

ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И ГЕОМЕХАНИКИ
НАН КР
ЖАЛАЛАБАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б. ОСМОНОВА

На правах рукописи
УДК 622.693.26.

ДЖАКУПБЕКОВ БЕЛЕК ТОРОКУЛОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ
ПРИ ОСВОЕНИИ ВЫСОКОГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специальность: 25.00.20 – «Геомеханика, разрушения пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: академик НАН КР, доктор технических наук,
профессор Кожогулов Камчибек Чонмурунович

Бишкек -2025

Оглавление

1. ВВЕДЕНИЕ	3
1. ГЛАВА. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ВЫСОКОГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	10
1.1 Ретроспективный анализ оценки устойчивости породных отвалов на высокогорных месторождениях	10
1.2 Особенности оценки устойчивости отвалов на склонах при освоении высокогорных месторождений.....	12
1.3 Факторы, влияющие на устойчивость породных отвалов при освоении высокогорных месторождений.....	16
1.4 Цель и задачи исследования.....	21
2. ГЛАВА. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ	23
2.1 Теоретическое обоснование оценки устойчивости породных отвалов на склоне.....	23
2.1.1 Механизм развития деформаций на границе отвал - основание... ..	24
2.1.2 Расчет коэффициента устойчивости отвала на склоне	25
2.1.3 Расчет параметров отвала на склоне.....	26
2.1.4 Оценка несущей способности основания под отвал.....	30
2.2 Программный комплекс GeoStudio используемые методы оценки устойчивости.	31
2.3 Особенности расчета устойчивости отвала с учетом сейсмической нагрузки	35
3. Численное моделирование устойчивости отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений.....	38
3.1 Оценка несущей способности площади основания под отвалы.....	39
3.2 Расчет и оценка устойчивости отвалов.....	41
3.3 Выводы по главе	57
4. ГЛАВА. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ДЖЕРУЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	58
4.1 Оценка устойчивости породных отвалов месторождения Джеруй ...	58
4.2 Геологическое строение и характеристика месторождения Джеруй..	63
4.3 Расчет и оценка устойчивости основания под отвалы.....	79
4.4 Расчет устойчивости отвала «Южный» месторождения Джеруй.	84
4.5 Выводы по главе.	92
ГЛАВА IV. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ДЖЕРУЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	94
ВЫВОДЫ	96
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	101

1. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. В Кыргызской Республике одним из приоритетных направлений развития экономики является решение задач рационального недропользования. Освоение месторождений полезных ископаемых в Кыргызстане в настоящее время ведется в основном открытым способом и осложняется тем, что эти месторождения как правило нагорные.

Размещение отвалов вскрышных пород на горных склонах при открытой разработке нагорных месторождений является одной из сложных проблем.

Основными требованиями, предъявляемыми к размещению отвалов на горном склоне, являются: достаточная вместимость при незначительных размерах занимаемых земельных площадей, минимальное расстояние от мест погрузки породы (вскрышных забоев), расположение на площадях, где отсутствуют полезные ископаемые в промышленных масштабах, отсутствие ограничений развития горных работ [1, 2, 3, 4, 5].

Отвалообразование сопровождается деформациями отвалов, которые зависят от свойств пород вскрыши, в частности кусковатости, влажности. Деформации в отвале зависят от инженерно-геологических особенностей пород отвалов и их оснований [6]. Влияние каждого из этих факторов на формирование отвала может быть различным в зависимости от конкретных условий, таких как [7]:

- наличие слабых или сильно трещиноватых пород в основании отвалов;
- геометрические параметры склона, на которые отсыпается отвал;
- низкое расстояние отвала от карьера
- степень дробления пород;
- естественное разделение пород на фракции и самовыполаживание отвальных откосов;
- изменение прочностных характеристик пород в отвале во времени (сопротивление сдвигу увеличивается в связи с уплотнением или снижается при увлажнении пород насыпи и основания);

- возникновение в водонасыщенных породах отвалов и их оснований порового давления, являющегося существенным фактором развития оползней различных типов.

Отвалы находятся в устойчивом состоянии (не оползают и не обрушаются) до тех пор, пока в образующей их среде существует достаточная для этого внутренняя связь. Способность сыпучей среды сохранять устойчивыми склоны определяется суммарным сопротивлением сдвигу [6 стр.- 47-50, 7].

Развитие деформаций отвала нагорных карьеров зависят от геологического строения и литологии склона, на котором формируется отвал геодинамики региона и тектоники месторождения, а также вида техногенных воздействий [6, 7, 8].

Вопросам изучения устойчивости отвалов посвящены работы А.М. Демин, В.А. Бабелло, А.В. Жабко, в которых рассмотрены вопросы оценки устойчивости для равнинных карьеров [10, 11, 12].

Отличительной особенностью как эксплуатируемых, так и проектируемых месторождений является то, что они нагорные и размещение отвалов осуществляется на прилегающих склонах. В работах ученых Э.Б. Красносельского, Г.М. Еремина, И.Т. Айтматова, К.Ч. Кожогулова, О.В. Никольской, В.И. Нифадьева, И.А. Торгоева, К.Т. Тажибаева, Джумабаева Б.Дж. К.Ж. Усенова, С.Ф. Усманова и др. [7, 9, 13] рассмотрены вопросы устойчивости отвалов на склонах и выявлены доминирующие факторы, влияющие как на процесс отвалообразования, так и на и непосредственно на устойчивость самого отвала. Однако, при оценке устойчивости отвалов на склоне не рассмотрены свойства пород непосредственно основания под отвал, не оценена несущая способность основания под отвал, не установлена связь площади основания под отвал с объемом отгружаемых пород. Поэтому решение задачи обоснования устойчивости отвала на склоне с учетом несущей способности основания под отвал является актуальной.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями. Диссертация выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ (рег №0007852 от 2020 года) Института геомеханики и освоения недр НАН КР по проекту «Научное обоснование и разработка рекомендаций по эффективному освоению месторождений полезных ископаемых в высокогорных районах Кыргызской Республики» на период с 2021-2023 года.

Целью настоящей работы является: разработка методики расчета и обоснование устойчивости породных отвалов при освоении высокогорных месторождений

Задачи исследования:

1. Выполнить ретроспективный анализ методов оценки устойчивости породных отвалов на высокогорных месторождениях.
2. Оценить физико механические свойства пород отгружаемых в отвал и основания.
3. Обосновать трехмерную модель для оценки устойчивости отвала (чего?)
4. Оценить устойчивость отвалов на склоне с учетом максимальных геометрических параметров объема вскрышных пород.
5. Оценить устойчивость отвала на склоне с учетом сейсмических ускорений.
6. Определить устойчивые параметры отвала при планировании и эксплуатации отвалов.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- Установлено, что основными факторами, влияющие на устойчивость породных отвалов являются;
 - Рельеф поверхности, на которую отсыпаются вскрышные породы.
 - Атмосферные осадки и высота снежного покрова.
 - Климатические условия (сезонные колебания температуры).
 - Физико-механические свойства пород основания отвалов.

- Геологическая структура и состав отвала (в том числе влажность, складываемых в отвал пород).
- Возможность возникновения естественных и техногенных катастроф.
- Геометрические параметры отвала.
- Технология разработки и складирования породных отвалов.
- Мониторинг и контроль за состоянием породных отвалов.
- Разработана и обоснована 3Д - модель рельефа местности и отвала позволяющая оперативно оценить устойчивость вскрышных пород на склоне.
- Разработана методика оценки устойчивости отвалов с учетом сейсмичности района;
- Установлена зависимость параметров отвала и объема отгружаемых пород от несущей способности основания;
- Оценена устойчивость отвала с учетом сейсмичности региона, инженерно-геологических особенностей склона.

Практическая значимость полученных результатов:

Установленные геометрические параметры отвала позволяют оценить предельно допустимый объем вскрышных пород на склоне. Установленные геометрические параметры отвала позволяют оценить предельно допустимый объем вскрышных пород на склоне Южный месторождении Джеруй;

- Определены физико-механические свойства грунтов основания под отвал и отвала позволяет принимать для оценки устойчивости отвалов при разработке полезного ископаемого на месторождении;
- В практику проектирования и формирования отвалов вскрышных пород на рудном месторождении «Джеруй», вошли расчеты по определению коэффициента устойчивости отвалов и проектированию площади с учетом объема вскрышных пород и несущей способности основания отвала.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. На защиту выносятся построения 3D модели местности, каркаса отвала и получения профилей разрезов отвала для оценки устойчивости.
2. Устойчивость отвала зависит от несущей способности пород основания и объема вскрышных пород.
3. Сейсмические ускорения снижают устойчивость отвала до 60% при высоких сейсмических ускорениях с 8 балльностью.
4. Одним из основных факторов, влияющих на устойчивость породных отвалов является сейсмичность региона. Ввиду этого, что территория, где расположены породные отвалы Джеруйского месторождения относится сейсмоактивным областям это для максимально достоверной оценки устойчивости его отвалов, предлагается эффект от землетрясения моделировать путем введения дополнительной силы, зависящей от коэффициента сейсмичности и удельного веса грунта отвала;
5. В условиях сложного высокогорного рельефа местности расположенных отвалов не представляет возможности расчета параметров отвала вскрышных пород таких как площади, занимаемой отвалом и сам объем отвала вскрышных пород, и построение 3Д- модели местности применяя программу SketchUp позволяет учитывать параметры и получению данных для расчета устойчивости отвала на программное обеспечение GeoStudio slope/w.
6. GeoStudio slope/w программное обеспечение для моделирования устойчивости отвала, может эффективно анализировать сложные задачи для различных форм поверхности скольжения, условий давления поровой воды, свойств почвы и условий нагружения. Позволяет обоснованно вычислять коэффициент запаса устойчивости и построить критическую поверхность скольжения породных отвалов по методу Моргенштерн-Прайса.

Личный вклад соискателя состоит в проведении ретроспективного анализа оценки устойчивости отвалов горных пород. Лабораторных исследованиях по определению физико-механических свойств грунтов отвальной породы и

основания под отвал, расчете геометрических параметров отвалов вскрышных пород для создания трехмерного модели, при которой обеспечивается точное отображение устойчивости отвалов, получены плоскость сечения (или схематический разрез) рельефа местности с образующем отвалом пустой породы для расчета коэффициента устойчивости отвалов. (отчет: Расчет и оценка устойчивости отвала пустых пород «Южный» на месторождении Джеруй, по контракту ОсОО «Альянс Алтын»)

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались;

- На Международной конференции, посвященной 90 - летию Ч.Т.Айтматова (г. Бишкек, ИГИОН, 2018 г.).
- На Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию профессора К.Ч.Кожогулова (г.Бишкек, ИГИОН, 2020 г.).
- На Всероссийской научной конференции с международным участием «Геодинамика и напряженное состояния недр земли» посвященной 90 летию академика РАН М.В.Курлени (г. Новосибирск, ИГД СОРАН, 2021г.).
- На 17-ой Азиатской региональной конференции по механике грунтов и геотехнике, (Астана, Казахстан), Smart Geotechnics for Smart Societies, Proceedings of the 17th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (17th ARC, Astana, Kazakhstan, 14-18 August, 2023).
- На Всероссийской научной конференции с международным участием “Геодинамика и напряженное состояние недр земли” (г. Новосибирск, ИГД СОРАН, 4-6 октября 2023 г.).
- С 2013 по 2023 годы результаты исследований докладывались на заседаниях лаборатории «Управление геомеханическими процессами». В завершеном виде работа докладывалась на расширенном заседании данной лаборатории геомеханики и освоения недр НАН КР в 2023 году.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликовано 7 статей (в том числе 1 Scopus K.Ch. Kozhogulov, B.T. Djakupbekov., Calculation of the parameters of the base of waste rock dumps on a mountain slope.// Smart Geotechnics for Smart Societies – Zhussupbekov, Sarsembayeva & Kaliakin (Eds), © 2023 The Author(s), ISBN 978-1-003-29912-7, Open Access: www.taylorfrancis.com, CC BY-NC-ND 4.0 license p.-867-870).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и выводы, изложенных на 150 страницах, содержит 25 рисунков, 24 таблицы, 110 наименований библиографии.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю академику НАН КР, д.т.н., профессору К.Ч. Кожогулова за постановку задач, ценные советы и помощь при выполнении работы. Автор также признателен за оказанное содействие и помощь. Д.т.н. Никольской О.В. и сотрудником лаборатории «Управления геомеханическими процессами» Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

1. ГЛАВА. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ВЫСОКОГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.

1.1 Ретроспективный анализ оценки устойчивости породных отвалов на высокогорных месторождениях

Оценка устойчивости отвалов на склоне при ведении горных работ на высокогорных месторождениях чрезвычайно важна как с экономической, так и с точки зрения безопасности. Устойчивость отвалов влечет за собой проектирование безопасных, экономичных и функциональных способов складирования вскрышных пород для достижения равновесных условий. Наиболее значимыми параметрами, влияющими на устойчивость отвалов, являются рельеф местности и геометрические характеристики склона основания отвала, в том числе несущая способность основания, которая зависит от угла внутреннего трения и сцепления. Разработке методов оценки устойчивости породных отвалов на месторождениях посвящены труды Э.Б.Красносельский, А.М.Демин, Г.М.Еремин, В.А. Бабелло, А.В. Жабко, И.Т. Айтматов, К.Ч. Кожогулов, О.В. Никольской, В.И. Нифадьев, И.А. Торгоев, К.Т. Тажибаев, Джумабаев Б.Дж. К.Ж. Усенов, С.Ф. Усманов и др. [6,7,9,10,11,12,13,26]

За последние несколько десятилетий увеличились публикации в исследованиях устойчивости отвалов, в которых изучались причины обрушения отвалов и факторы, которые могут вызвать их обрушение, но, к сожалению, многие факторы остаются неизученными. Эти факторы классифицируются как природные и техногенные. Природные факторы, которые могут повлиять на устойчивость, включают породы отвала, а также геотехническую и структурную прочность [10]. Кроме того, такие факторы как землетрясения, осадки и выветривание, температурный режим, которые могут снизить прочность отвального массива пород, в то время как техногенные факторы в основном вызваны деятельностью человека [15].

Основными параметрами, которые необходимо учитывать при оценке устойчивости отвалов, являются угол наклона подстилающего склона, угол наклона откоса отвала, сцепление и угол внутреннего трения, как основания отвала, так и самого отвала, и контакта основания и отвала [6, 7,9].

Жабко А.В. и др. [16] предложена схема расчета устойчивости отвала при его разрушении по слабому контакту, подразумевающая отсутствие криволинейного участка поверхности скольжения под откосом. Такая схема расчета прогнозирует значительно меньшие значения предельных параметров отвалов в отличие от существующих схем [10]. То есть использование предлагаемой схемы позволит предупредить разрушения отвалов подошвенными оползнями и повысить экономическую эффективность работы предприятий.

Обрушение отвалов на горных склонах происходит при перераспределении избыточного напряжения сдвига в массиве горных пород при нагрузке, превышающей прочности породы. Прочность на сдвиг массива отвальных пород играет важную роль в устойчивости массива вскрышных пород. Следовательно, при проектировании необходимо учитывать факторы, которые могут изменить прочность на сдвиг, поскольку эти факторы могут иметь решающее влияние на устойчивость отвалов. Согласно Абрамсону [17], разрушение начинается с одной точки и распространяется на весь массив горных пород.

На протяжении многих лет ряд исследователей проводили исследования по оценке устойчивости отвалов, но большая их часть посвящены исследованиям отвалов вскрышных пород на горизонтальном основании. А отвалам на склоне не уделялось должного внимания. Тем не менее, было предложено немало методов, но только два основных метода, а именно метод предельного равновесия и численный анализ (анализ деформации), обычно используются для оценки показателей устойчивости отвалов вскрышных пород [18].

Устойчивое состояние отвалов на склоне при заданных геометрических параметрах определяется физико-механическими характеристиками слагающих их пород: углом внутреннего трения φ , удельным сцеплением C , плотностью ρ , модулем деформации E .

Анализируя результаты исследований В.А. Бабелло [11] выявили, степень влияния параметров c и φ на величину коэффициента запаса устойчивости откоса отвала K_u . В связи с чем, параметры c и φ в пределах установленной области на 10 % приводит к изменению коэффициента K_u на 7 %. Влияние обоих параметров на K_u примерно одинаково. Они позволяют оценивать устойчивость откосов с заданными геометрическими параметрами в зависимости от физико-механических характеристик отсыпаемых в них пород.

1.2 Особенности оценки устойчивости отвалов на склонах при освоении высокогорных месторождений

В горной местности разработка месторождений открытым способом производится нагорными карьерами. Борт рабочий, поэтому складирование вскрышных пород производится непосредственно на близлежащие склоны. Вопросам изучения и оценки устойчивости отвалов на горизонтальной поверхности посвящены работы [10, 11, 12] (А.М. Демин, В.А. Бабелло, А.В. Жабко,) Исследования устойчивости отвалов на склоне до настоящего времени не уделено должного внимания. Однако следует отметить исследования в области оценки устойчивости, проводимые учеными Э.Б.Красносельский, Г.М.Еремин, И.Т. Айтматов, К.Ч. Кожогулов, О.В. Никольской, В.И. Нифадьев, И.А. Торгоев, К.Т. Тажибаев, Джумабаев Б.Дж. К.Ж. Усенов, С.Ф. Усманов и др. [6, 7, 9, 13] Принципиальные даже визуальные различия отвалов на горизонтальной поверхности и на склоне приведены на Рисунок 1.1.

В зависимости от рельефа местности размещение отвалов делится на два вида: отвалы на горизонтальной поверхности и отвалы на наклонной поверхности (на склоне). В связи с тем, что большинство месторождений

разрабатывается углубочными карьерами непосредственно с горизонтальной земной поверхностью. При этом один из бортов может быть нерабочим. Отвалы формируют либо на нерабочим борту с последующей экскавацией на горизонтальную земную поверхность.



Монте Кали или Килиманджаро, отвал соляной шахты недалеко от Харлингене в Гессене.
www.kalimuseum.de
Фото: Герхард Лаунер

Месторождения Джеруй, отвал западный.
Фото: сотрудника геотехнической службы Джеруй 2023г.



Вскрышные отвалы шахты K&S AG на стволе 1 в Унтербрайтцахе в Тюрингии. www.kali-gmbh.com
Фото: Карина Хессланд
а)

Отвал в Мин-Куш перенос хвостохранилищ.
Фото: Джакупбеков Б.Т. 2023г.
б)

Рисунок 1.1. Размещения вскрышных пород, а) отвалы на горизонтальной поверхности, б) на наклонной поверхности.

Основными требованиями, предъявляемыми к размещению отвалов на горном склоне, являются: достаточная вместимость при незначительных размерах занимаемых земельных площадей, минимальное расстояние от мест погрузки породы (вскрышных забоев), расположение на площадях, где отсутствуют полезные ископаемые в промышленных масштабах, отсутствие ограничений развития горных работ. Обязательным условием размещения отвалов является обеспечение производственной и экологической безопасности [19, 20].

Отвалообразование сопровождается деформациями отвалов, которые зависят от свойств пород вскрыши, в частности кусковатости и влажности [7 стр. 94-104]. Деформации в отвале зависят от инженерно-геологических особенностей строения и свойств пород основания, технологических свойств отгружаемых в отвал пород: наличие слабых или сильно трещиноватых пород в основании отвалов;

- наличие слабых или сильно трещиноватых пород в основании отвалов;
- геометрические параметры склона, на которые отсыпается отвал;
- низкое расстояние отвала от карьера;
- степень дробления пород;
- естественное разделение пород на фракции и самовыполаживание отвальных откосов;
- изменение прочностных характеристик пород в отвале во времени (сопротивление сдвигу увеличивается в связи с уплотнением или снижается при увлажнении пород насыпи и основания);
- возникновение в водонасыщенных породах отвалов и их оснований порового давления, являющегося существенным фактором развития оползней различных типов.

Главным фактором, влияющим на устойчивость отвала, является рельеф основания и прочностные свойства пород, основания.

Рельефом определяется также характер поверхностного стока. Гидрогеологические условия непосредственно склона определяют его

влажность, возрастание которой приводит к развитию деформаций отвалов [17] и его основания за счет гидродинамического или гидростатического давления подземных вод [9, 21].

После отсыпки вскрыши, породы отвала интенсивно уплотняются в первый период под действием собственного веса за счет заполнения воздушных пустот. Эти пустоты заполняются как более мелкой породой, так и выклинивающейся водой и в нижней части отвала развивается поровое давление. В результате более интенсивного оттока воды из приоткосной зоны верхняя бровка отвала имеет большую осадку по сравнению с основной [9, 22]. Наличие в основании водонасыщенных слабоструктурных связных пород также провоцирует возникновение в них порового давления, которое возникает практически сразу после приложения нагрузки P от отвального массива. При этом внешняя нагрузка частично воспринимается поровой водой, а частично – минеральным скелетом и равна их сумме.

В нестабилизированном состоянии порода плохо сопротивляется сдвигу, но по мере уплотнения и оттока поровой воды к зонам с пониженным давлением или дренажем сопротивление сдвигу возрастает. Сопротивление сдвигу по любой площадке может быть принято равным сумме сцепления и произведению коэффициента внутреннего трения и разности полного нормального напряжения и порового давления. [23].

Деформации отвалов будут свидетельствовать о том, что поровое давление является одной из основных причин возникновения оползней различных типов.

В процессе отсыпки рыхлых пород на основание с близким расположением подземных вод, происходит переувлажнение тела отвала за счет капиллярного поднятия воды, что также приводит к снижению прочности отвальных масс и образованию просадок и оползней.

По различным данным до 15% оползней на отвалах вызвано возникновением порового давления в основании техногенного массива. [8]

Для исключения капиллярного поднятия в теле отвала необходимо изолировать контакт обводненного основания с укладываемыми в отвал породами.

Одним из факторов, определяющим безопасное размещение отвалов, является, климат местности, атмосферные осадки, заснеженность и льдистость, вплоть до суточной температуры воздуха [6, 24, 25, 26]. Отрицательные температуры приводят к льдистости пород отвала, а последующее оттаивание к увеличению первоначальной влажности на 10-15% [6].

1.3 Факторы, влияющие на устойчивость породных отвалов при освоении высокогорных месторождений.

Многие факторы оказывают существенное влияние на устойчивость отвалов вскрышных пород. некоторые из этих факторов учитываются при анализе устойчивости откоса отвала, чтобы их влияние можно было включить на основе количественной оценки, в то время как некоторые факторы не учитываются при анализе устойчивости. Наиболее важными факторами, влияющими на устойчивость отвалов вскрышных пород на склоне, являются геологическое строение, гидрогеологические условия, литология, качество массива подстилающих пород, сцепление и угол внутреннего трения, а также геометрические параметры отвала [27].

Геологическая структура

Это важный фактор, который следует учитывать при оценке различных факторов, влияющих на устойчивость отвалов. Это важно не только с точки зрения безопасности, но и с экономической точки зрения. Неправильный подход к геологическим условиям при проектировании и эксплуатации может иметь тяжелые последствия при складировании отвалов вскрышных пород на склоне. К геологическим структурам относятся разломы, трещины, рельеф, влияющие на устойчивость отвала.

Геологическое строение и прочность горных пород основания под отвал оказывают существенное влияние на механические свойства породы. Согласно Лю и соавт. [28], механические свойства грунта зависят от различных факторов, таких как содержание камней, форма породы, распределение породы и прочность сцепления. В большинстве случаев механические свойства служат входными параметрами для оценки устойчивости отвалов вскрышных пород [29].

Возникновение разрушения при растяжении и сдвиге в массива отвальных пород часто приводит к нестабильности отвалов на горных склонах, что обычно происходит в результате реакции на несколько факторов, таких как температура и инсоляция [30], сейсмическая нагрузка [31], выветривание [32] и осадки [33, 34, 35].

Известно, что основные геологические структуры, влияющие на устойчивость отвалов, включают направление падения, трещины, разрывы и разломы. Разрушения отвалов могут происходить из-за разрушения по структурным разрывам неповрежденных зон или по поверхностям, образовавшимся вблизи разрывов [36, 37, 38]. Кроме того, направление падения влияет на устойчивость отвалов, особенно когда направление падения пластов нарушения сплошности аналогично направлению падения склона с углом простирания менее 20° , что, следовательно, вызывает обрушение из подошвенной зоны. Кроме того, разрушению отвалов способствует просачивание из-под земли в пласты, которое смазывает горную массу и, следовательно, вызывает разрушение материала в верхних зонах, оставляя плоскую поверхность. [39]. Кроме того, в зонах, где горные породы подверглись выветриванию, инфильтрация воды в отложениях увеличивает поровое давление, изменяет степень насыщения и снижает прочность на сдвиг массива горных пород, что приводит к разрушению [40]. Плотность материала отвала оказывает значительное влияние на его устойчивость, так как очень низкая плотность способствует просачиванию воды в массив, а высокая плотность ограничивает инфильтрацию [41].

Гидрогеологические условия

Подземные воды вскрывают мелкие трещины и активизируют силы на глыбы и клинья, вызывающие неустойчивость отвалов. Давление воды на плоскости потенциального разрушения снижает нормальные напряжения в плоскостях, что, в свою очередь, снижает силу трения на этих плоскостях. Следовательно, увеличивается тяга и движущие силы, что, в свою очередь, регулирует устойчивость отвала вскрышных пород.

Согласно Лю и Ли [42], попадание воды является одним из факторов, вызывающих оползни. Согласно статистике, более 90% оползней и обрушений склонов вызваны проблемами, связанными с водой. Результаты их исследований показали, что просачивание воды, осадки и колебания уровня воды являются основными механизмами разрушения отвалов.

По Пракашу [43], присутствие грунтовых вод изменяет свойства породы и снижает нормальное эффективное напряжение, а также изменяет параметры прочности породы, такие как сцепление и трение. Более того, влияние давления грунтовых вод и нестационарного потока воды в породе и почве влияет на условия порового давления, прочность и деформационное поведение породы [11, 44]. Кроме того, наличие давления воды в породе увеличивает поры породы, что снижает прочность на сжатие, особенно там, где ограничивающее напряжение было снижено. В зависимости от свойств вскрышных пород капиллярное поднятие воды может достигать до 10 метров.

Гидрогеологические условия массива отвальных пород влияют на устойчивость отвалов, которая обычно проявляется просачиванием грунта из подземного водоносного горизонта, поверхностных вод или осадков ливневых или талых вод.[45] Влияние подземных вод на обрушение отвала обычно проявляется по трем основным направлениям. Главное это, когда присутствие воды в массиве горных пород создает гидростатическое давление, которое имеет тенденцию поднимать существующие блоки горных пород, тем самым оказывая боковое давление на существующие плоскости разрывов. Следовательно, приложенное боковое давление снижает плоское

сопротивление скольжению, а также прочность на сдвиг за счет уменьшения нормального напряжения на плоскости разрыва, что ослабляет блоки отвала, что приводит к обрушению откоса. Кроме того, в зависимости от характера грунтовых вод [46, 47, 48].

Качество массива

Качество массива горных пород является существенным фактором, влияющим на процесс разрушения отвалов пустых пород при карьерных работах. В большинстве случаев физические характеристики массива горных пород показывают потенциальные участки, склонные к разрушению. Минеральные составляющие, образующие горную породу, контролируют механические свойства и поведение массива горных пород, а также определяют прочность массива горных пород [49, 50, 51]. Танайно А.С. [52] состав породообразующих минералов, плотность, пористость, зернистость и степень цементации являются свойствами породы, которые могут влиять на прочность массива горных пород к разрушению. Минералогия определяет тип породы, прочность породы, цвет и другие свойства породы. Согласно Ясиру и соавт. [53, 54], прочностные свойства породы увеличиваются со степенью цементации. Несмотря на то, что когезия и угол трения играют роль в стабильности откоса отвала, противодействуя влиянию величины напряжения сдвига, существуют некоторые ограничения этих параметров прочности. [55, стр.50-52, 62-68] Оценочное значение этих параметров в большинстве случаев содержит ошибки при расчетах, влияющие на неопределенность результата [56]. Также и М. П. Лысенко. [57, 62-65стр.] заявил, что на Сопротивление сдвигу крупнообломочных грунтов существенно зависит от количества, состава и свойств заполнителя, с увеличением содержания скелетной фракции от 10 до 70% угол внутреннего трения возрос от $10^{\circ}30'$ до $35^{\circ}30'$. При увеличении содержания скелетной фракции до 80% возрастание угла внутреннего трения.

Сцепление и угол внутреннего трения

Свойства прочности горных пород, такие как сцепление (c) и угол внутреннего трения (φ), используются при оценке устойчивости отвальных пород на этапе проектирования. Прочность на сдвиг является ключевой механической характеристикой породы и грунта, связанной с оценкой устойчивости отвалов. Значения сцепления и угла внутреннего трения используются для описания прочности горных пород на сдвиг. Эти параметры определяются в лаборатории путем испытания на трехосное сжатие. Угол внутреннего трения в породе определяет способность породы выдерживать касательное напряжение [41]. Однако размер частиц породы влияет на угол внутреннего трения; т. е. чем больше размер частиц, тем больше угол внутреннего трения. При визуальном анализе поверхности откосов отвалов концентрация мелких фракций в верхней части откосов, крупных фракций - в нижней их части. [58, стр-4] Кроме того, высокая обводненность, вибрация грунта, чередование расширения за счет намокания и сжатия за счет сухости воды снижают прочность сцепления в массиве горных пород.

На сцепление и угол трения агрегатов порода-почва влияют характеристики гранулометрического состава и другие условия, особенно содержание воды [57]. Однако, чем ниже сцепление в массиве горных пород, тем ниже устойчивость склона и чем больше угол внутреннего трения породы, тем выше будет высота отвала. Следовательно, необходимо оценить сцепление и угол внутреннего трения образца керна во время исследования на месте. При анализе устойчивости отвала необходимо учитывать сцепление и угол внутреннего трения, поскольку эти свойства определяют прочность породы на сдвиг [59].

Геометрия отвала

Геометрия отвалов вскрышных пород играет значительную роль в контроле их устойчивости. Геометрия отвала описывается как основные параметры конструкции отвала вскрышных пород, которые включают высоту, ширину и угол подстилающего склона, угол откоса, объем вскрышных пород

и площадь поверхности основания. Устойчивость отвалов снижается с увеличением высоты отвала и угла наклона склона. Рисунок 1.2. - Рисунок 1.3.

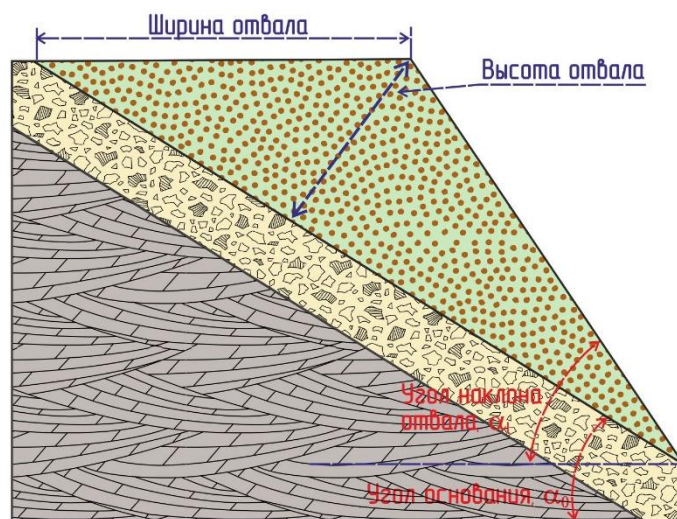


Рисунок 1.2. Схематическая диаграмма, показывающая параметры продольного разреза отвала вскрышных пород.

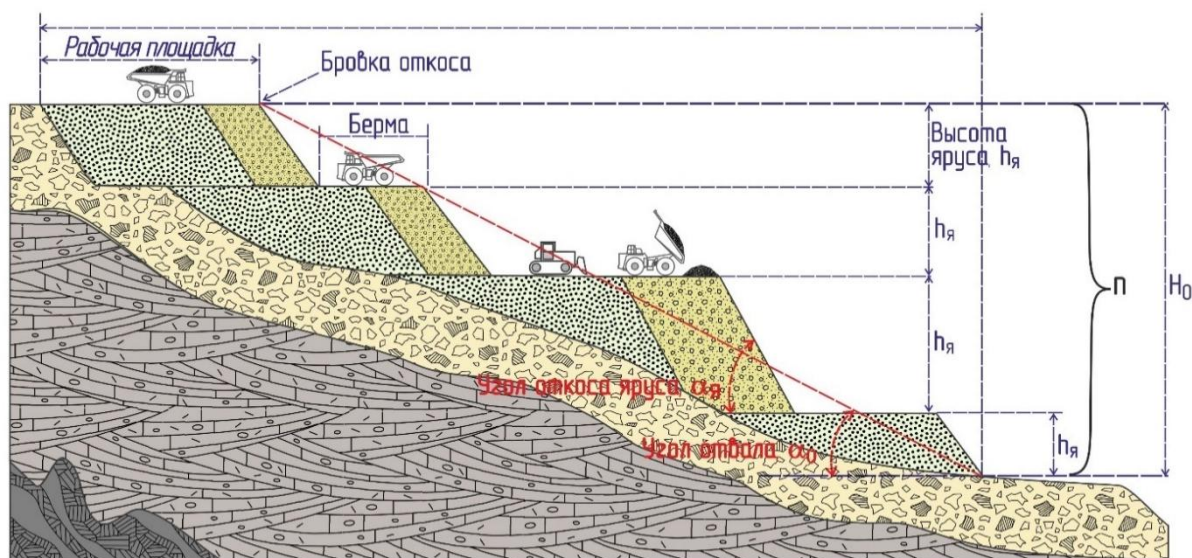


Рисунок 1.3. Схема продольного разреза формирования многоярусного отвала вскрышных пород на склоне. [60]

1.4 Цель и задачи исследования

На основе анализа полученных результатов исследований расчета устойчивости отвалов на нагорных месторождениях, определена цель настоящей работы, заключающаяся в разработке методики расчета и обоснования устойчивости породного отвала. Для достижения цели сформулированы следующие задачи исследования:

1. Выполнение ретроспективный анализ методов оценки устойчивости породных отвалов на высокогорных месторождениях
2. Определение физико механических свойств отвалов и пород его основания при разработке месторождений Джеруй.
3. Разработка методики оценки устойчивости отвалов с учетом сейсмичности региона.
4. Обоснование трехмерной модели и оценка устойчивости отвалов с учетом геометрических параметров.
5. Определение параметров и оценить устойчивость породных отвалов на Джеруйском месторождении.
6. Разработать рекомендации по безопасному размещению породных отвалов на Джеруйском месторождении.

2. ГЛАВА. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

2.1 Теоретическое обоснование оценки устойчивости породных отвалов на склоне

Оценка устойчивости породных отвалов на склоне является важной задачей в горнодобывающей и строительной отраслях, поскольку неконтролируемое обрушение отвала может привести к серьезным последствиям, включая опасность для жизни и здоровья людей, разрушение инфраструктуры и загрязнение окружающей среды.

Устойчивость отвала оценивают по расчетному коэффициенту запаса устойчивости. согласно нормам, правил в области промышленной безопасности [14] отвал считается устойчивым, если значения этого коэффициента не меньше 1,3.

$$K_y = \frac{F}{T} \geq 1,3 \quad (2.1)$$

Где F-удерживающие силы, T – сдвигающие силы

Этот коэффициент показывает, насколько устойчив отвал и какую он может выдерживать внешние нагрузки без обрушения. Основное условие для успешного решения задачи об устойчивости отвалов заключается в понимании физической сущности сопротивления сдвигу, которое является следствием трения между отдельными частицами сыпучего материала и между частицами и твердым основанием отвала. [7, 61]

Общая площадь трения отвальных пород с основанием обусловлено дискретным характером контакта сыпучей среды с опорой. Деформации сдвига [62] сыпучего материала по поверхности распространяются на значительную глубину за счет передачи движения от одного слоя к другому. Подвижность пород в отвале определяется кусковатостью разрыхленной массы, плотностью их упаковки и дальнейшим уплотнением пород в отвале. До тех пор, пока суммарная величина сдвигающего усилия остается меньше

силы сопротивления, никаких относительных перемещений частиц внутри данного структурного образования происходить не будет. [9, 10].

2.1.1 Механизм развития деформаций на границе отвал - основание

При росте сдвигающих усилий (ф.2.2) наступает момент, когда силы трения не могут противостоять переходу частиц в новое равновесное состояние, соответствующее более высокому уровню действующих сил. [&]. Структура разрыхленных пород приобретает большую прочность и большую сопротивляемость сдвигающим усилиям, что происходит за счет увеличения фактической площади контакта материала и поверхности. Сопротивление возрастает настолько, что движение материала по поверхности прекращается.

При увеличении сдвигающих усилий до предельного значения сил сопротивления наступает следующая фаза — фаза безостановочного движения (скольжения) по склону при постоянном сдвигающем усилии. В начальный момент скольжения сдвигающее усилие равняется максимальному значению сопротивления для данных условий, данного сыпучего материала и подстилающей поверхности. При этом возможны следующие виды относительного движения сыпучего материала по склону [7, 10, 22]:

- 1) без каких-либо визуальных изменений структуры при контактной зоне, которая образовалась в ходе первой фазы;
- 2) с образованием пограничного слоя сыпучего материала с некоторым градиентом относительной скорости по глубине;
- 3) с образованием вблизи твердой поверхности слоя материала с нулевой относительной скоростью.

Наиболее распространенным является второй вид движения, и возникает он при нормальных давлениях и шероховатостях подстилающей поверхности, колеблющихся в довольно широких пределах. При этом относительная скорость частиц, примыкающих к подстилающей поверхности, меньше, чем скорость частиц, удаленных от нее, С удалением от поверхности скорость

частиц постепенно увеличивается до некоторого постоянного значения, а градиент скорости между отдельными слоями уменьшается от некоторого максимального значения на границе раздела до нуля. Оценка устойчивости отвала представляет собой задачу о равновесии тела на наклонной поверхности под действием силы тяжести и сопротивления.

2.1.2 Расчет коэффициента устойчивости отвала на склоне

Отвал будет находиться в равновесии, если силы сопротивления на границе раздела сыпучего материала достаточны для нейтрализации сдвигающих усилий: [6, 49-50 стр]

$$\tau_n = C_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi \quad (2.2)$$

где C_0 - эффективная сила сцепления, φ — угол внутреннего рения, P_n — эффективное нормальное давление.

Коэффициент устойчивости рассчитывают по соотношению удерживающих и сдвигающих сил, т.е. $K_y = \frac{\sum F_{\text{удерж}}}{\sum T_{\text{сдвиг}}}$, (2.3)

Из физических свойств сыпучих материалов сопротивление сдвигу является наиболее сложным и зависит от многих факторов. Формула (2.2) является приближенной, но для практических целей имеется достаточную степень точности. Величины C_0 и φ в рассматриваемом случае зависят от плотности и влажности сыпучего материала и могут изменяться в весьма широких пределах даже для одного и того же горизонта отвала. Тело отвала складывается из ряда слоев; для каждого слоя может быть построена предельная линия, на которой справедлива формула (2.2).

Силы сопротивления по всему отвалу рассчитываются с использованием нескольких таких предельных линий. Совмещение их на одной шкале позволяет выявить возможность построения осредненной предельной линии для всего отвала. При этом точность расчета устойчивости отвала в значительной степени зависит от точности определения сопротивления сдвигу сыпучего материала, слагающего тело отвала.

Сдвигающие усилия в отвале и движение отвальной массы обуславливаются силой тяжести, давлением воды, фильтрующейся сквозь отвал, а также периодическими сотрясениями при проведении взрывных работ в карьере, когда сопротивление сдвигу в любой плоскости отвала оказывается достаточным для нейтрализации этих сил [7]. В условиях сезонного промерзания пород в отвале, сопротивления сдвигу в течение года изменяется в зависимости от глубины промерзания и оттаивания. Оттаивание и увлажнение сыпучего материала в весенне-летний период существенно уменьшают величину сопротивления сдвигу. [63].

Материал тела отвала подвергается периодически то усадке, то расширению [6, 7, 60]. Интенсивность этих процессов определяется колебаниями температуры, увлажненности и заснеженности, которые обеспечивают постепенное сползание отвала вниз по склону. Мощность сползающего слоя колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров. [монография Никольская, Торгоев]

Основное условие устойчивости отвала заключается в том, что результирующее сопротивление сдвигу в любом сечении должно быть больше результирующего сдвигающего усилия, которое возникает от давления сыпучего материала, расположенного выше. Сечение отвала, наиболее вероятное для движения материала по нему, может стать поверхностью скольжения.

2.1.3 Расчет параметров отвала на склоне

При определении предельной высоты устойчивого отвала руководствовались положениями нормативного документа ОДМ 218.2.053-215. [64].

На основании анализа удерживающих и сдвигающих сил по расчетной поверхности скольжения, а также результатами исследований Г.Л. Фисенко и Р.П. Окатова, предельная высота устойчивого отвала рассчитывается по формуле [65, 66]:

$$H = \frac{C_p}{\gamma_{cp}} * \frac{a}{1-k} \quad (2.4)$$

где C_p – расчетное сцепление пород, МПа; γ_{cp} – плотность пород, Мн; $a=10$, $k=0,8$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от угла отвала (a) и угла внутреннего трения (k)

Критическая скорость смещения пород отвала зависит от многих факторов, основными из которых является высота отвала, плотность отсыпаемых пород, сцепление, угол внутреннего трения, скорость загрузки отвала. С течением времени в отвале развивается вязко-пластическое течение пород параллельно склону. Такое состояние возникает на определенной глубине, которое определяется по формуле [6]:

$$h_0 = \frac{\tau_0}{\gamma \sin \beta} \quad (2.5)$$

где τ_0 – сопротивление сдвигу изучаемого грунта, МПа; γ – плотность грунта кг/м³ β - угол склона

Максимальная скорость смещения на этой глубине определяется по формуле [6]:

$$v_{max} = \frac{\gamma}{2\delta} (h - h_0)^2 \sin \beta \quad (2.6)$$

Отвалы, подверженные деформациям, характеризуются сложными геологическими условиями непосредственно склона, на котором они размещены, наличием разнообразных поверхностных ослаблений физико-механических свойств воздействием подземных вод в течение годового периода [6, 7, 10, 22]. С уменьшением количественного показателя сопротивления сдвигу (сцепления и внутреннего трения), а также с увеличением трещиноватости пород и количества, уменьшается коэффициент устойчивости отвалов. Существенное влияние на устойчивость породных отвалов также могут оказать водоносные горизонты, открытые и подземные воды вблизи отвала, водоемы [6]. Выветрелые породы также привержены местным климатическим условиям, что приводит к уменьшению устойчивости отвалов,

оказывают влияние и горнотехнические условия: высота и угол отвала, и количество ярусов; ширина площадок; расположение бортов в плане и разрезе [8].

В природной среде породы обладают меньшей прочностью на растяжение, чем на сжатие и на срез. Горные породы в массиве в общем случае представляются как слоистая трещиноватая среда, для которой применимы законы «сыпучей среды» [8].

Определение углов и предельных очертаний откосов представляет собой частный случай теории предельного равновесия «сыпучей среды» [8].

Рисунок 2.1.

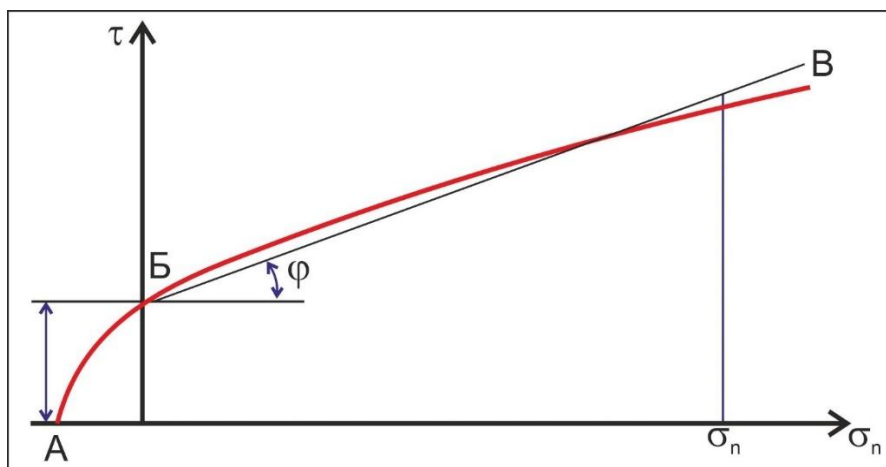


Рисунок 2.1. Общий вид графика сопротивления сдвигу горных пород

Условие предельного равновесия отвала на склоне имеет следующий вид [8]:

$$\tau = F(\sigma_n), \quad (2.7)$$

где τ и σ_n – касательные и нормальные напряжения по заданной площадке. Эта зависимость для любой горной породы может быть задана монотонной кривой АБВ, которая при заданных предельных напряжениях может быть заменена прямой

$$\tau = C + f\sigma_n, \quad (2.8)$$

где C – сцепление в единицах, соответствующих τ и σ_n ;

f – средняя величина коэффициента внутреннего трения на заданном интервале напряжений. В расчетах эта величина обычно заменяется тангенсом угла внутреннего трения

$$f = \operatorname{tg}\varphi. \quad (2.9)$$

Таким образом, основным условием предельного равновесия отвала на склоне является равенство сдвигающих сил **сумме сил** трения и сцепления

$$T = fN + cS, \quad (2.10)$$

где N – действующие силы на заданной площадке площадью S . Разделив действующие на площадке силы на ее площадь, получим условия предельного равновесия в виде

$$\tau = c + f\sigma_n. \quad (2.11)$$

Основным количественным показателем, используемым при локальной оценке и прогнозе устойчивости склонов, является коэффициент устойчивости (коэффициент запаса устойчивости), представляющий собой отношение сумм удерживающих и сдвигающих сил, действующих по поверхности предполагаемого смещения оползневого тела (при круглоцилиндрической поверхности смещения отношение сил заменяется отношением моментов тех же сил). [67, 5-7стр]

Установив местоположение складирования вскрышных пород на склоне, следует определить предельную площадь основания, при которой сохраняется устойчивость отвала, необходимо определить давление отвальных масс на основание и условия, при которых данное основание не будет деформироваться.

Устойчивость отвалов зависит от несущей способности пород основания, то есть предельной нагрузки, которую способен выдержать грунт при заданной площади без разрушения.

Из технологических факторов, влияющих на устойчивость отвалов являются высота и конфигурация отвальных откосов, длина и скорость подвигания отвального фронта, темп отсыпки отвала [68, 69].

Р. Р. Чугаевым рассматривался вопрос критический анализ известных способов расчета устойчивости откоса и с учетом сейсмичности. В результате такого анализа предлагается и обосновывается простой способ определения величины сил трения, действующих по заданной круглоцилиндрической поверхности обрушения, легко позволяющий учитывать неоднородность грунта.

Дополнительно в работе обосновывается предложенное ранее Р. Р. Чугаевым общее выражение для коэффициента запаса устойчивости заданного отсека обрушения, ограниченного снизу круглоцилиндрической поверхностью, причем указывается путь назначения численных значений для допустимой величины коэффициента запаса. [70] GeoStudio SLOPE/W применен подобного метода оценки коэффициента запаса с сейсмической нагрузкой, ниже приведен описание в главе 2.2. и 2.3.

2.1.4 Оценка несущей способности основания под отвал

Установив местоположение складирования вскрышных пород на склоне, следует определить предельную площадь основания, при которой сохраняется устойчивость отвала, необходимо определить давление отвальных масс на основание и условия, при которых данное основание не будет деформироваться.

Устойчивость отвалов зависит от несущей способности пород основания, то есть предельной нагрузки, которую способен выдержать грунт при заданной площади без разрушения. [22]

При отвалообразовании в условиях нагорных месторождений принадлежит определению геометрических параметров отвалов еще на стадии проектирования, к которым относятся объем, высота, угол откоса, занимаемая площадь под основания отвала или рельеф основания, форма и ширина уступов между верхним и нижними ярусами [71]. Выбор места под основание отвала зависит от геологического строения месторождения, физико-механических свойств, гранулометрического состава вскрышных пород и несущей

способности пород основания под отвал. В целях обеспечения безопасности работ при формировании отвалов, необходимо определить несущую способность основания под отвалы.

Несущая способность основания зависит от свойств вскрышных пород, уровня грунтовых вод и рассчитывается по формуле [72]:

$$F \leq \gamma_c F_u / \gamma_n \quad (2.11)$$

где F -равнодействующая расчетной нагрузки на основание;

F_u – сила предельного сопротивления (равнодействующая предельной нагрузки основания), ; $F_u = Q/S$, где Q – вес отвальной массы и S - площадь основания отвала;

γ_n -коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2; 1,15 и 1,10.

γ_c - коэффициент условий работы, принимаемый:

для скальных грунтов: невыветрелых и слабыветрелых $\gamma_c = 1,0$
выветрелых $\gamma_c = 0,9$ сильновыветрелых $\gamma_c = 0,8$

Давление отвала на наклонное основание рассчитывается по формуле

$$P = Q \cos \alpha / S \quad (2.12)$$

где α - угол наклона склона.

2.2 Программный комплекс GeoStudio используемые методы оценки устойчивости.

GeoStudio SLOPE/W— это одна из ведущих программных модулей в области геотехнических расчетов, предназначено для вычисления коэффициента запаса устойчивости и строит критическую поверхность скольжения (призму обрушения) по следующим методикам: метод Бишопа; метод Джанбу; метод Спенсера; метод Morgenstern-Price. [73, 74, 75, 76, 77 стр.118-137] Определенный факторы ограничивали применение метода в прошлом:

- отсутствие средств автоматизации для создания моделей;
- длительное время вычислений (ручным способом);

- сложности с учетом гидрогеологических и геологических условий. [78, 79].

Данные методы предельного равновесия допускают, что массив грунта над поверхностью скольжения делится на блоки (разделяющие плоскости между блоками всегда вертикальны). Поверхность скольжения рассматривается круглоцилиндрической формы. Метод Спенсера этот метод учитывает также силы между блоками. Равнодействующие сдвигающих и удерживающих сил между блоками имеют постоянные направления. Метод Спенсера является более точным в том смысле, что он учитывает все три уравнения равновесия: уравнения сил равновесия в горизонтальном и вертикальном направлении, а также уравнение момента равновесия. Коэффициент надежности FS определяется через нахождение значения сил, действующих между блоками, и коэффициента устойчивости FS. Метод Джанбу схож с методом Бишопа. Однако метод Джанбу учитывает только сумму горизонтальных сил равновесия, не учитывая при этом момент равновесия. Этот метод учитывает силы между блоками. А также уравнения сил равновесия в горизонтальном и вертикальном направлениях для всех блоков, уравнение момента равновесия для всех участков, за исключением последнего, самого высокого. Коэффициент надежности FS определяется через нахождение направления сил, действующих между блоками, а затем рассчитываются значения этих сил. Метод Моргенштерн-Прайса. Этот метод также учитывает силы между блоками. Равнодействующие сдвигающих и удерживающих сил, которые действуют между блоками, имеют разные направления в каждом блоке (функция полу-синус). Метод Моргенштерн-Прайса является более точным в том смысле, что он учитывает все три уравнения равновесия: уравнения сил равновесия в горизонтальном и вертикальном направлении, а также уравнение момента равновесия. Коэффициент надежности FS определяется через решение уравнения сил, действующих между блоками, и коэффициента надежности FS. [62, 77, 84]

В GeoStudio сейсмическая нагрузка определяется путем указания сейсмического коэффициента. Например, значение kh , равное 0,2, будет означать, что горизонтальное ускорение равно 0,2 g . Дополнительная нагрузка от затопленной воды, действующая на уклон, не учитывается в расчете сил инерции. Вода не имеет прочности на сдвиг и поэтому силы инерции, действующие на воду, не способствуют дестабилизации склона.

При анализе устойчивости к каждому отсека прикладывается горизонтальная сейсмическая сила в направлении скольжения. К весу отсека (колонны) добавляется вертикальная сейсмическая нагрузка. Рассмотрим схему корпуса без отсека (колонны), представленную на Рисунок 2.2 Рисунок 2.3. В первом случае значение kh , равное 0,2, дает горизонтальное усилие 22,7 кН на колонну весом 113,48 кН. Во втором случае учитывается kv , равное 0,1, что создает вертикальную сейсмическую нагрузку в 11,35 кН, что дает общий вес колонны 124,83 кН (113,48 кН + 11,35 кН). [78, 98-100 стр]

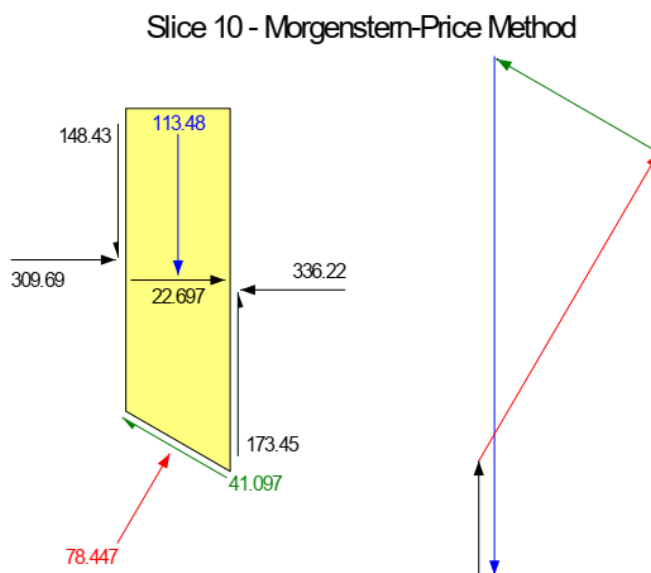


Рисунок 2.2. Отсек (колонна) FBD с горизонтальной сейсмической нагрузкой.

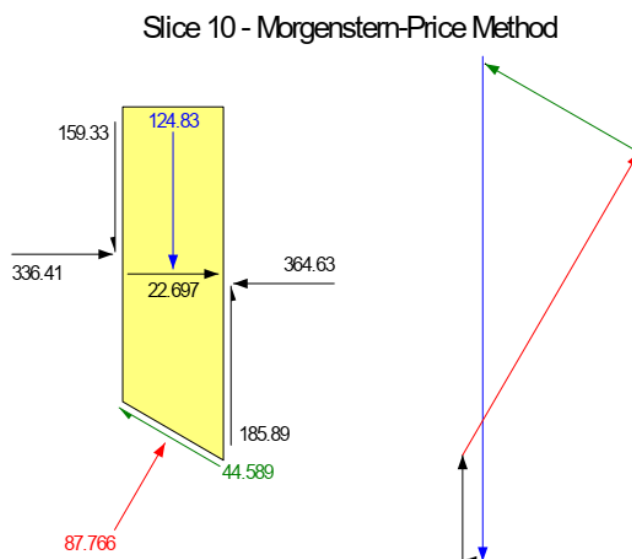


Рисунок 2.3. Отсек (колонна) FBD с горизонтальной и вертикальной сейсмической нагрузкой.

GeoStudio SLOPE/W

Анализ устойчивости склонов, сложенных грунтами и горными породами для моделирования стабильности склона, деформации грунта. В целом программное обеспечение, которое является технически охватывающий и простым в использовании, что делает геотехническое моделирование доступным и практичным для всех инженеров-геотехников. Комплексное представление на основе всех источников данных и комбинированный анализ без ручной обработки, возможности по изменениям свойства материалов или ограничивающие условия, чтобы лучше понять сложный характер по оценки устойчивости отвалов.

Могут выполняться нескольких анализов параллельно, устанавливать начальные условия, интерпретация результатов с помощью различных методов, моделировать сложные временные последовательности или разделять на мелкие подзадачи, возможность многократной оценки их в процессе проектирования. С помощью интегрированных инструментов для определения 2Д и 3Д-геометрии модели в масштабе один к одному. [62]

2.3 Особенности расчета устойчивости отвала с учетом сейсмической нагрузки

Расчете устойчивости отвалов при разработке нагорных месторождений, расположенных в сейсмоактивных регионах, должны учитываться силы возможных землетрясений.

Коэффициент устойчивости отвала рассчитывается по соотношению удерживающих и сдвигающих сил $K_y = \frac{F_{удерж}}{T_{сдвиг}}$ (2.13)

Сдвигающая сила T , вызывающая обрушение увеличивается на величину сейсмического коэффициента $K_c = 1 + \frac{a_{max}}{g}$, а удерживающая сила F уменьшается на эту же величину.

где a_{max} - расчетная величина сейсмического ускорения, мм/сек²;

g - ускорение силы тяжести, м/сек².

Сейсмическая нагрузка, при оценке устойчивости оползневых и оползнеопасных склонов, может быть учтена на основе использования псевдостатического или динамического анализа.

При подходе с использованием псевдостатического анализа эффект от землетрясения моделируется путем введения дополнительной силы, определяемой следующим образом: [78, 79]

$$F = \frac{aW}{g} = kW \quad (2.14)$$

где, a – горизонтальное сейсмическое ускорение; g – ускорение свободного падения; W – удельный вес грунта; k – коэффициент сейсмичности.

Расчетная сейсмичность в баллах, рассчитывается по формуле:

$$j_{расч} = j_0 + m \quad (2.15)$$

где j_0 - сейсмичность для данного района;

m - сейсмическая характеристика, учитывающая увеличение сейсмичности в баллах в зависимости от пород основания

Зависимость сейсмичности в баллах от пород основания

Вид грунта основания	Сейсмическая характеристика m в баллах
Щебенистые или песчаные (сухие) грунты	1 - 2
Глинистые,	1 - 3

Величина сейсмического коэффициента K_c в зависимости от расчетной сейсмичности

Расчетная сейсмичность территории в баллах $j_{расч}$	Значение коэффициента сейсмичности K_c
7	1,03
8	1,05
9	1,10

Сейсмическое воздействие на удерживающие силы учитывают в следующем виде [&]: $F_{удерж} = tg(\varphi - \delta) + C$ (2.16)

φ - угол внутреннего трения;

C - сцепление МПа;

δ –сейсмический угол, $\delta = arctg \varepsilon$

ε - коэффициент сотрясения; $\varepsilon = \frac{\alpha_{max}}{g}$

Величины расчетных значений сейсмического ускорения и сейсмического угла [&]

Расчетная сейсмичность в баллах	Расчетное ускорение α_{max} , мм/сек ²	Сейсмический угол δ_o
VII	101 - 250	2°
VIII	251 - 500	3°
IX	501 - 1000	6°

С учетом приведенных сведений о влиянии сейсмичности на устойчивость отвала и выполненных расчетов, получено, что при

землетрясении 7-9 баллов значение коэффициента устойчивости снижается на 25-50%. [80, 81]

При подходе с использованием динамического анализа расчет основывается на данных акселерограммы, что позволяет принимать во внимание продолжительность и интенсивность землетрясения. В связи с отсутствием на месторождении Джеруй акселерометров в данной работе не представляется рассчитать устойчивость отвалов при сейсмических воздействиях методом псевдостатических нагрузок и расчетных пиковых ускорений грунта.

Для расчета устойчивости отвала вскрышных пород с учетом сейсмического воздействия на основе псевдостатического анализа программном комплексе GeoStudio SLOPE/W использовали табличные данные, шкале сейсмических ускорений представленной в Таблица 2.1.

Таблица 2.1. Сопоставления сейсмического ускорения a с интенсивностью землетрясений по шкале MSK-64 [82], I в баллах на поверхности.

п.н.№	Балл		Сейсмическое ускорение a
1.	4		<0.01g
2.	5		0.025g
3.	6		0.025-0.05 g
4.	7		0.05-0.1 g
5.	8		0.1-0.2 g
6.	9		0.2-0.4 g
7.	10		>0.4 g

$$\text{Сейсмическое ускорения } a = A4\pi^2/T^2 \text{ мм/с}^2,$$

где A -амплитуда колебаний, мм, T -период колебаний, с.

Коэффициентом сейсмичности называется отношение величины сейсмического ускорения ускорению свободного падения: $K_c = a/g$. [80, 82]

Сопоставления сейсмического ускорения (a) с интенсивностью землетрясений по шкале MSK-64 выглядят следующим образом:

I (незаметное): $a < 0.001 \text{ g}$

II (очень слабое): $0.001 \text{ g} \leq a < 0.005 \text{ g}$

III (слабое): $0.005 \text{ g} \leq a < 0.015 \text{ g}$

IV (умеренное): $0.015 \text{ g} \leq a < 0.05 \text{ g}$

V (сильное): $0.05 \text{ g} \leq a < 0.15 \text{ g}$

VI (очень сильное): $0.15 \text{ g} \leq a < 0.4 \text{ g}$

VII (катастрофическое): $a \geq 0.4 \text{ g}$

Эти значения могут немного варьироваться в зависимости от региона и местных условий, но в целом это обобщенное сопоставление позволяет оценить влияние землетрясения на здания и инфраструктуру.

3. Численное моделирование устойчивости отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений

Территория Кыргызстана занимает значительную часть горной страны — Тянь-Шаня и отчасти Алая. Сложный, контрастный рельеф отличается разнообразием: бесконечно тянутся цепи хребтов, пересекаемые впадинами, реки и озера, леса и луга, нагорные долины и сырты, степи и пустыни. Самая низкая отметка над уровнем моря — 500 м над уровнем море находится в Ошской области, самая высокая, — 7134 м над уровнем море — пик Ленина находится в Заалайском хребте. Наиболее высоко поднятая часть территории республики находится на ее восточной окраине. В этой части Тянь-Шаня, называемой Внутренним Тянь-Шанем, развиты сырты. Это слабо всхолмленные плоскогорья, приподнятые на высоту 3000-4000 м над уровнем море по бассейнам рек Ара-Бель, Сары-Чат, Кээру, Кегалачап, Сары-Джаз. Эти нагорья слабо расчленены, их центральные части имеют древние ледниковые морены. На запад, от хребта Жетым-Тоо простираются долины Кара-Куджурская и Султан-Сары, еще западнее расположена котловина озера Сон-Кель, с северо-запада обрамленная хребтом Сон-Кель, а с юга хребтом Молдо-Тоо. На границе с Казахстаном проходит мощный хребет Кунгей Ала-Тоо. Между Кунгей Ала-Тоо и Тескей Ала-Тоо расположено озеро Иссык-Куль. С

северо-западной стороны к котловине озеро Иссык-Куль примыкают Чон-Кеминская долина, а еще западнее — простирается Кыргызский хребет с Чуйской долиной. [85].

3.1 Оценка несущей способности площади основания под отвалы

С целью установлении предельной площади основания, при которой сохраняется устойчивость отвала, необходимо определить давление отвальных масс на основание и условия, при которых данное основание не будет деформироваться. В расчетах принято: объем отвала равен $6.9 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, вес отвала — $90 \cdot 10^6 \text{ т}$. Площадь основания под отвал изменяли от $5 \cdot 10^5$ до $43 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ с шагом $2 \cdot 10^5 \text{ м}^2$. Для вычисления несущей способности основания под отвал коэффициент надежности γ_n принят равным 1.1, $\gamma_c = 0.8$ [5]. Предел прочности пород основания под отвал при сжатии $\sigma_{сж} = 175, 75, 30 \text{ МПа}$.

Для оценки влияния угла наклона склона на выбор параметров площади под отвал на склоне задавали угол склона от 0 до 30° с шагом 5° . Результаты расчетов при заданных значениях веса вскрышных пород и свойств основания отвала приведены на Рисунок 3.1, Рисунок 3.2, Рисунок 3.3.

Проанализированы данные расчета площади основания отвала, расположенного на горизонтальной поверхности, которого можно складировать отвал при известном давлении на отвал. Выявлена площадь складированных вскрышных пород при прочности вскрышных пород 30 МПа, которая составила $30 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ (Рисунок 3.1).

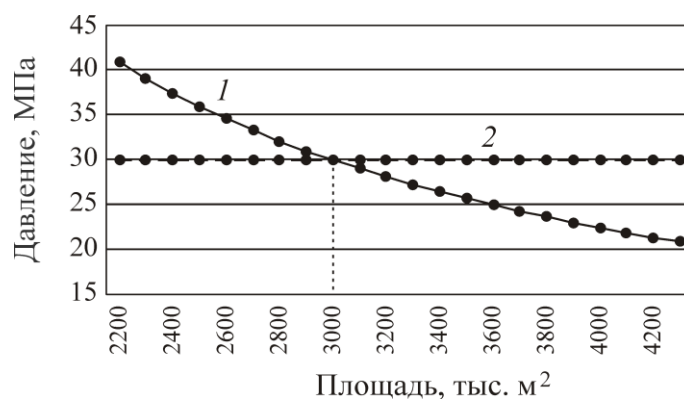


Рисунок 3.1. Зависимость площади основания отвала от давления складированных вскрышных пород:

1 — давление отвала на основание при известной площади и весе вскрышных пород; 2 — значение предела прочности по сжатию основания

Установлено, что дальнейшее увеличение объема ведет к потере устойчивости основания. Для оценки зависимости предела прочности при сжатии на несущую способность основания выполнены расчеты, результаты которых представлены на Рисунок 3.2.

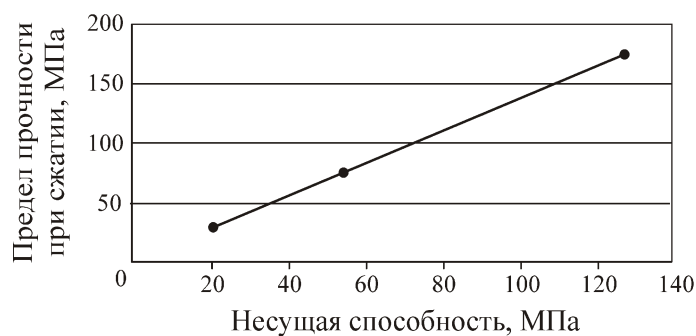


Рисунок 3.2. Зависимость значения несущей способности основания отвала от предела прочности грунта

Установлено, что при одинаковых значениях объема и площади отвала значение несущей способности увеличивается в 2.5 раза для слабо трещиноватых пород и в 6 раз — для прочных пород по сравнению с сильно трещиноватым основанием. Данные значения подтверждены и для площадей основания отвала в зависимости от прочности пород. Результаты расчета площади основания отвала при заданных значениях предела прочности показаны на Рисунок 3.3. Выявлено, что отвалы для прочных пород можно разместить на площади не менее $5 \cdot 10^5$ м², на слабо трещиноватом основании

— на площади не менее $12.5 \cdot 10^5 \text{ м}^2$, на сильно трещиноватом основании — на площади не менее $30 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ при одинаковом объеме вскрышных пород.

Рельефом местности определяется также характер поверхностного стока. В случае скопления атмосферных вод у нижней бровки отвалов, подтапливания дождевыми и паводковыми водами или размещения отвалов во впадинах, не имеющих стока, происходит увлажнение пород отвалов и их оснований, снижение сопротивления пород сдвигу, уменьшение высоты и угла откоса устойчивых отвальных откосов. Кроме того, на устойчивость отвалов оказывают влияние атмосферные осадки и колебания температуры воздуха [6].

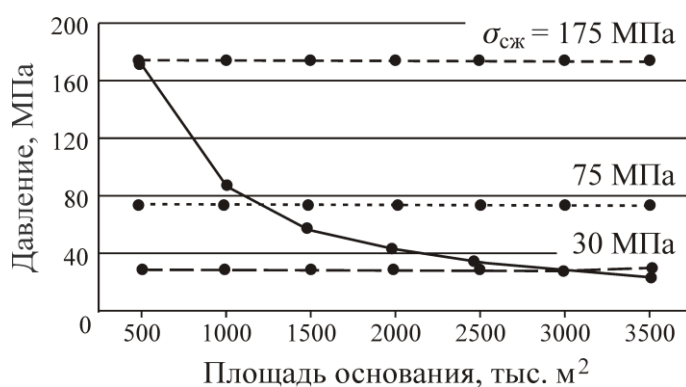


Рисунок 3.3. Зависимость площади основания отвала от давления отвала на основании при заданных значениях пределов прочности по сжатию.

3.2 Расчет и оценка устойчивости отвалов

Сложный рельеф местности не представляет возможности на то что бы произвести правильными геометрическими формами рассматриваемые для более ровных поверхностях, расчеты параметров отвала вскрышных пород так как большой объем пород из за нервностей остается недочетом от 5% до 15% при расчетах устойчивости отвала с связи с этим было принято рассмотреть построение 3D-модели местности для более точного расчета (параметров отвала вскрышных пород [86, 87]) площади занимаемой отвалом и сам объем отвала вскрышных пород.

Цифровое моделирование это - способ исследования реальных явлений, процессов, устройств, систем и др., основанный на изучении их математических моделей. [&].

3D модель – это объемное цифровое изображение необходимого объекта в пространстве. [&].

Цифровая 3D-модель необходимый шаг в процессе проектирования рельефа и отвала. Она позволяет получить точное представление о том, как будет выглядеть его участок еще до реализации отвалообразования. [88, 89]

Создание геомеханической трехмерной модели включает в себя несколько основных этапов [&]:

- проведение исследований для получения данных о свойствах и состоянии массива горных пород;
- создание 3D моделей рельефа местности месторождения;
- создание 3D геомеханической модели месторождения на основе геологической,
- обработки результатов инженерно-геологической документации, по значениям физико-механических свойств горных пород, руды и т. д. [90, 91]

3D-моделирование как технология уже многие годы сопровождает разные сферы отраслей горнорудной промышленности. Цифровые технологии влияют не только на методы проектирования, но и на концепцию ведения горных работ. Так, изобретение, изначально появившееся в компьютерной графике в редакторах AutoCAD, через изменение способов графической подачи материала повлияло на саму логику организации горных работ.

До сих пор специалисты используют более традиционные методы оценки устойчивости на тех или иных участках месторождения: сначала они бурят разведочные скважины, берут образцы, из которых определяют физико-механические свойства пород в лабораторных условиях, а затем полученные данные преобразуют в двухмерный электронный вид [&]. На фоне этого подхода 3D-моделирование — более сложный в техническом плане способ, но и более надёжный. Для этой технологии точно так же берутся образцы, проводятся лабораторные исследования, ведутся расчеты численным методом, позволяющие сделать цифровую модель разреза.

SketchUp – это легкая в эксплуатации программа, основной функцией которой является трехмерное моделирование объектов любой сложности. По сравнению со многими популярными пакетами данный обладает рядом особенностей, это программа находится в свободном доступе. [92]

Заложенный потенциал и возможности для инженеров-геотехников позволяют программе задавать физическому миру объемную форму, делать его еще более понятным и доступным.

Основная особенность — почти полное отсутствие окон предварительных настроек. Все геометрические характеристики во время или сразу после окончания действия инструмента задаются с клавиатуры в поле Value Control Box (поле контроля параметров).

Также можно отметить следующие возможности [&]:

Поддержка плагинов для экспорта, визуализации, создания физических эффектов (вращения, движения, взаимодействия созданных объектов между собой и пр.);

Поддержка создания макросов на языке Ruby и вызова их из меню. Макросами можно автоматизировать выполнение повторяющихся действий. Доступна функция загрузки и использования многочисленных готовых макросов, предоставленных другими пользователями;

Поддержка создания «компонентов» — элементов модели, которые могут быть созданы, затем использованы много раз, а потом отредактированы — и изменения, сделанные в компоненте, отразятся во всех местах, где он использован;

Инструмент для просмотра модели в разрезе и возможность добавлять к модели выноски с обозначением видимых размеров в стиле чертежей;

Возможность построения сечений объектов;

Поддержка создания моделей реальных объектов и сооружений следующие [&]:

- Указание реальных физических размеров, в метрах или дюймах;

- Режим просмотра модели «от первого лица», с управлением как в соответствующих 3D-визуализациях;
- Возможность устанавливать географически достоверные данные в соответствии с заданными широтой и долготой;
- Интеграция с Google Earth;
- Возможность добавить в модель поверхность земли и регулировать её форму — ландшафт;
- Возможность использования SketchUp совместно с Google Планета Земля.

Программа-ресурс Google Earth («виртуальный глобус») и упрощённый 3D-редактор SketchUp представляют собой составные компоненты единой семьи программных продуктов, так что пользователь может легко переносить информацию из одного пакета в другой.

Так, в частности, при моделировании отвалов или сооружений можно легко импортировать аэро- или спутниковую фотографию нужного объекта, а также топографию местности из Google Earth, а затем «строить» виртуальное отвал-модели на поверхность рельефа, которым будет спутниковая фотография отвала-прототипа.

А для того, чтобы увидеть только что созданную в программе SketchUp 3D-модель «в виртуальной жизни» на рельефе Google Earth, достаточно щёлкнуть иконку на панели инструментов. Для обмена информацией между программами достаточно, чтобы обе они были установлены на компьютере пользователя. [93, 94, 95]

Начальные этапы описание и построения 3д – модели отвала Южный:

Размещение вскрышных пород на участке Южный, месторождении Джеруй расположены с юго-западной стороны карьера в радиусе от 0,1 до 0,9 км. Рисунок 3.4. [96].

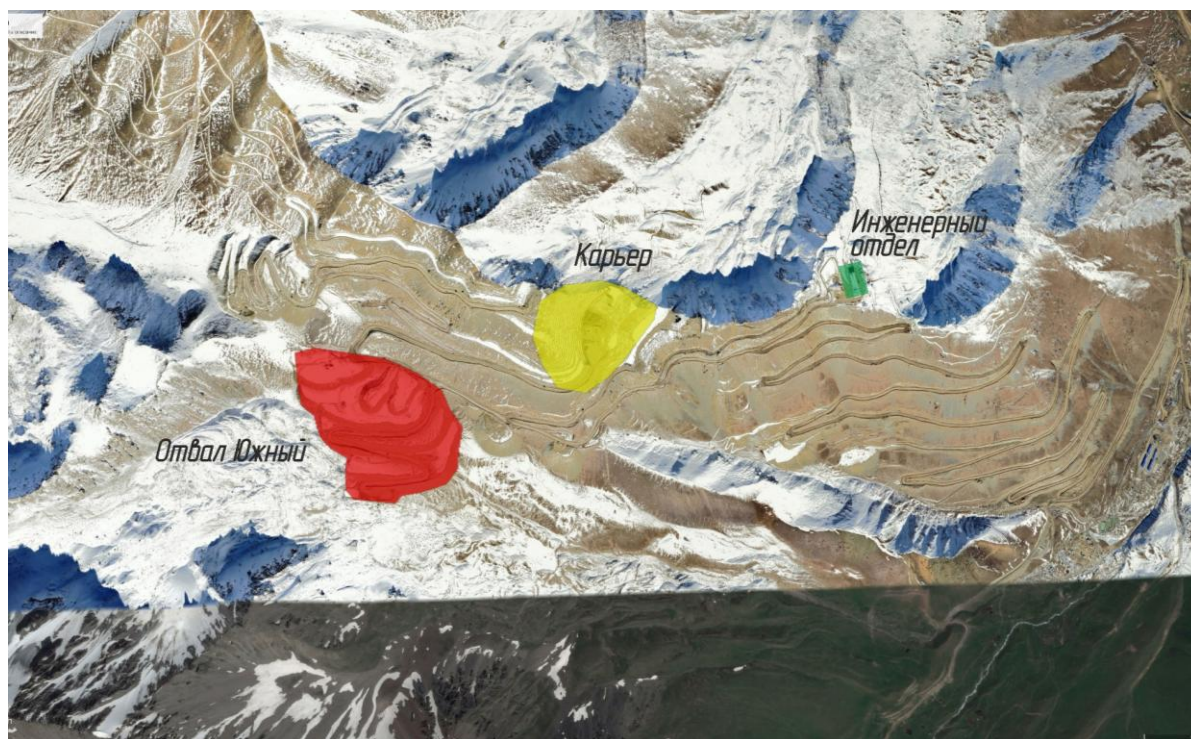



Рисунок 3.4. Общий вид Южного склона от карьера, на котором планируется разместить породных отвалов.

Для создания 3д-модели отвала вскрышных пород в программе Google SketchUp до открытия местоположения необходимо зарегистрироваться в Google что бы иметь доступ в спутниковые рисунки земли, после нажимаем на функцию «Добавить местоположение»  импортируем требуемый участок рельефа с географическими данными в масштабе 1:1, с помощью инструментов навигации, Рисунок 3.5. [97].

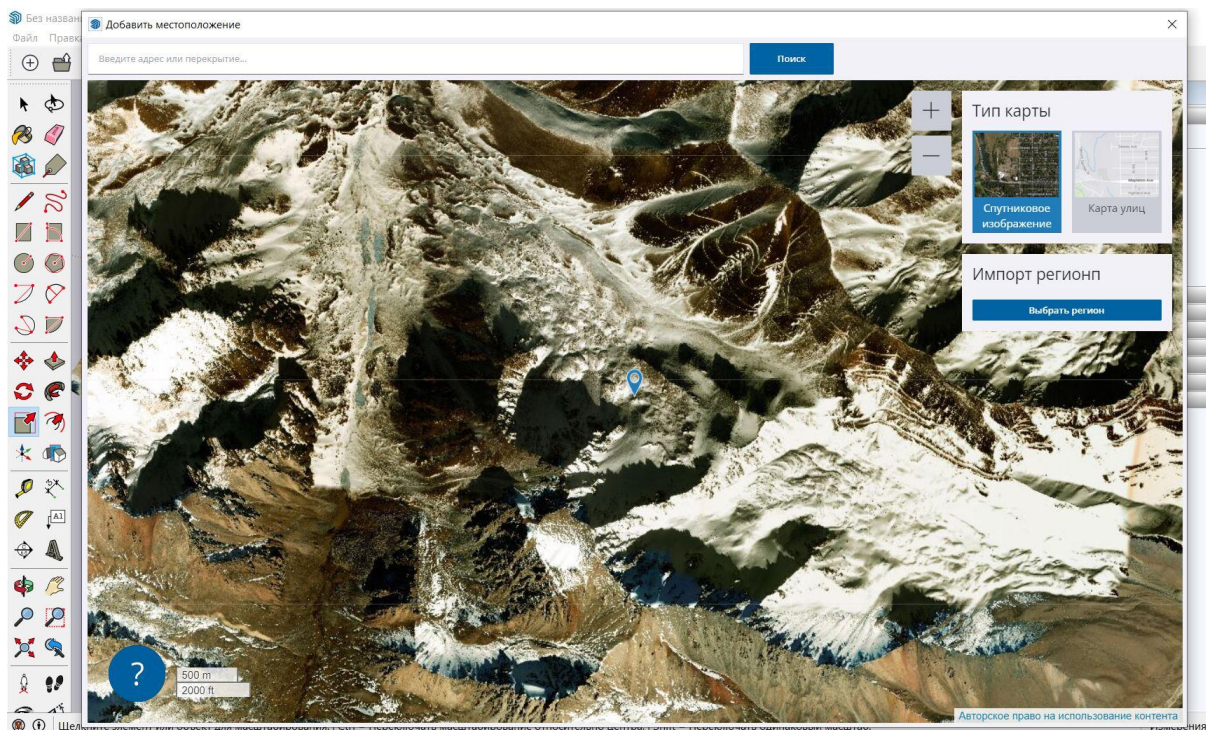


Рисунок 3.5. Google SketchUp, Окно загрузки географических данных и местоположение.

После получения оцифрованную 3д модель рельефа местности обрабатываем для дальнейшей постройки отвалов вскрышных пород (Рисунок 3.6 Рисунок 3.7).

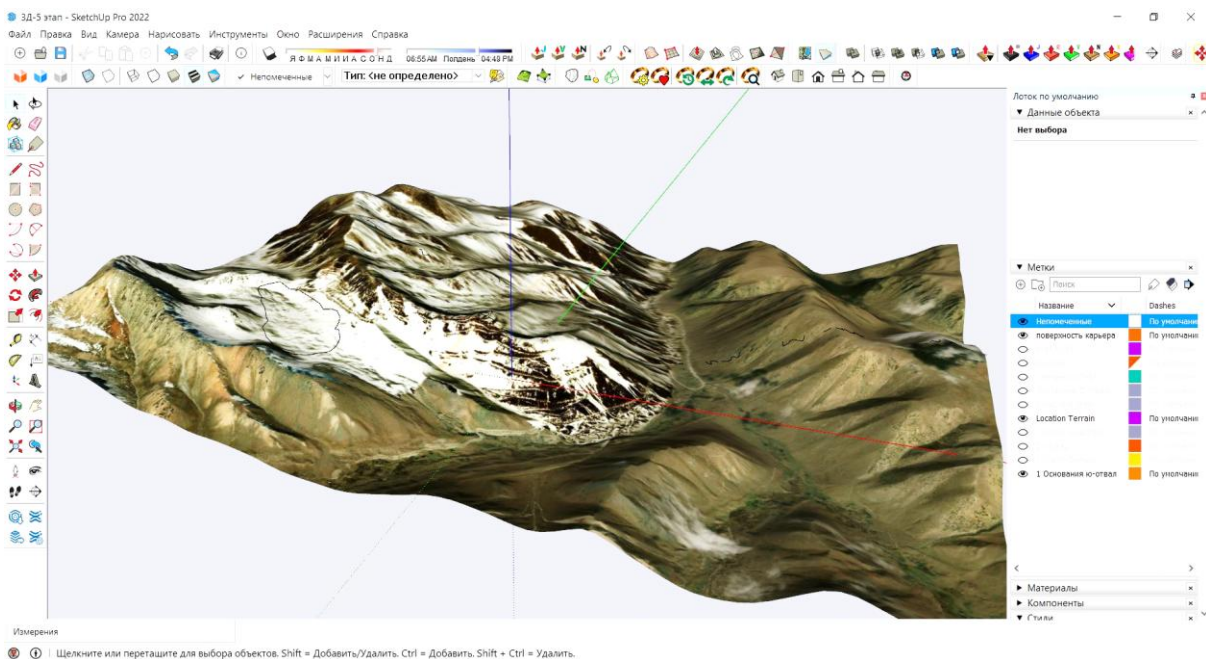


Рисунок 3.6. Оцифрованный рельеф местности.

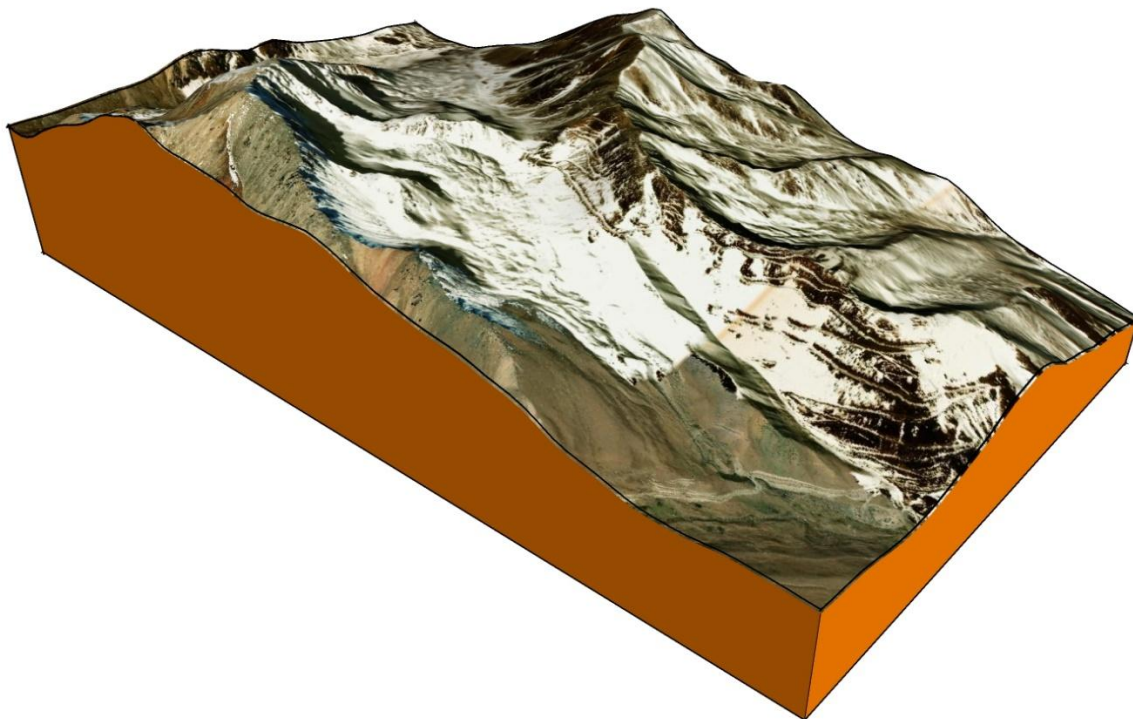


Рисунок 3.7. Окончательный вид модели рельефа местности для проектируемого отвала.

Подготовительные работы по размещению модели отвала следует выполнять с учетом поверхности склона для рационального построения отвала вскрышных пород на данном участке. Этап построения объекта размещение цифровой 3Д модели проектируемого отвала на склоне в трехмерном пространстве позволяющее выявит не до чётов и особенностей проекта таких как расстояние относительно контура карьера, крутизна склона и высоты ярусов отвала, объем отвала вскрышных пород (на данном примере приводится максимально возможный объем отвала вскрышных пород 82 млн. м³, Рисунок 3.8), [98] а также все необходимые параметры такие как площадь занимаемого отвала 1280493,19 м² (1,28 км² или 128,05 гектар). На данном этапе задачи по созданию геометрической трехмерной цифровой модели отвала вскрышных пород, включающее все объекты закончены на Рисунок 3.8. Важно отметить, что не только проектируемые отвалы можно смоделировать, но можно и существующие [99, 100, 101, 102, 103].

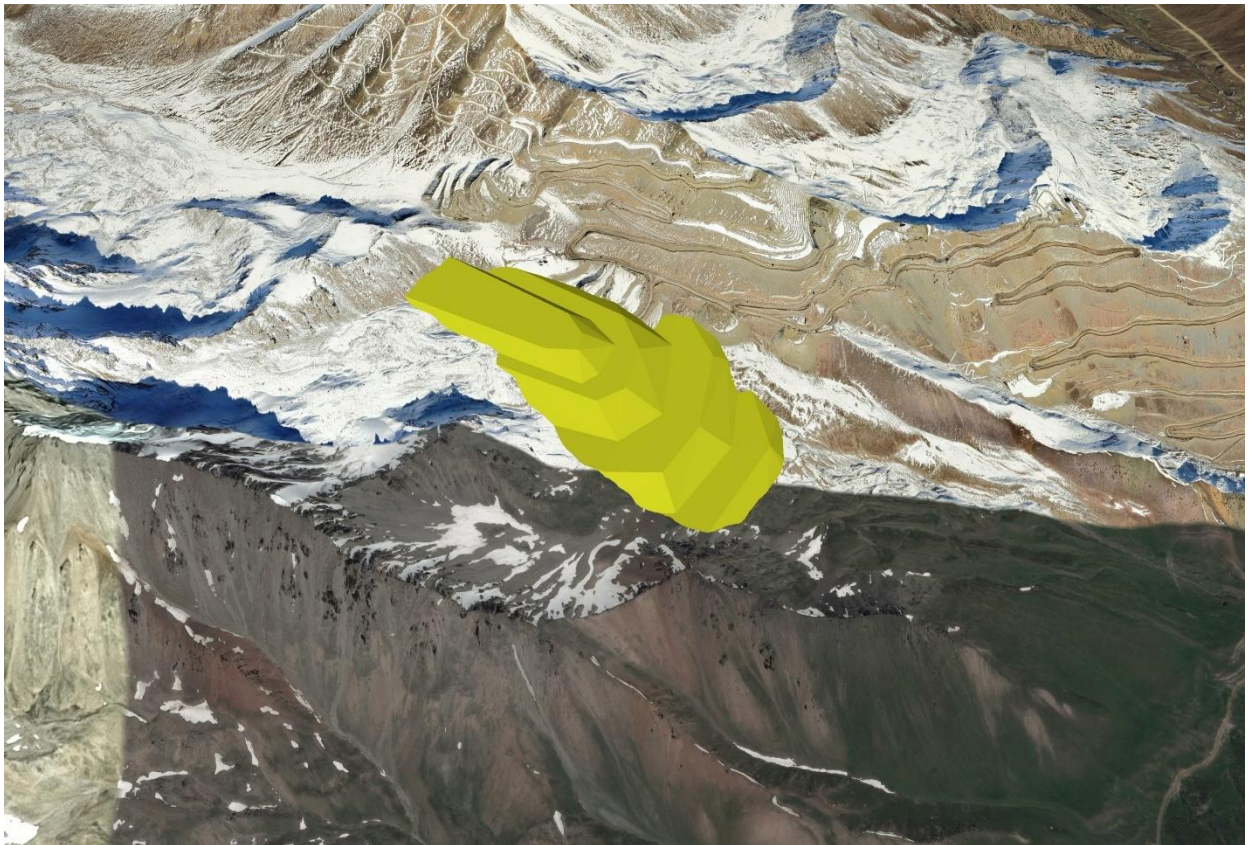
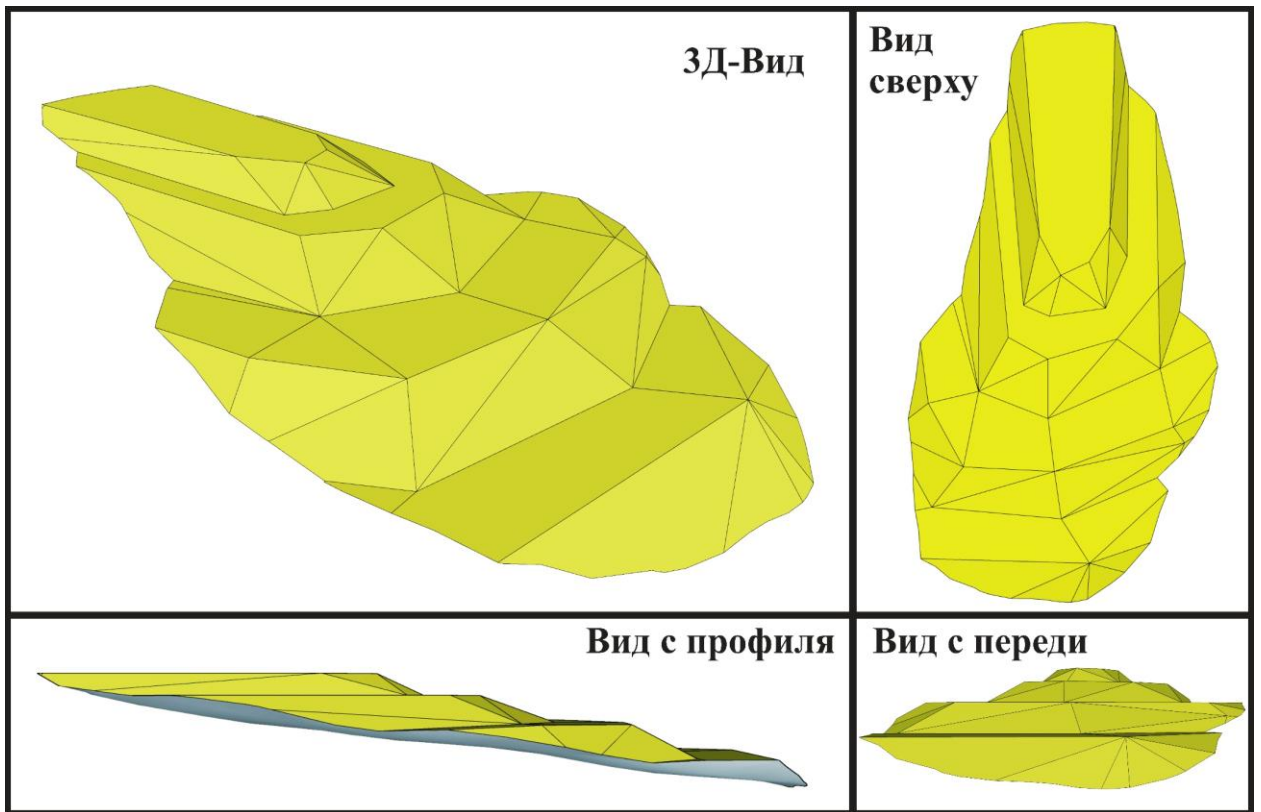
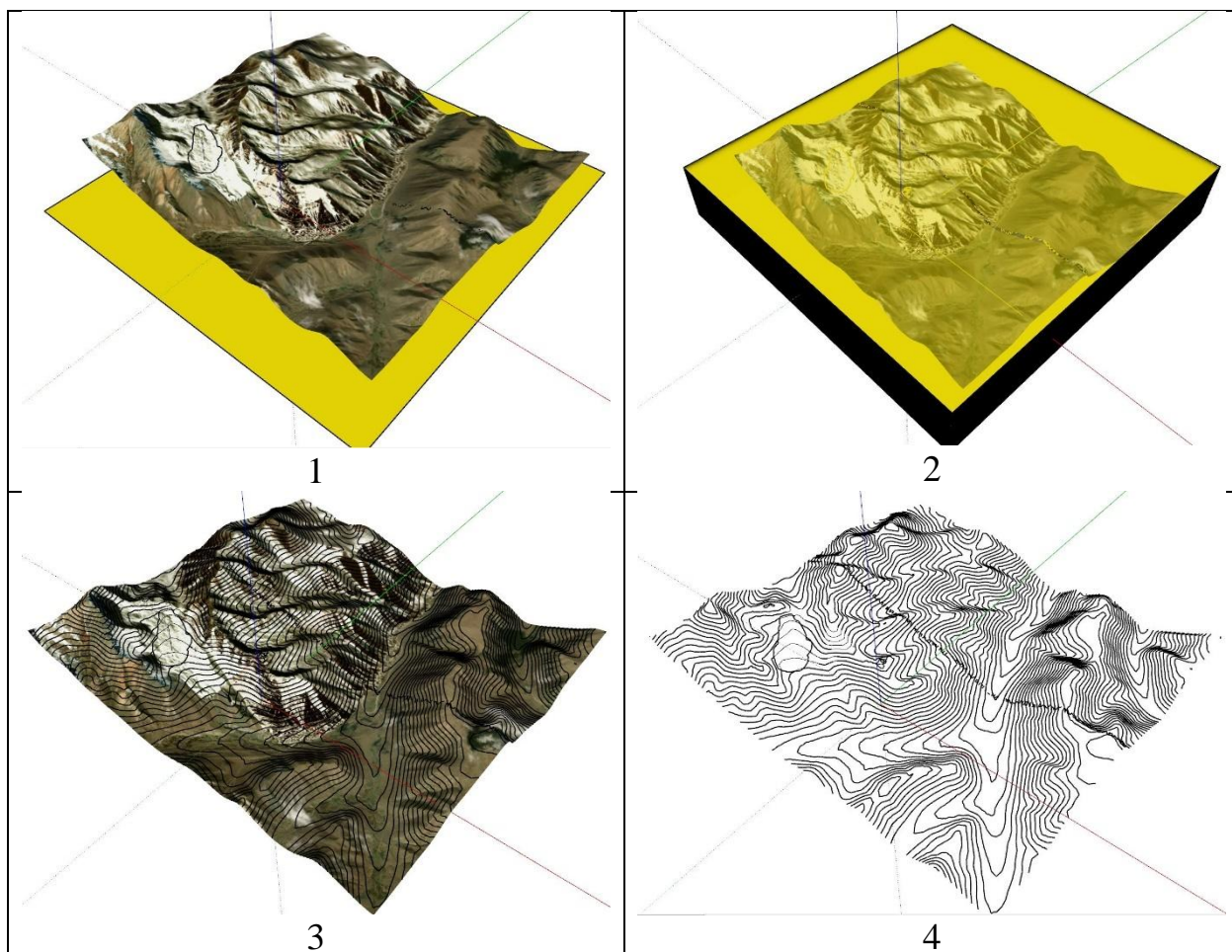


Рисунок 3.8. 3D-Модель объекта проектируемого отвала.

Получения топографического плана рельефа местности.

Наличие трехмерной модели дает дополнительные возможности при изучении отвалов. Для дополнительных работ по изучению объектов, требуется план местности на бумажных и цифровых носителях для оценки запланированного строительства отвала.

Топографическая съемка, это довольно сложный в техническом плане продукт, требующий знаний в области геодезии, картографии и наличия специального дорогостоящего оборудования. В данном случае есть возможность формирования топографических карт с учетом рельефа местности с масштабом 1:5, для этого из созданного цифрового рельефа местности. [104, 105]. Создаем слой материал горизонтальные сечения параллельными плоскостями через одинаковые интервалы и с нужным расстоянием и получаем топографическую карту Рисунок 3.9. [106, 107, 108].



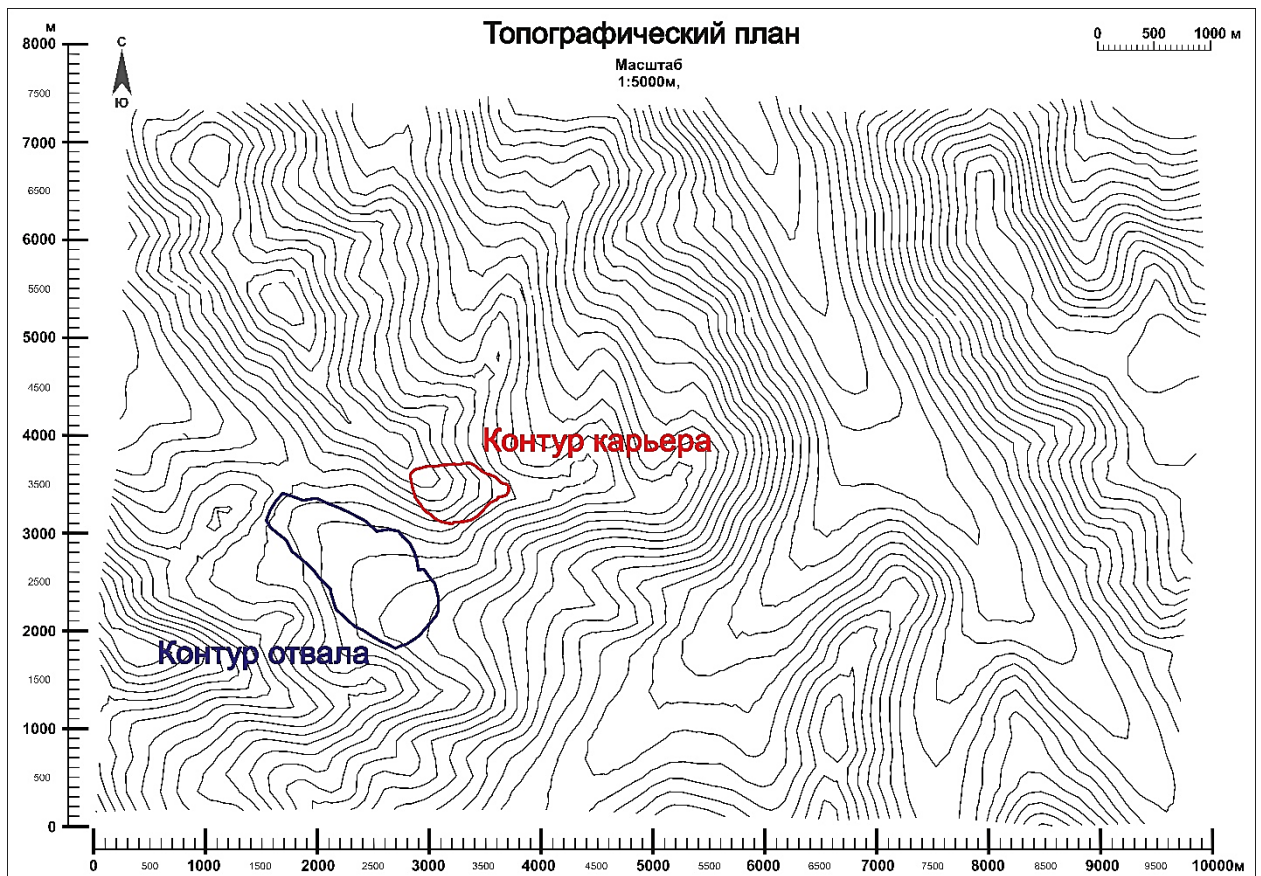


Рисунок 3.9. Поэтапное создание топографической карты.

Построение профилей с 3Д-модели отвала и земной коры

Построение геометрических параметров отвалов необходим для программного модуля GeoStudio SLOPE/W так как вычисление коэффициента запаса устойчивости осуществляется построением критической поверхности скольжения (призма обрушения) для этого расчеты ведутся в двумерных проекциях. Далее из построенной 3д-модели получаем вертикальные профили отвала и земной коры от поверхности в глубину, для этого в программе SketchUp выделяем весь объект и нажатием правой кнопкой мыши, из выпадающего меню выбираем «пересечение граней» и далее «с моделью». Получение поперечного разреза из 3Д модели приведено на Рисунок 3.10. [102, 109]

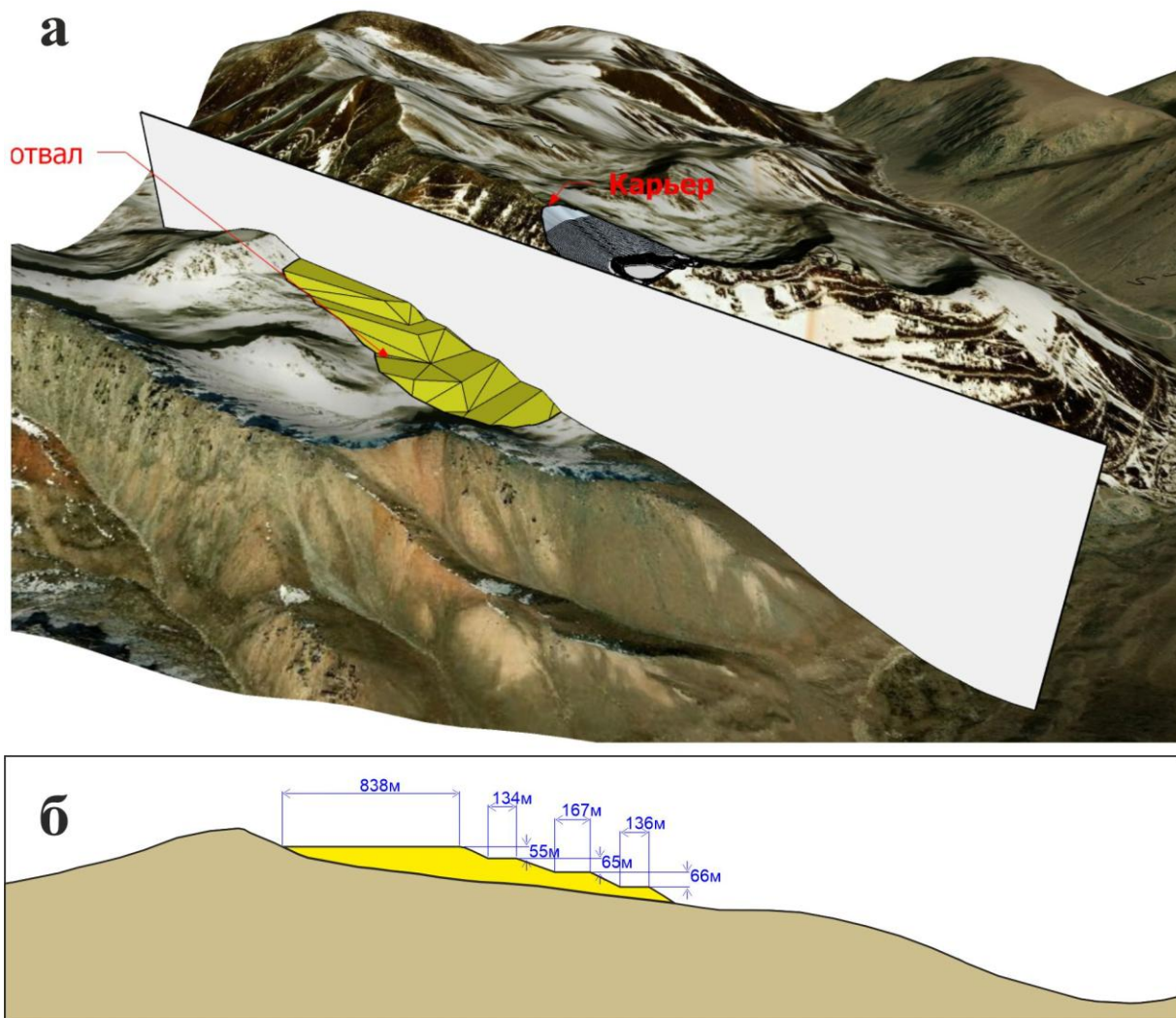


Рисунок 3.10. Построение эскиза чертежа разреза. а-показано получение продольного разреза по центру отвала, б- показано полученный двумерный разрез.

Методика получения результатов расчета устойчивости отвалов вскрышных пород

Полученные разрезы из 3Д модели отвала, на графических программах Autocad или CorelDRAW и т.п. дорабатываем линии разрезов отвала и ставим разные метки размерности и высотные отметки для масштабирования чертежа, сохраняем виде рисунка формате.jpg Рисунок 3.11.

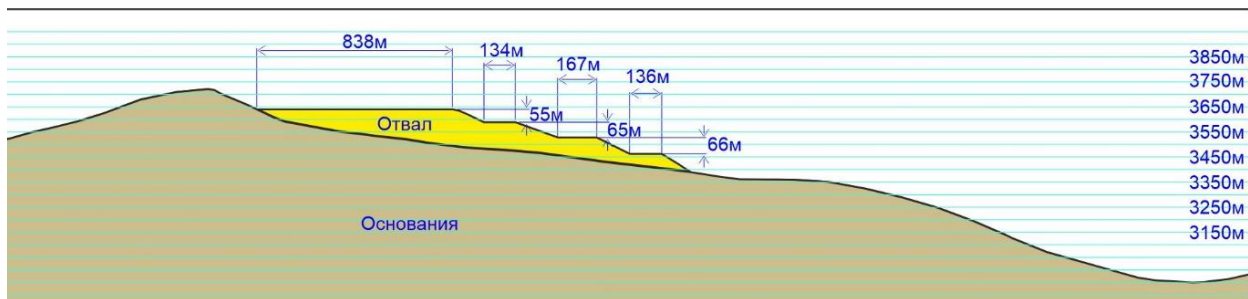


Рисунок 3.11. Доработка разреза отвала в программе CorelDRAW.

Готовый разрез загружаем в программный модуль GeoStudio SLOPE/W для постройки по образцу подгоняем чертеж отвала в масштабе 1:1, Рисунок 3.12.

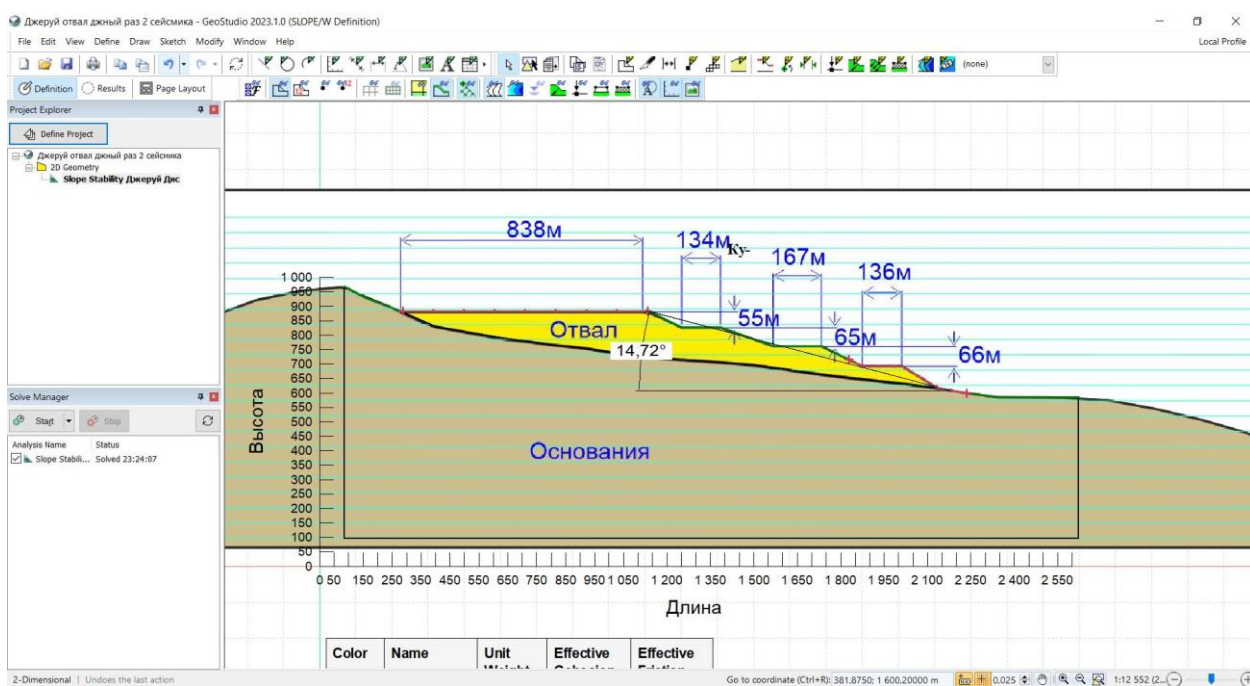


Рисунок 3.12. Подгон по масштабу чертежа отвала в GeoStudio SLOPE/W.

После подгонки чертежа по масштабу, затем приступаем по определению геометрической области и задаем каждой области соответствующие физико-механические свойства, Рисунок 3.13.

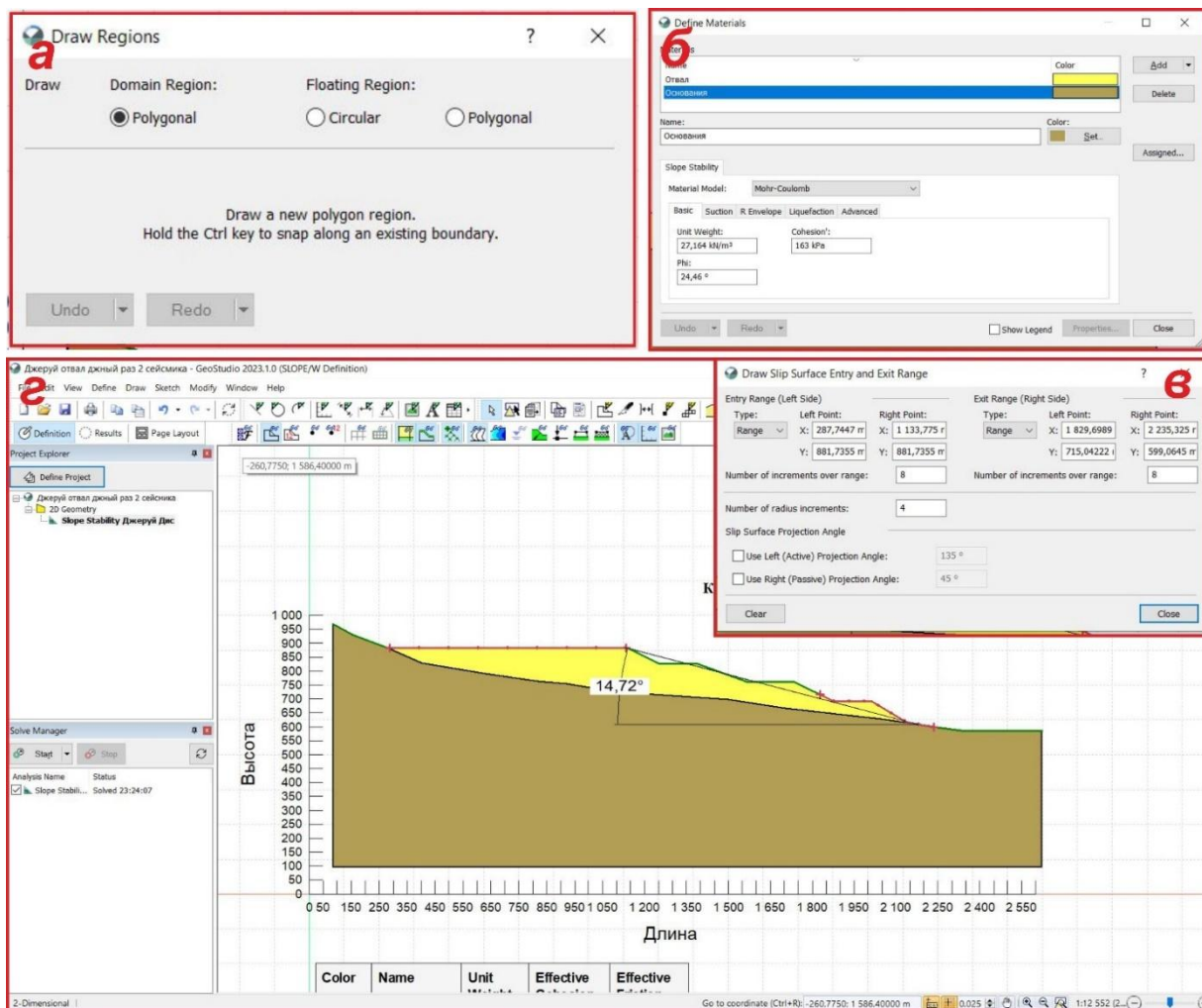


Рисунок 3.13. По этапное работа над чертежом, а) нанесение геометрической области, б) ввод данных по физико-механическим свойствам, под основания отвала и проектируемого отвала, в) обозначение входа и выхода поверхности скольжения, г) результат подготовки для расчета.

Для определения расчета по оценке коэффициента устойчивости вводим данные по механическим свойствам горных пород по трем значениям свойств это; угол внутреннего трения - φ , сцепление - c и удельный вес (насыпной вес) – γ . Таблица 3.1. [17, 110, 111, 112]

Таблица 3.1. физико-механические свойства примененная в расчетах.

цвет	Название	Вес, т/м3 (кН/м ³)	коэффициент сцепления, мПа (кПа)	коэффициент внутреннего трения, град
	Основания	2,5 (24,51)	0,102 (102)	35,43
	Отвал	2,2 (21,57)	0,68 (68)	24,34

Конечный результат работы, это получение оптимального расчет коэффициента устойчивости по методу Morgenштейна и Прайса (коэффициент запаса устойчивости) [78, 113, 114, 115].

Отвала что в данном разрезе составила $K_u=2,33$ Рисунок 3.14.

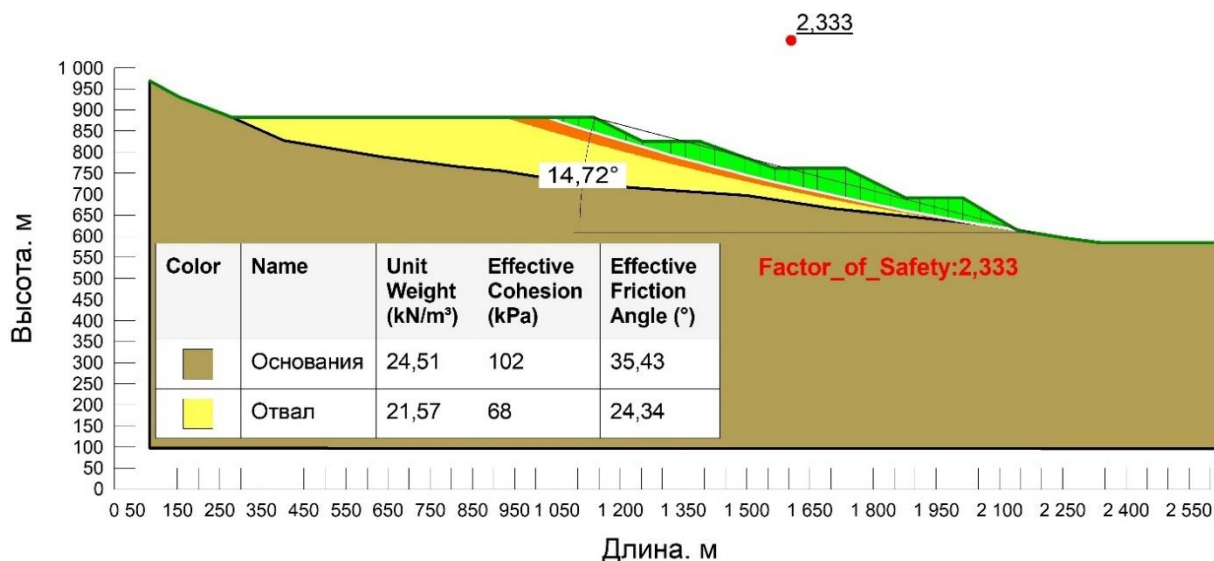


Рисунок 3.14. Результат расчета по оценке коэффициента запаса устойчивости, также показан критическая поверхность скольжения с наименьшим коэффициентом безопасности для текущего запроса нанесена толстой белой линией и красным отмечена зона карты безопасности, позволяющую легко идентифицировать критические зоны.

Кыргызстан расположен на стыке двух крупных тектонических плит азиатская плита и движущаяся индийская плита, и характеризуются высокой сейсмической активностью. Ежегодно регистрируется более 5000 землетрясений, 7-9 из которых являются сильными с магнитудой 4,5 и более баллов. В данной методологии тоже учитывались сейсмическая воздействия на отвалы, расчеты выполнялись в соответствии с Таблица 2.1. Сопоставления сейсмического ускорения a с интенсивностью землетрясений по шкале MSK-64 [82], I в баллах на поверхности [82]

Расчет устойчивости отвала вскрышных пород с учетом сейсмического воздействия на основе псевдостатического анализа были проведены для 7 и 8 большого землетрясения. Результатами оценки устойчивости отвала по методу

Моргенштерн и Прайса приведена на Рисунок 3.15 Рисунок 3.16. [34, 116, 117, 118]

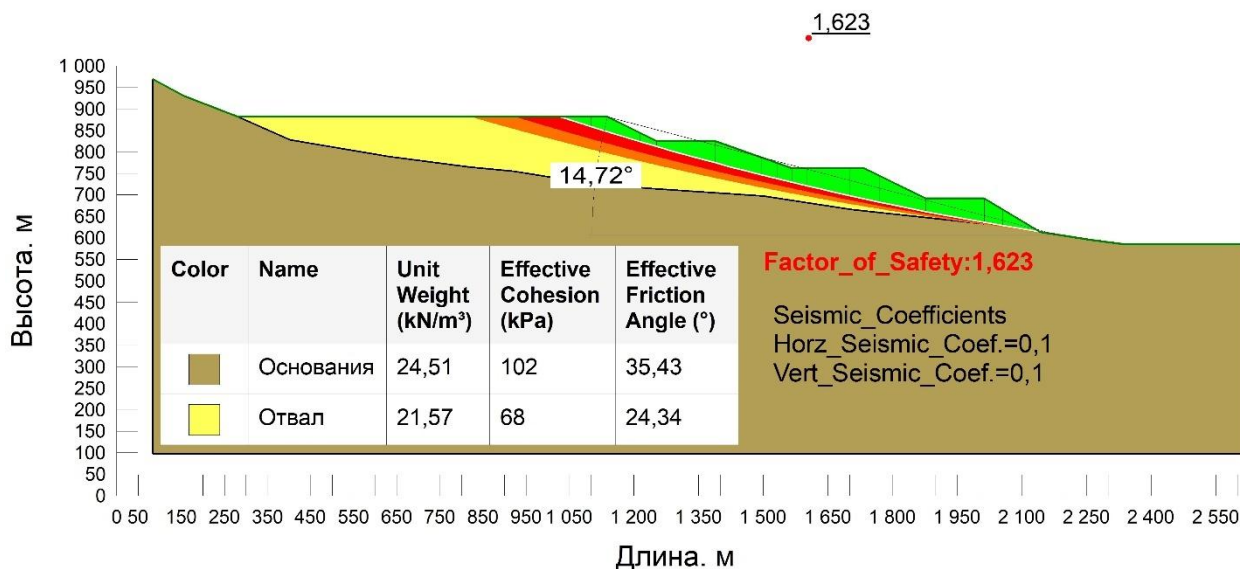


Рисунок 3.15. Результат расчета по оценке коэффициента запаса устойчивости, сейсмического воздействия 7 баллов=0,1g.

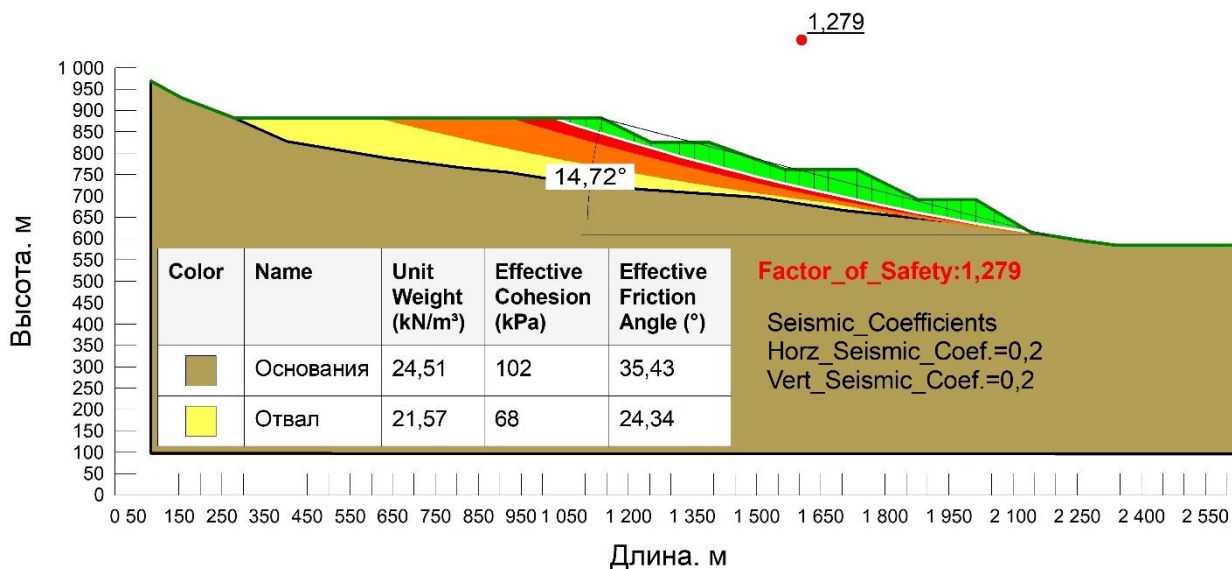


Рисунок 3.16. Результат расчета по оценке коэффициента запаса устойчивости, сейсмического воздействия 8 баллов=0,2g.

Расчет устойчивости отвала вскрышных пород с учетом сейсмических ускорений показал, что отвал устойчив, с значениями $K_u=1,6$ на Рисунок 3.15, а значениями $K_u=1,3$ не устойчив на Рисунок 3.16. [119, 120, 121, 122].

Таблица значений по оценке коэффициента запаса устойчивости и введенные свойства по трем значениям, на всех трех расчетах использовались одинаковые условия по физико-механическим свойствам Таблица 3.2

Таблица 3.2.

балл	Сейсмическое ускорение, g	Значение коэффициента устойчивости
Без сеймики		$K_u - 2,33$
7	0,1	$K_c - 1,62$
8	0,2	$K_c - 1,28$

Горизонтальные инерционные сейсмические силы могут оказывать существенное влияние на устойчивость склона. Даже относительно малые сейсмические коэффициенты могут значительно снизить коэффициент безопасности, и если коэффициенты слишком велики, становится невозможным получить сходящееся решение. Следовательно, хорошей практикой является постепенное применение сейсмических воздействий, чтобы получить представление о чувствительности коэффициента безопасности к этому параметру. Часто бывает полезно создать график, подобный приведенному на Рисунок 3.17. По мере увеличения сейсмического коэффициента должно происходить плавное постепенное снижение коэффициента безопасности. [78]

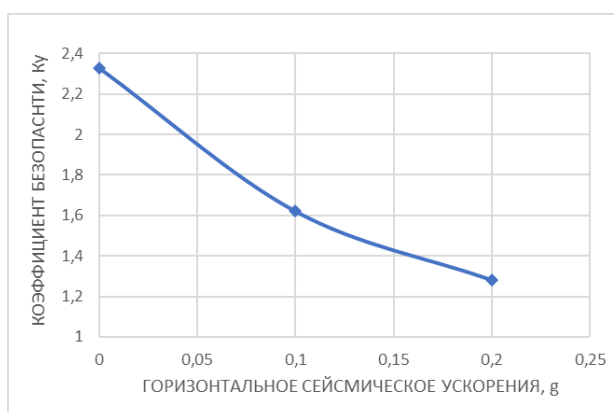


Рисунок 3.17. Коэффициент безопасности в зависимости от горизонтального сейсмического коэффициента.

3.3 Выводы по главе

1. Произведены расчеты основания под отвал
2. Проведено теоретическое обоснование оценки устойчивости породных отвалов на склоне.
3. Программный комплекс GeoStudio SLOPE/W предназначено для анализа практически любой проблемы с устойчивостью, отвалов и скальных склонов, строительства и выемки грунта, плотин и дамб, рабочих бортов карьеров, дамб хвостохранилищ и многого другого на широком спектре проектов.
4. Разработана методика оценки устойчивости горных отвалов с учетом сейсмичности региона и физико-механических свойства как отвала, так и его основания, и несущую способность основания для рационального отвалооброзования вскрышных пород.
5. Обосновано цифровая трехмерная модель отвалов вскрышных пород, учитывающая рельеф местности, геометрические параметры. Трехмерная модель позволяет изучить многие свойства объекта и максимально точно определить недочеты в проектировании и наглядно показывает преимущества реализуемого 3D-модели проектируемого отвала.
6. Построено цифровой топографический план исследуемого участка из 3D-модели, масштабе 1:5000. Дает дополнительные возможности при изучении отвалов и возведении контуров отвала в цифровом или бумажных носителях.

4. ГЛАВА. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ДЖЕРУЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

4.1 Оценка устойчивости породных отвалов месторождении Джеруй

Одним из высокогорных месторождений это рудник Джеруй находится в северо-западной части Кыргызской Республики, в верховье Таласской долины, на северном склоне одноименного хребта. Координаты: 42017' северной широты, 72014' восточной долготы.

Месторождение расположено на территории Таласского района, Таласской области. с. Караой, до месторождения 23 км. по грунтовой дороге. Связь с г. Бишкек через перевал Отмек с выходом на автомагистраль Бишкек-Ош (320 км). Рисунок 4.1., обзорный план размещения карьера и отвалов Рисунок 4.2.

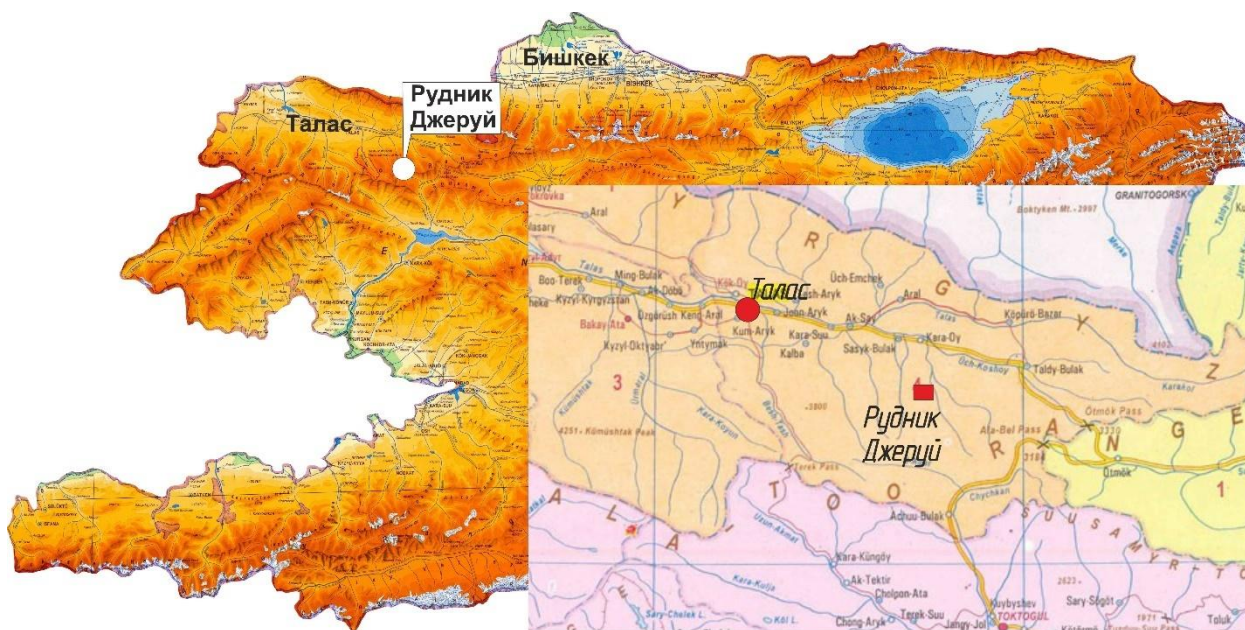


Рисунок 4.1. Обзорная карта района месторождения Джеруй.

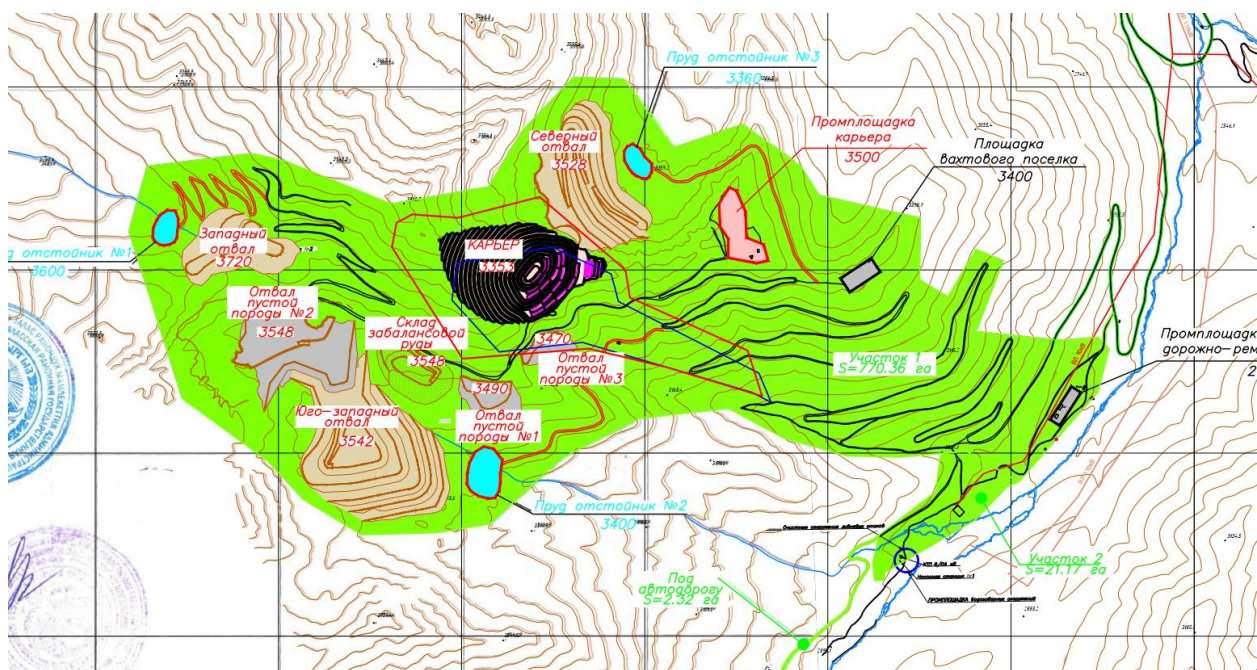


Рисунок 4.2. Обзорный план размещения карьера и отвалов месторождения Джеруй.

Рельеф района месторождения высокогорный, резко расчлененный, абсолютные отметки над уровнем моря колеблются от 2700 до 4138 м, относительные превышения высот достигают 600-800 м.

Месторождение Джеруй расположено на левом борту долины р. Джеруй и охватывает гребень и склон южной экспозиции небольшого вытянутого хребта, частично спускаясь на его северный склон. Северный скалистый склон хребта круто, под углами до 50-55°, обрывается в депрессию древнего цирка, а более пологий южный спускается в сай Чолок-Тор.

Абсолютная высота нижней части выхода месторождения на поверхность 3390 м, верхней - 3710 м.

По данным института «КиргизГГИИЗ», площадь района месторождения характеризуется следующими климатическими показателями:

- Среднегодовая температура воздуха, °С /-4,2/
- Продолжительность отопительного периода, дней - 330
- Средняя годовая сумма осадков – 750 мм
- Среднегодовая величина давления воздуха, Мб – 635,8
- Вечная мерзлота располагается на высотах более 3000 м

- Глубина проникновения нулевой изотермы, м – 3,20. [119]

Сейсмичность

В соответствии с «Картой сейсмического районирования Кыргызской Республики» месторождение располагается в сейсмогенерирующей зоне с магнитудой 9 по шкале Рихтера. [80, Приложение В, Г, И.]

Южнее месторождения проходит региональный Ичкелетау-Суусамырский разлом свыше 9 баллов. В его зоне в 1992 году произошло сильное землетрясение с магнитудой 7,3. Эпицентр землетрясения находился в 60-70 км к востоку от месторождения.

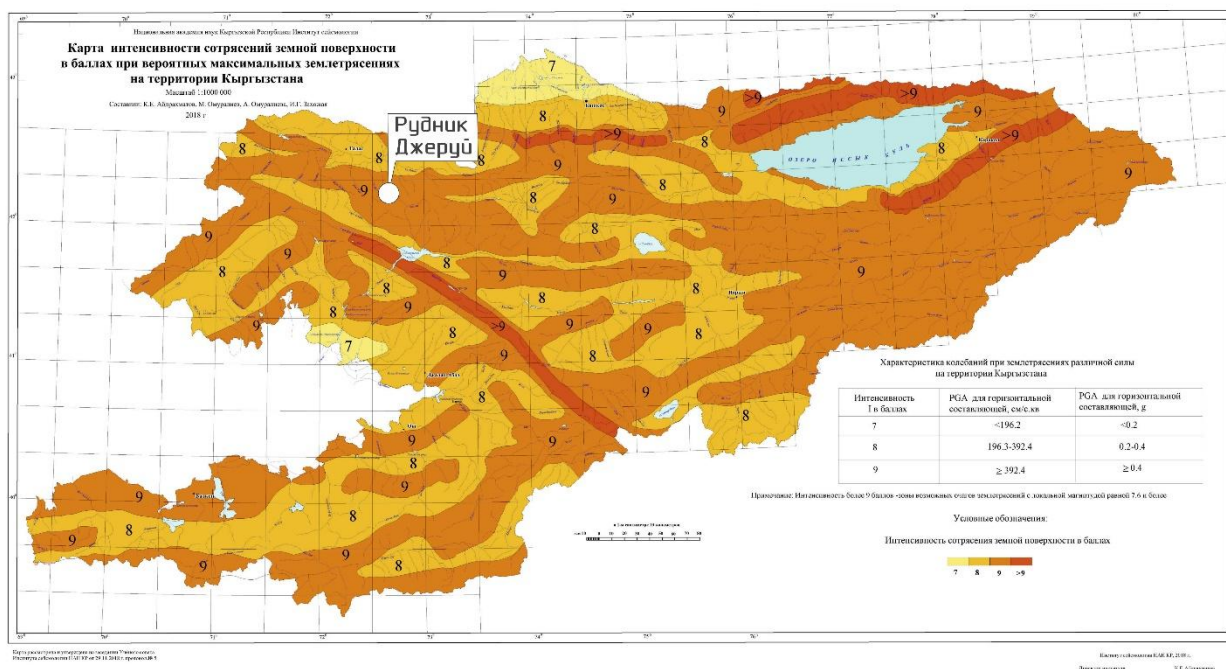


Рисунок 4.3. Карта Кыргызстана землетрясений в баллах с отметкой рудника Джеруй

Тектоника

Особенностью тектонической структуры месторождения, как уже отмечалось, является его близость к зоне регионального Ичкелетау-Суусамырского разлома северо-западного направления. Непосредственно на южной границе месторождения располагается Широтный разлом, являющийся северной ветвью Ичкелетау-Суусамырского разлома. Зона этого молодого разлома имеет падение к северу под углами 40-80°. На месторождении откартирован пучок расходящихся с юго-востока на северо-запад разломов, названных геологами-разведчиками Рисунок 4.4.

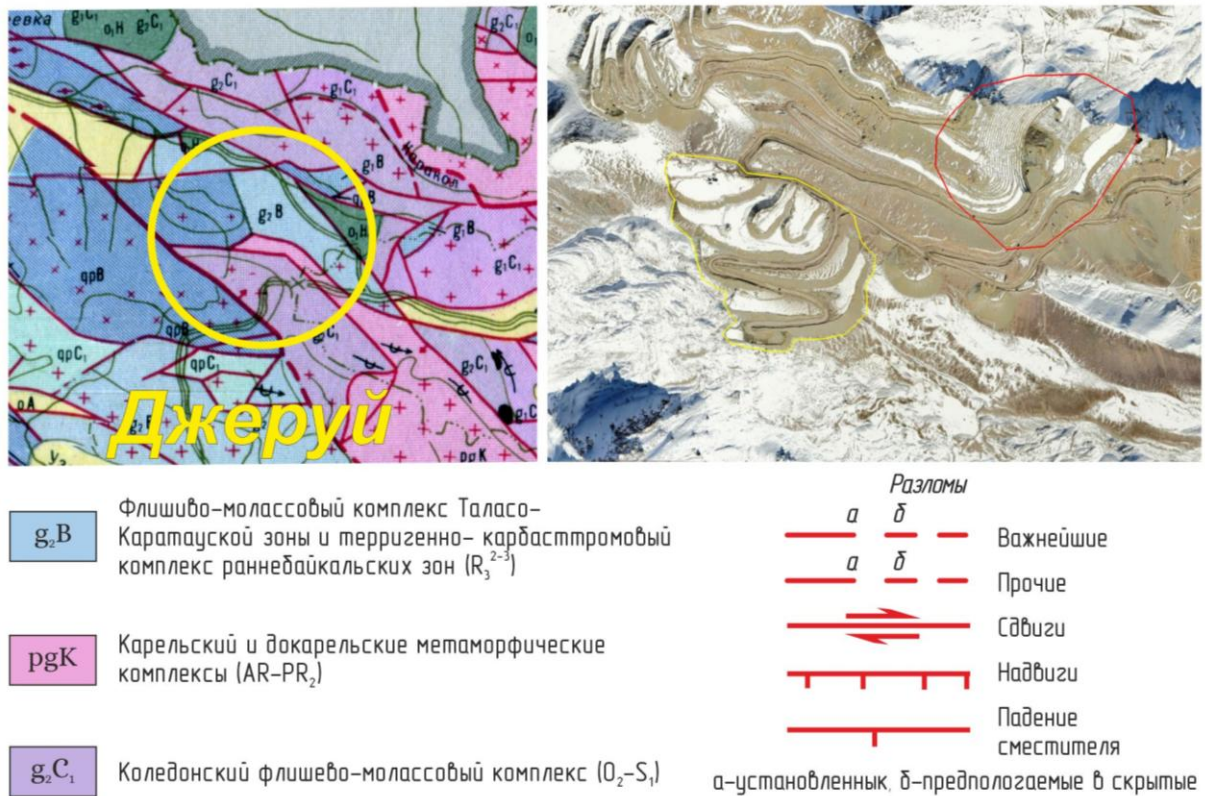


Рисунок 4.4. Тектоническая карта и космоснимок месторождения

Главным рудоконтролирующим разломом. Падение как собственно шва разлома в юго-восточной части месторождения, так и его ветвей, расходящихся к северо-западу, северо-восточное под углами 50°-85°, вплоть до вертикального. Простираение отдельных разломов колеблется от 290° до 320°.

В зонах разломов данной серии породы передроблены, местами перетерты до глины. Мощность таких зон - первые метры до 5 м.

Главный рудоконтролирующий разлом - долгоживущая структура, возникшая до рудоотложения и обновленная в альпийское время.

В современной структуре эти разломы картируются как самые молодые, ограничивающие разломы других направлений.

В центральной части Северо-Западного участка рассматриваемые разломы образуют от 5 до 10 основных ветвей с расстояниями между ветвями 30-80м. Каждая ветвь — это не один линейный разлом, а, как правило, серия параллельных нарушений шириной до 20-30 м.

Разломы субмеридионального простирания с падением к западу и юго-западу являются второй по распространенности системой тектонических нарушений. Часть из них также долгоживущие: сформировались в дорудный этап, контролируют размещение даек кварцевых порфиров и большей части рудных жил и прожилков. Обновленные структуры имеют крутое западное и юго-западное падение нередко они проходят по контактам дайковых тел.

Протяженность разломов данной серии меньше, чем северо-западных. Небольшие размеры они имеют и по падению: в большинстве случаев они не прослеживаются на нескольких разведочных горизонтах.

Третья распространенная на месторождении система разломов имеет субширотное простирание. Иногда эти разломы представляют собой структуры, оперяющие разломы первой, северо-западной группы.

Смещения по разломам различного направления обычно не более первых метров. В этом отношении их наличие не усложнит систему отработки рудных тел. [123] Рисунок 4.5

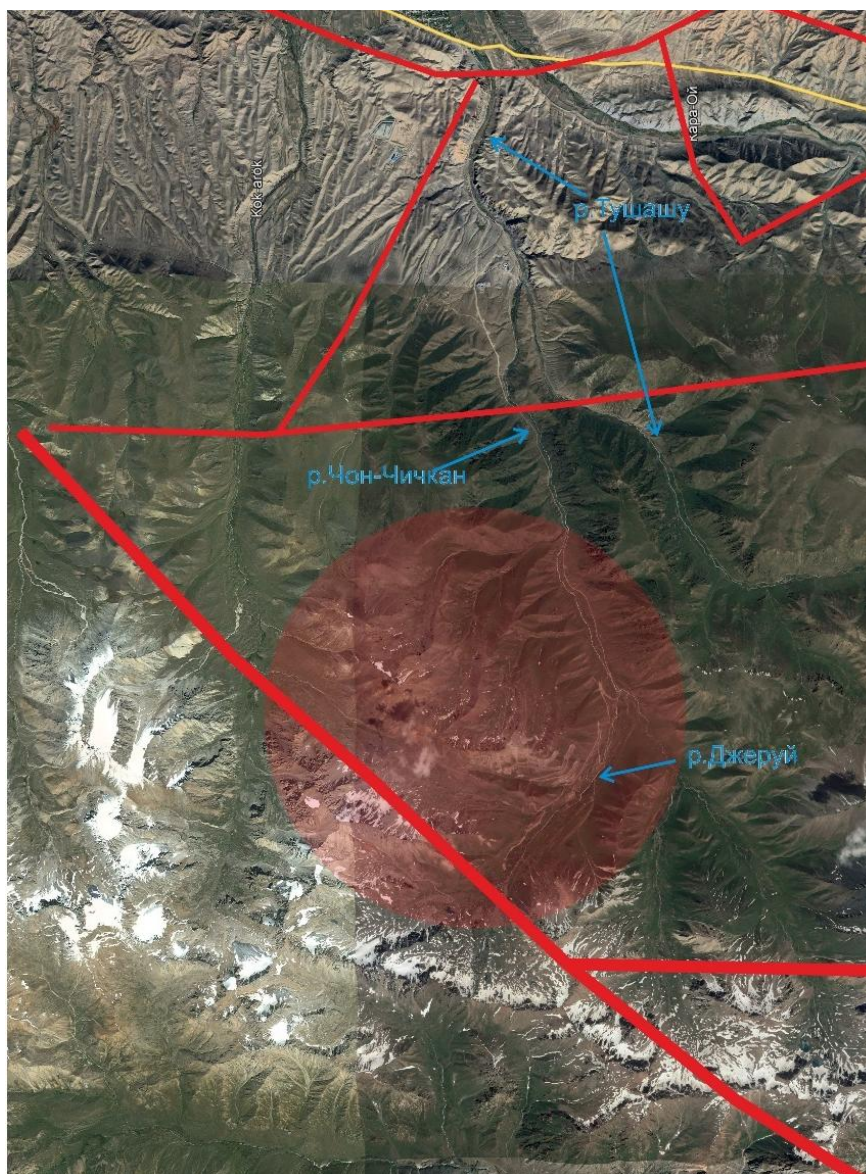


Рисунок 4.5. Тектонические нарушения контуром красной линии нанесены на космоснимок.

4.2 Геологическое строение и характеристика месторождения Джеруй.

Золоторудное месторождение Джеруй было открыто в 1969 году при поисково-съёмочных работах масштаба 1:50 000. В 1973-1976 гг. на месторождении проводились детальные поиски и поисково-оценочные работы, которые определили его значительные перспективы. В 1977-1984 гг. проводились разведочные работы. В 1979 году были детально разведаны верхние горизонты основного Северо-Западного участка, подготовлен отчет и по нему в 1980 году утверждены запасы в ГКЗ СССР. Параллельно с

предварительной и детальной разведкой Северо-Западного участка к 1980 году получили оценку участки Центральный и Юго-Восточный.

В 1980-1984 гг. проведена вторая очередь детальной разведки: разведаны глубокие горизонты Северо-Западного участка, а также Юго-Восточный участок и Южный штокверк участка Восточный фланг. По результатам разведки второй очереди составлен отчет и в 1984 году, запасы утверждены ГКЗ СССР. [85]

Геологическое строение месторождения

В геологическом строении месторождения из стратифицированных отложений принимают участие породы рифея, осадочно-вулканогенные отложения ордовика, девон-нижнекарбоновые и рыхлые отложения четвертичного периода (черт.№1).

Около 60% площади принадлежит интрузивным породам, 20-25% - осадочно-вулканогенно-метаморфическим, остальные – рыхлым четвертичным отложениям.

Отложения ортоауской свиты на площади месторождения представлены средней подсвитой (E_{20g_2}) и сложены переслаиванием парагнейсов и гнейсовидных роговиков, среди которых в нижних и верхних частях разреза значительное место занимают слои и пачки мраморов и доломитов.

Отложения ортоауской свиты собраны в сжатые изоклиналильные складки с наклоном осевых плоскостей к северу под углами от 400 до 700. Ортоауская свита (E_{20g_2}) вмещает золотое оруденение месторождения Джеруй.

Суусамырская свита ($O_{2,S}$) представлена сильно перемятой зеленокаменной толщей, в составе которой туфы андезитовых порфиритов переслаиваются с прослоями туффитов, известковистых туфов и яшмовидных кремней.

Породы ирибулакской свиты ($D_3 - C_{1ti}$) установлены в шовном гребне Ичкелетау – Суусамырского разлома, несогласно перекрывают отложения

суусамырской свиты. Они представлены переслаиванием малиновых сланцев и алевролитов с редкими прослоями сине – зеленых туфов основного состава.

Отложения суусамырской и ирибулакской свит в шовном грабене Ичкелетау – Суусамырского разлома менее дислоцированы.

В них преобладает южное падение слоев под углами $40^{\circ} - 50^{\circ}$, участками усложненное флексуроподобными складками.

В отложениях суусамырской и ирибулакской свит отмечаются явные признаки золотого оруденения.

Четвертичные отложения (Q) широко распространены, занимая более 20% площади района, и представлены всеми отделами четвертичного периода: рыхлыми грунтами морен, делювия, пролювия, осыпей. Из моренных отложений наиболее распространены грунты щебнисто-глыбовые с пылевато-суглинистым заполнителем.

Магматические породы (E₃). Северная приконтактовая зона Чичкано-Колбинского батолита - непосредственно в пределах месторождения представлена диоритами, кварцевыми диоритами, монцонитами и диорито-сиенитами.

Разнообразные дайковые породы на площади месторождения рассматриваются как дериваты Чичкано-Колбинского батолита. Они прорывают кварцевые-диориты и породы ортотауской свиты и не встречены в отложениях шовного грабена. Дайки представлены аплитами, кварцевыми порфиритами, спессартитами $\lambda\beta$ (E-O) и диабазовыми порфиритами ($\pi\beta$ D₂₋₃).

Наиболее распространенными среди них являются аплиты. Простираение даек субмеридиональное, падение крутое ($70^{\circ} - 80^{\circ}$), западное.

Основной разрывной структурой месторождения является Ичкелитау-Суусамырский региональный парный разлом, ограничивающий распространение золотого оруденения к югу. По геофизическим данным разлом четко прослеживается по интенсивной гравитационной ступени и минимуму магнитного поля. В непосредственной близости от месторождения Ичкелитау-Суусамырский разлом меняет направление с северо-западного на

субширотное, делая при этом значительный изгиб. В зоне влияния этого изгиба отмечается развитие оперяющих трещин северо-западного, меридионального и северо-восточного направлений, контролирующих размещение основных рудных залежей и их морфологию. Другим крупным разрывом на месторождении (так же в южной его части) является Широтный разлом, который рвет и смещает зону Северо – Ичкелетауского разлома. Амплитуда смещения в плане составляет 400 – 500 м, в разрезе - около 150 – 200 м; опущен южный блок. Нарушение в виде четкой мощной (до 10-20 м) зоны дробления прослежено более чем на 3 км в строго широтном направлении. Его осевая поверхность довольно извилиста и падает на север под углами от 40° до $70^\circ - 80^\circ$

Из северо-западных структур отметим Главный разлом с азимутом простирания $290-300^\circ$ и крутым ($80-85^\circ$) северным падением. Разлом контролирует все основные рудные участки месторождения, образуя широкую зону дробления. Значительными по протяжению (сотни метров). К ним относится мощная меридиональная зона даек, ограничивающая месторождение с востока. Падение меридиональных нарушений западное под углами $70^\circ - 80^\circ$. Рисунок 4.6. [85]

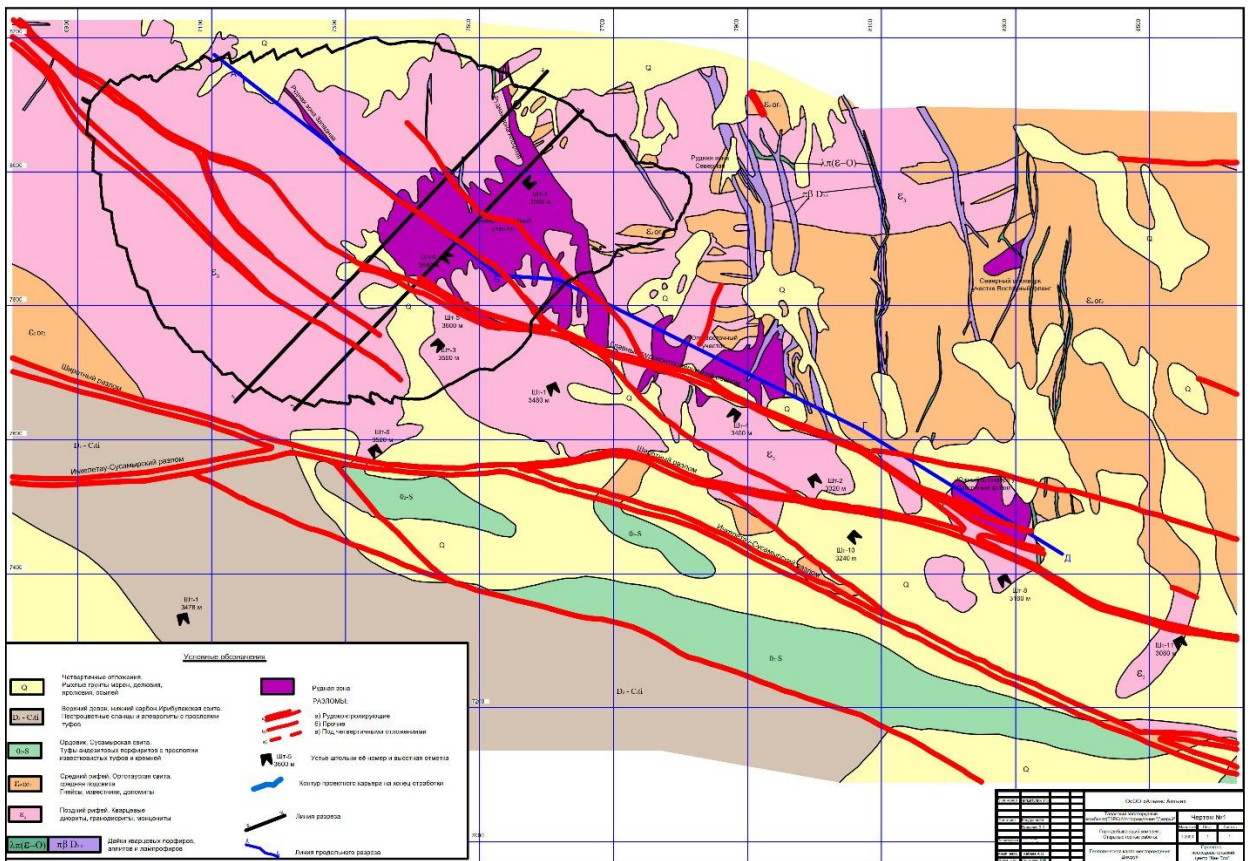


Рисунок 4.6. Геологическое строение месторождения.

Гидрогеологические условия месторождения

По гидрогеологическому районированию Кыргызстана месторождение Джеруй относится к бассейну рек Чу-Талас, Таласскому под региону. Южная часть территории (горное обрамление Таласской впадины) представляет собой

гидрогеологический массив, северная часть - межгорный артезианский бассейн первой группы (Таласский южный).

Климат Таласского района континентальный. Среднегодовая температура воздуха - 4.1°C, годовое количество осадков 750 мм.

Гидрогеологическая обстановка на площади проведения работ складывалась из совокупности геолого-литологических, структурных и климатических факторов. При разведке верхних горизонтов месторождения, с 1976 года проводились режимные наблюдения за поверхностными водами, притокам подземных вод к горным выработкам. Несмотря на значительную протяженность стволов штолен и горных выработок из них, водопритоки к ним измерялись единицами л/сек, не превышая 20 м³/час. Ствол штольни 5 (горизонт 3600 м) и все выработки из нее сухие. Безводной также оказалась штольня 6 (горизонт 3520 м).

Основной водной артерией в районе месторождения является р. Джеруй, расход которой колеблется от 0,6 до 4,5 м³/с.

В целом по месторождению водопритоки к горным выработкам незначительные. Единовременных прорывов подземных вод в горные выработки в процессе их проходки не наблюдалось, что свидетельствует об отсутствии скоплений больших масс воды в зоне разломов. Суммарные водопритоки к существующим подземным горным выработкам не превышали 2.0 л/с при общей протяжённости горных выработок более 10000 м, т.е - тысячные и десятитысячные доли л/с на 1 м проходки. Таким образом, водопристок подземных вод будет незначительным. [124].

Исходя из вышеизложенного, гидрогеологические условия на верхних и нижних горизонтах месторождения классифицированы как простые.

Общая характеристика пород

Горные породы месторождения представлены следующими разновидностями:

1. Крепкие устойчивые слабо трещиноватые интрузивные породы, не затронутые метасоматозом.
2. Гнейсы, роговики, метаморфизованные карбонатные породы, обычно крепкие и средней крепости. Они имеют различную прочность, которая зависит от первичного состава и от степени ороговикования.
3. Метасоматически преобразованные породы рудной зоны. Они менее устойчивы, чем неизмененные породы, главным образом, по причине интенсивной трещиноватости.
4. Неустойчивые породы зон дробления как вдоль отдельных разломов (зона «Главного рудоконтролирующего разлома»), так и в участках их сочленения или сближения. Наименее устойчивы породы зон расщепления с глинками трения.
5. Рыхлые грунты морен, делювия, пролювия, осыпей.
6. Из моренных отложений наиболее распространены грунты щебенисто-глыбовые с пылевато-суглинистым заполнителем. Делювиальные и пролювиальные отложения щебенистые с глыбами, заполнитель суглинистый. Широко развиты щебнистые и глыбовые незакрепленные отложения осыпей.
7. Выше отметки 3000 м развита вечная мерзлота. [124, 2. Общая часть, Раздел 2. 12-30 стр., <https://www.alliance-altyn.kg/ustoychivoerazviti/ovos/>]

Определение физико-механических свойств отсыпаемых горных пород в отвал «Южный».

Отбор 10 проб для изучения физико-механических свойств представлен на карте Рисунок 4.7.

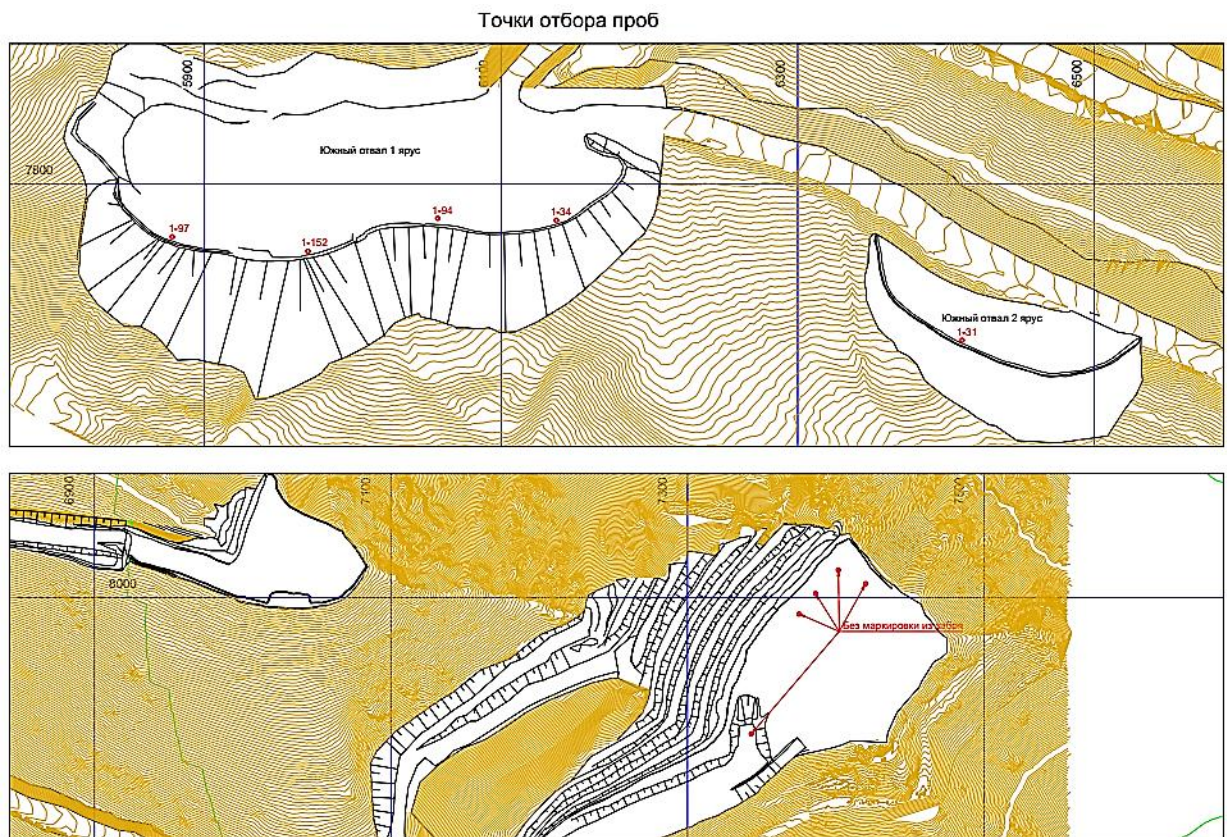












Рисунок 4.7. Места отбора проб горных пород на момент формирования отвала Южный. (Красными точками указаны место отбора проб)

Определение физико-механических свойств горных пород отвала «Южный» месторождения «Джеруй» производилось в лабораторных условиях согласно межгосударственным стандартам:

1. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Дата издания 08.02.2016, 20с.
2. ГОСТ 20522-96 Межгосударственный стандарт. Методы статистической обработки результатов испытаний Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС).
3. ГОСТ 21153.1-75 Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодюконову (с Изменением N 1). Дата введения 1976-07-01
4. ГОСТ 25100-11. Грунты. Классификация. –М.: Изд-во стандартов, Межгосударственный стандарт введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2013 г.
5. Предоставленные образцы пород отвала «Южный»

№ п/п	Место отбора	Фотографии отобранных проб	№ п/п	Место отбора	Фотографии отобранных проб
1	3824-1-31		2	3824-1-34	
3	3824-1-94		4	3824-1-97	
5	3824-1-152		6	1	
7	2		8	3	
9	4		10	5	

В лабораторных условиях были определены следующие свойства согласно техническому заданию:

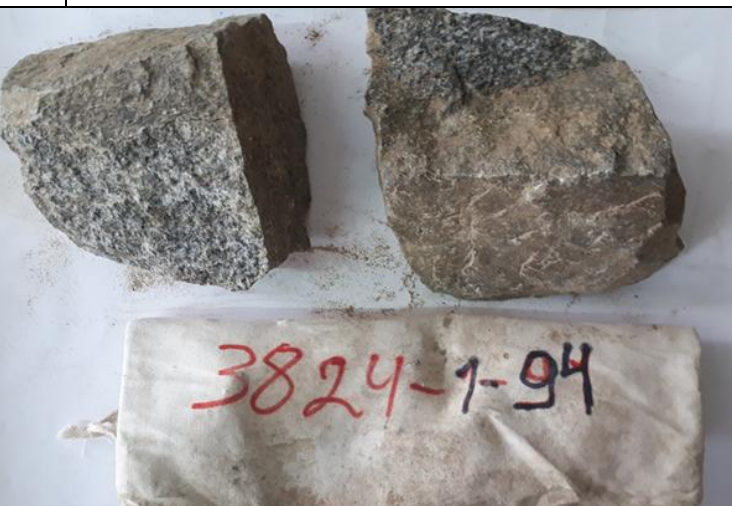
- Предел прочности при растяжении
- Предел прочности при сжатии
- Угол внутреннего трения
- Сцепление

Средние значения полученных результатов приведены в Таблица 4.1.


Результаты тестирования физико-механических свойств вскрышных пород в отвале «Южный»

Место отбора	3824-1-31		
			
Наименование	макс.	мин.	сред.
Объемный вес γ , кг/м ³	2805,31	2772,73	2793,98
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	6,09	3,07	4,69
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	128,06	64,56	98,60
Угол внутреннего трения ϕ , град	40,03		
Сцепление C , МПа	13,97	7,04	10,76


Место отбора	3824-1-34		
			
Наименование	макс.	мин.	сред.
Объемный вес γ , кг/м ³	2731,71	2701,15	2720,10
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	8,51	1,98	5,77
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	178,90	41,76	121,27
Угол внутреннего трения ϕ , град	41,00		
Сцепление C, МПа	19,52	4,56	13,23

Место отбора	3824-1-94		
			
Наименование	макс.	мин.	сред.
Объемный вес γ , кг/м ³	2824,74	2773,44	2793,66
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	6,31	5,01	5,94
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	132,69	105,26	124,75
Угол внутреннего трения ϕ , град	41,00		
Сцепление C, МПа	14,48	11,49	13,61

Место отбора	3824-1-97		
			
Наименование	макс.	мин.	сред.
Объемный вес γ , кг/м ³	2842,42	2816,18	2823,88
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_p \sigma_{сж}$, МПа	10,26	3,98	6,97
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	215,64	83,60	146,53
Угол внутреннего трения ϕ , град	42,75		
Сцепление C , МПа	23,53	9,12	15,99

Место отбора	3824-1-152		
			
Наименование	макс.	мин.	сред.

Объемный вес γ , кг/м ³	2854,17	2787,88	2815,41
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	9,42	4,98	6,59
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	197,95	104,74	138,58
Угол внутреннего трения ϕ , град	41,36		
Сцепление C, МПа	21,60	11,43	15,12

Место отбора	1		
			
Наименование	макс.	мин.	сред.
Объемный вес γ , кг/м ³	2769,23	2732,03	2751,33
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	9,03	4,72	6,36
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	189,71	99,31	133,71
Угол внутреннего трения ϕ , град	41,27		
Сцепление C, МПа	20,70	10,84	14,59
Место отбора	2		




Наименование	макс.	мин.	сред.
Объемный вес γ , кг/м ³	2813,56	2770,37	2796,06
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	9,92	6,72	8,51
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	208,33	141,30	178,79
Угол внутреннего трения ϕ , град	43,01		
Сцепление C , МПа	22,73	15,42	19,51

Место отбора	3
--------------	---



Наименование	макс.	мин.	сред.
--------------	-------	------	-------

Объемный вес γ , кг/м ³	2816,67	2772,73	2792,84
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	8,01	3,15	5,88
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	168,33	66,32	123,49
Угол внутреннего трения ϕ , град	41,00		
Сцепление С, МПа	18,37	7,24	13,47

Место отбора	4		
			
Наименование	макс.	мин.	сред.
Объемный вес γ , кг/м ³	2816,09	2754,39	2784,91
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	9,86	4,99	7,85
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	207,10	104,87	165,04
Угол внутреннего трения ϕ , град	42,82		
Сцепление С, МПа	22,60	11,44	18,01


Место отбора	5		
			
Наименование	макс.	мин.	сред.
Объемный вес γ , кг/м ³	2849,32	2832,40	2837,80
Определение предела прочности на растяжение $\sigma_r \sigma_{сж}$, МПа	11,87	6,56	8,39
Определение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж} \sigma_{сж}$, МПа	249,40	137,82	176,36
Угол внутреннего трения ϕ , град	43,00		
Сцепление C , МПа	27,21	15,04	19,24

Таблица 4.1. Сводная таблица физико-механических свойств пород в воздушно-сухом состоянии

№ проб	Место отбора	Объемный вес γ_0, кг/м³	Предел прочности при растяжении и σ_r, МПа	Предел прочност и при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Угол внутреннего трения ϕ, град	Сцепление C, МПа
1	3824-1-31	2793,98	4,69	98,60	40,03	10,76
2	3824-1-34	2720,10	5,77	121,27	41,00	13,23
3	3824-1-94	2793,66	5,91	124,75	41,00	13,61
4	3824-1-97	2823,88	6,97	146,53	42,75	15,99

5	3824-1-152	2815,41	6,59	138,58	41,36	15,12
6	1	2751,33	6,36	133,71	41,27	14,59
7	2	2796,06	8,51	178,79	43,01	19,51
8	3	2792,84	5,88	123,49	41,00	13,47
9	4	2784,91	7,85	165,04	42,82	18,01
10	5	2837,80	8,39	176,39	43,00	19,24

1. В результате полученных лабораторных данных выявлено, что для представленных пород отвала «Южный» предел прочности при сжатии в куске в среднем составляет от $\sigma_{сж}=64,65$ МПа до $\sigma_{сж}=178,79$ МПа.

2. Сцепление пород в куске составляет от $C=7,04$ МПа до $C=19,51$ МПа. Угол внутреннего трения в среднем для пород отвала составляет $\varphi=41,720$.

В расчетах коэффициента устойчивости использованы свойства пород, приведенные ниже.

Для свойств основания: угол внутреннего трения равен $24,46^{\circ}$; сцепление равна $1,63$ МПа, плотность равна 2769 кг/м³ (насыпной вес 2100 кг/м³).

Свойства отсыпаемых вскрышных пород, следующие: угол внутреннего трения равен $35,43^{\circ}$; сцепление равна $0,72$ МПа, плотность равна 2769 кг/м³ (насыпной вес 1700 кг/м³).

4.3 Расчет и оценка устойчивости основания под отвалы.

Обзорная карта (схему) размещения отвалов с нанесенными согласованными сечениями и соответствующими разрезами (Рисунок 4.8).

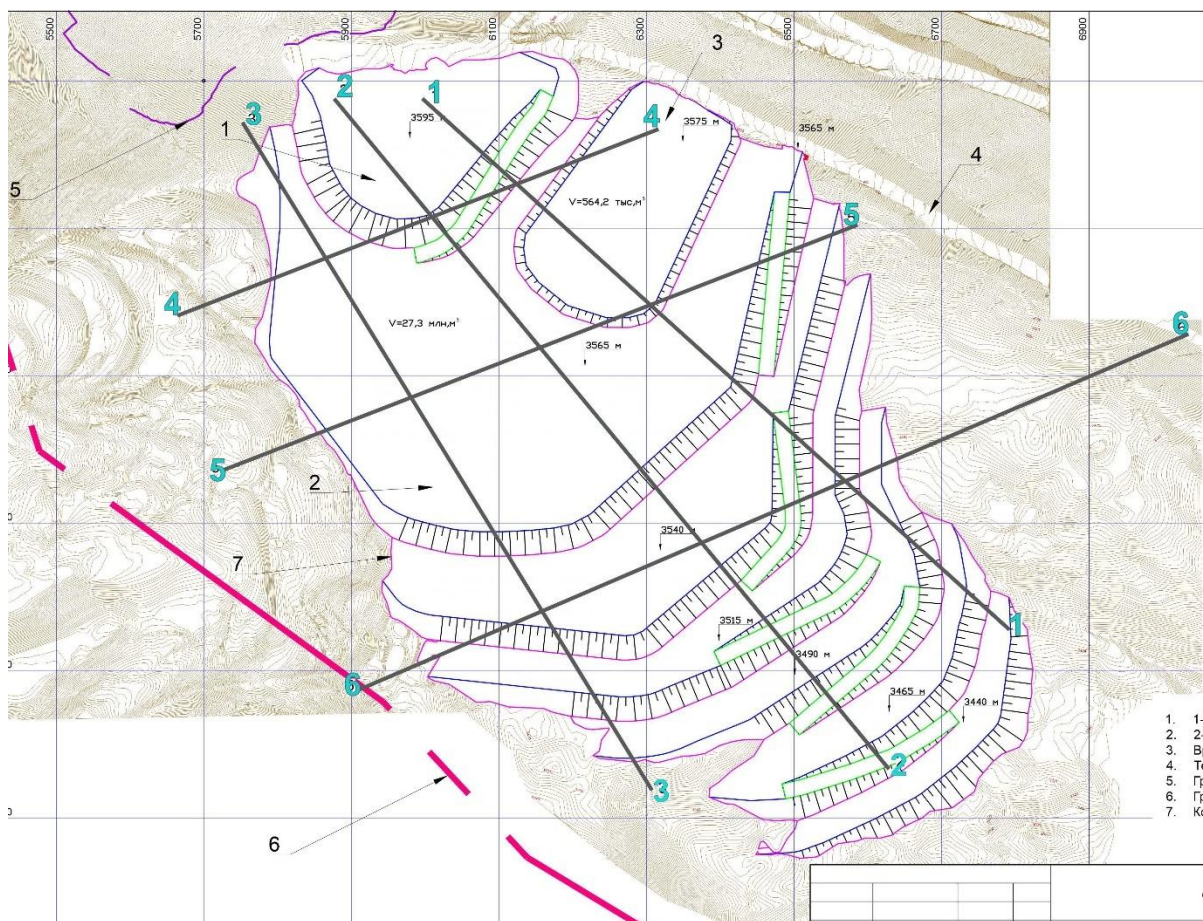


Рисунок 4.8. Схема размещения отвалов вскрышных пород и нанесенными линиями разрезов на месторождении Джеруй.

Основными породами основания под отвалы являются щебенистые грунты с песчано-глинистым заполнителем, с включением льдистости до 20% в пределах высотных отметок 3673-3449. Мощность этих отложений в пределах минимальная 2м максимальная 30 м Крутизна склонов, на которых планируется вести отвалообразование, минимальная 5^0 , максимальная 20^0 .

В целях обеспечения безопасности работ при формировании отвалов, необходимо определить несущую способность основания под отвалы. Несущую способность основания определяли для общего веса отвала без разделения на ярусы. В Таблица 4.2.

Таблица 4.2. Приведены результаты оценки давления отвала на основание.

Объект	Давление отвала на основание F, МПа
Склад руды низкого содержания	37,90

Склад забалансовой руды	41,20
отвал Западный	52,12
отвал Южный	74,29
отвал Северный	58,924

Согласно [125] расчетное сопротивление щебенистых и дресвяных грунтов основания по отвал составляет 60 МПа. В связи с этим для отвала Южный следует на выбранном участке склона увеличить площадь основания.

Коэффициент устойчивости грунтов на склоне рассчитывали по соотношению удерживающих и сдвигающих сил Критерием устойчивости щебенистых отложений, согласно залегающих на прочных породах склона, принято значение коэффициента устойчивости равным 1,3. Результаты расчета устойчивости отвалов на месторождении Джеруй, показаны в Таблица 4.3.

Как следует из полученных результатов (Таблица 4.2, Таблица 4.3) на склонах крутизной 20⁰ грунты основания под отвал на склоне находятся в состоянии предельного равновесия.

Несущая способность под отвал Южный не соответствует требованиям СНИП и необходимо провести расчеты параметров и устойчивости этого отвала.

Таблица 4.3. Результаты расчета устойчивости отвалов на месторождении Джеруй.

Номер на схеме	Объект	Площадь, отводимая под отвал м ³	Угол склона, град	Коэффициент устойчивости
1.2	склад руды низкого содержания	140484	17	1,52
1.3	склад забалансовой руды	118675	11	2,39
1.4	отвал Западный			
	сечение 6	296398	20	1,28
1.5	отвал Южный			

	сечение 11	65815	20	1,28
1.6	отвал "Северный"			
	сечение 1	501796	19	1,27
	сечение 2		15	1,74
	сечение 3		15	1,74

Общая характеристика отвал пустой породы «Южный»

Отвал «Южный» расположен на участке Южный, месторождении Джеруй расположены с юго-западной стороны карьера в радиусе от 0,1 до 0,9 км. Рисунок 4.9. Отвал планируется разместить на площади 750000м². Общий объем отгружаемых в отвал пород составит 24,129 млн. м³, Вид сверху Рисунок 4.10. Проектная емкость отвала 27,3 млн. м³.

Отвал пустой породы «Южный» также предназначен для складирования пустой породы, поступающей от ведения вскрышных работ в карьере и сооружения технологических дорог.

Работы по отсыпке пустых пород в данный отвал предусматриваются в 2-7 год отработки карьера.

Проектные параметры отвала «Южный» на конец формирования приведены в Таблица 4.4.

Таблица 4.4. Отвал пустой породы «Южный».

№	Наименование показателей	Ед. изм.	Показатель
1	Тип породы	скальные	
2	Коэффициент разрыхления	ед.	1,5
3	Общий объем вскрышных пород (в массиве), размещаемый в отвале	млн. м ³	16,0
4	Общий объем вскрышных пород (с учетом коэффициента разрыхления), размещаемый в отвале	млн. м ³	24,1
5	Проектная емкость отвала	млн. м ³	27,3

6	Процент запаса проектной емкости отвала	процент	10
7	Высота первого яруса	м	40
8	Высота второго яруса	м	50
9	Высота третьего яруса	м	25
10	Высота четвертого яруса	м	25
11	Максимальная высота яруса	м	50
12	Количество ярусов	ед.	4
13	Угол естественного откоса яруса	град.	33-34
14	Общая высота отвала	м	141
15	Площадь основания отвала	тыс. м ²	623,7
16	Средний угол падения рельефа под отвалом	град.	7
17	Ширина транспортной бермы	м	Не менее 20



Рисунок 4.9. Общий вид отвала Южный (дата съемки 24.10.2023г).

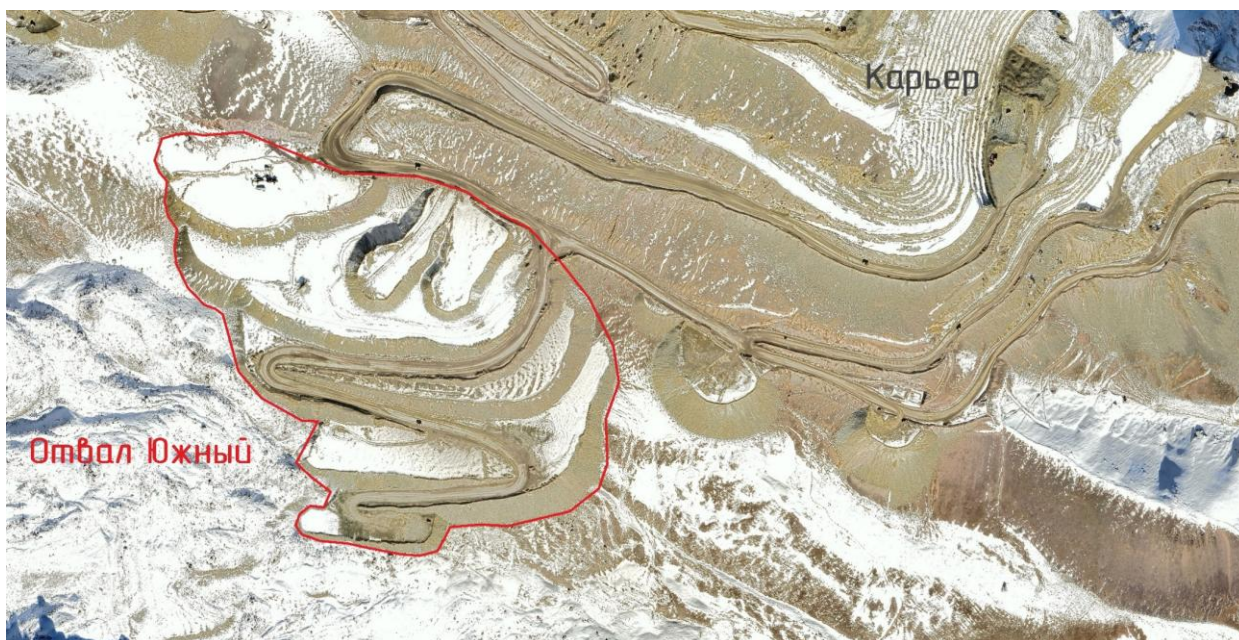


Рисунок 4.10. Космоснимок отвала Южный.

4.4 Расчет устойчивости отвала «Южный» месторождения Джеруй.

Расчет и оценку устойчивости производили по шести сечениям, согласованными с заказчиком. Сечения 1-3 продольные выделены в центральной части отвала, сечения 4-6 - поперечные. Профили отвала по расчетным сечениям с проектными геометрическими параметрами показаны на Рисунок 4.11.

Учет в расчетах устойчивости откосов сейсмического воздействия

С учетом приведенных сведений о влиянии сейсмичности на устойчивость отвала и выполненных расчетов, получено, что при землетрясении 7-8 баллов значение коэффициента устойчивости снижается на 35-60% Таблица 4.6. По мере увеличения сейсмического коэффициента должно происходить плавное постепенное снижение коэффициента безопасности Рисунок 4.18. [78, 80]

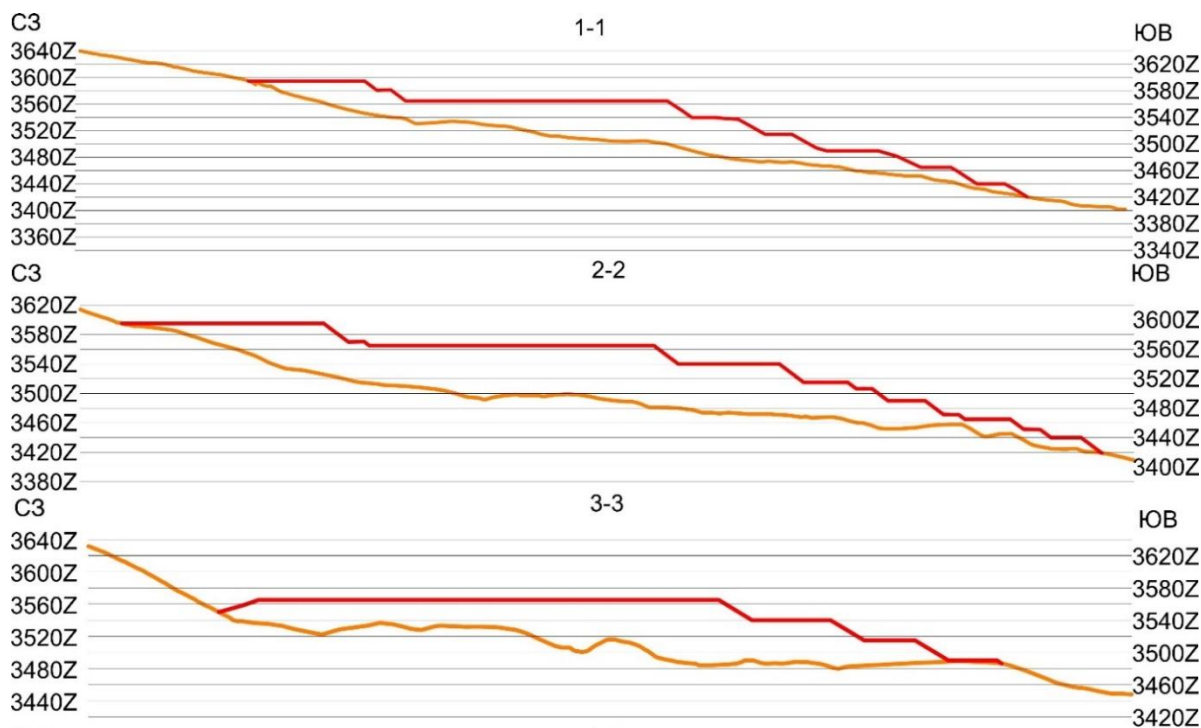


Рисунок 4.11. Профили отвала по расчетным сечениям (1-3 продольные, 4-6 поперечные)

Отвал по сечениям 4-4 и 6-6 расположен в углублении рельефа и находятся в устойчивом состоянии, поэтому проводить расчеты не имело смысла. Рисунок 4.12.

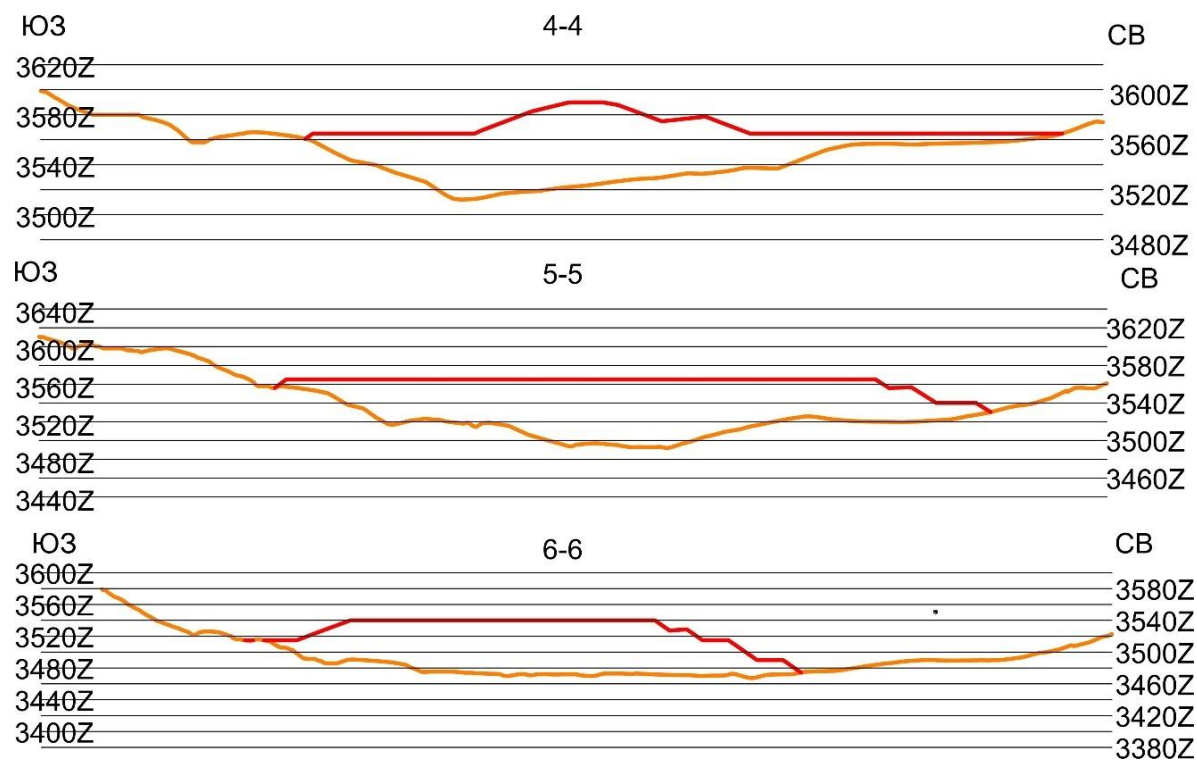


Рисунок 4.12. Профили отвала по расчетным сечениям (4-6 поперечные)

Результаты расчета коэффициента устойчивости отвала вскрышных пород приведены на рисунках Рисунок 4.13.-Рисунок 4.17.

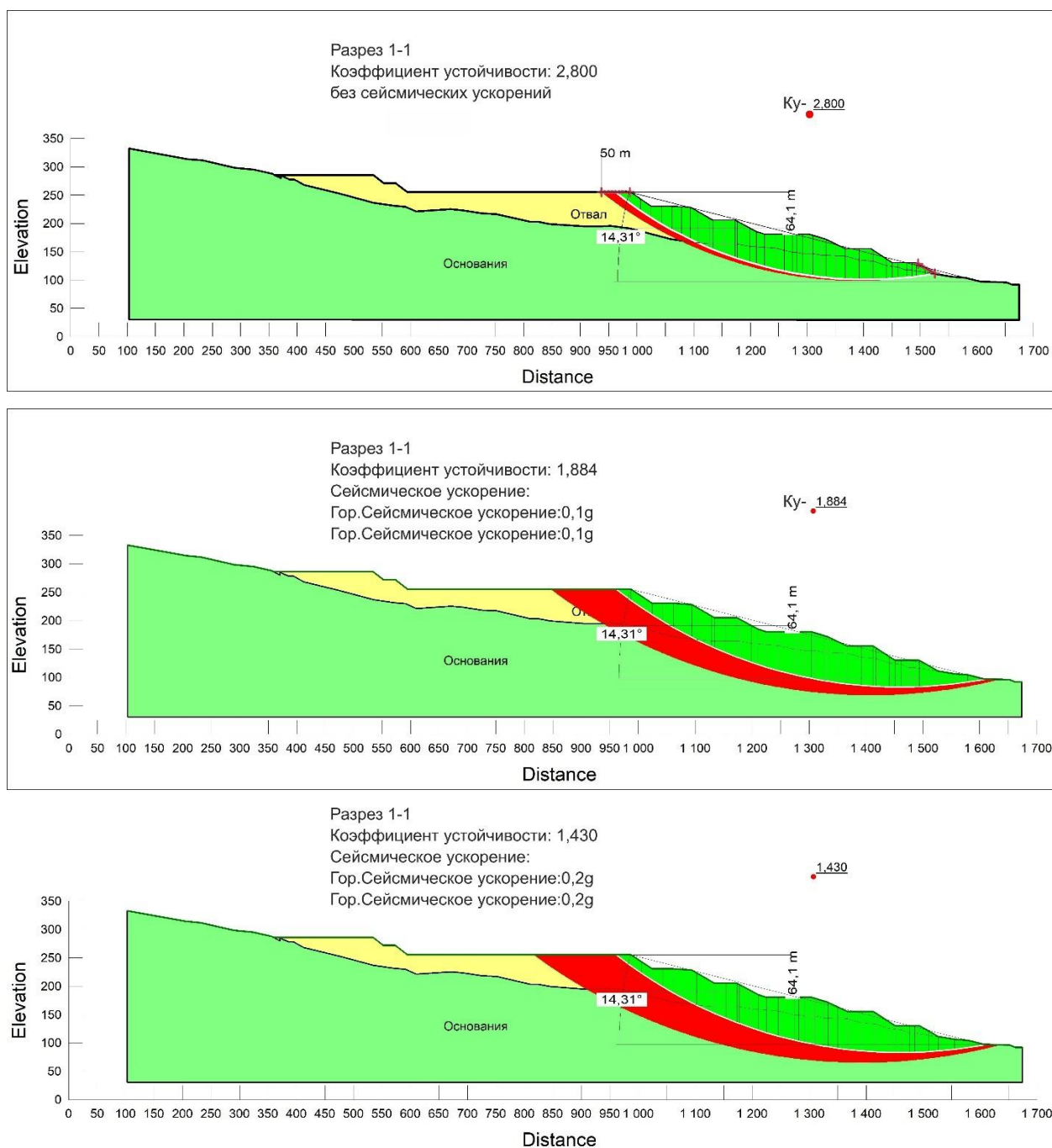


Рисунок 4.13. Расчет коэффициент устойчивости разрез-1-1

а – расчет коэффициента устойчивости, **б** – расчет коэффициента устойчивости при сейсмических ускорениях 0,1g (7 баллов), **в** - расчет коэффициента устойчивости при сейсмических ускорениях 0,2g (8 баллов).

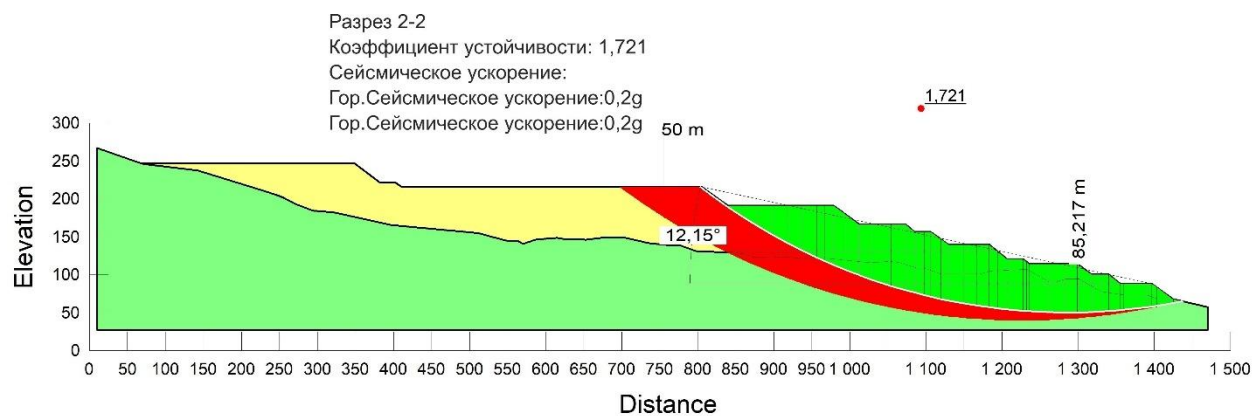
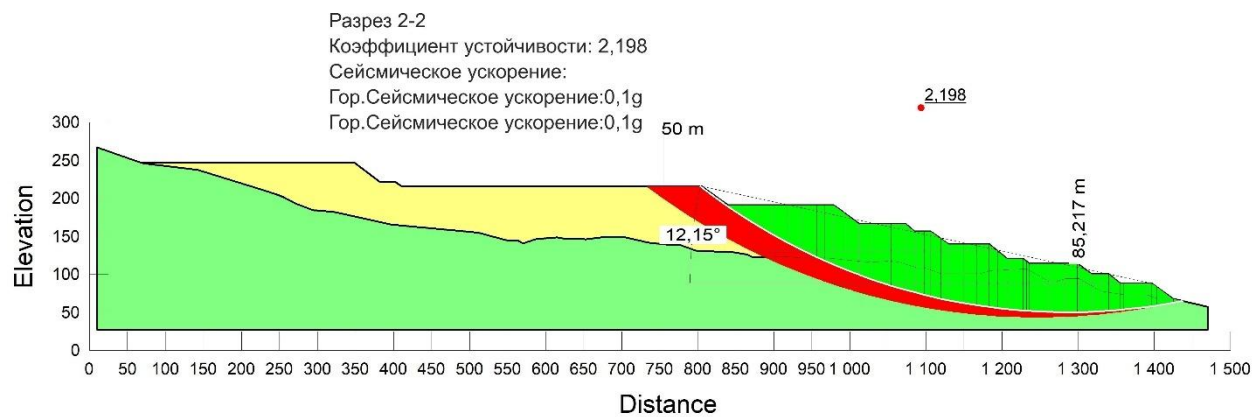
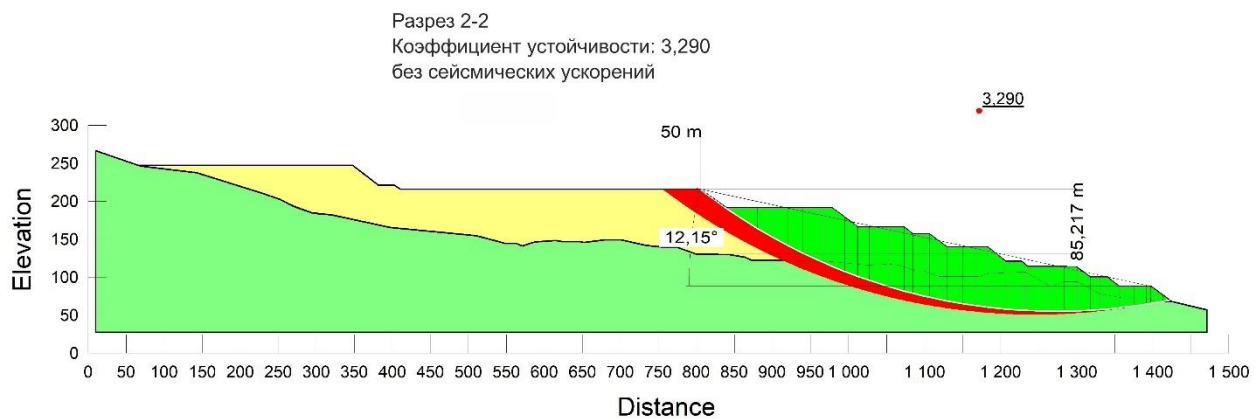


Рисунок 4.14. Расчет коэффициент устойчивости разрез-2-2.

а – расчет коэффициента устойчивости, **б** – расчет коэффициента устойчивости при сейсмических ускорениях 0,1g (7 баллов), **в** - расчет коэффициента устойчивости при сейсмических ускорениях 0,2g (8 баллов).

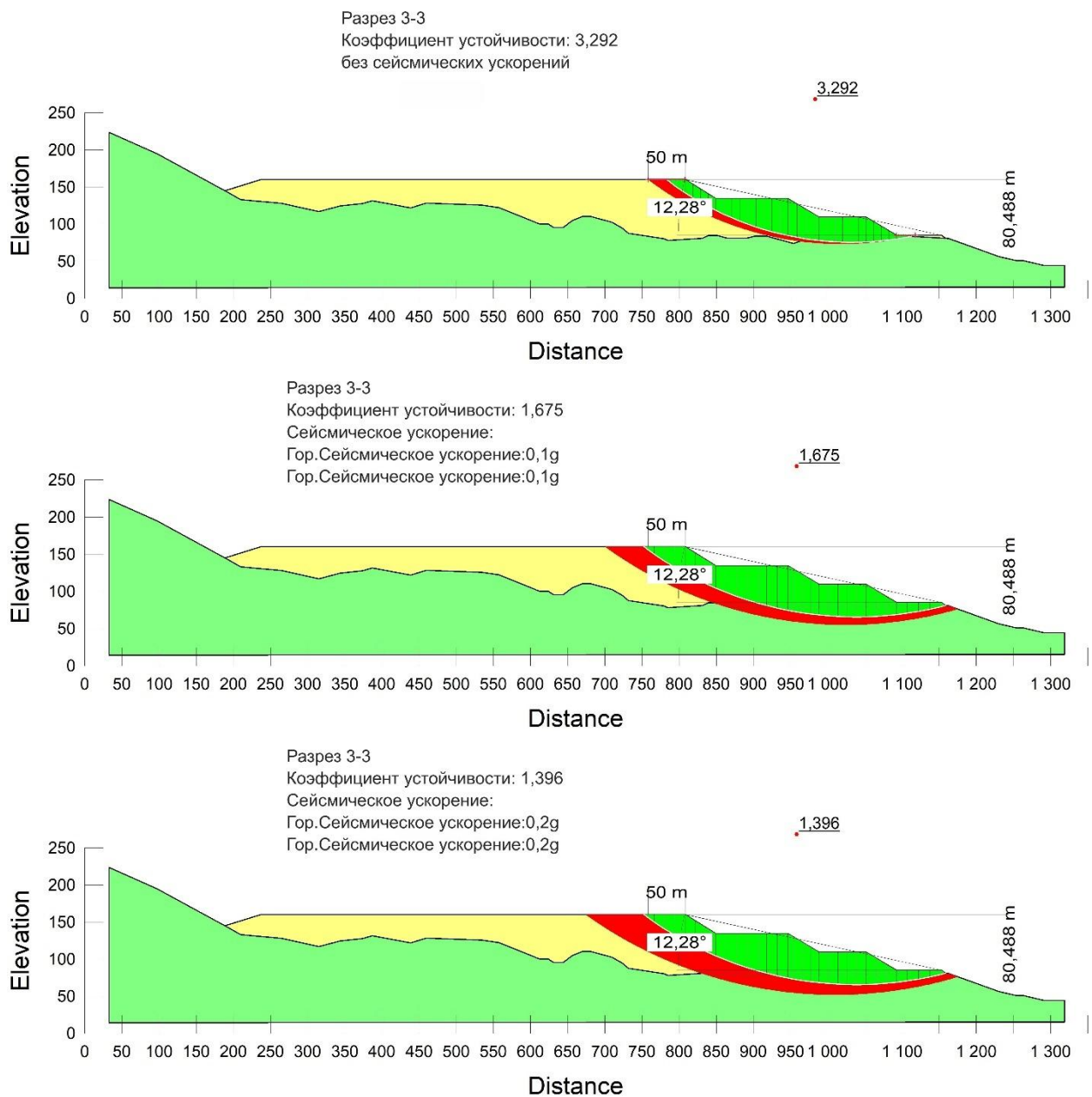


Рисунок 4.15. Расчет коэффициент устойчивости разрез-3-3.

а – расчет коэффициента устойчивости, **б** – расчет коэффициента устойчивости при сейсмических ускорениях 0,1g (7 баллов), **в** - расчет коэффициента устойчивости при сейсмических ускорениях 0,2g (8 баллов).

Отвал по продольным сечениям 4-4 и 5-5 расположен в углублении рельефа и геометрические параметры визуально показывает, что отвал расположен низко, находятся в устойчивом состоянии, поэтому проводить расчеты не имело смысла. Рисунок 4.16, в продольном разрезе 6-6 правый борт имеет 4 яруса, общей высотой 66 метра с связи с тем, что по правому боту

проходить технологическая дорога и проведен расчет на устойчивость, как показано в Рисунок 4.17. Продольный разрез 6-6 по расчету показал, что он устойчив.

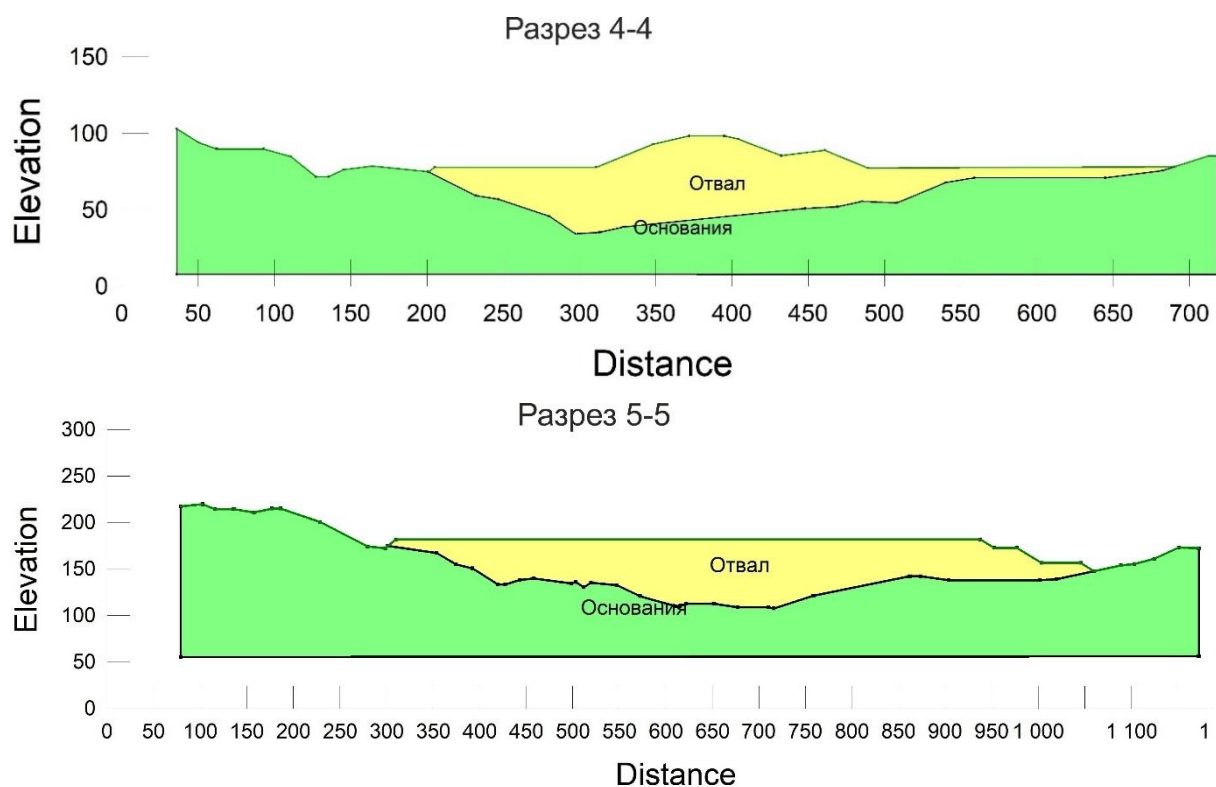
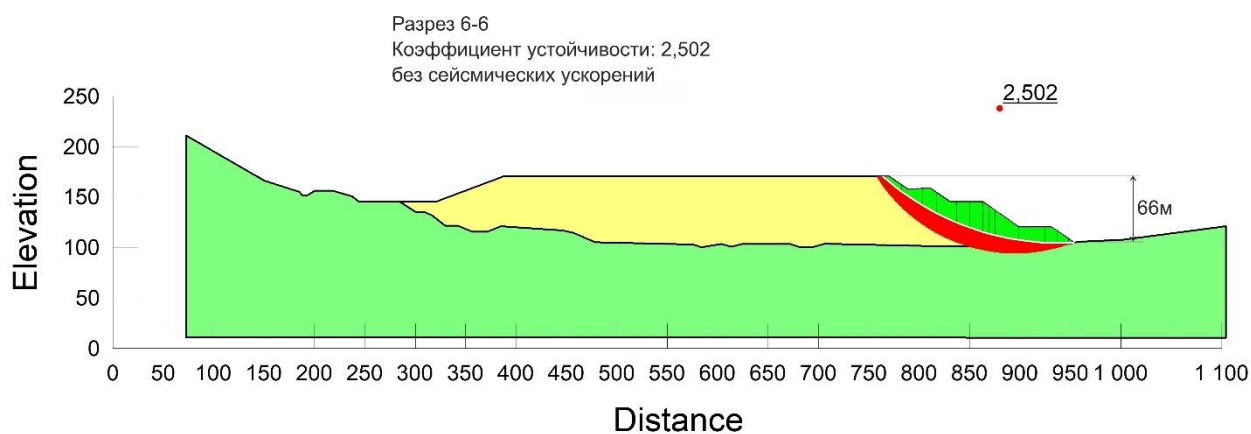


Рисунок 4.16. Расчет коэффициента устойчивости по разрезам -4-4 – 5-5 как и ранее сказано проводить расчеты не имело смысла.



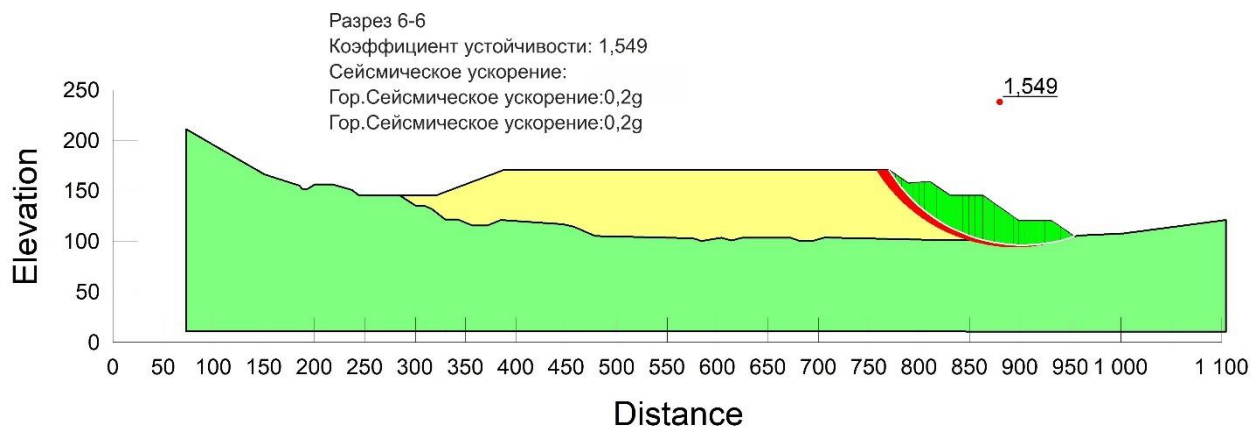
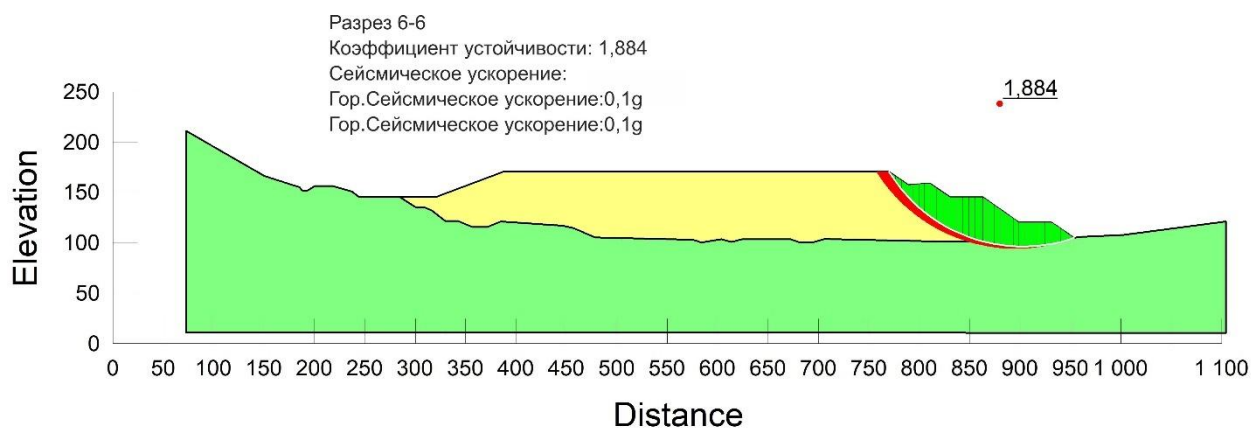


Рисунок 4.17. Расчет коэффициент устойчивости разреза -6-6.

Таблица 4.5. Значения коэффициента устойчивости K_y

Сечение	Коэффициент устойчивости	Коэффициент устойчивости при сейсмических ускорениях 0,1g (7 баллов)	Коэффициент устойчивости при сейсмических ускорениях 0,2g (8 баллов)
1-1	2,80	1,88	1,43
2-2	3,29	2,20	1,72
3-3	3,29	1,67	1,39

Таблица 4.6. Снижения значения коэффициента устойчивости K_y в % при 7 и 8 баллов

Сечение	Снижения значения коэффициента устойчивости при сейсмических ускорениях 0,1g (7 баллов), %.	Снижения значения коэффициента устойчивости при сейсмических ускорениях 0,2g (8 баллов), %.
1-1	33	49
2-2	33	48
3-3	49	58

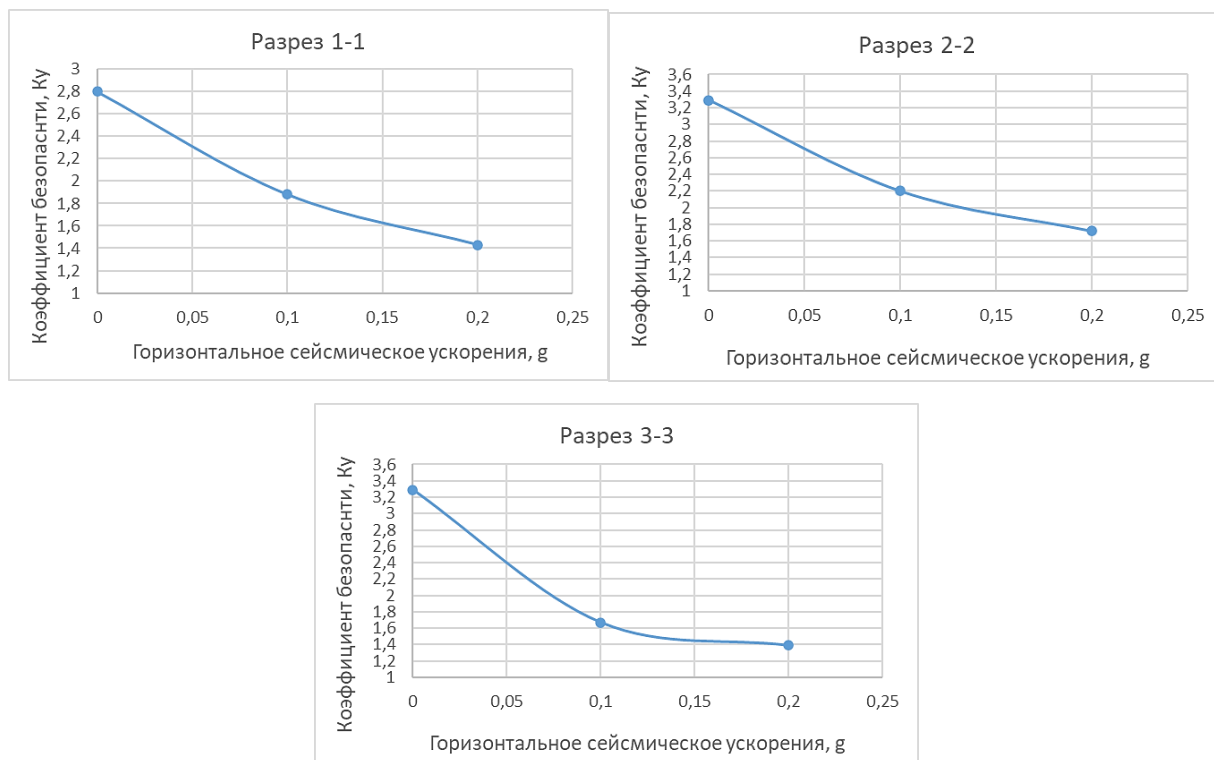


Рисунок 4.18. Коэффициент безопасности в зависимости от горизонтального сейсмического коэффициента.

Уменьшая высоту отвала тем самым, снижаем и его объем. В целях предотвращения снижения плановых объемов горной массы, размещаемой в отвал, рекомендуется одновременно с отгрузкой производить уплотнение рыхлой массы.

Следует обратить внимание, что в целях предотвращения внезапного смещения пород отвала, отвалообразование рекомендуется вести снизу вверх с одновременным уплотнением отгружаемых пород.

Учитывая, что в отвал отгружаются породы различной крупности Рисунок 4.19, отгрузка вскрышных пород будет производиться круглогодично. С учетом этих особенностей расчетный коэффициент запаса устойчивости отвала должен быть не меньше 1,3 [8]. Такое значение коэффициента запаса устойчивости отвала необходимо для предотвращения аварий и создания угрозы для обслуживающего отвала персонала.



Рисунок 4.19. Отгружаемые породы различной крупности в отвал.
(фотоснимок от 23.11.2023г)

Согласно выполненным расчетам, предельная высота отсыпаемого по ярусом отвал не должен превышать 90 м. [7, стр.36-40, 22, 126, 127, 128]

Расстояние, на которое может сместиться отвал Южный, зависит от протяженности тела отвала, коэффициента трения по контакту с поверхностью скольжения и угла откоса отвала.

Дальность смещения от проектной границы пород отвала при нарушении устойчивости составит 500 м, смещение при полной остановке 850 м. угол падения составляет 11° (град), расстояние от нижнего яруса отвала до сая 1950м.

4.5 Выводы по главе.

1. Выполненный ОсОО «Альянс Алтын» локальный проект корректировки отвала пустых пород «Южный» составлен согласно действующим нормативным документам и правил безопасности отвалообразования.
2. В результате выполненной ОсОО «Альянс Алтын» корректировки отвала пустых пород «Южный» в результате увеличения площади под отвал несущая способность основания составила 54 Мпа, что соответствует СП 45.13330.2012.

3. Отвал Южный при параметрах, принятых в локальном проекте, выполненном ОсОО «Альянс Алтын», устойчивый, запас устойчивости составляет 2,80 – 3,29.
4. По результатам гидрогеологических исследований, выполненных РусМир, следует рассмотреть вопрос о режиме водопритока в тело отвала из ручья и запланировать работы по откачке или отводу поверхностных вод, также изолированию тела отвала от водопритока.
5. Коэффициент запаса устойчивости отвала должен быть не меньше 1,5, без учета сейсмических воздействий.
6. Высота многоярусного отвала - не более 190 м. Высота ярусов отвалов на склоне не должна превышать диапазона 20 - 90 м; ширина бермы многоярусного отвала - не менее 20 м, ширина призмы возможного обрушения для яруса - 1,96 м. Угол откоса отвалов 32 - 34°.
7. Дальность смещения от проектной границы пород отвала при нарушении устойчивости составит 500 м, смещение при полной остановке 850 м. угол падения составляет 11⁰ (град), расстояние от нижнего яруса отвала до сая 1950м.

ГЛАВА IV. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ДЖЕРУЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

На основе выполненных исследований разработаны рекомендации по размещению породного отвала Южный Джеруйского месторождения

1. Для определения физико-механических свойств материалов на склоне Южный и уточнения данных при расчетах необходимо продолжить изучения и испытания на индексную классификацию, трехосные испытания, испытания на пластичность и прочностные характеристики.

2. Продолжить традиционный мониторинг с помощью наблюдательных систем в режиме реального времени, которая планируется установить на руднике Джеруй (Лейка и Радарная система мониторинга)

3. Инклинометры способны измерять (в автоматическом режиме) горизонтальные деформации, они по-прежнему являются хорошим инструментом и предоставляют полезную информацию о точках расположения (на глубине), в которых происходят смещения. Необходимо проверить местные грунтовые условия с помощью установки данной системы мониторинга.

4. Для мониторинга давления грунтовых воды на различных уровнях рекомендуется использовать датчики гидростатического давления и устанавливать оборудования открытых пьезометров скважин в автоматическим режиме съема данных согласно внутренней документации.

Как только обнаружен потенциально неустойчивый участок на отвалах пустой породы, персонал рудника Джеруй должен определить, можно ли продолжить или следует приостановить горные работы, и что можно предпринять для стабилизации откоса, подвергшегося негативному воздействию.

Первое — это как можно раньше определить, какие участки имеют большой риск воздействия неустойчивости, принимая во внимание ожидаемые геомеханические условия грунтов в основании отвала пустой

породы и большие трещины растяжения (раздвиги) на гребне или любые видимые деформации, обнаруживаемые частыми контрольными инспекциями грунтовых условий.

Необходимо разработать карту геотехнических опасностей, которые позволяют сначала определить места установки геотехнического КИП или других систем мониторинга.

Второе может заключаться в определении параметров, которые следует непрерывно контролировать для выявления проблем устойчивости откоса, и которые являются пороговыми значениями, указывающими на начинающуюся неустойчивость. На руднике Джеруй горизонтальное смещение вероятно является наиболее полезным параметром для целей мониторинга откосов.

В качестве общего критерия, нагорных отвалах рудника Джеруй отвалообразования в условиях управляемого деформирования отвалов и на основании анализа данных мониторинга предыдущих лет рекомендуется использовать безопасную скорость деформации составляющий из группы мониторинговых точек 1,2 м/сут. При скоростях вертикальных смещений в пределах призмы возможного обрушения предлагается считать скорость деформаций, превышающих 0,5 м/сут. В этом случае работы по отвалообразованию на этих участках предлагается изменить фронт отсыпки отвала и возобновлять после снижения деформаций и скоростей смещения ниже критический значений.

Документирование имеющихся случаев нарушения устойчивости, выявление причин деформаций, назначение мероприятий (при необходимости) по ликвидации последствий оползня и контроль за их выполнением.

ВЫВОДЫ

Месторождения Джеруй ОсОО «Альянс Алтын» в 2020 году провёл комплекс мероприятий изыскательских работ, также проведены определения физико-механических свойств материалов на склоне Южный и расчет основания под отвалом и запаса устойчивости самого отвала.

1. Лабораторные исследования по определению физико-механических свойств материалов были проведены в лаборатории Института геомеханики и освоения недр НАН КР.
 - В результате полученных лабораторных данных выявлено, что для представленных пород отвала «Южный» предел прочности при сжатии в куске в среднем составляет от $\sigma_{сж}=64,65$ МПа до $\sigma_{сж}=178,79$ МПа.
 - Сцепление пород в куске составляет от $C=7,04$ МПа до $C=19,51$ МПа. Угол внутреннего трения в среднем для пород отвала составляет $\varphi=41,72^{\circ}$.
 - Для свойств основания: угол внутреннего трения равен $24,46^{\circ}$; сцепление равна $1,63$ МПа, плотность равна 2769 кг/м³ (насыпной вес 2100 кг/м³).
 - Свойства отсыпаемых вскрышных пород, следующие: угол внутреннего трения равен $35,43^{\circ}$; сцепление равна $0,72$ МПа, плотность равна 2769 кг/м³ (насыпной вес 1700 кг/м³).
 - Отвал планируется разместить на площади 750000 м². Общий объем отгружаемых в отвал пород составит $24,129$ млн. м³. Проектная емкость отвала $27,3$ млн. м³.
2. По результатам гидрогеологических исследований, выполненных РусМир, следует рассмотреть вопрос о режиме водопритока в тело отвала из ручья и запланировать работы по откачке воды и изолированию тела отвала от водопритока.
3. В результате выполненной ОсОО «Альянс Алтын» корректировки отвала пустых пород «Южный» в результате увеличения площади под отвал несущая способность основания составила 54 Мпа, что соответствует СП 45.13330.2012 (<http://docs.cntd.ru/document/5200259>)

4. Обосновано цифровая трехмерная модель отвалов вскрышных пород, учитывающая рельеф местности, геометрические параметры. Трехмерная модель позволяет изучить многие свойства объекта и максимально точно определить недочеты в проектировании и наглядно показывает преимущества реализуемого 3D-модели проектируемого отвала.
5. Проведена оценка устойчивости горного отвала Южный с учетом сейсмичности региона и физико-механических свойства как отвала, так и его основания, и несущую способность основания для рационального отвалообразования вскрышных пород.
6. В результате выполненных исследований состояния отвалов, расчета коэффициента устойчивости и оценки запаса устойчивости отвала:
 - вновь отсыпаемые отвалы в целом устойчивые;
 - общая устойчивость отвалов находится в пределах общепринятых значений: значение коэффициента устойчивости более 1,5.

Сечение	Коэффициент устойчивости	Коэффициент устойчивости при сейсмических ускорениях 0,1g (7 баллов)	Коэффициент устойчивости при сейсмических ускорениях 0,2g (8 баллов)
1-1	2,80	1,88	1,43
2-2	3,29	2,20	1,72
3-3	3,29	1,67	1,39

- Расстояние, на которое сместится отвал 500 м, при полной остановке 850 м. угол падения составляет 11° (град), расстояние от нижнего яруса отвала до сая 1950м.)
- Высота многоярусного отвала - не более 190 м. Высота ярусов отвалов на склоне не должна превышать диапазона 20 - 90 м; ширина бермы многоярусного отвала - не менее 20 м, ширина призмы возможного обрушения для яруса - 1,96 м. Угол откоса отвалов $32 - 34^{\circ}$.
- В качестве общего критерия опасных деформаций в пределах призмы возможного обрушения предлагается считать скорость деформаций

превышающих 60 см/сут. В этом случае работы по отвалообразованию на этих участках предлагается приостанавливать и возобновлять после затухания деформаций. В международной практике безопасного отвалообразования в качестве критерия используется скорость деформаций 50 см/сут.

- Кроме этого, на склоне следует предусмотреть врезку шириной не менее длины автосамосвала для первоначальных разгрузочных работ, а также предохранительный вал высотой не менее 0,5 высоты колеса автосамосвала и обратный уклон разгрузочной площадки не менее 3°. Отвалы, размещаемые на северном склоне, могут перейти в неустойчивое состояние при неблагоприятных природных условиях.
- При ведении работ на этих отвалах следует проводить обследования по выявлению и развитию трещин, смещения и просадки основания по всему фронту работ.
- Принятая система разработки, а также топографические особенности месторождения predeterminedили устройство внешних отвалов нагорного типа.
- Размещение отвалов вскрышных пород проектируется в непосредственной близости от границы карьера, на безрудных площадях. Отвалы пород вскрыши не должны препятствовать развитию горных работ в карьере и формироваться с учетом требований безопасности.
- Формирование отвалов осуществляется согласно Технического задания и требования заказчика. (ОсОО «Альянс Алтын»).
- Развитие отвалов происходит посредством равномерного наращивания его площади до проектных значений, с постепенным наращиванием высоты отвала до проектной высоты яруса.
- Отвалы отсыпаются последовательно ярусами высотой от 20 до 90 м. Заезд на отвал формируется по нормам автомобильных дорог II категории в соответствии с требованиями СНиП 2.05.07-91(в новой редакции СП 37.13330.2012) «Промышленный транспорт». Ширина заезда на ярусы

отвалов –13,2 м для однополосного движения и 20,2 м для двухполосного движения, уклон 80%.

- Положения отвалов пустых пород на конец отработки приведены на чертеже №5 листы 1-3. Разрезы по профилям, представлены на чертеже № 5 лист 6.
- В отвале Южный учитывая запас устойчивости возможно увеличить объем отсыпаемых вскрышных пород без отклонения проектных границ отвалообразования на 20-30 % от запланированного объема.

7. Основные факторы нарушения устойчивости отвалов

Таблица 5.0.1 Основные факторы, влияющие на устойчивость породных отвалов

Природные факторы, влияющие на устойчивость отвалов на склоне	Технологические факторы, влияющих на устойчивость отвалов
Рельеф поверхности, на которую отсыпаются вскрышные породы	Геометрические параметры отвала.
Атмосферные осадки и высота снежного покрова	Скорость подвигания отвального фронта, темп отсыпки отвала.
Сезонные колебания температуры	Схема отсыпки (фронтальной или блоковой) предопределяется характер процессов уплотнения породных масс отвалов и их прочностные свойства
Физико-механические свойства пород основания отвалов	Мониторинг и контроль за состоянием породных отвалов.
Состав и свойства, в том числе влажность, складированных в отвал пород;	

8. Основными рисками нарушения устойчивости отвалов являются технологические факторы, что позволяет разрабатывать мероприятия по управлению устойчивостью обвалов и обеспечить безопасность работ при отвалообразовании
9. Мероприятия по предотвращению опасных проявлений деформаций отвалов

- проведение систематических визуальных наблюдений за состоянием откосов на отвалах;
- выявление зон и участков возможного проявления разрушающих деформаций отвалов и организация на этих участках стационарных инструментальных наблюдений.

Целью наблюдений (мониторинга) является:

- установление границ распространения и вида деформаций в отвалах вскрышных пород;
 - определение скорости и величин деформаций;
 - определение критической величины смещений, предшествующих началу активной стадии;
 - прогноз развития деформаций во времени при формировании отвала.
 - увеличить ширину бермы или полки безопасности для уменьшения общих углов генерального угла откоса отвала
10. Включить в проект работы по отведению и снижению уровня грунтовых вод на всех трех долин. Установить пьезометры в местах, в которых можно осуществлять длительные наблюдения за динамикой УГВ. Так же установить пьезометры и инклинометры на отвале, сформированном в нижней части, после его возведения на проектную высоту, для того чтобы наблюдать за УГВ и деформациями от ведения работ по отсыпке отвала на верхних участках.
 11. Программа геотехнического мониторинга должна предусматривать следующее:
 - Программа КИП с указанием расположения и типа датчиков для измерения основных геотехнических параметров;
 - Обновить гидрогеологическую информацию с помощью последних данных пьезометров.
 11. Результаты работы внедрены в практику работы Джеруйского месторождения (АКТ внедрения имеется).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Hajarian, M. Osanloo. A new developed model to determine waste dump site selection in open pit mines: An approach to minimize haul road construction cost. International Journal of Engineering. transactions a: Basics Vol. 33, No. 7, (July 2020) 1413-1422. (DOI: 10.5829/ije.2020.33.07a.29).
2. Jorge Puell Ortiz. Methodology for a dump design optimization in large-scale open pit mines, Cogent Engineering (2017), 4: 1387955, (DOI: 10.1080/23311916.2017.1387955).
3. Fernando Alves Cantini Cardozo. Geotechnical evaluation of a waste rock dump from a limestone mine in south Brazil. Universidad Nacional de Colombia, Revista DYNA, 90(226), pp. 98-106, April - June, 2023. (DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n226.104987>).
4. A. Doderovic, S.M. Doderovic, S. Stepanovic, M. Bankovic, D. Stevanovic. Hybrid Model for Optimisation of Waste Dump Design and Site Selection in Open Pit Mining. Minerals 2023, 13, 1401. Pp.-1-22. (<https://doi.org/10.3390/min13111401>).
5. Prashant K. Nayak, A. K. Dash, Pankaj K. Dewangan, Design Considerations for Waste Dumps in Indian Opencast Coal Mines: A Critical Appraisal. Opencast Mining Technology & Sustainability At: NCL, Singrauli, M.P. pp.-19-31. (<https://www.researchgate.net/publication/338353918>).
6. Красносельский Э.Б., Калабин Г.В., Оводенко Б.К., Ерёмин Г.М., Колесников В.Г., Коновалов А.А., Сазонов Г.В. Отвалы на горных склонах. Учёт криогенных факторов в оценке деформационных свойств и устойчивости отвалов при их размещении. Издание: Наука, Ленинград, 1975 г., 150 стр.
7. Ерёмин Г.М. Физико-технические и геомеханические процессы в насыпных породах на склонах. Москва, изд. «Горная книга» 2007г. – 343с.: ил.
8. Z. Yang, X. Ding, X. Liu, A. Wahab, Z. Ao, Y. Tian, V.S. Bang, Z. Long, G. Li, P. Ma. Slope Deformation Mechanisms and Stability Assessment under

Varied Conditions in an Iron Mine Waste Dump. Water 2024, 16, 846. pp.1-26. (<https://doi.org/10.3390/w16060846>).

9. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., Джакупбеков Б.Т. Устойчивость отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – Т. 8. - №1, - 2021. - С.93-96.
10. Демин А.М., Шушкина О.И. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах, Издание: Недра, Москва, 1978 г., 159 стр.
11. Бабелло В.А., Овешников Ю.М., Стетюха В.А., Галинов В.Ю. Оценка устойчивости откосов отвалов вскрышных пород экспериментально-аналитическим способом// Доклад на симпозиуме "Неделя горняка -2001" Москва, МГГУ, 29 января – 2 февраля 2001 г.
12. А. В. Жабко. Теория расчета устойчивости откосов и оснований. *Известия Уральского Государственного горного университета* сентябрь 2016, выпуск 3 (43). (DOI 10.21440/2307-2091-2016-3-67-69).
13. К.Ч. Кожогулов, В.И. Нифадьев, С.Ф. Усманов. Прогнозирование устойчивости откосов и склонов на основе численного моделирования напряженно-деформированного состояния горных пород. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук* том 4, № 3, 2017.
14. Федеральные нормы правила в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов»: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13 ноября 2020 года N 439. 86 с.
15. David E. Nicholas and Danny B. Sims. Collecting and Using Geologic Strucfile Data for Slope Design. About Call & Nicholas, Inc. CHAPTER 2 2000. P.11-26. (<https://www.cnitucson.com/publications.html>).
16. Жабко А. В. и др. Расчет устойчивости отвалов на слабом наклонном контакте// *Известия Уральского государственного горного университета.* 2021. Вып. 1 (61). С. 87-101.

17. L.W. Abramson, TS Lee, S Sharma, GM Boyce. Slope stability and stabilization methods, 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York, USA, 2002. [Google Scholar]
18. Jens M. A. Johansson. Impact of Water-Level Variations on Slope Stability. Luleå University of Technology. Sweden - 2014 [Google Scholar]
19. Еремин Г.М. Обоснование и выбор эффективной технологии отвалообразования в условиях нагорно-равнинных карьеров Севера, 2003.
20. Храпцов Б.А., Бакарас М.В., Кравченко А.С., Корнейчук М.А. Управление устойчивостью отвалов рыхлой вскрыши железорудных карьеров КМА/ Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 2. С. 66–72. (DOI:10.25018/0236-1493-2018-2-0-66-72).
21. Попов В.Н., Несмеянов Б.В., Попов С.В. Устойчивость отвалов скальных пород. М: «Горная книга». 2010. 123 стр.
22. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Еремин Г.М. Методы определения параметров отвалов и технологии отвалообразования на склонах. М.: Горная книга, 2012. — 104 с.
23. Bo Cao, Shuai Wang, Danqing Song, Han Du, and Weiqiang Guo. Investigation on the Deformation Law of Inner Waste Dump Slope in an Open-Pit Coal Mine: A Case Study in Southeast Inner Mongolia of China. Hindawi Advances in Civil Engineering, Volume 2021, Article ID 9953554, 18 pages (<https://doi.org/10.1155/2021/9953554>).
24. Агафонов А.А., Поршнева Т.В. Обоснование устойчивых параметров отвалов на основе геомеханическими модели проектируемых объектов. ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. МІАВ. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020, (3-1), С. 5-20.
25. Кадыралиева Г.А. Оценка влияния температурных колебаний воздуха на физико-механические свойства грунтов естественного сложения / «Современные проблемы механики сплошных сред» - Бишкек: Выпуск 18, 2013. – С. 180-189.

26. Асилова З.А., Усенов К.Ж. Изменение сопротивление сдвигу лессовидных породах в зависимости от увлажнения-высушивания грунта. Известия ВУЗов. - 2008. №3-4. – С.26-28.
27. C.S. Gundewar. Application of Rock Mechanics in Surface and Underground Mining; Indian Bureau of Mines: Indian Bureau of Mines, Indira Bhavan, Civil Lines, Nagpur, Maharashtra, India, 2014 г.; pp. 62–66.
28. Shunqing Liu, Xianwen Huang, Aizhao Zhou, Jun Hu, and Wei Wang. Soil-Rock slope stability analysis by considering the nonuniformity of rocks. Mathematical Problems in Engineering Volume 2018, Article ID 3121604, 15 pages (<https://doi.org/10.1155/2018/3121604>).
29. Peter Kolapo and Prosper Munemo. Investigating the correlations between point load strength index, uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength of sandstones. A case study of QwaQwa sandstone deposit. International Journal of Mining and Mineral Engineering 12(1):67-83 April 2021. (DOI:10.1504/IJMME.2021.10037722).
30. Brian D. Collins, Greg M. Stock. Rockfall triggering by cyclic thermal stressing of exfoliation fractures. Nature Geoscience, vol 9, may 2016, 395–400.
31. M. Cravero, G. Iabichino. Analysis of the flexural failure of an overhanging rock slab. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Volume 41, Supplement 1, May 2004, Pages 605-610.
32. L. Borrelli, R. Greco, G. Gullà. Weathering grade of rock masses as a predisposing factor to slope instabilities: Reconnaissance and control procedures. Geomorphology Volume 87, Issue 3, 15 June 2007, Pages 158-175. (DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.03.031).
33. Shang J., West L.J., Hencher S.R., Zhao Z. Geological discontinuity persistence: Implications and quantification. Engineering Geology Volume 241, 26 July 2018, Pages 41-54.
34. N. Bar, J. Semi, M. Koek, G Owusu-Bempah, A Day, S Nicoll, J Bu. Practical waste rock dump and stockpile management in high rainfall and seismic

regions of Papua New Guinea. Slope Stability 2020 - PM Dight (ed.), © Australian Centre for Geomechanics, Perth. (DOI:10.36487/ACG_repo/2025_02).

35. Shuren Wang, Yan Zhang, Xiaogang Wu, Jing Tian and Huihui Jia. Stability of Step-shaped Dump Slope and Reinforcement Optimization Analysis of Anti-slide Piles. *Journal of Engineering Science and Technology Review* 12 (1) (2019) 110 - 116
36. Higuchi K., Fujisawa K., Asai K., Pasuto A., & Marcato G. Application of new landslide monitoring technique using optical fiber sensor at Takisaka Landslide, Japan. 1st North American Landslide Conference, 2007.
37. Costrada A.N., Deswilan S., Kemal B.M., Harmadi H. Characterization of Multiple-bend Optical Fiber Extensometer Design for Landslide Sensor. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, Vol. 13, No. 1, March 2021, pp. 1–7 (<https://doi.org/10.25077/jif.13.1.1-7.2021>).
38. Ganapathy G.P., Mahendran K., Sekar S.K. Need and Urgency of Landslide Risk Planning for Nilgiri District, Tamil Nadu State, India. *International journal of geomatics and geosciences*, Volume 1, No 1, 2010.
39. Tzay-Chyn Shin, Chien-Hsin Chang, Hsin-Chieh Pu, Hsiao-Wei Lin, and Peih-Lin Leu. The Geophysical Database Management System in Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 24, No. 1, 11-18, February 2013. doi: 10.3319/TAO.2012.09.20.01(T)
40. Tiwari, B.; Beena, A.; Mohammed, K.; Samin, D.; Rosalie, C. Developments in Earth Retention, Support Systems, and Tunneling. In *Proceedings of the International Foundations Congress & Equipment Expo, Orlando, FL, USA, 5–6 March 2018*. [Google Scholar]
41. Tiwari, B.; Caballero, S. Experimental Model of Rainfall Induced Slope Failure in Compacted Clays. *Geotech. Spec. Publ.* 2015, 256, 1217–1226. [Google Scholar].
42. Q.Q. Liu, J.C. Li. Effects of Water Seepage on the Stability of Soil-slopes; *Procedia IUTAM* 17 (2015) 29 – 39. (DOI: 10.1016/j.piutam.2015.06.006.)

43. Prakash B. Design of stable slope for opencast mines. Department of Mining Engineering National Institute of Technology Rourkela-769008. 2009.
44. Яковлев А.В. Геомеханическое обеспечение формирования бортов карьеров и отвалов. Проблемы недропользования №4, 2016 г. (DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.075).
45. Кутепов Ю.И., Мухина А.С.2, Оценка влияния гидрогеомеханических процессов в техногенных массивах высоких отвалов на геоэкологические условия территорий их размещения. Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург, ▪ № 1 (103) ▪ Январь 2021 Часть 2 ▪ (DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.034>).
46. Ruchika Sharma Tandon, Vikram Gupta. The control of mineral constituents and textural characteristics on the petrophysical & mechanical (PM) properties of different rocks of the Himalaya. Engineering Geology 153 (2013) 125–143. (DOI:[10.1016/j.enggeo.2012.11.005](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.11.005)).
47. Peter Kolapo, Gafar Omotayo Oniyide , Khadija Omar Said, Abiodun Ismail Lawal, Moshood Onifade, Prosper Munemo. An Overview of Slope Failure in Mining Operations. Mining 2022, 2(2), 350–384; (<https://doi.org/10.3390/mining2020019>).
48. Кутепов Ю.И., А.Д. Васильева Инженерно-геологические условия внешнего отвалообразования на разрезах кузбасса. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 10. С. 122–131.
49. Yuelu Zhu and Yaoting Xiao. Slope Stability from a Hydrological Perspective: Taking Typical Soil Slope as an Example. Hindawi Advances in Civil Engineering Volume 2020, Article ID 1273603, 17 pages (<https://doi.org/10.1155/2020/1273603>).
50. Suman S. Slope stability analysis using numerical modelling. Department of mining engineering National institute of Technology Rourkela – 769008. 2014-15
51. Джакупбеков Б.Т., Асилова З.А., Никольская О.В. Численное моделирование устойчивости отвалов вскрышных пород при освоении

- нагорных месторождений. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН. Том: 10, №:1, 2023, Стр.: 30-36. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=54882266>).
52. Танайно А.С. О классификациях горных пород по прочностным свойствам. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 2. № 3. С. 241-246. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=23274840>).
53. S. F. Yasir, H. Awang, and M. I. H. Ayub. The relationship of sandstone's strength with mineral content and petrographic characteristics in Sungai Tekai, Jerantut, Pahang. Citation: AIP Conference Proceedings 2020, 020010 (2018); (doi: 10.1063/1.5062636).
54. Кандуров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. 2-е изд., испр. И перераб. Л.: Стройиздат, Ленинград отд-ние, 1988. – 280 с.
55. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород. издательство «Наука» Москва 1975
56. Marlène Villeneuve, Michael Heap. Calculating the cohesion and internal friction angle of volcanic rocks and rock masses. *Volcanica*, 2021, pp.279-293. [ff10.30909/vol.04.02.279293ff. \(https://hal.science/hal-03547484\)](https://hal.science/hal-03547484).
57. М.П. Лысенко. Состав и физико-механические свойства грунтов. МОСКВА «НЕДРА» 1980 г. С-274.
58. Лаптев Ю. В. Геометризация процесса сегрегации скальных пород по крупности при формировании отвалов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Екатеринбург - 2007 г.
59. Jia-wen Zhou, Chong Shi, and Fu-gang Xu., Geotechnical Characteristics and Stability Analysis of Rock-Soil Aggregate Slope at the Gushui Hydropower Station, Southwest China. Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal Volume 2013, Article ID 540636, 16 pages (<http://dx.doi.org/10.1155/2013/540636>).

60. А. А. Лебедева. Отвальное хозяйство на карьерах Средней Азии. издательство «фан» Узбекской ССР, Ташкент - 1973 г.
61. William A. Hustrulid, Michael K. McCarter, Dirk J.A. Van Zyl. Slope stability in Surface Mining. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc .2001. p.-442.
62. Sugeng Wahyudi, Hideki Shimada, Takashi Sasaoka, Akihiro Hamanaka, Tsedendorj Amarsaikhan, Pisith Mao, Tumelo K. M. Dintwe, Dyson Moses. Study of Internal Waste Dump-Induced Shear Stress Behavior on Pit-Slope. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2020, 8, 71-86. (DOI: [10.4236/gep.2020.84006](https://doi.org/10.4236/gep.2020.84006)).
63. Кадыралиева Г. А. Оценка местной устойчивости откосов горных дорог по комплексу физико-механических свойств грунтов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Бишкек – 2019.
64. ОДМ 218.2.053-2015. Рекомендации по оценке сейсмического воздействия при определении устойчивости оползневых участков автомобильных дорог. Москва 2015.
65. Г. Л. Фисенко. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Недра, 1965. - 378 с.
66. Окатов Р.П., Попов И.И., Низаметдинов Ф. К. Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов. Алма-ата: Наука, 1986.-256 с.
67. С. Г. Оника [и др.]. Устойчивость бортов карьеров: учебно-методическое пособие с применением программного комплекса GeoStudio /– Минск: БНТУ, 2016. – 43 с.
68. Kadyralieva, G.A. Kozhogulov, K.C. Features of the Rock Massif in the Influence Zones of Tectonic Disturbances in the Gold Deposits of Kyrgyzstan, Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 230 LNCE, pp. 155–160.
69. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Устойчивость отвалов на месторождении «Эльдорадо». Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 6. С. 69–79.

70. Чугаев Р. Р. Расчёт устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения. Государственное энергетическое издательство. Москва 1963 г. — 145 стр.
71. Акишев А.Н., Бокий И. Б., Зотеев О. В., Золотин В. Г. Параметры формирования внешних отвалов на карьерах Нюрбинского ГОКа // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2021. — Т. 8. — № 1. — 218–224 с.
72. СНиП 2.02.01 -83*, Основания зданий и сооружений - МФГУП ЦПП, 2006. - 48 с.
73. N. R. Morgenstern, E. Price, The analysis of the stability of general slip surfaces. The institution of civil Engineers Great George street London, S.W.I. 1965. Pp. 77-93.
74. Qiang Fan, Jiayang Lin, Wencheng Sun, Jie Lu and Peihua Chen. Analysis of Landslide Stability Based on the Morgenstern-Price Method. E3S Web of Conferences 299, 02019 (2021). (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129902019>).
75. Жабко А.В. О Проблемах и современных методах оценки устойчивости откосов на открытых горных работах. Проблемы недропользования № 3, 2018 г. Стр. 96-107. DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.096.
76. В.Н. Бухарцев; Нгуен Тхай Хоанг. Оценка устойчивости грунтовых массивов. Инженерно-строительный журнал, №9, 2012 стр. 41-48.
77. С. В. Смолич, В. А. Бабелло Основы геомеханики: учеб. Пособие. Забайкал. гос. ун-т. – Чита: ЗабГУ, 2017. – 143 с.
78. Stability modeling with geostudio: An Engineering Methodology. The 3rd Edt. – Canada, 2023. – 140 p. 10.3 Pseudostatic analysis.
79. И.К. Фоменко, О.Н. Сироткина, К.Г. Самаркин-Джарский. Расчет устойчивости склонов с учетом сейсмического воздействия. Conference Paper January 2011. Conference: «Сергеевские чтения» 2011.

80. СН КР 20-02:2018. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Издание официальное. Бишкек 2018.
81. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* Свод правил строительство в сейсмических районах (Seismic building design code) Дата введения 2018-11-25.
82. С. В. Медведев, Инженерная сейсмология, Госстройиздат, Москва, Третьяковский проезд, д. 1 286стр,
83. Е.Н. Беляев, А.Е. Бурдонов, Н.В. Мурзин. Прогнозирование и оценка устойчивости бортов, уступов разрезов и откосов отвалов на каменноугольном месторождении с использованием программных комплексов Geostudio и Plaxis 3d. Известия ТулГУ. Науки о Земле. Вып. 1. 2023.
84. S. Harabinová, E. Panulinová. Impact of shear strength parameters on slope stability. MATEC Web of Conferences 310, 00040 (2020) (<https://doi.org/10.1051/matecconf/202031000040>).
85. Геология СССР. Том 15. Киргизская ССР. Геологическая описание. Книга 2. М., «Недра», 1972, 316 с.
86. M. Zengin, D. Arslan, Y. Tuncel, Z. Baz. Open Pit Mine Waste Dump Area Design based on Stability Principles. 24th international mining congress and exhibition of Turkey-IMCET'15 Antalya, Turkey April 14-17, 2015. pp. 570-578.
87. Адамов В.Г., Бураков О.В., Компьютерная система оценки параметров породных отвалов. Наукові праці ДонНТУ, Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка” 2015 №1(20).
88. А.А. Захарова, А.В. Шкляр. Построение многокомпонентных визуальных 3d-моделей с использованием разнородных источников информации, на примере создания геологических моделей. Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320. № 5. Стр-73-80.

89. Научные и практические аспекты применения цифровых технологий в горной промышленности. Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — 192 с.: ил. (DOI: 10.37614/KSC.978.5.91137.411.2)
90. Съедина С.А., Балтиева А.А., Шамганова Л. С. Разработка 3D геомеханических моделей для подземных рудников и карьеров. Проблемы недропользования №1, 2018 г. Стр. 60-65. (DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.060).
91. Д.О. Прохоров. Создание цифровой модели породного отвала угольной шахты на основе съемки беспилотным летательным аппаратом. Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2018. Вып. 1.
92. Chris Grover. Google SketchUp: The Missing Manual. O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472. May 2009. P – 600.
93. Проектирование от гугл. Google SketchUp. //Источник: (<https://wrldlib.ru/proektirovanie-ot-gugl-kak-polzovatsya-programmoi-google>).
94. Селянин Н.А. Система трехмерного моделирование ландшафта, выпускная квалификационная работа, Екатеринбург – 2020: 66 стр.
95. Д.О. Прохоров. Методика определения геометрических параметров породных отвалов угольных шахт. Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 4
96. Отчет ОВОС 5. Краткая характеристика техпроцессов производства 2016г. (<http://www.alliance-altyn.kg/ustoychivoe-razvitie/ovos>).
97. Гук А. П. Шляхова, М. М. Некоторые проблемы построения реалистических измерительных 3d моделей по данным дистанционного зондирования. Дистанционное зондирование Земли, фотограмметрия, Вестник СГУГиТ, вып. 4 (32), 2015.
98. Алваняна А. К., Овсянников М. В. Использование 3D модели для подсчета объемов вскрышных пород и полезного ископаемого. Вестник Пермского университета. 2021 Геология Том 20, №4.

99. Лазерко М.М., Использование программного продукта Google SketchUp для быстрого формирования трехмерной модели. Геодезия и картография. – 2010. – № 2. – С. 25-27.
100. Джакупбеков Б.Т., Асилова З.А. Трехмерное моделирование отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений. Известия вузов Кыргызстана, № 3, 2023. (DOI:10.26104/IVK.2023.45.557).
101. А.П. Гук, А.С. Гордиенко, ММ Лазерко. Основные научные исследования кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования в 2010 году: автоматизация дешифрирования космических. Интерэкспо Гео-Сибирь, СГГА, Новосибирск, 2011. cyberleninka.ru
102. Б.Т. Джакупбеков, Определение параметров отвалов на горных склонах с применением программного приложения google sketchup, Современные проблемы механики, №26, 2016 г.
103. Jorge Puell Ortiz. Methodology for a dump design optimization in large-scale open pit mines. Cogent Engineering, 2017, 4:1, 1387955, (DOI:10.1080/23311916.2017.1387955).
104. ГОСТ Р 70077 – 2022, Материалы космической съемки для создания и обновления государственных топографических карт.
105. А. А. Ткачева. Использование данных дистанционного зондирования земли при трехмерном моделировании естественных ландшафтных сцен. Вестник СибГАУ, 2014. № 5(57). С. 136–144.
106. Daniel Tal. SketchUp for Site Design: A guide to modeling site plans, terrain, and architecture second edition / Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2016.
107. José Gomes Santos, Kevin Bento, Joaquim Lourenço Txifunga. / Google Earth, Google SketchUp and GIS software. (DOI:10.20944/preprints201901.0302.v1. January 2019).
108. Джакупбеков Б.Т., Кадыралиева Г.А., Исагалиева С.У., Алимбеков К.С. Составления топографических планов высокогорных рельефов местности

- с помощью google sketchup. Современные проблемы механики. 2023. Т. 53. № 3. С. 69-74.
109. Kozhogulov, K.C., Djakupbekov, B.T. Calculation of the parameters of the base of waste rock dumps on a mountain slope. / Smart Geotechnics for Smart Societies, 2023, страницы 867–870
110. Fernando Alves Cantini Cardozo, Geotechnical evaluation of a waste rock dump from a limestone mine in south Brazil. Cardozo / Revista DYNA, 90(226), pp. 98-106, April - June, 2023.
111. К. Ч. Кожогулов, О. В. Никольская, Б. Т. Джакупбеков. Проблемы безопасного отвалообразования при освоении высокогорных месторождений. Современные проблемы механики, №41 (3), 2020, Бишкек.
112. Supandi Sujatono. The determination of mine waste dump material properties through back analysis. Journal of King Saud University – Engineering Sciences 35 (2023) 83–91. (<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.02.008>).
113. Асилова З.А., Джакупбеков Б.Т. Отличительные признаки устойчивости отвалов обеспечивающие безопасное складирование вскрышных пород на склоне. Известия вузов Кыргызстана, № 3, 2023. DOI:10.26104/IVK.2023.45.557.
114. Ashutosh Kainthola, Dhananjai Verma, S. S. Gupte, T. N.Singh. A Coal Mine Dump Stability Analysis. Geomaterials, 2011, 1, 1-13 doi:10.4236/gm.2011.11001 Published Online April 2011 (<http://www.SciRP.org/journal/gm>).
115. Немова Н. А., Бельш Т. А. Геомеханическая оценка параметров устойчивости откосов бортов и уступов при отработке месторождения Апатит-нефелиновых руд «Олений Ручей». Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 11. 109–120.
116. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., Джакупбеков Б.Т., Жумабек уулу Ж. Моделирование процесса разрушения прибортового массива горных

породблочного строения. Современные проблемы механики. Выпуск 34 (4), 2018 г.

117. И.К. Фоменко, О.Н.Сироткина, К.Г. Самаркин-Джарский. Расчет устойчивости склонов с учетом сейсмического воздействия. Сергеевские чтения 2011. 234-240 стр.
118. Попов В.Н., Несмеянов Б.В., Попов С.В. Устойчивость отвалов скальных пород: Учебное пособие. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, изд. «Горная книга», 2010. – 122 с.
119. С. В. Смолич, В. А. Бабелло. Основы геомеханики. Чита Забайкальский государственный университет 2017. – 118-120 с.
120. Voxuan Lin. Stability Analysis of Dump Slope: Taking Zijinshan Open-Pit Mine as an Example. Hindawi Mobile Information Systems Volume 2022, Article ID 9009528, 20 pages, (<https://doi.org/10.1155/2022/9009528>).
121. Немова Н. А., Бельш Т. А. Геомеханическая оценка параметров устойчивости откосов бортов и уступов при отработке месторождения апатитвнефелиновых руд «Олений Ручей». Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 11. 109–120. (DOI 10.18799/24131830/2019/11/2355).
122. Кан Кай. Диссертация: Оценка оползневой опасности территорий с высокой сейсмичностью (на примере Краснополянской тектонической зоны (Большой Сочи) и эпицентральной зоны Вэньчуаньского землетрясения (Китай)). Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова геологический факультет. Москва – 2019.
123. К. Ч. Кожогулов, О. В. Никольская, Г. А. Кадыралиева, Б. Т. Джакупбеков. Устойчивость бортов нагорных карьеров в зонах влияния тектонических нарушений. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук № 2, 2015.
124. Заключение государственной экологической экспертизы, Оценка существующего состояния окружающей среды золоторудного

месторождения Джеруй. г. Бишкек 2016г. (<https://www.alliance-altyn.kg/ustoychivoe-razvitie/ovos/>).

125. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общей редакцией Е.А. Сорочанаи, Ю.Г. Трофименкова, Москва: Стройиздат, 1985. -. 480 с.
126. S. Chai. Maximum height estimation for mine waste dumps. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy VOLUME 122 OCTOBER 2022 p. 579-585. (DOI: [10.17159/2411-9717/1947/2022](https://doi.org/10.17159/2411-9717/1947/2022)).
127. Иоффе А.М. Управление параметрами отвалообразования при отсыпке вскрышных пород на разнопрочное основание. «Энергетика и рациональное природопользование, Неделя горняка-2002» семинар № 13. 2003г.
128. S. K. Gara, N. N. Singh, R. Singh, and K. S. Rao. Slope stability analysis for optimisation of overburden dump capacity in opencast coal mines. R. E. Hammah et al. (Eds.): RIC 2023, AHE 19, pp. 109–118, 2023. (https://doi.org/10.2991/978-94-6463-258-3_11).