

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно – металлургический институт имени А.О.Байконурова

Кафедра «Горное дело»

Кожанбаев Рустем Льдашевич

Обоснование рациональной конструкции бортов карьера при разработке
сложноструктурных месторождений

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7M07203 – «Горная инженерия»

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова

Кафедра Горное дело

7М07203 – «Горная инженерия»



ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Кожанбаев Рустем

Тема: Обоснование рациональной конструкции бортов карьера при разработке сложноструктурных месторождений

Утверждена приказом ректора университета № 477-М от «04» 04 2022г.

Срок сдачи законченной диссертации « » 2023г.

Исходные данные к магистерской диссертации: основные горно-геологические и геомеханические условия принимаются из нормативно-технических документов и проектов по разработке рассматриваемого месторождения. Для достижения поставленной цели параметры бортов карьера следует определять в соответствии с пространственной изменчивостью прочностных свойств и структурных особенностей массива. Повышение безопасности разработки сложноструктурных месторождений целесообразно за счет конструкции борта карьера и системы его мониторинга, позволяющая контролировать проявления деформационных процессов для прогнозирования устойчивости.

а) Исследование причин деформирования карьерных откосов сложноструктурных месторождений;

б) Обоснование расчетных схем и определение параметров откосов уступов и бортов карьера рассматриваемого месторождения;

в) Техничко-экономическая эффективность полученных решений при обосновании конструкции бортов карьера

Перечень графического материала:

а) горно-геологические данные рассматриваемого месторождения; б) схемы и параметры откосов и бортов рассматриваемого карьера; в) результаты численно-аналитических и графоаналитических расчетов; г) схемы или номограммы оперативного определения конструктивных параметров откосов бортов карьеров с учетом прочностных свойств массивов и их пространственной изменчивости; д) схемы предложенных методы контроля и прогноза состояния и свойств карьерных массивов, позволяющие управлять параметрами бортов карьера в период строительства и эксплуатации, а также обеспечивающая промышленную безопасность горных работ т.д.

Рекомендуемая основная литература: 7

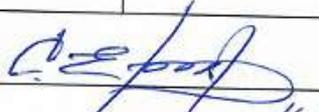
ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Общие сведения о районе работ	Май 2022	
Горногеологические особенности участка Токум	Январь 2023	
Обоснование рациональной конструкции бортов карьера	Июнь 2023	

Подписи

Консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Обоснование конструкции бортов карьера	Е.Т. Сердалиев, ассоц. проф.	01.03.23	
Выбор метода расчета устойчивости бортов	Е.Т. Сердалиев, ассоц. проф.	04.04.24	
Оценка результатов расчета устойчивости бортов карьера	Е.Т. Сердалиев, ассоц. проф.	05.06.24	
Нормоконтролер	Мендекинова Д.С.	19.06.24	

Научный руководитель  Сердалиев Е.Т.

Задание принял к исполнению обучающийся  Кожанбаев Р.

Дата «06» марта 2023г.

АНДАТПА

Магистрлік диссертацияның мақсаты – күрделі құрылымдық кен орындарын игеру кезінде карьер жақтарын ұтымды жобалау бойынша ғылыми негізделген ұсыныстарды әзірлеу. Бұл жұмыста Боко-Васильев кен орнының Токум учаскесі зерттеледі. Жұмыста олардың тұрақтылығына әсер ететін геологиялық, гидрогеологиялық және техногендік факторларды ескере отырып, тұрақты және қауіпсіз берма құрылымдарын қалыптастырудың заманауи әдістері мен тәсілдері талданады. Еңістердің тұрақтылығын бағалау және олардың деформациясын болдырмау үшін сандық модельдеу және зертханалық зерттеулер жүргізілді.

Әзірленген ұсынымдар күрделі тау-кен-геологиялық жағдайларда карьерлерді жобалау мен пайдалануды оңтайландыру үшін қолданылуы мүмкін, бұл авариялар қаупін азайтуға және тау-кен кәсіпорындарының экономикалық тиімділігін арттыруға көмектеседі.

АННОТАЦИЯ

Целью магистерской диссертации является разработка научно обоснованных рекомендаций по проектированию рациональной конструкции бортов карьера при разработке сложноструктурных месторождений. В данной работе рассматривается участок Токум, Боко-Васильевского рудного поля. В работе анализируются современные методы и подходы к формированию устойчивых и безопасных конструкций бортов, учитываются геологические, гидрогеологические и техногенные факторы, влияющие на их устойчивость. Проведены численные моделирования и лабораторные исследования для оценки устойчивости откосов и предотвращения их деформаций.

Разработанные рекомендации могут быть применены для оптимизации проектирования и эксплуатации карьеров в условиях сложных горно-геологических условий, что способствует снижению рисков аварий и повышению экономической эффективности горнодобывающих предприятий.

ABSTRACT

The purpose of the master's thesis is to develop scientifically based recommendations for the design of a rational design of pit sides when developing complex structural deposits. This work examines the Tokum section of the Boko-Vasilievsky ore field. The work analyzes modern methods and approaches to the formation of stable and safe berm structures, taking into account geological, hydrogeological and man-made factors affecting their stability. Numerical simulations and laboratory studies were carried out to assess the stability of slopes and prevent their deformations.

The developed recommendations can be applied to optimize the design and operation of quarries in difficult mining and geological conditions, which helps reduce the risk of accidents and increase the economic efficiency of mining enterprises.

ВВЕДЕНИЕ

В современном горнодобывающем производстве одной из важнейших задач является обеспечение устойчивости и безопасности эксплуатации карьеров при разработке сложноструктурных месторождений полезных ископаемых. Разработка таких месторождений часто сопровождается рядом геологических, техногенных и экологических факторов, которые существенно усложняют процесс добычи и требуют внедрения инновационных решений и технологий.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности и безопасности горных работ в условиях сложных геологических структур и неоднородности массива пород. Нарушение устойчивости бортов карьера может привести к серьезным авариям, финансовым потерям и экологическим катастрофам. Поэтому важным аспектом является обоснование рациональной конструкции бортов карьеров, что позволит минимизировать риски и обеспечить долгосрочную стабильность горных работ.

Целью данного исследования является разработка методических рекомендаций по обоснованию рациональной конструкции бортов карьеров, обеспечивающей их устойчивость и безопасность при разработке сложноструктурных месторождений. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

Анализ современных методов и подходов к проектированию и поддержанию устойчивости бортов карьеров.

Изучение геологических и техногенных факторов, влияющих на устойчивость бортов карьера.

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к изучению устойчивости бортов карьера, включающем анализ геологических, техногенных и эксплуатационных факторов, а также использование современных методов моделирования и прогнозирования. Практическая значимость исследования состоит в разработке рекомендаций и методических указаний, направленных на повышение безопасности и эффективности горных работ при разработке сложноструктурных месторождений.

1 Исходные данные и географо-экономическая характеристика района

Боко-Васильевское рудное поле включает в себя площадь, в пределах которой находятся - месторождение Васильевское, участки: Южный, Женишке, Токум, а также участок Колорадо и зоны Футбольная, ИСК, Игрек, Жалпан-Тобе и зона Южно-Боконского разлома.

Обзорная схема района Контрактной территории показана на рисунке 1.1.

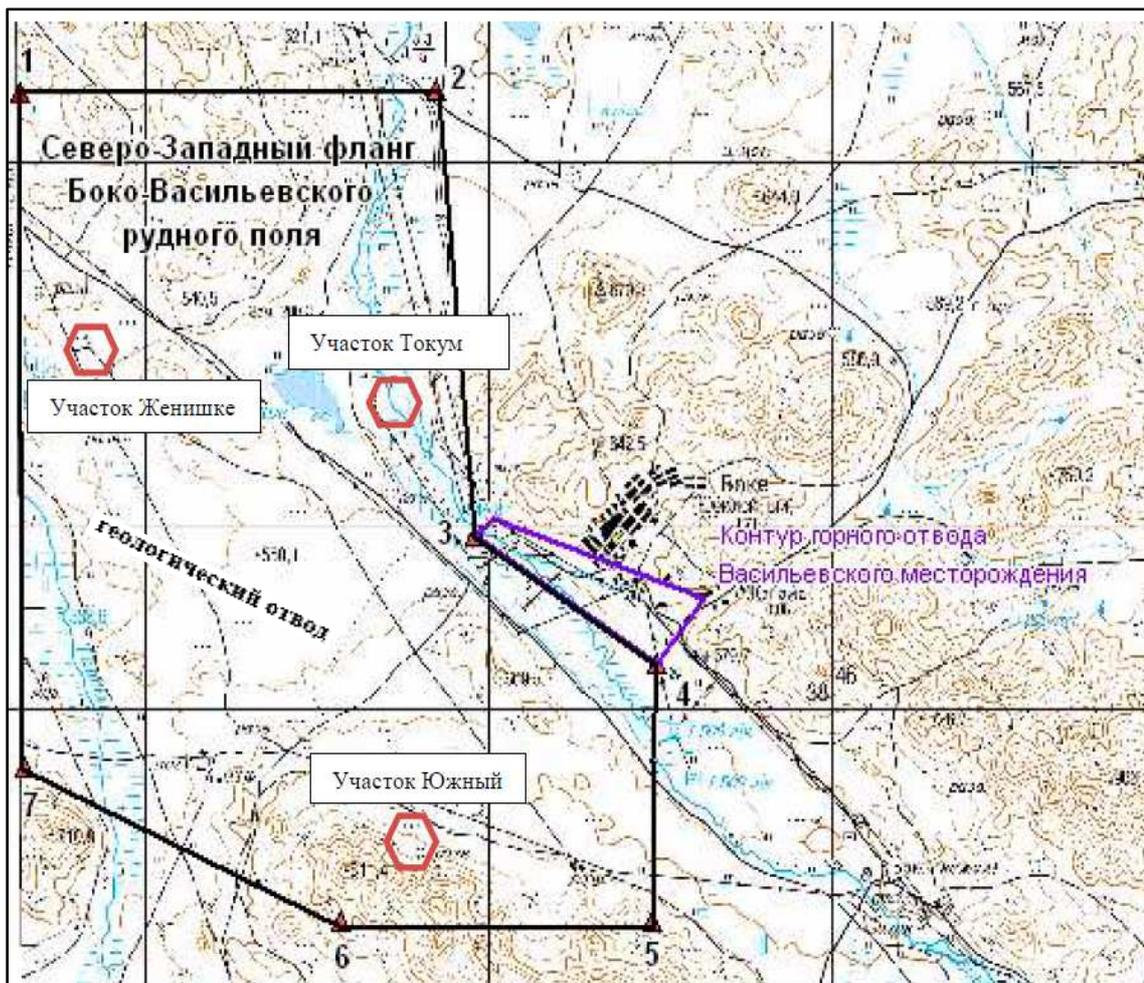


Рисунок **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..1** – Обзорная схема района Контрактной территории

Площадь геологического отвода составляет 52,0 км² и ограничена точками с угловыми координатами, приведенными в таблице 1.1.

Таблица **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**1 – Координаты угловых точек геологического отвода (UTM, широта и долгота)

Угловые точки	Координаты угловых точек	
	Северная широта	Восточная долгота
1	49°08'00"	81°30'00"
2	49°08'00"	81°34'00"
3	49°05'21"	81°34'20"
4	49°04'35"	81°36'04"
5	49°03'00"	81°36'00"
6	49°03'00"	81°33'00"
7	49°04'00"	81°30'00"

Настоящим планом горных работ рассматривается 2 очередь добычи на участке Токум Боко-Васильевского рудного поля. В 2020 году работы на данном участке были возобновлены, пробурено 2182,2 п.м. колонковых скважин, 10037 п.м. скважин РС и РАВ. Период детальной разведки (2020-22 гг.) был посвящен сгущению сети по выявленным рудным залежам и оконтуриванию флангов участка Токум. Проведенные работы позволили провести оценку Минеральных Ресурсов и Запасов в приповерхностной части зоны окисления для отработки в соответствии с планами компании.

Площадь горного отвода участка Токум составляет 0,3 км².

Административное положение. Участок Токум Боко-Васильевского рудного поля расположен на территории Жарминского района области Абай Республики Казахстан.

Ближайшими населенными пунктами являются рудничные поселки Боке (Юбилейный) - 0,5 км и Акжал - 10 км. Расстояние от п. Боке до районного центра с. Калбатау (бывшее с. Георгиевка) составляет около 30 км, до г. Семей - 205 км и до областного центра г. Усть-Каменогорска - 165 км.

Расстояние до ближайшей железнодорожной станции Жангиз-Тобе – 20 км.

Рельеф района работ низкогорный, группы небольших возвышенностей чередуются с широкими и пологими равнинами. Абсолютные отметки колеблются от 100 до 600 м, относительные превышают 100-300 м.

Участок Токум расположен в межсопочном понижении, контролируемом долиной р. Боко шириной до 750 м, вытянутой с юго-востока на северо-запад. По тальвегу долины отмечается сезонная заболоченность площадью около 0,6 км².

Дорожная сеть. С районным центром и ближайшей железнодорожной станцией Жангиз-Тобе п. Боке связан частично асфальтированной дорогой через п.Акжал. Через село Калбатау проходит асфальтированная трасса в города: Усть-Каменогорск, Семей, Зайсан и Алматы.

Климат района резко континентальный со значительными суточными и годовыми колебаниями температур. Среднегодовое количество атмосферных

осадков составляет 290-300 мм. Лето жаркое, сухое, максимальная температура воздуха достигает 35-40С. Минимальная температура воздуха зимой (-35 – 40оС) падает январь-февраль месяцы. Снежный покров при средней максимальной толщине от 50 до 90 см на равнинах и в предгорьях исчезает к концу апреля. Глубина промерзания почвы – 1,0-1,5 м. В районе преобладают ветры юго-восточного направления, в отдельные моменты, достигающие ураганной силы.

Гидрографическая сеть представлена р. Бюкуй (Боко), являющейся левым притоком р. Чар. Ширина русла реки 1,5-2,0м, в летнее время она пересыхает. Для бытовых и технических нужд используются групповые воды, характеризующиеся повышенной жесткостью.

Общее протяжение реки около 40 км. Русло извилистое. Ширина 2-3 м. Река протекает по слабохолмленной степной равнине. Растительность поймы травянистая, кустарниковая. Берега задернованы, имеются выходы грунтовых вод. Долина реки выражена слабо и покрыта полынно-типчаковой степью. Средний уклон реки – 3,1 %.

Поверхностный сток отмечается сезонно в руслах рек Боко, Женишке и постоянно в р.Чар (на северо-востоке в 20 км). Средний годовой сток характеризуется модулем 0,65 дм³/с 1 км² площади водосбора со средней отметкой 450 м.

Озеро Боконское (Юбилейное) является русловым искусственным водохранилищем реки Боко. Площадь 84 га. Входит в перечень рыбохозяйственных водоемов местного значения. Участок месторождения Токум находится в 230 метрах от берега озера, для возможности освоения месторождения разработан Проект «Определение водоохранной зоны и полосы реки Боко, водоотводной канавы и озеро Боконское в границах участка отведения русла реки Боко на участке Токум Боко-Васильевского рудного поля в Жарминском районе, области Абай».

В районе имеется также ряд озер с солоноватой и горько-соленой водой. Большая часть этих озер в летнее время высыхает. Мелкие родники, встречающиеся в пределах изучаемой площади, имеют ограниченный дебит (1-2 л/мин) и к середине лета водоток из большинства их прекращается.

Фауна и флора. Растительность представлена смешанными типами степной и полупустынной зон – чаще травами (ковыль, типчак, полынь, различные солончаковые формы) и кустарником (карагайник, шиповник, ивняк).

Животный мир относительно беден, изредка встречаются архары, волки, зайцы, лисы.

В перечень рыбохозяйственных водоемов для ведения рыбного хозяйства по области Абай река Боко не входит.

В районе рассматриваемого проектом участка заповедных территорий нет.

Экономика. Населенность района относительно высокая. Основным занятием населения является животноводство, земледелие, горнорудная

(главным образом золотодобывающая) промышленность. Возможность найма рабочей силы по месту работ ограничена.

Снабжение электроэнергией объектов района осуществляется от Бухтарминской ГЭС – через железнодорожную станцию Жангиз-Тобе проходит высоковольтная ЛЭП (220 киловольт).

В районе отсутствует топливная база, нет лесных массивов. Материально-техническое снабжение осуществляется через железнодорожную станцию Жангиз-Тобе. Из нерудных материалов в районе известны месторождения и проявления кирпичного сырья и гравия, песка и бутового камня.

Настоящим планом горных работ предусматривается отработка (2-я очередь) окисленных запасов на участке Токум открытым способом в границе одного карьера.

Добыча предусматривается в течение 1 года, с применением буровзрывных работ.

Работа вахтовым методом – две вахты в месяц, продолжительность вахты - 15 дней.

Режим горных работ - две смены по 12 часов в сутки, 365 рабочих дней в году.

Проектная мощность по добыче руды второй очереди (участок Токум) на 2023 год – 300 тыс. тонн.

Заданная производительность будет обеспечена набором соответствующего горнотранспортного оборудования.

При составлении «Плана горных работ на Боко-Васильевском рудном поле в области Абай (участок Токум) 2 очередь» использовались следующие исходные материалы, представленные заказчиком:

- техническое задание выполнение работ:
- отчет о минеральных ресурсах и запасах месторождения золота Токум Боко-Васильевского рудного поля, в соответствии с кодексом KAZRC, "MinExCo", 2023 г.
- блочная модель.
- топографическая съемка.
- фактическое положение горных работ.
- графические приложения (геологические планы, карты, схемы, разрезы).

На основании данных материалов, в соответствии с действующими нормами и правилами, а также в полном соответствии с согласованными требованиями к Плану горных работ произведены все проектные расчеты и выполнены графические материалы

2 Краткое геологическое и гидрогеологическое строение участка Токум

Крупным и наиболее изученным рудопроявлением (фактически месторождением) на Боко-Васильевском рудном поле в области Абай является участок Токум.

Участок Токум расположен в 2 км от северо-западной границы горного отвода Васильевского месторождения и локализуется в почти аналогичной ему геолого-структурной позиции - в зоне Боконского надвига, в его висячем боку.

Площадь месторождения почти полностью находится в долине р. Боко, выполненной рыхлыми кайнозойскими отложениями мощностью 5-10 м, за исключением северо-западной части площади месторождения, где мощность рыхлых отложений уменьшается до первых метров и имеется возможность проходки канав и траншей.

В геологическом строении принимают участие терригенные отложения (песчаники, углисто-глинистые и углистые алевролиты) буконьской свиты среднего карбона, надвинутыми по Боконскому надвигу на более молодые вулканиты среднего состава, относимые к даубайской свите среднего - верхнего карбона. Интрузивные породы представлены только среднекислыми штоками и дайкообразными телами даубайского субвулканического комплекса. Степень раскристаллизации плагиопорфиров и андезибазальтов даубайской свиты близкая, породы часто имеют сходный облик и различаются, в основном, по появлению миндалин в эффузивах и по развитию биотита вместо клинопироксена в плагиопорфирах.

Породы буконьской свиты имеют, в целом, субширотное простирание с моноклиальным падением под углами 40-60°. Складчатые структуры очень плохо расшифровываются.

На месторождении широко проявлены процессы аутометасоматической пропилитизации, околорудной березитизации и листовенитизации, зоны кварцево-жильной проработки пород, пространственно совпадающие с дорудными и синрудными тектоническими зонами растяжения и дробления пород.

Площадь рудопроявления почти полностью находится в долине р. Боко, выполненной рыхлыми кайнозойскими отложениями.

Водопритоки в выработки будут формироваться за счет дренирования вод аллювиального водоносного горизонта и вод экзогенной и тектонической трещиноватости каменноугольных отложений.

Примыкающее с западной стороны к рудопроявлению водохранилище Боконьское бессточное. Предположительно дно озера закальматировано, поэтому подток поверхностных вод из водохранилища в горные выработки исключается.

По условиям формирования водопритоков в горные выработки участок Токум классифицируется как объект со средними гидрогеологическими условиями.

При углублении карьера ниже уровня р.Боко водоприток увеличится за счет инфильтрации речных вод и вод аллювиального водоносного горизонта по тектоническим обводненным зонам и изменение его величины за счет влияния атмосферных осадков уменьшится.

По мере углубления карьера водоприток будет формироваться за счет подтока трещинных вод палеозойских пород.

Гидрогеологическая карта района работ показана на рисунке 2.1.

Геологическая карта района работ показана на рисунке 2.2.

2.1 Тектоника, рудоконтролирующие структуры

Основными разрывными нарушениями рудного поля являются разломы северо-западного и субширотного простирания. Северо-западные разломы входят в систему глубинного Сарджальского разлома трансформного типа и определяют блоковую структуру Боко-Васильевского рудного поля. На начальном этапе развития все разломы являлись сбросами и заложились в конце раннего карбона, по-видимому, были основными магмо- и рудоподводящими структурами. Наиболее крупными из них являются Сарджальский (за пределами Контрактной территории), Боконский, Западно-Боконский, Жумагульский, и Кокпектинский (также за пределами участка работ) разломы.

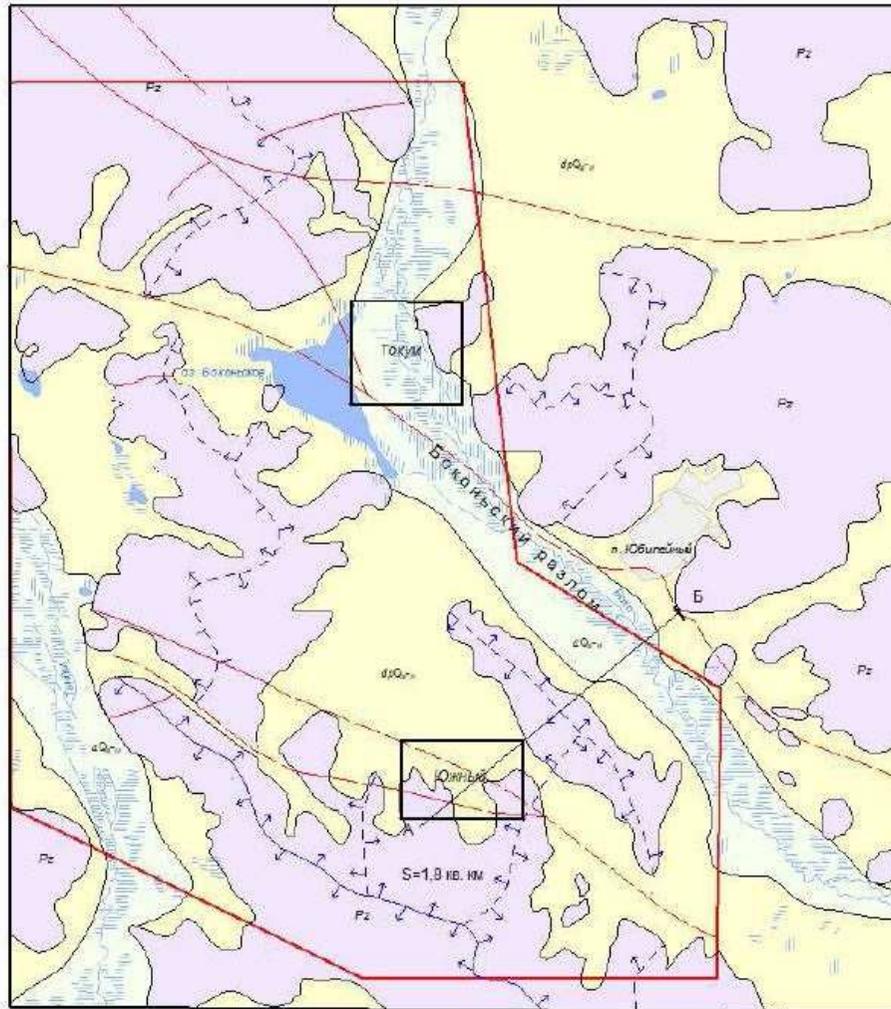
Таким образом, рудоконтролирующими и рудовмещающими структурами рудного поля являются Боконская, Западно-Боконская и Жумагульская зоны разломов северо-западного простирания и сопряженные с ними субширотные тектонические структуры (Сагандыкский и Тиекпайский разломы).

Боконский разлом с юго-запада ограничивает Сарджальскую грабен-синклиналиную вулканотектоническую структуру. Представлен надвиговой зоной тектонических брекчий и кварц-углеродистых золотоносных метасоматитов. Эта структура в пределах Контрактной территории имеет протяженность 3700 м. Генеральное простирание ее северо-западное по азимуту 300-310°, падение на юго-запад под углами 40-50°. Мощность зоны надвига варьирует от 100 до 300 м. Нижний шов надвига четкий. По этому шву контактируют осадочные отложения буконьской свиты среднего карбона с средне-верхнекарбоновыми вулканогенными образованиями даубайской свиты. В Боконской зоне разлома локализовано месторождение Токум, на ее юго-восточном продолжении (за пределами Контрактной территории) – Васильевское месторождение и целый ряд проявлений золота, требующих детального изучения.

Субмеридиональные и северо-восточные разломы более высокого порядка разбивают площадь на отдельные блоки.

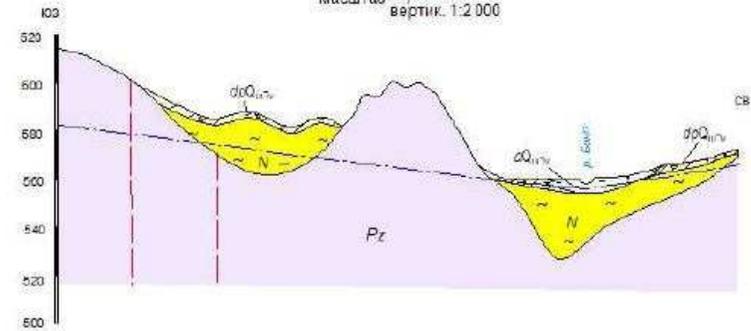
**СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЛАНГА БОКО-ВАСИЛЬЕВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ**

масштаб 1:50 000



**СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-Б
РУДОПРОЯВЛЕНИЕ ЮЖНОЕ**

масштаб гориз. 1:25 000
вертик. 1:2 000



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | Водосный горизонт верхнечетвертичных современных отложений Гравина-апачинии, пески, супеси, суглинки. |  | Зона тектонического нарушения |
|  | Воды спорадического распространения в верхнечетвертичных-современных депозитально-пролювиальных отложениях Супеси, суглинки, щебень, дрязгой. |  | Линия поверхностного водораздела |
|  | Трещинные воды в породах палеозойского возраста Песчаники, алевриты, туфопесчаники, сланцы, порфириты, конгломераты, габбро-диабазы, плагиофиды, порфириты. |  | Уровень подземных вод |
|  | Водоупорные тины неогена (на разрезе) |  | Границы водоносных горизонтов и водоупоров |
| | |  | Линия гидрогеологического разреза |
| | |  | Территория рудопроявления |
| | |  | Контур горного отвода |

Рисунок 2.1 - Схематическая гидрогеологическая карта

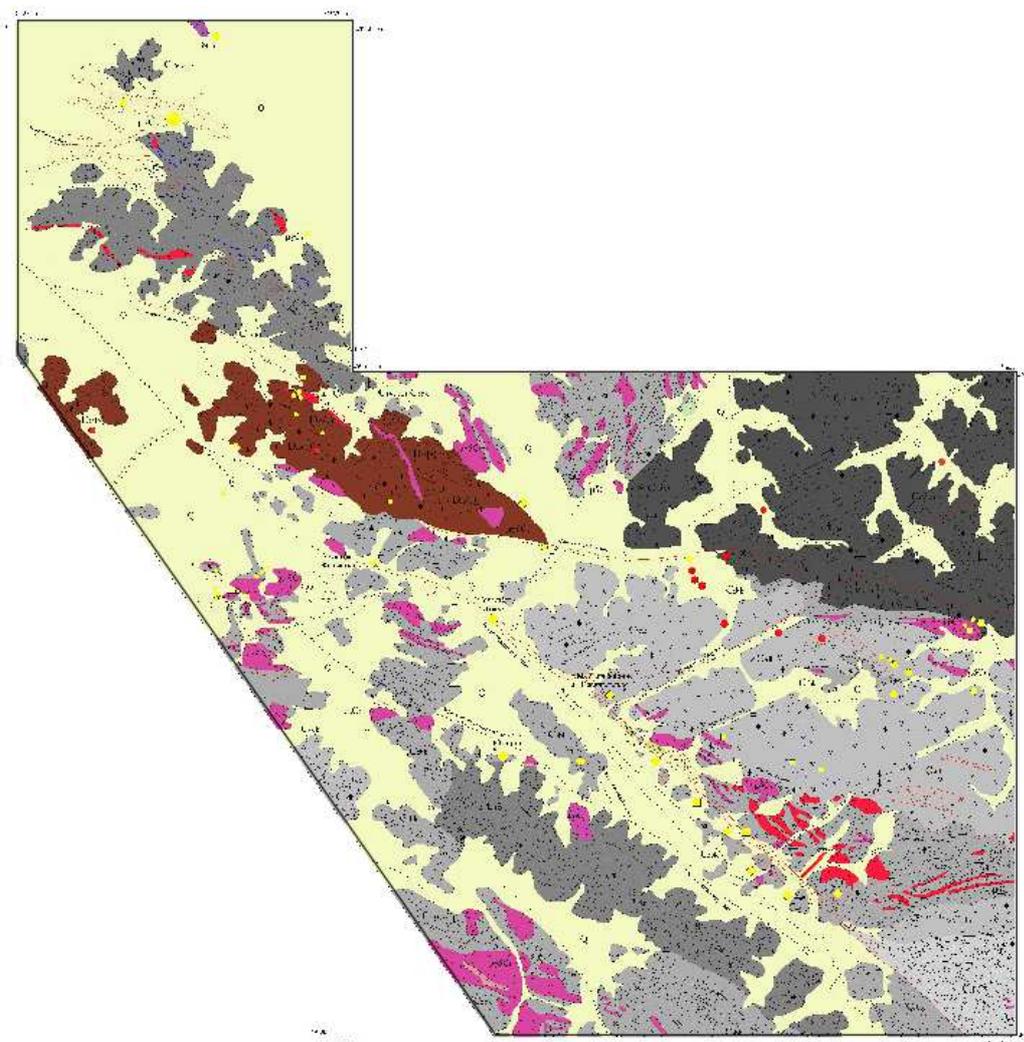


Рисунок 2.2 - Схематическая геологическая карта

Субмеридиональный разлом развит в центральной части месторождения, он имеет слегка извилистые в плане очертания, простирается по азимуту 360° и имеет крутое падение на запад под углами $60-70^\circ$.

По этому разлому зона Боконского разлома смещается к северу на 80-120 м. Северо-восточные разрывы имеют простирание $20-35^\circ$, падение близкое к вертикальному. Они представлены маломощными (первые метры) зонами дробления и окварцевания, смещают зону Боконского разлома до 25-30 м. Наибольший интерес представляют разрывы северо-западного простирания, вмещающие все известные рудные тела. Эти разрывы проявлены серией сближенных тектонических швов, выполненных в различной степени окварцованными и метасоматически измененными терригенными породами буконьской свиты. В центральной части площади эти разрывы испытывают изгиб в широтном направлении. Падение этих разрывов, и соответственно, рудных тел на юго-запад и юг под углами от $45-60^\circ$ до $20-30^\circ$ с глубиной. В северо-западной и центральной части участка большая часть этих швов залечена субвулканической интрузией плагиопорфиров.

2.2 Группа сложности геологического строения

Золотое оруденение характеризуется следующими особенностями:

- геологические границы рудных зон, локализованных в метасоматически измененных породах, установить не удастся и контур их определяется по результатам опробования;

- некондиционные участки внутри рудных тел на месторождении не поддаются оконтуриванию (геометризации), распределяются случайным образом;

- большая изменчивость морфологии рудных зон, которые представлены неправильными линзами и залежами в плане и в разрезе, формирующих прожилково-вкрапленное оруденение минерализованных зон.

Участок Токум Боко-Васильевского рудного поля характеризуется резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения тел полезного ископаемого, весьма неравномерным распределением основных ценных компонентов и относится к 3-й группе сложности в соответствии с «Инструкцией по применению классификации запасов к золоторудным месторождениям».

2.3 Характеристика рудных тел участка Токум

Золотое оруденение установлено и непрерывно прослежено буровыми скважинами и частично траншеями на расстояние более 900 метров. Руда монокомпонентная – в значимых концентрациях присутствует только золото, а из вредных примесей отмечается только мышьяк, содержания которого в единичных пробах достигают значений 0,4-0,6% (в первичных рудах).

Золотое оруденение представлено зонами прожилково-вкрапленной минерализации. При этом рудные тела располагаются в наиболее проработанных частях внутренних зон березито-лиственитов.

Всего на рудопроявлении выделено 32 рудных тела, параметры шестнадцати наиболее крупных тел приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Характеристика рудных тел месторождения Токум

Номер рудного тела	Содержание Au, г/т	Металл, кг	Азимут		Угол падения	Протяженность		Мощность (средняя)
			Прости- рания	Падения		по прос- тиранию	средняя по падению	
РТ_20	1.62	736.4	109	199	60-70	500	250-500	15.0
РТ_19-2	1.03	263.6	61	151	40-50	150	30-350	10.0
РТ_14_зап	1.00	224.5	90	180	50-60	194	50-150	7.0
РТ_13	1.12	206.2	79	169	50-80	150	50-80	5.0
РТ_19-1	0.95	116.7	99	189	40-80	100	40-160	6.0
РТ_17	1.44	52.2	139	229	50;65	99;75	35;20	2.0
РТ_14-1n	1.03	51.9	124	214	55	110	25-35	6.0

PT_14	0.72	43.1	75	165	43-53	125	20-100	3.0
PT_13-3	0.76	38.8	92	182	45-70	125	25-50	2.0
PT_19-3	0.96	35.8	65	155	50	95	30-50	3.0
PT_14-4	1.47	32.2	83	173	40-55	50	20-30	7.0
PT_13-2	1.32	23.0	90	180	55	50	55	2.5
PT_20-1	1.34	22.7	100	190	50-60	45	27	4.0
PT_19-5	0.98	17.2	86	176	45-50	75	45-62	1.0
PT_18	1.29	16.4	103	193	30-65	63;38	20	3.5
PT_14-1	1.69	16.3	95	185	63	75	20	2.5

Все рудные тела располагаются внутри зоны кварц-карбонатных прожилков, приуроченной к песчано-сланцевой толще буконьской свиты вдоль экзоконтакта довольно крупного штока плагиопорфиров.

Кроме основных рудных тел, отмечается серия более мелких, расположенных в основном в верхней части рудопроявления. Маломощные рудные тела имеют запасы от 0.7 кг до 9.4 кг золота, с содержанием в пределах от 0.45 до 3.25 г/т. Доля этих запасов составляет 0.88% от подсчитанных по участку.

Основные рудные тела имеют форму неправильных линз, вытянутых по падению.

Глубина зоны окисления изменяется от 13,0 м до 67,0 м, при средней 27,6 м.

3 Общая характеристика участка

По инженерно-геологической типизации месторождений твердых полезных ископаемых месторождение классифицируется как месторождение IV типа – месторождения в массивах вулканогенно-осадочных, метаморфических осадочных (скальных и полускальных) пород с трещинными, трещинно-пластовыми и трещинно-жильными водами. По сложности изучения оно может быть отнесено к месторождениям средней сложности. Горно-геологические и горнотехнические условия открытой разработки Боко-Васильевского рудного поля в целом следует признать благоприятными. Необходимость разработки специальных мероприятий при эксплуатации месторождения отсутствует.

Свойства горных пород и руд, условия их залегания, климатические условия и масштабы предстоящей деятельности обуславливают применение цикличной технологии производства вскрышных и добычных работ с использованием гидравлических экскаваторов в комплексе с автомобильным транспортом. В этих условиях предполагается следующий состав технических средств комплексной механизации основных производственных процессов:

- буровые установки типа Atlas Copco ROC L6;
- гидравлический экскаватор типа Liebherr R 964 C емкостью ковша 3 м³, в исполнении «обратная лопата»;
- на транспортировке горной массы автосамосвалы типа HOWO ZZ3407S3567D грузоподъемностью 50 т.

В случае производственной необходимости указанные модели оборудования могут быть заменены на аналогичные по типоразмеру. При этом не должно быть допущено нарушение требований безопасности и ухудшение проектных технико-экономических показателей.

Снятые плодородные и потенциально плодородные почвы в зоне производства горных работ требуют временного складирования для последующего использования при рекультивации нарушенных земель.

3.1 Границы и параметры карьера

Границы карьера отстраивались с учетом максимального включения в контуры карьера утвержденных окисленных запасов при минимально возможном объеме вскрышных пород и обеспечении безопасных условий по устойчивости бортов.

Отработку запасов участка предусматривается вести открытым способом в границах одного карьера. Основой для оконтуривания карьера послужила рудная модель, выполненная ТОО «MineExCo».

Проектирование карьера осуществлялось в геоинформационной системе Micromine. В данной программе реализована возможность 3D

моделирования рудных тел, определение и оконтуривание границ карьера, проектирование схемы вскрытия, определение погоризонтных объемов руды и вскрышных пород, расчет коэффициента вскрыши, проектирование отвалов.

При соблюдении оптимальных технологических и безопасных условий отработки обеспечивается устойчивость бортов карьера. Параметры уступов и бортов приняты на основании инженерно-геологической характеристики пород и руд с учетом «Методических рекомендаций по технологическому проектированию горнодобывающих предприятий открытым способом разработки для конструирования бортов карьеров».

При построении карьера были учтены следующие конструктивные параметры: Продольный уклон транспортной бермы – 80‰, ширина транспортной бермы для движения автосамосвалов г/п 40 т – 13 м.

На рисунке 3.1 представлен план карьера на конец отработки.

Геологические разрезы карьера показаны на рисунке 3.2

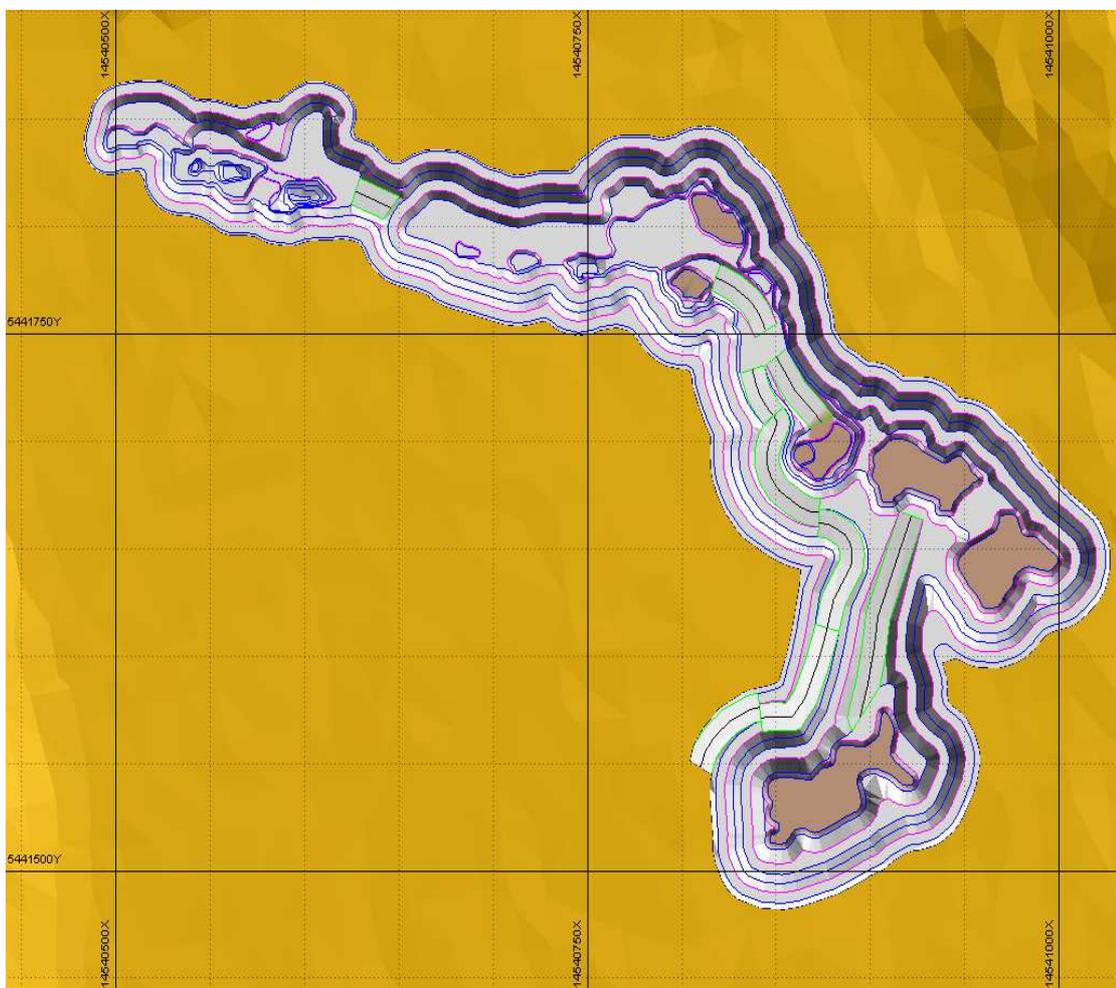


Рисунок 3.1 – План карьера участка Токум

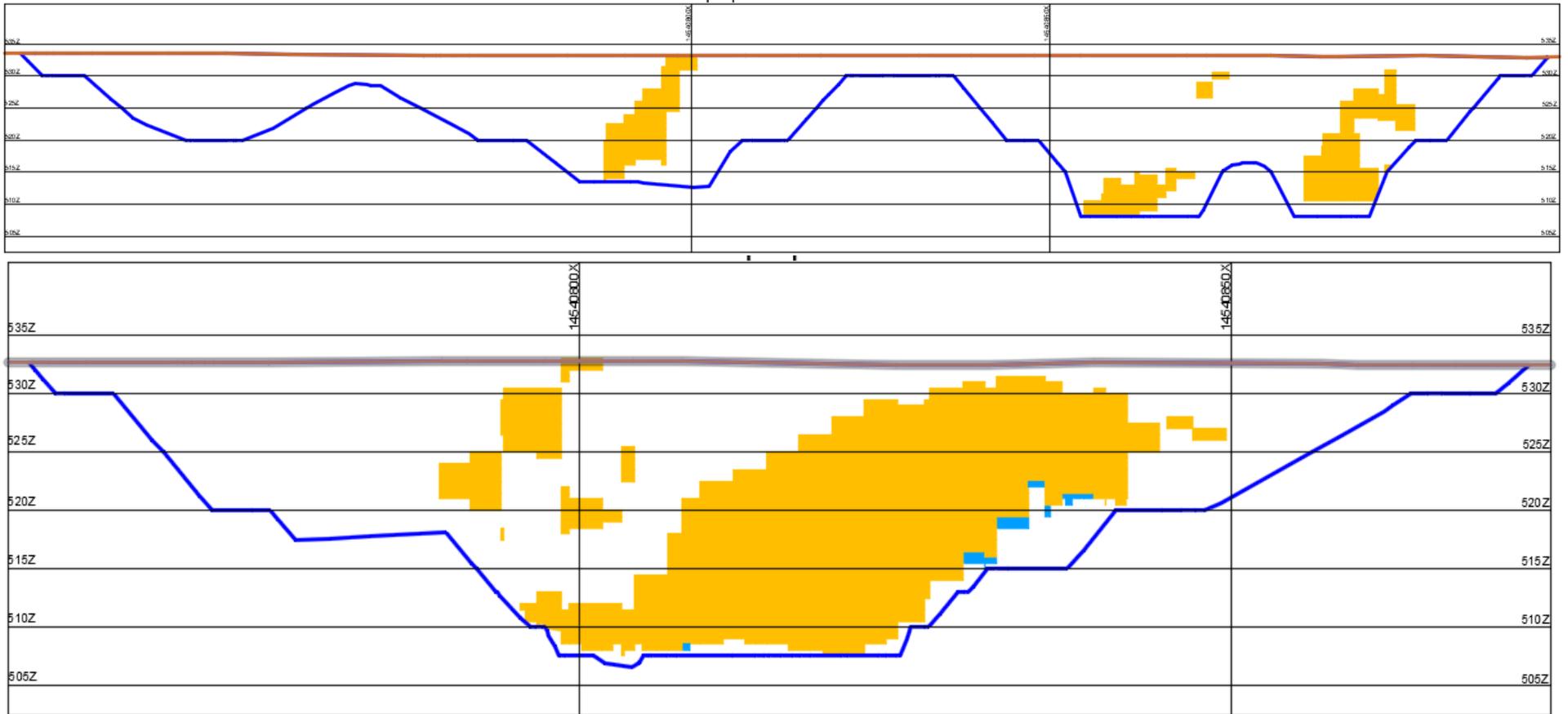


Рисунок 3.2 – Геологические разрезы

Конструктивные элементы, принятые при проектировании карьера приведены в таблице 3.1. Параметры карьера приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Параметры конструктивных элементов карьера

Наименование параметров	Ед. изм.	Значение
Высота уступа в рабочем положении	м	5
Высота уступа в конечном положении	м	10
Угол откоса уступа	м	50
Уклон съездов	‰	80
Ширина съезда	м	13
Ширина предохранительной бермы	м	5

Таблица 3.2 - Параметры карьера

Наименование параметров	Ед. изм.	Значение	
Длина	м	582	
Ширина	м	112	
Отметка дна	м	505	
Глубина (от максимальной отметки поверхности)	м	28,8	
Площадь	тыс.м ²	64,7	
Горная масса	тыс.м ³	762,5	
Геологические запасы руды	тыс.т	465,4	
Эксплуатационные запасы руды	тыс.т	507,3	
Среднее содержание золота в балансовых запасах	геологические	г/т	0,98
	эксплуатационные	г/т	0,87

Таблица 3.3 – Календарный график разработки карьера

Показатель	Ед. изм.	1 год
Горная масса	куб. м	762 532,14
Руда (Всего)	тонн	507 254,2
Руда окисленная	тонн	501 315,8
Руда сульфидная	тонн	565,4
Руда смешанная	тонн	5 372,9
Содержание, Au	г/т	0,87
Металл, Au	кг	440,3
Вскрыша	куб. м	568 189
Коэффициент вскрыши	м.куб/т	1,12

Для условий месторождения, где значительный объем горных пород относится к трудно взрываемым породам, рациональным буровым оборудованием на руде является буровой станок типа Atlas Copco ROC L6, либо аналогичный по техническим характеристикам, с возможностью бурения скважин диаметром 92-152 мм. Диаметр бурения рудных скважин

принят равным 125 мм. Буровзрывным работам будет подвергнуто 80% от общего объема горной массы.

3.2 Генплан

В рамках настоящего проекта предусмотрено проектирование объектов открытых горных работ. Проектирование автодорог, зданий и сооружений жилого и производственного назначения, гидротехнические сооружения и прочее, осуществляется в рамках специальных проектов.

При проектировании генерального плана участка Токум основные проектные решения принимались с учетом:

- природно-климатических условий (особенности рельефа местности, скорость и направление господствующих ветров);
- технологических условий разработки (минимальное расстояние транспортировки вскрыши и полезного ископаемого, минимальный объем работ по устройству автодорог, линий электропередачи, площадок, стационарность основных сооружений на продолжительный период;
- санитарных условий и зон безопасности.

Для предотвращения нарушения и загрязнения окружающей среды предусматривается снятие со всех площадок проектируемых объектов, плодородного слоя почвы с использованием его при озеленении или складирование его для последующей рекультивации.

Перечень основных объектов генерального плана приведен в таблице 3.4.

Генплан участка показан на рисунке 3.3.

Руда с карьера будет транспортироваться на территорию площадок кучного выщелачивания месторождения Васильевское, на уже действующий рудный склад. Данным генпланом предусматривается формирование склада смешанных руд.

Таблица 3.4 - Перечень основных объектов генерального плана

Номер п.п.	Наименование объекта	Назначение
1	Карьер	Добыча руды
2	Отвал	Складирование вскрышных пород
3	Склад ПРС	Складирование плодородного слоя почвы
4	Рудный склад	Временное складирование смешанных руд
5	Автодороги	Транспортировка горной массы

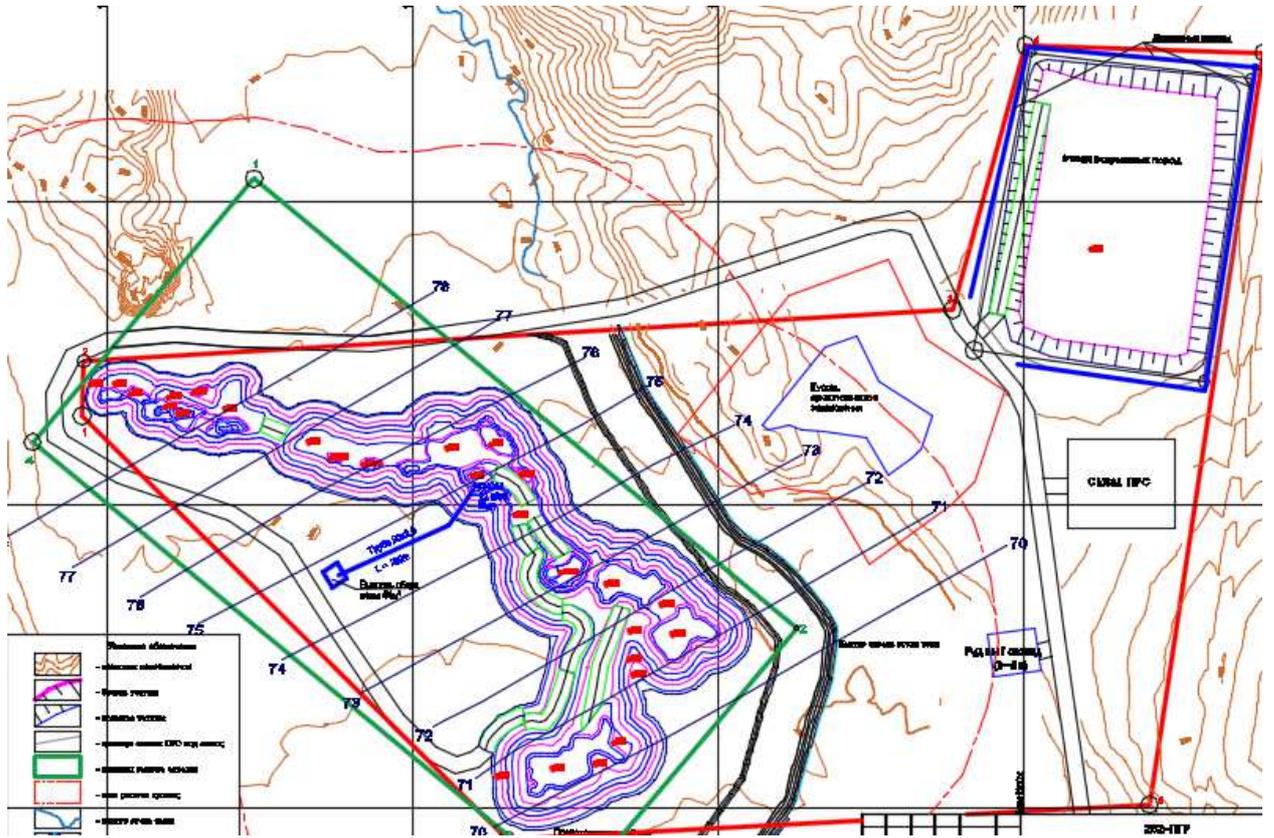


Рисунок 3.3 – Генплан участка Токум

4 Описание геотехнических условий месторождения

На участке Токум проведены обширные геотехнические и геологические исследования для оценки устойчивости бортов карьера. Эти исследования включали в себя широкий спектр мероприятий, направленных на изучение геологических условий, физических свойств грунтов и их поведения под нагрузкой. Целью данных исследований является обеспечение безопасности эксплуатации карьера и предотвращение возможных аварийных ситуаций.

Картирование местности:

- детальная геологическая съемка территории с использованием современных геоинформационных систем (ГИС);

- создание геологических карт и разрезов, отражающих стратиграфию и тектонику участка.

Сбор и анализ образцов:

Отбор образцов горных пород и грунтов с различных глубин и точек участка;

Лабораторный анализ физических и химических свойств образцов, включая минеральный состав, плотность, пористость и водопоглощение;

Определение механических свойств пород, таких как прочность на сжатие и разрыв.

Геофизические методы:

Проведение сейсморазведки для изучения глубинного строения участка.

Использование методов электрического сопротивления и магнитной съемки для выявления структурных неоднородностей.

Геотехнические исследования

Буровые работы:

Выполнение разведочных буровых скважин для детального изучения грунтовых условий.

Отбор монолитных образцов для последующих лабораторных испытаний.

Полевые испытания:

Штамповые испытания для определения деформационных характеристик грунтов.

Сдвиговые испытания для оценки прочности грунтов на сдвиг.

Дилатометрические и пенетрационные испытания для оценки плотности и прочности грунтов в натурных условиях.

Лабораторные исследования:

Испытания на сжимаемость и просадочность грунтов.

Определение модуля деформации и коэффициента фильтрации грунтов.

Проведение циклических нагрузочных испытаний для оценки усталостных характеристик грунтов.

Моделирование и анализ данных

Компьютерное моделирование:

Создание геотехнических моделей участка с использованием специализированного программного обеспечения.

Моделирование процессов деформации и устойчивости бортов карьера под воздействием различных нагрузок и условий эксплуатации.

Анализ риска и прогнозирование:

Оценка вероятности возникновения аварийных ситуаций и разработка мер по их предотвращению.

Прогнозирование поведения грунтов в долгосрочной перспективе с учетом климатических изменений и возможных техногенных воздействий.

Результаты исследований

Геологические исследования подтвердили наличие на участке Токум устойчивых осадочных пород, характеризующихся высокой прочностью и низкой подверженностью выветриванию. Грунты обладают достаточной несущей способностью, что подтверждается результатами полевых и лабораторных испытаний.

Геотехнические исследования выявили следующие ключевые характеристики:

Высокая плотность и прочность грунтов на сдвиг: Грунты обладают значительной внутренней сцепленностью и углом внутреннего трения, что обеспечивает их устойчивость при различных нагрузках.

Низкая сжимаемость и хорошая дренажная способность: Грунты обладают хорошими дренажными свойствами, что снижает риск накопления воды и связанного с этим снижения устойчивости бортов карьера.

Отсутствие значительных геологических разломов и слабых зон:

Исследования не выявили наличие крупных тектонических нарушений, которые могли бы существенно повлиять на устойчивость бортов карьера.

Моделирование показало, что борта карьера будут стабильны при различных сценариях разработки, включая экстремальные погодные условия и максимальные эксплуатационные нагрузки. Проведенные расчеты и анализы подтверждают, что угол наклона и высота бортов карьера находятся в пределах допустимых значений для обеспечения их устойчивости.

На основании проведенных геотехнических и геологических исследований можно сделать вывод, что борта карьера на участке Токум будут устойчивы в течение всего периода эксплуатации. Исследования подтвердили достаточную прочность и устойчивость грунтов, а также отсутствие значительных геологических рисков.

Рекомендации

Регулярный мониторинг состояния бортов карьера:

Проведение систематических наблюдений и измерений для своевременного выявления возможных изменений в состоянии бортов.

Использование автоматизированных систем мониторинга для контроля за деформациями и смещениями.

Проведение дополнительных исследований при изменении условий эксплуатации:

Выполнение дополнительных геотехнических и геологических исследований в случае изменения параметров разработки или условий эксплуатации карьера.

Адаптация моделей и расчетов к новым условиям для обеспечения безопасности.

Применение рекомендованных мер по укреплению и дренажу бортов:

Устройство дренажных систем для отвода поверхностных и грунтовых вод.

Применение методов укрепления бортов, таких как анкеровка, строительство подпорных стенок и другие инженерные решения.

5 Проверка устойчивости бортов карьера

Оценка устойчивости откосов проектируемого карьера является неотъемлемой частью при разработке карьера в условиях сложного геологического строения грунтового массива. Основой оценки устойчивости массивов служит сопоставление их действительного расчетного напряженного состояния с предельно возможным.

Оценка устойчивости бортов проектируемого карьера произведена с помощью специализированного программного обеспечения Geo Stab. Программа предназначена для расчета устойчивости откосов и склонов в условиях сложного геологического строения грунтового массива. Расчет коэффициента запаса устойчивости выполнялся для призм с круглоцилиндрической поверхностью скольжения методом касательных сил. Основой оценки устойчивости массивов служит сопоставление их действительного расчетного напряженного состояния с предельно возможным.

С учетом структурно-тектонического строения прибортового массива карьеров месторождения для расчета устойчивости приняты Южный и Северный борта карьера участка Токум по профилю 75. Профиль 75 показан на рисунке 5.1

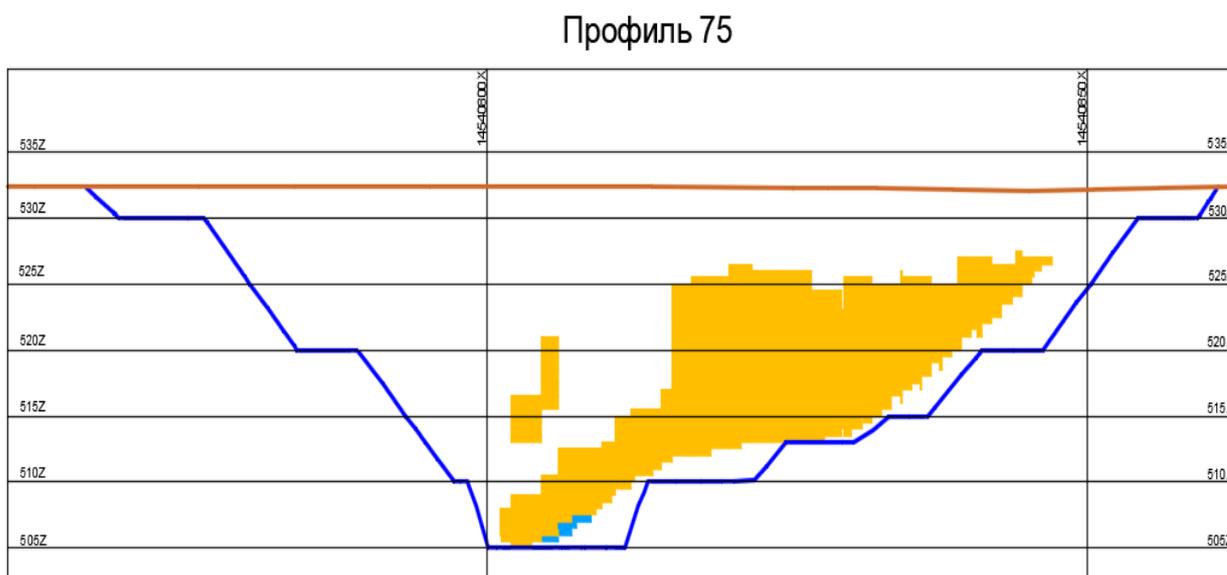
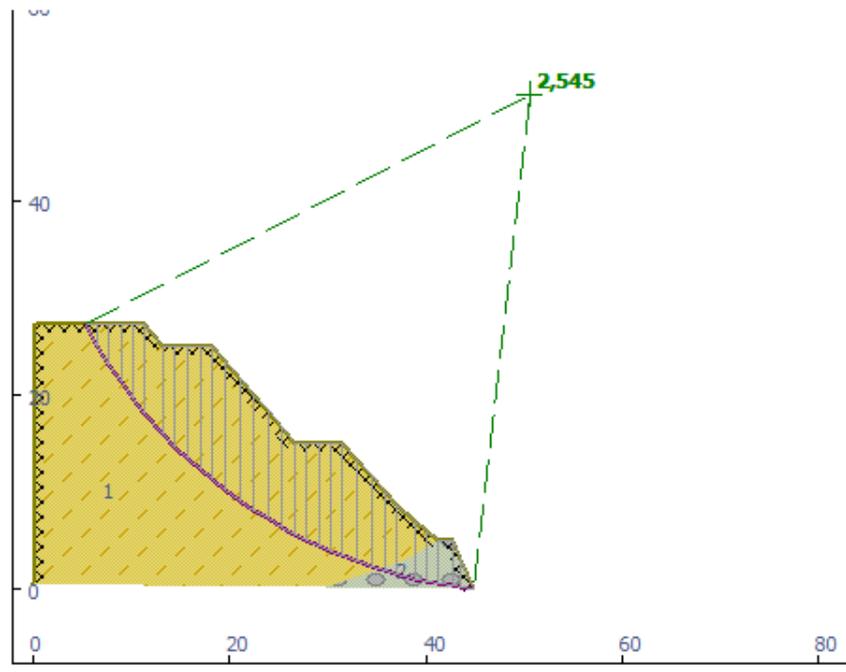


Рисунок 5.1- Профиль 75

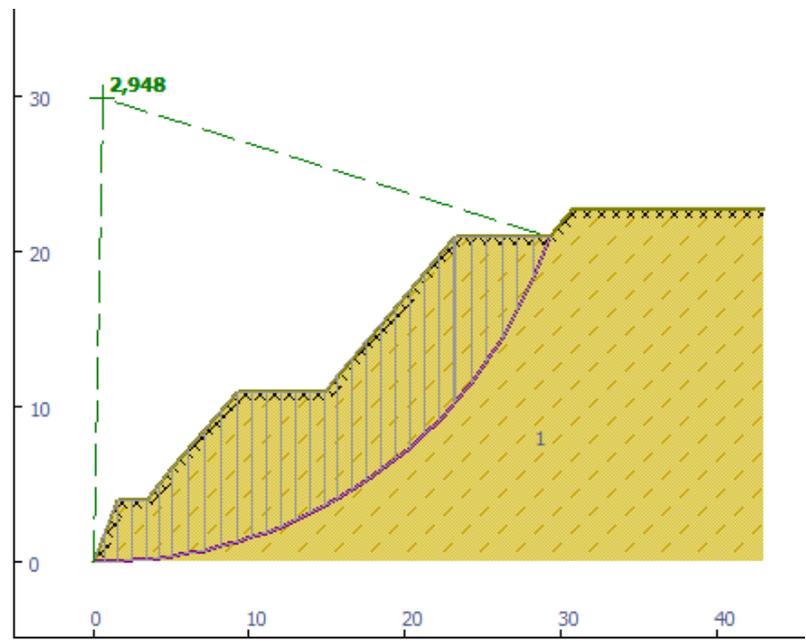
Физико-механические свойства слагающих борта пород принимались в соответствии с паспортом испытаний грунтов, подготовленных VK Lab Service, в 2022 году. Данные для расчета для некоторых горных пород были взяты из открытых источников. Был применен Метод касательных сил.

По результатам расчета значение коэффициента запаса устойчивости для Южного борта карьера составило 2,545 (рисунок 5.2), для Северного борта 2,948 (рисунок 5.3).



ИГЭ	Наименование грунта	c, кПа	φ, °	ρ, г/см ³
1	Алевриты	130	34	2,6
2	Андезиты	140	33	2,6

Рисунок 5.2 – КЗУ для Южного борта карьера



ИГЭ	Наименование грунта	c, кПа	φ, °	ρ, г/см ³
1	Алевриты	130	34	2,6

Рисунок 5.3 – КЗУ для Северного борта карьера

Расчет коэффициента запаса устойчивости выполняется для призм с круглоцилиндрической поверхностью скольжения по методам: Феллениуса, касательных сил, Янбу, Бишопа, Morgenstern-Price, Шахунянца, Спенсера.

Основой оценки устойчивости грунтовых массивов является сопоставление их фактического расчетного напряженного состояния с максимально допустимым. В инженерных методах оценки устойчивости сооружений используется понятие коэффициента запаса устойчивости, который можно обобщенно представить следующим образом: где «обобщенное» реактивное предельное сопротивление грунта воздействию разрушительной нагрузки; реакция массива грунта на действующую нагрузку.

Таким образом, коэффициент запаса устойчивости имеет определенное физическое значение и показывает, насколько использовано возможное предельное сопротивление грунта. Важно отметить, что при этом сравниваются только однотипные реактивные силы – предельные и действующие.

5.1 Сравнение методов расчета коэффициента запаса устойчивости бортов

Метод Morgenstern-Price.

Метод требует выполнения для каждого отсека уравнения равновесия в проекциях на нормальное и касательное к основанию направления; уравнения моментов относительно точки центра основания отсека.

Таким образом, для каждого отсека и соответственно для всей призмы сдвига обеспечивается выполнение всех уравнений статики.

Физико-механические характеристики грунтов Северного показаны в таблице 5.1.

Базовые свойства отсеков призмы Северного борта показаны в таблице 5.2

Физико-механические характеристики грунтов Южного борта показаны в таблице 5.3

По результатам расчета значение коэффициента запаса устойчивости для Южного борта карьера составило 2,766 (рисунок 5.3), для Северного борта 3,058 (рисунок 5.4).

Таблица 5.1 - Физико-механические характеристики грунтов Северного борта

№ ИГЭ	Наименование грунта	ρ , г/см ³	c , кПа	φ , град	ρ_{sat} , г/см ³
-------	---------------------	-------------------------------	--------------	---------------------	-------------------------------------

№ ИГЭ	Наименование грунта	ρ , г/см ³	c , кПа	φ , град	ρ_{sat} , г/см ³
1	Алевриты	2,60	130,0	34,0	0,00

№ ИГЭ		номер инженерно-геологического элемента
Наименование грунта		описание грунта с учетом вида, консистенции и т.п.
ρ	г/см ³	плотность грунта при природной влажности
c	кПа	удельное сцепление грунта при природной влажности
φ	град	угол внутреннего трения при природной влажности
ρ_{sat}	г/см ³	плотность грунта при полном водонасыщении

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = -0,90 \text{ м}, \quad Y_c = 34,65 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 34,64 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,25

Результаты расчета:

Метод расчета: Метод Morgenstern-Price

Коэффициент устойчивости: 3,058

Площадь призмы: 227,54 м²

Число элементарных призм: 30

Сдвиг призмы: справа налево

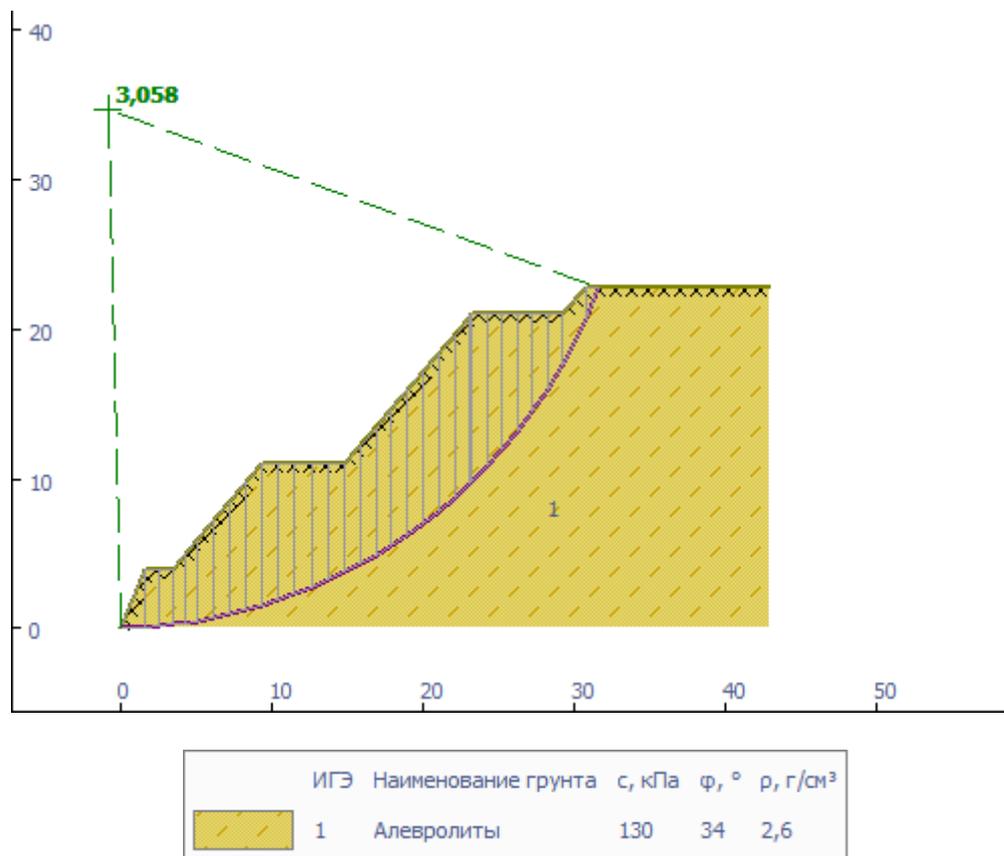


Рисунок 5.3 – Расчет КЗУ Северного борта

Таблица 5.2 - Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ_i , г/см³	c_i , кПа	φ_i , град	$\text{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м²	α_i , град
0	2,6	130,0	34,0	0,675	1,53	2,99	2,8
1	2,6	130,0	34,0	0,675	0,94	3,62	4,8
2	2,6	130,0	34,0	0,675	0,94	3,53	6,4
3	2,6	130,0	34,0	0,675	0,85	3,50	7,8
4	2,6	130,0	34,0	0,675	0,85	4,23	9,3
5	2,6	130,0	34,0	0,675	1,07	6,31	10,8
6	2,6	130,0	34,0	0,675	1,08	7,39	12,6
7	2,6	130,0	34,0	0,675	1,09	8,44	14,4
8	2,6	130,0	34,0	0,675	1,10	9,46	16,2
9	2,6	130,0	34,0	0,675	1,15	10,17	18,1
10	2,6	130,0	34,0	0,675	1,17	9,75	20,0
11	2,6	130,0	34,0	0,675	1,18	9,29	21,9
12	2,6	130,0	34,0	0,675	1,20	8,78	23,9
13	2,6	130,0	34,0	0,675	1,22	8,23	25,9
14	2,6	130,0	34,0	0,675	1,18	7,88	27,9
15	2,6	130,0	34,0	0,675	1,20	8,56	29,9
16	2,6	130,0	34,0	0,675	1,22	9,19	31,9
17	2,6	130,0	34,0	0,675	1,25	9,76	33,9
18	2,6	130,0	34,0	0,675	1,29	10,28	36,0
19	2,6	130,0	34,0	0,675	1,32	10,74	38,2

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\text{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
20	2,6	130,0	34,0	0,675	1,37	11,13	40,4
21	2,6	130,0	34,0	0,675	1,41	11,45	42,7
22	2,6	130,0	34,0	0,675	0,22	1,79	44,0
23	2,6	130,0	34,0	0,675	1,42	10,62	45,4
24	2,6	130,0	34,0	0,675	1,48	9,57	47,8
25	2,6	130,0	34,0	0,675	1,56	8,43	50,3
26	2,6	130,0	34,0	0,675	1,65	7,17	53,0
27	2,6	130,0	34,0	0,675	1,77	5,79	55,8
28	2,6	130,0	34,0	0,675	1,92	4,24	58,9
29	2,6	130,0	34,0	0,675	3,42	4,31	63,3
30	2,6	130,0	34,0	0,675	2,33	0,94	68,0
Итого:					41,38	227,54	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\text{tg}\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Таблица 5.3 - Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i*\text{tg}\varphi_i$, кН/м	c_i*l_i , кН/м	$N_i*\text{tg}\varphi_i + c_i*l_i$, кН/м
0	76,3	-3,7	76,2	-75,0	51,4	199,4	250,9
1	92,2	-7,7	91,9	-91,7	62,0	122,0	184,0
2	90,0	-10,0	89,5	-89,9	60,3	122,3	182,7
3	89,2	-12,2	88,4	-89,2	59,6	110,2	169,9
4	107,9	-17,4	106,5	-107,6	71,9	110,6	182,5
5	160,9	-30,3	158,0	-159,6	106,6	139,3	245,9
6	188,6	-41,2	184,0	-185,8	124,1	140,2	264,4
7	215,4	-53,6	208,6	-210,5	140,7	141,3	282,0
8	241,2	-67,4	231,6	-233,7	156,2	142,5	298,7
9	259,3	-80,5	246,5	-248,8	166,3	149,9	316,2
10	248,8	-85,1	233,8	-235,9	157,7	151,6	309,3
11	237,0	-88,6	219,8	-221,8	148,3	153,6	301,9
12	224,0	-90,8	204,8	-206,5	138,2	155,9	294,0
13	209,8	-91,7	188,7	-190,0	127,3	158,4	285,7
14	201,0	-94,0	177,7	-179,5	119,8	153,0	272,8
15	218,3	-108,7	189,3	-193,6	127,7	155,9	283,6

i	G _i , кН/м	T _i , кН/м	N _i , кН/м	S _i , кН/м	N _i *tgφ _i , кН/м	c _i *l _i , кН/м	N _i *tgφ _i + c _i *l _i , кН/м
16	234,3	-123,7	199,0	-206,9	134,3	159,2	293,4
17	249,0	-138,9	206,7	-219,5	139,4	162,9	302,3
18	262,3	-154,2	212,2	-231,4	143,1	167,1	310,2
19	273,9	-169,3	215,4	-242,8	145,3	172,0	317,2
20	283,9	-183,9	216,2	-253,7	145,8	177,5	323,3
21	291,9	-197,9	214,6	-264,1	144,7	183,9	328,7
22	45,5	-31,7	32,7	-41,6	22,1	28,9	51,0
23	270,8	-192,8	190,1	-247,7	128,2	184,2	312,5
24	244,1	-180,8	164,0	-222,8	110,6	192,6	303,1
25	214,9	-165,4	137,3	-194,1	92,6	202,5	295,1
26	183,0	-146,1	110,2	-159,7	74,3	214,8	289,1
27	147,7	-122,1	83,0	-117,1	56,0	230,1	286,1
28	108,2	-92,6	56,0	-61,8	37,8	250,1	287,8
29	110,0	-98,3	49,5	21,0	33,4	445,2	478,6
30	24,0	-22,3	9,0	171,7	6,1	302,8	308,9
Итого:	5803,7	-2902,7			3231,7	5379,9	8611,6

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
G _i	кН/м	вес i-го отсека. G _i = A _i * γ _i
T _i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае T _i = G _i * sin(α _i)
N _i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае N _i = G _i * cos(α _i)
S _i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками S _i = -N _i
N _i *tgφ _i	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
c _i *l _i	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
N _i *tgφ _i + c _i *l _i	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

Таблица 5.4 - Расчет коэффициента устойчивости Северного борта. Таблица моментов.

i	M _{акт i} , кН*м/м	M _{реакт i тр./сцепл.} , кН*м /м	M _{реакт i арм.} , кН*м /м	M _{реакт i} , кН*м /м
0	127,8	8657,9	0,0	8657,9
1	268,1	6367,2	0,0	6367,2
2	346,0	6336,7	0,0	6336,7
3	422,1	5901,7	0,0	5901,7
4	601,3	6345,6	0,0	6345,6
5	1048,6	8553,7	0,0	8553,7

i	M _{акт i} , кН*м/м	M _{реакт i тр./сцепл.} , кН*м /м	M _{реакт i арм.} , кН*м /м	M _{реакт i} , кН*м /м
6	1427,5	9197,1	0,0	9197,1
7	1856,8	9810,5	0,0	9810,5
8	2333,2	10394,3	0,0	10394,3
9	2787,4	11004,0	0,0	11004,0
10	2946,4	10762,7	0,0	10762,7
11	3067,0	10501,2	0,0	10501,2
12	3144,9	10221,2	0,0	10221,2
13	3175,0	9923,7	0,0	9923,7
14	3256,3	9489,9	0,0	9489,9
15	3763,7	9921,7	0,0	9921,7
16	4284,0	10346,4	0,0	10346,4
17	4811,4	10768,5	0,0	10768,5
18	5339,8	11193,3	0,0	11193,3
19	5862,1	11626,2	0,0	11626,2
20	6370,3	12072,9	0,0	12072,9
21	6855,0	12539,8	0,0	12539,8
22	1096,4	1973,5	0,0	1973,5
23	6677,1	12165,3	0,0	12165,3
24	6261,0	11873,0	0,0	11873,0
25	5727,4	11547,4	0,0	11547,4
26	5058,1	11168,1	0,0	11168,1
27	4229,0	10703,7	0,0	10703,7
28	3206,4	10101,9	0,0	10101,9
29	3399,8	15401,9	0,0	15401,9
30	771,1	10482,9	0,0	10482,9
Итого:	100521,1	307353,9	0,0	307353,9

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
M _{акт i}	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
M _{реакт i тр./сцепл.}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
M _{реакт i арм.}	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
M _{реакт i}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{\text{реакт } i} / \Sigma M_{\text{акт } i}$$

$$K_y = 307353,9 / 100521,1 = 3,058$$

Таблица 5.5 - Расчет коэффициента устойчивости. Метод Моргенштерна-Прайса. Таблица сил.

i	F _{x акт i} , кН/м	F _{x реакт i тр./сцепл.} , кН/м	F _{x реакт i арм.} , кН/м	F _{x реакт i} , кН/м
0	3,6	249,7	0,0	249,7
1	7,7	183,2	0,0	183,2
2	10,0	181,8	0,0	181,8

i	F _{x акт i} , кН/м	F _{x реакт i тр./сцеп.} , кН/м	F _{x реакт i арм.} , кН/м	F _{x реакт i} , кН/м
3	12,2	168,8	0,0	168,8
4	17,3	180,8	0,0	180,8
5	30,0	242,6	0,0	242,6
6	40,6	259,1	0,0	259,1
7	52,4	274,3	0,0	274,3
8	65,3	288,2	0,0	288,2
9	77,2	302,0	0,0	302,0
10	80,7	292,0	0,0	292,0
11	82,9	281,3	0,0	281,3
12	83,7	269,8	0,0	269,8
13	83,0	257,7	0,0	257,7
14	83,9	242,2	0,0	242,2
15	96,4	248,5	0,0	248,5
16	109,2	253,7	0,0	253,7
17	122,4	258,1	0,0	258,1
18	136,0	261,4	0,0	261,4
19	150,0	263,9	0,0	263,9
20	164,4	265,5	0,0	265,5
21	179,1	266,2	0,0	266,2
22	28,9	41,0	0,0	41,0
23	176,4	246,7	0,0	246,7
24	165,1	230,3	0,0	230,3
25	149,4	213,0	0,0	213,0
26	127,5	194,2	0,0	194,2
27	96,9	173,8	0,0	173,8
28	52,9	150,9	0,0	150,9
Итого:	2307,1	7054,2	0,0	7054,2

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
F _{x акт i}	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
F _{x реакт i тр./сцеп.}	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
F _{x реакт i арм.}	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
F _{x реакт i}	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 7054,2 / 2307,1 = 3,058$$

Таблица 5.6 - Физико-механические характеристики грунтов Южного борта

№ ИГЭ	Наименование грунта	ρ , г/см ³	c , кПа	φ , град	ρ_{sat} , г/см ³
1	Алевролиты	2,60	130,0	34,0	0,00
2	Андезиты	2,60	140,0	33,0	0,00

№ ИГЭ		номер инженерно-геологического элемента
Наименование грунта		описание грунта с учетом вида, консистенции и т.п.
ρ	г/см ³	плотность грунта при природной влажности
c	кПа	удельное сцепление грунта при природной влажности
φ	град	угол внутреннего трения при природной влажности
ρ_{sat}	г/см ³	плотность грунта при полном водонасыщении

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = 48,20 \text{ м}, \quad Y = 36,86 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 37,00 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,25

Результаты расчета:

Метод расчета:

Метод Morgenstern-Price

Коэффициент устойчивости:

2,766

Площадь призмы:

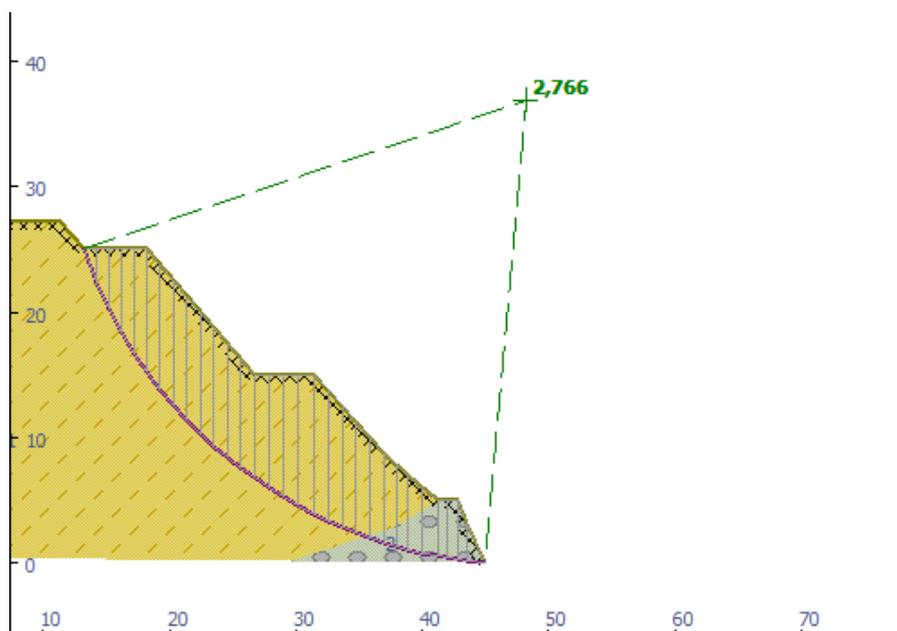
241,89 м²

Число элементарных призм:

30

Сдвиг призмы:

слева направо



ИГЭ	Наименование грунта	c_i , кПа	φ_i , °	ρ_i , г/см ³
	1 Алевролиты	130	34	2,6
	2 Андезиты	140	33	2,6

Рисунок 5.4 – Расчет КЗУ Южного борта

Таблица 5.7 - Базовые свойства отсеков призмы для Южного борта

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	2,6	130,0	34,0	0,675	2,83	1,34	-69,1
1	2,6	130,0	34,0	0,675	2,39	3,77	-65,1
2	2,6	130,0	34,0	0,675	2,12	5,81	-61,6
3	2,6	130,0	34,0	0,675	1,93	7,58	-58,4
4	2,6	130,0	34,0	0,675	1,79	9,15	-55,5
5	2,6	130,0	34,0	0,675	1,75	10,45	-52,8
6	2,6	130,0	34,0	0,675	1,65	10,54	-50,2
7	2,6	130,0	34,0	0,675	1,57	10,50	-47,7
8	2,6	130,0	34,0	0,675	1,50	10,36	-45,3
9	2,6	130,0	34,0	0,675	1,45	10,12	-43,0
10	2,6	130,0	34,0	0,675	1,40	9,81	-40,8
11	2,6	130,0	34,0	0,675	1,36	9,41	-38,7
12	2,6	130,0	34,0	0,675	1,32	8,96	-36,6
13	2,6	130,0	34,0	0,675	1,43	10,19	-34,5
14	2,6	130,0	34,0	0,675	1,40	11,10	-32,3
15	2,6	130,0	34,0	0,675	1,36	11,95	-30,1
16	2,6	130,0	34,0	0,675	1,34	12,72	-28,0
17	2,6	130,0	34,0	0,675	1,25	12,12	-26,0
18	2,6	130,0	34,0	0,675	1,24	11,30	-24,1
19	2,6	130,0	34,0	0,675	1,22	10,44	-22,2
20	2,6	133,6	33,6	0,665	1,20	9,52	-20,3
21	2,6	140,0	33,0	0,649	1,13	8,11	-18,5
22	2,6	140,0	33,0	0,649	1,00	6,56	-16,9
23	2,6	140,0	33,0	0,649	1,00	5,97	-15,3
24	2,6	140,0	33,0	0,649	1,19	6,41	-13,6
25	2,6	140,0	33,0	0,649	1,18	5,58	-11,8
26	2,6	140,0	33,0	0,649	0,81	3,61	-10,3
27	2,6	140,0	33,0	0,649	0,80	3,71	-9,0
28	2,6	140,0	33,0	0,649	0,73	2,77	-7,8
29	2,6	140,0	33,0	0,649	1,39	2,05	-6,2
Итого:					42,73	241,89	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i -го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i -го отсека

φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i -го отсека
$\text{tg}\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i -го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i -го отсека
A_i	м ²	площадь i -го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i -го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Таблица 5.8 - Базовые силовые факторы отсеков призмы для Южного борта

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	34,1	31,8	12,2	253,1	8,2	368,1	376,3
1	96,1	87,1	40,5	-4,3	27,3	311,3	338,7
2	148,1	130,2	70,5	-97,9	47,6	275,7	323,3
3	193,3	164,7	101,2	-161,8	68,3	250,7	319,0
4	233,4	192,5	132,0	-208,7	89,1	232,1	321,1
5	266,5	212,3	161,1	-238,7	108,7	227,7	336,3
6	268,7	206,4	172,1	-236,1	116,1	214,9	331,0
7	267,8	198,0	180,3	-231,1	121,6	204,4	326,0
8	264,2	187,7	185,9	-224,7	125,4	195,6	321,0
9	258,2	176,1	188,8	-217,4	127,4	188,2	315,6
10	250,1	163,4	189,3	-209,2	127,7	181,8	309,5
11	240,1	150,0	187,5	-200,4	126,5	176,3	302,7
12	228,4	136,2	183,4	-190,8	123,7	171,4	295,1
13	259,8	147,0	214,2	-220,4	144,5	186,1	330,5
14	283,2	151,2	239,4	-245,3	161,5	181,4	342,9
15	304,7	153,0	263,5	-269,1	177,8	177,4	355,1
16	324,5	152,6	286,4	-291,6	193,2	173,8	367,0
17	309,0	135,7	277,7	-281,9	187,3	163,1	350,4
18	288,3	117,8	263,1	-266,3	177,5	160,6	338,1
19	266,2	100,6	246,5	-249,4	166,2	158,3	324,6
20	242,9	84,4	227,7	-230,6	151,5	160,7	312,2
21	206,8	65,7	196,1	-199,2	127,4	158,0	285,4
22	167,2	48,6	160,0	-163,3	103,9	140,5	244,4
23	152,2	40,3	146,8	-149,2	95,3	139,4	234,7
24	163,6	38,6	159,0	-160,3	103,2	166,4	269,6
25	142,4	29,1	139,4	-141,2	90,5	165,2	255,7
26	92,0	16,4	90,5	-92,5	58,8	113,1	171,9
27	94,7	14,9	93,6	-92,9	60,8	112,7	173,5
28	70,7	9,6	70,0	-68,9	45,5	101,7	147,2
29	52,3	5,6	52,0	-47,9	33,8	194,8	228,5
Итого:	6169,7	3347,6			3296,1	5651,3	8947,5

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
G_i	кН/м	вес i -го отсека. $G_i = A_i * \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i -го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i * \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i -го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i * \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i -го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i * \text{tg}\varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i -го отсека
$c_i * l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i -го отсека
$N_i * \text{tg}\varphi_i + c_i * l_i$	кН/м	касательная реакция основания i -го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i -го отсека без учета влияния армирующих элементов.

Таблица 5.9 - Расчет коэффициента устойчивости Южного борта.

Таблица моментов.

i	$M_{\text{акт } i},$ кН*м/м	$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i},$ кН*м /м
0	1176,7	13607,9	0,0	13607,9
1	3222,3	11619,1	0,0	11619,1
2	4815,6	12637,7	0,0	12637,7
3	6089,6	13308,1	0,0	13308,1
4	7118,1	13789,8	0,0	13789,8
5	7852,0	14377,2	0,0	14377,2
6	7632,9	13837,3	0,0	13837,3
7	7323,2	13325,9	0,0	13325,9
8	6944,5	12843,6	0,0	12843,6
9	6513,9	12385,5	0,0	12385,5
10	6045,1	11946,1	0,0	11946,1
11	5549,7	11519,9	0,0	11519,9
12	5037,4	11101,3	0,0	11101,3
13	5438,3	12382,3	0,0	12382,3
14	5594,0	12830,8	0,0	12830,8
15	5659,6	13274,4	0,0	13274,4
16	5643,9	13705,1	0,0	13705,1
17	5018,6	13068,0	0,0	13068,0
18	4356,3	12585,4	0,0	12585,4
19	3722,6	12078,5	0,0	12078,5
20	3122,6	11620,7	0,0	11620,7
21	2432,0	10630,7	0,0	10630,7
22	1796,4	9118,8	0,0	9118,8
23	1489,1	8740,7	0,0	8740,7
24	1427,4	10006,5	0,0	10006,5
25	1078,1	9502,9	0,0	9502,9
26	606,7	6406,8	0,0	6406,8

i	M _{акт i} , кН*м/м	M _{реакт i тр./сцепл.} , кН*м /м	M _{реакт i арм.} , кН*м /м	M _{реакт i} , кН*м /м
27	549,5	6402,1	0,0	6402,1
28	356,5	5420,0	0,0	5420,0
29	208,7	8356,0	0,0	8356,0
Итого:	123821,4	342429,0	0,0	342429,0

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
M _{акт i}	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
M _{реакт i тр./сцепл.}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
M _{реакт i арм.}	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
M _{реакт i}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{реакт i} / \Sigma M_{акт i}$$

$$K_y = 342429,0 / 123821,4 = 2,766$$

Таблица 5.10 - Расчет коэффициента устойчивости. Метод Моргенштерна-Прайса. Таблица сил.

i	F _{x акт i} , кН/м	F _{x реакт i тр./сцепл.} , кН/м	F _{x реакт i арм.} , кН/м	F _{x реакт i} , кН/м
0	-236,4	131,3	0,0	131,3
1	3,9	132,5	0,0	132,5
2	86,1	162,8	0,0	162,8
3	137,8	188,4	0,0	188,4
4	172,1	210,9	0,0	210,9
5	190,2	235,0	0,0	235,0
6	181,3	239,6	0,0	239,6
7	170,8	242,6	0,0	242,6
8	159,7	244,3	0,0	244,3
9	148,3	244,9	0,0	244,9
10	136,7	244,5	0,0	244,5
11	125,2	243,2	0,0	243,2
12	113,7	241,0	0,0	241,0
13	124,7	276,0	0,0	276,0
14	131,0	293,3	0,0	293,3
15	135,1	310,3	0,0	310,3
16	137,1	327,0	0,0	327,0
17	123,7	317,4	0,0	317,4
18	108,8	310,5	0,0	310,5
19	94,3	302,3	0,0	302,3
20	80,2	294,6	0,0	294,6
21	63,3	272,5	0,0	272,5
22	47,4	235,9	0,0	235,9
23	39,5	227,9	0,0	227,9
24	37,8	262,9	0,0	262,9
25	28,9	251,5	0,0	251,5
26	16,5	170,4	0,0	170,4
27	14,6	170,9	0,0	170,9

i	$F_{x \text{ акт } i},$ кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}},$ кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}},$ кН/м	$F_{x \text{ реакт } i},$ кН/м
Итого:	2586,8	7153,9	0,0	7153,9

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
$F_{x \text{ акт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 7153,9 / 2586,8 = 2,766$$

6. Технико-экономическая часть

Технико-экономическая часть проекта, выполнена в соответствии с государственными нормами, правилами и стандартами, действующими на территории Республики Казахстан.

В данном разделе определены затраты по добыче сульфидных руд Боко-Васильевского рудного поля.

Расчет технико-экономических показателей выполнен в ценах 2024 г. в национальной валюте – тенге с пересчетом основных показателей в доллары США по курсу 450 тенге за 1 доллар.

Затраты по добыче и переработке сульфидных руд Боко-Васильевского рудного поля на 2024 год приведены в таблице:

<i>таблица</i>							
Наименование	Ед.изм.	\$/тн	ВСЕГО	2024	2025	2026	2027
горная масса	тыс. м ³		8 357	1 610	2 760	2 160	1 827
коэффициент вскрыши	м ³ /т		3,7	13,0	4,1	3,0	2,5
вскрыша	тыс. м ³		7 615	1 566	2 532	1 924	1 594
БВР	тыс. м ³		6 289	1 127	1 932	1 769	1 461
добыча товарной руды	тыс. тонн		2 033	120	623	649	641
с/с металла в товарной руде	г/т		2,29	1,88	2,34	2,30	2,31
металл в добытой руде	кг		4 660	225	1 460	1 495	1 481
производство золота (%-извлечение)	кг		2 330	113	730	747	740
цена (\$/Oz)	\$/Oz		1 700	1 700	1 700	1 700	1 700
курс доллара	тг/\$		450	450	450	450	450
Доход от продажи металла	тыс\$		127 355	6 149	39 900	40 846	40 461
<i>Затраты по добыче и переработке</i>	тыс \$		-				
материалы	тыс \$	0,29	590	35	181	188	186
гсм	тыс \$	0,27	2 256	435	745	583	493
зап.части	тыс \$	0,23	1 945	375	642	503	425
электроэнергия	тыс \$	0,04	79	5	24	25	25
ФОТ производственных работников	тыс \$	1,16	2 358	139	723	752	744
горные и буровые работы	тыс \$	0,68	33 544	4830	11346	9451	7916
перевозка руды	тыс \$	0,25	508	30	156	162	160
прочие расходы	тыс \$	0,86	2 011	119	616	642	634
итого затраты по добыче			43 290	5967	14434	12306	10584
<i>Косвенные затраты</i>			-				
административные	тыс \$	2,00	960	240	240	240	240
обучение работников и НИОКР	тыс \$		654		119	289	246
сумма амортизации	тыс \$	0,48	230	58	58	58	58
итого косвенных затрат			1 845	298	417	586	544
<i>Налоги и другие обязательные платежи</i>			-				
Сумма платежей НДС	тыс \$		19 103	922	5 985	6 127	6 069
Возмещ с/хоз угодий	тыс \$		134	34	34	34	34
аренда земли	тыс \$		48	7	13	13	14
налог на транспорт	тыс \$		8	2	2	2	2
налог на имущество	тыс \$		100	25	25	25	25
соц.налог и соц.отчисление	тыс \$		322	36	94	97	96
отчисление в ликвидационный фонд	тыс \$		42	10	10	10	10
плата за негативное воздействие на окружающую среду	тыс \$		719	136	235	191	158
прочие налоги	тыс \$		165	10	51	53	52
Всего отчислений	тыс \$		20 642	1 182	6 448	6 551	6 460
Себестоимость (производственная)	\$/Oz		578	1 650	615	512	445
Себестоимость (полная) без амортизации	\$/Oz		875	2 043	905	807	737
Прибыль (валовая)	тыс \$		61 579	- 1 298	18 601	21 401	22 874
Налогооблагаемая прибыль	тыс \$		62 876	-	18 601	21 401	22 874
Налог на прибыль	тыс \$		12 575	-	3 720	4 280	4 575
Чистая прибыль	тыс \$		49 003	- 1 298	14 881	17 121	18 299
<i>Капитальные затраты</i>			-				
Вахтовый посёлок	тыс \$		200	50	50	50	50
автотранспорт и компьютеры	тыс \$		200	50	50	50	50
прочие расходы	тыс \$		200	50	50	50	50
Итого	тыс \$		600	150	150	150	150
<i>Net cash flow (чистый денежный поток)</i>	тыс \$		48 634	- 1 390	14 789	17 029	18 206
<i>NPV</i>	тыс \$	27 746					
<i>Внутренняя ставка доходности</i>		24%					

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной диссертационной работе была выполнена комплексная исследовательская работа по обоснованию рациональной конструкции бортов карьеров при разработке сложноструктурных месторождений.

Проведенные исследования подтвердили важность и актуальность изучения устойчивости бортов карьеров в условиях современных горнодобывающих технологий и сложных геологических структур.

Анализ современных методов: Проведен подробный анализ существующих методов проектирования и поддержания устойчивости бортов карьеров, выявлены их преимущества и недостатки, а также предложены пути совершенствования.

Изучение факторов устойчивости: Изучены геологические и техногенные факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров, что позволило разработать более точные и адаптивные модели для оценки риска обрушения.

Методика оценки устойчивости: Разработана и апробирована методика оценки устойчивости бортов карьеров, учитывающая специфику сложноструктурных месторождений и включающая современные методы моделирования и прогнозирования.

Конструктивные решения: Предложены конструктивные и технологические решения, направленные на повышение устойчивости бортов карьеров, включая использование новых материалов и технологий, а также оптимизацию геометрии бортов.

Моделирование и прогнозирование: Выполнено моделирование и прогнозирование поведения бортов карьеров в различных эксплуатационных условиях, что позволило сформулировать рекомендации по обеспечению их долгосрочной стабильности.

Разработанные в ходе исследования методические рекомендации и предложенные конструктивные решения могут быть внедрены в практику проектирования и эксплуатации карьеров, что позволит повысить безопасность и эффективность горных работ. Применение предложенных методик и технологий будет способствовать снижению аварийности и минимизации экологических рисков, связанных с обрушением бортов.

В дальнейшем целесообразно продолжить исследования в области устойчивости бортов карьеров с учетом новых данных и технологий, а также расширить методологическую базу за счет интеграции методов искусственного интеллекта и машинного

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. М.: Недра, 1978. – 544 с.
2. Ракишев Б.Р., Шашенко А.Н., Ковров А.С. Геомеханическая оценка устойчивости бортов карьеров и отвалов. Алматы: «Ғылым» НАН РК, 2017. – 234 с.
3. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. Издательство Московского государственного горного университета, Москва, 2003. –473 с.
4. Нурпеисова М.Б., Касымканова Х.М. Устойчивость бортов рудных карьеров и отвалов. Алматы: КазНТУ, 2006. –131 с.
5. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. Недра, Москва, 1980. – 360 с.
6. Букринский В.А. Геометрия недр. Москва: МГГУ, 2002. –549 с.
7. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.