

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Т. А. Кулагина

подпись

«____» _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Комплексная система регулирования фильтрационного режима
хвостохранилища

20.04.01 «Техносферная безопасность»

20.04.01.03 «Чрезвычайные ситуации в техносфере»

Научный руководитель _____ профессор, д.т.н. Г.И. Кузнецов
подпись, дата

Выпускник _____ М.В. Чумакова
подпись, дата

Рецензент _____ доцент, к.т.н. И.В. Варфоломеев
подпись, дата

Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Т. А. Кулагина

подпись

«____» _____ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту Чумаковой Марии Валерьевне

Группа ФЭ17-09М.

Направление (специальность): 20.04.01 Техносферная безопасность.

Программа 20.04.01.03 Чрезвычайные ситуации в техносфере

Тема выпускной квалификационной работы «Комплексная система регулирования фильтрационного режима хвостохранилища».

Утверждена приказом по университету № 15498/с от 25.10.2017г.

Руководитель ВКР Г. И. Кузнецов, профессор, доктор технических наук.

Исходные данные для ВКР:

- научная и справочная литература;
- научные работы.

Перечень разделов ВКР:

1. анализ исходной документации;

2. экспериментальная часть;
3. анализ экологических рисков.

Перечень графического материала:

- Лист 1 – генеральный план;
- Лист 2 – поперечный инженерно-геологический разрез;
- Лист 3 – построение фильтрационной сетки;
- Лист 4 –фрагмент плана;
- Лист 5 – поперечный разрез узла А;
- Лист 6 – расчетный профиль внешнего откоса;
- Лист 7 – схема к расчету устойчивости откоса.

Научный руководитель

подпись

Г.И. Кузнецов

Задание принял к исполнению

подпись

М.В. Чумакова

« ____ » _____ 2019 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения этапов ВКР

Наименование и содержание этапа	Сроки выполнения
Назначение темы диссертации. Составление плана диссертации	01.09.17 – 31.09.17
Подбор необходимой литературы	01.10.17 – 31.12.17
Постановка основной задачи замерзания дренажной системы, освоение расчетных методик и программ	01.01.18 – 30.04.18
Обоснование конструкции незамерзающей дренажной системы	01.05.18 – 31.12.18
Выполнение расчетов, технико-экономических показателей, оформление результатов, составление выводов	01.01.19 – 31.03.19
Продолжение выполнения расчетов, оформление результатов, составление выводов	01.04.19 – 31.05.19
Графическое оформление чертежей	01.06.19 – 30.06.19
Оформление прочей документации и доклада	01.07.19 – 18.07.19

Научный руководитель

Г. И. Кузнецов

подпись

Задание принял к исполнению

М.В. Чумакова

подпись

« ____ » _____ 2019г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа в форме магистерской диссертации по теме «Комплексная система регулирования фильтрационного режима хвостохранилища» содержит 81 странице текстового документа, 22 использованных источника, 7 листов графического материала.

СУРОВЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СЕЗОННОЕ ПРОМЕРЗАНИЕ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ, СИСТЕМА ГИДРООБОГРЕВА, НЕЗАМЕРЗАЮЩАЯ ДРЕНАЖНАЯ СИСТЕМА, ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ.

Цель – в рамках работы исследована проблема обеспечения устойчивости высоких накопителей, увеличение объема ёмкости накопителей без затрат новых земельных ресурсов и совершенствование дренажной системы.

В результате была решена проблема фильтрационного режима хвостохранилища в суровых климатических условиях с помощью новой конструкции дренажной системы. Данная конструкция, позволяет без существенных экономических затрат и новых земельных ресурсов не только обеспечить устойчивость хвостохранилища, но и решить проблему фильтрационного потока, который вследствие может повлечь за собой экологический риск.

АННОТАЦИЯ
к выпускной квалификационной работе
на тему: Комплексная система регулирования фильтрационного режима
хвостохранилища

ВКР выполнена на 81 страницы, включает 7 таблиц, 15 иллюстраций и 22 литературных источника.

Цель – в рамках работы исследована проблема обеспечения устойчивости высоких накопителей, увеличение объема ёмкости накопителей без затрат новых земельных ресурсов и совершенствование дренажной системы.

В магистерскую диссертацию входит введение, пять глав и итоговое заключение о работе.

Во введении раскрывается актуальность выпускной квалификационной работы по выбранному направлению, цель и задачи.

В первой главе представлены общие сведения, актуальность данной проблемы, опыт эксплуатации накопителей в суровых климатических условиях.

Во второй главе проанализированная исходная документация, характеристика объекта, инженерно-геологическая характеристика района.

В третьей главе представлено техническое решение незамерзающего дрена-жа.

В четвертой главе определено оползневое давление и дана общая оценка устойчивости объекта.

В пятой главе описаны риски связанные с эксплуатацией хвостохранилища.

В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе в форме магистерской диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Эксплуатация накопителей в суровых климатических условиях	10
2 Анализ исходной документации.....	36
2.1 Общая часть. Расположение шламохранилища.....	36
2.2 Характеристика отходов, складируемых на шламохранилище	38
2.3 Инженерно–геологическая характеристика района	41
2.4 Гидрогеологическая характеристика района	44
2.5 Климатические характеристики	46
2.6 Воздействие проектируемого объекта на поверхностные и подземные воды.....	48
2.7 Оценка воздействие на почву и земельные ресурсы.....	48
2.8 Проблема эксплуатации накопителей в суровых климатических условиях	49
3 Предлагаемое техническое решение незамерзающего дренажа	54
4 Определение оползневого давления и общая оценка устойчивости объекта.	57
5 Анализ экологических рисков	59
5.1 Расчет рисков.....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	79

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблемы экологии относятся к важнейшим проблемам, стоящим перед человечеством. Это обусловлено все возрастающим влиянием человеческой деятельности на окружающую среду, которое проявляется в загрязнении земли, воздуха и воды. Поэтому производственная деятельность человека должна осуществляться таким образом, чтобы наносить минимально возможный вред окружающей среде.

Комбинаты и обогатительные фабрики в результате процесса производства обогащения руды сбрасывают миллионы тонн отходов обогащения руды.

Для складирования их требуются хранилища, имеющие не только значительную емкость, но и удовлетворяющие условиям охраны окружающей среды.

Любое хвостохранилище несет угрозу окружающей среде и нередко возникают аварии, которые несут в себе не только угрозу для окружающей среды, но и экономические потери, а так же нередко человеческие жертвы. В большинстве своем аварии происходят еще на этапе проектирования шламохранилищ и является «экономностью» заказчика. Выбор технического решения, особенно проектов реконструкции, происходит как компромисс между ограниченным бюджетом и надёжными технологиями. Основные вопросы, определяющие промышленную и экологическую безопасность хвостохранилищ, связаны с технологическими особенностями эксплуатации, методами контроля безопасности сооружения, обеспечением статической и фильтрационной устойчивости, методами исследований, наблюдений и представлением получаемых результатов. Как правило, оценка воздействий на окружающую среду, типизация и классификация их последствий рассматриваются отдельно, а практические вопросы повышения экологической безопасности связываются с разработкой и внедрением эффективных мероприятий по снижению негативных последствий эксплуатации накопителей.

Увеличить ёмкость без затрата земельных ресурсов представляется возможным только за счет наращивания высоты существующих дамб. Одновременно появляется другая проблема, связанная с устойчивостью при наращивании накопителей. Проблему можно решить за счет проектирования комплексной системы регулирования фильтрационного режима

1 Эксплуатация накопителей в суровых климатических условиях

Особенности проектирования, возведения и эксплуатации накопителей в суровых климатических условиях целесообразно рассматривать на примере ряда объектов, расположенных на вечномерзлых основаниях, в зоне глубокого сезонного промерзания и других региональных. К таким объектам относятся хвостохранилища Норильского ГМК, золоотвалы Аркагалинской ГРЭС, Благовещенской ТЭЦ, Иркутской ТЭЦ-10 и ТЭЦ-11, Абаканской ТЭЦ, хвостохранилища компании АЛРОСА в Якутии и др.

Одним из наиболее показательных объектов является хвостохранилище №1 в Норильске. Его основание сложено суглинистыми и супесчаными льдонасыщенными вечномерзлыми грунтами с начальной температурой $-2\text{--}3^{\circ}\text{C}$. На глубине 1,5-2,5 м обнаружены ледяные линзы мощностью 1,0-2,5 м. Криогенная структура суглинков сетчатая и сетчато-слоистая, объемная льдистость 30-40%, тепловая осадка 5-20%. Супеси имеют сетчатую структуру и среднюю влажность 20-30%. Нередко влажность супесей достигала 90-100%, а в отдельных случаях 200-340%. Тепловая осадка этих грунтов превышает 15% Под руслом ручья, пересекаемого дамбой, наблюдался фильтрационный поток, служивший причиной образования наледи. Мероприятия по промораживанию талика и перехвата подруслового потока проектом не предусматривались и в процессе возникновения дамбы не проводились.

Ограждающая дамба намывалась преимущественно в теплый период года и мелкозернистых и пылевых хвостов. Ширина пляжа составляла 50-100 м при уклоне 1:20, среднее заложение откоса 1:4, глубина отстойного пруда 3,5-5,0 м, средняя температура пульпы в период намыва пляжа не превышала 15°C . Определяющее влияние на криогенные процессы и обусловленные ими деформации намывном массиве оказывали температурные, технологические и фильтрационные факторы. Средняя высота дамбы в конечной стадии возведения составляла 45-50 м, на отдельных участках она достигала 56 м. В 1960-1966 гг.

выпуск пульпы производился на верховой и низовой откосы наращиваемой дамбы. Сброс хвостов под лед впервые осуществлен зимой 1966-1967 гг. До 1967 г. ежегодно в зимнее время отстойный пруд покрывался слоем льда толщиной от 1 до 3 м, и при весьма малых глубинах (часто не более 3,0 м) почти полностью промерзал на значительной площади особенно над подводной поверхностью пляжа. В теплое время года намороженный в пруде лед полностью не оттаивал и замывался хвостами. Этими обстоятельствами объясняется наличием в теле дамбы и в ложе пруда нескольких мощных слоев и линз льда.

Средняя суммарная мощность ледяных тел в целом составляла 25% от общей мощности талых и мерзлых отложений. В среднем по дамбе толщина ледяных включений составляла 21% от высоты дамбы, достигая на отдельных пикетах 35% (13 м). В среднем по чаще мощность ледяных тел составляла 31% от общей мощности отложений. В отдельных скважинах суммарная мощность льда достигала 85%. В основном пласты залегают в толщине мерзлых отложений, но в некоторых скважинах выявлены слои льда на контакте с талыми грунтами при температурах, близких к 0 °C.

Выход пластов льда на поверхность низового откоса зафиксирован на многих участках эрозионно-термокарстового разрушения. Многолетняя консервация замытых ледяных тел являлась признаком стабильности теплового режима промороженных зон. Локальные термокарстовые деформации в этих зонах наблюдались на сравнительно незначительной площади пляжа и низового откоса. В то же время на участке, где низовой откос был подтоплен теплыми стоками, развивались опасные деформации (общее смещение откоса в сторону нижнего бьефа и продольной трещины на гребне), являвшееся следствием таяния льда или его вязкопластического течения при повышении температуры.

Профиль низового откоса, гребня и пляжа сформированы циклами перестановок эстакады пульпопровода и отсыпной дамб обвалования при наращивании дамбы. Плотно намытые на пляжах хвости, промерзающие с поверхности за одну зиму на глубину до 2 метров, по мере оттаивания разрыхлялись бульдозерами и сдвигались в насыпь на внешней бровки гребня. Рыхлая по-

верхность верхнего яруса откоса высотой 4-8 м не уплотнялась и легко осыпалась. Откос этого яруса имел уклон 1:1; 1:0,5 и местами был почти вертикальным. Естественное выравнивание и уплотнение поверхности откоса происходило только в нижней его части на тех участках, где этот процесс не осложнялся фильтрационными и термокарстовыми деформациями. Поверхность выравненной части откоса, образующей его нижний ярус, обычно имело уклон от 1:5 до 1:10. Переход крутого верхнего рыхлого яруса в пологий нижний ярус на большей части длины дамбы, характеризовался наличием рыхлого излома, в пределах которого активно развивались мерзлотные явления и деформации. Восстановительный намыв из более крупнозернистых хвостов обеспечивал заложение откоса порядка 1:4-1:6. Плотный, монолитный, не содержащий ледяных включений массив восстановленного откоса был значительно более устойчив в отношении поверхностной эрозии, чем рыхлый и крутой первоначальный откос.

Наблюдения 1967-1969 гг. и 1970-1974 гг. за состоянием поверхности гребня и откосов дамбы, результаты разведочного бурения и термокарстовые деформации свидетельствуют о принципиально ошибочной технологии возведения дамбы в период с 1950 по 1967 гг., в который не учитывались сложные климатические и мерзлотные условия.

Формирования мощных включений техногенных льдов, соответственно, сложная криогенное строение дамбы, тепломассообмен в промерзающих и оттаивающих отложениях, технологические факторы определяли собой комплекс криогенных деформаций, существенно снижавших устойчивость хвостохранилищ. Наиболее существенное воздействие на фильтрационную и статическую устойчивость низового откоса оказывали:

- наледи, в частности гидролакколиты, формировавшиеся на поверхности откоса в зонах высачивания локальных фильтрационных потоках;
- термокарстовые провалы на участках контакта талых фильтрующих зон и линз льда, погребенного в теле низового откоса;

- воднотепловая эрозия в зонах развития термокарста и локальной фильтрации.

Основные проявления криогенных процессов и деформаций наблюдались в период 1967-1980гг.

Эрозионный размыв поверхности гребня и низового откоса, связанный с недостатками технологии намыва, наблюдался повсеместно и происходил вследствие утечек пульпы при намыве дамбы и при разрывах пульпопроводов. Наиболее подверженным размыву был верхний крутой ярус откоса. В меньшей степени данная форма размыва проявлялась пологой, уплотнившейся поверхности нижнего яруса. Участки, намытые гидроциклонами из крупнозернистых хвостов, более устойчивы по отношению к этой форме эрозии. При размыве оттаивших с поверхности отложений образовались промоины шириной до 10 м и глубиной до 2 м или более узкие вертикальные щели шириной до 1 м и глубиной до 3-4 м. Основными мероприятиями по борьбе с данным типом эрозии являются:

- совершенствование технологии возведения дамбочек обвалования и тщательный контроль за выпусками пульпы и деформациями пульпопроводов;
- своевременная и тщательная заделка эрозионных русел в основании при помощи восстановительного намыва из хвостов крупных фракций;
- создание необходимых уклонов на пляже, обеспечивающих быстрое его обезвоживание вблизи гребня дамбы.

Эрозионный размыв и местные обрушения низового откоса при вытаивании погребенных снежников. Мощные (до 4–5 м) отложения снега на откосе и у подошвы его верхнего крутого яруса способствовали появлению своеобразной формы эрозии в сочетании с местными спlyвами переувлажненных намывных отложений. Снежники сформировались по всей длине дамбы на уровне излома, разделяющего крутой и пологий ярусы низового откоса, а также практически во всех имеющихся к началу зимы промоинах и других провальных образованиях.

К концу зимы на поверхности снежников накапливался теплоизолирующий шлейф из рыхлых хвостов, обязанный своим происхождением зимней ветровой эрозии (пылению), оплыванию и обрушению крутых рыхлых откосов над снежниками. Благодаря теплоизолирующему эффекту шлейфа снежники не вытаивали полностью в течение лета, снег пропитывался водой и превращался в особый вид погребенного льда. Вытаивание этих льдов за несколько лет приводило к образованию глубоких (до 3–5 м) воронок и эрозионных промоин с почти вертикальными стенками, явившихся причиной интенсивных местных сплызов откосов над ними. Медленное таяние снежников питало многочисленные ручьи, усиливавшие эрозию откоса. На участках деградации погребенных снежников оплывающая поверхность откоса формировалась в виде ледяного козырька – уступа высотой 0,5–1 м, которого в течение всего лета стекали разжиженные хвосты и талые воды, определявшие эрозионную форму поверхности откоса ниже козырьков. Основными внешними индикаторами начальной стадии процесса вытаивания снежников являлись многочисленные воронки и столбчатое растрескивание всей поверхности шлейфа, прикрывавшего снежники.

Карстовые полости, наблюдавшиеся на глубине до 1 м под поверхностью низового откоса, возникали вследствие эрозионных процессов, происходивших под мерзлой коркой сезоннопромерзающих отложений. Эти полости формировались в виде узких промоин вдоль склона, с очень слабым сводом, обрушавшимся под действием собственного веса, оттаивания и эрозии.

Провальные термокарстовые воронки на поверхности гребня и пляжа дамбы показан на рисунке 1. Эти деформации являлись индикаторами процесса вытаивания замытых пластов и линз льда под воздействием положительной температуры воды в пруде, не опускающейся ниже 3°C, сезонного оттаивания промороженного за зиму слоя хвостов на пляже и фильтрации в талых зонах дамбы. Диаметр воронок достигал 10 м, глубина – 2 м. Воронки были окружены сетью концентрических трещин глубиной 0,5–1 м. В конце периода сезонного оттаивания пляжа воронки достигали своего предельного развития, часто

сливались между собой и образовывали на площади в несколько десятков квадратных метров термокарстовый провальный рельеф пляжа. На участках верхового откоса, пораженных термокарстовыми процессами, намывные отложения находились в разжиженном состоянии и были лишены какой-либо структурной прочности.

Термокарстовые пещеры на низовом откосе дамбы образовывались при вытаивании пластов и линз льда и обрушении вмещающих его намывных отложений показан на рисунке 2. Вытаивание льда происходило при сезонном оттаивании, фильтрации и эрозионном размыве хвостов на поверхности откоса. Пещеры возникали в различных местах по длине дамбы на любой ее высоте и являлись весьма опасной формой деформации, проникая в толщу откоса на глубину до 5 м. Доступная для осмотра внешняя часть пещер располагалась внутри или под слоем льда, образующего свод и наружный торец пещеры. Окружающее пещеру обнажение образовывало вертикальную ледяную стенку. Устье пещеры (диаметр 1,2–2 м) переходило в глубокое до 2 м эрозионное русло. Окружающие пещеру намывные отложения были структурно неустойчивыми, постоянно оплывали и обваливались в теплое время года. Потоки воды, вытекавшие из пещер, содержали взвешенные частицы хвостов.



а



б

Рисунок 1 – Термокарстовая воронка на пляже хвостохранилища №1 Норильского ГМК: *а* – начальная стадия; *б* – в процессе развития



Рисунок 2 – Термофильтрационная эрозия низового откоса намывной дамбы хвостохранилища № 1 Норильского ГМК

Фильтрационно-термокарстовые (термоэрэзионные) воронки в зоне выхода напорного фильтрационного сосредоточенного потока, круглые или овальные в плане, с отвесными, почти вертикальными стенками, глубиной до 10–12 м и диаметром до 50 м, формировались на низовом откосе практически на любой его высоте показан на рисунке 3. В центре воронки наблюдался небольшой грифон или медленное высачивание. Нижний край воронки полностью разрушался вытекавшим из нее потоком, создававшим вдоль склона эрозионное русло.

Наблюдались также серии воронок, расположенных уступами вдоль склона и соединенных эрозионными руслами. Возникновению воронки или очередному этапу роста ее диаметра предшествовало плавное понижение поверхности откоса на глубину 1–2 м и появление системы глубоких вертикальных трещин, образовывавших концентрические окружности по периметру начавшегося провала. Иногда развитие воронок и образование «цепочки» воронкообразных провалов происходило вдоль продольной оси дамбы, наблюдалось движение фильтрационного потока по уклону «цепочки» и высачивание в центре каждой воронки. Смыкающиеся между собой воронки образовывали сплошную провальную траншею, рассекавшую дамбу на длине 50–100 м. Незамерзающие, постоянные в течение зимы выходы фильтрационных вод являлись причиной развития внутри воронок надледных процессов.

Наледи и гидролакколиты связаны с высачиванием напорных фильтрационных вод на поверхность низового откоса по фильтрующим таликам. В местах постоянного выхода напорных фильтрационных вод процессе се зонного промерзания поверхности откоса развивались наледи, диаметр (или длина вдоль откоса) которых достигал 100– 130 м. Наледи включал и в себя плоские участки и бугры пучения – гидролакколиты, развивавшиеся непосредственно над сосредоточенными фильтрационными выходами.

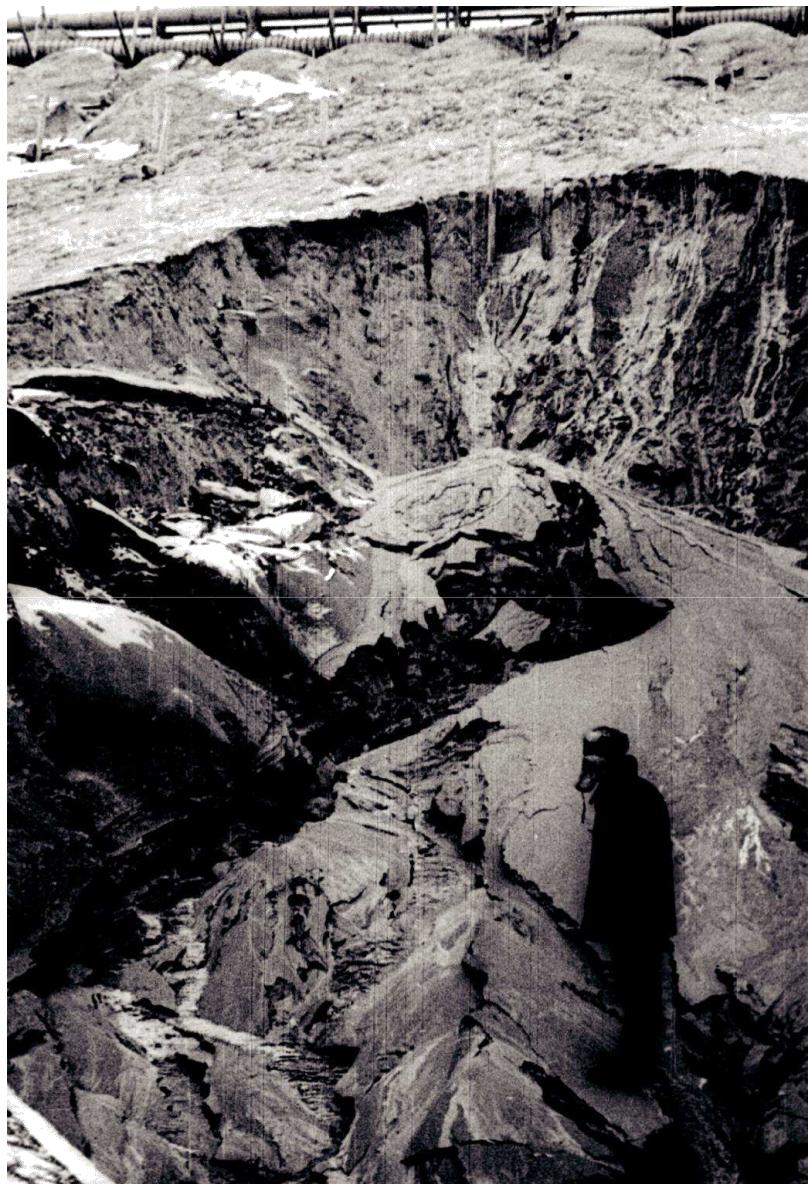


Рисунок 3 – Образование и разрушение гидролакколита на хвостохранилище №1 Норильского ГМК

До проведения восстановительного намыва гидролакколиты располагались на уровне излома откоса и вблизи его подошвы. На тех участках, где была произведена отсыпка дренажной призмы, они развивались непосредственно за призмой и далее по откосу, вплоть до его нижней кромки в русле незамерзающего ручья, являвшегося естественным, постоянно действующим дренажом для талых фильтрующих зон дамбы. Выше дренирующей отсыпки появление гидролакколитов не отмечалось. Все они развивались вниз по откосу в летнее время.

Несколько иной тип бугра пучения наблюдался в полости фильтрационно-термоэрозионной воронки. В результате промерзания хвостов, вынесенных из толщи откоса сосредоточенным потоком, они покрывались тонкой водонепроницаемой коркой. Под действием напора воды эта корка разрушалась, на разрушенную поверхность корки изливалась вода и замерзала, прикрывая пустоты в теле деформированного конуса. Многократное образование, последующее разрушение и быстрое восстановление ледяных и льдогрунтовых корок сопровождались ростом бугра, под верхней куполообразной коркой которого наблюдались многочисленные мелкие грифоны высачивающихся фильтрационных вод. Структура бугра рыхлая, тело его состояло из отдельных пластинок мерзлых хвостов и льда. Это очень непрочное образование, легко разрушавшееся под действием напора на тонкую верхнюю корку. Расход высачивавшегося потока был недостаточным для заполнения водой многочисленных полостей, каверн и рыхлых напластований. Этими особенностями генезиса строения данный тип бугра пучения существенно отличается от основной формы – льдогрунтового купола, рассекаемого глубокими трещинами или уничтожаемого взрывом. Формирование этого пористого гидролакколита не менее опасно для устойчивости дамбы.

Обилие гидролакколитов являлось убедительным доказательством наличия талых фильтрующих зон в теле дамбы. Устойчивость дамбы на этих участках могла быть обеспечена при промораживании таликов или устройстве местного незамерзающего дренажа.

Для сравнения укажем, что при эксплуатации других гидроотвалов на мерзлых основаниях, оттаивание которых сопровождалось развитием интенсивной фильтрации по оттаивающему слою, также формировались мощные многолетние поверхностные наледи на низовом откосе и в нижнем бьефе вдоль фильтрующих русловых таликов, являвшихся естественными дренажами. Высота подъема таких наледей по откосу достигала 15 м, толщина слоя льда – 10 м и длина вдоль лога до 2 км. Наледь в сочетании с сезонным промерзанием создавала предпосылки для формирования напорного фильтрационного потока в

намывном массиве низового откоса. Давление этого потока на нижнюю поверхность водоупорной мерзлой зоны (включающей в себя тело наледи) приводило к снижению устойчивости сооружения.

Морозобойные трещины появлялись в конце зимы на ровной слабо заснеженной поверхности пляжа и гребня. Величина раскрытия трещин впервые 7–8 дней с момента образования достигала 5–6 см, глубина составляла 1,5–2 м. Все трещины начинались от наружной бровки гребня дамбы и перпендикулярно ее оси развивались в направлении отстойного пруда, достигая кромки ледяного покрова. Ответвления от основного направления трещины не наблюдались. Данный вид деформации весьма опасен из-за возможности глубокого перечного размыва тела дамбы весной при появлении талых вод на пляже.

Деформации технологического, фильтрационного, термокарстового происхождения вызывали повсеместную глубокую эрозию откоса на всем его протяжении. Отдельные ручьи талых и фильтрационных вод, эрозионные русла, промоины и полости различного генезиса, термокарстовые провальные образования в совокупности определяли чрезвычайно сложный и неустойчивый характер рельефа откоса. Даже его плотная пологая часть и восстановленные участки подвергались повторным деформациям.

Аналогичное льдообразование в намывных отложениях и обусловленные им термокарстовые процессы, другие виды криогенных деформаций имели место при эксплуатации ряда других хвостохранилищ и золоотвалов. Вследствие несвоевременного наращивания ограждающих дамб и недостаточной для подледного складирования емкости отстойных прудов в начальный период зимы допускался намыв пульпы на поверхность промерзающего пляжа, а в конце зимы – выпуск пульпы на ледяной покров пруда. При намыве пляжа весной замывались не успевшие оттаять лед и сезонная мерзлота. В результате на этих сооружениях также образовались слои замытого льда.

Например, на хвостохранилище Коршуновского ГОК основной массив дамбы высотой более 50 м был намыт из хвостов. На различных глубинах в течение 10–12 лет сохранялись слои льда и мерзлых отложений толщиной до 3 м,

образовавшиеся при выпуске пульпы на лед и намыве на промороженный пляж. В сочетании со слоями неконсолидированных хвостов ледяные и мерзлые включения определяют сложное строение намывного массива и снижают его устойчивость. Для укрепления низового откоса выполнялись дренирующие пригрузки из вскрышных пород, а также регулировалось заложение откоса.

При натурных обследованиях (1985–1986 гг.) золоотвала Аркагалинской ГРЭС в толще золошлаковых отложений, образующих внешнюю упорную призму, выявлены характерные проявления таких криогенных процессов, как льдообразование, термокарст и термоэрэзионное разрушение дамбы фильтрационными потоками, движущимися по термокарстовым полостям на рисунке 4.

Эти явления наблюдались постоянно в течение ряда лет и сопровождались интенсивным выносом золы по термоэрэзионным подземным руслам, переходящим затем в открытые ручьи. Золовые отложения покрывают значительную часть территории, примыкающей к подошве дамбы. В отдельных местах толщина слоя золовых наносов термокарстово-эрэзионного генезиса достигает 1–1,5 м.

Сравнение указанных явлений с наблюдавшимися на других гидроотвалах позволяет судить о полном совпадении характера их протекания.



а



б

(а – вид вдоль дамбы; б – вид поперек дамбы)

Рисунок 4 – Термокарстовый провал на золоотвале Аркагалинской ГРЭС

Совместное воздействие температурного, криогенного, фильтрационного и гидравлического факторов на устойчивость и экологическую безопасность накопителя привело к разрушению золоотвала Абаканской ТЭЦ показаны на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5 – Разрушение ограждающей дамбы золоотвала № 1 Абаканской ТЭЦ (поперечное сечение дамбы в проране)



Рисунок 6 – Разрушение ограждающей дамбы золоотвала № 1 Абаканской ТЭЦ (вид из вытекшей емкости)

Дамба золоотвала построена из песчано-гравийной смеси; заложение верхового и низового откосов 1:3; средняя высота 9,5 м; ширина гребня 6 м. Противофильтрационный экран выполнен из полиэтиленовой пленки толщиной 0,4 мм, с защитным слоем толщиной 0,5 мм из песка. Максимальный уровень заполнения емкости водой предусматривался до 250,0 м при отметке гребня 251,0 м. В основании залегают суглинки, галечниковый грунт с песчаным заполнителем, на отдельных участках сохранен поверхностный слой заторфованного грунта толщиной до 1,2 м.

В результате разрушения низового откоса и гребня дамбы на участке длиной 45 м произошел ее размыв на полную высоту до отметки 241,86 м, а также экрана в ложе золоотвала на участке длиной 54 м шириной 60 м. Отметка гребня дамбы по бортам прорана 250,0 м, поверхности льда на золоотвале в момент аварии 249,60 м.

Основной причиной разрушения ограждающей дамбы являлось совместное воздействие фильтрационного потока и сезонного промерзания гребня, низового откоса и основания в нижнем бьефе. По данным натурных измерений (1986–1988 гг.) и многочисленным внешним проявлениям постоянной фильтрации, особенно у подошвы разрушившегося участка дамбы, можно судить о

недостаточной эффективности пленочного экрана из-за наличия в нем многочисленных повреждений.

Эксплуатация золоотвала в осенне-зимний период 1989–1990 гг. проводилась при высоком, но не превышающем проектной отметки уровне воды, что при низких фактических водоупорных качествах экрана привело к обильному насыщению фильтрующейся водой массива дамбы особенно на разрушенном участке.

В теплое время года фильтрационный поток беспрепятственно высачивался в заполненное водой понижение у подошвы низового откоса. В зимнее же время в результате сезонного промерзания гребня, низового откоса и его основания в зоне высачивания произошло стеснение потока, резко возросли его скорости под нижней кромкой водонепроницаемой поверхностной мерзлой корки, а в пределах всей длины откоса на нее действовало взвешивающее давление фильтрационного потока, который в создавшихся условиях стал напорным. Наиболее опасная фаза развития этого процесса совпала по времени с максимальной глубиной промерзания откоса; его разрушение прошло практически сразу после завершения наиболее холодного периода зимы. Давление напорного фильтрационного потока на мерзлую корку могло привести к ее отрыву от фильтрующего массива откоса, а образовавшаяся под ней не плотность могла стать дополнительной причиной эрозии грунта. На участке повышенных скоростей фильтрации под торцом мерзлого слоя нельзя исключать возможность развития интенсивной суффозии грунта тела и основания дамбы. Совокупность всех этих воздействий и стала причиной быстрого разрушения дамбы, завершившегося ее размывом переливающимся потоком воды и пульпы.

Для оценки совместного воздействия температурных, фильтрационных и криогенных факторов на процесс разрушения дамбы проведена реконструкция напорного режима фильтрации под водонепроницаемым сезонномерзлым панцирем в момент, предшествовавший образованию прорана.

На контрольной геофильтрационной модели учтены:

- сезонное промерзание низового откоса на глубину 1,7 м;

- высокое, практически на уровне гребня, положение уровня воды в зо-лоотвале к моменту начала льдообразования;
- наличие на затопленном осенью пляже и поверхности воды;
- пруд сплошного льда толщиной до 0,45 м, образующего мерзлый пан-цирь вместе со слоем золовых отложений на пляже (до 0,55 м) и мерзлого грун-та на гребне и низовом откосе толщиной до 1,7 м;
- наличие незамерзающего участка высачивания шириной 6–8 м непо-средственно у подошвы дамбы;
- наличие экранирующего сезонномерзлого слоя на поверхности основа-ния за участком высачивания;
- высокая водопроницаемость поврежденного пленочного экрана.

При отсутствии внутреннего незамерзающего дренажа в основании и теле дамбы или заменяющего его внешнего локального дренажа-пригрузки под во-донепроницаемым мерзлым панцирем толщиной до 2,5 м на поверхности низо-вого откоса в его нижней части формируется зона напорной фильтрации.

При неблагоприятном сочетании перечисленных выше факторов могут произойти отрыв, выпор и сдвиг нижней части мерзлого панциря с выносом из-под него водонасыщенного грунта, как это и наблюдалось на деформированном участке дамбы. Таким образом, рабочая гипотеза, выдвинутая при анализе при-чин разрушения дамбы, полностью подтверждена на рассматриваемой модели.

Аналогичная картина может проявиться с той или иной степенью опасно-сти и на других участках дамбы. При более низких отметках уровня воды в зо-лоотвале кратковременное ослабляющее воздействие напорной зимней филь-трации на промерзающий не дренированный откос будет не столь значитель-ным, но при многократном повторении опасность этого процесса усиливается, особенно если учитывать вполне реальную возможность контактной супфозии грунта под мерзлым панцирем.

Сказанным подтверждается необходимость выполнения локальных упрочняющих мероприятий на наиболее активных фильтрационных выходах у подошвы низового откоса (незамерзающие дренажи и пригрузки).

На золоотвале Иркутской ТЭЦ-10 деформации фильтрующего откоса наблюдались 1–5 июня 1991 г. и протекали в форме выпора выносом разжиженного грунта на расстояние до 25 м. Длина деформированных участков составляла от 8 до 23 м. Высота обнажившегося уступа, местами практически вертикального, составляла 1,7–2,6 м. В нижней части уступа и на обнажившейся поверхности основания у его подошвы происходило интенсивное локальное высачивание с суффозионным выносом грунта изображено на рисунке 7. В этих местах супесчано-гравийный грунт тела дамбы и основания находился в водонасыщенном состоянии и приобрел свойства плытуна. Дренажные устройства на деформированных участках отсутствовали. Подошва низового откоса на значительном протяжении была подтоплена, что также способствовало разупрочнению грунтов в зоне контакта дамбы основанием. Основной причиной этих деформаций можно считать отсутствие контроля за фильтрационными, температурными и криогенными факторами в процессе гидравлического пылеподавления. Отметим, что пылеподавление путем кратковременного повышения уровня воды в пруде и затопления пылящего пляжа сопровождалось усилением фильтрации в поверхностном слое водонасыщенного низового откоса дамбы и местными фильтрационными деформациями. Особенно опасным является совпадение сроков подъема уровня воды и конечного этапа сезонного оттаивания (конец мая – начало июня). В этом случае фильтрационный поток кратчайшим путем через гребень дамбы поступает в оттаявший поверхностный слой на низовом откосе, подстилаемый пока еще мерзлым водонепроницаемым грунтом. Двигаясь по этому наклонному водоупору, поток высачивается на поверхность откоса, что приводит к его избыточному водонасыщению и солифлюкционному оплыванию. В предельном развитии этот процесс может распространиться и на гребень дамбы, что создаст предпосылки для ее прорыва и вытекания водозоловой гидросмеси.

Прямое влияние процесса сезонного промерзания-оттаивания откоса на устойчивость ограждающей дамбы и соответственно на экологическую безопасность золоотвала проявляется не только при пылеподавлении путем затопления пляжа, но и при формировании напорной фильтрации под промерзающим слоем в нижней части внешнего откоса показан на рисунке 7. Поэтому при укреплении деформированных участков требовалось обеспечить беспрепятственный отвод фильтрационных вод, не допуская их свободного высачивания на восстановленный откос. Для этого были устроены локальные незамерзающие дренажи.



а



б

(а – у подошвы откоса; б – в средней части откоса)

Рисунок 7 – Фильтрационное разрушение низового откоса дамбы золоотвала
Иркутской ТЭЦ-10

Аналогичные формы фильтрационно-криогенного разрушения дамб наблюдались на золоотвалах Иркутской ТЭЦ-11, Благовещенской ТЭЦ и Карагандинской ТЭЦ-3 изображены на рисунке 8. Авария золоотвала Иркутской ТЭЦ-11 в феврале 1988 г. произошла вследствие деформации разделительной дамбы между двумя практически заполненными секциями.

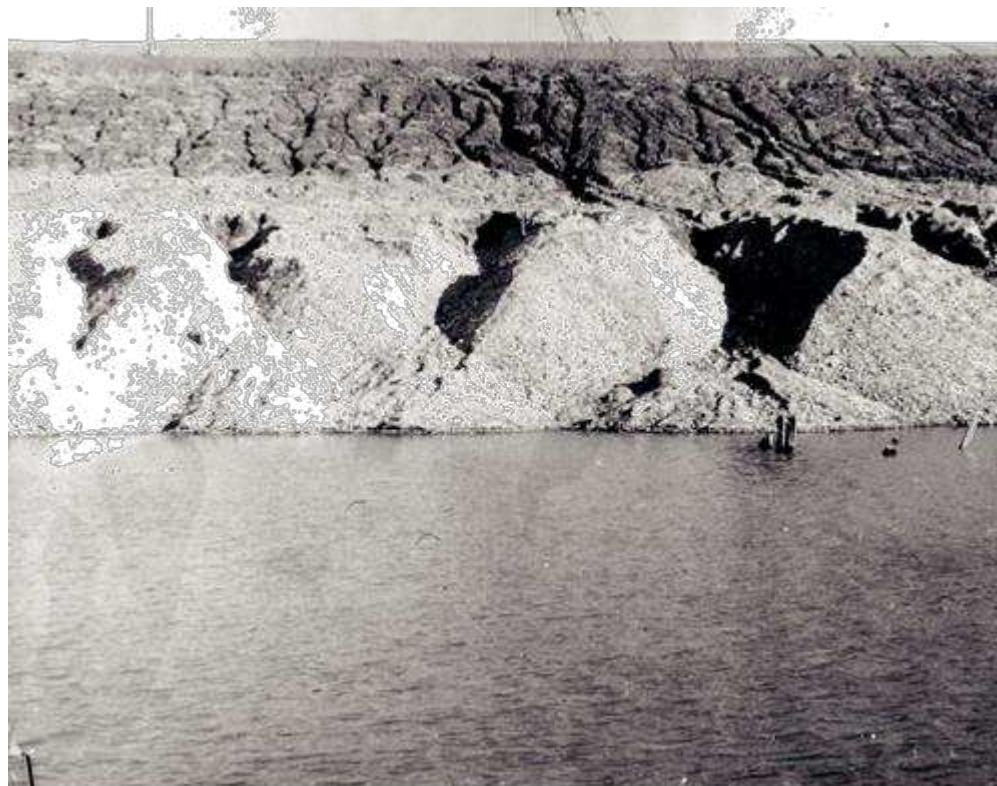
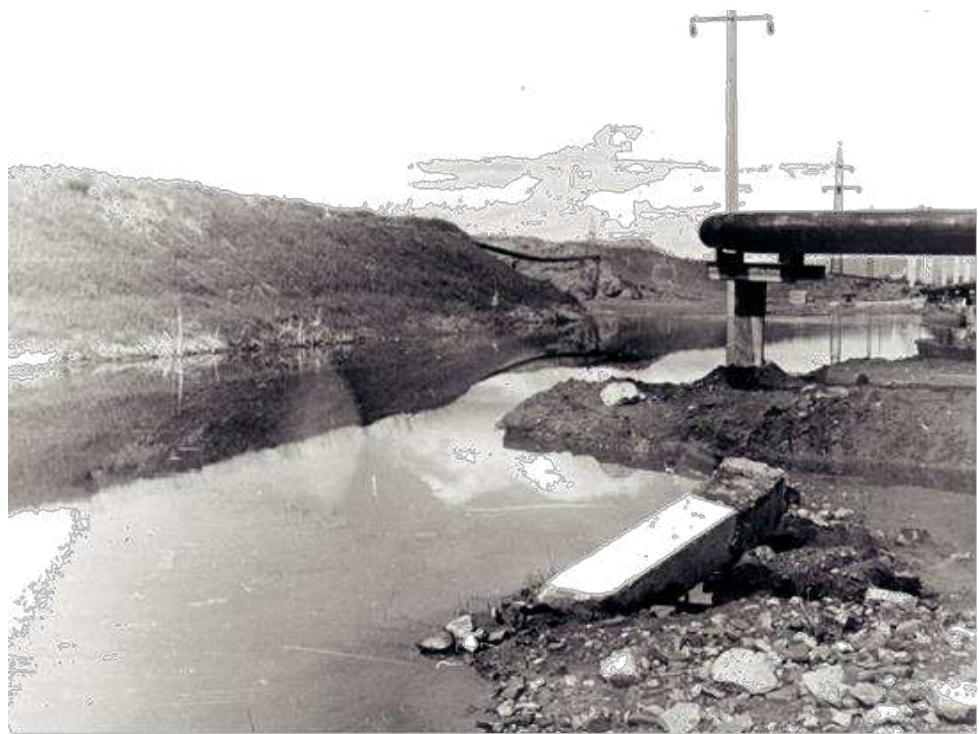
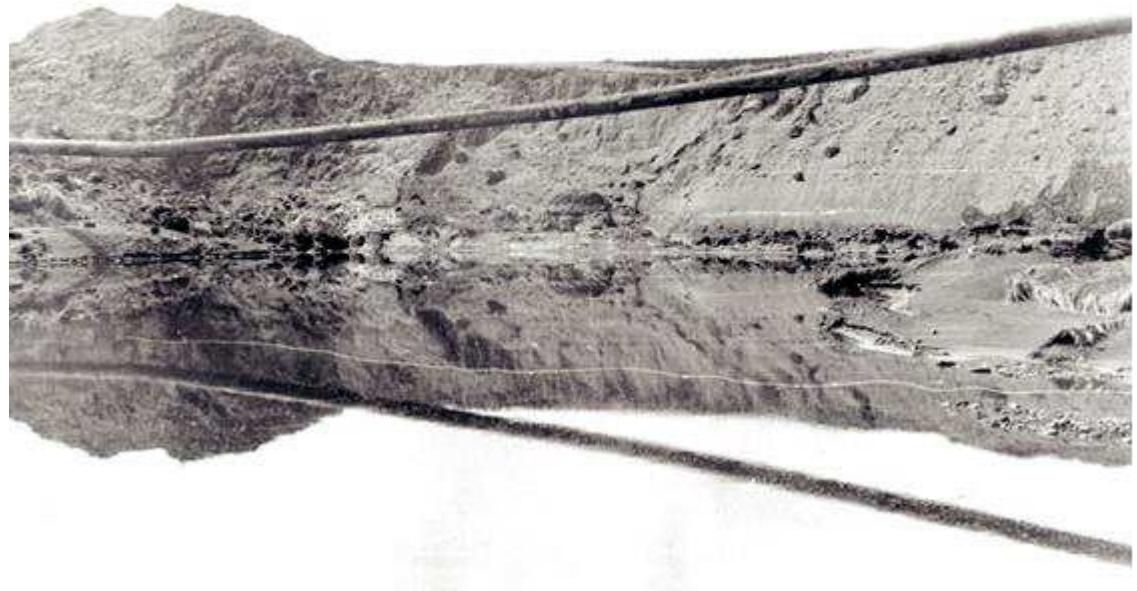


Рисунок 8 – Фильтрационное разрушение оттаивающего низового откоса дамбы золоотвала Благовещенской ТЭЦ вследствие отказа дренажа

Образовавшийся при этом поток воды и пульпы привел к образованию прорана в основной дамбе и вытеканию гидросмеси на прилегающую территорию показана на рисунке 9.



а



б

a – вид вдоль дамбы; *б* – вид со стороны прорана

Рисунок 9 – Разрушение ограждающей дамбы золоотвала Иркутской ТЭЦ-11

Другим негативным фактором можно считать значительное сезонное промерзание низового откоса (до 2,8 м) при отсутствии незамерзающего дренажа.

При проектировании и эксплуатации золоотвала и других накопителей в северной строительно-климатической зоне необходимо учитывать и предотвращать следующие негативные процессы:

- перелив воды через гребень в тех местах, где образовались осадочные либо морозные трещины, или на участках дамбы, где от-метка гребня не была доведена до проектной или понизилась при осадке слабого (например, заторфованного) основания; своевременная компенсация таких трещин осадок локальными подсыпками из не размываемого грунта является наиболее простым и радикальным способом предотвращения переливов при обнаружении деформаций;
- фильтрационный выпор поверхностной сезонномерзлой корки на низовом откосе фильтрующей дамбы при отсутствии эффективного незамерзающего дренажа, когда вслед за отрывом мерзлого слоя от массива низового откоса происходит его быстрое разрушение с образованием сквозного прорана на всю высоту дамбы и выносом из золоотвала значительных объемов водозоловой смеси;
- образование техногенного льда в массиве золошлаковых отложений и последующее локальное обрушение откоса при сдвиге по оттаивающей ледяной прослойке;
- повреждение экранов, засорение и кольматация дренажей, сосредоточенная фильтрация в бортовых примыканиях дамб (например, на НовоИркутской ТЭЦ) и вдоль коллекторов водосбросов в сочетании зимними осложнениями (например, на Иркутской ТЭЦ-11 и Красноярской ТЭЦ-1 изображено на рисунке 10).



а



б

а – вид со стороны подошвы; *б* – вид с гребня дамбы

Рисунок 10 – Разрушение низового откоса ограждающей дамбы золоотвала Красноярской ТЭЦ -1 при выпоре поверхностной мерзлой корки фильтрационным потоком

Аварии и деформации накопителей наблюдались не только в районах с суровым климатом, но и в других, вполне благополучных условиях. Например, серьезная экологическая катастрофа была 4 октября 2010 г. в Венгрии. В результате прорыва резервуара с токсичными отходами на рисунке 11 на алюминиевом заводе в г. Айка произошло затопление трех населенных пунктов красным шламом, который образуется при производстве глинозема и представляет собой густую смесь, содержащую оксиды алюминия, железа, титана, а также щелочь и соединения ядовитых металлов – мышьяка, ртути, свинца, хрома и кадмия.



а

В окружающую среду попало примерно $1,1 \text{ млн м}^3$ ядовитых отходов, а площадь их разлива составила порядка 40 тыс. м^2 . Жертвами этой аварии стали семь человек, около 150 пострадавших получили отравления и химические ожоги. Разрушено 300 жилых домов, эвакуировано 800 жителей поселка Колонтар. Ограждающая дамба находилась в аварийном состоянии, а само хранилище было переполнено. Возведена временная дамба длиной 1000 м, высотой 5 м и шириной 30 м, которая должна предотвратить повторную утечку ядовитых отходов из хранилища.



б

a – вид деформированного участка сверху; б – вид со стороны затопленной территории

Рисунок 11 – Разрушение ограждающей дамбы и вытекание шламов из переполненной емкости шламохранилища на алюминиевом комбинате в Венгрии (4 октября 2010 г.)

Красный шлам содержит 110 мг/кг мышьяка, 1,3 мг/кг ртути 660 мг/кг хрома. В пересчете на объем выброшенных отходов в окружающую среду попало не менее 50 т мышьяка. В воде канала обнаружен мышьяк с уровнем концентрации 0,25 мг/л, что в 25 раз превышает норматив ЕС для питьевой воды. На восстановление экосистемы пострадавшего региона могут уйти десятилетия.

В реке Маркал, притоке Дуная, погибли рыба, животные и растения. Сельскохозяйственные угодья потеряли свою ценность.

Большая часть мирового производства глинозема ведется способом Байера, по которому для производства 1 т товарного глинозема расходуется 2,6 т боксита, 60–100 кг каустической щелочи, 30 кг известняка.

Бокситы – это горная порода, состоящая в основном из гидроксидов алюминия, железа, кремния, титана и др. При этом примерно 1,3 т уходит в отвалы,

представляющие собой концентрированные суспензии, так называемые красные шламы. Они имеют высокое (до 40 %) содержание оксида железа.

Аналогичная катастрофа произошла в Румынии в январе 2000 г., где из хранилища с химикатами золотодобывающего предприятия р. Сомеш вылилось около 100 тыс. м³ воды, содержащей цианид. Зараженная вода попала в р. Тису, вызвав там массовую гибель рыбы, а затем Дунай. Экологические последствия аварии ощущались и в его дельте. 1998 г. жидкие токсичные отходы с шахты по добыче пирита разлились на площади около 5 тыс. га в бассейне р. Гуадиамар в испанской Андалузии.

России и в других странах СНГ также есть многочисленные шламохранилища, содержащие опасные отходы. Они содержат много ценных компонентов – железо, алюминий, кальций, кремний, титан, цирконий, ниобий, галлий и золото. Особый интерес представляют редкоземельные элементы – скандий и иттрий. Только в России красных шламов скопилось более 100 млн т., а также значительное количество других отходов. Это требует самого пристального внимания к состоянию шламохранилищ и проектированию новых, экологически безопасных и надежных объектов.

Прорыв дамбы на Карамкенском хвостохранилище цианидов (Магаданская область). Официальные СМИ сообщили: 29 августа 2009 года в Магаданской области произошел прорыв дамбы на речке Туманной, в результате чего было смыто несколько домов в пос. Карамкен, 1 человек погиб, несколько пропали без вести. Но власти и средства массовой информации умалчивали о том, что это была не простая дамба. Эта дамба на речке Туманной на самом деле являлась хвостохранилищем Карамкенского ГОКа, и удерживала несколько миллионов тонн отходов золотодобывающего производства. В них цианиды, ртуть и весь спектр остальных тяжелых металлов таблицы Менделеева. Хвостохранилище было образовано во время работы Карамкенского ГОКа. В постсоветское время этот ГОК неоднократно перекупался, но никто из хозяев не принимал серьезных мер по обустройству хвостохранилища и последующей его ликвидации. Не принимала таких мер и областная администрация. В ре-

зультате над частью территории Магаданской области постоянно висел «дамоклов меч» прорыва дамбы и отравления большей части Хасынского, части Ольского районов и сброса цианидов в Охотское море. Во время ливневых дождей прорыв дамбы произошел. Эти ядовитые отходы хлынули вниз по течению рек Хасын, и Армань. По берегам этих рек стоят посёлки Карамкен, Палатка, Хасын, Стекольный, Сплавная, Армань и другие, где проживают десятки тысяч людей. Жители этих посёлков в настоящее время подверглись смертельной опасности в случае употребления отравленной воды в пищу.

В феврале 2013 года в социальных сетях появилась информация о разрушении дамбы хвостохранилища на золоторудном месторождении «Пионер».

Прорыв дамбы не удавалось устраниить несколько дней из-за морозов и загрязнённая цианидами вода пошла в сторону посёлка. По словам местных жителей, в посёлке чуть более 10 жилых домов, люди берут воду из скважин и колодцев, которые могут быть загрязнены опасным веществом. Вода вытекала из-под дамбы двумя ручьями, и залило довольно большую территорию.

2 Анализ исходной документации

2.1 Общая часть. Расположение шламохранилища

Шламохранилище «Ачинского Глиноземного Комбината» запроектировано проектным институтом «ВАМИ» в 1960–1967 гг. в составе трех шламовых карт, предназначенных для складирования отходов глиноземного производства. Общая площадь шламохранилища 451 га, в том числе: карта № 1 площадью 191 га; карта № 2 площадью 115 га; карта № 3 площадью 145 га. Карта №1 построена, введена в эксплуатацию с 1970 г. В дальнейшем, в связи с исчерпанием первоначальной ёмкости карты и неготовностью к эксплуатации строящейся карты №2 шламохранилища, институтом «ВАМИ» разработан проект наращивания карты №1 до отметки гребня ограждающих дамб 312,00 м.

В январе 2017 г. карта №1 шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск» выведена из эксплуатации в связи с исчерпанием проектной вместимости. Подача золы и шлама в карту прекращена. Уровень воды в карте №1 сработан до отметки порогов сбросных колодцев, вода отведена в технологический процесс. Общий вид карты №1 представлен на чертеже МД-20.04.01-071725714-2019.

Карта №2 находится в эксплуатации. Шлам и зола подаются на карту №2. По состоянию на декабрь 2016 г. остаточная вместимость карты №2 составляла ориентировочно 6500 тыс.м³, что обеспечивает складирование золы и шлама в карту в течение не менее одного года.

Ведется реконструкция карты №3 шламохранилища. Построены объекты, необходимые для ввода карты №3 в эксплуатацию. Выполнены гидравлические испытания карты №3 по проверке целостности полимерного противофильтрационного экрана. В ходе испытаний карта №3 заполнена подшламовой водой, отобранный из карт №1 и №2, ориентировочно до отметки 199,50. Получено заключение о соответствии построенного объекта проектной документации. Ведутся работы по вводу карты №3 в эксплуатацию.

В состав ГТС карты № 1 шламохранилища входят следующие сооружения и системы:

- пионерная дамба из суглинистого грунта;
- ограждающие дамбы ярусов наращивания из нефелинового шлама;
- система гидротранспорта;
- система обратного водоснабжения.

Пионерная дамба – насыпная, грунтовая, однородная по строению. Отсыпана из суглинистого грунта на естественное основание по периметру карты №1. Длина по оси пионерной дамбы карты №1 составляет около 5,6 км.

Ограждающие дамбы ярусов наращивания возводятся из свеженамытого шлама пляжной зоны. Нижний ярус (пионерная дамба) отсыпан из суглинистого грунта на естественное основание. Длина по оси пионерной дамбы составляет около 5,6 км.

Карта №1 была запроектирована и построена без противофильтрационного экрана, что связано с отсутствием соответствующих нормативных требований в период разработки проекта. С целью предотвращения попадания фильтрационных вод в естественные водоемы, по трем сторонам карты №1 сооружены защитные каналы водоотводной зоны, из которых фильтрационные воды откачиваются и подаются в систему водооборота комбината. С четвертой стороны к карте №1 примыкает карта №2, имеющая в основании и по откосу карты №1, в примыкании, полимерный противофильтрационный экран. Дренаж в теле ограждающего сооружения не предусмотрен. Разгрузка фильтрационных вод осуществляется через тело пионерной дамбы и основание карты.

Основные параметры следующие:

- максимальная отметка ограждающей дамбы ярусов наращивания – 312,00 м;
- максимальная отметка шламов у верхового откоса ограждающей дамбы – 311,50 м;
- максимальный уровень воды в пруде–отстойнике – 310,00 м;
- форсированный подпорный уровень ФПУ – 310,50 м;

- длина по гребню с отметкой 312,00 м – 3410 м;
- ширина по гребню с отметкой 312,00 м – 10,00 м;
- крутизна верхового и низового откосов ярусов наращивания составляет 1,5;
- генеральная крутизна низового откоса переменна – от 2,42 до 2,78;
- общая площадь – 190 га;
- общий объем — 129,08 млн. м³ (до гребня дамбы с отметкой 312,00м);
- вместимость — 127,43 млн. м³.

Для сбора и отвода фильтрационных вод у подошвы наружного откоса карты №1 существует водоотводная зона. Фильтрационные воды по дренажной канаве транспортируются и сбрасываются частично в существующий водоподводящий канал подшламовой воды, частично в водоотводную зону карты №2.

По данным комбината средний расход дренажной воды составляет 30 м³/час. Дренажные воды возвращаются в систему водооборота.

2.2 Характеристика отходов, складируемых на шламохранилище

Расчетный годовой объем нефелинового шлама, размещаемого на шламохранилище, в настоящее время составляет 6,5 млн. т/год, золы и шлака ТЭЦ – 0,18 млн. т/год.

Нефелиновый шлам поступает на шламохранилище в виде пульпы со средней консистенцией Т:Ж=1:6. Расчетный расход пульпы составляет 4000 м³/час.

Золошлаковая пульпа ТЭЦ поступает с расходом 1 250 м³/час, консистенцией: Т:Ж = 1:60.

Гранулометрический состав отходов, складируемых в шламохранилище представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав отходов, складируемых в шламохранилище

Наименование	Содержание, %, частиц фракций, мм							
	<0,01	0,01...0,05	0,05...0,1	0,1...0,2	0,25...0,5	0,5...1,0	1,0...2,0	>2,0
Нефелиновый шлам	1,2	5,7	8,1	20,0	26,0	26,6	11,1	1,3
Золошлаки ТЭЦ	7,5	7,0	3,5	8,0	7,0	7,0	12,0	48,0

Средневзвешенная крупность твердого материала d_{cp} составляет:

- 0,5 мм – нефелиновый шлам;
- 2,0 мм – зола и шлак ТЭЦ.

Химический состав шлама глиноземного производства, золошлаков ТЭЦ представляет собой:

- нефелиновый шлам: SiO_2 – 29,96%, CaO – 54,86%, Al_2O_3 – 3,4%, Fe_2O_3 – 3,83%, Na_2O – 1,4%, K_2O – 0,4%, MgO – 1,4%, SO_3 – 0,18%, Cl – 0,02%, F – 0,27%, прочие – 0,49%;
- золошлаки ТЭЦ: SiO_2 – 22,5%, CaO – 44,6%, Al_2O_3 – 7,5%, Fe_2O_3 – 11,2%, Na_2O – 1,3%, K_2O – 0,3%, MgO – 4,4%, SO_3 – 6,6%, Cl – 0,01%, F – 0,1%, прочие – 0,49%.

Минералогический состав шлама следующий: двукальциевый силикат частично гидратированный – 80–85%; алюминаты – 3,5–4%; окислы железа – 4%; щелочи – 2,2–2,8%; магний – 1,5%.

Шламы, складируемые в карте № 1 шламохранилища, представляют собой послойно:

- слабо сцепленные пески в верхней части массива карты – мощностью 2,0–3,0 м;

- сцементированные пески различной мощности от 2,0–3,0 м до основания карт (карта №1);
- в толще карты №1 отмечаются прослои, линзы сильно сцементированных песков, распределение которых не имеет закономерностей.

Нефелиновый шлам глиноземного производства и золошлаковые отходы ТЭЦ относятся к 5 классу опасности.

Фильтрационные свойства шлама зависят от крупности частиц шлама, степени их сцементированности и пористости.

Коэффициенты фильтрации для шлама несцементированного в виде песка средне– крупнозернистого меняются в пределах 0,75 – 1,61 м/сут.

Карта №1 сформирована намывными и насыпными техногенными грунтами, которые относятся к специфическим грунтам.

Шламы, по составу и характеру происхождения относятся к группе отходов производства, представляющие собой шламы, образовавшиеся в результате химической обработки природных минералов.

Шламы нижних берм наращивания по времени самоуплотнения и упрочнения относятся к самоуплотненным грунтам.



Рисунок 12 – Сцементированный шлам

2.3 Инженерно–геологическая характеристика района

В общем геолого – структурном плане район шламохранилища расположен у подножия хребта Арга с прислоненной к нему долиной реки Чулым.

В геологическом строении рассматриваемого района принимают участие следующие отложения:

- венд–нижнекембрийские отложения гарьской толщи ($V-E_1gr$);
- нижнекембрийские отложения нижнемазульской подтолщи (E_1mz_1);
- нижне–среднеюрские отложения объединенных макаровской и итатской свит ($J_{1-2}mk+it$);
- четвертичные элювиально–делювиальные отложения (edQ);
- среднечетвертичные аллювиальные отложения III надпойменной террасы (aQ^3_{III});
- верхнечетвертичные аллювиальные отложения II надпойменной террасы (aQ^2_{III});
- верхнечетвертичные аллювиальные отложения I надпойменной террасы р. Чулым (aQ^1_{III});
- современные аллювиальные отложения (aQ_{IV});
- современные биогенные отложения (bQ_{IV});
- современные техногенные образования (tQ_{IV}).

Нижнекембрийские отложения нижнемазульской подтолщи (E_1mz_1)

Широко распространены в бассейне реки Мазулька, где они залегают на породах гарьской толщи. Породы представлены сланцами кремнистыми, глинисто–кремнистыми, глинистыми, хлорит–серицитовыми, кварц–хлоритовыми, кварц–хлорит–серицитовыми, кварц–полевошпатовыми, базальтами и их туфами, известняками, реже дакитами, риодакитами и игнимбритами. Окраска пород серая, зеленовато–серая, реже темно–серая. Мощность не превышает 700 м.

Нижне–среднеюрские отложения объединенных макаровской и итатской свит ($J1-2mk+it$) залегают на глубине 4–8 метров под делювиальными отложениями и далее на север под аллювиальными четвертичными отложениями. Юрские отложения залегают с региональным несогласием на более древних образованиях.

Свиты представлены аргиллитами, алевролитами, углистыми алевролитами и аргиллитами, бурыми углями, конгломератами, гравелитами, разнозернистыми полимиктовыми песчаниками. Прослои и пласти бурых углей присутствуют в составе макаровской и итатской свит. Окраска пород серая, реже зеленовато– и коричневато–серая. Породы имеют пониженную прочность за счет глинистого цемента. В верхней части разреза коренные породы выветрелы до состояния элювиальных глин и суглинков. Мощность отложений составляет более 600 м.

Четвертичные элювиально–делювиальные отложения (edQ) покрывают сплошным чехлом водоразделы и склоны гор. Отложения представлены суглинками и дресвяно–щебнистым материалом. Мощность отложений изменяется от 1 до 5 метров.

С поверхности нижние–среднеюрские породы перекрыты отложениями аллювиального генезиса. Аллювиальные отложения распространены в долине р. Чулым, где слагают надпойменные террасы.

Среднечетвертичные аллювиальные отложения III надпойменной террасы ($aQ3II$).

Самой древней террасой р. Чулым в рассматриваемом районе является третья надпойменная терраса, развитая в южной части промышленной площадки. Отложения данной террасы представлены коричневыми и желто–бурыми песчанистыми глинами и песками с прослойями глин, гравия, галечника. Мощность отложений 10–20 м.

Верхнечетвертичные аллювиальные отложения II надпойменной террасы (аQ2III) развиты в районе промышленной площадки. Представлены мелкозернистыми песками с линзами галечников, суглинками, галечниками, реже глинами, средней мощностью 4,7 м.

Верхнечетвертичные аллювиальные отложения I надпойменной террасы р. Чулым (аQ1III) развиты в районе карты №1 шламохранилища. Отложения представлены мелкозернистыми глинистыми косослоистыми песками с линзами галечников, суглинками, галечниками, реже глинами. Общая мощность отложений превышает 12 метров.

Современные аллювиальные отложения (аQIV) распространены в пойме рек Чулым и Мазулька. Представлены песками, иловатыми глинами и суглинками, реже галечниками. Общая мощность современных аллювиальных отложений обычно не превышает 10 метров. Снизу они подстилаются юрскими отложениями в пойме р. Чулым и нижнекембрийскими отложениями в пойме р. Мазулька.

Отвалы вскрышных пород Мазульского карьера представляют собой механическую смесь частиц горных пород различного размера – от глинистых до глыб, находящихся в разных точках отвалов в различных процентных соотношениях. Мощность отвалов составляет от 1–2 м до нескольких десятков метров.

Биогенные отложения представлены торфом. Торф имеет островное развитие на поверхности поймы и первой надпойменной террасы р.Чулым. Площадь развития торфов заболочена, микрорельеф кочковатый, уровень воды совпадает с дневной поверхностью.

Техногенные образования представлены шламом. В геологическом строении площадки карты №1 шламохранилища участвуют намывные техногенные отложения, представленные накоплениями промышленных отходов Ачинского глиноземного комбината. Кроме того, техногенными отложениями пионерной дамбы и территории претерпевшей планировку (в основании дамб). Эти отложения представлены насыпными грунтами естественного происхождения – суглинками, глинами, щебнем известняков.

Естественными грунтами основания шламохранилища, являются четвертичные аллювиальные отложения, которые залегают на элювиальных отложениях макаровской и итатской свит нижне–среднеюрских пород.

Аллювиальные отложения слагают пойму и надпойменные террасы р. Чулым. Литологически отложения представлены суглинками, песками с линзами гравия, галечными и гравийными грунтами. Максимальная мощность аллювиальных отложений составляет 90.0 м.

Юрские осадочные породы: аргиллиты, алевролиты, углистые алевролиты и аргиллиты, конгломераты, гравелиты, разнозернистые полимиктовые песчаники выветрелые до состояния суглинков реже супесей и глин голубовато – зеленых, зеленовато – серых, плотных.

2.4 Гидрогеологическая характеристика района

Гидрогеологические условия карты №1 шламохранилища характеризуются наличием подземных вод, приуроченных к аллювиальным и техногенным отложениям.

Воды, связанные с аллювиальными отложениями р. Чулым, приурочены к пескам разной крупности, гравийным и галечниковым грунтам. Подземные воды вскрываются на глубине от 0,5 – 6,0 м в пойме реки. Воды, как правило, безнапорные. По характеру циркуляции поровые и порово–пластовые. Грунтовые воды имеют хорошую гидравлическую связь с поверхностными водами р. Чулым.

Низкие отметки рельефа территории, близкие к уровню воды в реке и ее старицах, обуславливают близкое залегание грунтовых вод к поверхности и частичную заболоченность в пониженных частях рельефа.

Питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, поверхностных вод в паводковый период и перетока из нижележащих напорных горизонтов коренных отложений, разгрузка осуществляется в речную сеть.

Водоносный горизонт техногенных отложений имеет ограниченное распространение и приурочен к площади развития шламохранилища.

В формировании гидрогеологической обстановки на площади карты №1 принимают участие воды шламовых и аллювиальных отложений. Воды этих отложений гидравлически связаны между собой, т.к. в основании первой карты отсутствует экран из уплотненных суглинков либо полимерной пленки.

По характеру обводнения шламовых отложений карты №1 выделено две зоны (сверху – вниз): линзообразного, локального обводнения и вторая зона – сплошного обводнения, залегающая на глубинах 17,0–33,5 м.

Первый от поверхности водоносный горизонт линзообразного, локально-го обводнения по условиям залегания и циркуляции делится на: порово – пластового и трещинно – пластового типа. Распространен на глубину до 25,0 м.

Первыми от поверхности залегают порово – пластовые воды, развитые в рыхлых несцементированных шламовых отложениях, мощность горизонта контролируется мощностью рыхлых шламов и достигает 2,0 – 6,0 м. Ниже залегают трещинно – пластовые воды, развитые локально, в прослоях пористых и трещиноватых отложений шлама.

Вторая зона – сплошного обводнения вскрывается на глубинах 17,0 – 33,5 м. Относится к трещинно – пластовому типу.

Химический состав шламовых поверхностных вод и подземных вод техногенного водоносного горизонта карбонатно – гидрокарбонатный натриево-калиевый. Воды с высокой щелочной реакцией (рН 12 – 13).

Техногенный водоносный горизонт формируется за счет гравитационного перетекания поверхностных вод из прудков образующихся при сливе пульпы. Техногенный водоносный горизонт безнапорный.

Грунтовые воды, относятся к техногенным водам, развитым в шламовых отложениях.

Глубина залегания зеркала грунтовых вод отмечена на глубине 2,2 м. Воды техногенного генезиса безнапорные, по генезису – порово–пластовые, развиты локально.

Техногенный водоносный горизонт карты №1 формируется за счет гравитационного перетекания поверхностных вод из прудков образующихся при сливе пульпы. Техногенный водоносный горизонт безнапорный. Водоносный горизонт техногенных отложений имеет ограниченное распространение и приурочен к площади развития шламохранилища.

В формировании гидрогеологической обстановки на площади карты №1 принимают участие воды шламовых и аллювиальных отложений. Воды этих отложений гидравлически связаны между собой, т.к. в основании первой карты отсутствует экран из уплотненных суглинков либо полимерной пленки.

Воды, связанные с аллювиальными отложениями р. Чулым, приурочены к пескам разной крупности, гравийным и галечниковым грунтам. Подземные воды вскрываются на глубине от 0,5 – 6,0 м в пойме реки. Воды, как правило, безнапорные. По характеру циркуляции поровые и порово–пластовые. Грунтовые воды имеют хорошую гидравлическую связь с поверхностными водами р. Чулым.

2.5 Климатические характеристики

Особенности географического положения г. Ачинска, характер рельефа и циркуляции атмосферы обусловили формирование специфических климатических условий территории.

Климат района расположения шламохранилища суровый, резко континентальный с продолжительной холодной зимой. Континентальность климата сказывается как в больших различиях между температурами зимы и лета, так и между дневными и ночных температурами. Разница между температурами самого холодного и самого теплого месяца, характеризующая степень континентальности, в центральных районах Красноярского края равна 35–40°C.

Средняя месячная температура наиболее холодного месяца по данным наблюдений метеостанции Ачинск составляет минус 16,9°C.

В зимний сезон 2013–2014 гг. в январе и феврале наблюдались морозы, когда понижения температуры воздуха доходили до опасных критерий: минус 35–37°C, местами до минус 43–48°C. В наиболее холодные периоды отклонения средней суточной температуры воздуха изменялись в пределах минус 13–20°C.

Почвы и грунты в среднем промерзают на глубину до 1,5 м. В рамках выполненных инженерно-экологических изысканий рассчитана нормативная глубина промерзания грунтов в соответствии с СП 22.13330.2011 п. 2.27.

Нормативная глубина сезонного промерзания для г. Ачинска составляет: для суглинков и глин – 1,90 м; для супесей и песков – 2,30 м; крупнообломочных грунтов – 2,78 м.

Метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере района размещения шламохранилища приведены в таблице 2.

Таблица 2 –Метеорологические характеристики и коэффициенты

Наименование показателя	Единица измерения	Величина показателя
Температурный режим:		
– средняя температура воздуха наиболее холодного месяца (январь)	°C	-16,9
– средняя максимальная температура воздуха самого жаркого месяца (июль)	°C	18,3
Коэффициент стратификации атмосферы	–	200
Наибольшая скорость ветра, превышение которой в году для данного района составляет 5% (U)	м/с	8,2

2.6 Воздействие проектируемого объекта на поверхностные и подземные воды

Карта №1 шламохранилища была запроектирована и выполнена без противофильтрационного экрана, что связано с отсутствием соответствующих нормативных требований в период разработки проекта.

На сегодняшний день вокруг шламохранилища создана водоотводная зона, которая осуществляет перехват фильтрационных вод из шламохранилища и возврат их в систему оборотного водоснабжения для последующего использования в технологии комбината, в системе гидротранспорта шлама и гидрозолоудаления ТЭЦ.

После консервации карты №1 поступление фильтрационных вод в водоотводную зону будет прекращен в связи с отсутствием воды в карте.

2.7 Оценка воздействие на почву и земельные ресурсы

Площадка карты №1 расположена в границах существующего шламохранилища, дополнительного земельного отвода не предусматривается.

Созданную водоотводную зону для защиты подземных вод от загрязнения, можно рассматривать и как почвозащитное мероприятие, поскольку она позволяет предотвратить загрязнение почв на прилегающих территориях поверхностными стоками с дамб шламохранилища, а также уменьшить переувлажнение почв.

Косвенное воздействие на почвы посредством осаждения выбросов из атмосферы – незначительное.

Воздействие шламохранилища на почвенный покров прилегающих к нему территорий, при соблюдении правил безопасности эксплуатации шла-

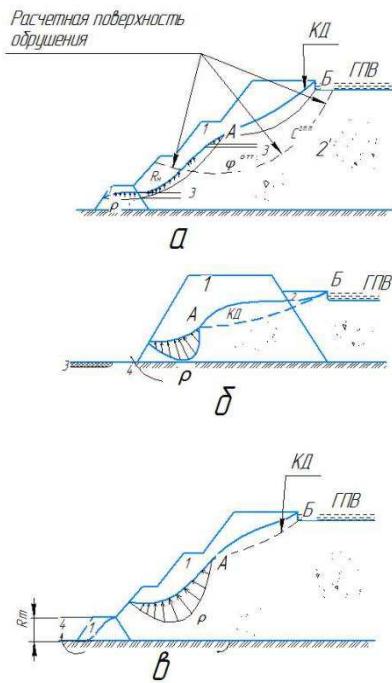
мохранилища, будет локальным, в пределах участка эксплуатации объекта. Воздействие оценивается как незначительное.

2.8 Проблема эксплуатации накопителей в суровых климатических условиях

Практика эксплуатации накопителей в суровых климатических условиях показывает, что отказы дренажных систем происходят следствие замерзания воды при уменьшении притока фильтрата или затрудненном оттоке его из дренажей из-за засорения и деформаций, длительных перерывов в работе откачивающих насосов, недостаточной эффективности теплоизоляции и других причин. В ряде случаев даже непрерывная откачка и беспрепятственный отвод фильтрата не служили гарантией нормальной работы дренажа в процессе промерзания низового откоса дамбы.

Весьма опасным случаем является длительная консервация в талом намывном массиве пластов замытого льда и льдонасыщенных мерзлых отложений рисунок 13. Вследствие низкой температуры фильтрующейся воды, охлаждения и промерзания низового откоса оттаивание слоя технологической мерзлоты продолжается втечении длительного периода эксплуатации. В определенный момент времени фазовый слой достигает поверхности льда. На этой стадии при оценке устойчивости существующих сооружений с прослойками мерзлоты кровля и подошва ледяного пласта должна рассматриваться как наиболее вероятные и опасные поверхности сдвига.

Длительное оттаивание водонепроницаемых мерзлых отложений сопровождается их медленной консолидацией. Угол внутреннего трения полностью водонасыщенных оттаивающих мелкозернистых хвостов, находящихся в начальной фазе консолидации и подстилаемых оттаивающим слоем льда, не превышает $2^{\circ}C$, а сцепление равно нулю. Прочностные характеристики золы на контакте с оттаивающим льдом могут быть еще более низкими.



a – при наличии ледяных включений в намывном массиве откоса; \bar{b} – одноярусный накопитель; \bar{c} – многоярусный накопитель; 1 – мерзлый водонепроницаемый слой; 2 – талые намывные отложения; 3 – ледяные прослойки; 4 – выход фильтрационного потока; КД – критическая депрессия на участке безнапорной фильтрации АБ; P – эпюра взвешивающего давления фильтрационного потока на напорном участке; R_m – расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по грунту; $\phi_{\text{отт}}$, $C_{\text{отт}}$ – угол внутреннего трения и сцепление при сдвиге талого намывного грунта по поверхности ледяной прослойки; ГПВ – горизонт воды в пруде.

Рисунок 13 – Схемы к расчету устойчивости промерзающего откоса накопителя.

При отсутствии ледяных включений оценка устойчивости промерзающих фильтрующих откосов дамб может быть выполнена для расчетной схемы, приведенной на рисунке 14б. Здесь устойчивость откоса рассматривается с учетом формирования к январю – февралю сплошного водоупорного поверхностного сезонномерзлого слоя на откосе и гребне, на пляже и в основании за пределами незамерзающего фильтрационного выхода. Участок напорной фильтрации располагается в нижней части откоса, где необходимо учитывать взвешивающее давление P на мерзлую корку.

Если первичная дамба многоярусного гидроотвала выполнена из слабо-проницаемого грунта, а поясные дрены не предусмотрены или не работают, то основной локальный незамерзающий фильтрационный выход располагают над гребнем дамбы. Напорный режим фильтрации и эпюра взвешивающего давления P формируются в нижней части промерзающего намывного массива рисунок 13в. Силовое воздействие фильтрационного потока на мерзлую водонепроницаемую корку, образующуюся на поверхности фильтрующего откоса при его промерзании, может быть учтено по способу, дополняющему метод А.А. Никифоровича и аналогичные ему способы расчета устойчивости при сдвиге массива обрушения по круглоцилиндрической поверхности скольжения. Соответствующая формула для определения коэффициента запаса устойчивости имеет вид:

$$K = \frac{\sum [(G_n - P_n^e) \cos \alpha_n + \Phi_n] \operatorname{tg} \varphi_n + \sum C_n l_n}{\sum G_n \sin \alpha_n + \sum P_n^e r_n / R} \quad (1)$$

где G_n – вес отсека;

P_n – равнодействующая взвешивающего давления;

Φ_n – равнодействующая фильтрационного давления в традиционной трактовке, действующая в объеме грунта;

n – отсек ниже кривой депрессии в зоне безнапорной фильтрации и ниже подошвы мерзлого слоя на участке напорной фильтрации; она приложена в центре подошвы j -отсека (в точке Б) и направлена к нормали к поверхности скольжения;

$\operatorname{tg} \varphi_n$, G_n – коэффициент внутреннего трения и сцепления на подошве расчетного отсека;

C_n – удельное сцепление грунта;

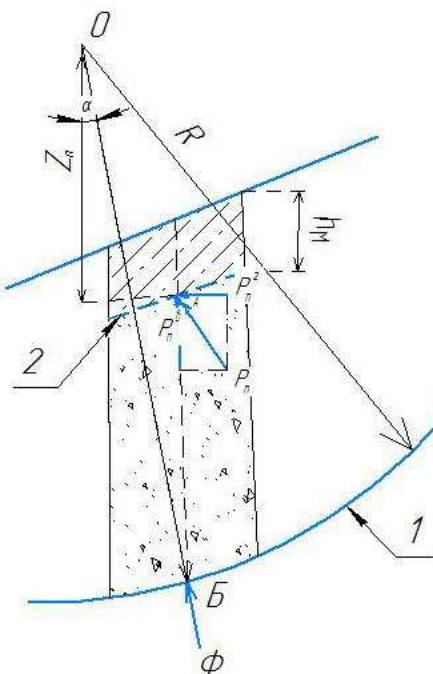
l_n – длина подошвы;

n – отсек, определяемый по круглоцилиндрической кривой скольжения;

R – радиус кривой скольжения;

r_n – плечо этой силы относительно центра вращения.

Равнодействующая эпюры взвешивающего давления P_n на рассматриваемом участке проложена в точке A к нижней поверхности непроницаемого мерзлого слоя и направлена по нормали к ней на рисунке 14. Горизонтальная составляющая P^x_n учитывается как дополнительное сдвигающее усилие при определении момента сдвигающих сил относительно центра вращения расчетного тела обрушения. Вертикальная составляющая P^y_n учитывается в качестве подъемной (отрывающей) силы при определении веса отсека G_n , который соответственно уменьшается на величину P^y_n .



1 – кривая скольжения; 2 – подошва мерзлого слоя на откосе.

Рисунок 14 – Силы, действующие на отсек обрушения

В отсеках, где кривая скольжения пересекает мерзлые слои, значения φ_n , C_n принимается в зависимости от температуры грунта в момент расчета (например, в оценке «зимней» устойчивости при максимальной мощности слоя сезонного промерзания и в оценке «весенней» устойчивости, когда под оттаявшим с поверхности водонасыщенным слоем сохраняется сравнительно тонкая водонепроницаемая мерзлая прослойка).

Для данных схем рекомендуется рассматривать и наиболее опасный случай работы сооружения в момент завершения сезонного оттаивания мёрзлого слоя, когда полному взвешивающему давлению уже не противостоит высокая сопротивляемость сдвигу мерзлого грунта. При определенном сочетании силовых воздействий, параметров прочности, конструктивно-технологических и фильтрационно-тепловых факторов этот кратковременный расчетный период может оказаться решающим для устойчивости массивов накопителей сложного криогенного строения.

При образовании отдельных выходов фильтрационного потока на поверхность промерзающего откоса дамбы для его укрепления рекомендуется использовать локальные дренажные устройства.

3 Предлагаемое техническое решение незамерзающего дренажа

На момент завершения намыва карты №1 до отметок, предусмотренных проектом наращивания, карта №1 будет иметь следующие параметры:

- отметка гребня ограждающей дамбы 312,00;
- отметка пляжа у дамбы 311,50, у прудка 310,00;
- протяженность пляжа 100м, уклон 0,015;
- глубина пруда 6,0м;
- площадь пруда 390 тыс.м²;
- площадь чаши карты 620 тыс.м².

Для обеспечения консервации карты №1 необходимо выполнить ряд технических мероприятий:

- заполнить шламом и выполнить планировку поверхности чаши карты с организацией отведения атмосферных осадков;

Для обоснования устойчивости выполнен расчет устойчивости.

Расчеты по плоским поверхностям скольжения обычно проводятся для случая, когда в основании дамбы имеется прослойка из слабого грунта. Для рассматриваемой расчетной схемы, представленной на чертеже МД–20.04.01–071725714 ГО6 коэффициент устойчивости определяется по формуле (2):

$$k_3 = \frac{c_n L + G \operatorname{tg} \varphi_n}{P_a} \quad (2)$$

где G – вес призмы обрушения $abcd$;

L – длина подошвы блока $abcd$;

P_a – активное давление (отпор) на вертикальные боковые грани призмы $abcd$;

φ_n и c_n – угол внутреннего трения и сцепления грунта в прослойке.

Величина P_a определяется по зависимости:

$$P_a = 0,5 \rho H_A^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2cH_A \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3)$$

где ρ , φ , c – плотность, угол внутреннего трения и сцепления грунта, оказы-вающего давление на призму $abcd$.

Вес призмы G определяется с учетом положения в ней кривой депрес-сии (КД) и слагается из веса влажного грунта выше КД и веса взвешенного грунта ниже КД.

Локальную устойчивость следует рассматривать при оперативной оценке ситуации на опасном участке в случае выявления деформаций и обос-нования первоочередных мероприятий по укреплению сооружения.

Расчетные показатели ρ , φ , c определены по таблице П.3.1 учебного пособия [2] и по проектным материалам.

$$c=1,8 \text{ кг/см}^2;$$

$$\varphi=30^\circ;$$

$$\rho=1,5 \text{ т/м}^3;$$

$$H_A=94 \text{ м};$$

$$G=2250:$$

Давление сдвигающих сил на опасный фрагмент откоса:

$$P_a = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 94^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{30}{2} \right) - 2 \cdot 1,8 \cdot 94 \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{30}{2} \right) = 2404,37 \text{ т}$$

Коэффициент запаса устойчивости:

$$k_3 = \frac{28 \cdot 300 + 2250 \cdot \operatorname{tg} 22^\circ}{2404,37} = 3,87$$

Коэффициент устойчивости равен $k_3=3,87$ поэтому рекомендуется дополнить проект укрепления и рекультивации шламохранилища дополнительными мероприятиями по повышению устойчивости откоса в пределах фрагмента А.

4 Определение оползневого давления и общая оценка устойчивости объекта

Практика расчетов, выполнявшихся при проектировании противооползневых удерживающих конструкций глубокого заложения, показала, что аналитический метод Г.М. Шахунянца весьма эффективен. Сооружения, рассчитанные на оползневое давление, вычисленное по данному методу, нормально эксплуатируются в течение ряда лет.

Формула для определения коэффициента устойчивости склона при ускоренном способе расчета имеет вид:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\gamma_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_{oi}) \cdot a_i h_{cp,i} \lambda_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i \sin \alpha_i a_i h_{cp,i} \lambda_i} \quad (4)$$

где γ_i – объемная масса грунта (индекс « i » – номер одного из отсеков, на которые условно разбит оползневой блок);

α_i – угол наклона подошвы отсека к горизонту;

φ_i – угол внутреннего трения грунта в уровне подошвы отсека (по поверхности скольжения в данном отсеке);

a_i – длина отсека по горизонтали в плоскости чертежа;

$h_{cp,i}$ – средняя толщина оползающего грунта в рассматриваемом откосе;

$$c_{oi} = \frac{c_i}{h_{cp,i} \cos \alpha_i} \quad (5)$$

$$\lambda_i = \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} \quad (6)$$

где c_i – удельное сцепление.

Исходные данные:

$$\gamma_i = 75 \text{ м};$$

$$\alpha_i = 19^\circ;$$

$$\varphi_i = 30^\circ;$$

$$a_i = 30 \text{ м};$$

$$h_{cp,i} = 2,5 \text{ м};$$

$$c_i = 1,8 \text{ кг/м}^3$$

$$\lambda_i = 0,87;$$

$$c_{oi} = 0,76.$$

Расчет для лета или зимы с утеплением:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} (75 \cos 19 \cdot \operatorname{tg} 30 + 0,76) \cdot 30 \cdot 2,5 \cdot 0,87}{\sum_{i=1}^{i=10} 75 \sin(19 \cdot 30 \cdot 2,5 \cdot 0,87)} = 5,75$$

Расчет коэффициента устойчивости склона с учетом фильтрационного давления, которое появляется зимой:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\gamma_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_{oi}) \cdot a_i h_{cp,i} \lambda_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i \sin(\alpha_i a_i h_{cp,i} \lambda_i) + F} \quad (7)$$

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} (75 \cos 19 \cdot \operatorname{tg} 30 + 0,76) \cdot 30 \cdot 2,5 \cdot 0,87}{\sum_{i=1}^{i=10} 75 \sin(19 \cdot 30 \cdot 2,5 \cdot 0,87) + 75} = 1,51$$

где F – фильтрационное давление.

5 Анализ экологических рисков

Экологический риск – вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

В данном разделе выполнен анализ экологических рисков, связанных с намечаемой хозяйственной деятельностью консервации карты №1 шламохранилища с учетом существующего состояния территории.

Анализ рисков выполняется с целью разработки и принятия эффективных управленческих решений, направленных на предотвращение и снижение риска неблагоприятных для окружающей среды последствий.

Анализ рисков включает выявление (идентификацию) возможных неблагоприятных событий и оценку значимости последствий для компонентов окружающей среды.

Данные аварии являются предотвращаемыми, характеризуются локальным масштабом распространения, а также, в силу своей краткосрочности, будут иметь низкую значимость риска. Бури, ураганы, ливни, снегопады и расчетные сейсмические воздействия для сооружений данного объекта не представляют реальной опасности. Устойчивость сооружений к опасным природным явлениям заложена в их конструкции.

5.1 Расчет рисков

Оценки риска представляют собой вероятностные меры опасности, устанавливаемые для ГТС в виде возможных потерь за определенное время в экономической, социальной и экологической сферах.

Комплексной характеристикой объекта становится оценка суммарного риска, позволяющая произвести сравнительную оценку ситуации с позиций возможных потерь для существующих или проектируемых объектов.

Оценка риска основывается на результатах контроля и анализа факторов безопасности, наиболее существенных для данного сооружения, и условий его эксплуатации.

Под факторами безопасности понимаются количественные и качественные характеристики состояния сооружения, природных воздействий и ожидаемого ущерба от аварии или разрушения гидротехнических сооружений.

Понятие риска является универсальной количественной мерой потенциальной опасности, позволяющей:

- провести корректировку исходных целей и стратегии решения задач анализа риска;
- провести сравнение опасностей различной природы и механизмов действия;
- провести классификацию и ранжирование потенциальных источников опасности по их вкладу в интегральные показатели риска;
- изучить механизм и исследовать причинно-следственную логику возникновения и развития аварий, а также влияние на показатели риска различных факторов технологического, природного и социального характера;
- обеспечить направленное снижение рисков за счет оптимального управления технологическими (техническими) и организационно-методическими факторами воздействия (снижение вероятности, уменьшение величины ущерба).

Использование и расчеты меры риска в качестве оценки безопасности эксплуатируемого ГТС требует совместного учета характеристик состояния сооружения, которые непосредственно связаны с вероятностью аварии, и характеристик ущерба от возможной аварии.

Безопасность гидротехнического сооружения (ГТС) - свойство ГТС, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и интересов человека, окружающей среды и объектов экономики на основе реализации мер по предупреждению аварийных состояний и аварий.

Аварийное состояние ГТС – то состояние ГТС, при котором вследствие развития опасных процессов его дальнейшая эксплуатация в проектном режиме недопустима, а промедление с реализацией противоаварийных мероприятий неизбежно приводит к аварии (разрушению) ГТС или влечет за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Переходя к количественным оценкам опасности, уязвимости, риска, следует иметь в виду, что каждое из них является достаточно сложной функцией многих переменных – факторов. Для получения количественных характеристик указанных понятий необходимо определить полный набор таких факторов. Их объединение по совокупностям будем называть показателями (показателями уязвимости, опасности, риска). В зависимости от величин показателей строится градация по степеням опасности, уязвимости, риска. Такой подход позволяет работать уже с достаточно ограниченным числом переменных и выполнять количественную оценку, которую можно назвать интегральной.

За основу количественной оценки опасности, уязвимости, риска аварий ГТС принят широко известный подход получения нормирующих коэффициентов, характеризующих долю (вероятность) от наиболее неблагоприятной ситуации, принимаемой за единицу.

Интегральная оценка опасности аварии ГТС

Опасность аварии ГТС определяется следующими показателями.

1. Опасность превышения принятых при обосновании конструкции сооружения природных нагрузок и воздействий.

2. Обоснованность и соответствие проектных решений современным нормативным требованиям.

3. Соответствие проекту конструкции сооружения, условий его эксплуатации и свойств материалов сооружения и основания.

4. Возможные последствия и ущерб при аварии ГТС.

Степень опасности по каждому из показателей устанавливается отдельно на том или ином уровне на основании экспертных оценок с учетом приведенных ниже рекомендаций.

Показатель опасности 1

Степень опасности превышения принятых при расчетном обосновании конструкции сооружения природных нагрузок и воздействий (сейсмические, волновые, температурные воздействия, нагрузки от наносов, гидростатические, ветровые и ледовые, опасность превышения расчетных расходов через водобросные сооружения, опасность обрушения в водохранилище береговых склонов и др.) принимается по экспертной оценке на одном из трех уровней, каждый из которых имеет соответствующий код, с учетом указаний действующих нормативных документов по определению нагрузок и воздействий на сооружения, данных натурных наблюдений за период эксплуатации ГТС и отличительных признаков, приведенных ниже в таблице 3.

Таблица 3 – Степень опасности по показателю 1

Степень опасности по показателю 1	Код	Отличительные признаки
1	2	3
Малая	1	Возможны лишь локальные повреждения элементов конструкций и сооружений (крепления откосов и т.п.), которые могут быть устранены в ходе текущих (плановых) ремонтных работ

Окончание таблицы 3

1	2	3
Средняя	2	Возможно разрушение элементов конструкций (бетонных плотин, водосбросов, водовыпусков, пульпопроводов и т. п.) или отдельных сооружений, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации. Требуется проведение неотложных ремонтных работ, изменения режима эксплуатации объекта
Большая	3	Возможны разрушения конструкций и сооружений, приводящие к прорыву напорного фронта (прежде всего, если установлена возможность превышения расчетных сейсмических воздействий или паводковых расходов)

Показатель опасности 2

Степень опасности по показателю 2 устанавливается по одному из 4-х уровней в соответствии с таблицей 2.

При экспертной оценке обоснованности и соответствия проектных решений современным нормативным требованиям принимаются во внимание следующие основные факторы:

1. достаточность инженерно-геологических изысканий, выполненных при проектировании ГТС;
2. надежность и обоснованность методов определения и назначения расчетных характеристик (физико-механические, фильтрационные и пр.) материалов сооружений и их оснований;
3. достаточность расчетного обоснования конструкций сооружений, оснащения КИА, обоснованность и соответствие современным нормативным требованиям применявшихся расчетных методов.

Таблица 4 – Степень опасности по показателю 2

Степень опасности по показателю 2	Код	Отличительные признаки
Отсутствует	0	Полное соответствие современным нормативным требованиям по всем оцениваемым факторам
Малая	1	В проекте имеются незначительные отклонения от современных нормативных требований
Средняя	2	В проекте имеются значительные ошибки по одному из оцениваемых факторов или существенные отклонения от современных нормативных требований по двум факторам.
Большая	3	В проекте имеются грубые ошибки или существенные отклонения от современных нормативных требований по всем трем основным оцениваемым факторам

Типичные примеры

Средняя степень опасности

- геологическое строение основания не соответствует данным изысканий, принятые проектные решения по сопряжению сооружения и основания недостаточно надежны, не исключена возможность развития суффозионных процессов и др.;
- недостаточен объем инженерно-геологических изысканий, применялись устаревшие методы расчета (либо по тем или иным причинам вызывают сомнения результаты определения расчетных характеристик грунтов в теле за-проектированной плотины и др.).

Большая степень опасности:

- грубые ошибки в гидравлических расчетах водосбросных сооружений или расчетах устойчивости откосов плотин из грунтовых материалов и др.

Показатель опасности 3

Степень опасности по этому показателю, так же как для показателя опасности 2, устанавливается на одном из четырех уровней, характеризуемых отличительными признаками, приведенными в таблице 5.

При экспертной оценке соответствия проекту конструкции ГТС, условий его эксплуатации, а также свойств материалов сооружения и основания подлежат учету следующие основные факторы:

1. наличие изменений проектных конструкций ГТС и компоновочных решений;
2. наличие изменений в режиме эксплуатации ГТС (изменение в водохранилище или накопителе промышленных отходов проектных УВ, скоростей наполнения или сработки, переключение ГТС на работу в каскаде гидроузлов или накопителей и др.);
3. данные геотехнического контроля качества материалов при строительстве ГТС, а также данные инженерно-геологических работ по определению фактических характеристик материалов ГТС и основания в период эксплуатации (при их наличии).

Таблица 5 – Степень опасности по показателю 3

Степень опасности по показателю 3	Код	Отличительные признаки
1	2	3
Отсутствует	0	Полное соответствие современным нормативным требованиям по всем оцениваемым факторам
Малая	1	Незначительные отклонения от проекта, которые не могут привести к нарушению正常ной работы сооружений, конструкций и элементов

Окончание таблицы 5

	2	3
Средняя	2	Существенные отклонения от проекта, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации; требуется оценка возможности дальнейшей эксплуатации ГТС в проектном режиме и необходимости проведения тех или иных мероприятий по обоснованию нормативной прочности и устойчивости конструкций и сооружений, пропускной способности водосбросов и водоспусков и др.
Большая	3	Значительные отклонения от проекта по оцениваемым факторам, которые могут привести к аварии ГТС и прорыву напорного фронта

Типичные примеры

Средняя степень опасности:

- несоответствие проекту физико-механических, прочностных, деформативных, фильтрационных характеристик грунтов или материалов техногенного происхождения в теле или основании плотин и дамб, обуславливающее необходимость проведения поверочных расчетов устойчивости, фильтрационной прочности и др.;
- несоответствие проекту очертаний откосов плотины или дамбы, что требует проведения поверочных расчетов устойчивости;
- несоответствие проекту условий эксплуатации плотины (по гребню плотины открыто движение большегрузного транспорта; вблизи плотины производятся взрывные работы и др.);
- несоответствие проекту регламента намыва накопителя промышленных отходов, объемов подаваемых стоков, уровня воды в прудке;
- несоответствие проекту водного баланса водохранилища (повышение НПУ, ФПУ, ускоренная сработка);

- возможность развития химической суффозии грунтов (шламов или других техногенных материалов) тела и основания плотины или дамбы вследствие изменения химического состава накапливаемых отходов или стоков.

Большая степень опасности:

- не полностью соответствуют проекту параметры водосбросных сооружений, при максимальных расчетных паводковых расходах возможно превышение ФПУ, перелив воды через гребень плотины, ее размыв и образование волны прорыва и др.;
- значительное несоответствие проекту материалов сооружений и основания;
- повышен по каким-либо причинам класса капитальности сооружения, но не проведены работы по оценке соответствия его конструкций новым требованиям.

Показатель опасности 4.

Возможные последствия при аварии ГТС.

В соответствии с «Положением о классификации чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера», утвержденным постановлением Правительства РФ от 13.09.96 г., масштаб ЧС, возникающей при аварии ГТС и затоплении в нижнем бьефе территории при прохождении волны прорыва, определяется в зависимости от количества пострадавших людей, количества людей, у которых оказались нарушены условия жизнедеятельности, размера материального ущерба и границ зоны распространения поражающих факторов.

Код показателя 4 принимается по таблице 6 в зависимости от масштаба возможной ЧС при аварии рассматриваемого ГТС.

Таблица 6 – Степень опасности по показателю 4

Сте- пень опасно- сти по показа- телю 4	Код	Масштаб возможной ЧС	Отличительные признаки			Зона распро- странения ЧС	Силы и сред- ства, привле- каемые для ликвидации ЧС
			Число по- страдав- ших, чел.	Нарушены условия жиз- недеятельно- сти, чел.	Матери- альный ущерб, МРОТ		
1	2	3	4	5	6	7	8
Малая	1	Локальная	Не более 10	Не более 100	Не более 1 тыс.	Не выходит за пределы территории объекта	Собственника или эксплуатирующей организации
Сред- няя	2	Местная	Выше 10, но не более 50	Свыше 100, но не более 300	Свыше 1 тыс., но не более 5 тыс.	Не выходит за пределы города, района	Органов местного самоуправления
Боль- шая	3	Террито- риальная	Свыше 50, но не более 500	Свыше 300, но не более 500	Свыше 5 тыс., но не более 0,5 млн.	Не выходит за пределы субъекта РФ	Органов исполнительной власти субъектов РФ
Очень боль- шая	4	Региональная	Свыше 50, но не более 500	Свыше 500, но не более 1000	Свыше 0,5 млн., но не более 5 млн.	Охватывает территорию 2-х субъектов РФ	Органов исполнительной власти субъектов РФ, оказавшихся в зоне ЧС
Очень боль- шая	4	Федераль- ная	Свыше 500	Свыше 1000	Свыше 5 млн.	Выходит за пределы более 2-х субъектов РФ	То же

Окончание таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
Очень большая	4	Трансгра- ничная	-	-	-	Поражаю- щие факторы выходят за пределы РФ	По решению Правительства РФ, в соответ- ствии с нормами междунароно- го нрава

Интегральная количественная оценка опасности ГТС напорного фронта водохранилищ и накопителей промышленных отходов, включая возможный ущерб при аварии и образовании волны прорыва, характеризуется коэффициентом опасности l , который представляет собой долю (вероятность) от наиболее неблагоприятной обстановки (сочетания показателей опасности) на объекте.

При наиболее неблагоприятном сочетании уровней четырех рассмотренных показателей опасности (интегральный код 3334) коэффициент опасности равен $\lambda = 1$, в остальных случаях $0 < \lambda < 1$.

Численные значения коэффициента опасности l в зависимости от установленного интегрального кода показателей опасности получены на основе экспертной оценки коэффициентов значимости или «удельного веса» каждого из показателей опасности, а также оценки относительной роли (весовых коэффициентов) каждой из степеней опасности по тому или иному показателю. Количественные оценки этих величин приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Количественные оценки

№ п/п	Показатели опасности	Степень опасности	Код	Коэффициент значимости показателя опасности
1	Опасность превышения природных нагрузок и воздействий	Малая	1	0,2
		Средняя	2	
		Большая	3	
2	Обоснованность и соответствие проектных решений современным нормативным требованиям	Отсутствует	0	0,2
		Малая	1	
		Средняя	2	
		Большая	3	
3	Соответствие проекту конструкции сооружения, условий его эксплуатации и свойств материалов сооружения и основания	Отсутствует	0	0,2
		Малая	1	
		Средняя	2	
		Большая	3	
4	Возможные последствия и ущерб при аварии ГТС	Малая	1	0,4
		Средняя	2	
		Большая	3	
		Очень Большая	4	

При этом коэффициент опасности определен из соотношения:

$$\lambda = \sum_{i=1}^4 \delta_i \cdot \alpha_i \cdot \lambda_0 \quad (8)$$

где δ_i - коэффициент значимости i -го показателя опасности;

α_i - значение кода i -го показателя опасности;

λ_0 - нормирующий множитель.

Управление экологическими рисками подразумевает деятельность, направленную на снижение и предотвращение риска неблагоприятных событий, ухудшающих качество окружающей среды.

В общем виде такая деятельность включает в себя определение перечня возможных управляющих мероприятий по уменьшению риска, оценку их эффективности, и контроль результатов.

Выбор стратегии управления экологическими рисками осуществляется в рамках ограничений, установленных обществом, нормативно–правовыми, административными и экономическими правилами регулирования деятельности и уровнем технологических параметров производства.

Стратегия управления рисками намечаемой деятельности заключается в обоснованном выборе и формировании управляющих решений, которые, в результате их реализации, позволяют достигнуть намеченных целей по сохранению окружающей среды при минимальных совокупных издержках. При этом приоритетным направлением должно быть принятие предупредительных мер над мерами по ликвидации негативных воздействий.

При соблюдении эксплуатационным персоналом ПБ 03–438–02 «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов», при ведении мониторинга безопасности шламохранилища, выполнении антитеррористических мероприятий, показатели риска аварийных ситуаций будут сведены к минимуму.

Для снижения негативных воздействий от реализации намечаемой деятельности, на предприятии должны быть приняты меры по управлению рисками, которые можно разделить следующим образом: нормативно–правовые, административные, экономические, технические.

Нормативно–правовые меры управления экологическими рисками заключаются в применении на предприятии нормативно–правовых актов, которыми устанавливается эколого–правовая ответственность.

Административные меры, связанные с осуществлением контроля результатов деятельности. Контроль состояния окружающей среды в районе шламохранилища в составе производственного экологического мониторинга.

В настоящее время в общую схему организации контроля безопасной эксплуатации ГТС входят натурные наблюдения и ведомственный контроль.

Контроль эксплуатационной надежности и безопасности действующего ГТС осуществляют группа натурных наблюдений (служба мониторинга), созданная из специалистов предприятия. Состав и количество контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), предусмотренные на ГТС, соответствуют нормативным требованиям и достаточны для контроля состояния сооружений.

Как один из методов управления безопасностью шламохранилища, можно рассматривать контроль качества строительных материалов, качества ведения строительно-монтажных работ и соблюдения параметров конструкции.

При соблюдении всех условий и требований проектной документации и органов надзора при возведении дамб и следовании правилам эксплуатации, выполнении указанных в проектной документации мероприятий, необходимый уровень эксплуатационной надежности и безопасности ГТС обеспечивается.

В зависимости от режима функционирования опасного производственно-го объекта, выделяют риски, связанные со штатным режимом функционирования техногенного объекта, и риски, связанные с аварийными ситуациями. Предварительная оценка рисков при реализации намечаемой деятельности в штатном режиме проводилась с учетом существующей антропогенной нагрузки на рассматриваемую территорию. Учитывая, что возможные воздействия на компоненты окружающей среды на этапах строительства и ликвидации шламохранилища характеризуются небольшим масштабом распространения и кратковременностью последствий, экологические риски неблагоприятных событий имеет низкую значимость. Не смотря на то, что неблагоприятные экологические события на этапе эксплуатации шламохранилища могут проявляться в течение всего жизненного цикла объекта, значимость рисков оценивается как низкая, т.к. применяя защитные и профилактические меры, соблюдая правила

безопасности при эксплуатации ГТС, последствий неблагоприятных событий можно избежать. Умеренную значимость имеет риск загрязнения поверхностных водных объектов в связи с расположением шламохранилища вблизи водоохранной зоны р. Чулым, а также риск загрязнения подземных вод при инфильтрации сточных вод через наращенные дамбы шламохранилища. Результаты оценки показали что, учитывая существующую антропогенную нагрузку на рассматриваемую территорию, намечаемая производственная деятельность, не привнесет на территорию дополнительные экологические риски.

Аварийные ситуации вносят основной вклад в риски, связанные с функционированием техногенных объектов. Возможные аварийные ситуации на этапах строительства и ликвидации шламохранилища связаны с работой автотранспортной техники и выполнением сварочных работ: возгорания и проливы нефтепродуктов. Данные аварии характеризуются локальным масштабом распространения и в силу своей кратковременности, будут иметь низкую значимость риска. На этапе эксплуатации шламохранилища возможны следующие аварийные ситуации: образование прорана в теле дамбы, авария на пульповодах/шламопроводах, выход из строя водосбросных сооружений, повреждение противофильтрационного экрана. Самой опасной аварийной ситуацией является гидродинамическая авария в результате разрушения ограждающей дамбы. Последствиями такой аварии могут быть: затопление и загрязнение грязевым потоком пойм реки Чулым, загрязнение почв и подземных вод на территории затопления, разрушение под воздействием гидродинамического давления потока строений, насыпи железной дороги, автодороги, ЛЭП.

Возникновение такой гидродинамической аварии, возможно только при крайне неблагоприятном стечении обстоятельств, имеющих малую вероятность проявления:

- возникновение землетрясения выше 8 баллов по шкале Рихтера;
- осуществление террористического акта;

– формирование описанной зоны затопления возможно при максимальном паводке 1% обеспеченности, повторяющемся 1 раз в 100 лет.

Результаты оценки показали, что при регулярном эксплуатационном контроле и принятии своевременных мер возникновение аварийных ситуаций можно предотвратить.

При оценке степени риска разрушения дамб шламохранилища проанализированы все причины, по которым может произойти разрушение, оценена вероятность появления таких ситуаций по каждой из причин и их совокупности.

На основании данного анализа установлен интегральный показатель степени риска разрушения ограждающих дамб. При анализе учитывались результаты изучения причин разрушения дамб в республике, а также аналогичные результаты, полученные за рубежом и опубликованные в литературных источниках. При этом принималось во внимание, что существующие методы расчета плотин и дамб разработаны в основном по результатам изучения причин разрушения таких сооружений.

В общем случае надежность дамб можно установить по группе показателей, определяемых инженерными расчетами, а также по группе показателей, которые невозможно определить расчетным путем и которые оцениваются по аналогии с сооружениями, где наблюдались нарушения их нормальной работы или разрушения. Первой по значимости причиной разрушения дамб является недостаточная прочность грунтов для принятой конструкции дамб. Выполненные расчеты показали, что при расчетных значениях прочностных характеристик грунтов основания общая устойчивость дамб шламохранилищ обеспечивается. Для принятых параметров дамб на таких грунтах основания не было случаев разрушения в результате потери общей устойчивости.

Второй по значимости причиной разрушения дамб является обрушение откосов, которое может произойти при недостаточной прочности грунтов основания и грунтов тела дамб. Проведенные вариантные расчеты устойчивости откосов и связанные с ними фильтрационные расчеты показали, что устойчивость дамб шламохранилищ при принятых значениях параметров их попереч-

ного сечения и проектном режиме эксплуатации обеспечена.

Следующая по значимости причина разрушения дамб – перелив воды через гребень. На дамбах шламохранилища эта причина исключена, так как по режиму эксплуатации быстрое заполнение и переполнение его невозможны.

Отсутствие водосборной площади исключает переполнение шламохранилища в результате природных явлений (ливни, сильные снегопады). Конструкция креплений откосов и размеры шламохранилищ (небольшая длина разгона волн) исключают разрушение откосов и как следствие – и самих дамб в результате воздействия волн. Отсутствие в шламохранилищах сплошного ледового покрова в зимний период, а также резкого колебания уровней в это время исключает возможное повреждение откосов по данным причинам.

Анализ причин возможного разрушения дамб шламохранилищ, которые нельзя оценить результатами строгих инженерных расчетов, выполняется по опыту эксплуатации дамб аналогичной конструкции. Разрушение возможно из-за разжижения грунтов тела дамбы. Однако в республике не было зафиксировано ни одного случая разрушения дамб и земляных плотин по этой причине.

Так как в дамбах шламохранилищ устроен экран и, кроме того, образуется хороший экран из шламов и не происходит насыщения тела дамб водой, вероятность такого разрушения чрезвычайно низкая.

Появление сосредоточенных путей фильтрации в подпорном сооружении может привести к его разрушению. Одной из причин возникновения сосредоточенных путей фильтрации является трещинообразование в теле дамбы в результате неравномерной осадки. Так как дамбы шламохранилищ построены на достаточно прочном основании и осадка их в результате уплотнения грунтов основания незначительная, образование трещин в теле дамб из-за неравномерных осадок исключено. В случае подработки территории под дамбами шламохранилища потребуется дополнительно оценить устойчивость дамб (их возможную осадку и ее неравномерность) и разработать мероприятия по обеспечению их устойчивости.

Сосредоточенные пути фильтрации могут возникнуть в основании дамбы

при наличии не обнаруженных в процессе изысканий прослоев хорошо проницаемых грунтов в слабопроницаемых грунтах основания. В таких случаях при создании напора в нижнем бьефе появляются грифоны и вынос грунта фильтрационным потоком. Эти явления, как правило, не приводят к катастрофическим последствиям, так как при своевременном обнаружении можно предусмотреть мероприятия, обеспечивающие устойчивость дамб. Причиной образования сосредоточенных путей фильтрации могут быть ходы землеройных животных. Нормальная эксплуатация дамб и состав содергимого шламохранилищ делают эту причину их разрушения маловероятной. Сосредоточенные пути фильтрации в теле дамб возможны также в результате интенсивного влагопереноса к фронту промерзания и образования ледяных прослоек, которые после оттаивания могут явиться причиной разрушения дамб. Однако низкое положение кривой депрессии в дамбах шламохранилища делает эту причину маловероятной.

В случае расположения шламорассолопроводов на гребне дамб при их разрыве возможен локальный размыв откоса. Поэтому необходим постоянный контроль состояния шламорассолопроводов для исключения этой причины.

Разрушения дамб по причинам рассматриваемой группы в большинстве случаев происходили из-за плохой эксплуатации. При квалифицированной эксплуатации своевременное обнаружение любого отклонения от нормальной работы позволяет его устраниить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая диссертационная работа посвящена решению актуальных проблем обеспечения устойчивости высоких накопителей промышленных отходов – хвостохранилищ, шламонакопителей и золоотвалов.

Острота данной проблемы объясняется объективной необходимостью наращиванию накопителей по высоте при продолжении срока их эксплуатации.

Увеличение ёмкости накопителя путём возведения дополнительных дамб сопряжено с возрастающей стоимостью этих сооружений и использованием новых земельных ресурсов. Увеличение же ёмкости путем наращивания высоты существующих дамб приводит к существенной экономии затрат. В то же время обостряется проблема устойчивости накопителей при наращивании ограждающих дамб по высоте.

Составной частью этой проблемы является неизбежное совершенствование дренажных систем, от нормальной и эффективной работы которых зависит устойчивость наращиваемых ёмкостей. В то же время усложнение конструкций дренажей и приспособление их к суровым климатическим условиям эксплуатации влечет за собой повышение стоимости реконструируемых накопителей. С одной стороны при наращивании ограждающих дамб достигается экономия земельных ресурсов, так как не требуется новых площадок для новых ёмкостей в тоже время включение в конструкцию накопителя теплоизолирующих элементов дренажей, во многих случаях существенно увеличивает их стоимость.

Поэтому в данной работе предлагается такая система обогрева дренажа в ограждающей дамбе, которая не требует существенных энергетических затрат и основывается на использовании тепла содержащегося в промышленных стоках основного производства.

Поэтому, основное внимание было сосредоточено на обосновании такой конструкции дренажной системы, которая исключила бы замерзаемость дренажа в суровых климатических условиях без устройства специальных греющих

элементов. В данной работе функции этих элементов выполняются путём регулирования теплового режима промерзающего внешнего откоса дамбы, за счёт совместного использования тепла, содержащегося в фильтрационном потоке и промышленных стоках, складируемых в верхнем отстойном пруде и сбрасываемых в нижний специальный бассейн по трубам.

Таким образом достигается совместный греющий эффект фильтрационных сбросных вод предприятия.

Предлагаемая конструкция незамерзающего дренажа не повлияет на устойчивость дамбы так как первой по значимости причиной разрушения дамб является недостаточная прочность грунтов для принятой конструкции дамб.

Выполненные расчеты показали, что при расчетных значениях прочностных характеристик грунтов основания общая устойчивость дамб шламохранилищ обеспечивается.

Второй по значимости причиной разрушения дамб является обрушение откосов, которое может произойти при недостаточной прочности грунтов основания и грунтов тела дамб, а так же при высоком коэффициенте фильтрации.

Проведенные вариантные расчеты устойчивости откосов и связанные с ними фильтрационные расчеты показали, что устойчивость дамб шламохранилищ при принятых значениях параметров их поперечного сечения и проектном режиме эксплуатации обеспечена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фисенко Г.Л., Ревазов М.А., Галустьян Э.Л. Укрепление откосов в карьерах. М., «Недра», 1974. – 208 с;
2. Кузнецов Г.И. Накопители промышленных отходов: учеб. пособие / Г.И. Кузнецов, Н.В. Балацкая, Д.А. Озерский. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 108 с;
3. Ничипорович А.А. Плотины из местных материалов: учеб.пособие / А.А. Ничипорович. М., «Стройиздат», 1973. – 320 с;
4. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. М., «Недра», 1974. – 296 с;
5. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М., МГУ, 1979. – 369 с;
6. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства потребления. М., «КолосС», 2003. – 230 с;
7. Механика грунтов. Ч. 1. Основы геотехники в строительстве : учебник / Б.И. Далматов, В.Н. Бронин, В.Д. Карлов, Р.А. Мангушев. – М., «ACB», 2000. – 204 с;
8. Рекомендации по проектированию сооружений хвостохранилищ в суровых климатических условиях. / под ред. Л.П. Шатнева. – Стройиздат, 1977. – 152 с;
9. Федоров И.С., Захаров М.Н. Складирование отходов рудообогащения. М., «Недра», 1985. – 228 с;
10. Кузнецов Г.И. Проблемы безопасности специальных гидроуоружений (хвостохранилища, золоотвалы, шламонакопители) в условиях Сибири / Г.И. Кузнецов // Изв. Вузов. Строительство. – 2002. – №3. – С.61-66;
11. Водный кодекс РФ [Электронный ресурс] : федер. закон от 03.06.2006 N 74–ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

12. Земельный кодекс РФ [Электронный ресурс] : федер. закон от 25.10.2001 N 136-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

13. Градостроительный кодекс РФ [Электронный ресурс] : федер. закон от 29.12.2004 N 190-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

14. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест [Электронный ресурс] : СанПиН 2.1.6.1032-01 от 01.10.2001 г. Регистрационный N 2711 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

15. Нормы радиационной безопасности. [Электронный ресурс] : Сан-ПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ 99/2009) от 07.07.2009 г. // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

16. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. [Электронный ресурс] : СанПиН 2.1.4.1074-01 от 26.09.2001 г. Регистрационный N 3011 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

17. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : федер. закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

18. Об экологической экспертизе [Электронный ресурс] : федер. закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

19. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 06 октября 2003 г. № 131-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

20. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс] : федер. закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

21. Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды [Электронный ресурс] : приказ МПР РФ № 511 от 15 июня 2001 г. // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>;

22. О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Т. А. Кулагина
подпись

«14» 07 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Комплексная система регулирования фильтрационного режима
хвостохранилища

20.04.01 «Техносферная безопасность»

20.04.01.03 «Чрезвычайные ситуации в техносфере»

Научный руководитель


подпись, дата

профессор, д.т.н.

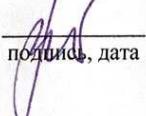
Г.И. Кузнецов

Выпускник


подпись, дата

М.В. Чумакова

Рецензент


подпись, дата

доцент, к.т.н. И.В. Варфоломеев

Красноярск 2019