

Санкт-Петербургский государственный университет

Назукина Юлия Евгеньевна

Выпускная квалификационная работа

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХВОСТОХРАНИЛИЩА
КУРАНАХСКОЙ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ
АО «АЛДАНЗОЛОТО» ГРК**

Основная образовательная программа магистратуры
«Геология»

Научный руководитель: к.г.-м.н.,
доц. Корвет Н. Г.

«__» _____ 2018

Рецензент:

к.г.-м.н. Перевощикова Н.А.

«__» _____ 2018

Санкт-Петербург

2018

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1 Хвостохранилище как инженерное сооружение.....	6
1.1 Инженерно-геологические особенности формирования хвостохранилищ.....	6
1.2 Типы хвостохранилищ.....	8
1.3 Характеристика хвостохранилища Куранахской золотоизвлекательной фабрики АО «Алданзолото» ГРК как инженерного сооружения.....	10
Глава 2 Физико-географический очерк исследуемой территории.....	15
2.1 Административное положение.....	15
2.2 Рельеф.....	15
2.3 Климат.....	16
2.4 Гидрография.....	18
Глава 3 Геологическое строение.....	20
3.1 Стратиграфия.....	20
3.2 Тектоника.....	26
3.3 Инженерно-геологические условия территории хвостохранилища КЗИФ.....	29
3.4 Специфические грунты.....	36
3.5 Инженерно-геологические процессы и явления.....	38
Глава 4 Гидрогеологические условия.....	40
Глава 5 Геокриологические условия.....	43
Глава 6 Расчеты устойчивости низовой ограждающей дамбы хвостохранилища КЗИФ.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	53
Текстовые приложения.....	56
Приложение 1 Таблицы с нормативными и расчетными значениями характеристик грунтов.....	57
Приложение 2 Химический анализ воды.....	60
Приложение 3 Таблицы с расчетами нормативных глубин сезонного оттаивания и промерзания.....	66
Приложение 4 Создание инженерно-геологического профиля.....	69

Приложение 5 Результаты расчетов устойчивости низовой ограждающей дамбы	71
Графические приложения	77
Приложение 1 Поперечный профиль дамбы после наращивания до отметки 435,5 м.....	78
Приложение 2 Инженерно-геологические разрезы	79
Приложение 3 Схема территории хвостового хозяйства КЗИФ	82

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

ГРК – горнорудная компания;

ГТС – гидротехническое сооружение;

КЗИФ – Куранахская золотоизвлекательная фабрика;

ПНС – пульпонасосная станция;

ВВЕДЕНИЕ

Представленная магистерская выпускная работа посвящена оценке инженерно-геологических условий хвостохранилища Куранахской золотоизвлекательной фабрики АО «Алданзолото» ГРК.

В настоящее время институтом «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева» разрабатывается проект реконструкции сооружений хвостового хозяйства Куранахской золотоизвлекательной фабрики АО «Алданзолото» ГРК в связи с завершением проекта эксплуатации хвостохранилища. Проект реконструкции предусматривает возведение дамб обвалования для наращивания существующей низовой дамбы, которое может привести к нарушению устойчивости сооружения.

Цель представленной работы – дать оценку устойчивости низовой ограждающей дамбы хвостохранилища КЗИФ, характеризующегося определёнными инженерно-геологическими условиями, при её наращивании.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- сбор, анализ, обобщение фондовых материалов по результатам проведенных инженерно-геологических изысканий в данном районе;
- обработка имеющихся данных по конструктивным особенностям хвостохранилища;
- выполнение расчетов устойчивости ограждающей дамбы при условии ее наращивании до проектной отметки 435,5 м.

Магистерская диссертация написана по материалам, собранным во время прохождения производственной практики в ОА «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева», г. Санкт-Петербург и по результатам анализа автором материала, полученного в процессе работы в данной организации.

Выражаю благодарность моему научному руководителю Корвет Н.Г. за консультации при написании магистерской диссертации.

Особую благодарность выражаю Перевощиковой Н.А. (зав.лаборатории ОА «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева») за предоставленную возможность прохождения моей производственной практики в ОА «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева», использование материалов инженерно-геологических изысканий на исследуемом объекте и помощь в работе над магистерской диссертацией.

Глава 1 Хвостохранилище как инженерное сооружение

1.1 Инженерно-геологические особенности формирования хвостохранилищ

Формирование, складирование и дальнейшее использование отходов горнопромышленного производства связано с решением экономических, экологических, технологических, организационных и социально-эстетических задач, решение которых базируется на особенностях инженерно-геологических условий конкретного объекта. Отходами горного производства называют остатки исходного материала, образовавшиеся при переработке руды с целью получения готового продукта. Причем сырье может подвергаться как механическому, так и физико-химическому и прочему воздействию, в результате которого отходы могут приобрести свойства, значительно отличающиеся от свойств исходного материала.

Для складирования данных отходов используют естественные резервуары – природные понижения рельефа (котловины, озера, болота и т.д.), для которых характерно отсутствие ограждающих дамб, но чаще искусственные, складирование хвостов в которые производится с помощью создания специальных ограждающих сооружений или упорных дамб.

Хвостохранилища возводят с целью приема отводимой от обогатительных фабрик пульпы (смеси отходов производств с водой), выделения из гидросмеси твердой фазы отходов обогащения и её складирования, а также получения осветленной воды оборотного водоснабжения.

Организация системы обратного водоснабжения является одним из условий нормальной эксплуатации хвостохранилищ, так как она позволяет обеспечить минимальные объемы используемой воды. Поэтому на территориях намывных массивов организуют прудки-отстойники (с помощью создания отсечных дамб), затем в них устанавливают насосные станции оборотного водоснабжения.

Строительство хвостохранилища начинается с возведения плотины или дамбы обвалования насыпным или намывным способом (первичная или пионерная дамба), затем производят намыв плотин из хвостов. При возведении плотины второй очереди намывом в верхнем бьефе пионерной дамбы на намывных перед ней хвостовых отложениях предварительно сооружают вторичные дамбы обвалования. Эти дамбы отсыпают из хвостов или других имеющихся материалов (Рисунок 1).

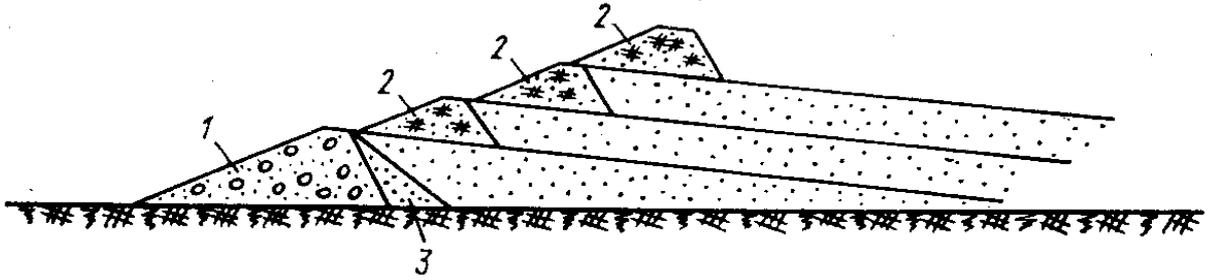


Рисунок 1 Плотина хвостохранилища: 1- плотина первой очереди; 2- вторичные дамбы; 3- плотина второй очереди (Семенюк, Батюк., 1983)

В случае если на плотины действуют высокие напоры на плотины и в основании плотин залегают сильно фильтрующие грунты, прикрытые в нижнем бьефе водонепроницаемыми или слабопроницаемыми грунтами, то вблизи плотин устраивают горизонтальные или вертикальные разгрузочные дренажи (Семенюк, Батюк., 1983).

Условия фильтрации жидкости из хвостохранилищ весьма непостоянны во времени и зависят от уровней воды в нем, мощности хвостовых отложений, местоположения и размеров площади фильтрации и прочих факторов.

Типы ограждающих плотин и способы их сооружения могут быть разнообразны и определяются в каждом случае индивидуально в зависимости от местных условий, а также от имеющихся строительных материалов и оборудования.

Насыпные плотины, получившие наибольшее распространение по сравнению с намывными, могут быть однородными; неоднородными, выполняемыми из различных материалов, и однородными с противofильтрационным глинистым экраном (Семенюк, Батюк., 1983)

Отличительной особенностью формирования хвостохранилищ (по сравнению с гидроотвалами) является преимущественное круглогодичное наращивание намывного массива.

Кроме того, особенностями формирования хвостохранилищ по сравнению с гидроотвалами являются повышенные требования к замкнутой системе водоснабжения в связи с наличием в отстойном пруду участвующих в обогатительном процессе реагентов, что определяет необходимость создания противofильтрационных экранов.

Наличие реагентов, остаточных металлов и минералов, попадающих при разработке и обогащении в другую среду, провоцирует химические процессы в массивах хвостохранилищ (Кириченко, Зайцев, 2006).

Одним из характерных свойств хвостохранилищ является постоянное уменьшение полезной (свободной) емкости в процессе эксплуатации. На хвостохранилищах овражно-балочного, косогорного и пойменного типов увеличение емкости влечет за собой увеличение и площади намывного сооружения. Повышение вместимости хвостохранилища в большинстве случаев влечет за собой значительное ухудшение устойчивости откосных сооружений и увеличивает время релаксации намывного массива.

Высокая землеемкость и водонасыщенность массива являются основными недостатками хвостохранилищ.

Несмотря на то, что отходы обогащения в хвостохранилищах намывного типа достаточно хорошо «отдают» воду и, следовательно, консолидируются, обеспечение устойчивости этих техногенных массивов является приоритетной при решении вопросов безопасности этих объектов (Кириченко, Зайцев, 2006).

Требования к устойчивости намывных горнотехнических сооружений регламентированы в ряде нормативных документов Госгортехнадзора, Постановлениях Правительства РФ и Строительных нормах и правилах. Контроль над обеспечением устойчивости возлагается на геолого-маркшейдерские службы или специально создаваемые группы Геотехконтроля.

Анализ показывает, что аварии на намывных сооружениях вызваны в 40 % случаев недостаточностью и некорректностью инженерно-геологических изысканий, в 30 % - неправильным выбором технологии при проектировании сооружений, в 25 % - нарушениями технологии эксплуатации объектов (Кириченко, Зайцев, 2006).

1.2 Типы хвостохранилищ

Существуют две основные классификации хвостохранилищ в зависимости от:

- 1) способа заполнения (намывные, наливные);
- 2) рельефа местности.

В зависимости от рельефа территории расположения гидротехнического сооружения необходимо различать следующие типы хвостохранилищ (Рисунок 2):

- овражно-балочные – сооружаются в оврагах и балках, в низовьях, которые перегораживаются плотиной (головной дамбой – упорной призмой);
- равнинные – намываются на равнинных участках со всесторонним отвалованием. Преимуществом равнинных намывных техногенных ГТС является

отсутствие ответственных водосборных сооружений для отвода и сброса естественного стока;

- овражно-равнинные – воздвигаются на равнинах, расчлененных оврагами, которые перегораживаются плотинами, а равнинная область обваловывается;
- пойменные – располагаются в поймах рек с обвалованием с нескольких сторон в зависимости от формы рельефа;
- косогорные – сооружаются на склонах (косогорах) путем ограждения с трех сторон дамбами обвалования, а с четвертой – склоном;
- котлованные – намываются в выработанных пространствах карьеров и разрезов.

При складировании токсичных пульп необходимо созданин противофильтрационного экрана, препятствующего загрязнению подземных вод;

- котловинные – устраиваются в природных понижениях рельефа (котловинах). Потребность в дамбах определяется объемом и формой котловины (Кириченко, Зайцев, 2006).

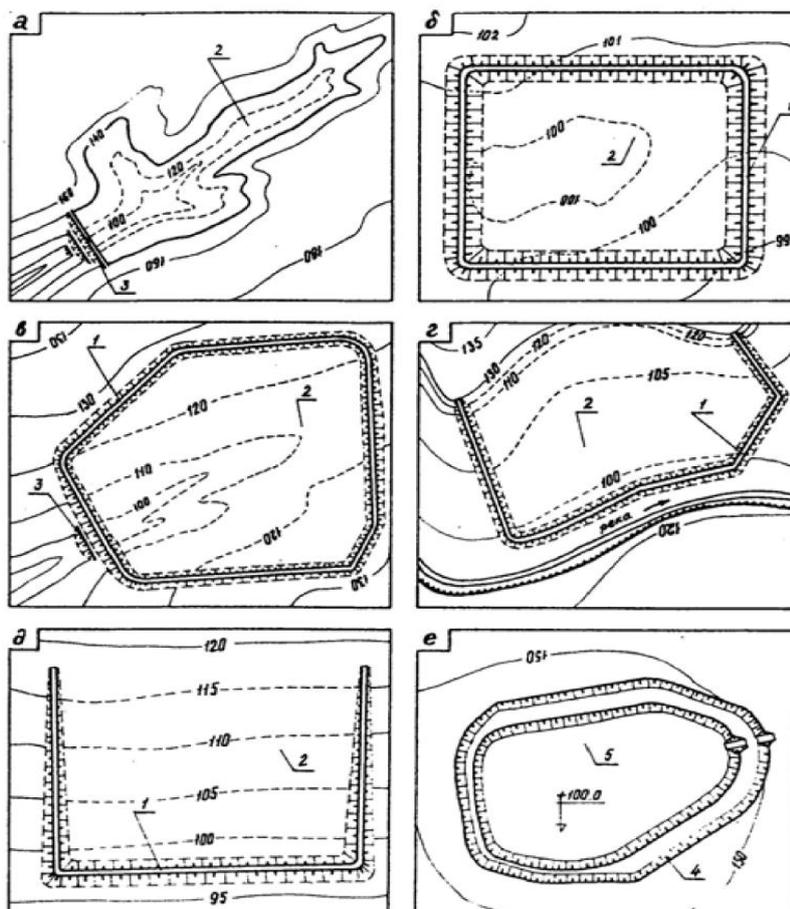


Рисунок 2 Типы намывных массивов (гидроотвалов и хвостохранилищ):

- а) овражно-балочные; б) равнинные; в) овражно-равнинные; г) пойменные;
 д) косогорные; е) котлованные (Кириченко, Зайцев, 2006).

Два последних типа намывных сооружений отличаются также неодинаковым их воздействием на режимы поверхностных и подземных вод. Если хвостохранилища формируются в искусственно созданных понижениях рельефа, то они способствуют восстановлению естественного режима. Намывные массивы в естественных понижениях в основном нарушают природный водооборот.

Установлены четыре класса опасности гидротехнических сооружений от высоты гидротехнических сооружений и типа грунта их оснований (таблица 1).

Таблица 1

Классификация гидротехнических сооружений (Постановление Правительства Российской Федерации от 2 ноября 2013 года № 986)

Показатели	Класс ГТС			
	I	II	III	IV
Высота дамбы (м) при наличии в основании: - скальных грунтов	>80	50-80	20-50	<20
- песчаных, крупнообломочных, глинистых в твердом и полутвердом состоянии грунтов;	>65	35-65	15-35	<15
- глинистых водонасыщенные в пластичном состоянии	>50	25-50	15-25	<15

На основании класса ответственности техногенного массива устанавливается минимальный коэффициент запаса устойчивости откосных сооружений (дамб и плотин) хвостохранилищ.

1.3 Характеристика хвостохранилища Куранахской золотоизвлекательной фабрики АО «Алданзолото» ГРК как инженерного сооружения

Хвостохранилище Куранахской ЗИФ предназначено для складирования хвостов технологического процесса извлечения золота и осветления оборотной воды, подаваемой на технологические нужды ЗИФ.

Гидротехнические сооружения хвостохранилища КЗИФ введены в постоянную эксплуатацию в 1977 году.

Хвостохранилище КЗИФ относится к овражно-балочному типу, расположено на склонах и в долинах ручьев Свадьбалаах и Латышский, которые являются притоками реки Большой Куранах.

По способу заполнения хвостохранилище отнесено к накопителям намывного типа.

ГТС хвостохранилища КЗИФ отнесены к I классу. Отходы, складированные в хвостохранилище, отнесены к V классу опасности (практически неопасные) (Декларация безопасности..., 2013).

Хвостохранилище Куранахской ЗИФ имеет следующие основные характеристики:

- полный объем – 100 млн. м³;
- остаточный полезный объем – 22,084 млн. м³;
- общая площадь при абс. отм. 425 м – 7,9 млн. м².

Хвостохранилище КЗИФ образовано путем перегораживания долины ручья Латышский пионерной дамбой максимальной высотой 36 м с отметкой гребня 404,0 м и эксплуатировалось как наливное с заполнением емкости хвостами крупностью более 88% класса – 0,077 мм.

Емкость хвостохранилища при проектной отметке заполнения равной 425,0 м составляет 110-120 млн. м³. За период с 1976 г. по 31.12.2016 г. объем заполнения составил – 93,77 млн. м³ (125,76 млн. т).

В 1990 г. в связи с увеличением переработки до 3-3,5 млн т руды в год и изменением технологии обогащения, вследствие чего крупность хвостов возросла до 50% более 70 мкм, институтом ВНИПИ «Механобр» разработан проект реконструкции сооружений хвостового хозяйства и с 1992 года осуществлен переход на намывной способ наращивания основной дамбы с возведением ограждающих дамб обвалования из привозного гравелисто-галечникового грунта (Декларации безопасности..., 2009,2013)

В комплекс ГТС хвостохранилища КЗИФ входят следующие сооружения:

- хвостохранилище;
- низовая ограждающая дамба;
- верховые плотины;
- водоотводные сооружения;
- система гидротранспорта хвостов;
- система обратного водоснабжения;
- система КИА.

На рисунке 3 показан ситуационный план хвостового хозяйства КЗИФ.

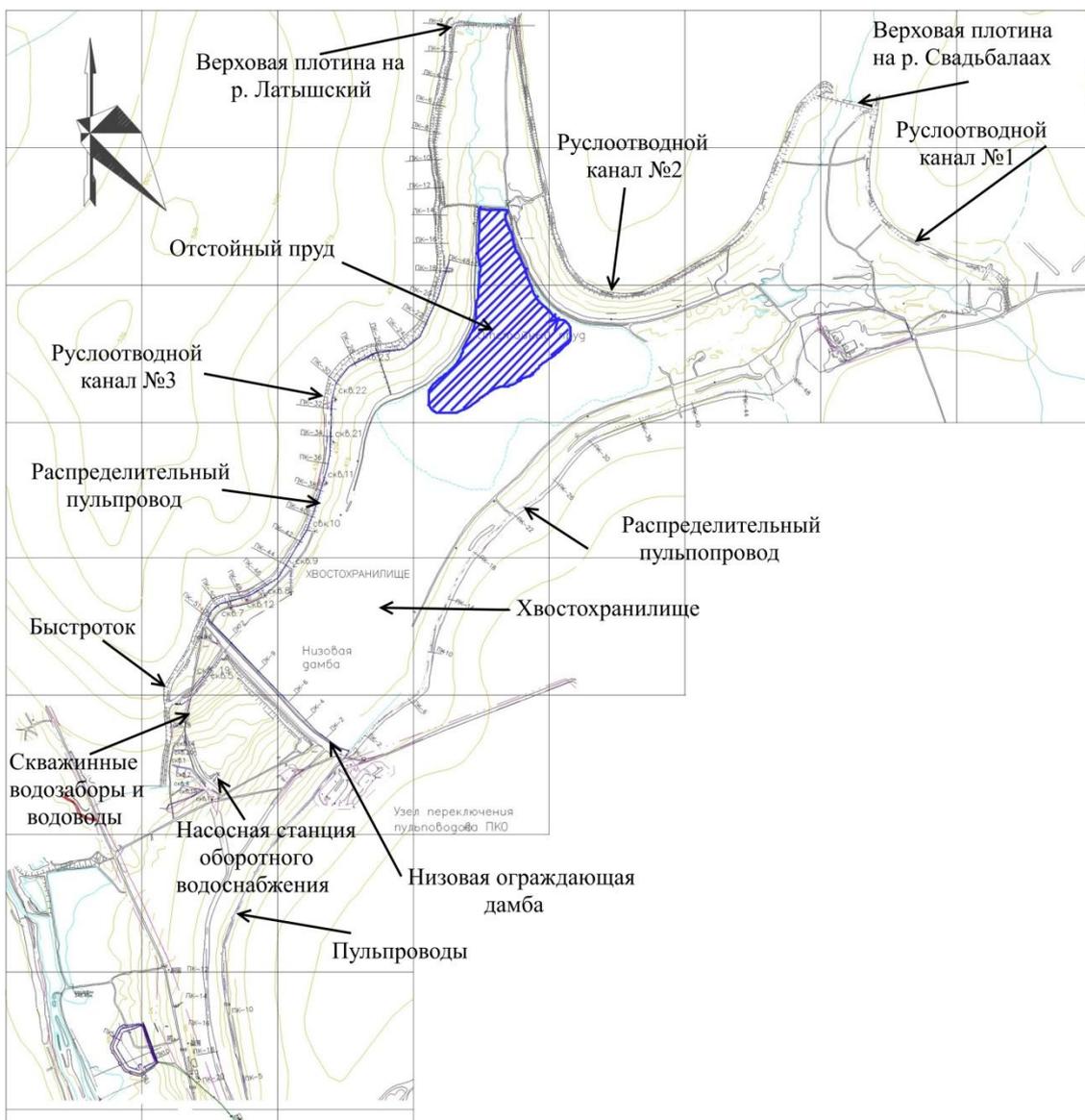


Рисунок 3 Ситуационный план хвостохранилища Куранахской ЗИФ

Основным объектом моего исследования является низовая дамба.

Низовая ограждающая дамба

Низовая ограждающая дамба состоит из пионерной дамбы, дренажной призмы и шести дамб обвалования. Низовой откос ограждающей дамбы хвостохранилища, сформированный пионерной дамбой и дамбами обвалования, имеет средний уклон 1:4.

Пионерная дамба высотой 36 м с абс. отм. гребня 404,0 м отсыпана из грунтов дренажных отвалов, с суглинистым противофильтрационным экраном.

Для лучшей консолидации хвостов, уложенных в тело намывной дамбы, возведена дренажная призма высотой 7 м с отметкой гребня 411,0 м и пластовый дренаж по намывному пляжу шириной 80 м и толщиной до 5 м.

Дамбы обвалования возведены из привозных, гравелисто-галечниковых грунтов дренажных отвалов с отметками гребней 413,60 м, 415,80 м, 417,66 м, 419,80 м, 421,84 м и 424,0 м. Ширина дамб по верху – 6 м, заложение откосов 1:1,5. Протяженность последней дамбы (и одновременно фронт намыва) составляет около 1430 м. На конец 2020 г. максимальная отметка гребня отмытого пляжа под урезом дамбы обвалования составит 425,0 м (Годовой отчет о состоянии..., 2017).

Согласно проекту реконструкции хвостохранилища КЗИФ АО «Алданзолото» ГРК с увеличением полезной емкости пруда-накопителя, за счет наращивания существующей низовой намывной дамбы, начиная с отм. 425,0 м и до отм. 435,5 м объем уложенных хвостов составит 80,0 млн.м³. Отметка 425,0 м соответствует максимальной отм. заполнения хвостохранилища до проведения реконструкции, средняя отметка заполнения хвостохранилища после наращивания ограждающей дамбы составит 434,0 м. Интенсивность заполнения емкости хвостохранилища составляет – от 0,4 до 0,55 м/год. Вновь создаваемая емкость накопителя объемом 80,0 млн. м³ обеспечит складирование хвостов в течение 19,5 лет работы ЗИФ.

Хвостохранилище наращивается путем отсыпки дамб обвалования высотой 2,8 м на пляж. Дамбы отсыпаются из щебенистого грунта с песчаным заполнителем из отвала пустых пород. Распределительный пульповод проложенный по дамбе перекладывается на следующую дамбу обвалования после ее возведения и отмывается пляж. Отметка гребня последней дамбы обвалования – 435,50 м. Длина дамбы – 1750 м. Ширина по гребню – 9 м. Заложение верхового откоса 1:2,75, низового – 1:2,5. Всего отсыпается пять дамб обвалования. Характерные отметки представлены в таблице 2 (Разработка предпроектной документации..., 2018).

Таблица 2

Характерные отметки дамб обвалования
(Разработка предпроектной документации..., 2018)

Ярус наращивания	7	8	9	10	11
Отметка гребня, м	426,3	428,6	430,9	433,2	435,5
Отметка основания, м	423,5	425,8	428,1	430,4	432,7

Длина надводного пляжа в течение всего срока эксплуатации намывного накопителя I класса должна быть не менее 50 м. Для нормальной эксплуатации

рекомендуемая длина надводного пляжа составляет 500 м. Минимальное превышение гребня дамбы обвалования над уровнем воды составляет 1,5 м. Минимальное превышение гребня дамбы обвалования над уровнем пляжа составляет 0,5 м (Разработка предпроектной документации..., 2018).

В графическом приложении 1 приведен поперечный профиль низовой дамбы после её наращивания до отметки 435,5 м.

Глава 2 Физико-географический очерк исследуемой территории

2.1 Административное положение

В административном отношении участок ГТС хвостохранилища КЗИФ расположен в Алданском улусе Республики Саха (Якутия) в 7 км севернее пос. Нижний Куранах (Рисунок 4) и в 40 км от г. Алдана, на территории хвостохранилища Куранахской ЗИФ.



Рисунок 4 Обзорная карта района работ (Google Карты)

2.2 Рельеф

В геоморфологическом отношении исследуемый участок расположен на коренных склонах и в долинах ручьев Свадьбалаах и Латышский, которые являются притоками реки Большой Куранах. Территория хвостохранилища значительно изменена хозяйственной деятельностью человека, естественный рельеф не сохранен.

Абсолютные отметки поверхности рельефа в пределах ГТС хвостохранилища Куранахской ЗИФ изменяются от 330 до 568 м.

В пределах чаши хвостохранилища абсолютные отметки поверхности изменяются от 416 до 420 м. Мощность техногенных отложений изменяется от 1,80 до 56,5 м.

2.3 Климат

По данным метеостанции «Алдан» климат территории резко континентальный, с продолжительной холодной зимой (температура воздуха до минус 51°C) и коротким, относительно жарким летом (температура воздуха до плюс 35°C).

Главными факторами, определяющими такое своеобразие климата, являются характер циркуляции воздушных масс и физико-географические условия территории (ее удаленность и отгороженность горными системами от Атлантического и Тихого океанов, открытость со стороны Северного Ледовитого океана, большая протяженность - как с севера на юг, так и с запада на восток, сложность орографии).

Среднегодовая температура воздуха по данным многолетних наблюдений (таблица 3) составляет минус 6,2°C, минимальная – минус 48,7 °С, максимальная – плюс 35.2 °С, среднеминимальная – минус 26.9 °С. В период отрицательных температур воздуха, который длится, в среднем, 214 суток, территория находится под влиянием устойчивого антициклона (Оценка эксплуатационных запасов..., 2009).

Таблица 3

Температуры воздуха, Алдан (данные многолетних наблюдений)

(Технический отчет..., 2017)

Месяц	Минимальная температура, °С	Среднемесячная температура, °С	Максимальная температура, °С
январь	-48.7	-26.9	-2.5
февраль	-46.3	-24.7	-1.2
март	-42.0	-16.2	+9.1
апрель	-31.7	-5.4	+15.5
май	-16.0	+4.1	+27.4
июнь	-5.4	+13.2	+34.3
июль	-0.3	+16.6	+34.4
август	-4.4	+13.4	+35.2
сентябрь	-16.1	+5.1	+25.8
октябрь	-30.3	-6.3	+15.8
ноябрь	-44.9	-19.2	+6.1
декабрь	-48.3	-25.7	-0.6

Снежный покров устанавливается в начале октября и сходит в конце мая. Средняя дата разрушения устойчивого снежного покрова – 2 мая. Средняя дата схода

снежного покрова – 23 мая. Мощность снежного покрова изменяется от 50 до 80 см, достигая на отдельных участках 100-120 см. Плотность снежного покрова в течение зимы - около 0,15-0,16 г/см³, возрастая к концу сезона до 0,22-0,24 г/см³. Запас воды в снежном покрове определяется его высотой и плотностью перед началом снеготаяния. В среднем, по территории, запас воды в снеге составляет 100-120 мм (Оценка эксплуатационных запасов..., 2009).

Среднегодовое количество осадков – 624 мм, с максимумом выпадения в июле-августе. По данным метеостанции Алдан весной, летом, осенью и зимой выпадает 17,5%, 44,6 %, 26,6% и 11,4 % осадков от общего количества соответственно (Оценка эксплуатационных запасов..., 2009).

Средняя скорость ветров – 2,7-4,3 м/с. Максимальная среднемесячная скорость ветра – 4,1 м/с, минимальная – 0 м/сек (Оценка эксплуатационных запасов..., 2009). Преобладающее направление ветров – юго-западное. На рисунках 5 и 6 изображены розы ветров, построенные по данным многолетних наблюдений за год, за январь и июль (Технический отчет..., 2017).

Среднемесячная влажность наружного воздуха в наиболее холодный месяц – 77 %, в наиболее жаркий – 55%. Величина испарения с водной поверхности составляет 410 мм, с поверхности грунтов – 205 мм (Оценка эксплуатационных запасов..., 2009).

Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» исследуемый район относится к строительному климатическому подрайону I Д.

Роза ветров, год (Алдан)

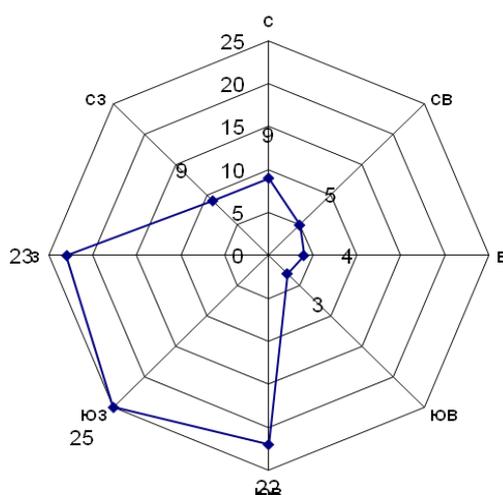


Рисунок 5 Роза ветров за год (Технический отчет..., 2017)

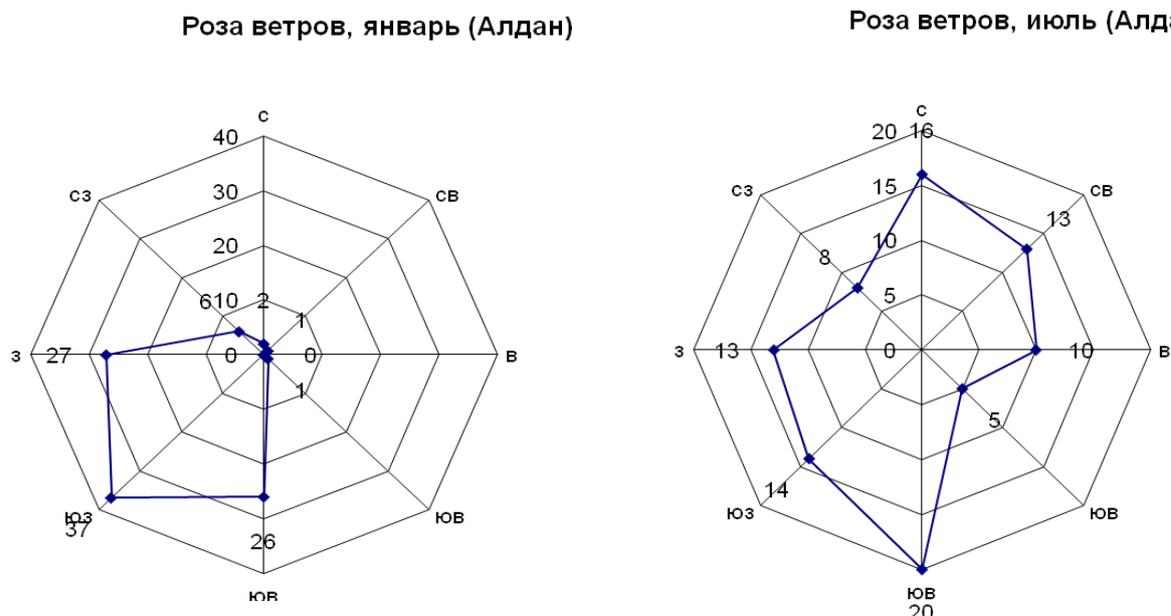


Рисунок 6 Розы ветров за январь и июль (Технический отчет..., 2017)

Площадь расположена в области островного развития многолетней мерзлоты.

2.4 Гидрография

Речная сеть на территории хвостохранилища КЗИФ представлена ручьем Латышским и его правым притоком - ручьем Свадьбалаах. Ручей Латышский является правым притоком реки Большой Куранах, впадающей в реку Селигдар – приток реки Алдан.

Общая длина ручья Латышский - 16 км. Абсолютные отметки водораздела 500-550 м. Уклон долины 0,004-0,001. Ширина долины от 600 до 1500 м. Русло ручья на всем протяжении сложено валунами и крупной галькой, а на участке хвостохранилища отложения переработаны в дражные отвалы в связи с добычей золота. Песчаные косы в русле встречаются только в местах с обратным течением.

Ширина русла в створе дамбы хвостохранилища достигает 810 м. Берега, преимущественно, обрывистые высотой 0,5-1,2 м. Поверхностный сток на ручье Латышский обычно начинается в конце апреля. Пик весеннего половодья приходится на май. Летом ручей часто пересыхает. Ручей Латышский питается, в основном, за счет атмосферных осадков и таяния многолетнемерзлых пород (Научно-технический отчет..., 2017).

В питании рек территории исследуемого участка принимают участие снеговые, дождевые и подземные воды, доля первых равна 20-40%, вторых – 40-60% и третьих – 10-15% (Оценка эксплуатационных запасов..., 2009). Модуль стока наиболее крупных водотоков равен 1,5-3,0 л/с×км² (Оценка эксплуатационных запасов..., 2009). По водотокам, дренирующим закарстованные нижнекембрийские и венд-нижнекембрийские породы, отмечается поглощение поверхностного стока.

Лед на реках становится в середине октября, очищение рек происходит в третьей декаде мая. Толщина льда на реках достигает 100 см и более.

Глава 3 Геологическое строение

3.1 Стратиграфия

В геологическом строении территории принимают участие сложнодислоцированные метаморфические породы раннего и позднего архея, входящие в состав кристаллического фундамента; терригенно-карбонатные осадки венда - раннего кембрия и терригенные отложения ранней юры, образующими осадочный чехол. Все вышеперечисленные разновозрастные породы перекрыты маломощным чехлом кайнозойских образований. Геологическая карта, условные обозначения и стратиграфическая колонка представлены на рисунках 7-9.

АРХЕЙСКАЯ АКРОТЕМА

Нижнеархейская зонотема. Верхнеалданская серия

Породы серии выходят на дневную поверхность только в долине р. Селигдар.

Верхнеархейская зонотема. Федоровская серия (AR_2^1fd)

Федоровская серия представлена различными метаморфическими сланцами, редко гнейсами, в которых встречаются редкие линзы (мощностью в первые метры) мраморов и флогопит - диопсидовых кальцифиров. Мощность федоровской серии составляет 750-1200 м (Пояснительная записка..., 2000).

Верхнепротерозойская и фанерозойская зонотемы

Вендская и кембрийская системы. Юдомская серия

Усть-юдомская свита ($V_2-C_{1цjd}$)

Отложения усть-юдомской свиты с региональным несогласием залегают на глубоко эродированных породах фундамента.

Свита сложена перекристаллизованными доломитами, песчаниками и конгломератами.

Усть-юдомская свита согласно перекрывается глинистыми красно-бурыми доломитами и мергелями, относящимися к пестроцветной свите. Мощность усть-юдомской свиты составляет 180-280 м.

ПАЛЕОЗОЙСКАЯ ЭРАТЕМА

Кембрийская система. Нижний отдел

Нижнекембрийские образования представлены отложениями пестроцветной, тумулдурской и унгелинской свит.

Пестроцветная свита. Наиболее характерными породами свиты являются глинистые доломиты, мергели. Мощность пестроцветной свиты изменяется от 60 до 95 м.

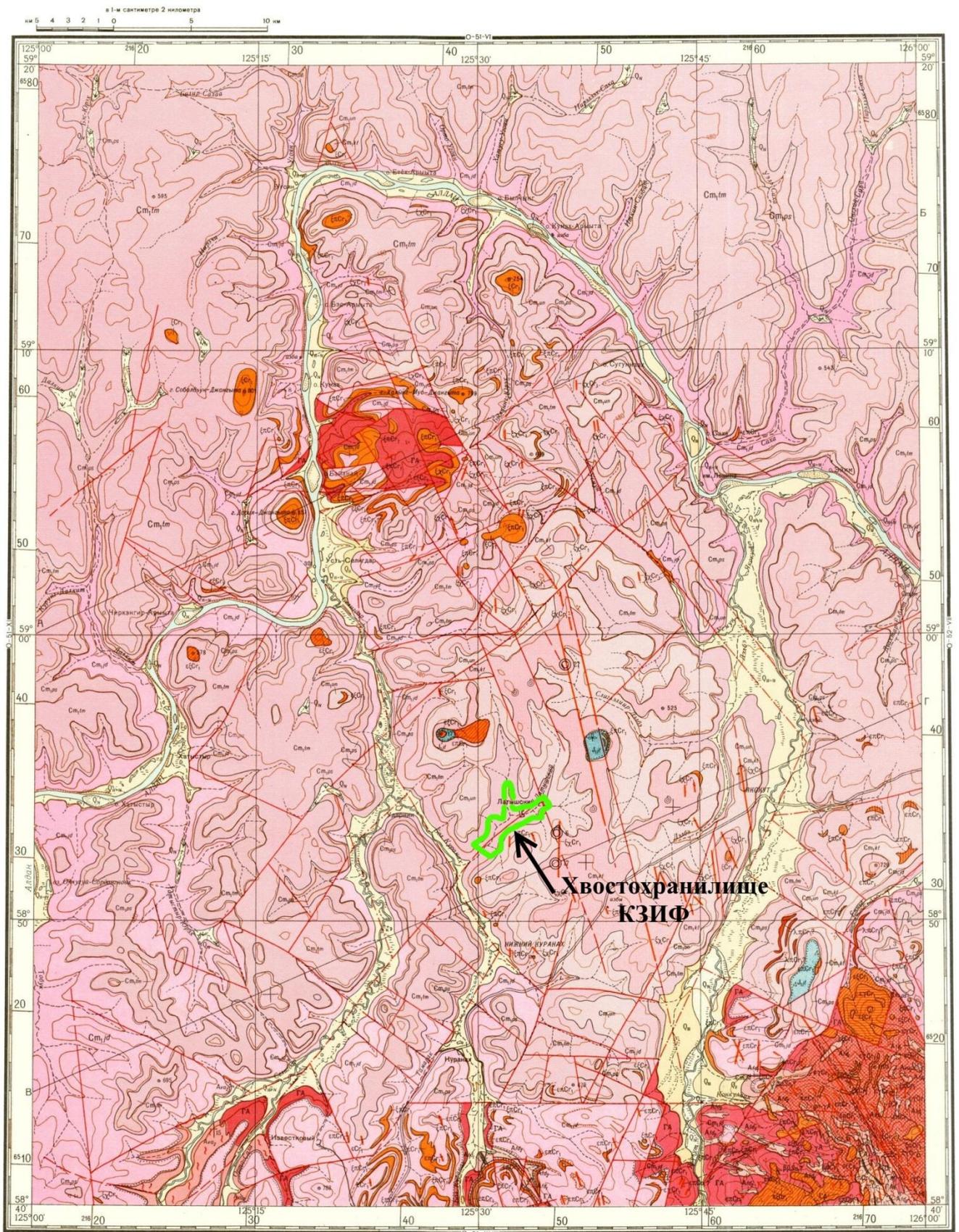


Рисунок 7 Геологическая карта района работ

(Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Лист О-51-ХІІ (http://www.geolcarta.ru/list_200.php?idlist=O-51-XII))

ЧЕТВЕРТИЧНАЯ СИСТЕМА		Q_w	Современные отложения. Аллювий поймы (пески, галечники, валуны) и торфяно-болотные отложения
		Q_{III-V}	Верхнечетвертичные и современные отложения нерасчлененные. Аллювий поймы и первых трех надпойменных террас (пески, галечники, валуны)
		Q_{II}	Верхнечетвертичные отложения I, II и III надпойменных террас (пески и галечники)
		Q_I	Среднечетвертичные отложения IV, V, VI надпойменных террас (валуны, галечники и пески)
ЮРСКАЯ СИСТЕМА		J_{III}	Нижний отдел. Юрская свита нерасчлененная. Песчаники с линзами и прослоями конгломератов, гравелистов и глинистых сланцев
КЕМБРИЙСКАЯ СИСТЕМА НИЖНИЙ ОТДЕЛ		Sm_{kt}	Куторгиновская свита. Известняки и доломитовые известняки, местами битуминозные, в отдельных случаях ракушечниковые
		Sm_{un}	Унгелинская свита. Пестрокрашенные доломиты, доломитовые известняки и мергели
		Sm_{tm}	Тумулдурская свита. Доломиты и доломитовые известняки с прослоями мергелей в нижней части свиты
		Sm_{ps}	Пестроцветная свита. Переслаивание красновато-бурых, зеленовато-серых и светлых мергелей и доломитов
		Sm_{jd}	Юломская свита. Доломиты и доломитовые известняки, местами битуминозные, с примесью терригенного материала в основании
		A	Архейские образования нерасчлененные (на разрезе)
АРХЕЙСКАЯ ГРУППА ИНТРУЗИВНЫЕ		A_{fd_2}	Федоровская свита. Средняя подсвита. Диопсидовые, амфиболовые, биотитовые гнейсы и кристаллические сланцы, пачки диопсидовых пород, линзы амфиболитов
		A_{fd_1}	Федоровская свита. Нижняя подсвита. Амфиболовые, биотит-амфиболовые и пироксеновые гнейсы и кристаллические сланцы с прослоями диопсидовых пород в основании
		A_{va_2}	Верхневалдская свита. Верхняя подсвита. Биотитовые, биотит-гранатовые, биотит-силиманит-кордиеритовые, двупироксеновые гнейсы и кристаллические сланцы с прослоями кварцитов
РАННЕМЕЛОВЫЕ ИНТРУЗИВНЫЕ ПОРОДЫ		g_{sc_1}	Эгиритовые граниты
		g_{sc_2}	Тивугаиты, сельсбергиты, бостониты
		g_{cr_1}	Ангитовые сyenиты и сyenит-порфиры, мивитты (g_{cr_1}); роговообманковые и олигоклазовые порфиры, ортофиры (g_{cr_1})
		g_{sp}	Щелочные сyenиты, нефелиновые сyenиты (g_{sp})
		g_{kcr_1}	Кварцевые и кварцосодержащие порфиры
		g_{sp_2}	Раннесийские (?) габбро-диабазы и диабазы
		g_A	Архейские нерасчлененные граниты
ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ		gn_{-yA}	Глубоко гранитизированные породы и гранито-гнейсы
			Мигматиты
			Зоны катаклаза и мионитизации
			Метасоматиты различного состава по карбонатным породам
			Речные
			Органогенные
			Границы интрузивных тел и фаций
			Границы несогласия залегания отложений
			Линии различных нарушений: а) установленные, б) предполагаемые
			Линии различных нарушений под четвертичным покровом

Рисунок 8 Условные обозначения к геологической карте
(http://www.geolkarta.ru/list_200.php?idlist=O-51-XII)

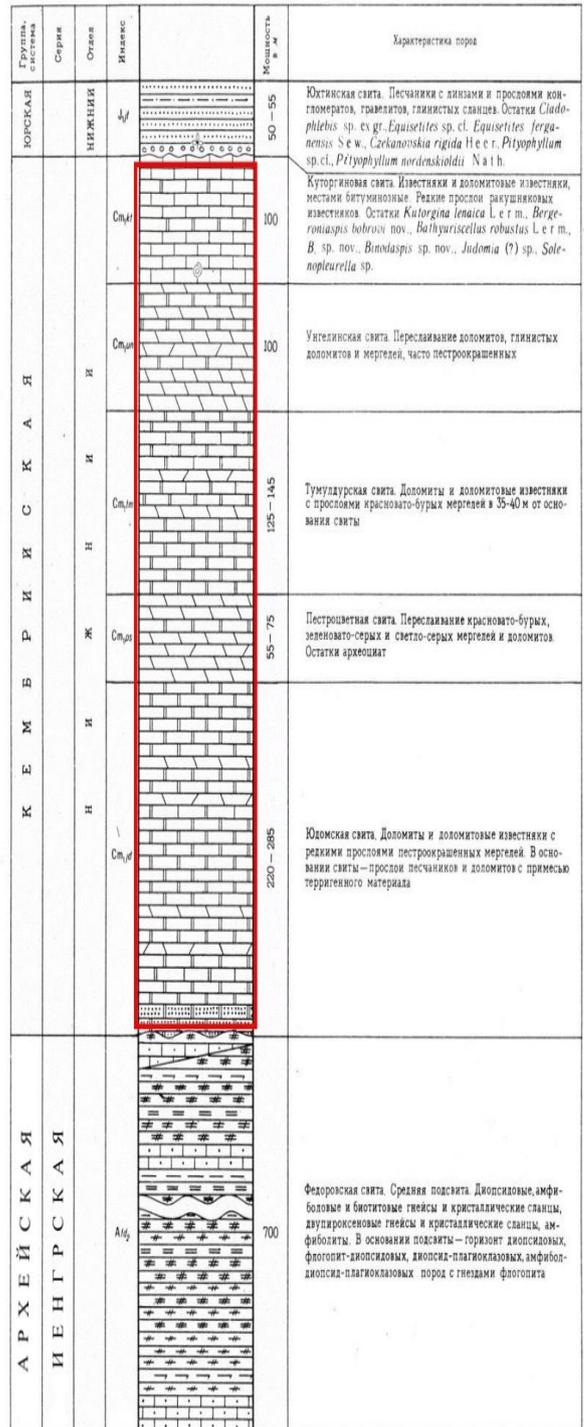


Рисунок 9 Стратиграфическая колонка
(http://www.geolkarta.ru/list_200.php?idlist=O-51-XII)

Тумулдурская свита. Свита представлена доломитами, известковистыми доломитами с прослоями известняков. Мощность свиты изменяется от 40 до 130 м.

Унгелинская свита. Свита сложена доломитами и глинистыми доломитами. Мощность ее составляет 150 - 200 м.

Олекминская свита. К олекминской свите условно относится толща доломитов и известняков, залегающая выше унгелинской свиты и выделявшаяся раньше как куторгиновая свита. Нижняя граница свиты проводится по основанию метрового слоя серых детритовых известняков. Неполная мощность стратона составляет от 80 до 100 м (Пояснительная записка..., 2000).

МЕЗОЗОЙСКАЯ ЭРАТЕМА

Юрская система. Нижний отдел

Юхтинская свита

На известняках олекминской свиты с региональным несогласием залегает осадочная толща песчаников юхтинской свиты с прослоями конгломератов, гравелитов, алевролитов и аргиллитов. Мощность свиты по площади составляет 40-70 м.

КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭРАТЕМА

На территории выделены палеогеновые, неогеновые, нерасчлененные палеоген-неогеновые и четвертичные образования, перекрывающие маломощным чехлом более древние породы.

Палеогеновая система

Палеогеновые отложения представлены: эоценовыми озерными песками и делювиально-аллювиальными отложениями (делбинская свита, мощностью 10-17 м), мелко-валунным и галечным аллювием с песчано-глинистым заполнителем (унгринская свита), эоцен-олигоценным гипергенным элювием, корой выветривания, преимущественно глинистого состава (якутская толща), олигоценным аллювием и делювиально-аллювиальными образованиями (нерюнгринская свита).

Палеогеновая и неогеновая системы нерасчлененные

К нерасчлененным палеоген-неогеновым отложениям отнесены следующие комплексы пород: аллювиальные (с участием делювиально-аллювиальных), делювиально-аллювиальные отложения, в той или иной степени затронутые выветриванием.

Аллювиальные (с участием делювиально-аллювиальных) отложения нерасчлененные объединяют комплекс образований, залегающий в днищах долин Селигдара и Якокита и известный также под названием «древний аллювий» или

«погребенный аллювий», «пролювиально-аллювиальные и аллювиально-делювиальные отложения».

Делювиально-аллювиальные палеоген-неогеновые образования залегают в верхних частях долин мелких водотоков. Данные образования сложены несортированными валунно-галечно-щебнистыми отложениями с глинисто-песчаным, суглинистым заполнителем. Мощность отложений достигает 70 м.

Неогеновая система

Неогеновые отложения представлены:

- русловым аллювием олелачикитской свиты и раздольнинской толщи, представленным валунно-галечными и гравийно-галечными отложениями с разномерным песчаным заполнителем;
- озерными и болотными песчаными и песчано-глинистыми отложениями мандыгайской свиты;
- солифлюксиями сиваглинской толщи, представляющим собой продукты коры выветривания (красноцветные глины с редким включением дресвы);
- плиоценовым делювио-аллювием, сложенным супесью, суглинком, песком и глиной с включением валунов, галька, щебень, дресва и гравий.

Мощность неогеновых отложений составляет от 1,7 до 16,5 м (Пояснительная записка..., 2000).

Четвертичная система

Встречаются неоплейстоценовые и голоценовые отложения. В неоплейстоцене выделяются: лимноаллювий среднего звена, аллювий и лимноаллювий среднего и верхнего звеньев нерасчлененных, лимноаллювий верхнего звена. Выделены нерасчлененные аллювиальные и делювиально-аллювиальные отложения верхнего звена неоплейстоцена – голоцена. В голоцене выделяют аллювиальные, болотные и техногенные отложения.

Неоплейстоценовый раздел. К среднему звену относятся озерно-аллювиальные отложения, представленные буровато-серыми горизонтально-слоистыми полевошпат-кварцевыми песками мощностью от 2,8 до 4,7 м.

Аллювиальные отложения среднего и верхнего звена нерасчлененные, мощностью от 4-6 до 10-15 м, сложены валунно-галечным и песчано-галечным материалом.

Озерно-аллювиальные отложения среднего и верхнего неоплейстоцена нерасчлененные, представленные светло-коричнево-серыми косослоистыми кварц-полевошпатовыми песками. Неполная мощность отложений равна 10 м.

К верхнему звену относятся озерно-аллювиальные отложения, сложенные буровато-серым тонко- и мелкозернистым песком. Мощность отложений изменяется от 1,0 до 1,7 м.

К верхнему звену неопейстоцена – голоцена нерасчлененных относятся аллювиальные отложения первой надпойменной террасы высотой до 8-15 м по долинам рек Алдан, Селигдар, Бол. Куранах, Якокит. Разрез осадков имеет преимущественно двучленное строение: верхняя его часть представлена пойменной, а иногда старичной (песчаной и глинисто-песчаной) фациями аллювия, а нижняя - валунно-галечными отложениями русловой фации. Мощность образований до 10-15 м (Пояснительная записка..., 2000).

Голоценовый надраздел. К современным отложениям отнесены аллювиальные осадки, делювиально-аллювиальные образования, биогенные и техногенные отложения.

Аллювиальные отложения сложены песчано-глинистыми, песчано-илистыми и песчаными отложениями, сменяющимися вниз по разрезу валунно-галечным материалом. Отложения имеют преимущественно серую окраску, включают местный докайнозойский обломочный материал плохой и средней степени окатанности. Мощность отложений изменяется от 0,5 до 7,0 м.

Для делювиально-аллювиальных образований характерны сложные взаимоотношения собственно аллювиального и склонового материала, зачастую наряду с галькой и валунами образования содержат неокатанный или весьма слабоокатанный материал (глыбы, щебень, дресву). Заполнитель - глинистый песок, супесь или суглинок. Мощность отложений, как правило, не превышает 3 м.

Болотные отложения представлены сфагново-осоковым торфом с древесными остатками. Они содержат минеральные включения, ил и иловую супесь. Мощность торфяников до 2 м.

Техногенные образования подразделяются на насыпные, перемывные и намывные образования. Насыпные отложения представляют собой отвалы карьеров золоторудных месторождений на водоразделе Селигдар-Якокит, сложенные глыбовым и щебнистым материалом с дресвяно-супесчаным заполнителем. Мощность отложений до 25 м. Также к насыпным отложениям относятся грунты, которыми сложены ограждающие дамбы хвостохранилища КЗИФ, мощность отложений достигнет 30 м. Перемывные отложения слагают отвалы дражных и старательских полигонов по долинам рек и ручьев. Они представлены валунно-галечным материалом с гравийно-песчаным, песчаным или песчано-глинистым заполнителем. Мощность их изменяется

от 2 до 15 м. К намывным отложениям отнесены суглинистые, песчано-глинистые и глинистые осадки, мощностью до 30 м, хвостохранилища Куранахской ЗИФ в долине ручья Латышский.

Четвертичная система нерасчлененная

К четвертичным нерасчлененным отложениям отнесены пролювиально-делювиальные (p-d) отложения в долинах небольших водотоков, элювий (e) и делювий (d). Отложения представлены несортированными песками и суглинками с большим количеством (до 60%) мелких и крупных глыб, щебня, дресвы. Обломочный материал, как правило, не окатан или плохо окатан (Пояснительная записка..., 2000).

3.2 Тектоника

Исследуемая площадь расположена на северном склоне Алданского щита, на его сочленении с Алданской антеклизой (Рис.10). В пределах территории можно выделить следующие типы геологических структур (структурные этажи): структуры раннедокембрийского кристаллического фундамента (нижний (I-ый) структурный этаж), платформенные структуры (II-й структурный этаж), структуры мезозойской тектономагматической активизации (III-й структурный этаж) и структуры неотектонической активизации (верхний (IV-ый) структурный этаж).

Структуры кристаллического фундамента (нижний (I-ый) структурный этаж)

Нижний структурный этаж сложен раннеархейскими глубокометаморфизованными и сложнодислоцированными породами верхнеалданской (верхний ярус) и федоровской (нижний ярус) серий. Важную роль также играют древнейшие ультраметагенные и интрузивные породы (Пояснительная записка..., 2000).

Платформенные структуры (II-ой структурный этаж)

Образования II-го структурного этажа представлены венд-нижнекембрийскими осадочными породами. Строение этажа простое, слагающие его породы залегают субгоризонтально со слабым наклоном (менее 1°) на север-северо-восток (Пояснительная записка..., 2000).

Структуры эпиплатформенной активизации (III-ий структурный этаж)

Сформированные во время поздне триасовой активизации структуры, а именно осадочный чехол, блоковые, магматогенные и разрывные структуры, объединены в III-ий структурный этаж.

Структуры осадочного чехла. Осадочные образования имеют «реликтовое» распространение и представлены терригенными отложениями нижней юры. Отложения нижней юры слагают верхнюю часть разреза платформенного чехла в пределах Куранахской грабен-впадины, где они лежат горизонтально или со слабым наклоном (до 1 градуса) на север.

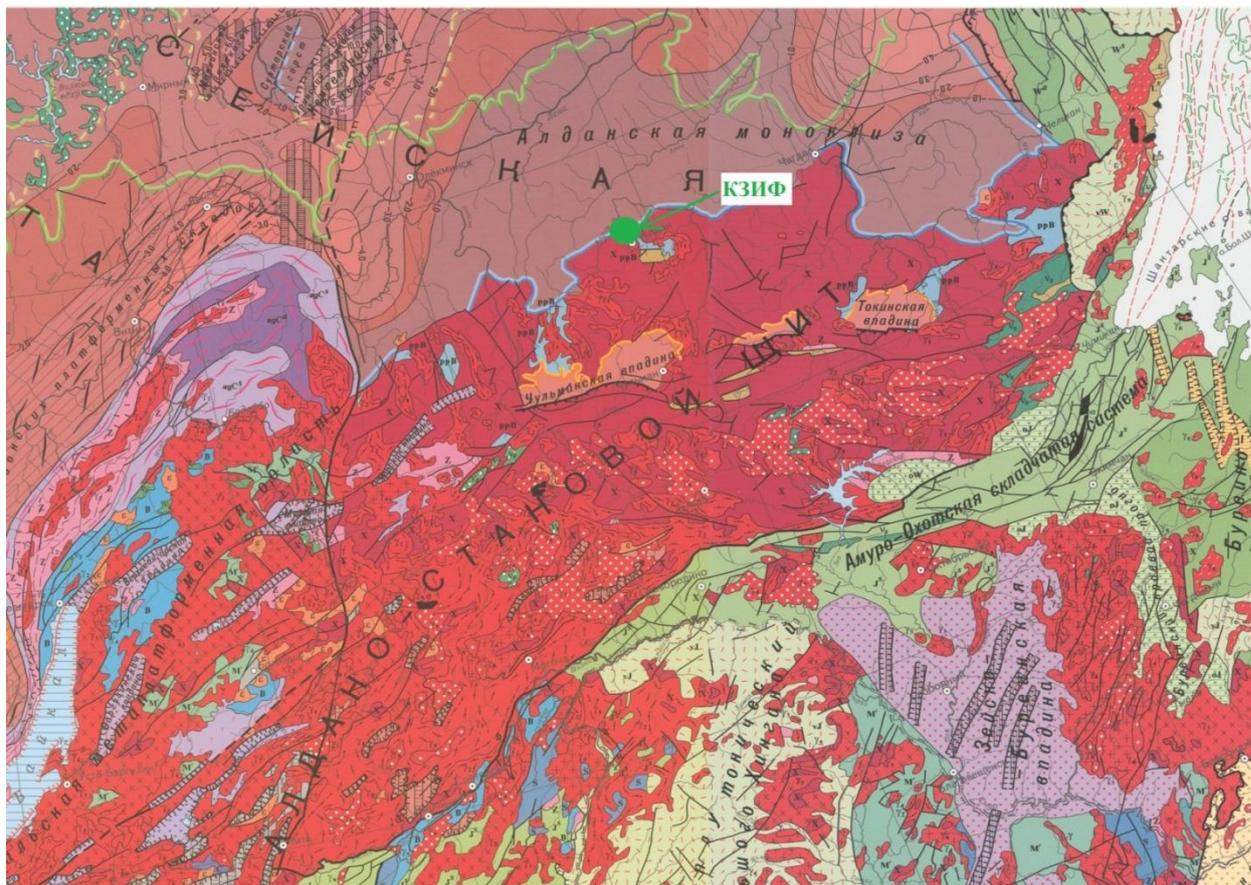


Рисунок 10 Выкопировка тектонической карты России, сопредельных территорий и акваторий, масштаб: 1:4000000 (Составлена: Издательство МГУ, 2006 г., редактор(ы): Милановский Е.Е.)

Блоковые структуры. Площадь расположена на крайней северо-западной части надпорядковой структуры – Центрально-Алданского сводово-купольного поднятия (ЦАСКП).

Основными блоковыми структурами I-го порядка, осложняющими ЦАСКП являются: Якокитское, Угоянское, Инаглинское локальные плутоно-тектонические поднятия и Куранахская грабен-впадина. Для поднятий характерна большая степень эродированности платформенного чехла, насыщенность магмопроявлениями мезозойского возраста. Границами поднятий служат глубинные разломы.

Куранахская грабен-впадина площадью около 850 км² расположена в центральной части. От окружающих её поднятий грабен-впадина обособлена системой ступенчатых сбросов различных простираний. Мощность платформенного чехла в центре до 700 м.

Магматогенные структуры. В Центральном Алданском районе выделяют две области развития магматизма: Якокитская и Алданская, интерпретируемые как магматические очаги 1-го порядка. Данные магмоструктуры приурочены: Якокитская к Якокутскому поднятию, Алданская – к Угоянскому поднятию и Куранахской грабен-впадине.

Разрывные нарушения. Современный дизъюнктивный план территории был сформирован в основном в период эпиплатформенной активизации, в которую были вовлечены практически все зоны древних разрывных нарушений. Образование разломов происходило преимущественно в условиях растяжения земной коры. Разломы представляют собой зоны дробления и катаклаза различной мощности, часто подвергнутые интенсивным гидротермально-метасоматическим изменениям. Большая часть дизъюнктивов является сбросами, реже – взбросами.

В качестве главных разрывных нарушений выделены разломы, определившие блоковое строение района и являющиеся границами структур I и II порядков. Главными разломами северо-западной ориентировки являются: 1) Эмельджакский (южная ветвь), как граница Угоянского поднятия, Эльконского горста и Куранахской грабен-впадины (частично); 2) Юхухтинский, как граница Угоянского поднятия, Эльконского горста, и Куранахской и Далкитской грабен-впадин. Из разломов северо-восточного простирания выделены: 1) Неричинский, как граница Далкитской грабен-впадины и основной части Угоянского поднятия; 2) Северокуранахский, как граница Угоянского поднятия и Куранахской грабен-впадины. Из разломов ортогональной системы наиболее важен субширотный Североалданский, как граница Якокутского поднятия, Эльконского горста и Куранахской грабен-впадины. Амплитуды вертикальных перемещений по отдельным разломам обычно составляют десятки метров. При этом суммарные смещения блоков по системе трещин, объединяемых в единый разлом, достигают 500 м. Ширина полосы разломов в рамках единого дизъюнктива изменяется от первых км до 10 км (Пояснительная записка..., 2000).

Структуры неотектонической активизации (IV-ый структурный этаж)

В центральной части Куранахской грабен-впадины ввиду интенсивной трещинной неотектоники, а также карстования подстилающих карбонатных пород, отложения нижней юры залегают в мелких блоках или микрограбенах с углами

падения от 510 до 25°. Размеры таких блоков в основном не превышают десятков – первых сотен метров.

К структурам неотектонической активизации отнесены грабен-долины рек Селигдар, Бол. Куранах, Якокит, вмещающие рыхлые кайнозойские образования. Грабен-долины совпадают с зонами крупных разрывных нарушений, которые имеют длительную историю геологического развития от венда до неогена включительно (Якутский) (Пояснительная записка..., 2000).

Современная тектоническая активность проявляется, в основном в виде землетрясений и выражается в высокой сейсмичности района.

Согласно геологической карты района работ, через всю площадь хвостохранилища КЗИФ протягивается разрывное нарушение.

Сейсмичность района изысканий согласно СП 14.13330.2014 (учитывая ответственность сооружений) составляет: для объектов массового строительства (карта ОСР-97 А) - 6 баллов, для объектов повышенной ответственности (карта ОСР-97 В) - 6 баллов и для особо ответственных объектов (карта ОСР-97 С) – 7 баллов (таблица 4) (Технический отчет..., 2017).

Таблица 4

Расчетная сейсмическая интенсивность в баллах (Технический отчет..., 2017)

Населенный пункт	Карты ОСР-97		
	А	В	С
Н. Куранах	6	6	7

Примечание: карта А (массовое строительство); карта В (объекты повышенной ответственности); карта С (особо ответственные объекты).

Грунты по сейсмическим свойствам относятся ко II и III категориям, скальные грунты основания – к I категории.

3.3 Инженерно-геологические условия территории хвостохранилища КЗИФ

По материалам инженерно-геологических изысканий, проведенных в 2017 году, в состав которых входили буровые работы, лабораторные исследования и статическое зондирование, установлено, что в геологическом строении территории принимают участие четвертичные отложения: техногенного, биогенного, элювиально-

делювиального и аллювиального генезиса, а также карбонатные породы раннекембрийского возраста.

Инженерно-геологические разрезы представлены в графическом приложении 2.

На основании полевого описания, лабораторных исследований и результатов статического зондирования, согласно ГОСТ 25100-2011, ГОСТ 20522-2012, на территории ГТС хвостохранилища КЗИФ выделен 1 слой и 25 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

Слой-1 - Почвенно-растительный слой (Q_{IV});

ИГЭ-1 - Насыпной грунт (галечниковый грунт с супесчаным заполнителем), средней степени водонасыщения (tQ_{IV});

ИГЭ-1м - Насыпной грунт (галечниковый грунт) твердомерзлый, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании средней степени водонасыщения (tQ_{IV});

ИГЭ-2 - Намывной грунт - песок пылеватый, средней плотности, средней степени водонасыщения (tQ_{IV});

ИГЭ-2м - Намывной грунт - песок пылеватый, твердомерзлый, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании – рыхлый, средней степени водонасыщения (tQ_{IV});

ИГЭ-3 - Намывной грунт - песок средней крупности, средней плотности, малой степени водонасыщения (tQ_{IV});

ИГЭ-4м - Намывной грунт - супесь твердомерзлая, слабольдистая, массивной криотекстуры, при оттаивании - текучая (tQ_{IV});

ИГЭ-4 - Намывной грунт - супесь пластичная (tQ_{IV});

ИГЭ-5 - Намывной грунт - суглинок мягкопластичный (tQ_{IV});

ИГЭ-6м - Супесь слабозаторфованная, твердомерзлая, льдистая, массивной и слоистой криогенной текстуры, при оттаивании - текучая (bQ_{III-IV});

ИГЭ-7м - Супесь дресвяная твердомерзлая, слабольдистая, массивной криотекстуры, при оттаивании - пластичная ($e-dQ_{III-IV}$);

ИГЭ-7 - Супесь дресвяная твердая ($e-dQ_{III-IV}$);

ИГЭ-8м - Суглинок дресвяный твердомерзлый, слабольдистый, массивной и слоистой криотекстуры, при оттаивании - полутвердый ($e-dQ_{III-IV}$);

ИГЭ-8 - Суглинок дресвяный тугопластичный ($e-dQ_{III-IV}$);

ИГЭ-9м - Дресвяный грунт с суглинистым заполнителем, твердомерзлый, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании – заполнитель текучий ($e-dQ_{III-IV}$);

ИГЭ-10 - Щебенистый грунт средней степени водонасыщения ($e-dQ_{III-IV}$);

ИГЭ-10м - Щебенистый грунт твердомерзлый, малольдистый, корковой криотекстуры, при оттаивании средней степени водонасыщения ($e-dQ_{III-IV}$);

ИГЭ-11 - Супесь гравелистая твердая (aQ_{III-IV});

ИГЭ-12- Гравийный грунт с супесчаным твердым заполнителем (aQ_{III-IV});

ИГЭ-12м - Гравийный грунт с супесчаным заполнителем, твердомерзлый, слабольдистый, массивной и корковой криотекстуры, при оттаивании заполнитель твердый (aQ_{III-IV});

ИГЭ-13 - Доломит очень низкой прочности, средней степени водонасыщения (ϵ_1);

ИГЭ-13м - Доломит очень низкой прочности, твердомерзлый, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании - средней степени водонасыщения (ϵ_1);

ИГЭ-14 - Доломит малопрочный, плотный, размягчаемый (ϵ_1);

ИГЭ-15 - Доломит средней прочности, плотный, размягчаемый (ϵ_1);

ИГЭ-16 - Доломит прочный, очень плотный, размягчаемый (ϵ_1);

ИГЭ-17 - Доломит очень прочный, очень плотный, размягчаемый (ϵ_1) (Технический отчет..., 2017).

ИГЭ-1 Насыпной грунт (галечниковый грунт с супесчаным заполнителем) средней степени водонасыщения серо-коричневый, коричневый. Грунт неоднородный, слежавшийся, представлен гравийно- щебенисто- галечниковым грунтом с супесчаным и суглинистым коричневым заполнителем от 11-49% . Вскрыт на дамбе наращивания с поверхности, мощностью 0,8-26,4 м.

Грунт не засолен, обладает средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-1м Насыпной грунт (галечниковый грунт) твердомерзлый, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании средней степени водонасыщения серо-коричневый, коричневый, очень сильновыветрелый до супеси, щебня и дресвы Грунт вскрыт на дамбе наращивания и локально по трассам с поверхности, вскрытой мощностью 0,5-3,6 м.

Грунт неоднородный, слежавшийся, представлен гравийно- щебенисто- галечниковым грунтом с супесчаным и суглинистым коричневым заполнителем от 11-49%.

Грунт не засолен, обладает средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ - 2 Намывной грунт - песок пылеватый средней плотности средней степени водонасыщения коричневым. Грунт вскрыт на дамбе наращивания с глубины 1,0-28,2м, мощностью 0,8-23,0 м.

Грунт не засолен, обладает низкой степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-2м Намывной грунт - песок пылеватый твердомерзлый слабольдистый массивной криотекстуры, при оттаивании рыхлый средней степени водонасыщения коричневого цвета. Грунт вскрыт на дамбе наращивания с поверхности и с глубины 0,5-0,7м, мощностью 0,3-1,2 м.

Грунт не засолен, обладает низкой степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ – 3 Намывной грунт - песок средней крупности средней плотности малой степени водонасыщения серого и коричневого цвета. Грунт вскрыт на дамбе наращивания с поверхности и с глубины 1,5-12,0м, мощностью 1,0-6,0 м.

Грунт не засолен, обладает низкой и средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-4м Намывной грунт - супесь твердомерзлая слабольдистая массивной криотекстуры, при оттаивании текучая коричневая. Грунт вскрыт на дамбе наращивания с поверхности, мощностью 0,5-1,2 м.

Грунт не засолен, обладает средней и высокой степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ - 4 Намывной грунт - супесь пластичная коричневая. Грунт вскрыт на дамбе наращивания с глубины 2,5-18,0м, мощностью 0,7-16,0 м.

Грунт не засолен, обладает средней и высокой степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-5 Намывной грунт - суглинок мягкопластичный коричневого цвета. Грунт вскрыт на дамбе наращивания с глубины 13,0-37,0м, мощностью 1,0-23,5 м.

Грунт не засолен, обладает средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ - 6м Супесь слабозаторфованная твердомерзлая льдистая массивной и слоистой криогенной текстуры при оттаивании текучая темно-коричневая. Грунт вскрыт локально с поверхности, мощностью 0,2-1,8м.

Грунт не засолен, обладает высокой степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-7м Супесь дресвяная твердомерзлая слабольдистая массивной криотекстуры при оттаивании пластичная темно-коричневая. Грунт вскрыт локально с поверхности и с глубины 1,2 м, мощностью 0,3-1,5м.

Грунт не засолен, обладает низкой степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ - 7 Супесь дресвяная твердая коричневая, серая, шоколадно-коричневая. Грунт вскрыт локально с глубины 1,8-11,1 м, вскрытой мощностью 0,9-2,6 м.

Грунт не засолен, обладает средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-8м Суглинок дресвяный твердомерзлый слабольдистый массивной и слоистой криотекстуры, при оттаивании полутвердый темно-коричневый. Грунт вскрыт локально с поверхности, мощностью 0,5-2,1 м.

Грунт не засолен, обладает средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-8 Суглинок дресвяный тугопластичный коричневый. Грунт вскрыт локально с поверхности под почвенно-растительным слоем и с глубины 1,0-1,3 м, мощностью 0,2-1,6 м.

Грунт не засолен, обладает средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ- 9м Дресвяный грунт с суглинистым заполнителем твердомерзлый слабольдистый массивной криотекстуры, при оттаивании заполнитель текучий. Грунт имеет локальное распространение по площадке, вскрыт с поверхности и с глубины 1,0-1,8 м, мощностью 0,9-2,3 м.

Грунт не засолен, обладает средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-10 Щебенистый грунт средней степени водонасыщения с суглинистым и супесчаным заполнителем до 18-29%, имеет локальное распространение по площадке.

Грунт вскрыт с поверхности под почвенно-растительным слоем и с глубины 5,3-8,3 м, мощностью 0,9-2,9 м.

Грунт не засолен, обладает низкой и средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-10м Щебенистый грунт твердомерзлый малольдистый корковой криотекстуры при оттаивании средней степени водонасыщения. Заполнитель представлен супесью и суглинком коричневого цвета до 29%. Грунт имеет локальное распространение по площадке, вскрыт с поверхности и с глубины 0,5-1,2 м, мощностью 0,8-2,2 м.

Грунт не засолен, обладает низкой и средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-11 Супесь гравелистая твердая коричневая, серая. Грунт вскрыт локально с поверхности под почвенно-растительным слоем и с глубины 14,8-53,5 м, мощностью 1,0-4,0 м.

Грунт не засолен, обладает низкой и средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-12 Гравийный грунт с супесчаным твердым заполнителем с суглинистым и супесчаным заполнителем до 31-49%, распространен локально. Грунт вскрыт с глубины 1,6-49,1 м, мощностью 0,6-12,0 м.

Грунт не засолен, обладает низкой степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-12м Гравийный грунт с супесчаным заполнителем твердомерзлый слабольдистый массивной и корковой криотекстуры, при оттаивании заполнитель твердый. Грунт распространен по площадке локально, вскрыт с поверхности и с глубины 0,5-1,8 м, мощностью 2,2-8,0 м.

Грунт не засолен, обладает низкой и средней степенью коррозионной активности по отношению к стали.

ИГЭ-13 Доломит очень низкой прочности средней степени водонасыщения серый, темно-коричневый, серо-зеленый очень сильновыветрелый до супеси, суглинка, щебня и дресвы. Грунт вскрыт повсеместно с глубины 0,3-18,9 м, вскрытой мощностью 0,3-8,9 м

ИГЭ-13м Доломит очень низкой прочности твердомерзлый слабольдистый массивной криотекстуры, при оттаивании средней степени водонасыщения желтовато-белый, серо-зеленый, очень сильновыветрелый до супеси, суглинка, щебня и дресвы Грунт вскрыт повсеместно с глубины 0,5-15,1 м, вскрытой мощностью 0,6-9,2 м.

ИГЭ-14 Доломит малопрочный плотный размягчаемый серого цвета, сильнотрещиноватый, трещины ориентированы субвертикально и субгоризонтально к оси керна, хаотично и под углом 10-80° к оси керна. Грунт имеет локальное распространение по площади, встречен с глубины 0,6-9,4 м, вскрытой мощностью 0,3-2,1 м.

По коэффициенту размягчаемости, который равен 0,55, грунт характеризуется как размягчаемый.

ИГЭ-15 Доломит средней прочности плотный размягчаемый серого цвета, сильнотрещиноватый, трещины ориентированы субвертикально и субгоризонтально к оси керна, хаотично и под углом 10-80° к оси керна. ИГЭ-15 имеет повсеместное распространение, встречен с глубины 1,1-54,3 м, вскрытой мощностью 0,7-8,4 м.

По коэффициенту размягчаемости, равному 0,58, грунт размягчаемый.

ИГЭ-16 Доломит прочный очень плотный размягчаемый серого и желтовато-белого цвета, сильнотрещиноватый, трещины ориентированы субвертикально и субгоризонтально к оси керна, хаотично и под углом 10-80° к оси керна. Грунт повсеместно распространен по площади, встречен с глубины 0,5-54,6 м, вскрытой мощностью 1,0-8,6 м.

По коэффициенту размягчаемости, равному 0,67, грунт размягчаемый.

ИГЭ-17 Доломит очень прочный очень плотный размягчаемый серого и желтовато-белого цвета, сильнотрещиноватый, трещины ориентированы субвертикально и субгоризонтально к оси керна, хаотично и под углом 10-80° к оси керна. Грунт распространен по площади локально, встречен с глубины 0,8-14,6 м, вскрытой мощностью 0,4-8,4 м.

По коэффициенту размягчаемости, равному 0,73, грунт размягчаемый.

Значения нормативных и расчетных характеристик талых, мерзлых и скальных грунтов приведены в текстовом приложении 1 (таблицы 1.1-1.3).

Физико-механические свойства грунта, используемого для наращивания тела плотины

Для возведения дамб обвалования планируется использовать грунт из отвала пустых пород. Грунт представлен щебенистым грунтом с песчаным заполнителем до 29%. Влажность грунта: от 0,04 д.е. до 0,10 д.е., при среднем значении 0,06 д.е. Плотность минеральных частиц грунта: 2,68 г/см³ – 2,76 г/см³, при среднем значении 2,73 г/см³. Плотность грунта в естественном состоянии: 2,04 г/см³ – 2,20 г/см³, при среднем значении 2,12 г/см³. Плотность сухого грунта: 1,85 г/см³ – 2,10 г/см³, при среднем значении 2,00 г/см³. Коэффициент фильтрации в рыхлом состоянии: 0,09 – 3,17 м/сут., при среднем значении 1,80 м/сут.; в плотном состоянии 0,04 – 1,05 м/сут., при среднем значении 0,58 м/сут. Максимальная плотность: 2,14 – 2,78 г/см³ при оптимальной влажности 5 – 10%, при среднем значении плотности 2,43 г/см³ и оптимальной влажности 8%.

Необходимая плотность грунта достигается за счет уплотнения грунтовыми катками за 6-8 проходов по одному следу (Разработка предпроектной документации..., 2018).

3.4 Специфические грунты

В ходе проведения изысканий на исследуемой площадке были встречены грунты, обладающие специфическими свойствами, к ним относятся техногенные отложения, многолетнемерзлые и сезонно-мерзлые грунты и выветрелые скальные грунты (СП 11-105-97. СП 50-101-2004).

Выветрелые скальные грунты – доломит и мергель очень низкой прочности сильновыветрелые (ИГЭ-13, ИГЭ-13м).

Для элювиальных грунтов характерны: сложные условия залегания, высокая неоднородность, обусловленная неоднородностью материнской породы (наличием линз, прослоек, даек), избирательность процессов выветривания, разнообразие геохимических преобразований и, как следствие, повышенная изменчивость состава и свойств грунтов, наличие участков различной степени выветрелости, трещиноватости и неравномерной сжимаемости.

При проектировании необходимо учитывать, что элювиальные грунты значительно изменяют свои прочностные и деформационные свойства в условиях открытых котлованов при их неоднократном замачивании, высыхании и промерзании, а также в процессе эксплуатации, что связано с их дальнейшим выветриванием.

Вскрытая мощность сильновыветрелой зоны коры выветривания изменяется от 1,4 до 25,0 м.

К техногенным отложениям (tQ_{IV}) относятся насыпные грунты (ИГЭ-1, ИГЭ-1м) и намывные грунты (ИГЭ-2, ИГЭ-3м, ИГЭ-3, ИГЭ-4, ИГЭ-4м, ИГЭ-5), имеющие широкое распространение на площади хвостохранилища КЗИФ. Насыпные грунты представлены щебенисто-гравийно-галечниковым грунтом с супесчаным и суглинистым коричневым заполнителем от 10 до 49%.

Насыпной грунт по однородности состава и сложения характеризуется как планомерно возведенная насыпь. Вскрытая мощность слоя составила 1,4-25,0м. Возраст отсыпки более 5 лет. Консолидация насыпного грунта завершена (исходя из его возраста) (СП 11-105-97), однако, при проектировании на участках распространения насыпных грунтов необходимо учитывать их неоднородность по составу, неравномерную сжимаемость и возможность самоуплотнения, особенно при вибрационных воздействиях, замачивании.

Особенности проектирования оснований сооружений, возводимых на насыпных грунтах регламентированы в п. 6.6 СП 22.13330.2011 и п. 9 СП 11-105-97 часть III.

Намывные грунты, заполняющие чашу хвостохранилища, образованы в процессе намывного способа укладки хвостов и представлены песком пылеватым и средней крупности, супесью и суглинком.

Многолетнемёрзлые и сезонно-мерзлые грунты имеют повсеместное распространение на площади изысканий.

Температура ММГ на глубине влияния годовых изменений температур изменяется от минус 0,01 до минус 1,5⁰ С.

Температура начала замерзания грунтов приведена в таблице 5.

Таблица 5

Температура начала замерзания грунтов

Грунты	A, °C
Пески разных фракций	-0,1
Супеси	-0,15
Суглинки	-0,2

Криогенное строение грунтов во многом определяется их литологическим составом и влажностью.

Песчаные грунты имеют массивную криогенную текстуру, глинистые-массивную и слоистую, крупнообломочные грунты-массивную и корковую криогенную текстуру.

По льдистости мерзлые грунты подразделяются на: крупнообломочные грунты (ИГЭ-1м, ИГЭ-9м, ИГЭ-10м, ИГЭ-12м, ИГЭ-13м) и песок пылеватый (ИГЭ-2м) по суммарной льдистости – слабольшедистые, супесь (ИГЭ-4м), суглинок дресвяный (ИГЭ-8м) и супесь дресвяная (ИГЭ-7м) по льдистости за счет ледяных включений – слабольшедистые, супесь слабозаторфованная (ИГЭ-6м) – льдистая (ГОСТ 25100-2011).

По степени засоленности все мерзлые грунты относятся к незасоленным (ГОСТ 25100-2011).

Мёрзлые грунты в слое сезонного оттаивания дают осадку. В процессе строительства и эксплуатации при оттаивании мерзлых грунтов могут происходить неравномерные осадки грунта, как из-за неравномерного оттаивания, так и из-за различной льдистости грунта, что потребует проведение мероприятий по уменьшению этих осадков и приспособление конструкций сооружений к повышенным деформациям.

3.5 Инженерно-геологические процессы и явления

В пределах рассматриваемой площадки проектируемого строительства из числа современных экзогенных и эндогенных геологических процессов, отрицательно влияющих на строительство, следует отметить морозное пучение грунтов и повышенную сейсмичность района. Склоновые гравитационные процессы, такие как обвалы, оползни и осыпи на исследуемой площадке не выявлены.

Район производства изысканий относится к району развития карста в труднорастворимых карбонатных породах. Основное внимание было направлено на обнаружение уже сформировавшихся карстовых форм, так как время, требуемое для формирования новых значительных по размеру карстовых пустот, не соизмеримо, со сроком службы инженерных сооружений. На период изысканий в 2017 году на исследуемой площадке карстовые пустоты не отмечены.

Морозное пучение грунтов

Начало пучения приходится на середину – конец ноября и продолжается в течение всей зимы с максимальной интенсивностью с января по март. Наибольшая величина пучения наблюдается на переувлажненных участках. Это преимущественно локальные понижения рельефа, где существуют оптимальные условия для его развития. На переувлажненных участках в текучих, пластичных глинистых грунтах сезонное пучение грунтов может достигать 30-50 см. К участкам с минимальной величиной пучения (до 1-2 см) относятся интервалы, сложенные крупнообломочными грунтами с влажностью 15-25% и глубоким залеганием грунтовых вод.

При проявлении морозного пучения грунты оказывают механическое воздействие на фундаменты сооружений, поэтому при проектировании необходимо предусмотреть мероприятия по защите фундаментов от воздействия сил морозного пучения.

По категории опасности процессов участок работ характеризуется как весьма опасный по пучению в естественных условиях (потенциальная площадная пораженность территории более 75 %) (СП 115.13330.2016).

В таблице 6 приведена классификация выделенных инженерно-геологических элементов по степени пучинистости.

Разновидности грунтов по степени пучинистости

№ ИГЭ	Разновидность грунта по степени пучинистости
1	непучинистый
1м	непучинистый
2	непучинистый
2м	непучинистый
3	слабопучинистый
4м	среднепучинистый
4	среднепучинистый
6м	сильнопучинистый
7м	слабопучинистый и среднепучинистый
7	слабопучинистый
8м	слабопучинистый и среднепучинистый
8	слабопучинистый и среднепучинистый
9м	слабопучинистый и среднепучинистый
10	слабопучинистый и среднепучинистый
10м	слабопучинистый и среднепучинистый
11	слабопучинистый
12	слабопучинистый
12м	слабопучинистый

Сейсмичность района

Территория проектирования для объектов повышенной ответственности отнесена к 6-ти и 7-ми бальной зоне. Ограждающая дамба относится к I классу гидротехнических сооружений.

В соответствии с нормативными документами за исходную сейсмичность принято воздействие 7 баллов. Грунты по сейсмическим свойствам относятся ко II и III категории, скальные грунты основания – к I категории. По категории опасности процессовучасток работ характеризуется как опасный по сейсмичности (ОСР-97, СП 14.13330.2014, СП 115.13330.2016).

Глава 4 Гидрогеологические условия

В гидрогеологическом разрезе исследуемой территории выделяются следующие виды подземных вод:

- четвертичный водоносный горизонт;
- объединенный верхнепротерозойско-нижнекембрийский водоносный комплекс, приуроченный к карбонатным породам (Рисунок 11).

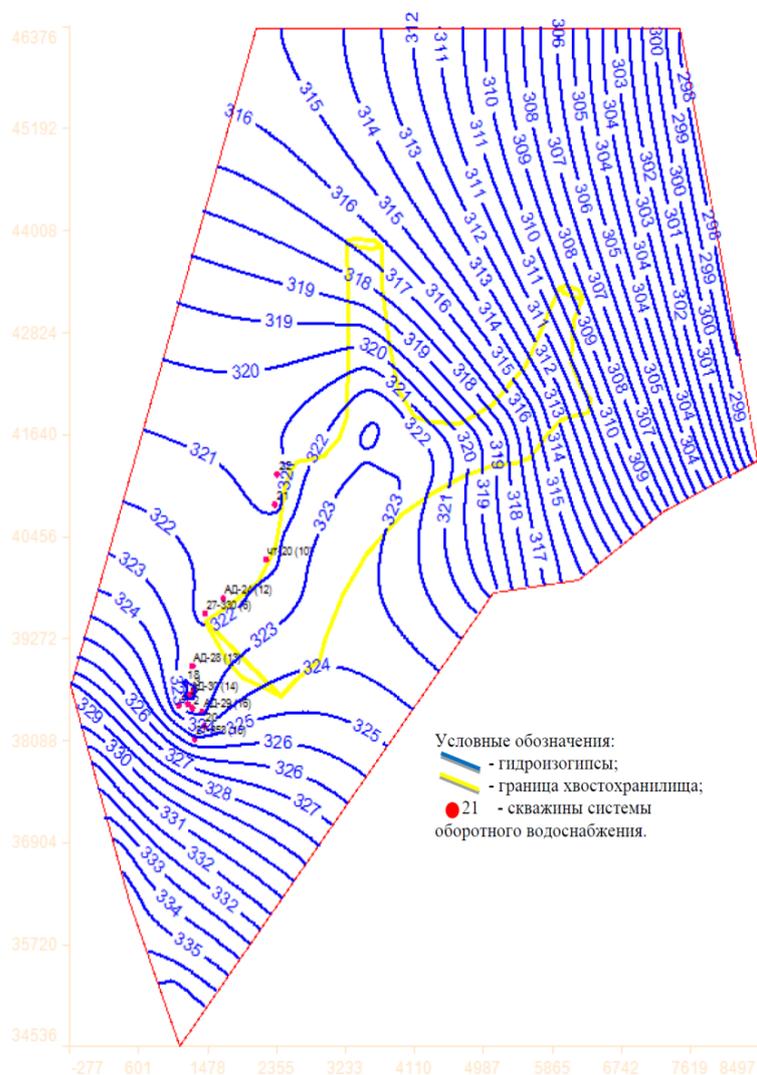


Рис. 11 Карта гидроизогипс объединенного верхнепротерозойского и нижнекембрийского водоносного комплекса (Научно-технический отчет..., 2017).

Четвертичный водоносный горизонт.

При проведении инженерных изысканий в 2017 году подземные воды встречены на дамбе наращивания, установившийся уровень грунтовых вод – 4,0-22,3 м, что соответствует абсолютным отметкам 398,12-415,27 м.

Питание подземных вод четвертичного горизонта в пределах чаши хвостохранилища в основном происходит за счёт инфильтрации из поступающей пульпы, на остальной территории хвостового хозяйства КЗИФ большую роль в питании водоносного горизонта играет инфильтрация атмосферных осадков и оттаивания сезонномёрзлых грунтов.

Водовмещающими грунтами являются намывные и насыпные грунты, элювильно-делювиальные, а также аллювиальные отложения. Водопором для данных подземных вод являются менее трещиноватые грунты скального массива.

По химическому составу воды хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные магниево-кальциево-натриевые (по М.Г. Курлову).с общей минерализацией 161,68-188,95 мг/л (пресные).

По показателю рН – реакция воды щелочная (по величине рН В.Е. Посохова).

Воды неагрессивные к бетону нормальной плотности водонепроницаемости марки W4-W8 по содержанию бикарбонатной щелочности и по водородному показателю (рН), среднеагрессивные к бетону нормальной плотности водонепроницаемости марки W4 по содержанию свободной углекислоты. Коррозионная активность грунтовых вод по отношению к алюминиевой и свинцовой оболочке – средняя. По содержанию хлоридов грунтовые воды являются неагрессивными по отношению к арматуре железобетонных конструкций при постоянном погружении и при периодическом смачивании. Степень агрессивного воздействия грунтовой воды на металлические конструкции средняя (СП 28.13330.2012).

Результаты определения химического анализа воды приведены в текстовом приложении 2.

Объединенный верхнепротерозойский и нижнекембрийский водоносный комплекс трещинно-карстовых вод. Отложения комплекса представлены мергелями, глинистыми, известковистыми доломитами с прослоями известняков пестроцветной, тумулдурской и унгелинской свит. Воды комплекса относятся к трещинно-карстовым и трещинным, с повышенной водообильностью в верхней части разреза.

Питание подземных вод водоносного комплекса происходит за счёт инфильтрации атмосферных осадков и частичного (либо полного) поглощения поверхностного стока в долинах рек и ручьев. По химическому составу подземные воды являются гидрокарбонатными кальциево-магниевыми или магниево-кальциевыми с минерализацией 0.28 – 0.38 г/дм³.

Направление движения подземных вод данного комплекса – север-северо-восточное, в сторону долины р. Алдан, где и происходит их разгрузка в виде разномдебитных источников.

Отсутствие сколько-нибудь выдержанных водоупоров на площади предопределяет тесную гидравлическую взаимосвязь между водоносными комплексами.

На участках распространения многолетнемерзлых грунтов, в теплый период года формируются надмерзлотные воды слоя сезонного оттаивания. Водовмещающими грунтами являются грунты слоя сезонного оттаивания. Мощность водоносного слоя данного типа вод зависит от глубины оттаивания деятельного слоя.

По результатам лабораторных испытаний нормативные значения коэффициента фильтрации приведены в таблице 7.

Таблица 7

Нормативные значения коэффициента фильтрации
(Технический отчет...,2017)

ИГЭ	Коэффициент фильтрации, м/сут	
	в рыхлом состоянии	в плотном состоянии
2	1,81	0,98
3	2,61	1,32
4	0,88	0,48
5	0,14	0,08
4м (в оттаявшем состоянии)	1,05	0,56

По дамбе наращивания проводятся стационарные наблюдения (мониторинг) за уровнем воды. Для этого оборудованы специальные скважины (пьезометры) на площадке дамбы.

Глава 5 Геокриологические условия

В геокриологическом отношении территория хвостового хозяйства КЗИФ расположена в зоне островного развития многолетнемерзлых пород и сложена как многолетнемерзлыми, так и талыми грунтами.

На схеме территории хвостового хозяйства КЗИФ проведена условная граница между зонами распространения талых и многолетнемерзлых грунтов (графическое приложение 3).

К основным факторам, определяющим мощность сезонномерзлого и сезонноталого слоев в естественных условиях для рассматриваемой территории можно отнести мощность и плотность снежного покрова, гранулометрический состав и влажность пород, характер почвенного и растительного покрова, температуры теплого и холодного времен года. Формирование сезонномерзлого слоя начинается почти одновременно на разных формах макрорельефа – в последней декаде сентября, когда среднесуточные температуры воздуха и поверхности почво-грунтов устойчиво устанавливаются на отрицательных значениях. В середине-конце мая сверху начинается процесс протаивания сезонноталого слоя, тогда как в нижней еще продолжается промерзание. Полное оттаивание завершается к началу-середине августа, иногда позже, в зависимости от летних среднесуточных температур воздуха.

I – зона распространения многолетнемерзлых грунтов.

Максимальная вскрытая при изысканиях мощность ММП составляет 20 м.

На период изысканий грунты находились в мерзлом состоянии. Грунты имеют массивную и корковую криогенную текстуру, при оттаивании: глинистые грунты твердые, пластичные и текучие, песчаные и крупнообломочные грунты малой и средней степени водонасыщения.

Глубина сезонного оттаивания зависит от многих факторов (летняя температура воздуха, растительный и моховой покров, влажность и литологический состав грунтов зоны аэрации и т.п.).

Температура грунтов на глубине годовых нулевых амплитуд минус 0,01 °С – минус 1,5 °С.

Нормативная глубина сезонного оттаивания, рассчитанная по СП 25.13330.2012, составляет (в среднем) 2,9 м.

II – зона распространения талых грунтов

На период изысканий грунты слоя сезонного промерзания находились в талом и сезонномерзлом состоянии, массивной криогенной текстуры, при оттаивании

глинистые грунты твердые, пластичные и текучие, песчаные и крупнообломочные малой и средней степени водонасыщения.

Температура грунтов на глубине годовых нулевых амплитуд (10 м) изменяется в пределах от плюс 0,2 °С до плюс 3,31 °С.

Нормативная глубина сезонного промерзания, рассчитанная по СП 25.13330.2012, составляет (в среднем) 4,10 м.

В текстовом приложении 3 (таблице 3.1 и 3.2) приведены результаты расчетов нормативных глубин сезонного оттаивания и промерзания.

По совокупности условий исследуемую территорию в отношении строительства следует считать сложной, отнесенной к III категории сложности.

Глава 6 Расчеты устойчивости низовой ограждающей дамбы хвостохранилища КЗИФ

Учитывая, что необходимо увеличение полезной емкости хвостохранилища Куранахской ЗИФ за счет наращивания существующей низовой дамбы, требуется проведение оценки её устойчивости. В связи с этим, мною проводился расчёт устойчивости сооружения, который изложен ниже.

Существуют различные методики расчета предельного равновесия, позволяющие оценить устойчивость ограждающих дамб, такие как: метод Бишопа, метод Феллениуса-Петтерсона, метод Спенсера, методы Сарма, методы Шахунянца и другие (Рекомендации по выбору метода..., 1986; Bishop, 1960; Spencer, 1967; Fellenius, 1936).

Для расчета устойчивости дамбы хвостохранилища КЗИФ данными методами мною использовался программный комплекс Geo5, а именно программа «Устойчивость откоса».

Программа «Устойчивость откоса» предназначена для проектирования и анализа устойчивости откосов (склонов) слоистого грунтового массива. Поверхность скольжения может быть смоделирована круглоцилиндрической (методы Бишопа, Феллениуса-Петтерсона или Спенсера, Шахунянца) или полигональной (метод Сарма, Шахунянца или Спенсера). Также программа может быть использована для расчёта устойчивости выемок, насыпей и анкерированных опорных конструкций. Решение выполняется на двумерной модели грунтового массива.

В расчёте можно также моделировать влияние землетрясения.

Также в ПО Geo5 есть функция «Оптимизация», позволяющая найти наиболее критическое положение поверхности скольжения (самый низкий коэффициент устойчивости).

Оптимизация поверхности скольжения проходит так, что программа последовательно меняет положения отдельных точек поверхности и проверяет, какое изменение положения данной точки приводит к самому большому понижению устойчивости. Крайние точки поверхности скольжения сдвигаются по поверхности рельефа, внутренние точки перемещаются в вертикальном и горизонтальном направлениях.

При сложном строении профиля склона (откоса) целесообразно задавать оптимизацию нескольких исходных положений поверхности скольжения. Так сначала вручную проводятся круглоцилиндрические поверхности скольжения, и находится наиболее критическое положение данной поверхности по результатам расчетов

несколькими методами. Далее проводится оптимизация круглоцилиндрической поверхности одним из возможных методов (Бишоп, Шахунянц и т.д.). Затем перестраиваем круглоцилиндрическую поверхность в полигональную, также проводим её оптимизацию. Выбираем наиболее критичный вариант.

Стандарты и методы расчёта программ

Для всех программ GEO5 есть возможность центрально настраивать параметры стандартов и методов расчётов (Руководство пользователя Geo5, 2018).

Расчет устойчивости низовой ограждающей дамбы хвостохранилища КЗИФ производится по коэффициенту запаса.

Исходные данные

В строении низовой ограждающей дамбы принимают участие следующие инженерно-геологические элементы: ИГЭ-1, ИГЭ-1м, ИГЭ-2, ИГЭ-2м, ИГЭ-3, ИГЭ-4, ИГЭ-4м, ИГЭ-5, ИГЭ-11, ИГЭ-12, ИГЭ-15 и ИГЭ-16, необходимые для расчетов характеристики которых приведены в таблице 8. ИГЭ-15 и ИГЭ-16 объединены в слой Скальное основание.

ИГЭ-0 представляет собой щебенистый грунт с песчаным заполнителем из отвала пустых пород, которым будут отсыпаны будущие дамбы обвалования.

Таблица 8

Исходные данные, необходимые для расчетов

ИГЭ №	Характеристика грунта	Удельный вес, γ	Угол внутреннего трения, φ	Удельное сцепление грунта, c	Удельный вес скелета грунта, γ_s	Пористость, n
Единицы измерения		кН/м ³	град.	кПа	кН/м ³	д.е.
1	Насыпной грунт - галечниковый грунт с супесчаным заполнителем	21,7	33	6	20,3	0,2526
1м	Насыпной грунт - галечниковый грунт твердомерзлый, слабобльдистый	21,5	33	6	19,7	0,2825
2	Намывной грунт - песок пылеватый	17,0	19	4	14,8	0,4344

	средней плотности					
2м	Намывной грунт - песок пылеватый тврдомерзлый слабльдистый	16,4	19	4	13,2	0,4989
3	Намывной грунт - песок средней крупности средней плотности	17,0	16	3	15,7	0,4086
4	Намывной грунт - супесь пластичная	16,9	21	19	15,7	0,4906
4м	Намывной грунт - супесь тврдомерзлая слабльдистая	16,8	21	19	12,1	0,5452
5	Намывной грунт - суглинок мягкопластичный	17,2	17	13	13,6	0,4945
11	Супесь гравелистая твердая	18,4	22	13	15,5	0,4222
12	Гравийный грунт с супесчаным твердым заполнителем	22,1	31	13	20,4	0,2524
15, 16	Скальное основание	26,6				
0	Щебенистый грунт с песчаным заполнителем из отвала пустых пород	22,0	24,2	14	21,0	0,2409

Расчеты выполнялись для основного и двух особых сочетаний нагрузок для ограждающей дамбы:

- а) при существующей отметке гребня 425,0 м;
- б) при проектируемой отметке гребня 435,5 м.

Основное сочетание нагрузок – имеется надводный пляж длиной 500 м, уровень воды в отстойном пруду а) 423,5 м и б) 434,0 м.

Особые сочетания нагрузок:

- 1) надводный пляж отсутствует;
- 2) имеется надводный пляж длиной 500 м, расчетное сейсмическое воздействие 7 баллов.

Критерием устойчивости сооружения является условие (СП 39.13330.2012):

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{R}{\gamma_n} \quad (5.1)$$

– где F – расчетное значение обобщенного силового воздействия, по которому производится оценка предельного состояния, определенное с учетом коэффициента надежности по нагрузке γ_f ;

– R – обобщенное расчетное значение сил предельного сопротивления сдвигу по рассматриваемой поверхности, определенное с учетом коэффициентов надежности по грунту γ_g ;

– γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения;

– γ_{lc} – коэффициент по нагрузкам, принимаемый для основного сочетания нагрузок и воздействий в период эксплуатации $\gamma_{lc} = 1,0$; для особого сочетания 1 – $\gamma_{lc} = 0,9$, для особого сочетания 2 при сейсмическом воздействии – $\gamma_{lc} = 0,85$ (СП 58.13330.2012).

Для коэффициента устойчивости k_s используется зависимость:

$$k_s = \frac{R}{F} \geq k_{s,n} \quad (5.2)$$

– где k_s – расчетный коэффициент устойчивости;

– $k_{s,n}$ – нормативный коэффициент устойчивости.

Устойчивость сооружения считается обеспеченной, если выполнено условие (5.1) или (5.2).

Ограждающая дамба хвостохранилища Куранахской ЗИФ относится к I классу гидротехнических сооружений. Значение коэффициента устойчивости k_s не должно быть меньше $k_{s,n} = 1,25$ при основном сочетании нагрузок, $k_{s,n} = 1,12$ при особом сочетании нагрузок 1 и $k_{s,n} = 1,06$ при особом сочетании нагрузок 2.

Исходная сейсмичность площадки принималась равной 7 баллов.

Создание инженерно-геологического профиля

Создание инженерно-геологического профиля мною производилось в последовательности, приведённой ниже, и отражено в текстовом приложении 4 рисунки 4.1-4.4.

В первую очередь задаются границы контуров выделенных инженерно-геологических элементов (Прил.4 Рис.4.1). Затем вносятся данные по выделенным ИГЭ в рамке «Грунты» (Прил.4 Рис.4.2). Следующим шагом производится привязка созданных грунтов к границам контуров (Прил.4 Рис.4.3.). Также в ПК Geo 5 учитывается воздействие воды на устойчивость грунтового массива (Прил.4 Рис. 4.4.).

Результаты расчетов

В таблице 9 приведены значения наименьших коэффициентов устойчивости при основном и особых сочетаниях нагрузок для дамбы с существующей и проектируемой отметками гребня дамбы, полученные стандартным методом расчета (при заданной вручную поверхности скольжения) и с помощью функции Оптимизация. Иллюстрации расчетов и поверхностей скольжения приведены в текстовом приложении 5, ссылки на рисунки приложения указаны в таблице 9.

Таблица 9

Результаты расчетов устойчивости дамбы при проектируемой отметке гребня дамбы 425,0 м и при наращивании до отметки 435,5 м

Расчетный случай	Метод расчета	Рисунок, № (Прил.5)	Коэффициент устойчивости	
			расчетный	нормативный
при существующей отметке гребня 425,0 м				
Основной: надводный пляж длиной 500 м	стандарт	5.1.1.	3,09-3,51	1,25
	оптимизация	5.1.2.	2,66	
Особый 1: надводный пляж отсутствует	стандарт	5.2.1.	3,04-3,32	1,12
	оптимизация	5.2.2.	2,58	
Особый 2: надводный пляж длиной 500 м, сейсмическое воздействие 7 баллов	стандарт	5.3.1.	3,06-3,28	1,06
	оптимизация	5.3.2.	2,35	
при проектируемой отметке гребня 435,5 м				
Основной: надводный пляж	стандарт	5.4.1.	2,43-2,66	1,25

длиной 500 м	оптимизация	5.4.2.	2,24	
Особый 1: надводный пляж отсутствует	стандарт	5.5.1.	2,23-2,39	1,12
	оптимизация	5.5.2.	2,06	
Особый 2: надводный пляж длиной 500 м, сейсмическое воздействие 7 баллов	стандарт	5.6.1.	1,99-2,24	1,06
	оптимизация	5.6.2.	1,94	

По результатам расчетов устойчивости для существующей отметки гребня 425,0 м при различных сочетаниях нагрузок (основном и двух особых сочетаниях) расчетные коэффициенты устойчивости удовлетворяют нормативным значениям, необходимых для сооружений I класса.

Расчетные коэффициенты устойчивости низовой дамбы при проектной отметке 435,5 м при различных сочетаниях нагрузки также удовлетворяют нормативным значениям, необходимым для сооружений I класса.

В целом при наращивании дамбы на 10,5 м устойчивость её низового откоса снижается на 20-30 %.

Никаких дополнительных мероприятий для обеспечения устойчивости откоса не требуется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Участок ГТС хвостохранилища КЗИФ расположен в Алданском улусе Республики Саха (Якутия) в 7 км севернее пос. Нижний Куранах (Рисунок 2.1) и в 40 км от г. Алдана, на территории хвостохранилища Куранахской ЗИФ.

В геоморфологическом отношении площадка расположена на коренных склонах и в долинах ручьев Свадьбалаах и Латышский, которые являются притоками реки Большой Куранах.

Территория значительно изменена хозяйственной деятельностью человека, естественный рельеф не сохранен.

По совокупности негативных факторов территория относится к III (сложная) категории сложности инженерно-геологических условий.

Основными **негативными факторами**, которые обязательно должны быть учтены при выборе проектных решений, являются:

- наличие подземных вод, встреченных на дамбе наращивания, установившийся уровень грунтовых вод – 4,0-22,3 м;
- в геокриологическом отношении площадка расположена в зоне островного развития многолетнемерзлых пород и сложена как многолетнемерзлыми, так и талыми грунтами;
- широкое развитие специфических грунтов: техногенных отложений, многолетнемерзлых грунтов и эллювиальных скальные грунтов. При проектировании на специфических грунтах следует учитывать их особенности и свойства.
- среди современных экзогенных и эндогенных геологических процессов, отрицательно влияющих на строительство, следует отметить морозное пучение грунтов и повышенную сейсмичность района.

Как показали произведённые расчёты устойчивости для существующей отметки гребня 425,0 м при различных сочетаниях нагрузок (основном и двух особых сочетаниях), расчетные коэффициенты устойчивости удовлетворяют нормативным значениям, необходимых для сооружений I класса.

Расчетные коэффициенты устойчивости низовой дамбы при проектной отметке 435,5 м при различных сочетаниях нагрузки также удовлетворяют нормативным значениям, необходимым для сооружений I класса.

В целом при наращивании дамбы на 10,5 м устойчивость её низового откоса снижается на 20-30 %.

Никаких дополнительных мероприятий для обеспечения устойчивости откоса не требуется.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Монографии:

1. Объяснительная записка. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Алданская. Лист О-51-ХП. Под ред. В. В. Карелина, Е. Б. Хотинной. Санкт-Петербург, 2000 г.
2. Семенюк В.Д., Батюк В.П., Стасюк Н.П., Евстратов В.Н. Складирование отходов химических производств. М.: Химия, 1983, 120 с.

Статьи в журналах:

3. Кириченко Ю.В., Зайцев М.П., Кравченко А.Н.. Инженерно-геологические особенности формирования хвостохранилищ // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006.. № 7. С. 116-125.

Фондовые материалы:

4. Годовой отчет о состоянии в 2016 г. гидротехнических сооружений, 2017 г. (АО «Алданзолото» ГРК», п. Нижний Куранах).
5. Декларация безопасности гидротехнических сооружений хвостохранилища Куранахской ЗИФ ОАО «Алданзолото» ГРК», 2009г. (ОАО «Алданзолото» ГРК», п. Нижний Куранах).
6. Декларация безопасности гидротехнических сооружений хвостохранилища Куранахской ЗИФ ОАО «Алданзолото» ГРК», 2013 г. (ОАО «Алданзолото» ГРК», п. Нижний Куранах).
7. Научно-технический отчет по договору № 7-ВН-317/АЗГРК388-17 от 02.05.2017 г. «Разработка специальных технических условий (СТУ) по объекту «Реконструкция хвостохранилища Куранахской золотоизвлекательной фабрики АО «Алданзолото» ГРК», 2017 г. (АО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева»).
8. Пояснительная записка: «Разработка проектной документации основных технических решений по сооружениям хвостового хозяйства Куранахской золотоизвлекательной фабрики АО «Алданзолото» ГРК», 2018г. (АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»).
9. Отчет о результатах работ по «Оценке эксплуатационных запасов подземных вод одиночных водозаборных скважин №№ 1, АД-27, АД-20 (12)», 2009 г. (ОАО «Алданзолото» ГРК», п. Нижний Куранах).

10. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям, 2017г. (ООО «Нерюнгростройизыскания»).

Нормативные документы:

11. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация
12. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости и оползневого давления. М.:ЦБНТИ, 1986.
13. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»
14. СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (актуализированного СНиП II-7-81* "Строительство в сейсмических районах" (СП 14.13330.2011)) (с Изменением N 1)
15. СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*
16. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения
17. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
Часть I. Общие правила производства работ
18. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов
19. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов
20. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов
21. СП 22.13330.2011 Свод правил «СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений»
22. СП 47.13330.2016 Свод правил «СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»
23. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений
24. СП 115.13330.2016 Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95

Зарубежная литература:

25. Bishop, A.W. Stability coefficients for earth slopes // Geotechnique, Vol. 10, 1960. Pp. 129-150.
26. Fellenius, W. Calculation of the stability of earth dams // Proceeding of the Second Congress on Large Dams., Vol. 4, 1936. Pp. 445-463.
27. Spencer, E. A method of analysis of the stability of embankment assuming parallel inter-slice forces // Geotechnique, Vol. 17, 1967. Pp. 11

Ресурсы сети Интернет:

28. http://www.geolkarta.ru/list_200.php?idlist=O-51-XII – Государственная геологическая карта России. Лист O-51-XII.
29. <https://www.finesoftware.ru/rukovodstva-polzovatelya/> - Руководство пользователя. Geo5. Fine Ltd, 2018.

Текстовые приложения

Приложение 1

Таблица 1.1

Нормативные и расчетные характеристики талых грунтов

№ ИГЭ	Номенклатура грунта	Нормативные значения характеристик								Расчетные значения					
		Влажность естест., W	Число пластичности, I _p	Показатель текучести, I _L	Коэффициент пористости, e	Модуль деформации, E	Плотность, ρ	Удельное сцепление, c _n	Угол внутр. трения, φ _n	α = 0,95			α = 0,85		
										ρ _I	c _{Ia}	φ _I	ρ _{II}	c _{II}	φ _{II}
Единицы измерения		%	%	д.е.	б/р	МПа	г/см ³	кПа	град.	г/см ³	кПа	град.	г/см ³	кПа	град.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Насыпной грунт (галечниковый грунт с супесчаным заполнителем) средней степени водонасыщения	7	5	<0	0,34	44	2,17	6	33	2,13	4	30	2,15	6	33
2	Намывной грунт - песок пылеватый средней плотности средней степени водонасыщения	16			0,77	10	1,70	4	29	1,69	3	26	1,69	4	29
3	Намывной грунт - песок средней крупности средней плотности малой степени водонасыщения	9			0,69	21	1,70	3	32	1,68	2	29	1,68	3	32
4	Намывной грунт - супесь пластичная	24	5	0,76	0,96	9	1,69	19	20	1,68	13	17	1,68	19	20
5	Намывной грунт - суглинок мягкопластичный	27	8	0,55	0,98	6	1,72	13	13	1,70	9	11	1,70	13	13
7	Супесь дресвяная твердая	16	6	<0	0,56	24	2,02	17	25	1,98	11	22	1,99	17	25
8	Суглинок дресвяный тугопластичный	27	9	0,34	0,92	10	1,78	16	18	1,75	11	17	1,77	16	18
10	Щебенистый грунт средней степени водонасыщения	9			0,38	36	2,19	7	39	2,16	4	35	2,17	6	39
11	Супесь гравелистая твердая	18	6	<0	0,74	10	1,84	13	22	1,81	9	19	1,82	13	22
12	Гравийный грунт с супесчаным твердым заполнителем	8	6	<0	0,33	44	2,21	13	31	2,19	9	28	2,19	13	31
13	Доломит очень низкой прочности средней степени водонасыщения	11			0,43	28	2,10	21	17	2,07	14	15	2,08	21	17

Физико-механические и теплофизические свойства мерзлых грунтов

Наименование показателей по ГОСТ 25100–2011, СП 25.13330.2012	Индекс	Единицы измерения	ИГЭ-1м	ИГЭ-2м	ИГЭ-4м	ИГЭ-6м	ИГЭ-7м	ИГЭ-8м	ИГЭ-9м	ИГЭ-10м	ИГЭ-12м	ИГЭ-13м
Влажность за счет ледяных включений	W_i	д.ед	0,03	0,13	0,11	0,19	0,09	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04
Влажность за счет порового льда	W_{ic}	д.ед	0,05	0,12	0,21	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,05	0,07
Влажность за счет незамерзшей воды	W_w	д.ед	0	0	0,08	0,09	0,07	0,07	0	0	0	0
Влажность грунта между лед. включениями	W_m	д.ед	0,05	0,12	0,29	0,23	0,18	0,16	0,07	0,05	0,05	0,07
Влажность суммарная	W_{tot}	д.ед	0,08	0,25	0,40	0,42	0,27	0,23	0,14	0,09	0,09	0,11
Плотность грунта	ρ_f	г/см ³	2,15	1,64	1,68	1,61	1,87	1,86	2,06	2,19	2,17	2,14
Плотность сухого грунта	$\rho_{d,f}$	г/см ³	1,97	1,32	1,21	1,15	1,50	1,51	1,81	2,01	1,99	1,93
Плотность частиц грунта	ρ_s	г/см ³	2,75	2,64	2,66	2,59	2,66	2,68	2,73	2,76	2,75	2,75
Коэффициент пористости	e_f	-	0,39	1,00	1,20	1,25	0,77	0,77	0,51	0,37	0,38	0,43
Льдистость за счет ледяных включений	I_i	д.е.	0,08	0,21	0,16	0,26	0,15	0,12	0,14	0,09	0,09	0,09
Льдистость за счет порового льда	I_{ic}	д.е.	0,12	0,15	0,26	0,15	0,17	0,15	0,14	0,11	0,12	0,15
Льдистость суммарная	I_{tot}	д.е.	0,20	0,36	0,42	0,41	0,32	0,27	0,28	0,20	0,20	0,24
Расчетное давление на мерзлые грунты на гл.3-5 м.	R	кПа	3000	1300	850	1100	850	850	3000	3000	3000	3000
Расчетные сопротивления мерзлых грунтов по поверхности смерзания	R_{af}	кПа	60	60	100	100	100	100	80	80	80	80
Расчётное сопротивление мерзлых грунтов сдвигу по грунту	R_{sh}	кПа	120	120	100	120	100	120	120	120	120	120
Коэффициент оттаивания	A_{th}	д.е.	0,0051	0,0328	0,0658	0,101	0,031	0,0214	0,0033	0,0026	0,0064	0,0049
Коэффициент сжимаемости при оттаивании	m	МПа ⁻¹	0,0206	0,127	0,242	0,105	0,086	0,0345	0,0363	0,0079	0,00104	0,0328
Теплопроводность грунта в мерзлом состоянии	λ_f	Вт/м/С ₀	1,56	2,48	2,02	1,39	2,00	1,75	2,75	1,56	1,56	2,30
Теплопроводность грунта в талом состоянии	λ_{th}		1,45	1,91	1,80	0,93	1,80	1,51	2,26	1,45	1,45	1,97
Объемная теплоемкость в мерзлом состоянии	C_f	Дж/(м ³ *С ₀) ^{10⁶}	2,26	2,06	2,12	2,12	2,35	2,35	2,26	2,26	2,26	2,26
Объемная теплоемкость в талом состоянии	C_{th}		2,68	2,78	3,11	3,11	3,15	3,15	2,78	2,68	2,68	2,68
Температура начала замерзания грунта	T_{bf}	°С	-0,1	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Средняя температура грунта на 10,0 м	$T_{o,n}$	°С	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
Средняя температура грунта для ИГЭ по данным термометрии	$T_{средн.}$	°С	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
Степень засоленности грунтов	D_{sal}	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Нормативные и расчетные значения характеристик скальных грунтов

№ ИГЭ	Номенклатура грунта	Нормативные значения характеристик					Расчетные значения	
		Плотность, ρ	Водопоглощение	Предел прочности на одноосное сжатие в сухом состоянии, Rc	Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщ. состоянии, Rc	Коэффициент размягчаемости, K _{sof}	α = 0,95	
							ρ _г	Rc в водонасыщ. состоянии
Единицы измерения		г/см ³	д.е.	МПа	МПа	д.е.	г/см ³	МПа
14	Доломит малопрочный плотный размягчаемый	2,37	0,042	15,8	8,72	0,55	2,34	7,70
15	Доломит средней прочности плотный размягчаемый	2,48	0,031	58,77	34,11	0,58	2,46	31,72
16	Доломит прочный очень плотный размягчаемый	2,68	0,012	127,12	84,91	0,67	2,66	82,08
17	Доломит очень прочный очень плотный размягчаемый	2,73	0,006	170,38	124,85	0,73	2,72	122,95

Химический анализ воды

Номер анализа:	144
Номер скважины:	5
Интервал, м	7,0
Дата отбора пробы:	14.04.2017
Дата анализа:	20.04.2017

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Запах - без запаха
 Цвет - жёлтая
 Осадок - глинистый
 Мутность - слабо-мутная

АНИОНЫ	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	% - экв.
Гидрокарбонат HCO ₃	128,14	2,10	70
Хлорид Cl	9,93	0,28	9
Сульфат SO ₄	29,97	0,62	21
Нитрит NO ₂	0,01	0,00	0
Нитрат NO ₃	0,02	0,00	0
ИТОГО	168,06	3,00	100

КАТИОНЫ	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	% - экв.
Кальций Ca	40,08	2,00	24
Магний Mg	17,63	1,44	18
Железо закисное Fe	0,00	0,00	0
Железо окисное Fe	0,29	0,01	0
Аммоний NH ₄	0,08	0,00	0
Натрий + Калий	110,04	4,78	58
ИТОГО	168,12	8,24	100

CO ₂ свободная, мг/дм ³	6,16
pH	7,52
Перманганатная окисляемость, O ₂ мг/дм ³	3,04
CO ₂ агрессивная, мг/дм ³	8,80
Жёсткость общая, мг/дм ³	57,71
Жёсткость общая, мг-экв/л	3,44
Сухой остаток, мг/дм ³	161,68

Коррозионная агрессивность по отношению к свинцовой оболочке кабеля

Определяемые показатели	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,52	средняя
Общая жёсткость, мг-экв/л	3,44	средняя
Органическое вещество (гумус), мг/дм ³	3,04	низкая
Нитрат-ион, мг/дм ³	0,02	низкая

Коррозионная агрессивность по отношению к алюминиевой оболочке кабеля

Определяемые показатели	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,52	средняя
Хлор-ион, мг/дм ³	9,93	средняя
Ион железа, мг/дм ³	0,29	низкая

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W4

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,52	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,10	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	8,80	неагрессивная
Содержание магнийных солей, мг/л	17,63	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	110,04	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W6

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,52	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,10	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	8,80	неагрессивная
Содержание магнийных солей, мг/л	17,63	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	110,04	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W8

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,52	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,10	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	8,80	неагрессивная
Содержание магнийных солей, мг/л	17,63	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	110,04	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к арматуре железобетонных конструкций

Содержание хлоридов, мг/л	При постоянном погружении	При периодическом смачивании
17,4	неагрессивная	неагрессивная

Коррозионная агрессивность на металлические конструкции

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов
Значение pH	7,52
Суммарная концентрация сульфатов и хлоридов, г/л	0,11
Степень агрессивного воздействия среды - среднеагрессивная	

Формула Курлова	M 0,16	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 70 } \text{SO}_4 \text{ 21 } \text{CL } 9}{\text{Na+K } 58 \text{ Ca } 24 \text{ Mg } 18}$	pH 7,52
Вид воды:	хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатная магниево-кальциево-натриевая		

Номер анализа:	134
Номер скважины:	10.3
Интервал, м	22,0
Дата отбора пробы:	19.04.2017
Дата анализа:	25.04.2017

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Запах - без запаха
 Цвет - жёлтая
 Осадок - глинистый
 Мутность - слабо-мутная

АНИОНЫ	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	% - экв.
Гидрокарбонат НСО ₃	149,50	2,45	70
Хлорид СL	9,22	0,26	7
Сульфат SO ₄	38,62	0,80	23
Нитрит NO ₂	0,01	0,00	0
Нитрат NO ₃	0,02	0,00	0
ИТОГО	197,36	3,51	100

КАТИОНЫ	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	% - экв.
Кальций Са	45,69	2,28	24
Магний Mg	20,67	1,69	18
Железо закисное Fe	0,00	0,00	0
Железо окисное Fe	0,09	0,00	0
Аммоний NH ₄	0,08	0,00	0
Натрий + Калий	130,88	5,69	59
ИТОГО	197,41	9,67	100

СО ₂ свободная, мг/дм ³	6,16
pH	7,25
Перманганатная окисляемость, O ₂ мг/дм ³	1,44
СО ₂ агрессивная, мг/дм ³	33,00
Жёсткость общая, мг/дм ³	66,36
Жёсткость общая, мг-экв/л	3,97
Сухой остаток, мг/дм ³	188,95

Коррозионная агрессивность по отношению к свинцовой оболочке кабеля

Определяемые показатели	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,25	низкая
Общая жёсткость, мг-экв/л	3,97	средняя
Органическое вещество (гумус), мг/дм ³	1,44	низкая
Нитрат-ион, мг/дм ³	0,02	низкая

Коррозионная агрессивность по отношению к алюминиевой оболочке кабеля

Определяемые показатели	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,25	низкая
Хлор-ион, мг/дм ³	9,22	средняя
Ион железа, мг/дм ³	0,09	низкая

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W4

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,25	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,45	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	33,00	среднеагрессивная
Содержание магниевых солей, мг/л	20,67	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	130,88	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W6

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,25	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,45	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	33,00	неагрессивная
Содержание магниевых солей, мг/л	20,67	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	130,88	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W8

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,25	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,45	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	33,00	неагрессивная
Содержание магниевых солей, мг/л	20,67	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	130,88	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к арматуре железобетонных конструкций

Содержание хлоридов, мг/л	При постоянном погружении	При периодическом смачивании
17,4	неагрессивная	неагрессивная

Коррозионная агрессивность на металлические конструкции

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	
Значение pH	7,25	
Суммарная концентрация сульфатов и хлоридов, г/л	0,05	
Степень агрессивного воздействия среды - среднеагрессивная		
Формула Курлова	M 0,19	$\frac{HCO_3\ 70\ SO_4\ 23\ Cl\ 7}{Na+K\ 59\ Ca\ 24\ Mg\ 18}$ pH 7,25
Вид воды:	хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатная магниево-кальциево-натриевая	

Номер анализа:	133
Номер скважины:	14,4
Интервал, м	6,0
Дата отбора пробы:	19.04.2017
Дата анализа:	25.04.2017

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Запах - без запаха

Осадок - глинистый

Цвет - жёлтая

Мутность - слабо-мутная

АНИОНЫ	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	% - экв.
Гидрокарбонат HCO ₃	122,04	2,00	65
Хлорид Cl	11,34	0,32	10
Сульфат SO ₄	36,46	0,76	25
Нитрит NO ₂	0,01	0,00	0
Нитрат NO ₃	0,02	0,00	0
ИТОГО	169,86	3,08	100

КАТИОНЫ	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	% - экв.
Кальций Ca	49,30	2,46	29
Магний Mg	21,55	1,77	21
Железо закисное Fe	0,00	0,00	0
Железо окисное Fe	0,25	0,00	0
Аммоний NH ₄	0,08	0,00	0
Натрий + Калий	98,74	4,29	50
ИТОГО	169,92	8,53	100

CO ₂ свободная, мг/дм ³	6,16
pH	7,14
Перманганатная окисляемость, O ₂ мг/дм ³	2,72
CO ₂ агрессивная, мг/дм ³ .	11,00
Жесткость общая, мг/дм ³	70,85
Жесткость общая, мг-экв/л	4,23
Сухой остаток, мг/дм ³	179,67

Коррозионная агрессивность по отношению к свинцовой оболочке кабеля

Определяемые показатели	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,14	низкая
Общая жёсткость, мг-экв/л	4,23	средняя
Органическое вещество (гумус), мг/дм ³	2,72	низкая
Нитрат-ион, мг/дм ³	0,02	низкая

Коррозионная агрессивность по отношению к алюминиевой оболочке кабеля

Определяемые показатели	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,14	низкая
Хлор-ион, мг/дм ³	11,34	средняя
Ион железа, мг/дм ³	0,25	низкая

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W4

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,14	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,00	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	11,00	среднеагрессивная
Содержание магнийных солей, мг/л	21,55	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	98,74	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W6

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,14	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,00	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	11,00	неагрессивная
Содержание магнийных солей, мг/л	21,55	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	98,74	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к бетону марки W8

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов	Коррозионная агрессивность
Значение pH	7,14	неагрессивная
Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/л	2,00	неагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л	11,00	неагрессивная
Содержание магнийных солей, мг/л	21,55	неагрессивная
Содержание аммонийных солей, мг/л	0,08	неагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/л	98,74	неагрессивная

Коррозионная агрессивность по отношению к арматуре железобетонных конструкций

Содержание хлоридов, мг/л	При постоянном погружении	При периодическом смачивании
17,4	неагрессивная	неагрессивная

Коррозионная агрессивность на металлические конструкции

Показатель агрессивности	Концентрация компонентов
Значение pH	7,14
Суммарная концентрация сульфатов и хлоридов, г/л	0,08
Степень агрессивного воздействия среды - среднеагрессивная	

Формула Курлова	M 0,18	$\frac{\text{HCO}_3 \ 65 \ \text{SO}_4 \ 25 \ \text{CL} \ 10}{\text{Na}+\text{K} \ 50 \ \text{Ca} \ 29 \ \text{Mg} \ 21}$	pH 7,14
Вид воды:	хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатная магниево-кальциево-натриевая		

Расчет нормативной глубины сезонного оттаивания

Номер ИГЭ	Характеристика слоя	Средн. температура воздуха за период пологит. темп-р, °С	Продол-ть периода пологит. темп-р, ч	Расчет. темп-ра пов-ти грунта в летний период, °С	Расчет. продол-ть летнего периода, ч	Среднегод. температура грунта, °С	Температура начала заморзания грунта, °С	Средняя температура грунта, °С	Коэффициент	Теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м·°С)	Теплопроводность талого грунта, Вт/(м·°С)	Объемная теплоемкость мерзлого грунта, Дж/(м ³ ·°С), 10 ⁶	Объемная теплоемкость талого грунта, Дж/(м ³ ·°С), 10 ⁶	Суммарная влажность, д.е.	Влажность за счет незамерзшей воды, д.е.	Плотность сухого грунта, г/см ³	Теплоты таяния грунта (формула Б.15 СП 25.13330.2012)	Формула Г.5 СП 25.13330.2012	Формула Г.4 СП 25.13330.2012	Нормативная глубина сезонного оттаивания, м		
Условные обозначения:		T_{th,m}	t_{th,m}	T_{th,c}	t_{th,c}	T₀	T_{bf}	T	k_m	λ_f	λ_{th}	C_f	C_{th}	W_{tot}	W_w	ρ_d	L_v	q₁	Q	d_{th,n}		
1м	Насыпной грунт (галечниковый грунт) твердомерзлый, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании средней степени водонасыщения	9,84	13219200	16,18	16498080	-0,50	-0,10	-0,50	5,30	1,56	1,45	2,26	2,68	0,08	0,00	1,97	52796000	75549381	16477020	3,1		
2м	Намывной грунт - песок пылеватый твердомерзлый, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании - рыхлый, средней степени водонасыщения						2,48			1,91	2,06	2,78	0,26	1,31		114101000	137663664	17355201	2,67			
4м	Намывной грунт - супесь твердомерзлая, слабольдистая, массивной криотекстуры, при оттаивании-текучая						2,02			1,80	2,12	3,11	0,4	0,12		1,21	11349800	139824665	15889631	2,58		
6м	Супесь слабозаторфованная твердомерзлая, льдистая, массивной и слоистой криогенной текстуры, при оттаивании - текучая						1,39			0,93			0,42	0,14		1,15	107870000	134196665	13180914	1,88		
7м	Супесь дресвяная твердомерзлая слабольдистая, массивной криотекстуры, при оттаивании - пластичная						2,00			1,80	2,35	3,15	0,27	0,12		1,54	77385000	104086533	15704108	2,98		
8м	Суглинок дресвяный твердомерзлый слабольдистый, массивной и слоистой криотекстуры, при оттаивании - полутвердый						-0,20			5,00	1,75	1,51	2,35	3,15		0,23	0,15	1,51	40468000	67189975	12591298	3,39

Номер ИГЭ	Характеристика слоя	Средн. температура воздуха за период пожит. темп-р, °С	Продол-ть периода пожит. темп-р, ч	Расчет. темп-ра пов-ти грунта в летний период, °С	Расчет. продол-ть летнего периода, ч	Среднегод. температура грунта, °С	Температура начала заморзания грунта, °С	Средняя температура грунта, °С	Коэффициент	Теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м·°С)	Теплопроводность талого грунта, Вт/(м·°С)	Объемная теплоемкость мерзлого грунта, Дж/(м ³ ·°С), 10 ⁶	Объемная теплоемкость талого грунта, Дж/(м ³ ·°С), 10 ⁶	Суммарная влажность, д.е.	Влажность за счет незамерзшей воды, д.е.	Плотность сухого грунта, г/см ³	Теплоты таяния грунта (формула Б.15 СП 25.13330.2012)	Формула Г.5 СП 25.13330.2012	Формула Г.4 СП 25.13330.2012	Нормативная глубина сезонного оттаивания, м
9м	Древесный грунт с суглинистым заполнителем твердомерзлый слабодистый, массивной криотекстуры, при оттаивании - заполнитель текучий									2,75	2,26	2,26	2,78	0,14		1,79	83951000	107536150	21463977	3,26
10м	ИГЭ-10м - Щебенистый грунт твердомерзлый малодистый, корковой криотекстуры, при оттаивании - средней степени водонасыщения													0,09		2,01	60601500	83354881	16166133	2,96
12м	Гравийный грунт с супесчаным заполнителем твердомерзлый слабодистый, массивной и корковой криотекстуры, при оттаивании - заполнитель твердый						-0,10		5,20	1,56	1,45	2,26	2,68	0,08	0,00	2,03	54404000	77157381	16166133	3,07
13м	Доломит очень низкой прочности твердомерзлый слабодистый массивной криотекстуры, при оттаивании средней степени водонасыщения									2,30	1,97			0,11		1,95	71857500	94610881	19629433	3,24

Расчет нормативной глубины сезонного промерзания

Номер ИГЭ	Характеристика слоя	Средняя температура воздуха за период отрицательных температур, °С	Продолжительность периода отрицательных температур, ч	Температура начала заморозания грунта, °С	Средняя температура грунта в слое сезонного промерзания, °С	Теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м·°С)	Объемная теплоемкость мерзлого грунта, Дж/(м ³ ·°С), 10 ⁶	Суммарная влажность, д.е.	Влажность за счет незамерзшей воды, д.е.	Плотность сухого грунта, г/см ³	Теплоты замерзания грунта (формула Б.15 СП 25.13330.2012)	Теплота замерзания грунта, ккал/м ³	Нормативная глубина сезонного промерзания, м
Условные обозначения:		T _{th,m}	t _{th,m}	T _{bf}	T	λ _f	C _f	W _{tot}	W _w	ρ _d	L _v	q ₂	d _{f,n}
1	Насыпной грунт (галечниковый грунт с супесчаным заполнителем) средней степени водонасыщения	-18,17	5088	-0,10	-0,50	1,56	2,26	0,07	0,00	2,01	47134500	67553600	3,91
2	Намывной грунт - песок пылеватый средней степени водонасыщения			-0,15		1,83	1,76	0,16		1,48	79328000	95185600	3,56
3	Намывной грунт - песок средней крупности средней плотности малой степени водонасыщения			-0,10		1,68	1,80	0,09		1,57	47335500	63598500	4,18
4	Намывной грунт - супесь пластичная			-0,15		1,84	2,06	0,24	1,35	0,10	63315000	81875600	3,85
5	Намывной грунт - суглинок мягкопластичный			-0,20		1,58		0,27		0,14	58792500	77301600	3,67
7	Супесь дресвяная твердая			-0,15		1,83	2,02	0,16	0,10	1,54	30954000	49154200	4,96
8	Суглинок дресвяный тугопластичный			-0,20		1,58	2,35	0,24	0,16	1,44	38592000	59706750	4,17
10	Щебенистый грунт средней степени водонасыщения			-0,10		1,56	2,26	0,08	0,00	2,00	53600000	74019100	3,74
11	Супесь гравелистая твердая			-0,15		1,78	2,14	0,18	0,10	1,55	41540000	60821400	4,40
12	Гравийный грунт с супесчаным твердым заполнителем			-0,10		1,56	2,26	0,08	0,00	2,07	55476000	75895100	3,69
13	Доломит очень низкой прочности средней степени водонасыщения					2,30	2,04	0,09		1,88	56682000	75113400	4,50

Создание инженерно-геологического профиля

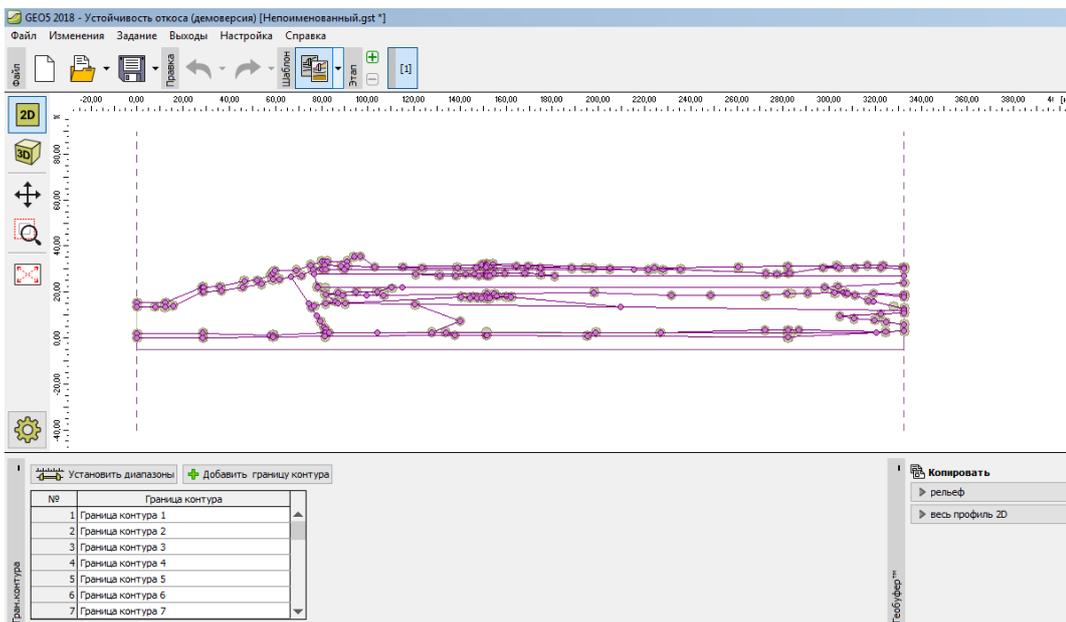


Рисунок 4.1. Создание границ контуров выделенных ИГЭ

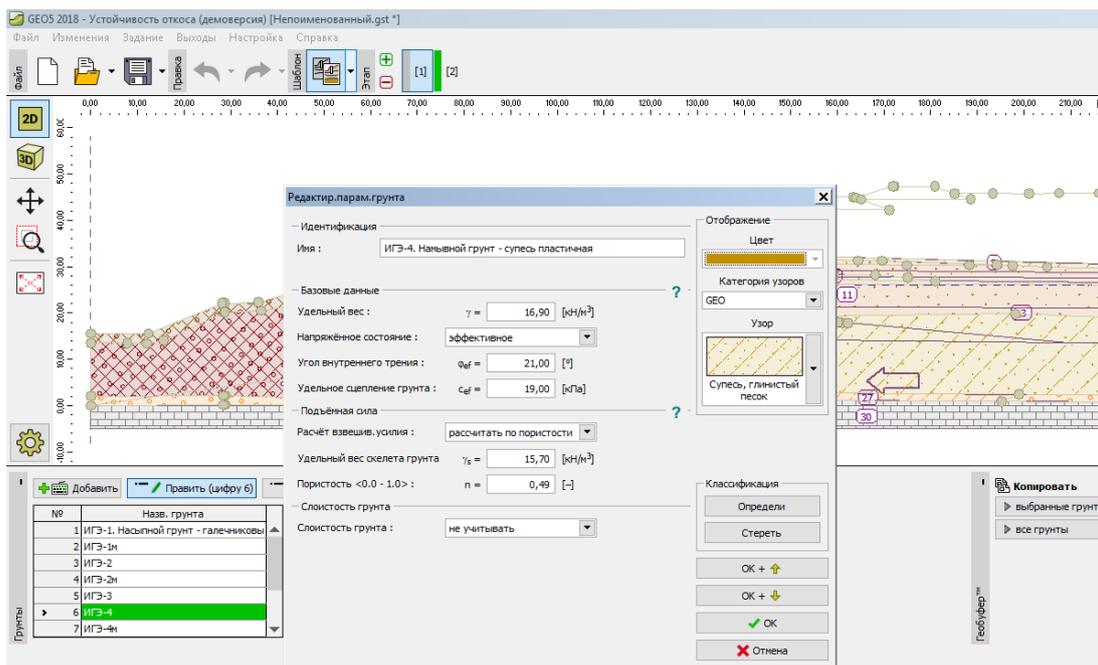
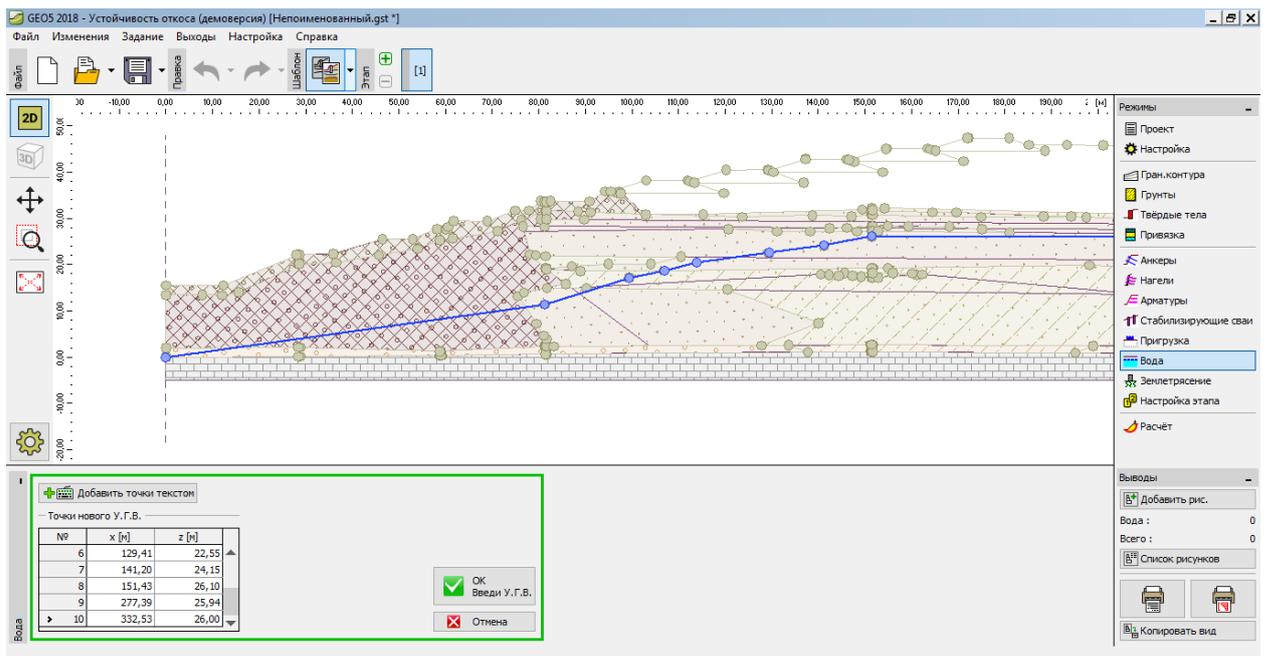
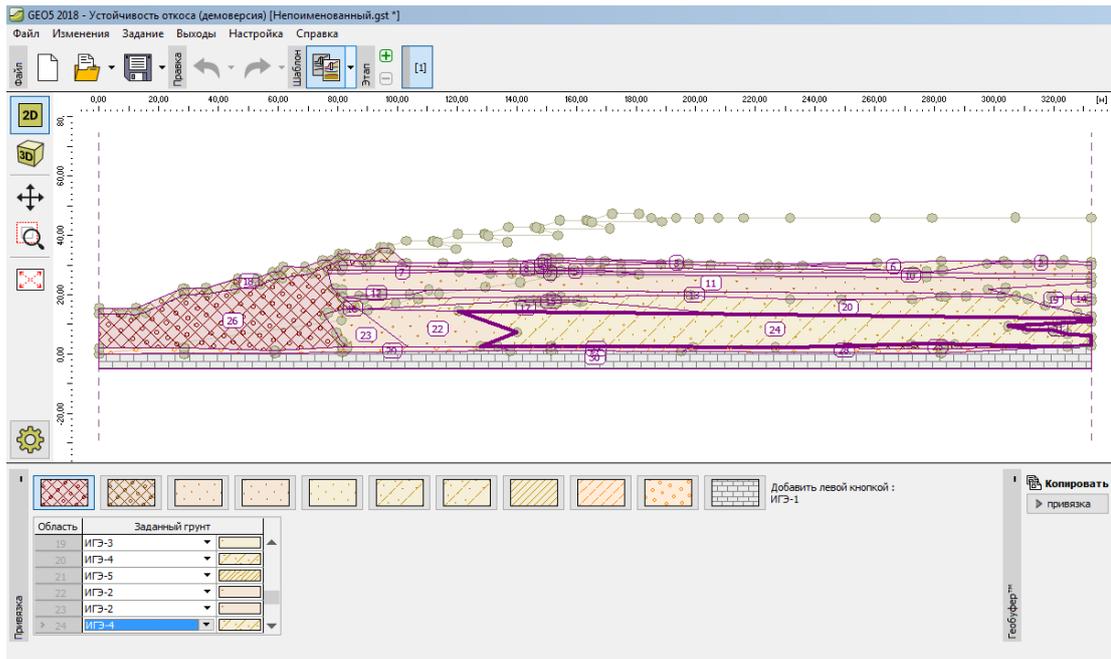


Рисунок 4.2. Создание слоя ИГЭ-1



Результаты расчетов устойчивости низовой ограждающей дамбы

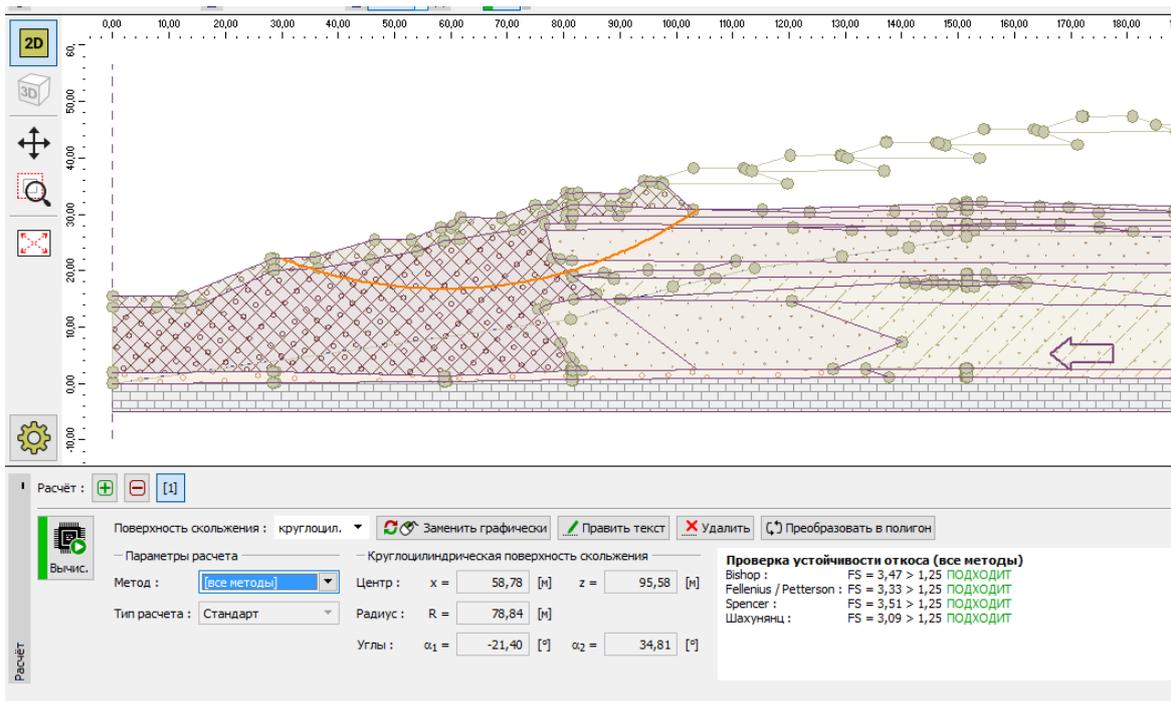


Рисунок 5.1.1. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 3,09-3,51$ (метод Шахунянца – метод Спенсера) при существующей отметке гребня 425,0 м и наличии пляжа длиной 500 м (основное сочетание нагрузок)

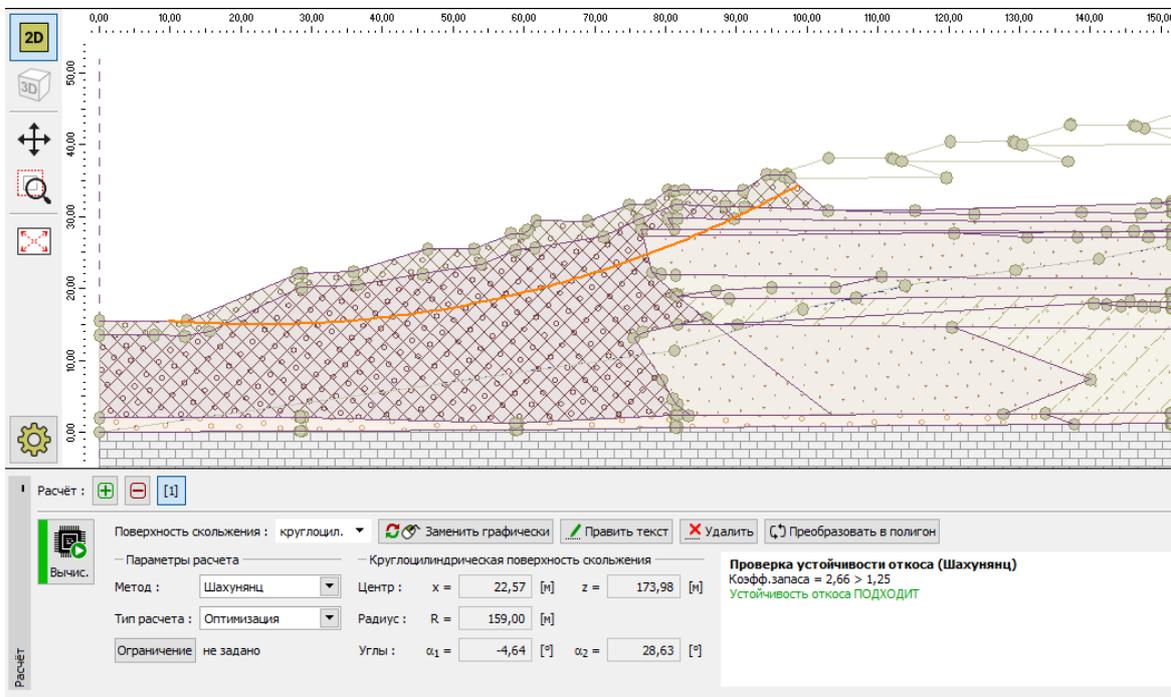
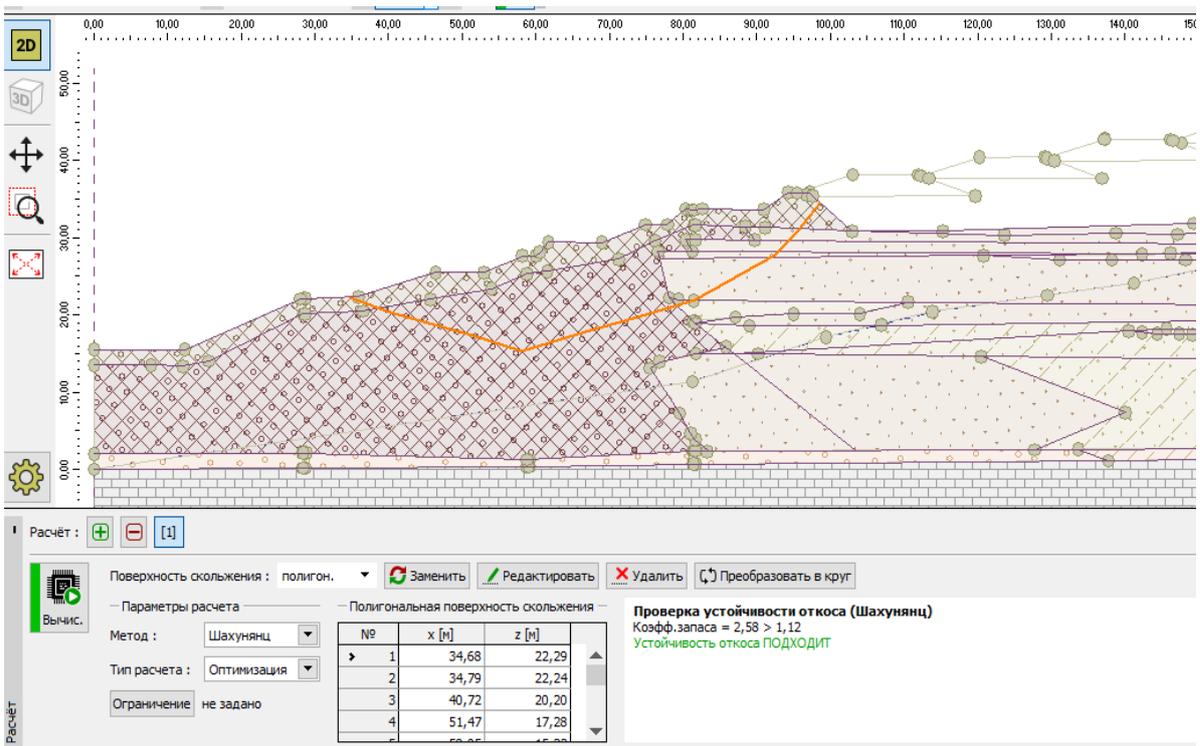
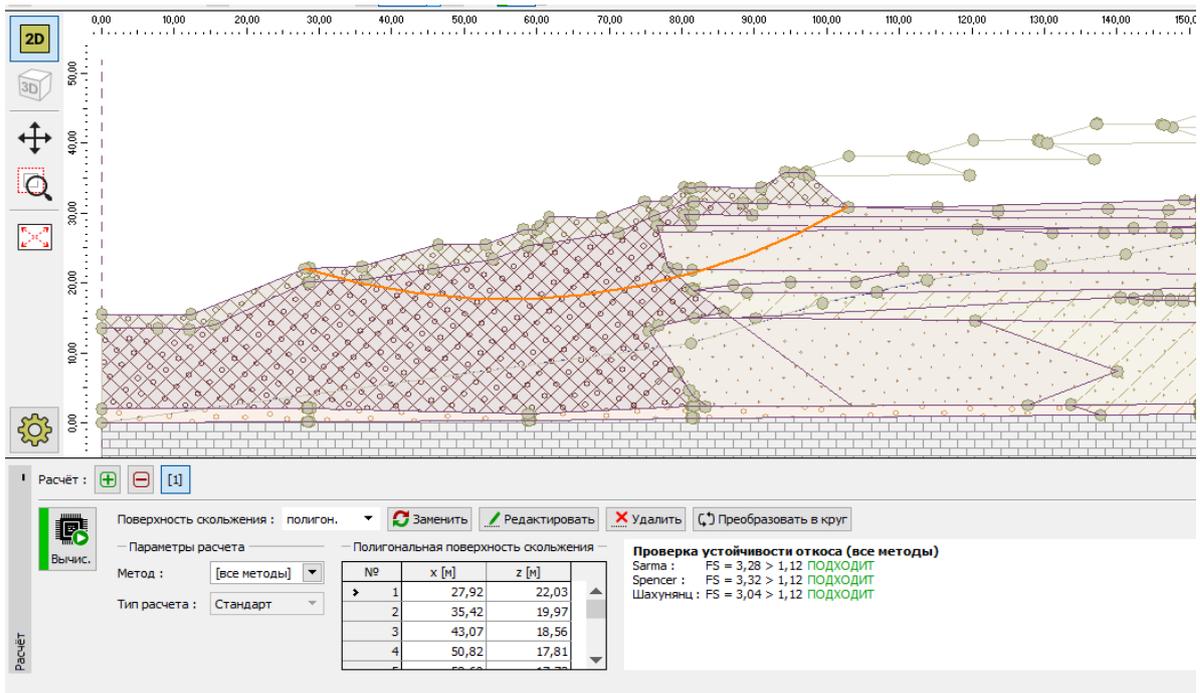


Рисунок 5.1.2. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 2,66$ (метод Шахунянца, тип расчета - оптимизация) при существующей отметке гребня 425,0 м и наличии пляжа длиной 500 м (основное сочетание нагрузок)



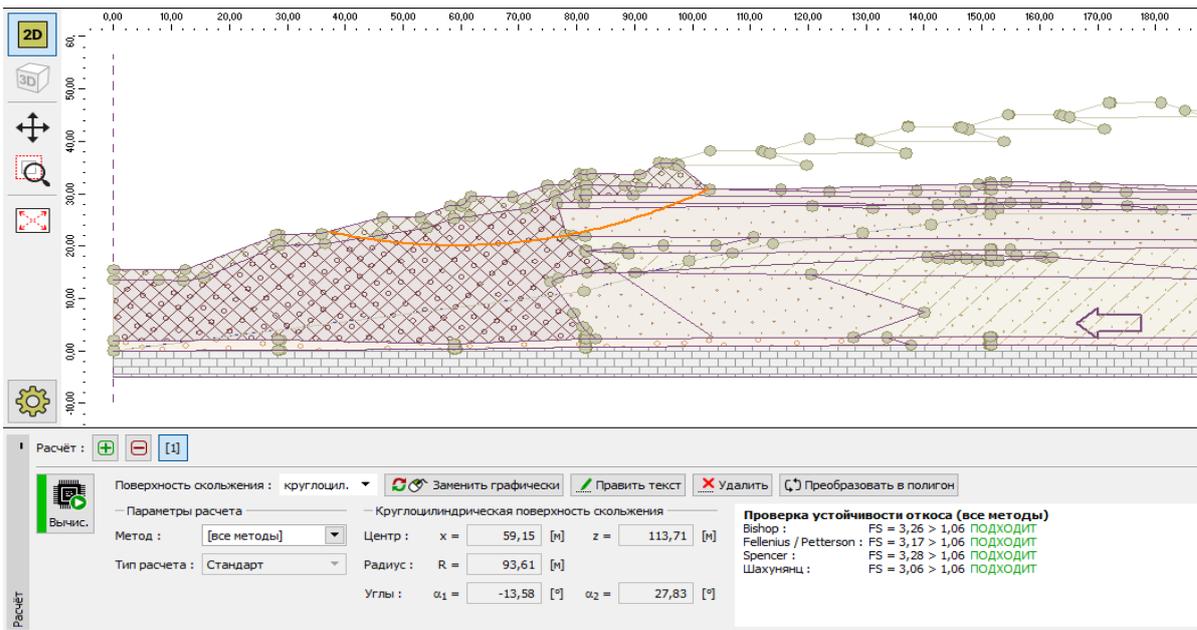


Рисунок 5.3.1. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 3,06-3,28$ (метод Шахунянца – метод Спенсера) при существующей отметке гребня 425,0 м, наличии пляжа длиной 500 м и сейсмическом воздействии 7 баллов (особое сочетание нагрузок 2)

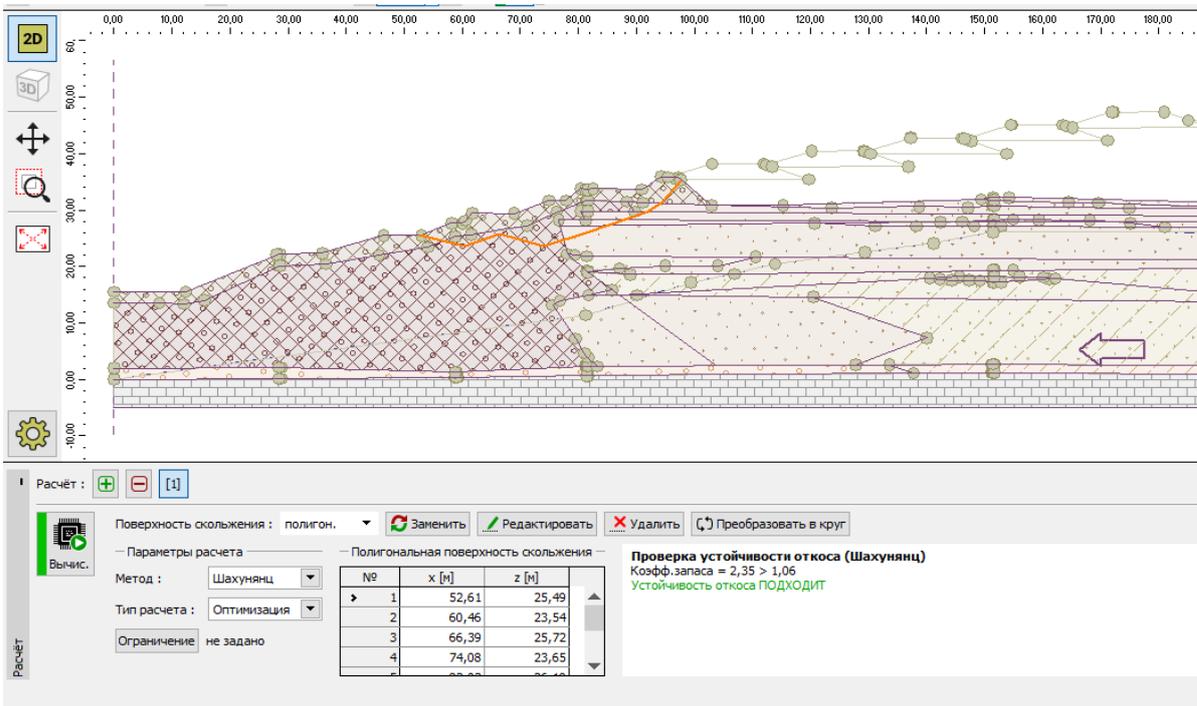


Рисунок 5.3.2. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 2,35$ (метод Шахунянца, тип расчета - оптимизация) при существующей отметке гребня 425,0 м, наличии пляжа длиной 500 м и сейсмическом воздействии 7 баллов (особое сочетание нагрузок 2)

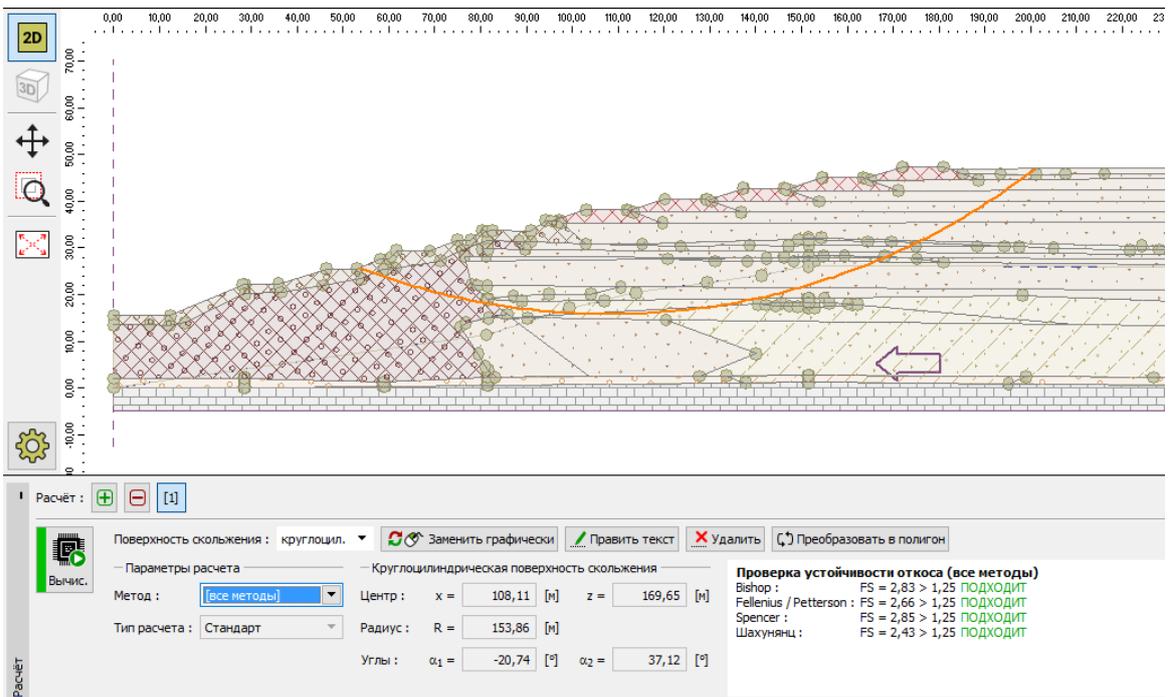


Рисунок 5.4.1. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 2,43-2,85$ (метод Шахунянца – метод Спенсера) при проектируемой отметке гребня 435,5 м и наличии пляжа длиной 500 м (основное сочетание нагрузок)

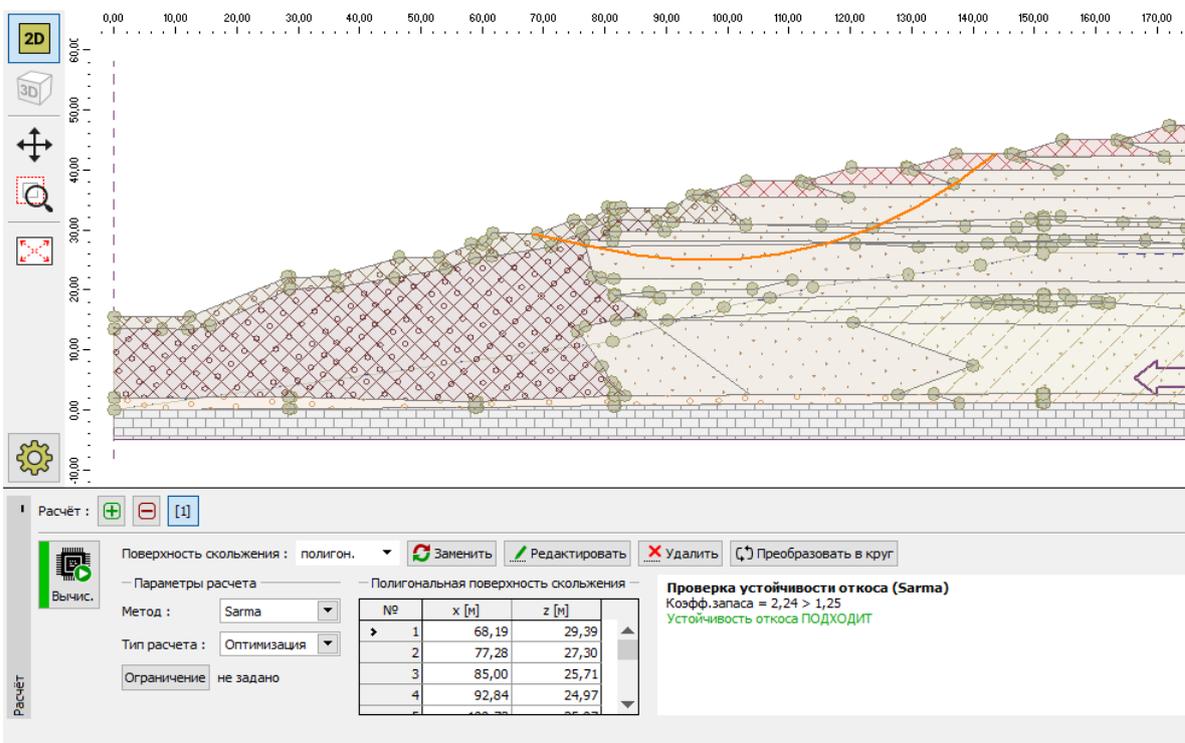


Рисунок 5.4.2. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 2,24$ (метод Сарма, тип расчета - оптимизация) при проектируемой отметке гребня 435,5 м и наличии пляжа длиной 500 м (основное сочетание нагрузок)

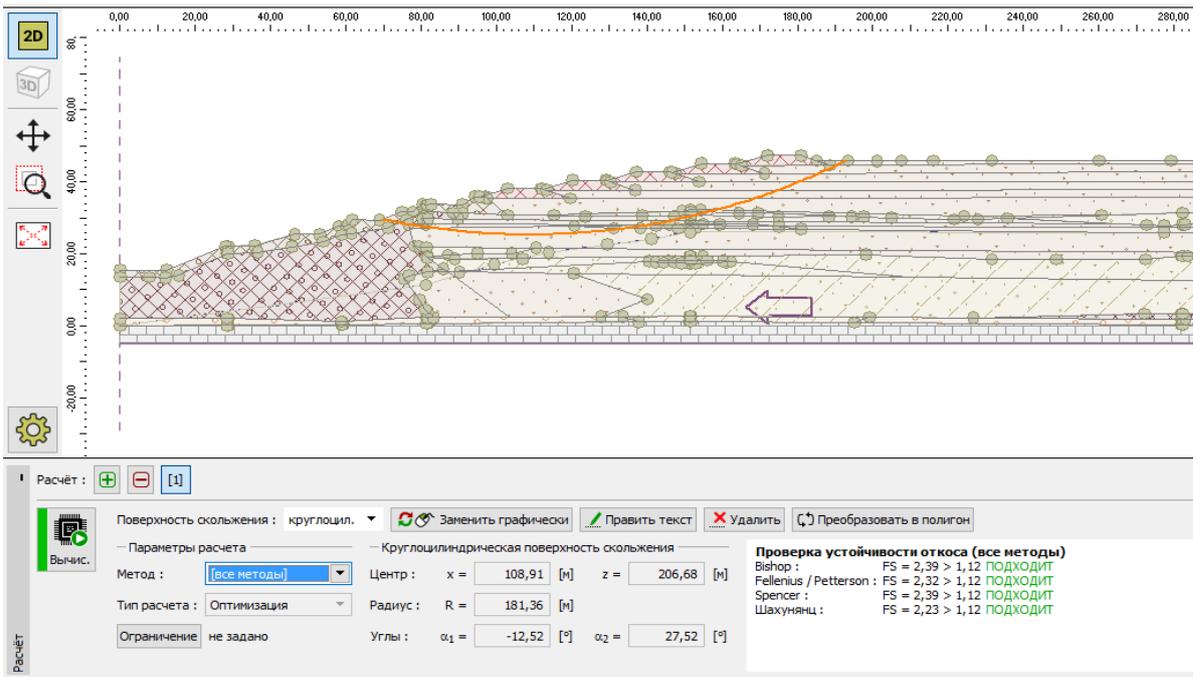


Рисунок 5.5.1. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 2,23-2,39$ (метод Шахунянца- метод Бишопа) при проектируемой отметке гребня 435,5 м и отсутствии пляжа длиной 500 м (особое сочетание нагрузок 1)

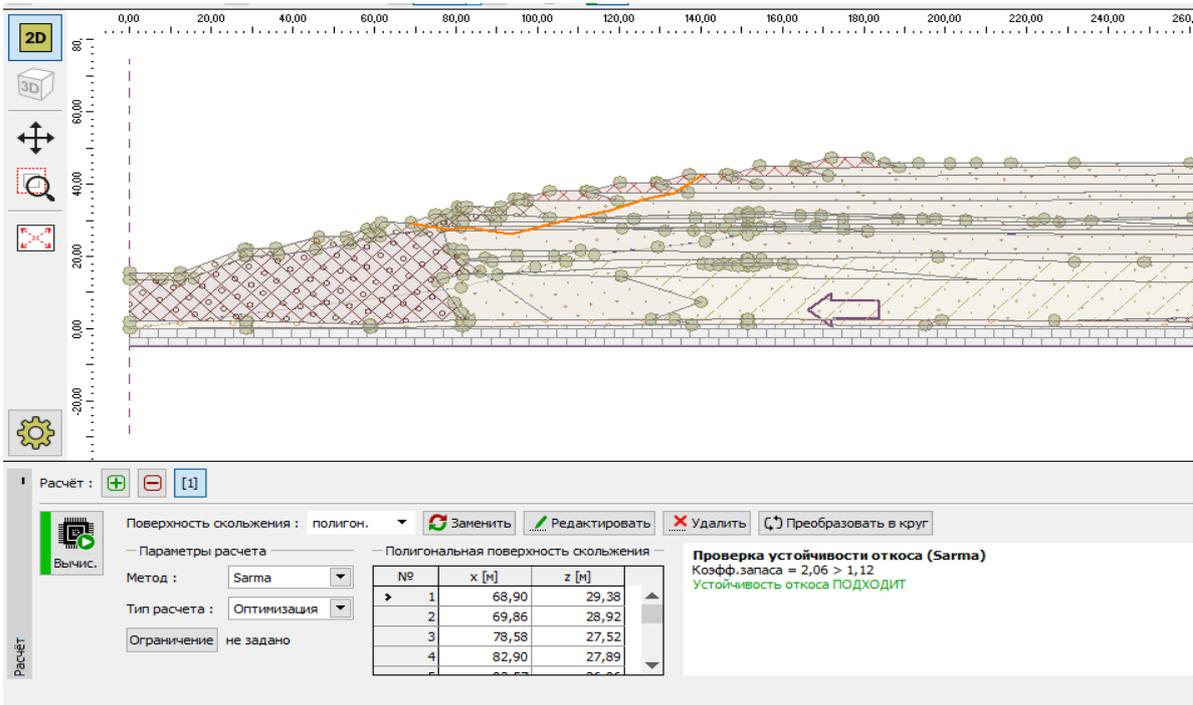


Рисунок 5.5.2. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 2,06$ (метод Сарма, тип расчета - оптимизация) при проектируемой отметке гребня 435,5 м и отсутствии пляжа длиной 500 м (особое сочетание нагрузок 1)

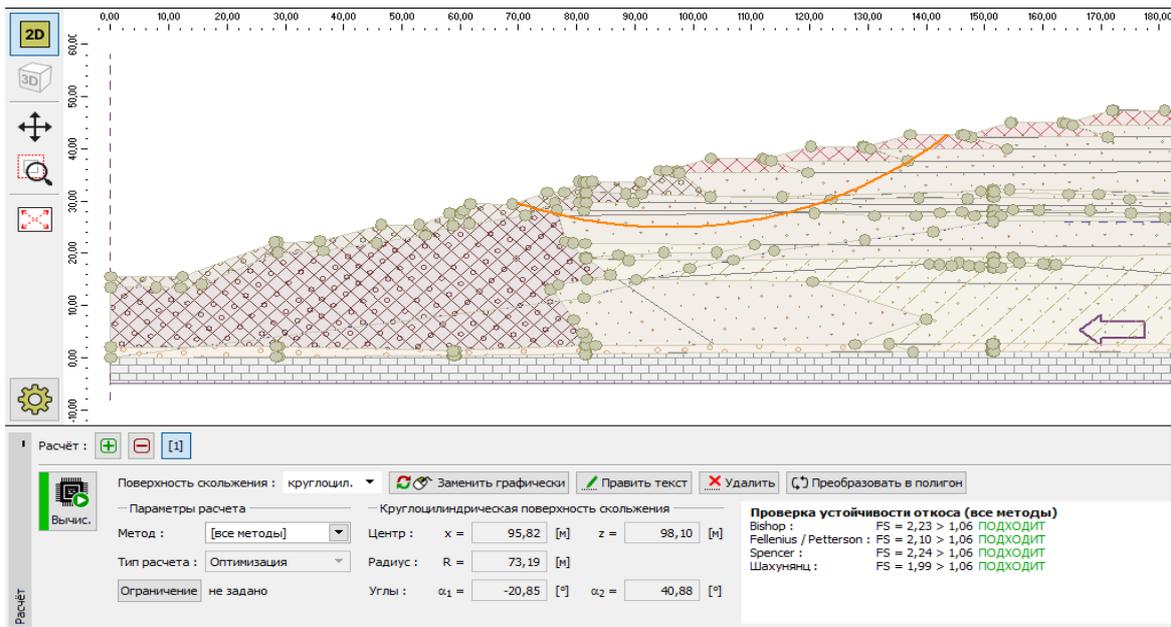


Рисунок 5.6.1. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 1,99-2,4$ (метод Шахунянца-метод Спенсера) при проектируемой отметке гребня 435,5 м, наличии пляжа длиной 500 м и сейсмическом воздействии 7 баллов (особое сочетание нагрузок 2)

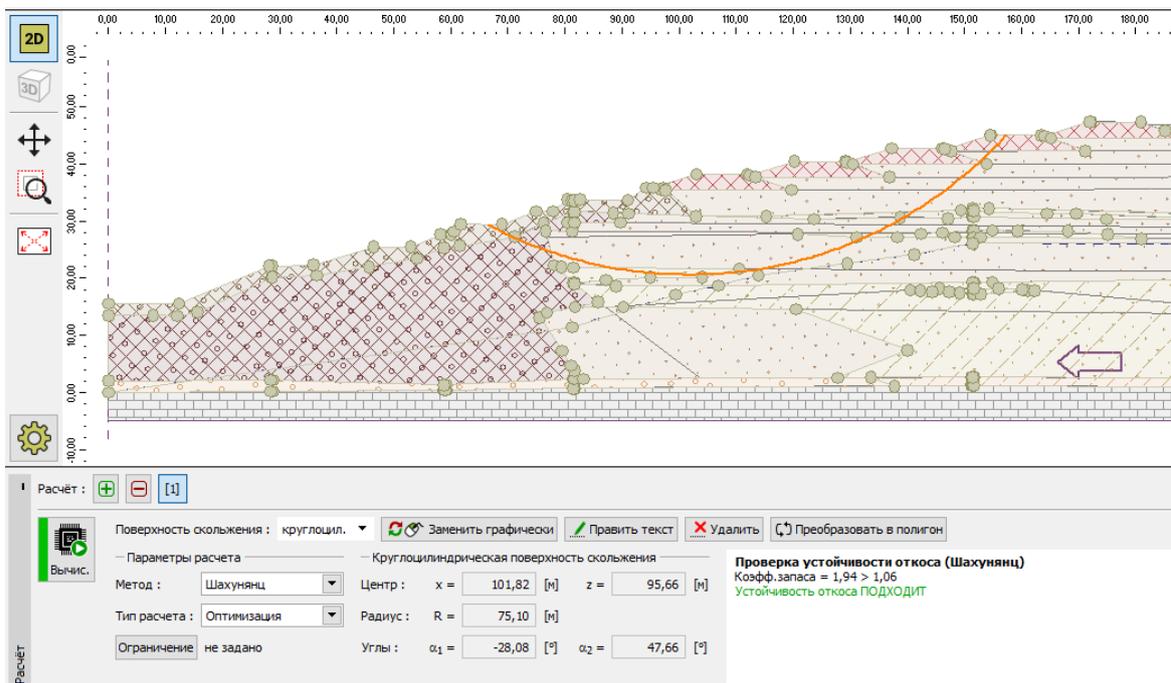
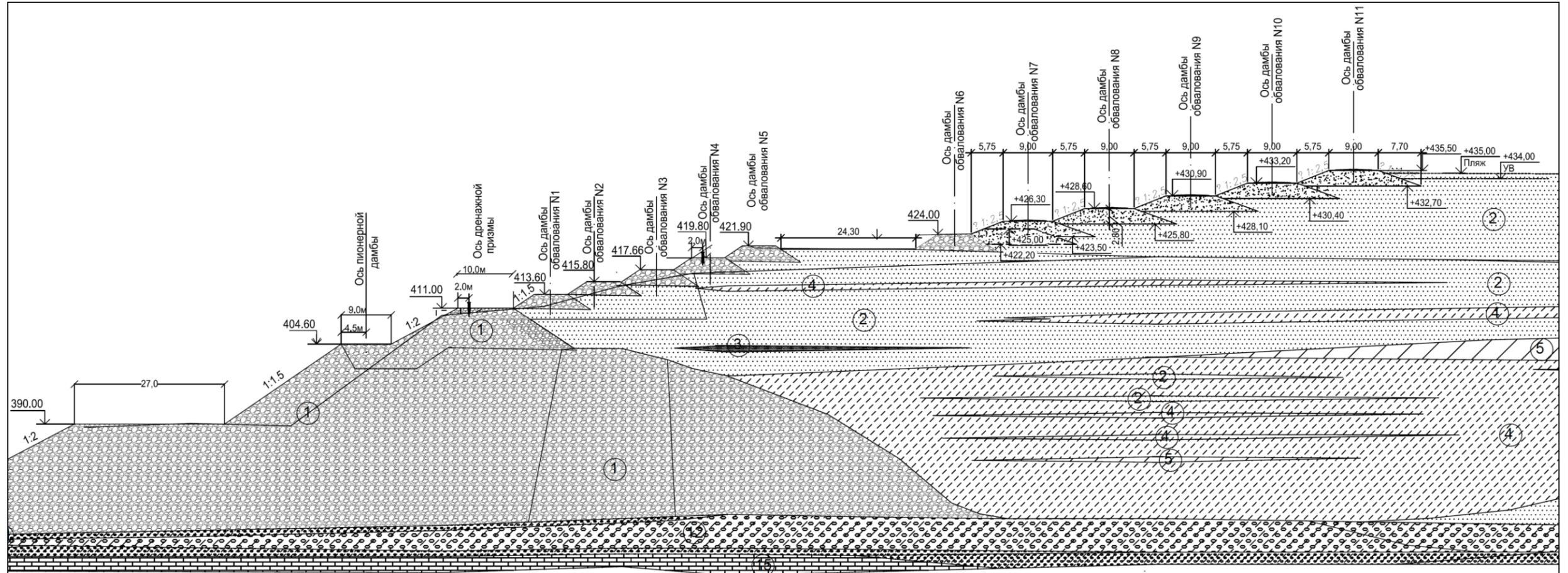


Рисунок 5.6.2. Потенциальная поверхность обрушения с коэффициентом устойчивости $k_s = 1,94$ (метод Шахунянца, тип расчета - оптимизация) при проектируемой отметке гребня 435,5 м, наличии пляжа длиной 500 м и сейсмическом воздействии 7 баллов (особое сочетание нагрузок 2)

Графические приложения

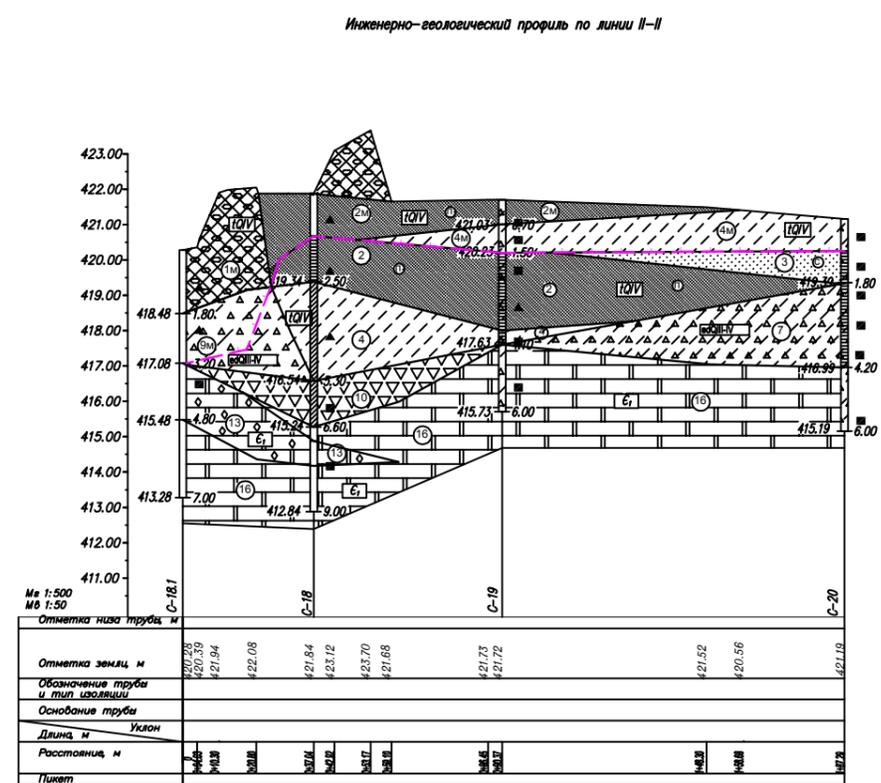
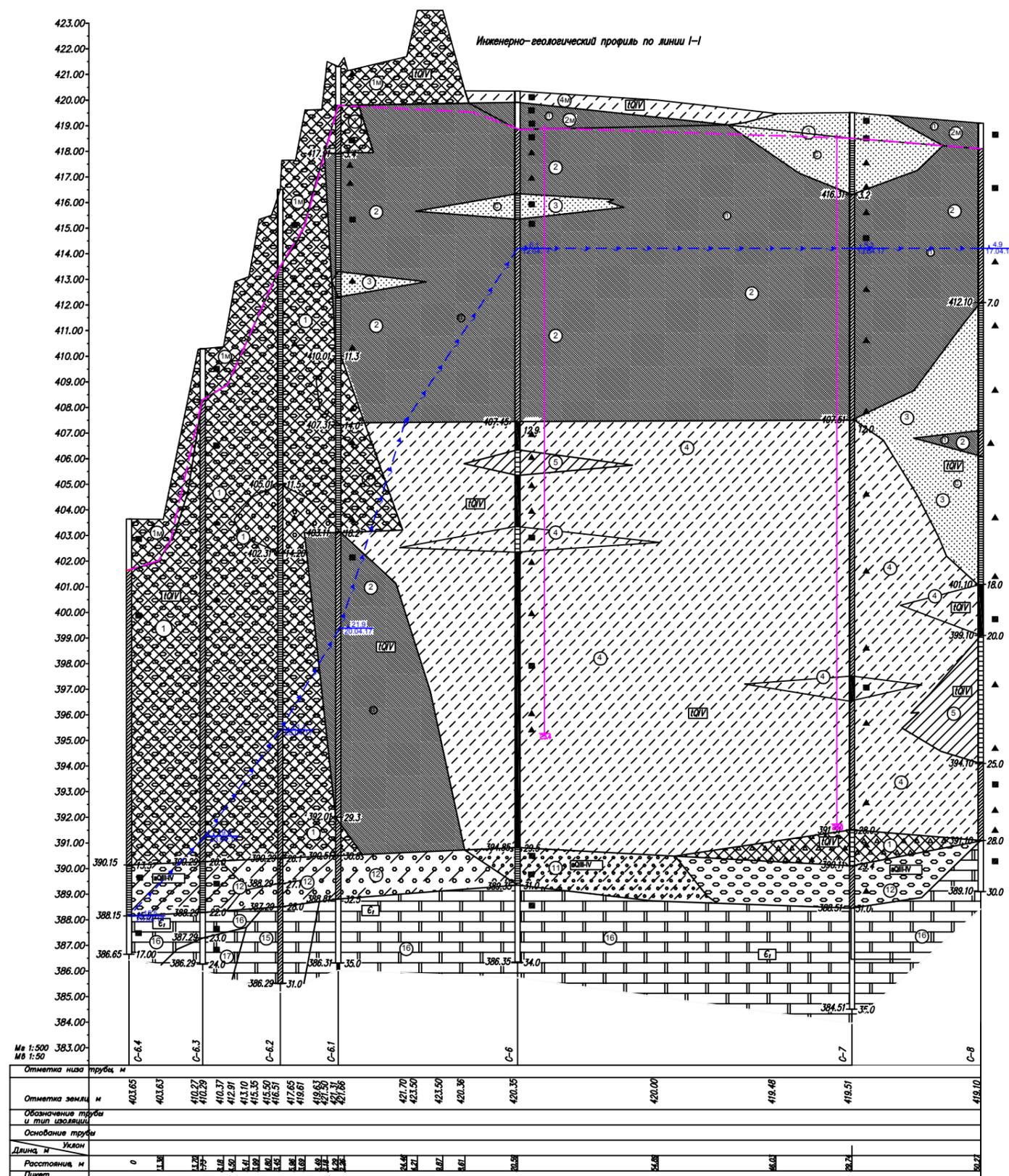
Поперечный профиль дамбы после наращивания до отметки 435,5 м (Разработка предпроектной документации..., 2018).

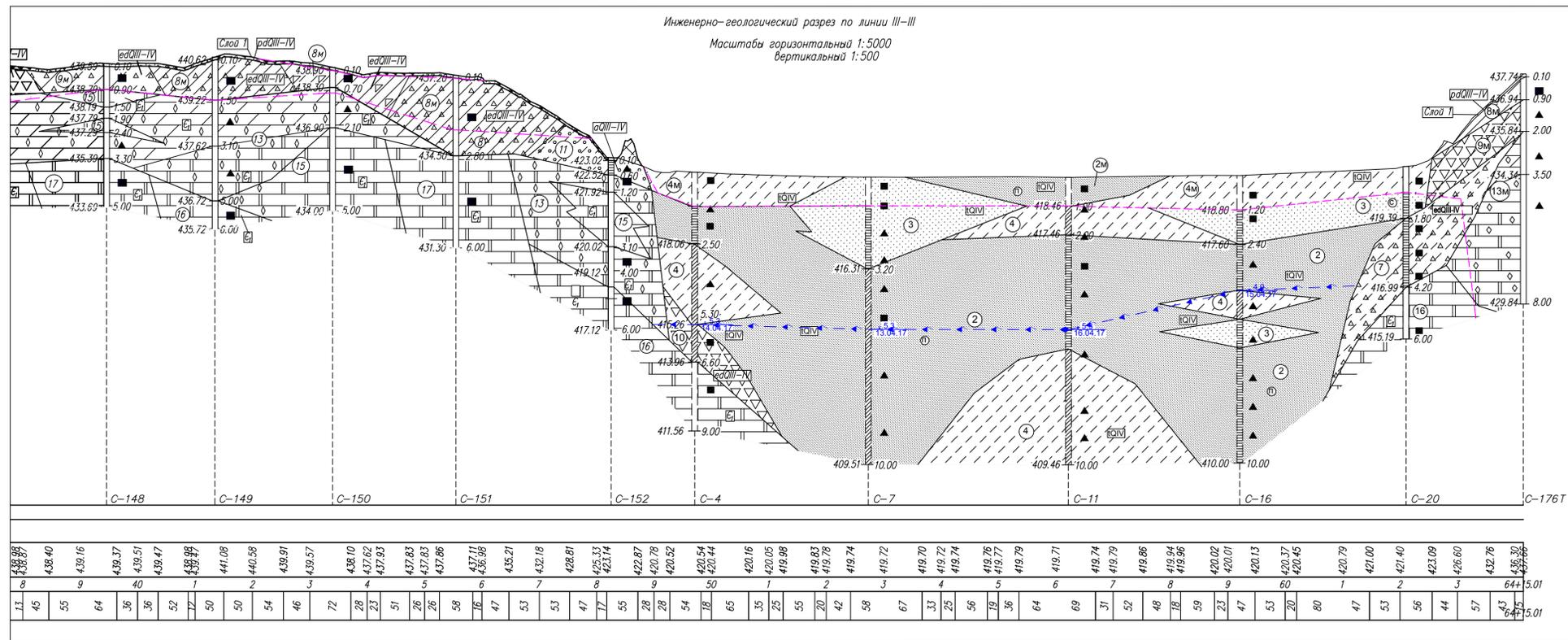


- Условные обозначения ИГЭ
- Насыпной грунт - галечниковый грунт с супесчаным заполнителем средней степени водонасыщения
 - Намывной грунт - песок пылеватый средней плотности средней степени водонасыщения
 - Намывной грунт - песок средней крупности средней плотности малой степени водонасыщения
 - Намывной грунт - супесь пластичная
 - Намывной грунт - суглинок мягкопластичный
 - Гравийный грунт с супесчаным твердым заполнителем
 - Доломит средней прочности
 - Щебенистый грунт с песчаным заполнителем

№ИГЭ	Номенклатура грунта
1	Насыпной грунт (галечниковый грунт с супесчаным заполнителем) средней степени водонасыщения
2	Намывной грунт - песок пылеватый средней плотности средней степени водонасыщения
3	Намывной грунт - песок средней крупности средней плотности малой степени водонасыщения
4	Намывной грунт - супесь пластичная
5	Намывной грунт - суглинок мягкопластичный
11	Супесь гравелистая твердая
12	Гравийный грунт с супесчаным твердым заполнителем
15	Доломит очень низкой прочности средней степени водонасыщения
	Щебенистый грунт с песчаным заполнителем до 29%

Приложение 2
Инженерно-геологические разрезы





Условные обозначения

ИГЭ	Возраст	Наименование грунта
2	tQIV	Намывной грунт – песок пылеватый средней плотности
2м	tQIV	Намывной грунт – песок пылеватый твердомерзлый слабокристаллической массивной криотекстуры, при оттаивании рыхлый средней степени водонасыщения
3	tQIV	Намывной грунт – песок средней крупности средней плотности малой степени водонасыщения
4м	tQIV	Намывной грунт – супесь твердомерзлая слабокристаллической массивной криотекстуры, при оттаивании текучая
4	tQIV	Намывной грунт – супесь пластичная
6м	lvQIII-IV	Супесь слабоатеррированная твердомерзлая льдистая массивной и слоистой криотекстуры при оттаивании текучая
7	edQIII-IV	Супесь дресвяная твердая
7м	edQIII-IV	Супесь дресвяная твердомерзлая слабокристаллической массивной криотекстуры при оттаивании пластичная
8	edQIII-IV	Суглинок дресвяный тугопластичный
8м	edQIII-IV	Суглинок дресвяный твердомерзлый слабокристаллической массивной и слоистой криотекстуры, при оттаивании полутвердый
9м	edQIII-IV	Дресвяный грунт с суглинистым заполнителем твердомерзлый слабокристаллической массивной криотекстуры, при оттаивании текучий
10	edQIII-IV	Щебенчатый грунт средней степени водонасыщения
13	E ₁	Доломит очень низкой прочности средней степени водонасыщения
13м	E ₁	Доломит очень низкой прочности средней степени водонасыщения
14	E ₁	Доломит очень низкой прочности твердомерзлый слабокристаллической массивной криотекстуры, при оттаивании средней степени
15	E ₁	Доломит средней прочности плотный размягчаемый
16	E ₁	Доломит прочный очень плотный размягчаемый
17	E ₁	Доломит очень прочный очень плотный размягчаемый

Состояние грунтов

Песчаные и крупнообломочные грунты	Глинистые грунты
-	твердые
средней степени водонасыщения	пластичные

отбор проб грунта:

▲ — а) нарушенной структуры
 ■ — б) ненарушенной структуры

Стратиграфо-генетические комплексы

rdQIII-IV	Современные отложения тектонического генезиса
lvQIII-IV	Современные и верхнечетвертичные отложения озерно-болотного генезиса
edQIII-IV	Современные и верхнечетвертичные элювиально-делювиальные отложения
αQIII-IV	Современные и верхнечетвертичные аллювиальные отложения
E ₁	Нижнекембрийские карбонатные отложения

Скважина:

а) слева – абсолютная отметка подошвы слоя, м
 справа – глубина подошвы слоя, м

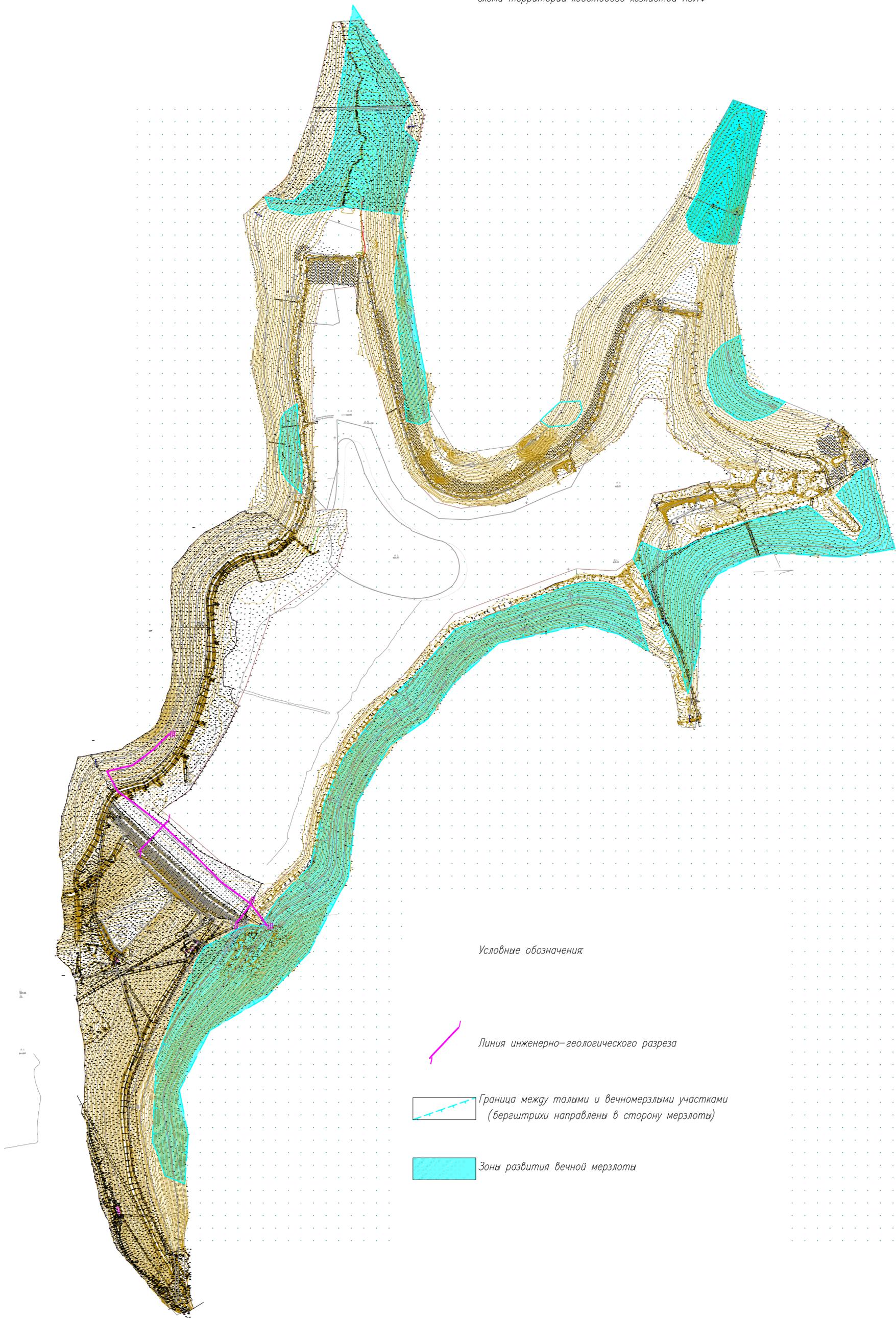
б) слева – абсолютная отметка забоя, м
 справа – глубина забоя, м

Граница между талыми и вечноммерзлыми участками (верштрихи направлены в сторону мерзлоты)

—17.04.17— уровень грунтовых вод, м дата замера

—156— статическое зондирование

Схема территории хвостового хозяйства КЗИФ



Условные обозначения:

 Линия инженерно-геологического разреза

 Граница между тальми и вечномерзлыми участками
(бергштрихи направлены в сторону мерзлоты)

 Зоны развития вечной мерзлоты