластования. Можно предположить, что степень анизотропии не важна. Тем не менее, в обнажении на левом берегу наблюдаются некоторые протечки воды через плоскости напластования. Утечка тоже наблюдается в плоскостях напластования внутри галерей.

Из гидравлических испытаний, ранее проведенных в нескольких направлениях вокруг галерей, не должна была измерена никакая анизотропия (см. ссылку [8]).

Из полевых наблюдений, можно сделать вывод, что некая анизотропия (полевые наблюдения) существует, но не более одного порядка величины и локально сконцентрированная.

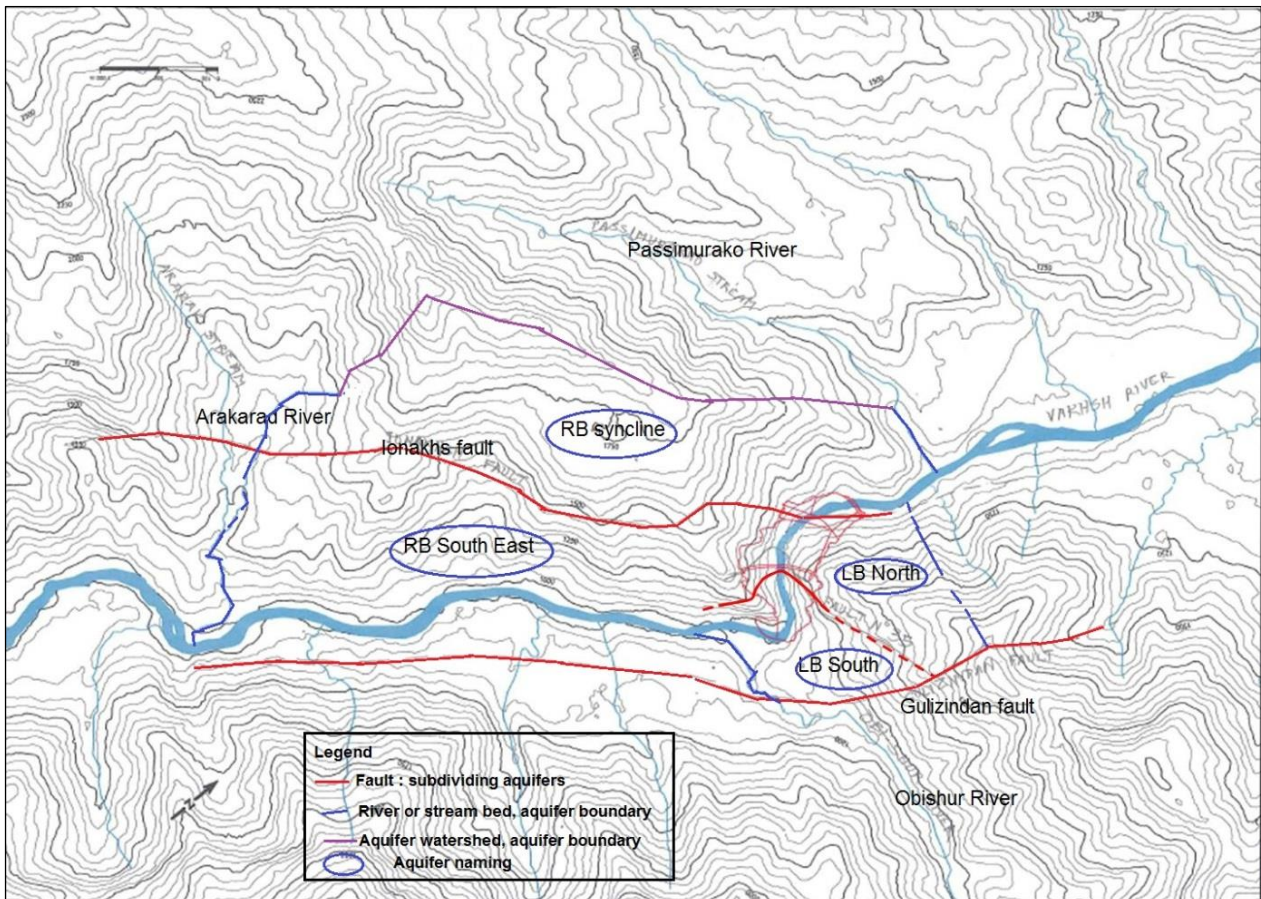


Рисунок 5.1 Разграничение водоносных горизонтов.

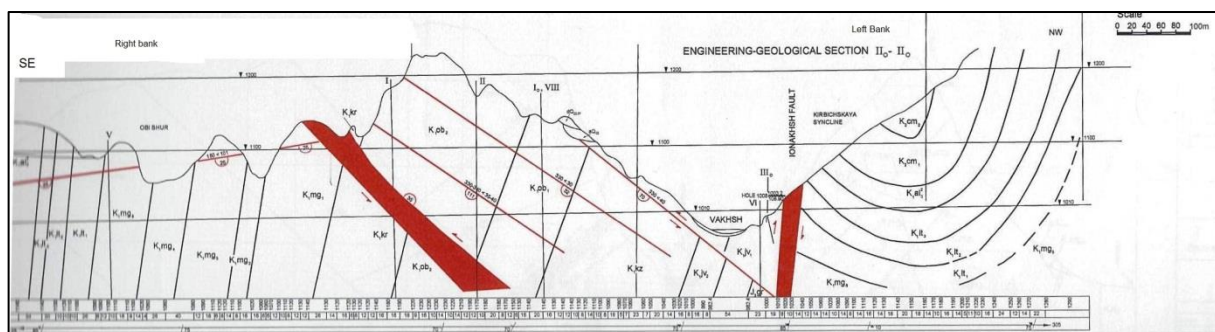


Рисунок 5.2. Поперечное сечение

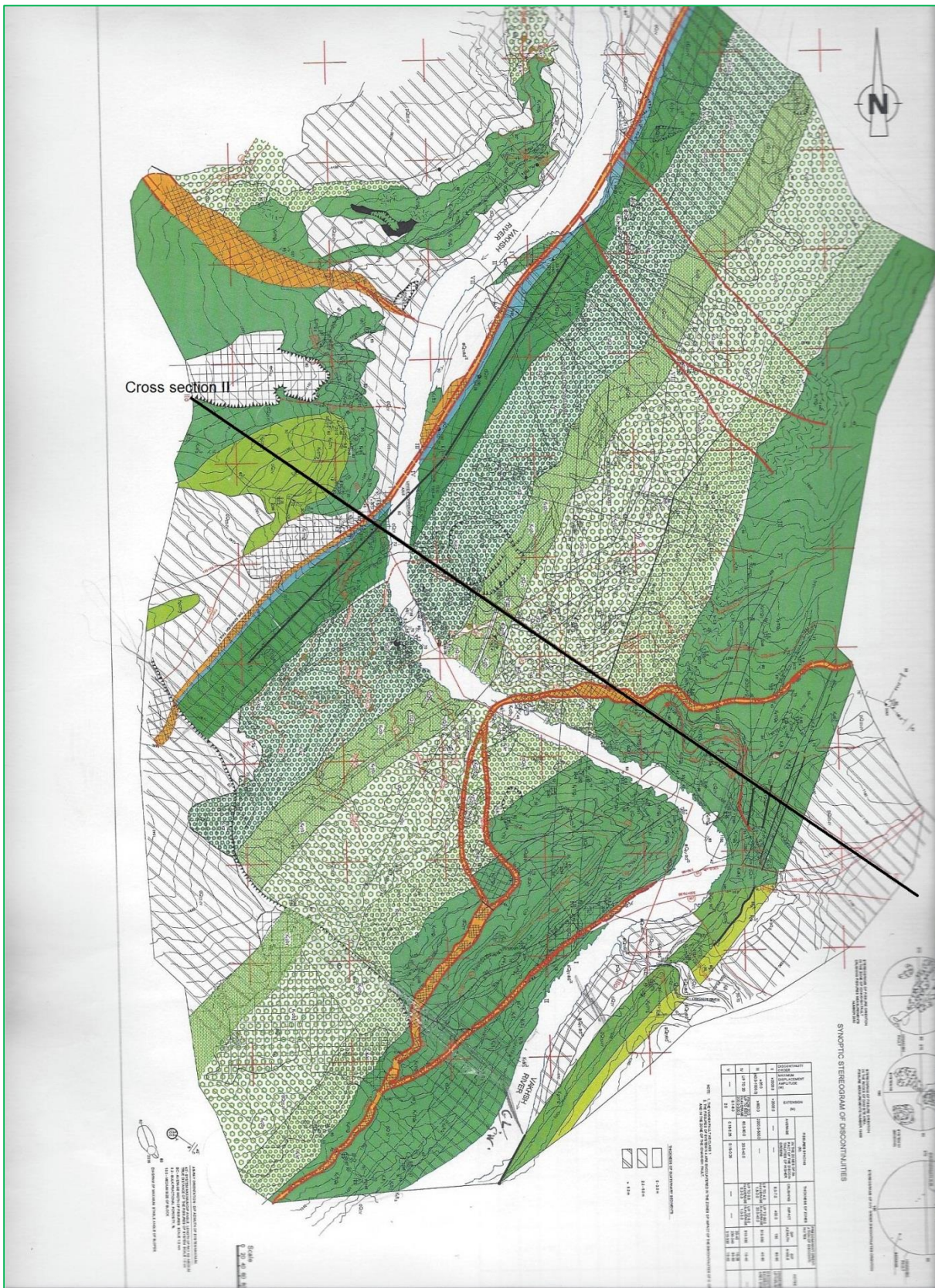


Рисунок 5.3. Подробная геологическая карта. Расположение поперечного сечения.

В среднем грунтовая вода водоносного пласта течет к реке Вахш и водоносный пласт подпитывается просачивающейся водой. Поскольку склоны высокие, порода недостаточно проницаема, стоки огромны и соотношение просачивания не может превышать 10% осадков (15% в соответствии со ссылкой.[10]).

В период половодья реки Вахш, летом сопутствующие таяния ледников, уровень реки может подняться до 7 метров. В это время, река Вахш подпитывает водоносные пласты и поток грунтовых вод идет от реки к берегам. Серия из 11 наблюдательных скважин была выполнена в августе и сентябре 2012 года, они наблюдались со времен половодья, показывая, что вода реки Вахш течет к берегам с градиентом грунтовых вод в 3% на левом берегу и 3,5% на правом берегу.

Гидравлическая проводимость подразумевается из нескольких сотен гидравлических испытаний (см. ссылок [5], и [8]).

Оценка распределения гидравлических проводимостей проведена на данной основе, представлена в ссылке [10] и подытожен в таблице 5.1.

		Нетронутая порода на глубине 45 до 90м. K (10^{-5} м/с)	Слегка разрушенная порода толщиной 20 до 40м. K (10^{-5} м/с)	Разрушенная порода толщиной 20 до 40м K(10^{-5} м/с)	Очень разрушенная порода, толщиной 5 до 20 м K(10^{-5} м/с)
Валанжинский Готеривский	Аргилит, алевролит	0.001	0.01	0.12	1.5
Валанжинский Готеривский	Аргилит, алевролит, песчаник	0.001 до 0.002	0.02 до 0.05	0.15	2
Готеривский Альбский	алевролит, гипс	0	0.02	0.1	1.5
Готеривский Альбский	алевролит, песчаник, аргилит,	0.0025	0.07	0.25	2

Таблица 5.1: Распределение гидравлических проводимостей в главных геологических образованиях левого берега, выведенные из гидравлических испытаний, проведенных на участке

Более высокая гидравлическая проводимость, ограниченная до верхней части приносит поверхностный эффект, ограничивающий поток на верхней поверхности водоносного пласта. Это может ввести в заблуждение и противоречить наблюдениям просачивания глубже в существующих галереях и кавернах.

На правом берегу, водоносный пласт также должен быть разделен на две суб-водоносные пласты. Мы ссылаемся на Рисунок 5.1 и Рисунок 5.2. Их взаимной границей является Йонахшский разлом. Они являются юго-восточным и синклиналей водоносного пласта.

Юго-восточный ограничен на севере рекой Вахш и Йонахшским разломом, на востоке рекой Вахш и на западе Йонахшским разломом. Она расширяется до юга, включая "атипичную зону", до реки Арарак или ее северных притоков. Йонахшский разлом также осушается, но в связи с довольно низкой гидравлической проводимостью, дренажная подпитка является очень низкой.

Все характеристики, близкие к участку плотины (инфильтрация, гидравлическая проводимость, градиент грунтовых вод) похожи на водоносные пласты левого берега.

Правобережная синклиналь водоносного пласта показывает структурные различия. Ось синклинали погружается на север с почти уникальным расходом: серия родников расположена на оси синклинали. Общий расход составляет 18 л/с (сентябрь 2012 года). Эта величина, связанная с питающим водоемом, соответствует, по меньшей мере, 110 мм инфильтрации (с учетом того, что измерения были проведены в период маловодья и меньше, чем средний расход).

Характеристика литологических и гидравлических параметров такая же, как и для выше указанных водоносных пластов.

Другие литологические образования наблюдаются с несколько иными характеристиками. Поскольку существует только небольшое число гидравлических испытаний в этих образованиях, гидравлические проводимости являются наилучшей оценкой, они представлены в таблице 5.2.

		Несжатая порода глубиной от 45 до 90м. К (10^{-5} м/с)	Слегка разрушенная порода толщиной 20 до 40м. К (10^{-5} м/с)	Разрушенная порода толщиной 20 до 40м К(10^{-5} м/с)	Очень разрушенная порода, толщиной 5 до 20 м К (10^{-5} м/с)
Альбский	Песчаник, аргилит, алевролит	0.002	0.04	0.2	2
Альбский	Песчаник, алевролит, аргилит,	0.003	0.06	0.3	2.1
Альбский	Песчаник, мел, алевролит, аргилит, гипс	0.002	0.04	0.3	2.
Альбский	Песчаник,, алевролит, гипс	0.003	0.03	0.2	2.3

Таблица 5.2: Распределение гидравлических проводимостей в главных геологических образованиях правого берега.

Гидравлическая проводимость несколько выше, чем для других водоносных пластов или суб-водоносных пластов, дающих больше свойства проницаемости правому берегу..

5.2 Поток грунтовых вод различных водоносных и суб-водоносных пластов

До 2012 был серьезный недостаток наблюдательных скважин. За исключением только нескольких наблюдательных скважин, созданных вдоль Ионахшского разлома в зоне створа плотины и никаких измерений расхода в долгосрочной перспективе на инвентаризованных источниках. На самом участке плотины было оборудовано 18 буровых скважин в наблюдательных скважинах и проведен мониторинг в 2012. Наблюдаемые уровни грунтовых вод только включали северный суб-водоносный пласт левого берега и ограниченную часть юго-восточного суб-водоносного пласта Правого берега. Как было упомянуто выше, они показывают подпитку водоносных пластов рекой Вахш.

Измерения расхода были проведены в конце лета 2012 (в данном случае при маловодии) правобережных притоков реки Вахш.

Были зарегистрированы следующие значения:

- В реке Арарак течение, оставляющее правобережный юго-восточный водоносный пласт, составляет 0,5 литр/сек.
- В Пасиморухо, оставляющий правобережный водоносный пласт синклинали, составляет около 30 литр/сек.

В нынешних условиях, предполагаемые поточные линии маловодья в реке Вахш приведены ниже (Рисунок 5.4). Летом поток в реку Вахш обратный и течение идет от реки Вахш к берегам.

5.3 Характерный водоносный пласт Йонахшского разлома

Пространство с остаточными эвапоритовыми растворами над оголовкой соли, связанное с брекчией на контакте с окружающей породой составляет дренажный водоносный пласт. Окружающая порода только слегка проницаема и область питания инфильтрацией очень мала. Следовательно, дренажный расход данного водоносного пласта (далее как «водоносный пласт оголовки») очень ограничен. Как мы видим далее (результаты долгосрочного испытания по откачке) гидравлическая проводимость очень высока: 10^{-4} м/с. Низкий расход связанный с высокой гидравлической проводимостью объясняет, что градиент подземных вод очень низкий (см. ссылку [6]).

Этот водоносный пласт связан с двойным режимом реки Вахш, втекающей в реку Вахш во время маловодья реки Вахш (зимой) и втекающей обратно в землю во время многоводья реки Вахш (летом).

Этот водоносный пласт особый и работает почти независимо от других водоносных пластов участка плотины.

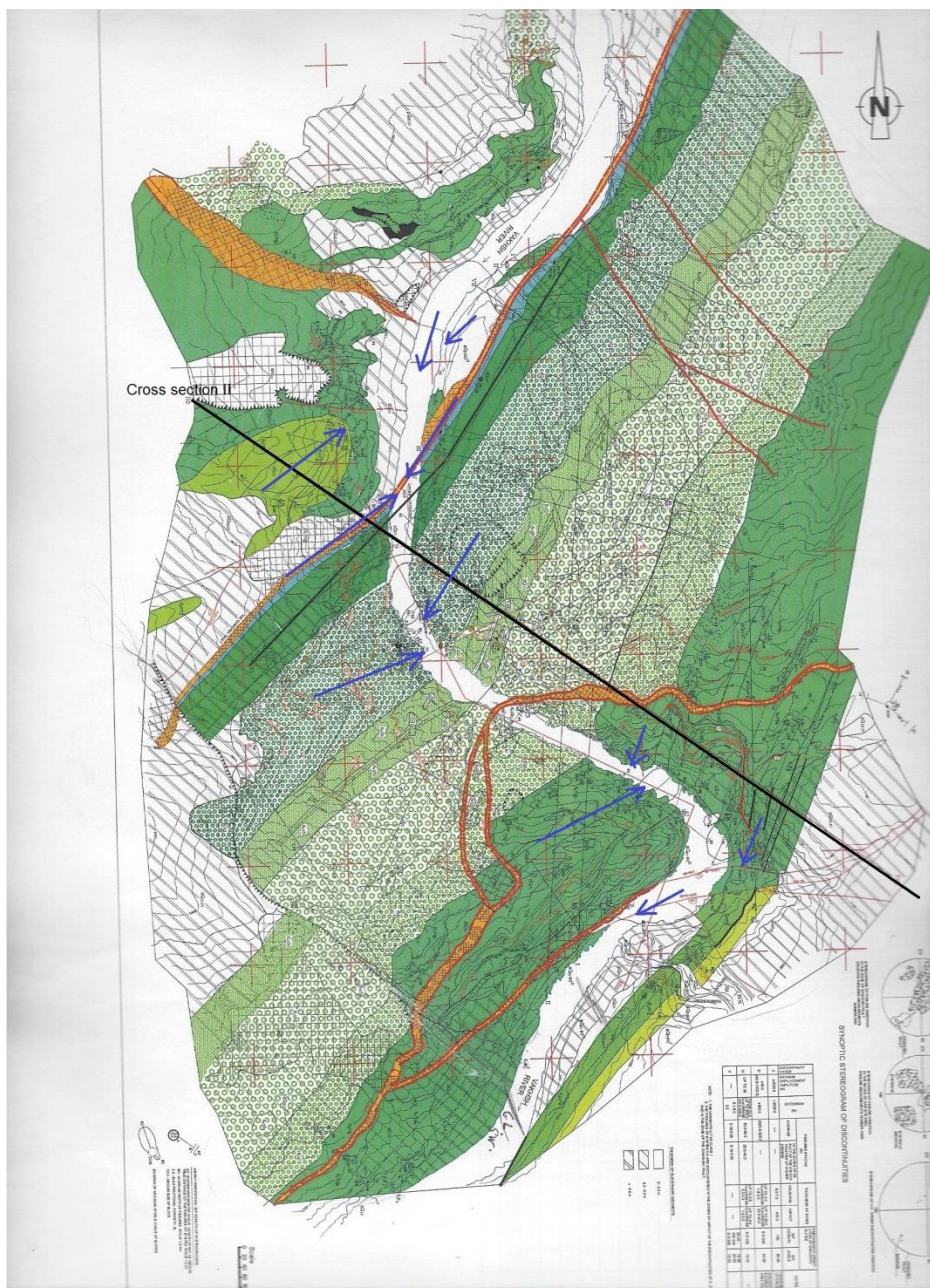


Рисунок 5.4: Предполагаемое направление потока грунтовых вод при маловодии реки Вахш, как наблюдается в настоящее время

5.4 Вывод

Полное понимание поведения водного горизонта и его характеристики были установлены путем тщательного анализа существующих исследований, визитов на стройплощадку и измерений выхода воды на площадке. Данное полное понимание условий площадки является фундаментальным необходимым условием для оценки существующих моделей, их предположений по ограничивающим условиям и вводных параметров. Данный анализ также использовался для построения трех независимых подмоделей, описанных в последующих разделах.

6 ЯВЛЕНИЕ РАСТВОРЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

6.1 Характеристика процессов растворения

Растворение является результатом контакта воды с растворимым веществом.

Различные явления, приводящие к растворению разнообразны и сложны. Они описаны подробно ниже:

➤ *Характеристики растворимого вещества*

Растворимое вещество представляет собой смесь галита, ангидрита и различных нерастворимых компонентов. Эвапоритовое содержание было установлено, и оно составляет следующее: 60,5% галита, 25% ангидрита и 14,5% нерастворимых компонентов (ссылка [1]).

Однако стоит отметить, что этот состав как сообщается в Ссылке [1] является результатом испытаний, проведенных Научно-исследовательским институтом (НИИ) Гидропроекта в 1985 году, которые не были предоставлены Консорциуму, но были цитированы в существующих отчетах. Отчет Проектирования за 1978г. (ссылка[2]), раньше приписывал средний процент каменной соли 79,3%, в действительности находящегося в диапазоне от 76 до 92%.

- **Галит** (NaCl) полностью растворим и кинетика растворимости является высокой, следовательно, он считается мгновенно растворимым.
- Растворимость **ангидрита** (CaSO₄) медленнее и его производство растворимости ниже, чем у галита. До растворения, ангидрит гидратируется и после этого процесса превращается в гипс, который является растворимым, но меньше, чем галит. Трансформация ангидрит-гипс происходит вместе с увеличением объема 162% (ссылка 1). Это увеличение объема закрывает поры и впоследствии снижает поверхность теплообмена. Поскольку процесс растворения является пропорциональным теплообмену поверхности, процесс растворения будет снижен с преобразованием ангидрита в гипс, частично уравновешивая увеличение пор, связанного с растворением галита: $1,62 \times 25\% = 40,5\%$ закупоривания пор и 60,5% возникновение пор путем растворения галита.
- **Менее растворимые соединения**, сделанные из гипса от гидратации ангидрита, смешанного с 14,5% нерастворимых соединений (в основном части заделки пород) далее заполняют новые поры ($40,5\% + 14,5\% = 55\%$) после растворения; они оседают, покрывая эвапоритный купол, и частично защищая его от дальнейшего растворения.
- **После растворения гипса**, который также может выщелачиваться (с более низкой скоростью, чем галит), там, где поверхность теплообмена позволяет, нерастворимые соединения остаются, и длительный процесс растворения производит глинистую корку поверх эвапоритов, которая обычно наблюдается над эвапоритами.

Обменная поверхность. Как указано выше, растворение пропорционально поверхности эвапоритов, подверженных циркуляции воды. Плоскость стыка пропорциональна кинематической пористости (кинематическая пористость является частью пустот, по которым движутся подземные воды). Некоторые эмпирические соотношения были определены в зависимости от формы отверстий.

Вывод 1. Скорость растворения и быстрота зависит от состава эвапоритового купола. Это соединение известно и даже, учитывая увеличение объема, в связи с преобразованием ангидрита в гипс, происходит увеличение пористости и впоследствии другие материалы остаются неизменными в процессе выщелачивания. Некоторые нерастворимые компоненты покрывают эвапоритовый купол. Это может значительно уменьшить обменную поверхность. Как обычно наблюдается над эвапоритовым телом, оседание нерастворимых соединений после растворения оставляет глинистую корку, покрывающую его поверхность, останавливая процесс растворения.

Как доказано далее, процент поверхности соляного купола, который покрыт остаточной глиной, является одним из основных параметров всего процесса растворения.

➤ *Характеристики растворителя.*

Процессы растворения действуют только до тех пор, пока растворитель (вода) не будет насыщен растворенными компонентами. Это означает, что неподвижная вода "вода без какого-либо движения", будет растворять эвапоритовый клин до тех пор, пока вода не будет насыщена растворимыми компонентами¹.

Вывод 2. Результатом является то, что процесс растворения пропорционален подземному потоку и обратно пропорционален его растворенному содержанию соли.

➤ *Касательно перемещения растворенных компонентов.*

Рассматриваются три процесса перемещения растворенных компонентов эвапоритового купола.

Перемещение адвекцией/конвекцией. Это перемещение является наиболее интуитивным, так как это перемещение с жидкостью в движении. В соответствии с законом Дарси, и для данной гидравлической проводимости горной массы, реальная скорость в порах обратно пропорциональна кинематической пористости. Геометрия порового пространства также вводит различия во времени перемещения частиц (тех, которые перемещаются по более короткому пути), и запаздывающих частиц (перемещающихся по более длинному пути). Это последнее явление является дисперсией. Движущей силой является различие напора воды. Аналитические формулы четко определены.

Аналитическая формула (в сочетании с процессом диффузии) для одного объема представлена на рисунке 6.1. Численное моделирование этого процесса является общим.

Перемещение путем диффузии. Физическим явлением является движение Браун, драгирующее растворенные частицы из мест с наибольшей концентрацией в места с самыми низкими концентрациями. Движущей силой в данном случае является разность концентраций. Здесь снова аналитические формулы четко определены (формула закона Фика). Численное моделирование перемещения диффузией является общим.

¹ В случае неподвижной воды, различные ионы соли будут эвакуированы диффузионным процессом, но такие процессы очень низки.

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} = \omega \frac{\partial C}{\partial t}$$

Dispersion, diffusion equation:

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} = \omega R \frac{\partial C}{\partial t}$$

With $D = d + \frac{\alpha}{\omega} U$ dispersion (L^2/T)

d diffusion (L^2/T)

α dispersion coefficient (L)

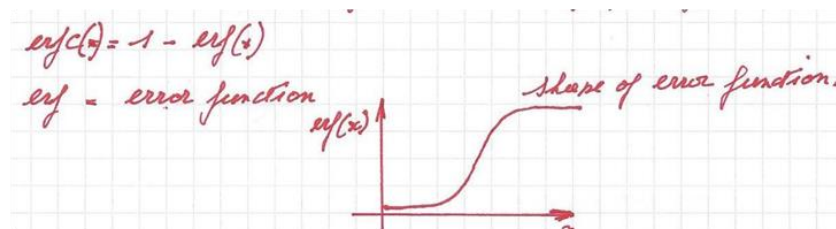
U Darcy velocity (L/T)

R Retardation (delay factor)

t time (T)

ω kinematic porosity (or total porosity for diffusion)

$erfc(x) = 1 - erf(x)$ where erf is the error function (see below)



Analytical solution of the dispersion diffusion equation:

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left[erfc \left(\frac{x - \frac{U}{\omega R} t}{2 \sqrt{\frac{Dt}{\omega R}}} \right) + \exp \left(\frac{Ux}{D} \right) erfc \left(\frac{x + \frac{U}{\omega R} t}{2 \sqrt{\frac{Dt}{\omega R}}} \right) \right]$$

Where:

x distance between source and receiver

t time

C_0 Concentration at the source

C Concentration

Рисунок 6.1: Уравнение для конвекции, диффузии, дисперсии

Обычно проверяется, какой процесс перемещения является преобладающим: адвекции / конвекции или диффузии. Для этого, число Пекле: P_e определяется по следующей формуле:

$$P_e = \frac{v_r l}{d_0}$$

где v_r является реальной скоростью (м/с), l размер частиц (м) и d_0 коэффициент диффузии (м/с).

По лабораторным испытаниям, когда меньше чем 10 имеется чистая диффузия, а когда больше чем 500 чистая адвекция (ссылка [9]). Обычно определение число Пекле представляется в числовых моделях.

Перемещение путем гравитационной конвекции. Когда циркуляция воды низкая, содержание соли может быть близким к насыщенности. Вода становится соляным раствором с плотностью 1,2 (морская вода составляет только 1,03). Таким образом, растворение эвапоритов увеличивает плотность соляного раствора, приводящего к нестабильной ситуации, в которой более плотный соляной раствор залегаеет над соляным раствором меньшей плотности. Эта гравитационная неустойчивость приводит к конвекции вызванная плотностью жидкости, которая усиливает процесс растворения. Обмены вода/соль были смоделированы этим способом. Движущей силой в данном случае является разность плотности. Формулы гравитационной конвекции были разработаны и подробно описаны (ссылка [1]). Гравитационная конвекция зависит, конечно, от разностей плотности, но также от кинематической пористости и гидравлической проводимости. Следует отметить, что гидравлическая проводимость уменьшается с увеличением содержания соли. Гидравлическая проводимость связана с реальной скоростью в порах, а последние обратно пропорциональны вязкости. Вязкость пропорциональна плотности, а плотность содержанию соли. Гидравлическая проводимость водоносного пласта с насыщенной солью водой является на 40% меньше, чем гидравлическая проводимость того же водоносного пласта при той же температуре с пресной водой (ссылка [1]).

Вывод 3. Следовательно, принимаются во внимание три основных процесса перемещения растворенных веществ в водоносных пластах: адвекция/конвекция, диффузия и гравитационная конвекция.

Далее, учитывая реальные полевые условия:

- до каких-либо работ,
- текущие условия на 2012г.
- на этапах строительства 1 и 2.

Что касается имеющихся наблюдений, испытаний, и гидравлические параметры будут проанализированы, чтобы определить, какое явление перемещения является преобладающим или какое сочетание является преобладающим, при каждом случае..

6.2 Существующие данные, результаты испытаний наблюдений в Йонахшском разломе

- До 1979: Скважины исследования: 13 скважин глубиной между 80 и 100 м были реализованы в непосредственной близости от Йонахшского разлома для следующих целей:
 - Точное расположение и разграничение соляного клина в Йонахшском разломе,
 - Подробный литологический состав окружающих пород,

- подробный характер и состав остатков растворенной породы вокруг галито-ангидритового пласта,
 - гидравлические испытания (очень похожие на тесты Люжона) для оценки гидравлической проводимости,
 - Установка пьезометров в скважинах (ссылка [5]).
- До 1979: Лабораторные испытания на образцах для эвапоритового состава, отметка для определения коэффициента растворимости (ссылка [5]),
- Измерения уровня грунтовых вод наблюдательных скважин, вплоть до их цементации (ссылка [6]),
- 1979: большие испытания на месте гидравлического завеса и инъекции рассола (ссылки [1] и [5]),
- 2012: испытания по откачке и растворимость, рекомендованное Консультантом ИТЭО (ссылка [6]).

6.3 Йонахшский разлом, геометрия и характеристики

Йонахшский разлом пересекает русло реки Вахш у входа в ущелье, 0,5 км вверх по течению от зоны створа плотины. Он сворачивает в северо-восточном направлении, суб-параллельно реке Вахш выше по течению от створа плотины, а затем проникает в правый берег как огибается река к Югу для входа в ущелье (см. рис 5.3). Плоскость разлома уклоняется от 75 до 80° на юго-восток, т.е. в сторону нижнего бьефа.

Йонахшский разлом граничится с солью выдавленной из глубоких эвапоритовых пластов. Он покрыт на своей вершине глиной и гипсом. Ширина соляной зоны увеличивается от 1 до 8 м в верхней части до 40-60 м на глубине 200 метров. Далее вниз на глубине до 2-3 км, толщина соли увеличивается примерно на 15 м, каждые 100 м. Оголовка соляного клина на берегах находится на отметке 956 до 970. Соли нет выше этой отметки, она была выщелочена.

При поперечных силах соль ползет, производя рост соляного купола, который был оценен (ежегодно) 2-3 мм в 1978 (ссылка [2]), и на 2 см в 2005 (ссылка [7]). Она оценена в настоящее время между 1 и 2 см (ссылки [7] и [8]), а недавно между 2 и 5 см в год; даже 12 см/год возможно (ссылка [1]), как рассматривается далее.

Стоит заметить, что растущее движение не было проконтролировано в рамках общего геодезического исследования с 1969 по 1992 год. Некоторые эксперты полагают, что это может быть в настоящее время выше, чем 2 см. Как было отмечено для аналогичных, даже равных горообразовательных условий в Иране и Израиле, от 5 до 12 см в год можно было бы ожидать (ссылка [1] и в особенности 12 см в горных районах).

Записи по некоторым скважинам, выполненные для цементации над соляным клином в 2012 году, похоже, столкнулся с соляным клином на отметке 945, следовательно, более чем на 5 м ниже минимальных отметок, прогнозируемых скважинами, выполненными в ходе исследований для ТЭО 1978 года. Но полагалось, что это является следствием неизбежных природных неровностей оголовки соляного клина, в зависимости от характера заглубленной породы, его разрыва распределения и т.д.

Показатель выщелачивания будет превышать растущий показатель соляного клина на целых 15 см/год (5 м за три года), имеющего результатом нестабильные условия, которые очень маловероятны при нынешних условиях. Следовательно, такая высокая скорость повышения может быть извлечена из наблюдений на площадке.

Лехов и Количко из ИГП рассматривают 2.5 см/год в своей оценке (ссылка {1}). Данное значение кажется Консультанту ИТЭО наиболее реалистичным. Тем не менее, учитывая неопределенность и недостаток недавних измерений скорости повышения купола, было важно оставить в общей оценке риска анализ чувствительности по скорости повышения.

Все предыдущие исследования предполагают, что глубина нерастворенного оголовка соляного пласта ниже реки Вахш не меняется со временем, что означает существование равновесия между растворением и повышением (ссылка {1}, {3}).

Хотя это предположение кажется наиболее вероятным, основываясь на наблюдениях площадки, оно должно быть подтверждено, так как является фундаментальным предположением в общем понимании явления. Оно также связано с оценкой скорости повышения, использованной в вычислениях. Если бы повышение соляного пласта было выше, чем выщелачивание, мы бы наблюдали выталкиваемую соль на обоих берегах реки.

Выщелачивание могло начаться после ледникового периода и таяния ледников на площадке. Наиболее вероятное объяснение, что затем верхушка соляного пласта погрузилась до уровня, где было достигнуто равновесие между скоростью выщелачивания и скоростью повышения соляного пласта. Данное равновесие зависит от градиента грунтовых вод, который понижается с глубиной соляного оголовка.

Илистая пленка над соляным пластом является остаточной глиной, остающейся после выщелачивания, которая содержит некоторые примеси глины. Принимая во внимание содержание глины в соляном пласте, и толщину остаточной глины над верхушкой соляного пласта (согласно исследованиям скважин), было подсчитано количество времени, необходимое для выщелачивания объема соли, которое будет достаточно для образования требуемого количества глины. Предполагая те же условия выщелачивания, что и сегодня, это означает, что выщелачивание началось около 300 лет назад. Также правдоподобен более длительный срок, так как скорость выщелачивания не может быть постоянной на протяжении всего периода, и должно быть была более высокой в прошлом, когда соль была ближе к поверхности, чем сейчас. Учитывая окончание ледникового периода, и в зависимости от таяния ледника на Рогунской площадке, ожидаемая общая скорость в 0.5 см/год или даже меньше за данный период выглядит правдоподобной.

Следует отметить, что предположение о неокончателном достижении равновесия в естественных условиях также рассматривается в следующем варианте: отсутствие или незначительное повышение. Данный вариант в совокупности с другими худшими условиями является самым критичным.

Движение верхней части соляного тела является важным параметром для калибровки моделей растворимости.

Литологические условия вокруг соляного купола представлены на рисунке 6.2 (ссылка [3]). Окружающей породой является аргиллит покрытый гипсом Гаурдакской свиты на низовом откосе и песчанике с прослоями алевролитов на верховом откосе.

Над соляным куполом, и из скважин исследования, наблюдается следующая типичная очередность (см. Рисунок 6.3, ссылка [1].) от дна до верха:

- Нетронутый соляной купол: галит и ангидрит, непроницаемый. Так как в основании долины соль была выщелочена до отметки 953, нетронутый купол находится на этой высоте (около 40 метров глубины).
- Выше: с одного до трех метров практически водонепроницаемое прослаивание глины брекчии-ангидрита в брекчии-глину. Далее он называется глинистой коркой. Часть поверхности купола, покрытая глиной не известна, но оценивается приблизительно от 50 до 75% со стороны ИГП (ссылка [1]). Из наблюдений ядра и анализа процессов растворения, эта часть может достичь и даже превысить 95%.
- 1 до 3 метров гальки, обломки растворения с предполагаемой высокой пористостью и гидравлической проводимостью. Только одно гидравлическое испытание может быть проведено для того, чтобы испытать тот горизонт, задавая значение до 10 л/мин (грубо 1000 Люжон). С другой стороны, многочисленные испытания были проведены в соседней породе, и, наконец, 0.85×10^{-5} м/с были рассмотрены в модели ИГП. Другие предварительные испытания внутри самой оголовки водоносного пласта не увенчались успехом, вероятно, потому что это было технически невозможно закрепить пакеры в скважине для испытания с надежными результатами. Мы далее увидим, что это значение гидравлической проводимости может быть определено крупномасштабным испытанием по откачки, рекомендованные консультантом ИТЭО.

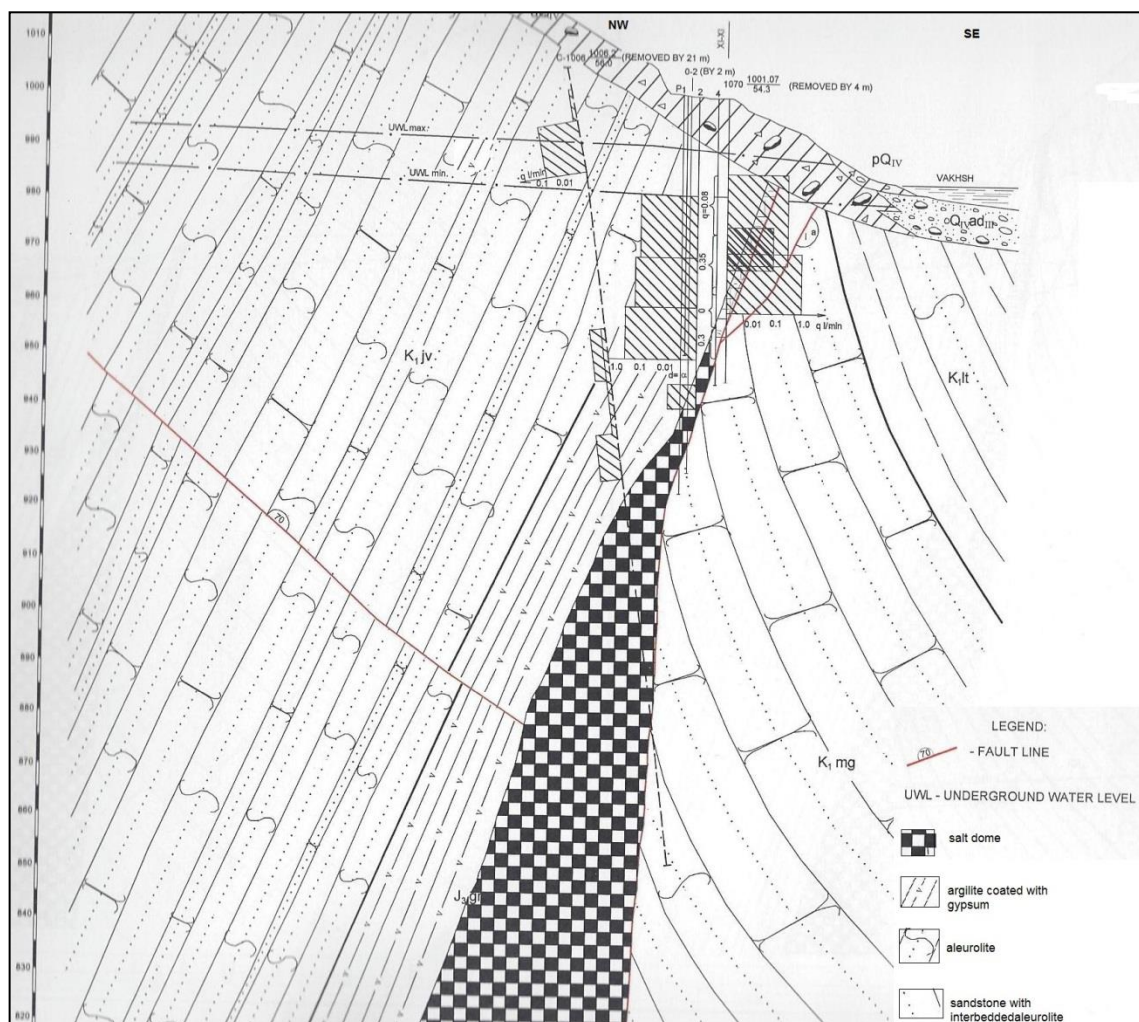


Рисунок 6.2.. Левый берег. СЗ-ЮВ поперечное сечение соляного купола в Йонахшском разломе.

- От отметки ~ 957 до поверхности (или русло реки Вахш) наполненная вновь пустота преимущественно подрубленной породой вверх по течению: аргиллит покрытый гипсом. Можно было бы ожидать, что это глина будет непроницаемой. Но ранее проведенные наблюдения и испытания по откачке 2012 г показывают, что существует прямой контакт между рекой Вахш и нижним проницаемым пластом выше оголовки купола. Этот контакт может также быть результатом брекчированной части подрубленной породы "песчаника".
- Далее внутри берегов, высота оголовки соляного клина предположено медленно будет расти, а над водоносным пластом соляной оголовки, в галерее противофильтрационной завесы, было отмечено, что жесткая брекчия в основном из алевролитов с остатками включения гипса, уплотненная на сдавливающими тектоническими силами, перекрывала эту зону верхнего клина.

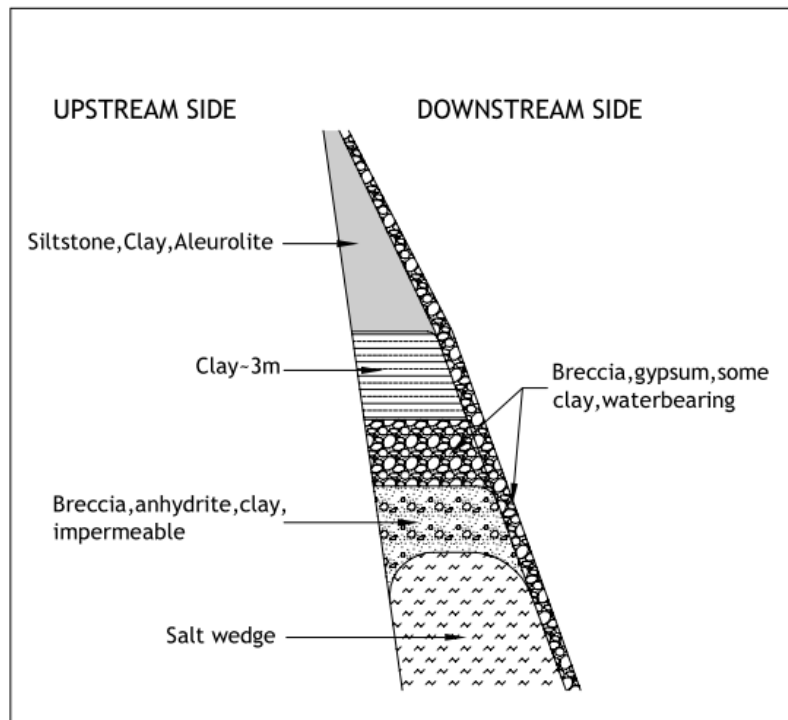


Рисунок 6.3: Растворимое вещество над соляным куполом.

6.4 Испытания по откачке и на растворимость конца 2012; интерпретация результатов

Испытание по откачке было проведено с 16 ноября по 10 декабря 2012 г. Поэтому скважина глубиной 48 м (HG1) была пробурена с 10" диаметром (см. расположение на рисунке 6.4 и ссылка [6]).

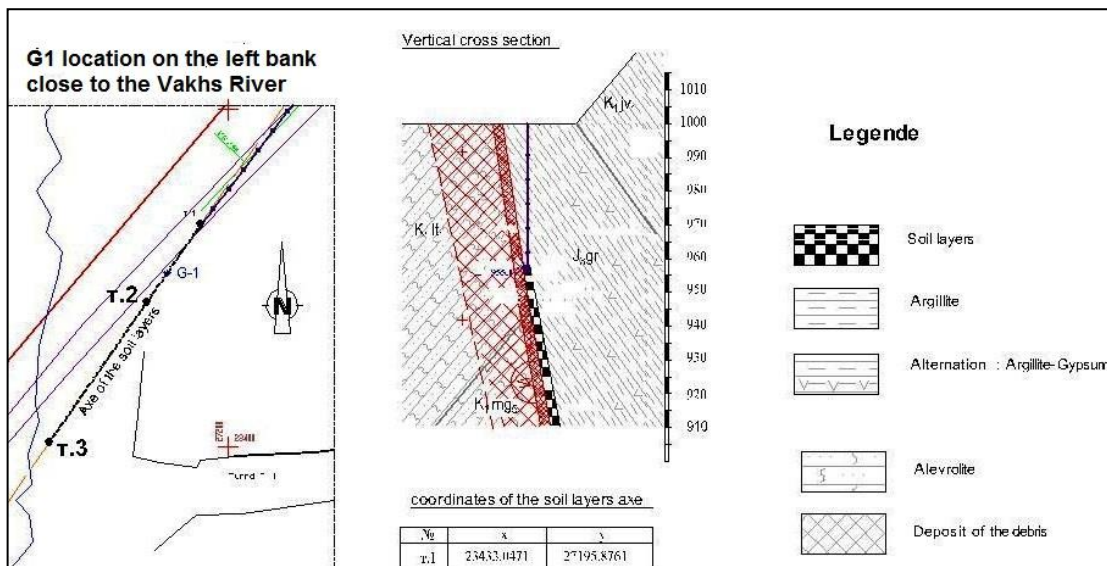


Рисунок 6.4: Расположение скважины для проведения испытания по откачке и ее поперечное сечение.

Каротажная диаграмма и информация по оснащению скважины представлены на рисунке 6.5.

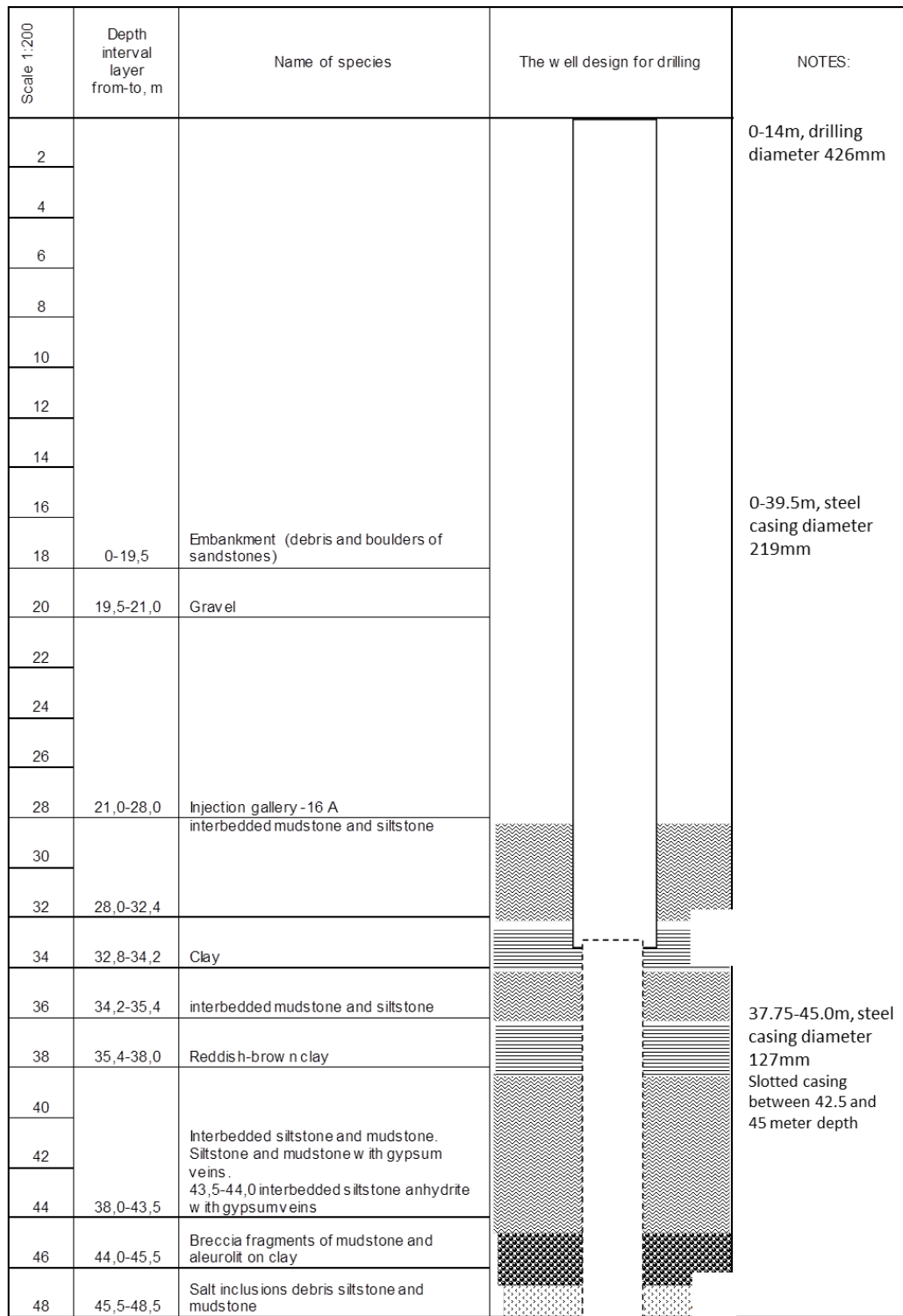


Рисунок 6.5: Каротажная диаграмма и оснастка HG1, где был проведен испытания по откачке/растворимость

Во время испытания были измерены следующие параметры: расход, просадка, проводимость, общее содержание минералов в самой скважине, и вдобавок просадка в соседнем пьезометре P31A.

Следует упомянуть, что цементационные работы велись вдоль разлома над оголовкой купола на обоих берегах реки, за исключением раздела примерно 180 м, включая русло реки и часть левого берега. Следовательно, ниже русло реки, соль является не тронутый. Раствор представляет собой смесь цемента и бентонита в целях повышения коэффициента непроницаемости и для придания раствору свойства ползучести.

Результаты испытания по откачке/растворимости приведены ниже на Рис. 6.6, 6.7 и 6.8.

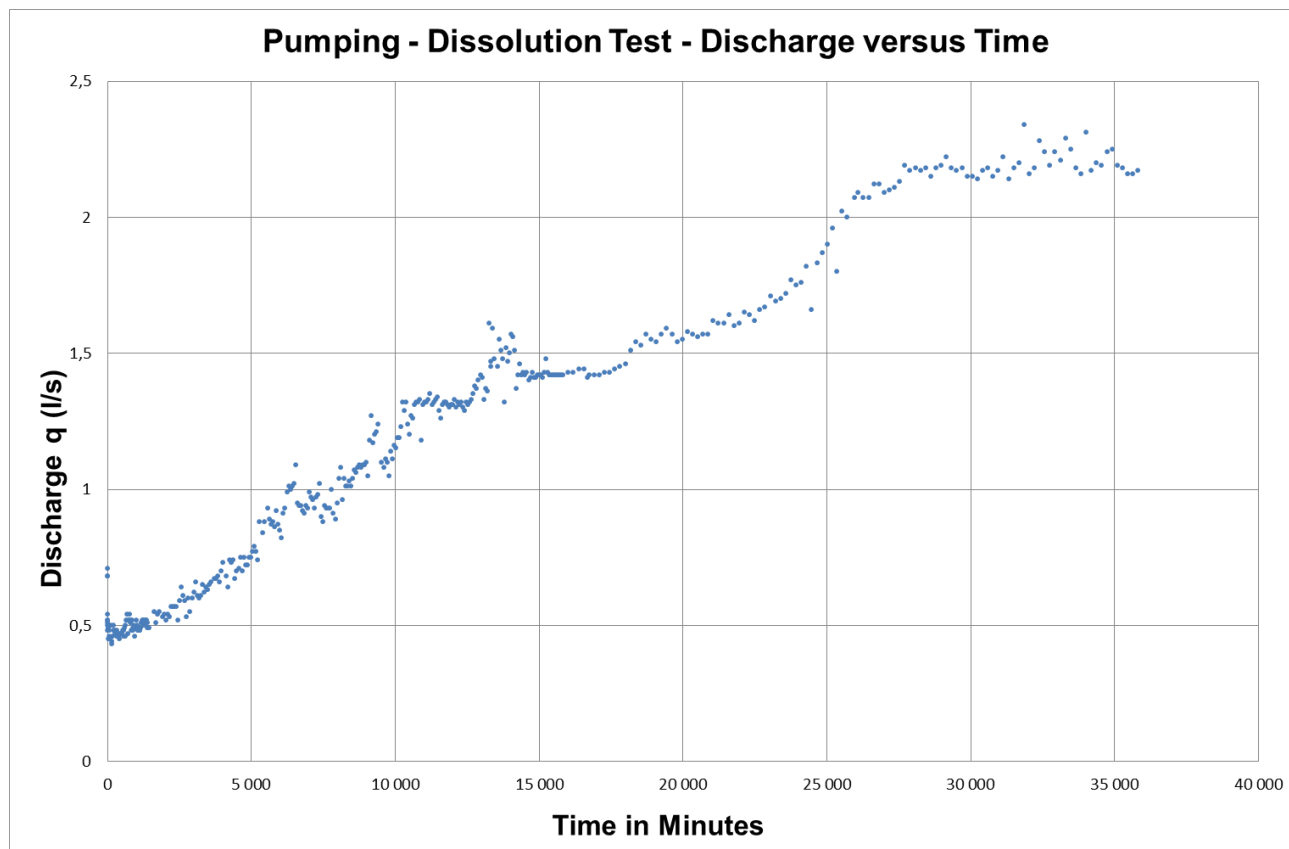


Рисунок 6.6. Испытание по откачке/растворимости – расход относительно времени

Следующие основные заключения могут быть сделаны из этих результатов:

Расход значительно возрастает постепенно с течением времени, 0,5 л/сек в начале испытания для достижения 2,3 л/с после 34000 минут (23,6 дня). Учитывая, что испытание по откачке было проведено при максимальной емкости скважины, если скважина не разработана должным образом, расход может увеличиться разработкой скважины.

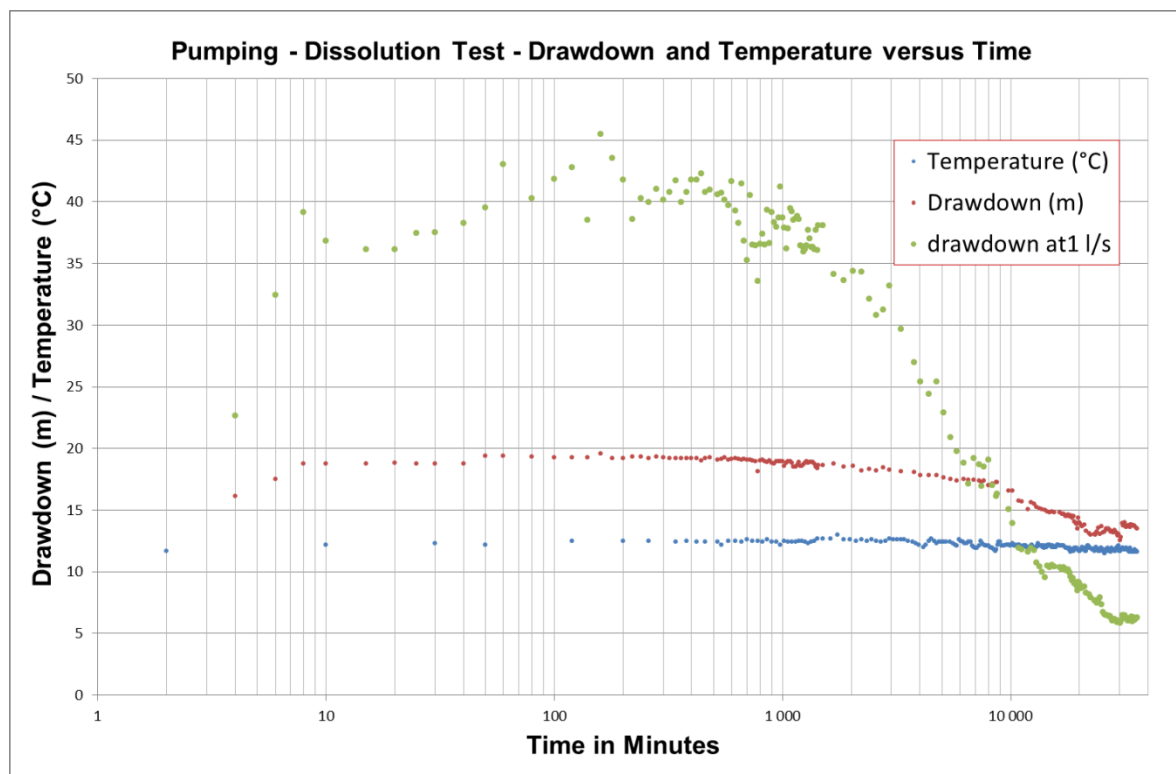


Рисунок 6.7; Просадка (м), расчетная просадка при постоянном расходе (м) и температура относительно зарегистрированному времени (минуты)

Разработка скважины является прогрессивное удаление частиц от непосредственной близости экрана скважины, явление, которое позволяет свободный поток воды из породы в скважину, а также снижает мутность (мелкие частицы могут повредить насос). Если скважина хорошо не разработана, его разработка происходит во время откачки, большую часть времени с мутностью или, по крайней мере, с мелкими частицами депозитов, наблюдаемых на дне опробовательного ведро. Это не наблюдается во время испытания. В особые случаев водоносного пласта оголовки Йонахшского разлома, увеличение проницаемости означает эффективное увеличение пористости, которая может быть результатом выщелачивания.

Результаты испытания по откачки, представлены в виде графика при постоянном расходе просадки по отношению к логарифму времени, а при нормальных условиях, наблюдаются одна или две прямые линии, от которых, используя закон Тейса, определяется коэффициент проницаемости.

В нашем конкретном случае, так как расход не был постоянным, значения наблюдаемой просадки были заменены на просадку при постоянном расходе 1 л/сек. Используется эмпирическая формула Логана: $T = 1.22 \times q/s$ (где q является расходом, а s просадкой). Соответствующая расчетная просадка приведена зеленым на рисунке 6.7. Просадка, по отношению логарифма времени уменьшается, как упоминалось выше, является необычной и показывает увеличение коэффициента проницаемости вокруг скважины и улучшенный контакт с лучшей коэффициентом проницаемости водоносного пласта. Стандартный индекс «Тейс» интерпретация испытания по откачке, следовательно, не надежна. Используя эмпирическое правило Логана (ссылка [12]), эффективность которого

была продемонстрирована на испытаниях очень большого количества испытаний по откачке, получаешь результаты Таблицы 6.1.

	Коэффициент проницаемости	Гидравлическая проводимость
Начало испытания	$3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$	$1.2 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
Конец испытания	$2.4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$	$1 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$

Таблица 6.1: Коэффициент пропускания и гидравлической проводимости оголовки водоносного пласта как было измерено испытанием по откачки в начале и конце испытания

Еще раз, огромное увеличение гидравлической проводимости вряд ли можно объяснить только удалением мелких частиц. Очевидно, что произошло значительное растворение относительно низкого расхода.

Во время испытания по откачке, просадка в пьезометре P31A, была записана, и результаты представлены на Рисунке 5.8. Как правило, интерпретация из просадки пьезометра является более надежным, чем тот, что основан на просадке, измеренной в самой скважине по откачке.

Таблица просадки пьезометра P31A показывает постепенное снижение, с небольшим увеличением между 16 дней (24000 минут) и 19 дней (28000 минут) после начала испытания по откачке. Этот рост показывает улучшенный контакт с более пропускающим водоносным пластом.

Измерения просадки с пьезометра позволяют определить коэффициент пропускания и упругоёмкости пласта (или коэффициент хранения) водоносного пласта.

Опуская наблюдаемое небольшое повышение и используя метод Тейса, полученный коэффициент пропускания (гидравлическая проводимость) составляет $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ($K = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$) и коэффициент хранения составляет 13%. Это значение пропускания близко к рассчитанной из просадки скважины в конце испытания, и, следовательно, является самой лучшей оценкой гидравлической проводимости оголовки водоносного пласта. В этом случае и в связи с тем, что испытание по откачке является долгосрочным испытанием по откачке, так называемая оголовка водоносного пласта интегрирует саму оголовку водоносного пласта, но также водоносный пласт, расположенный внутри брекчированного столбца над ним, соединяя последнее с рекой Вахш.

Полученное значение гидравлической проводимости посредством испытания по откачки можно сравнить с указанным «поглощением» необходимо пронаблюдать во время испытания, проведенного в верхней породе до 1978 года, что дало «поглощение» 10 л/мин, следовательно, около 10^{-4} м/с .

Коэффициент сохраняемость, или упругоёмкости пласта, является объемом воды, сбрасываемой из хранилища по отношению к изменению в напоре (уровень воды) и площади поверхности водоносного пласта. Значение коэффициента сохранения зависит от того, является ли водоносный пласт неограниченным или ограниченным. В неограниченном водоносном пласте, основной источник воды происходит из самотечного

осушения, так как материалы водоносного пласта обезвожены во время откачки. Коэффициент сохранения примерно такой же, как эффективная пористость.

Коэффициент сохранения для неограниченного водоносного пласта колеблется от 1% до 30%.

Попуск воды из хранилища в ограниченный водоносный горизонт является от сжатия водоносного горизонта и расширения воды при откачке.

Во время откачки, давление снижается в ограниченном водоносном пласте, но водоносный горизонт не обезвоживается. Коэффициент сохранения связан с сжимаемостью твердого материала в пределах водоносного горизонта и сжимаемостью воды и колеблется от 1×10^{-5} до 1×10^{-3} .

Что касается определенных значений упругоёмкости пласта выше, чем 0,1%, водоносный горизонт, где откачивается вода, является неограниченным и ее открытая пористость составляет ~ 13%.

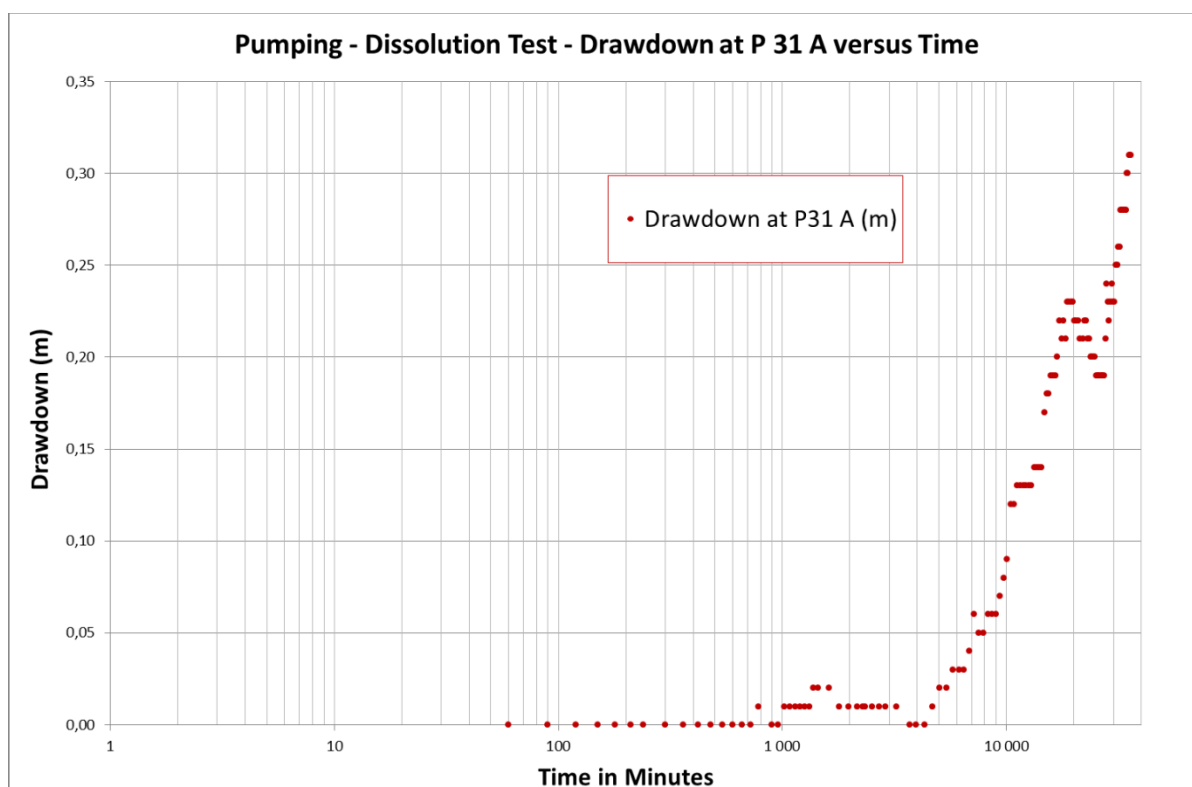


Рисунок 6.8. Просадка на наблюдательной скважине P31A, по отношению к журналу времени (минуты)

Тот факт, что часть над соляным куполом оголовка водоносного горизонта неограниченно, показывает, что, несмотря на алевролитовый и глинистый слои толщиной в несколько метров, есть прямой контакт с рекой Вахш. Эта особенность подтверждается наблюдениями уровней грунтовых вод, проведенными в пьезометрах вдоль Ионахшского разлома, которые реагируют мгновенно на колебания уровня воды в реке Вахш (ссылки [1] и [6]).

Кривая содержания соли, представленная на рисунке 5.9, показывает снижение солёности перекачиваемой воды от 31 г/л до 6 г/л через 24000 минут (400 часов) с последующим увеличением солёности до 8,9 г/л через 35900 минут (~ 600 часов).

Содержание соли воды реки Вахш составляет от 0,3 и 0,6 г/л (ссылки [5] и [6]). Из измерений и от скважин исследования вдоль Йонахшского разлома, грунтовая вода до откачки имеет солёность от 7 до 17 г/л при глубине 10 м. Между глубиной 10 и 44 м, содержание соли увеличивается до 35 г/л. Глубже, от глубины 44 до 47 м содержание соли может достигать 314 г/л (ссылка [1]). Это рассол.

Что касается приведенных выше соображений, кривая возможной интерпретации содержания соли относительно времени выглядит следующим образом: начальная минерализованная грунтовая вода откачивается (31 г/л) сразу следует абстракция свежей воды реки Вахш, смешанной с грунтовой водой. Постепенно грунтовая вода в водоносном горизонте заменяется пресной воды Реки Вахш. Позже, через 400 часов, солёность возрастает. В этот момент гидравлическая проводимость значительно увеличивается, вероятно, связанная с растворением остатков гипса, галита в остаточных образованиях над оголовкой. Окончательное увеличение содержания соли, кажется, связано с растворением соляного купола. В таком случае, это означает, что при среднем расходе 2,12 л/с для промежутка времени 15900 минут, 4,4 тонн соли было растворено. Другими словами должны быть выщелачивание мощностью 2,18 г/с, т.е. примерно 70 тонн/год для потока 1 л/с.

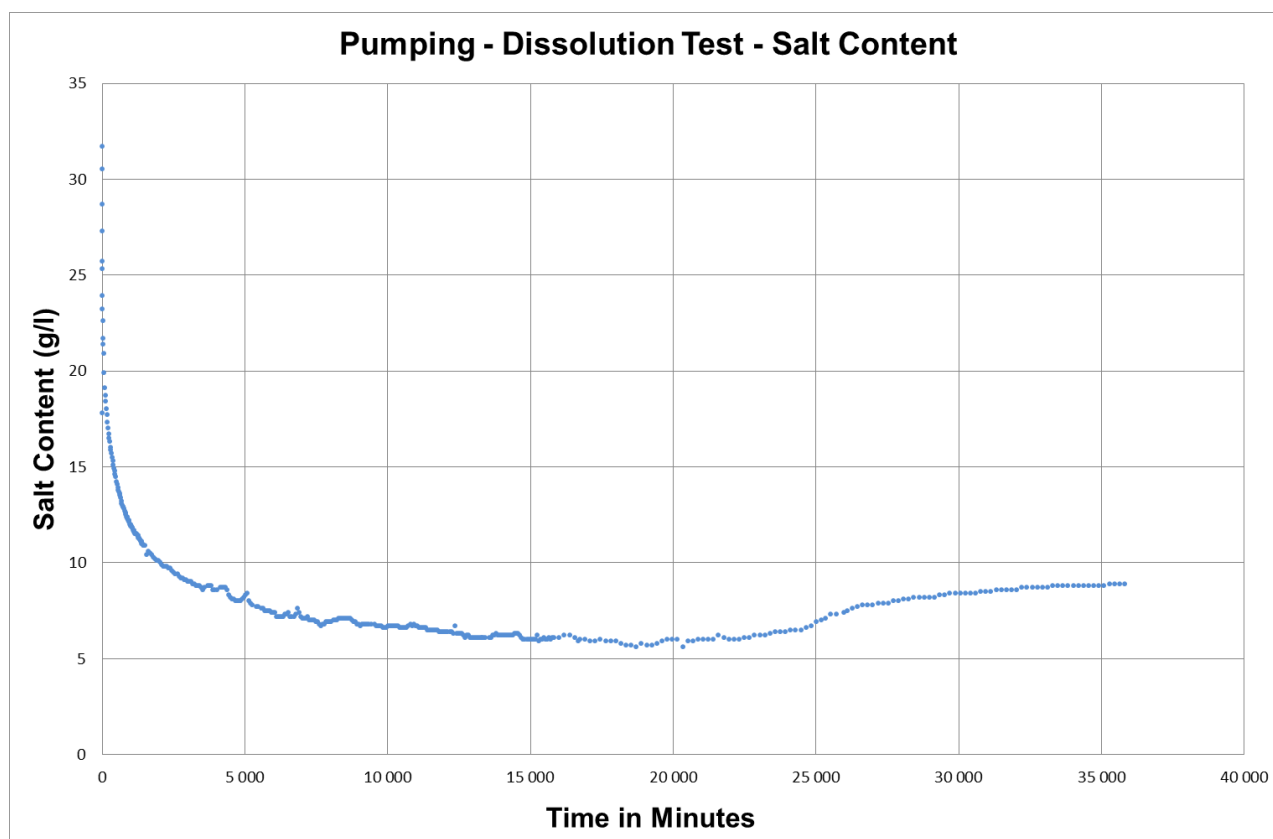


Рисунок 6.9: Изменение содержания минералов (в г/л) откачиваемой воды со временем (в днях)

6.5 Анализ предыдущих гидрогеологических/условий растворения и нынешние условия 2012.

Верхний водоносный горизонт Йонахшского разлома является особенным свойством внутри основных водоносных горизонтов и действует как дренажное тело. Поскольку окаймленные образования Йонахшского разлома на юге являются глинистыми, верхний водоносный горизонт Йонахша преимущественно осушает северные образования. Предполагаемый гидравлический градиент грунтовых вод вдоль разлома составляет 1.6/1000, согласно отчетом по проектированию 1978 (Сс.[2]), и представлен на рисунке 6.10.

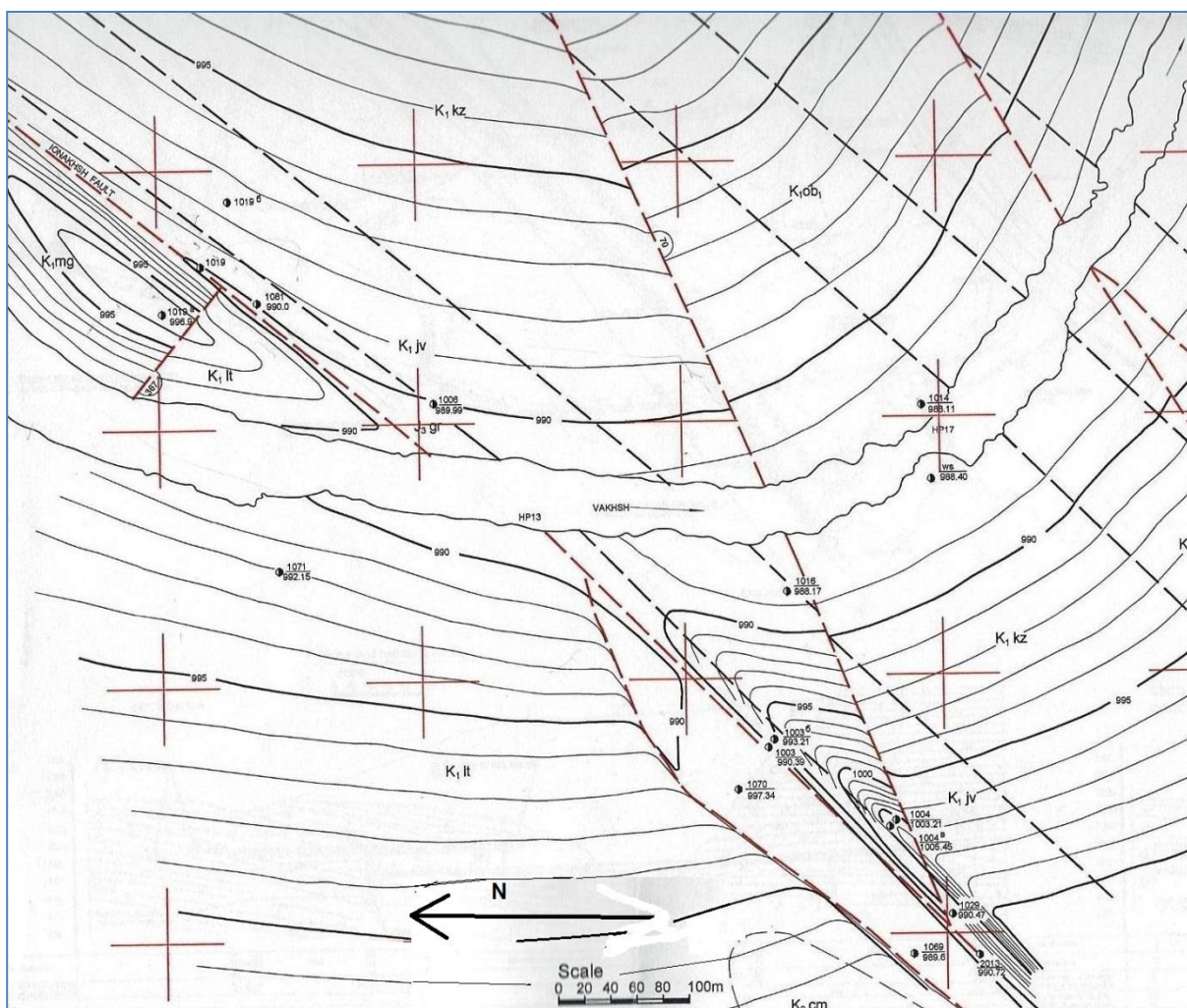


Рисунок 6.10 Линии уровня грунтовых вод на Йонахшском разломе (после ссылака [2])

Поток с правого берега в реку Вахш оценивается с использованием закона Дарси: $Q = T \times i \times w_i$ с, по результатам испытания по откачки/растворимость:

T : Коэф. Пропускания = 3.10^{-4} м²/с; i : градиент = 0,0016 и предполагаемая ширина w_i ; ширина водоносного горизонта = 7 м, тогда поток $Q = 3.4.10^{-3}$ л/сек.

Перпендикулярно к разлому наблюдается градиент грунтовых вод по восходящей меньше проницаемого аргиллита. Для разлома в 100 м длиной имеем: $Q = 3 \cdot 10^{-2}$ л/сек.

В естественном условии купол поднимается на предполагаемый уровень 2,5 см/год, по предположениям ИГП. Соответствующая появившаяся масса выщелачивается. С объемной массой 2.3т/м³ для каменной соли, выщелоченная масса на 100 м длины разлома составляет 40 т/год. Таким образом, можно заметить, что, учитывая различные подходы, использованные до сих пор профессором Леховым и ИГП, а также с помощью испытания по откачке/растворимость, проведенного в 2012 году на скважине НГ1, получен тот же порядок величины для коэффициента выщелачивания соли.

6.6 Анализ процессов перемещения, нынешние условия и условия первой очереди.

Для различных условий, предполагая, что гипотеза гидравлической проводимости материала цементированной породы до 10⁻⁷ м/с, и с учетом гидравлическая проводимости, измеренной во время испытания по откачки, число Пекле, как это определено в пункте 6.1 определен и приведен в таблице 6.2.

	Conditions	K (m/s)	Gradient i	d (m ² /s)	ω_c	l (m)	Péclet number	Dominant phenomenon
	Cap aquifer in natural conditions	1,2E-04	0,001	6,5E-10	0,13	1,0E-03	1,4	Advection / diffusion
S T A G E 1	"Do nothing" option	1,2E-04	0,01	6,5E-10	0,13	1,0E-03	14,2	Advection
	Grouting of top of salt wedge	1,0E-07	0,01	6,5E-10	0,01	1,0E-04	0,0	Diffusion
	Transport to hemming rock	1,0E-08	0,01	6,5E-10	0,001	1,0E-05	0,0	Diffusion
	Hydraulic barrier only	1,2E-04	0,0001	6,5E-10	0,13	1,0E-04	0,0	Diffusion
	Grouting and hydraulic barrier	1,0E-07	0,0001	6,5E-10	0,01	1,0E-04	0,0	Diffusion

Таблица 6.2: Порядки величины чисел Пекле для различных условий; три последние строки рассматривают Стадию 1 только с цементацией, без гидравлического барьера

Согласно числу Пекле для различных рассматриваемых условий, процесс перемещения идет медленно и диффузия способствует умеренно процессу в реальных условиях.

Тот факт, что диффузия является промежуточным процессом перемещения, подтверждается значительным содержанием соли внутри окаймленных образований вверх и вниз по течению, что наблюдается непрерывно между поверхностью и оголовки купола (ср. [3]). В случае чисто адвективного/конвективного или подавляюще адвективного/ конвективного перемещения, только концентрации повыше будут наблюдаться в нижней части окаймленной породы.

6.7 Выводы

Геометрические и химические характеристики Йонахшского разлома были получены из существующих результатов исследований и недавно проведенных тестов, рекомендованных Консультантом ИТЭО. Динамика сползания разлома была проанализирована с точки зрения полевых наблюдений, для понятия потенциальной динамики выщелачивания на настоящем этапе и получения наиболее подходящих предположений для вычислительных моделей. Процесс выщелачивания был описан в теории, в особенности требуют изучения переносные процессы, доминирующие в различных вариантах. Это стало возможным благодаря использованию результатов пробной откачки, проведенной в 2012.

Данный интенсивный анализ основных параметров, имеющих отношение к сложному явлению выщелачивания, является основой критического анализа существующих моделей и применения Консультантом трех подмоделей, как описано в следующих разделах.

7 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ; АНАЛИЗЫ

7.1 Оценка нынешней модели ИГП

7.1.1 Общие комментарии

Профессор Лехов, недавно и профессор Орехов ранее, смоделировали весь процесс перемещения растворения (ссылки [1] и [4]).

Модели основаны на тех же принципах, но модель профессора Лехова адаптирован к фактической настоящей концепции Рогунской ГЭС (2009 – 2010) и ее различных этапов строительства.

Существует две части модели, которые связаны между собой.

Первой является моделирование процесса растворения, принимая во внимание состав соляного купола, продукты и кинетика растворения каждого из компонентов. Гидратация ангидрита с соответствующим увеличением объема и благоприятный остаточный оголовок, оставшийся покрывая в верхнюю часть соляного клина, также включен в модель. Аналитические формулы верны и основы правильные.

Вторая включает в себя три процесса перемещения; адвекция/конвекция и диффузия рассматриваются вместе, а гравитационная конвекция отделена. Используется программное обеспечение SEEP, которое объединяет три процесса перемещения.

Модель представляет собой двумерную модель, перпендикулярную Йонахшскому разлому. Как показано выше, поток вдоль Йонахшского разлома незначителен, поэтому трехмерной модели не требуется для текущих условий. Тот факт, что водоносный горизонт над оголовком соляного клина не ограничен, приводит к такому же выводу при условиях эксплуатации плотины. Граничные условия модели приняты достаточно далеко от Йонахшского разлома, в соответствии со стандартами модели грунтовых вод. Никакой инфильтрации нет, не рассматривается анизотропия.

7.1.2 Выбор вводных параметров

7.1.2.1 Упоминание самых важных вводных параметров

Важными параметрами являются гидравлическая проводимость, градиент грунтовых вод, анизотропия, открытая пористость, кинетика растворения, глинистое покрытие оголовки клина и состава каменной соли (и, конечно, предполагается, рост уровня соляного клина).

7.1.2.2 Гидравлическая проводимость, анизотропия

Из нескольких гидравлических испытаний, проведенных для первоначального проектирования, гидравлическая окаймленной породы предположено уменьшается с

глубиной. Гидравлическая проводимость водоносного пласта внутри остаточной почвы над оголовки клина (предполагается $0,85 \cdot 10^{-5}$ м/с), однако, не согласуется со значениями, полученными испытанием по откачке в декабре 2012 ($1,2 \cdot 10^{-4}$ м/с). Недооценка гидравлической проводимости на одну величину не является консервативным.

Никакая анизотропия не рассматривается в окаймленных породах, которая является консервативным предположением, так как основание впадает на 60° вниз по течению, субпараллельно разлому, и модель двумерна. Кроме того, анизотропия будет иметь ограниченные последствия в связи с довольно низкой гидравлической проводимостью в окаймленные породы. Снижение гидравлической проводимости вместе с увеличенной концентрацией соли не рассматривалось. Это консервативно и влияние на результаты были бы незначительными по сравнению с точностью различных вводных параметров.

7.1.2.3 Градиент грунтовых вод

Он может быть оценен для нынешних условий, от уровня грунтовых вод в пьезометрах. Для стадий наполнения водохранилище, рассчитывается исходя из кода SEEP. Соответственно, более неограниченный водоносный горизонт оголовки клина, и поэтому он находится в непосредственной связи с водохранилищем.

С другой стороны, заиление дна водохранилища не рассматривается. Поскольку заиление обычно порождает менее проницаемые покрытия на дне. Оно, безусловно, будет оказывать влияние на более глубокий градиент подземных вод. Но не рассматривание заиления консервативно для рассматриваемого процесса растворения.

7.1.2.4 Эффективная пористость

Этот параметр регулирует процесс перемещения, а также процессы химического растворения. Трудно понять из отчета, какое значение было использовано, но видимо было выбрано значение 0,2 внутри водоносного горизонта оголовки купола. Это большое значение, выше, чем значения 0,13, определенного из испытания по откачки.

В адвективном/конвективном или гравитационном/конвективном перемещении, кинематическая пористость, является доминирующим. Кинематическая пористость меньше, чем эффективная, но для литологических условий, что у нас есть, кинематическая пористость должна быть близка к эффективной пористости. В нашей модели мы примем эту предположение. Для процесса перемещения, переоцененная пористость, не является консервативной, потому что реальная скорость частиц растворенного вещества, которая контролирует динамику перемещения, пропорциональна обратной пористости. С другой стороны, для химических процессов растворения, переоцененная пористость является консервативной, потому что высокая пористость подразумевает высокую обменную (растворение) поверхность.

В модели ИГП, процессы адвекции/конвекции и диффузионного перемещения рассматриваются вместе, используя ту же самую пористость. Для диффузии, общая пористость должна быть рассмотрена, так как Брауновское движение также влияет на адсорбированную воду в земле, а в адвекции/конвекции растворенные частицы не движутся через адсорбированную воду, которая остается фиксированной на частицах земли. Общая пористость всегда больше, чем эффективная пористость, а в случае возникновения глины может быть значительно больше (до одного порядка величины) в связи с высокой долей пустот, заполненных адсорбированной, фиксированной водой. Именно поэтому некоторые модели перемещения грунтовых вод рассчитывают число

Пекле для каждой ячейки модели, и соответственно выделяют для каждой ячейки адекватное значение пористости в соответствии с преобладающим процессом перемещения.

Наконец, значение пористости не является постоянным, так как согласно результатам испытания по откачке/растворимости, оно увеличивается с процессом растворения, при этом последний процесс является важным.

Таким образом, подозревается, что значение пористости, рассматриваемое в модели оценен не должным образом. Переоценка этой пористости не является консервативной для процессов растворения, но консервативна для процесса перемещения.

7.1.2.5 Кинетика растворения состав каменной соли.

Соответствующие параметры выводятся из лабораторного испытания и гидрохимических баз данных. Они кажутся адекватными, хотя есть некое различие от первых оценок 1978 (см. пункт 6.1).

7.1.2.6 Инфильтрация

Никакая инфильтрация не была рассмотрена в модели, ввиду ее незначительности.

7.1.3 Оценка

Проведена калибровка модели по предыдущим условиям. Это значит, естественные условия до цементации Йонахшского разлома, что сейчас простирается почти вдоль всего участка плотины, кроме русла реки Вахш и части левого берега.

Процесс калибровки основан на равновесии между предполагаемым уровнем 2.5 см/год подъема соляного клина, и процессом растворения выщелачивания соли на том же уровне. Результаты моделирования представляют схожесть в приемлемом уровне между распределением наблюдаемой концентрации соли внутри окаймленной породы Йонахшского разлома и расчетным.

Законы перемещения, использованные в модели, в том числе в процессе конвекции тяжести, представляют собой как можно лучше реальности. К сожалению, входное значение для гидравлической проводимостью, которая является одним из наиболее важных параметров, не является консервативной. Кроме того, не консервативным является завышенная кинематическая пористость, так как это замедляет процесс перемещения. Принятое значение является результатом рассмотрения нескольких гидравлических испытаний, проведенных в непосредственной близости оголовки клина, но не было проведено ни одного испытания по откачке, позволяющее определения реальных значений для гидравлической проводимости водоносного горизонта оголовки клина. Стоит напомнить в этой связи, что только успешные гидравлические испытания, проведенные внутри оголовки водоносного горизонта дали поглощение 10 л/мин (скважины 1029, ссылка [2]), результат, которого довольно близок к 10^{-4} м/сек, полученное из испытания по откачки выполненное в 2012 г.

Хорошее сочетание модели с предполагаемым коэффициентом роста соляного клина и концентрации соли внутри окаймленной породы происходит в результате калибровки по значению процентной доли оголовки соляного клина, покрытого глиной (глиняное покрытие).

Использование параметров выведенных из испытаний по откачке 2012 г, с 50 до 75% покрытием глины модели ИГП, приведет к выщелачиванию, что может быть в десять раз выше по оценкам модели ИГП, требуя ежегодный рост соляного купола в 25 см для равновесия в реальных условиях. До сих пор нет никаких полевых случаев такого высокого коэффициента роста соляного клина в Йонахшском разломе.

7.2 Смягчающие меры

Стоит отметить, что в худшие условия в связи с выщелачиванием соляного клина будут преобладать во время наполнения и эксплуатации плотины первой очереди, расположенной чуть выше Йонахшского разлома, так как гидравлические градиенты выше клина являются самыми высокими. Этот период, по прогнозам, продлится более 10 лет. Тем не менее, после строительства окончательной плотины, градиенты будут гораздо больше снижены, а риск выщелачивания станет меньше.

В существующих исследованиях, поскольку растворение соляного купола всегда были целью этих исследований, некоторые методы, чтобы смягчить эффект выщелачивания соляного клина на целостность плотины подробно описаны ниже.

Этими методами являются:

- (1) Цементация породы непосредственно над оголовкой соляного клина, высотой более 10 м, также большей части всей колонны породы, расположенной над оголовкой соляного клина, чтобы значительно снизить гидравлическую проводимость;
- (2) Инъекция воды под давлением резервуара (высота 1055 или более) ниже Йонахшского разлома, чтобы уменьшить градиент грунтовых вод над соляным клином, или "гидравлическая завеса" сделанное из линии скважин, питающихся водой из водохранилища;
- (3) инъекция рассола, с целью исключения потенциала выщелачивания (уже реализовано более 200 м длиной в период с декабря 1987 и октября 1992 года, согласно ссылке [3]),
- Комбинация (1), (2) и (3)
- Комбинация (1) и (2)
- Комбинация (2) и (3)

Главным итогом работы солевой завесы была необходимость введения огромного количества рассола. Кроме того засорение нагнетательных скважин рассолом во время выполнения испытаний (См. ссылки [1], [3], [4], и [8]). Это привело к сомнениям относительно осуществимости такой методики.

7.3 Анализ и сравнение различных методов смягчения в соответствии с моделью ИГП

Все варианты были проанализированы с параметризацией гидравлической проводимости цементированного оголовка, предполагая покрытие оголовка пласта глиной от 50% до 75% своей поверхности.

Результаты различных сценариев в сочетании с изменением параметров приведены в таблице 7.1. Из этой таблицы выводится следующее:

1. Так как рост соляного купола утверждается как 2,5 см/год, модель калибруется с оголовки соляного клина, покрытой глиной более на 50% своей поверхности. Результаты модели также хорошо сочетаются с 75% глиняным покрытием и пессимистическим диапазоном параметров,
2. Лишь с цементацией, даже с максимальной эффективностью, выщелачивание будет составлять от 8,5 до 15 см/год,
3. Минимальное выщелачивание, менее чем 1 см/год, требуется во всех случаях рассоловой завесы: цементация модели не очень эффективна, даже хуже, чем вариант "ничего не делать", это не возможно, и показывает слабость модели, вероятно, это связано с выбором недостаточно вводных параметров (распределение гидравлической проводимости).
4. С цементацией и гидравлическим барьером, коэффициент выщелачивания составляет порядка 5 см/год, следовательно, близко к оцененному коэффициенту роста клина в 2,5 см/год. Результаты чувствительны к достигнутой гидравлической проводимости цементированной породы,
5. Результаты очень чувствительны к проценту оголовки клина, покрытой глиной.

Вся подверженность модели является очень чувствительной в зависимости от:

- процентная доля поверхности оголовка соляного клина предположенная с глиняным покрытием,
- эффективный естественный коэффициент роста соляного клина в Йонахском разломе.

Стоит отметить, что более высокий коэффициент роста соляного клина неблагоприятно, так как это означало бы, для достижения нынешних условий равновесия, намного больше коэффициент роста выщелачивания.

Результаты модели ИГП были проверены с модели Консорциума (подробное описание в следующей главе). Модель Консорциума является упрощенной моделью. При использовании параметров введенные ИГП в их модели, нет существенной разницы между моделью ИГП и моделью Консультанта для условий «до начала работ» (в диапазоне от 20 до 30%). Скорость растворения предусмотренных модели профессором Леховым составляет около 2,17 см/год против 1,8 см/год для модели Консультанта с помощью параметров ИГП. Разница невелика, если учесть неопределенности входных параметров. Это связано с тем, что гравитационная конвекция не было учтено в нашей модели и, возможно, в меньшей степени, из-за различий в вычислительный процесс.

Впоследствии модель ИГП кажется вполне надежными, но выбор входных параметров должна быть расширена по итогам испытаний и данных наблюдений.

	K grouting (m/s)	Kind of grouting (No, cap or column)	Waterhead at brine injection (elevation)	Waterhead at hydraulic barrier (elevation)	Results : diapir leaching: cm/year (m/100 years)			
					50% surface of wedge cap coated with clay Best estimate parameters	50% surface of wedge cap coated with clay Most unfavourable parameters	75% surface of wedge cap coated with clay	75% surface of wedge cap coated with clay Most unfavourable parameter
Initial conditions.		N			2.17	3.32	1.12	1.72
Do nothing		N			9.46	17.71	4.90	9.18
Grouting	10-7	Col			16.25	28.94	8.42	14.99
Grouting	10-6	Col			19.61	36.08	10.16	18.69
Grouting + Hydraulic barrier	10-6	Col		1054	10.42	19.20	5.40	9.94
Grouting + Hydraulic barrier	10-7	Col		1054	4.18	7.35	2.17	3.81
Grouting + Hydraulic barrier + Saline curtain	10-6	Col		1054	5.37	9.84	2.78	5.10
Grouting	5 10-7	Cap			14.10	27.54	7.31	14.27
Grouting + Hydraulic barrier + Saline curtain	5 10-7	Cap	1041	1055	0.22	0.22	0.11	0.11
Grouting + Hydraulic barrier + Saline curtain	5 10-7	Cap	1042	1055	0.25	0.25	0.13	0.13
Grouting + Hydraulic barrier + Saline curtain	5 10-7	Cap	1045	1054	0.26	0.26	0.13	0.03
Hydraulic barrier + Saline curtain	5 10-7	N	1040	1054	0.17	0.22	0.09	0.11
Hydraulic barrier		N		1054	4.20	6.90	2.17	3.57

<0,5cm/y	0,5 to 6cm/y	6 to 14cm/y	>14cm/y	
G	H	S	Col	Cap
grouting	hydraulic barrier	brine curtain	Grouting column above	grouting cap

Таблица 7.1: Результаты анализа имитационной модели ИГП для различных сценариев и важных параметров (цвета относятся к диапазону уровня выщелачивания согласно условным обозначениям)

7.4 Модели ИТЭО

Консультант создал свою собственную модель, чтобы независимо оценить модель подготовленный ИГП, но и также, чтобы использовать параметры для оценки сценариев и экстремальных случаев, которые не рассматривались в существующие модели. Это

обеспечить более широкий диапазон анализов чувствительности, которые будут включены в общую оценку риска явления растворимости.

Модель Консультанта менее сложная, чем модель ИГП и предназначена, чтобы быть инструментом для общей оценки и принятия решений на стадии ИТЭО.

7.4.1 Описание модели

Весь процесс растворения моделируется с помощью трех отдельных моделей, которые будут использоваться последовательно. Суб-модели не связаны, поскольку они являются для модели ИГП.

Суб-модель 1: модель потока подземных вод

Результаты этой модели потока приведены в Приложении 4. Она имитирует поток грунтовых вод вокруг соляного клина для различных природных условий, различные стадии проекта, работ по смягчению и различных уровней эффективности смягчения.

Условия фильтрации были сначала изучены для плотины первой очереди. Рисунок 6.1 показывает геометрию модели с различной гидравлической проводимости, заданный различным геотехническим зонам каждой геологической формации основания.

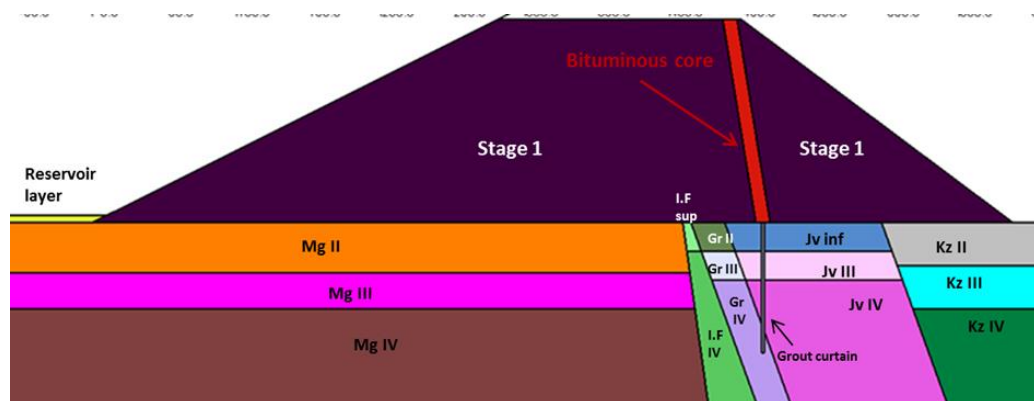


Рисунок 7.1: Геометрия модели, использованная для плотины первой очереди и основания; каменная соль в Йонахшском разломе называется как "I.F. IV" в светло-зеленом цвете

Условия Фильтрации (градиент скорости Дарси и реальной скорости с учетом кинематической пористости), были исследованы для двух этапов, и для различных конфигураций мер по смягчения, предусмотренных в отчете (цементация оголовки соляного клина, гидравлический барьер).

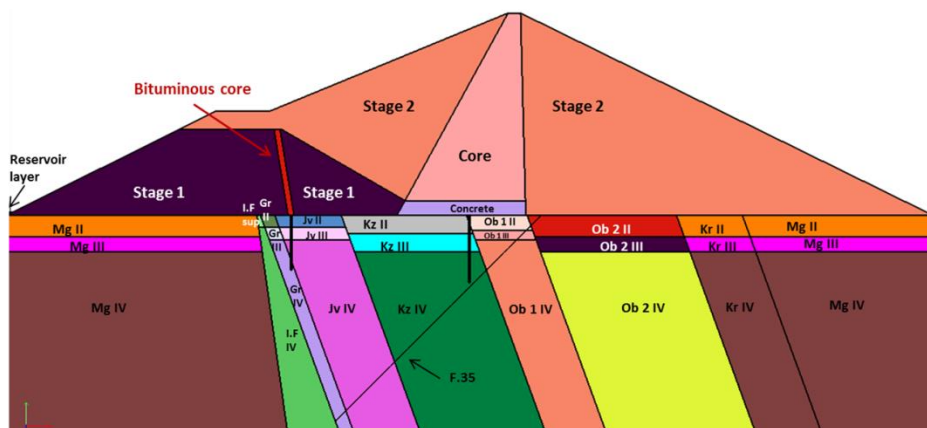


Рисунок 7.2: Геометрия модели для окончательной плотины; соляной клин Йонахшского разлома называется как "I.F. IV" в светло-зеленом цвете. "F.35" является Разлом № 35

Градиент вокруг соляного клина, рассчитанный по модели в случае наличия гидравлического барьера, должен рассматриваться осторожно. Когда гидравлический барьер сделан из вертикальных скважин, значение, полученное с помощью модели (отрицательный градиент) слишком оптимистично. Это соответствует в модели для вертикальных дренажных траншей, тем самым переоценивая эффективности барьера.

С другой стороны, когда барьер сделан из двух или трех горизонтальных скважин, полученный градиент близок к полученному без гидравлического барьера. В этом случае моделированный гидравлический барьер соответствует двум или трем дренажным скважинам, недооценивая значительно эффективности барьера. В обоих случаях, переоценка или недооценка связано с двумерной эффектом модели. Мы поэтому считали для дальнейшего анализа остаточного градиента равной 10^{-5} . В сочетании с цементацией оголовки соляного клина, мы рассмотрели остаточный градиент 10^{-4} .

Суб-модель 2: Процесс выщелачивания

Имитирует способность максимального выщелачивания внутри части соляного клина подвергаемой растворению. Она принимает во внимание: весь химический процесс, кинетика растворения и концентраций в равновесии и составе эвапорита, учитывая ее компоненты. Результатами являются коэффициенты растворения каменной соли для различных сценариев, насколько растворенные элементы - хлориды и сульфаты - могут быть эвакуированы. Это максимальный коэффициент относительно количества выщелоченного вещества. Необходимо внести толщину соляного клина, который будет раствориться, внесенный градиент соляного пласта исходить из суб-модели 1.

Суб-модель 3: модель перемещения

Представляет процессы перемещения: диффузия и адвекция/конвекция. Гравитационная конвекция не моделируется. Соответствующий поток рассмотрен равным потока на соляном клине. Сравнение сводного расчета показывает, что при нынешних условиях весь процесс выщелачивания недооценен на 20%, в случае цементации наш модель является консервативным и в случае очень низких градиент грунтовых вод (условий

стадия 2 или условий эффективного гидравлического барьера), наша модель может недооценивать процесс выщелачивания на один порядок величины.

В этой модели используется точная аналитическая формула (адвекция, диффузия) (см. рисунок 5.1). Результаты испытания по откачки: гидравлическая проводимость и кинематическая пористость вводятся. Введенные градиенты подземных вод являются результаты суб-модели 1. Модель калибруется на наблюдении, что выщелачивание равна росту соляному клину.

7.4.2 Анализ параметров трех суб-моделей

Различные параметры, которые использованы в трех суб-моделях и как они были оценены, представлены далее в Таблице 7.2.

		Чувствителен в разумных пределах	Испытания на местах	Лабораторные испытания	База данных	Рассчитанная	Лучшая оценка	Визуальный осмотр
Модель базового потока (1)	К							
	Геометрия слоев							
	Геометрия плотины							
	Напор воды							
Гидромеханическая модель (2)	Содержание NaCl							
	Содержание CaSO ₄							
	Содержание глины							
	Молекулярная масса NaCl							
	Молекулярная масса CaSO ₄							
	Растворимость, насыщенность NaCl							
	Растворимость, насыщенность CaSO ₄							
	Объемный вес диапира							
	К							
	Смягчение К							
	i						1	
	Смягчение i						1	
	wk							
	Цементация wk							
	Контактная поверхность							
	Поднятие купола							
Толщина диапира под влиянием						Калибр.		
Окончательная модель растворения (3)	Концентрация NaCl, CaSO ₄						2	
	К							
	Смягчение К							

Геометрия водоносного пласта	Геометрия водоносного пласта							
	i					1		
	Смягчение i					1		
	wk							
	Цементация wk							
	Козф. Диффузии							
	Козф. Дисперсии							
	Глинистое покрытие					calibr.		
	Поднятие купола							

Таблица 7.2: Параметры суб-моделей; источник, оценка чувствительности (где K – гидравлическая проводимость, i – гидравлический градиент, wk – кинематическая пористость).

- Анализы чувствительности показывают, что наиболее чувствительными параметрами являются гидравлическая проводимость, градиент грунтовых вод, подъем клина и глинистой корки. Не существует или существует только ограниченная неопределенность в отношении гидравлической проводимости, но может оказаться существенным для глинистого покрытия и скорости роста клина.
- Основное предположение, соответствующее наблюдением, что скорость выщелачивания равна (или близка), к поднятию соляного купола заставляет, что (в постоянном режиме), если изменить одну из вышеназванных параметров, остальные должны быть соответственно изменены. Примерно упрощенное: $K/\text{cov} \times \text{rise} = \text{Cte}$, где K гидравлическая проводимость, «cov» часть поверхности соляного пласта покрытое глиной, а «rise» скорость роста соляного клина.

Таким образом, учитывая, что гидравлическая проводимость должным образом оценена испытаниям по откачке, и тот факт, что глинистое покрытие очень обычно присутствует выше каменной соли, в дальнейшем мы будем ограничивать глобальный анализ чувствительности (в том числе трех суб-моделей), только к вариациям скорости подъема соляного клина: (~ 0, 2.5, 5, 12, 30 см/год).

7.4.3 Моделирование сценариев

Различные сценарии для различных скоростей поднятия соляного клина рассматриваются для стадии 1 и 2, с учетом периода воздействия каждой ситуации. Скорость поднятия клина вычитается из скорости выщелачивания, так что конечный результат соответствует прогнозируемой вертикальной высоте полости или интрузией соляного клина. Результаты глобальной модели, которая является комбинацией из трех суб-моделей, приведены ниже в таблице 6.3.

В соответствии с выводами Приложении 1, максимальный размер полости, которые будут созданы без ущерба для плотины, учитывая достаточно консервативных предположений, которые имеют низкую вероятность возникновения, оценивается до 25 м. Данное значение очень консервативно, учитывая условия породы. В действительности, как описано в Приложении 1, данное значение было получено из геометрического рассмотрения оценки минимального размера каверны, которая создаст опасность для

целостности тела плотины (разрушение фильтров или ядра плотины). Когда параметрический анализ соляного пласта показывает образование каверны более 8м, результаты показаны красным цветом. Порог в 8м соответствует каверне в 25м разделенной на 3 (коэффициент безопасности). Он показывает, что каверны свыше 8м возможны только в «сценарии бездеятельности» и в худшем случае. Коэффициент запаса 3 связан со стандартной инженерной практикой. Более того, непосредственный анализ данных, собранных из запланированного мониторинга, позволит своевременные корректировочные меры при необходимости.

Global decrease (meter) of salt dome level, rise in case of negative value										Global decrease (meter) of salt dome level, rise in case of negative value																		
Salt dome rise (cm/y)	Conditions before any work. Parameters from pumping test,	No remedial measures	Grouted	Poor grout or harmed grout	Hydraulic barrier	Hydraulic barrier, grouting	Hydraulic barrier, harmed grouting	Reduced hydraulic barrier efficiency, harmed grouting, coating lost			Salt dome rise (cm/y)	Conditions before any work. Parameters from pumping test,	No remedial measures	Grouted	Poor grout or harmed grout	Hydraulic barrier	Hydraulic barrier, grouting	Hydraulic barrier, harmed grouting	Reduced hydraulic barrier efficiency, harmed grouting, coating lost									
Stage 1 after 10 year										Stage 1 after 40 year																		
2,5cm	0,0	2,5	-0,2	0,2	-0,2	-0,2	-0,2	1,8		2,5cm	0,0	10,0	-1,0	0,8	-0,9	-1,0	-1,0	7,4		2,5cm	0,0	19,9	-1,2	-0,2	-1,8	-2,0	-2,0	6,4
5cm	0,0	5,0	-0,3	0,0	-0,4	-0,5	-0,5	1,6		5cm	0,0	43,0	-3,0	-3,0	-4,3	-4,8	-4,8	3,6		12cm	0,0	108,0	-7,5	-10,2	-10,8	-12,0	-12,0	-3,6
12cm	0,0	10,8	-0,8	-0,7	-1,1	-1,2	-1,2	0,9		30cm	0,0	70,9	1,7	0,8	-0,3	-1,0	-1,0	7,4		dissolution>salt rise	6,2	2,2	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	8,4
30cm	0,0	27,0	-1,9	-2,5	-2,7	-3,0	-3,0	-0,9		no or negligible rise	0,2	2,2	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0			no or negligible rise	0,1	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	
dissolution>salt rise	1,5	17,7	0,4	0,2	-0,1	-0,2	-0,2	1,8		Stage 2 after 110 year																		
no or negligible rise	0,1	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,1		Stage 2 after 140 year																		
Stage 2 after 140 year										Stage 2 after 110 year																		
2,5cm		-0,8	-3,7	-2,9	-3,7	-3,7	-3,7	-1,3		2,5cm		7,4	-3,7	-1,6	-3,6	-3,7	-3,7	4,9		2,5cm		17,5	-4,0	-2,6	-4,5	-3,2	-3,2	3,9
5cm		1,9	-4,8	-3,2	-3,9	-4,0	-4,0	-1,6		5cm		30,6	-16,2	-15,9	-17,4	-18,0	-18,0	-9,3		12cm		77,0	-40,5	-42,9	-43,5	-45,0	-45,0	-36,3
12cm		-5,0	-17,5	-17,2	-17,7	-18,0	-18,0	-15,6		30cm		68,2	-1,0	-1,6	-2,8	-3,7	-3,7	4,9		dissolution>salt rise		8,2	-3,0	-2,9	-3,3	-3,7	-3,7	-1,3
30cm		-15,0	-43,8	-44,2	-44,3	-45,0	-45,0	-42,6		no or negligible rise		8,2	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0			no or negligible rise		8,2	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	2,4
dissolution>salt rise		15,7	-3,0	-2,9	-3,3	-3,7	-3,7	-1,3																				
no or negligible rise		8,2	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	2,4																				

Таблица 7.3: Высота полости (или интрузией клина) при стадии 1 и 2 после 150 лет для различных условий и эффективностей мер по смягчению (цифры являются баланс выщелачивания соли и поднятие соляного клина в течении 150 лет продолжительности проекта: они означают вертикальную высоту образовавшиеся полости растворением соли (или высота внедрения соляного клина вверх если негативно); Левая часть таблицы учитывает базовую очередь строительства с плотиной стадии 1, продолжающиеся 10 лет до наполнения стадии 2; Правая часть таблицы учитывает задержку в строительстве стадии 2, с плотиной стадии 1 на 40 лет

Предполагаемый коэффициент роста соляного клина в разломе относится к важным вводным данным. Таким образом, дополнительно к самому реалистичному коэффициенту роста в 2,5 см/год, другие возможные коэффициенты роста были рассмотрены, от 5 см/год до 12 см/год, как сообщается, самый высокий наблюдаемый рост (ссылка [1]) и даже 30 см/год. Незначительный рост клина и даже гипотеза скорости выщелачивания превышающей скорость поднятия были приняты во внимание.

Существуют две основные серии сценариев для общей продолжительности проекта 150 лет.

Первая серия испытаний соответствует основным предположением: Плотина первой очереди закончится за 10 лет и сразу же начнется строительства 2 очереди, что означает отсутствие задержек строительства.

Вторая серия соответствует ситуации, когда плотина первой очереди строится и за ним следует вторая очередь после 40 лет, учитывая задержки в строительстве проекта в целом. Это предположение весьма пессимистично, поскольку несколько раз в текущем отчет Фаза II указывался, что никакая задержка в работе не может произойти в ходе строительстве проекта. Это только в качестве наихудшего сценария анализа чувствительности;

Для каждого из этих двух серий, следующие сценарии были рассмотрены:

- Условия перед началом любых работ, соответствующие калибровки модели и естественного равновесия между выщелачиванием соли и поднятием соляного клина. Разница между скоростью выщелачивания соли и скорости поднятия соляного клина равна нулю, как в настоящее время наблюдается на участке.
- Вариант «без меры по исправлению положения» после строительства плотины первой очереди: ни один из прогнозируемых мер по смягчению последствий не будет реализован, то есть никакие цементации оголовки соляного клина, ни барьер рассола, ни гидравлическая завеса. Поскольку на данный момент соляной клин вдоль Йонахшского разлома цементирован на обоих берегах реки, это возможно только лишь ниже реки Вахш. Расчеты показывают, что:
 - o С 10-летней продолжительностью строительство плотины первой очереди: декаметровые образования полости для больших скоростей поднятия клина, или в случае скорости выщелачивания больше, чем рост клина, уже в Стадии 1;
 - o Плотина первой очереди длительностью 40 лет: почти во всех случаях, декаметровые образования полости при плотине первой и второй очередях;
- Сценарии смягчения: только с цементацией, только с цементацией поврежденной цементации, только с гидравлическим барьером, с гидравлическим барьером и цементацией, с гидравлическим барьером и поврежденной цементацией: высота

формируемой полости всегда ниже, чем 3 м, или соляной клин проникает в тело плотины.

- Один специфический сценарий «худший случай» с учетом пониженной эффективности гидравлического барьера, поврежденной цементации и потери глинистой корки соляного клина, за 40 лет продолжительности плотины первой очереди: образование полости может превышать 5 метров.

Кроме того, различные варианты высоты плотины второй очереди были рассмотрены. Там нет существенной разницы в градиенте подземных вод соляного клина для этих вариантов, также результаты остаются в диапазоне одного из двух серий, рассмотренных выше. Что касается плотины первой очереди, которая имеет разные отметки гребня в зависимости от рассматриваемого варианта второй очереди (соответственно 1110 мнум, 1090 мнум и 1075 мнум), был смоделирован только самый высокий вариант, являющийся самым критичным.

Другие комментарии

Когда эффективная цементация водоносного пласта оголовки была достигнута по всему Йонахшскому разлому, гидравлическая проводимость цементированной зоны предполагается, не более чем один Люжон, который был подтвержден гидравлическим испытаниям в контрольных скважинах. В этом случае скорость выщелачивания ограничивается в приемлемый диапазон значений. Консультант считает, что цементация имеет существенный эффект смягчения. Этот вывод отличается от того, что было представлено моделью ИГП и полученно из результатов.

Эффективность гидравлического барьера была ограничена получением градиента подземных вод 10^{-5} .

Все результаты находятся в тесной зависимости от области соляного клина фактически покрытой глиной. Глинистое покрытие является очень благоприятным, так как останавливает процесс растворения. Нет никаких сомнений, что в верхняя часть соляного клина покрыта глиной, так как эвапориты имеют значительное содержание глины, и это глинистое покрытие в целом наблюдается во всем мире на экструзию диапиров.

Сценарии с рассоловым завесом дают крайне низкие показатели выщелачивания. Результаты приведены ниже в таблице 7.4.

Global decrease (meter) of salt dome level, rise in case of negative value										Global decrease (meter) of salt dome level, rise in case of negative value											
salt dome rise (cm/y)	Conditions before any work. Parameters from pumping test,	No remedial measures	grouted	poor grout or harmed grout	hydraulic barrier	hydraulic barrier, grouting	hydraulic barrier, harmed grouting	reduced hydr barrier efficiency, harmed grouting, coating lost			salt dome rise (cm/y)	Conditions before any work. Parameters from pumping test,	No remedial measures	grouted	poor grout or harmed grout	hydraulic barrier	hydraulic barrier, grouting	hydraulic barrier, harmed grouting	reduced hydr barrier efficiency, harmed grouting, coating lost		
Stage 1 after 10 year										Stage 1 after 40 year											
2,5cm	0,0	0,4	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,3		2,5cm	0,0	1,7	-1,0	-0,5	-1,0	-1,0	-1,0	1,1			
5cm	0,0	0,9	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	0,0		5cm	0,0	3,5	-1,8	-1,5	-1,9	-2,0	-2,0	0,1			
12cm	0,0	1,8	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,2	-0,7		12cm	0,0	7,2	-4,4	-4,3	-4,7	-4,8	-4,8	-2,7			
30cm	0,0	4,5	-2,7	-2,9	-2,9	-3,0	-3,0	-2,5		30cm	0,0	18,0	-10,9	-11,5	-11,7	-12,0	-12,0	-9,9			
dissolution>salt rise	1,5	4,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,3		dissolution>salt rise	6,2	17,0	-0,3	-0,5	-0,8	-1,0	-1,0	1,1			
no or negligible rise	0,1	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5		no or negligible rise	0,2	2,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,1			
Stage 2 after 140 year										Stage 2 after 110 year											
2,5cm		-0,8	-3,7	-2,9	-3,7	-3,7	-3,7	-1,3		2,5cm		7,4	-3,7	-1,6	-3,6	-3,7	-3,7	4,9			
5cm		1,9	-4,8	-3,2	-3,9	-4,0	-4,0	-1,6		5cm		17,5	-4,0	-2,6	-4,5	-3,2	-3,2	3,9			
12cm		-5,0	-17,5	-17,2	-17,7	-18,0	-18,0	-15,6		12cm		30,6	-16,2	-15,9	-17,4	-18,0	-18,0	-9,3			
30cm		-15,0	-43,8	-44,2	-44,3	-45,0	-45,0	-42,6		30cm		77,0	-40,5	-42,9	-43,5	-45,0	-45,0	-36,3			
dissolution>salt rise		15,7	-3,0	-2,9	-3,3	-3,7	-3,7	-1,3		dissolution>salt rise		68,2	-1,0	-1,6	-2,8	-3,7	-3,7	4,9			
no or negligible rise		8,2	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	2,4		no or negligible rise		8,2	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	8,7			

Таблица 7.4: Результаты различных сценариев, с солевой завесой (рассоловая завеса) за 150 лет продолжительностью Проекта: цифры означают вертикальную высоту образовавшиеся полости растворением соли (или высота поднятия соляного клина, если негативно); левая часть таблицы учитывает базовую очередь строительства, с плотиной первой очереди продолжительностью строительства 10 лет до наполнения плотины второй очереди; правая часть таблицы учитывает задержку в строительстве плотины второй очереди, с плотиной первой очереди, продолжающиеся 40 лет

8 ОБЩИЙ АНАЛИЗ

8.1 Основные заключения по процессу выщелачивания

- Вариант «без восстановительных мер» в Йонахшском разломе, т.е. плотина, построенная без всяких смягчающих мер относительно растворения соли, не является приемлемым для сценариев с высокой скоростью поднятия соляного клина или в случае большой продолжительности до завершения плотины второй очереди, так как с течением времени, выщелачивание может привести к большим полостям, больше чем 25 м, которые могли бы повлиять на ядро плотины или даже на целостность плотины (как показано в приложении 1),
- Самым эффективным сочетанием смягчающих мер является цементация с гидравлическим барьером. В этом случае, и даже с учетом самых пессимистических значений пористости и гидравлической проводимости, никакого существенного выщелачивания или образования полости, не ожидается. В большинстве случаев соляной клин будет внедряться в тело плотины с течением времени. Это означает, что внедрение соли может повредить цементацию. Это находится в компетенции проанализированных вариантов и наиболее реалистичных вариантов. Последствия внедрения эвапоритового пласта внутрь плотины незначительны. Тело плотины над Йонахшским разломом имеет пористость около 10%, и в худшем случае внедрение соли пойдет на метры только через десять лет. Она заполнит пустоты и постепенно будет выщелочена согласно существующему потоку грунтовых вод внутри тела плотины, пока не будет достигнуто новое равновесие. Условиями нового равновесия, в худшем случае, будет возвращение к изначальным условиям, которые не вызовут риска, если меры по смягчению будут выполнены согласно выводам.
- Рассоловая завеса все еще будет снижать процесс выщелачивания. К сожалению, предыдущее исследование доказало ненадежность метода рассоловой завесы, из-за явления засорения и из-за огромного количества соли, необходимой для ее работы. Модель показывает, что в любом случае, рассоловая завеса представляется излишним, по сравнению с достигнутым сокращением явления растворения.
- Все результаты тесно зависят от части поверхности оголовки клина, покрытой глиной. Глиняное покрытие очень благоприятно, поскольку оно тормозит процесс растворения. Нет никаких сомнений, что оголовки соляного клина покрыты глиной, так как эвапориты имеют значительное содержание глины и это глиняное покрытие, как правило, наблюдается во всем мире на экстремии диапир,
- Сочетание гидравлического барьера и цементации должно привести к приемлемому коэффициенту выщелачивания всегда ниже, чем рост соляного купола. Цементная завеса, на самом деле почти завершена, и даже если достичь гидравлическую проводимость менее 10 Люжон (гидравлическая проводимость 10^{-6} м/с) должно быть достаточно для снижения коэффициента растворения до приемлемого уровня,
- Использование только гидравлического барьера могло быть достаточным, но в случае значительного снижения эффективности ситуация превратится в сценарий

«без восстановительных мер», что не является приемлемым. Тот же вывод в случае цементации только оголовочной породы. В связи с этим, необходимо применить эти два метода смягчения последствий, цементацию оголовочной породы и гидравлический барьер.

8.2 Рекомендуемые смягчающие меры для реализации

Когда дело доходит до эвапоритов, и особенно соли, выщелачивание это явление, которое может быть очень быстрым, и создает драматические последствия.

Активные явления карста в эвапорите наблюдаются по всему миру. Они являются следствием важного изменения в условиях грунтовых вод. Наиболее известными с катастрофическими последствиями являются несколько сотен воронок, появляющиеся каждый год в Мертвом море, и большая генерация воронок в Алжире вблизи Хасси Мессауд. Диаметр воронки более или менее толщины эвапоритового слоя, и она появляется с декаметровой глубиной полости. В нашем случае, если происходит достижение воронкой верхней поверхности настоящего естественного грунта, под фундаментом плотины, огромное количество пресной воды водохранилища войдет в воронку и ускорит процесс выщелачивания и рост полости гравитационной конвекцией, вне контроля.

Геотехническое 3D-моделирование, проведенное ИГП не показывает значительный риск для целостности плотины до тех пор, пока степень полостей, создаваемых выщелачиванием соли не достигнет порогового значения от 30 до 40 м глубины.

Серьезная недооценка (один или два порядка величины) выщелачивания, даже трудно объяснить, не может быть полностью исключена. Возможность того, что некоторые особые условия не могут быть признаны исследованиями, как многочисленны, они есть, всегда существуют. В случае варианта «без восстановительных мер», такая недооценка может привести к неприемлемым коэффициентам растворения.

С другой стороны, с той же степенью недооценки, когда смягчено с гидравлическим барьером и лучше, в сочетании с цементацией, риск глубоких декаметровых полостей остается очень низким.

Таким образом, и как заключается из приведенного выше анализа, предложенный метод смягчения является сочетанием гидравлической завесы и цементации оголовки клина. Цементация должна быть оптимальной, и, таким образом проверена тестом Люжрна и, при необходимости (езде, где наблюдаются значения выше, чем 1 Люжон) повторно применить пока контрольное гидравлическое испытание покажет значения везде ниже 1 Люжон.

В следующих пунктах, представлен обзор различных ситуаций, способных повлиять на эффективность, либо на цементацию оголовки или гидравлической завесы и предложены корректирующие ситуацию меры.

8.3 По требованиям для гидравлического барьера

Для достижения цели равновесия давления воды на обеих сторонах оголовки водоносного горизонта, детальное изучение характеристик этого гидравлического барьера будет необходимо на стадии детального проектирования.

Объем гидравлического барьера будет обсуждаться, так как, учитывая различные гидравлической проводимости по обе стороны разлома, градиент будет создан между двумя стенами разлома во время наполнения, везде, где присутствует оголовка водоносного горизонта. Этот градиент сохранится, вероятно, довольно долгое время, прежде чем давление уравнивается на обеих сторонах.

Условия в частях погружаемых берегов реки, будут зависеть от наличия или отсутствия оголовки водоносного горизонта выше соляного клина. Это можно наблюдать с галерей противофильтрационной завесы, что на правом берегу, Йонахшский разлом, над оголовкой водоносного горизонта заполнен сильно сжатым, жестким брекчием, сделанным из алевролита с включениями гипса и остатков. Но под этой брекчией, точный объем этой оголовки водоносного горизонта на самом деле не известен.

Вместе с тем, было обнаружено по всей исследованной части Йонахшского разлома и цементации оголовки клина, вследствие выполняется по всему данному участку, из порталов строительных туннелей, до около 400 м внутрь правого берега.

Таким образом, гидравлический барьер должен быть реализован на стороне вниз по течению разлома, по крайней мере, по всей длине разлома, где наличие оголовочного водоносного горизонта доказано. Простираение на левый берег, в целях защиты водозаборных сооружений и избежание активации потенциально нестабильных масс, висящих на склонах в этой области, также должны быть приняты во внимание.

Глубина и промежутки между отверстиями, вертикальные или горизонтальные, а также адекватные меры для предотвращения засоления скважин, составляющих барьер, также необходимо определить. Так как гидравлическая проводимость аргиллитов Гаурдакской свиты, составляющих вниз по течению конец разлома, довольно низкая, промежуток между нагнетательными скважинами будет около трех метров, или даже меньше.

Расстояние до разлома также является важным параметром, который должен быть выбран лучшим образом.

Еще одним аспектом, который не должен быть забыт, является избежание образования обратного градиента путем гидравлического барьера, который будет выщелачивать соль вверх по течению, в условиях «без восстановительных мер». Градиент в таком случае, однако, как ожидается, будет ниже, чем в выщелачивании вниз по течению, но необходимость барьера вверх по течению для того, чтобы гарантировать наилучшее возможное равновесие, должно быть исследовано во время последующих фаз исследований.

Дополнительное техническое и экономическое сравнение должно быть проведено для оптимального выбора между барьером из вертикальных скважин или горизонтальных скважин (наклонно-направленное бурение может быть использовано, см. Приложение 2).

Тем не менее, долгосрочная эффективность гидравлического барьера, какой бы не был раствор, потребует предварительной обработки воды для использования в нагнетательных скважинах гидравлического барьера, что давление должно также поддерживаться таким же, как и в водохранилище.

Несмотря на низкую гидравлическую проводимость вмещающей породы, гидравлический барьер подразумевает закачки воды. Чтобы избежать закупорки гидргидравлического барьера, некоторые действия должны быть приняты как:

- Перед инъекцией вода будет освобождена от воздуха для того, чтобы избежать образования воздушных пузырьков по трубам, которые выступают в качестве изоляционной полотно.
- Перед инъекцией растворенный кислород в воде, будет удален, с тем чтобы избежать образования гидроокисей железа окислением, которые имеют высокий потенциал засорения.
- Гидрохимические исследования с предыдущим определением pH, окислительно-восстановительный потенциал и основные элементы вмещающих пород и закачиваемой водой для того, чтобы знать точное окисидо-окислительно-восстановительных условий и других возможных химических взаимодействий с нерастворимые осадки, вызывающие риск засорения. При необходимости окислительно-восстановительный потенциал можно изменить снижением уровня Ph в закачиваемой воде.

Осуществимость гидравлического барьера далее подробно описано в Приложении 2, где консультант определяет альтернативу для субгоризонтальной завесы, в дополнение к описанию вертикальные завесы, предложенные ИГП.

8.4 Оценка выщелачивания с учетом самых неблагоприятных условий

Существуют некоторые условия, при которых ситуация может достичь худший случай (последний сценарий) таблицы 7.3, как, например:

- если глиняное покрытие соляного клина уже было повреждено во время проведенных работ по цементации и, следовательно, заменено более проницаемым материалом (больше нет глиняное покрытие)
- если цементация за долгое время оказывается настолько поврежденной (движением разлома или ростом соли, более некомпенсируемая выщелачиванием), что гидравлическая проводимость цементного тела падает до значений лишь немного ниже, чем оголовки водоносного горизонта до цементации, мы предполагаем здесь 10^{-6} м/с,
- если гидравлический барьер теряет свою эффективность в долгосрочной перспективе, в связи с прогрессивным засорением или других явлений.

В тех случаях, коэффициент растворения мог превзойти значительно приемлемый коэффициент и образовать большие полости в специфичном случае с задержкой на 40 лет до завершения плотины второй очереди, и в значительной деградации эффективности гидравлического барьера и цементации без повторного выполнения или технического

обслуживания. Таблица 6.3 свидетельствует, что для других сценариев образование полости остается в приемлемом диапазоне и, во всяком случае, меньше, чем 25 метров.

Учитывая опыт таджикских компетентных органов в мониторинге расположенное ниже по течению плотины Нурекской ГЭС в течение нескольких десятилетий, риск отказа мониторинга или технического обслуживания как ожидается, будет низким, но должно быть все еще считается в общий анализ рисков проекта.

Во всяком случае, необходимо создать адаптированную систему мониторинга, чтобы в случае наблюдения больших расхождений между результатами измерений и модельных прогнозов, вмешательства могли быть выполнены вовремя.

Амплитуда колебаний водохранилища во время эксплуатации плотины, как ожидается, достигнет 100 м в шестимесячный интервал. Это означало бы внутри Йонахшского разлома градиент подземных вод из водохранилища к берегам, и шесть месяцев спустя, от берегов в водохранилище. Этот процесс, похожий на настоящее явление взаимодействия между Йонахшским разломом и рекой Вахш, могло бы повысить растворение. Но избыточная соль должна быть эвакуирована:

- тем же способом, что выше рассмотрен, в основном, близко к руслу реки Вахш, в результате чего смягчающие методы были бы идентичны или очень близки к выше рассмотренным условиям,
- через окаймленную породу, гидравлическая проводимость которой является очень низкой, и, следовательно, без всяких важных последствий,
- через оголовочный водоносный горизонт и далее в водохранилище; к сожалению, не существует никаких данных о литологическом строении выше оголовки клина достаточно далеко в пределах берегов. Тем не менее, полевые наблюдения и сейсмическое исследование преломления показывает, что это тело вне влияния реки Вахш должно быть хорошо непроницаемым.

Таким образом, мы считаем риск больших полостей в результате сезонных колебаний уровня водохранилища, небольшим.

9 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РИСКА

9.1 Выбранный подход

Для этого предварительного анализа риска, мы будем рассматривать риски, которые могут выводиться из предположений модели растворения, и тех, которые связаны с реализацией на участке необходимых мер по смягчению последствий, а также их долгосрочных характеристик.

До этого, стоит сослаться на то, какой может быть ущерб плотине, если произойдет выщелачивание соли.

Выщелачивание соли будет образовывать пустоты, а также характер и поведение погруженного горного массива является важным для оценки последствий для плотины. Сначала следует подчеркнуть, что массив горных пород нижнего бьефа Йонахшского разлома срезается рядом устойчивых, заполненных глиной разломов, погружающихся к

верхнему бьефу, такие как Разлом № 70 расположенный непосредственно в нижнем бьефе.

Если предположить, что пустоты, шириной, эквивалентной толщине растворенной части соляного клина образуются, движение соответствующей амплитуды фундаментного блока, расположенного непосредственно в нижнем бьефе может происходить по этим трещинам (уклон которых составляет примерно от 30 до 45 градусов по направлению к верхнему бьефу).

Однако, учитывая, что в пределах правого берега, наличие жесткой, сильно сжатой брекчии над покрывающей породой (см. пункт 7.3) будет препятствовать происхождению этого движения, насколько размеры пустот останутся разумными.

Потенциальные движения блока фундамента вниз по течению от разлома, следовательно, будут ограничены руслом реки и левым берегом реки, т. е. всюду горные породы, находящиеся выше покрывающей породы, не могут рассматриваться обеспечивающими достаточную поддержку, и могут привести к вертикальному оседанию нескольких метров соответствующего блока. Верховая призма плотины, следовательно, будет соответственно деформироваться.

Рассматривая различные положения плотины, Йонахшский разлом и верхнее-погружение разрывов, предполагается, что для того, чтобы предотвратить неприемлемые деформации плотины, вертикальное выщелачивание не должно превышать глубину порядка 25 метров (см. Приложение 1).

Учитывая, что худшими условиями для растворения соли является преобладание от наполнения плотины стадии 1 до наполнения окончательной плотины, предположим, что это значение составит 25 м, чтобы соответствовать максимально допустимой скорости выщелачивания солей 25 см/год, следовательно, 25 м в 100 лет.

Обоснование выбора этого значения, приведенные в Приложении 1 настоящего отчета, где анализируются, потенциальное воздействие образования пустот растворением соли на плотине.

9.2 Вводные параметры – анализы чувствительности

➤ Скорость поднятия:

Ключевым предположением для вводных параметров модели является, как уже подчеркивалось, достигнутый баланс в природных условиях между скоростью выщелачивания соли и уровнем роста соли в Йонахшском разломе.

Таким образом, калибровкой всех моделей растворения, подготовленные Гидропроектом также как Консорциумом, является использование лучших оценочных вводимых показателей для достижения этого состояния равновесия, а предположенный рост уровня соляного клина является ключевым параметром.

Как уже подчеркивалось в пункте 7.3, и иллюстрировалось результатами, представленными в таблице 7.4, увеличенный рост выщелачивания соли в отношении предполагаемых значений означает, что потенциал для выщелачивания выше, чем прогнозировалось, и, следовательно, растворение более интенсивное.

Именно поэтому уровень роста клина считался 12 см/год, и даже экстремальное и невероятное значение 30 см/год, как можно видеть из таблицы 7.4, что при таких скоростях, результаты остаются приемлемыми, даже с одним гидравлическим барьером.

Если скорость поднятия обнаруживается ниже, условия всё же лучше, чем предполагались.

В результате, учитывая калибровку модели с теми различными значениями скорости подъема, заменяется большинство возможных вариаций других параметров.

Таким образом, основной вывод в том, что, будучи очень важными вводимыми данными по вопросу соли, особенно для калибровки модели, мы настоятельно рекомендуем немедленное проведение соответствующего мониторинга для оценки фактического уровня роста соляного клина в Йонахшском разломе. Этот вопрос рассматривается в пункте 10.1.1.

Измерение фактической скорости подъема соляного клина в Йонахшском разломе должно, таким образом, допускать правильную калибровку модели растворения. Это также полностью подтверждается Гидропроектом, при создании их более обновленной модели (ссылка [1], пункт 6.5.).

➤ Глинистое покрытие:

Предположение об отсутствии глинистого покрытие, который, возможно, был удален или частично удален во время уже выполненных цементаций оголовки клина, можно формально не исключить, и это предположение сделано в худшем случае (последний случай в Таблице 7.4 с цементацией и деградацией гидравлического барьера). Даже в таких условиях, менее правдоподобным, высота растворения не превышает допустимого значения 25 м, как это определено в Приложении 1. Однако, в этом случае цементация и гидравлический барьер необходимы, чтобы справиться с риском, в соответствии с нашими выводами.

➤ Другие параметры:

Дополнительные исследования, такие как испытания по откачек для дальнейшей проверки гидравлических параметров или скважин для лучшей оценки части покрытое глиной поверхности соли, не требуются, поскольку:

- не остается места для дополнительных испытаний по откачки, так как цементация верхней части соляного клина уже достигнута в других частях Йонахшского разлома,
- часть поверхности соляного клина, покрытая глиной, не является постоянным, но это покрытие, как известно, присутствует везде.

➤ Протяженность гидравлической завесы:

С другой стороны, определение необходимого расширения цементации и гидравлического барьера потребует расширения существующих галерей для визуального контроля длины влияние процесса выщелачивания.

9.3 Реализация и долгосрочное поведение

9.3.1 Потеря эффективности гидравлического барьера

Как спроектировано в настоящее время на стадии ТЭО, гидравлический барьер выполнен из скважин, оснащённых перфорированными трубами, и помещен пористым материалом. Отверстия должны быть соединены с водохранилищем, чтобы применить в основании соответствующее давление воды.

Скважины должны быть расположены в аргиллитах или алевролитах, а затем должна быть проанализирована потеря эффективности гидравлического барьера прогрессивным засорением скважин.

Чтобы отсрочить или избежать таких явлений, это в любом случае является обязательным, чтобы вводимая вода обрабатывалась должным образом перед инъекцией в гидравлический барьер, как описано в пункте 8.3 здесь выше.

По результатам таблицы 7.3, можно видеть, что в случае потери эффективности - или недостаточной эффективности гидравлического барьера, цементация оголовочного водоносного слоя, даже если снижено до 10 Люжон, необходимо оставить в приемлемых условиях.

9.3.2 Обратное выщелачивание в присутствии гидравлического барьера

Как уже подчеркивалось в пункте 8.3, ввод в эксплуатацию гидравлического барьера может вызвать некоторые выщелачивания путем обратного градиента, соли, выщелачиваемой в направлении вверх по течению, даже если более низкие уровни, чем без гидравлического барьера.

Эта возможность должна быть тщательно изучена в детальном проектировании гидравлического барьера, кроме цементации, имеющей очевидный положительный эффект, это еще раз показывает необходимость иметь в рабочем состоянии обе смягчающие меры.

В случае, если цементация быстро разрушится вследствие движения разлома или роста клина, и если не будет принято мер по снижению последствий в виде повторной цементации, можно было бы рассмотреть, могут ли два гидравлических барьера, один вниз по течению, и один вверх по течению от разлома быть реализованы. Основная причина гидравлического барьера вверх по течению для избегания, в случае понижения уровня воды в водохранилище в переходных условиях потока, процессов выщелачивания ниже по течению и далее вверх по течению. Данный процесс выщелачивания является гипотетическим, потому что текущая вода будет насыщена согласно «нормальным условиям выщелачивания». Данный барьер вверх по течению может быть слишком осторожным шагом и излишен, в случае обеспечения целостности цементации оголовка.

9.3.3 Плохая цементация или потеря эффективности цементации верхнего водоносного слоя

Цементация в действительности осуществляется с помощью введения цемента с высоким содержанием бентонита, несомненно, дополняется по мере необходимости введением химического раствора для того, чтобы достичь заданного значения 1 Люжон для гидравлической проводимости цементации верхнего водоносного слоя.

Тем не менее, риск возникновения плохой цементации или меньшей эффективности цементного раствора с течением времени должно быть учтено здесь, в случае затруднений для осуществления мер, на месте или долгосрочной потери эффективности цементации.

Кроме того, движение Йонахшского Разлома, подтвержденное измерениями, как сообщается, является ползучим перемещением в 2 мм/год или немного больше по тектоническим линзам в разломе. Таким образом, трещины будут медленно расти в зоне цементации, снижая её эффективность.

Таким образом, снижение эффективности цементации является риском, который кажется вполне реальным.

Сделан вывод, что эффективный гидравлический барьер необходим для того, чтобы справиться с этим риском, вероятность возникновения которого не является незначительной.

10 РЕКОМЕНДАЦИИ

10.1 Мониторинг

10.1.1 Мониторинг скорости подъема соли

Точный мониторинг за ростом соляного купола должен начаться незамедлительно. Это значение является ключевым для прогнозирования уровня растворения и подверженности моделей.

Возможный мониторинг может быть объединением двух следующих типов устройств:

- Измерение смещений в соляном пласте и залегающие породы,
- наблюдения за деформациями в соляном теле цепью клинометров.

Для этой цели мы рекомендуем сделать пяти профилей каждая из трех скважин, по крайней мере, 100 м глубины, проникая в каменную соль. Каждый профиль будет включать, по меньшей мере, следующие устройства.

- Две скважины, должны быть оснащены экстензометром специального типа (типа DistoFor), работающим с индуктивным сбором данных, закрепленных к специальному корпусу, движущихся с землей, размещенных в пяти разных глубинах, которые позволяют получить детальные измерения продольных деформаций скважин. Однако, следует проверить, что ползучесть соли под высоким тектоническим напряжением не может повредить устройство.
- Третья скважина должна быть оснащена клинометрами на разных глубинах, для того, чтобы следить за деформациями в соляном теле и вышележащих породах.

Пять профилей будут распределены вдоль всей цементированной частью Йонахшского Разлома.

10.1.2 Мониторинг относительно выщелачивания соли

Предлагаются три системы мониторинга:

- мониторинг напора подземных вод, для того, чтобы проверить эффективность гидравлического барьера,
- мониторинг проводимости воды для проверки предрасположенности модели и текущих процессов выщелачивания, если таковые имеются,
- микрогравитация, чтобы проверить уровень Йонахшского Разлома и образование пустот.

Представленные ниже рекомендации для системы мониторинга, будут более подробными на стадии детального проектирования:

- по напору подземных вод: 10 скважин глубиной 70 м с 4 датчиками давления на глубине 15, 30, 45 и 60 м, с их нижней частью между 10 и 30 м вниз по течению от Йонахшского Разлома. Разлом должен быть определен после детального проектирования гидравлического барьера, с таким же количеством скважин, симметрично на стороне верхнего бьефа разлома.
- для проводимости еще на 12 наклонных скважин: 6 профилей двух скважин, одна наклонена под 60°, длиной 60 м, а другая под углом 45° и 70 м в длину. Обе с 4 ячейками для измерения электрической проводимости на равном расстоянии. Требуется постоянный мониторинг.
- для микрогравитации, требуются только данные относительно времени. Бетонные блоки размещены на фиксированных местах на гребне плотины стадии 1. Предлагаются 30 блоков. Кампания по Микрогравитации от этих блоков каждые шесть месяцев во время работы стадии 1 (по крайней мере, 8 лет). Позже продлевается для стадии 2 только, если появятся значительные отрицательные аномалии.
- регулярный осмотр гидролокатора грани плотины как только будет наполнена, чтобы обнаружить любые ненормальные деформации напорной грани плотины.

Предварительный чертеж, показывающий принципы мониторинга представлен в Приложении 3.

10.2 Рекомендации в отношении последующих мер и технического обслуживания

10.2.1 Числовая модель ИГП

Числовая модель растворения, выполненная Гидропроектом, должна быть усовершенствована и перенастроена с более точными значениями гидравлической проводимости и кинематической пористости верхнего водоносного слоя. Дальнейшие исследования могут всё же улучшить наши знания по вводимым параметрам. Особенно требуется тщательно оценить уровень возрастающей соли в разломе и измерения должны возобновиться в ближайшее время.

Эта модель должна быть постоянно адаптирована относительно мониторинговых измерений. Это полезный прогнозирующий инструмент, который должен быть постоянно обеспечен данными с рабочей площадки, и поддерживаться в строй в течение всей жизни гидроузла.

10.2.2 Техническое обслуживание мер по смягчению последствий

В случае происхождения больших пустот, (выявлению которых поможет микрогравитационный мониторинг, например), должна быть возможность вмешаться своевременно.

Проектирование гидравлического барьера является ключевым и должно быть изучено, как уже было подробно изложено в пункте 8.3.

В случае, выхода из строя двух процессов смягчение или потеря их эффективности цементация и гидравлический барьер должны бы быть вновь реализованы. Некоторые меры должны быть предусмотрены, чтобы вмешаться и восстановить эти два процесса. На данном этапе, предлагаемая система одинакова для всех трех альтернатив плотины. Меры по смягчению последствий можно повторить со временем, чтобы обеспечить устойчивость процесса предотвращения растворения (за исключением, вероятнее всего, цементации оголовки соляного клина после завершения стадии 2, но ситуация гораздо меньше критическая на данном этапе).

Во время или в конце стадии 1, которая является стадией с самым высоким риском повторная цементация и повторная установка гидравлического барьера может быть выполнена с гребня плотины стадии 1.

На стадии 2, единственным вариантом для повторной цементации и восстановления гидравлического барьера, сохраняя при этом полное водохранилище, будет работать по берегам, выше уровня воды в водохранилище, используя существующую полностью действующую и эффективную технологию наклонного и направленного бурения (см приложение 2 для подробности). Это идет в пользу реализации суб-горизонтального гидравлического барьера, через наклонное и направленное бурение.

Конечно, это предполагает, что соответствующее оборудование для проведения направленного бурения будет своевременно доступным.

Если это не так, то лучшим вариантом было бы, снизить уровень водохранилища, по крайней мере, до высоты стадии 1, чтобы обеспечить более точные наблюдения, а также проводить бурение и цементацию с отметки 1100.

11 ВЫВОДЫ

Здесь выше различные предположения, и поскольку риск выхода из строя одного из этих двух мер по смягчению последствий существует – о особенно в случае цементации, ясно, что оба и эффективная цементация и эффективная гидравлическая барьер являются на сегодняшний день необходимым для предотвращения выщелачивания соли, или его уменьшения до приемлемой скорости 25 см/год.

Кроме того, результаты свидетельствуют о том, что даже если только эффективный гидравлический барьер, а также только эффективная цементация также приемлемо, ясно, что, по крайней мере, один из этих двух мер по снижению должна поддерживаться действующим в течение всей жизни гидроузла.

Мы рекомендуем допускать вмешательства для восстановления эффективности обеих мер по смягчению.

Для того, чтобы следить за эффективностью мер смягчения проекта, требуется адекватный мониторинг, так что по времени реакции и ремонтных работ может быть выполнена как можно скорее. Предложения по этому мониторингу приведены здесь ниже.

С внедрением гидравлической и цементационной барьеров, связанная система мониторинга, а также проектирования исправительных работ в случае провала барьеров, тщательный анализ сценариев показывает, что проблема выщелачивание в Ионахском разломе не влияет на осуществимость проекта.