

**ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И ГЕОМЕХАНИКИ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ЖАЛАЛАБАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Б. ОСМОНОВА**

**ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ Д 25.24.709**

На правах рукописи  
УДК622.693.26

**Джакупбеков Белек Торокулович**

**Обоснование устойчивости породных отвалов при освоении высокогорных  
месторождений**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бишкек - 2025

**Работа выполнена в институте машиноведения, автоматике и геомеханики Национальной Академии Наук Кыргызской Республики.**

**Научный руководитель:** **Кожоголов Камчыбек Чоңмурунович** академик НАН КР, доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор

\_\_\_\_\_

кандидат технических наук

\_\_\_\_\_

**Ведущая организация:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ г. Бишкек

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г. в \_\_<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного Совета Д **25.24.709** в Институте машиноведения, автоматике и геомеханики НАН Кыргызской Республики, по адресу: 720055, г.Бишкек, ул. Скрыбина 23.

Телефон/факс: +(996 312) 54 11 13

Е-mail: [imahs.nankr@gmail.com](mailto:imahs.nankr@gmail.com)

[Imash\\_kg@mail.ru](mailto:Imash_kg@mail.ru)

Сайт: <https://imash.kg>

Ссылка для доступа к видеоконференции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/.....>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Института машиноведения, автоматике и геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики (720055, г. Бишкек, ул. Скрыбина, 23) и на сайте Национальной аттестационной комиссии при Президенте Кыргызской Республики: <http://vak.kg>.

Автореферат разослан «\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Д.25.24.709, к.т.н.

Кадыралиева Г.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 [Jorge P. O., 2017, A. Najarian, A. Doderovic, Prashant K., 2020, Fernando Alves 2023].

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 [Красносельский Э.Б., 1975]. Влияние каждого из этих факторов на формирование отвала может быть различным в зависимости от конкретных условий, таких как [Еремин Г.М. 2007]:

- 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 [Красносельский Э.Б., 1975, Еремин Г.М. 2007].

Отличительной особенностью как эксплуатируемых, так и проектируемых месторождений является то, что они нагорные и размещение отвалов осуществляется на прилегающих склонах. 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, складированных 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:**

На защиту выносятся построения 3D модели местности, каркаса отвала и получения профилей разрезов отвала для оценки устойчивости.

Устойчивость отвала зависит от несущей способности пород основания и объема вскрышных пород.

Сейсмические ускорения снижают устойчивость отвала до 60% при высоких сейсмических ускорений с 8 балльностью.

Одним из основных факторов, влияющих на устойчивость породных отвалов является сейсмичность региона. Ввиду этого, что территория, где расположены породные

отвалы Джеруйского месторождения относятся 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;

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.

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 Morgenштерн-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 устойчивость 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. 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 материалам диссертации опубликовано 18 научных статей, входящих в РИНЦ в том числе одна статья опубликовано в скопус.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, рекомендации и выводов, изложенных на 117 страницах, содержит 44 рисунков, 24 таблицы, 131 наименований библиографии.

Диссертационная работа выполнена в ИМАГ НАН КР под научным руководством академика НАН КР, д.т.н., профессора К.Ч.Кожогулова.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю академику НАН КР, д.т.н., профессору К.Ч.Кожугулова за постановку задач, ценные советы и помощь при выполнении работы. Автор также признателен д.т.н. О.В. Никольской за оказанное содействие и помощь.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** выполнен ретроспективный анализ литературных источников по формированию отвалов при освоении высокогорных месторождений и приведены горно-геологические, геомеханические, горнотехнические характеристики исследуемого месторождения и методы оценки устойчивости отвалов вскрышных пород.

Геометрические параметры влияют на устойчивость отвалов, в особенности угол наклона склона, от которого зависит и объем вскрышных пород, и площадь основания отвала.

Большой вклад в развитие теории и практики отвалов на горных склонах внесли такие ученые, как Э.Б.Красносельский, А.М.Демин, К.В.Руппенейт, Г.М.Еремин, В.А. Бабелло, Жабко, И.Т. Айтматова, В.И. Нифадьев, К.Ч. Кожугулова, О.В. Никольской, И.А. Торгоева, К.Т. Тажибаева, К.Ж. Усенов, С.Ф. Усманова и др.

Изучение отвалов на склоне позволило установить, что устойчивость отвалов на высокогорных месторождениях зависит от геологических, геомеханических характеристик и геометрических параметров склона и отвала вскрышных пород и человеческой деятельности.

Для определения устойчивости отвалов на склоне необходимы исследования по изменению физико-механических свойств отвалов и пород основания, изучению которых посвящены работы Е.П. Емельяновой, И.Я. Петрухиной, А.И. Щеко, К.Ч. Кожугулова, К.А. Кожобаева, О.В. Никольской, Р.А. Ниязова, Х.В. Ибатулина, и других.

В работах этих ученых рассматривается изменение прочностных и деформационных свойств отвалов вскрышных пород. Установлено, что зависимость сил сцепления, угла внутреннего трения и модуля осадки от гранулометрического состава породной мелочи. Однако для реальных условий в отвальной массе в среднем эта зависимость не является определяющей и может носить только местный характер.

На основе анализа методов оценки устойчивости отвалов вскрышных пород установлено, что в настоящее время вопросы устойчивости отвалов на высокогорных месторождениях при известной площади основания и известном объеме вскрыши, изучены в недостаточной мере.

**Во второй главе** обоснована расчетная модель оценки устойчивости породных отвалов на склоне.

**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 [Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов 2020] отвал считается устойчивым, если значения этого коэффициента на меньше 1,3.

$$K_y = F/T \geq 1,3 \quad (2.1)$$

Где F-удерживающие силы, T – сдвигающие силы

Этот коэффициент показывает, насколько устойчив отвал и какую он может выдерживать внешние нагрузки без обрушения.

**2.2 Рассмотрен механизм деформаций на границе отвал - основание.** При росте сдвигающих усилий наступает момент, когда силы трения не могут противостоять переходу частиц в новое равновесное состояние, соответствующее более высокому уровню действующих сил. Оценка устойчивости отвала представляет собой задачу о равновесии тела на наклонной поверхности под действием силы тяжести и сопротивления.

**2.3 Расчет коэффициента устойчивости отвала на склоне.** Отвал будет находиться в равновесии, если силы сопротивления на границе раздела сыпучего материала достаточны для нейтрализации сдвигающих усилий: [Y. M. Cheng. 2014]

$$\tau_n = C_0 + \sigma_n \tan \varphi \quad (2.2)$$

где  $C_0$  - эффективная сила сцепления,  $\varphi$  — угол внутреннего трения,  $P_n$  — эффективное нормальное давление. Коэффициент устойчивости рассчитывают по соотношению удерживающих и сдвигающих сил, т.е.

$$K_y = \frac{\sum F_{\text{удерж}}}{\sum T_{\text{сдвиг}}} \quad (2.3)$$

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.

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.

#### **2.4 Параметры отвала на склоне.**

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

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 [Фисенко Г. Л., 1965, Окатов Р.П., 1986]:

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

где  $C_p$  – расчетное сцепление пород, МПа;  $\gamma_{cp}$  – 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.

Отвалы, подверженные деформациям, характеризуются сложными геологическими условиями непосредственно склона, на котором они размещены, наличием разнообразных поверхностных ослаблений физико-механических свойств воздействий подземных вод в течение годового периода [Гальперин А.М., 2012]. Существенное влияние на устойчивость породных отвалов также могут оказать водоносные горизонты, открытые и подземные воды вблизи отвала, водоемы. 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.

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. [Чугаев Р. Р. 1963]

**2.5 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. [Гальперин А.М., 2012]

Несущая способность основания зависит от свойств вскрышных пород, уровня грунтовых вод и рассчитывается по формуле [СНиП 2.02.01 -83]:

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

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;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2; 1,15 и 1,10.

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый:

для скальных грунтов: неветреных и слабовеяренных  $\gamma_c = 1,0$  веяренных  $\gamma_c = 0,9$  сильновеяренных  $\gamma_c = 0,8$

Давление отвала на наклонное основание рассчитывается по формуле

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

где  $\alpha$  – угол наклона склона.

**2.6 GeoStudio используемые методы оценки устойчивости.** Численный анализ 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 Моргенштерн-Прайса. [N. R. Morgenstern, E. Price, 1965, Qiang Fan, 2021, Жабко А.В., 2018, В.Н. Бухарцев 2012, С. В. Смолич 2017]

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.

Анализ устойчивости склонов, сложенных грунтами и горными породами для моделирования стабильности склона, деформации грунта. 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, устанавливая начальные условия, интерпретация результатов с помощью различных методов, моделировать сложные временные последовательности или разделять на мелкие подзадачи, возможность многократной оценки их в процессе проектирования. **Расчет устойчивости отвала с учетом сейсмической нагрузки GeoStudio SLOPE/W.** При расчете устойчивости отвалов, расположенных в сейсмоактивных регионах, должны учитываться силы возможных землетрясений. Обеспечение устойчивости отвалов вскрышных пород имеет решающее значение, поскольку оно напрямую влияет на объекты и в жизни персонала безопасность и устойчивость инфраструктуры.

**Псевдостатический анализ** представляет эффекты землетрясения, вызванные ускорениями, которые создают инерционные

силы. Эти силы действуют в горизонтальном и вертикальном направлениях в центре каждого среза. Силы определяются как [Geostudio 2023]:

$$F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W \quad (2.13)$$

$$F_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W \quad (2.14)$$

где:

$a_h$  и  $a_v$  = горизонтальные и вертикальные псевдостатические ускорения,

$g$  = постоянная ускорения свободного падения, и

$W$  = вес сечения (срез).

В SLOPE/W горизонтальные инерционные силы применяются как горизонтальная сила на каждом срезе, как показано на рисунок 1. Например, если  $k_h$  равен 0,2, то величина силы равна 0,2 от веса сечения, что равно 22,697.

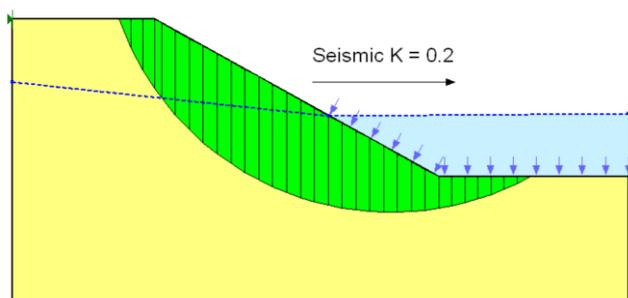
Вертикальные инерционные силы в SLOPE/W добавляются к весу среза. Допустим, что  $k_v$  равен 0,1. Вес для того же среза, что и на рисунке 1, тогда равен 113,48 плюс (0,1 x 113,48), что равно 124,83. Диаграмма на рисунке 2 подтверждает это. Обратите внимание, что горизонтальная сила основана на фактическом гравитационном весе сечения (среза), а не на измененном весе.

Применение вертикальных сейсмических коэффициентов часто мало влияет на коэффициент безопасности. Причина этого в том, что вертикальные инерционные силы изменяют вес сектора (среза).

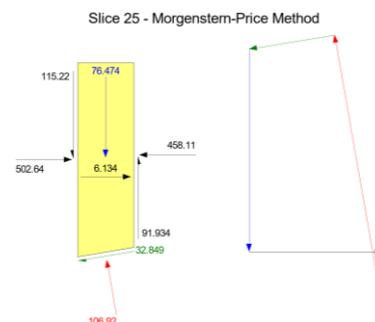


**Рисунок 1.** Горизонтальная сейсмическая инерционная сила в центре тяжести сечения (среза)

Вес, возникающий от загруженной воды у склона, не включается в расчет инерционных сил. Идея заключается в том, что вода (материал с нулевой прочностью) не имеет прочности на сдвиг, и поэтому инерционные силы, действующие на воду, не способствуют дестабилизации склона. На рисунке 2 показан склон с погруженным носком. Инерционные силы теперь не равны напрямую  $kW$ , как показано на рисунке 3.  $k_h W$  составляет 0,2 умножить на 76,474 = 15,29 для среза 25, что больше фактического 6,134. Сейсмический коэффициент применяется только к общему весу среза за вычетом веса дополнительной воды.



**Рисунок 2.** Пример склона с погруженным носком



**Рисунок 3.** Сила инерции для среза под водой

Горизонтальные инерционные сейсмические силы могут оказывать критическое влияние на устойчивость склона. Даже относительно небольшие сейсмические коэффициенты могут значительно снизить коэффициент безопасности, и если коэффициенты слишком велики, то становится невозможным получить сходимое решение. Следовательно, всегда полезно применять сейсмические силы постепенно, чтобы получить понимание чувствительности коэффициента безопасности к этому параметру. Часто бывает полезно создать график. По мере увеличения сейсмического коэффициента должно наблюдаться плавное постепенное уменьшение коэффициента безопасности.

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%. [СН КР 20-02:2024, СП 14.13330.2018]

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 1.

**Таблица 1.** Сопоставления сейсмического ускорения **a** с интенсивностью землетрясений по шкале MSK-64 [СН КР 20-02:2024, С. В. Медведев 1962], I в баллах на поверхности.

п.н.№	Балл	Сейсмическое ускорение <b>a</b>	Сопоставления сейсмического ускорения ( <b>a</b> ) с интенсивностью землетрясений по шкале MSK-64
1.	4	<0.01g	умеренное
2.	5	0.025g	сильное
3.	6	0.025-0.05 g	очень сильное
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	катастрофическое

$$a = A4\pi^2/T^2 \text{ mm/c}^2,$$

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

Коэффициентом сейсмичности называется отношение величины сейсмического ускорения ускорению свободного падения:  $K_c = a/g$ . [СН КР 20-02:2024, С. В. Медведев 1962]

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.

**В третьей главе** приведены результаты численного моделирование устойчивости отвалов вскрышных пород. 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.

**3.1 Оценка несущей способности.** 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  $\gamma_n$  принят равным 1.1,  $\gamma_c = 0.8$ . 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

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



**Рисунок 4.** Зависимость площади основания отвала от давления складироваемых вскрышных пород:

Установлено, что дальнейшее увеличение объема ведет к потере устойчивости основания.

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.

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.

**3.3 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 [М. Zengin. Адамов В.Г., 2015]) 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.

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. [А.А. Захарова, 2012]

**Для создания 3D модели 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. [Google SketchUp 2009]

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

Возможность устанавливать **географически достоверные данные** в соответствии с заданными широтой и долготой;

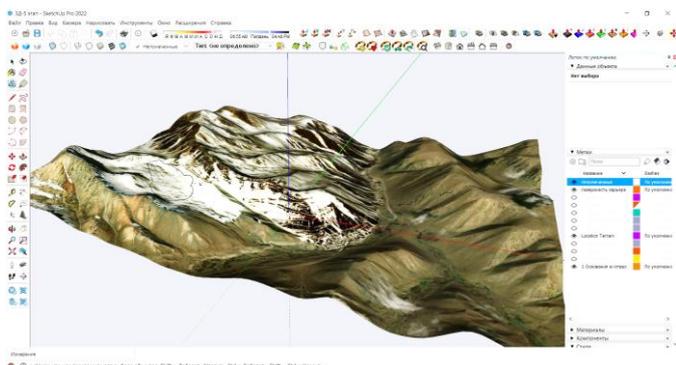
Возможность добавить в модель поверхность земли и регулировать её форму — ландшафт;

Возможность использования SketchUp совместно с Google Планета Земля. Рисунок 5.

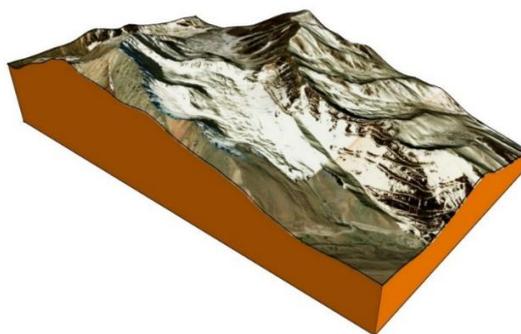


**Рисунок 1.** Google SketchUp, Окно загрузки географических данных и местоположение.

После получения оцифрованную 3д модель рельефа местности обрабатываем для дальнейшей постройки отвалов вскрышных пород (Рисунок 6-7).



**Рисунок 6.** Оцифрованный рельеф местности.



**Рисунок 2.** 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.

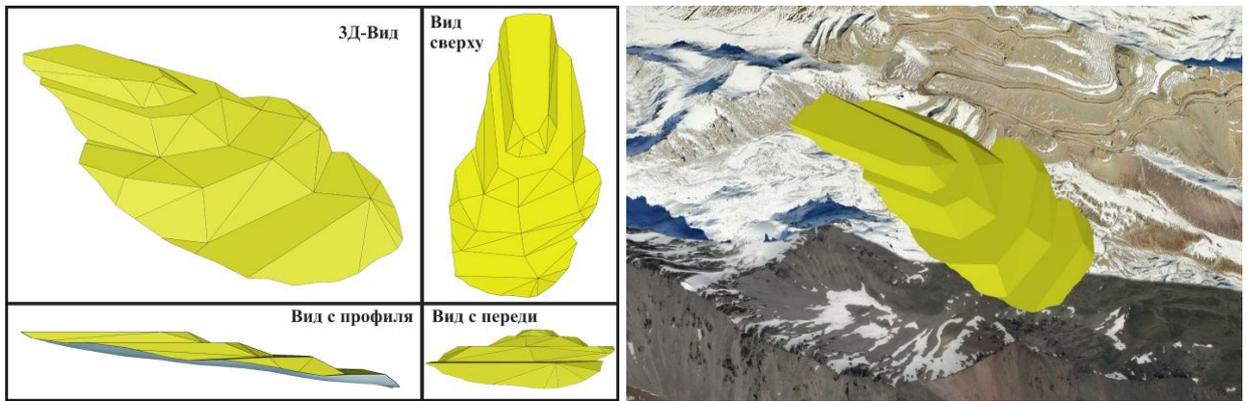
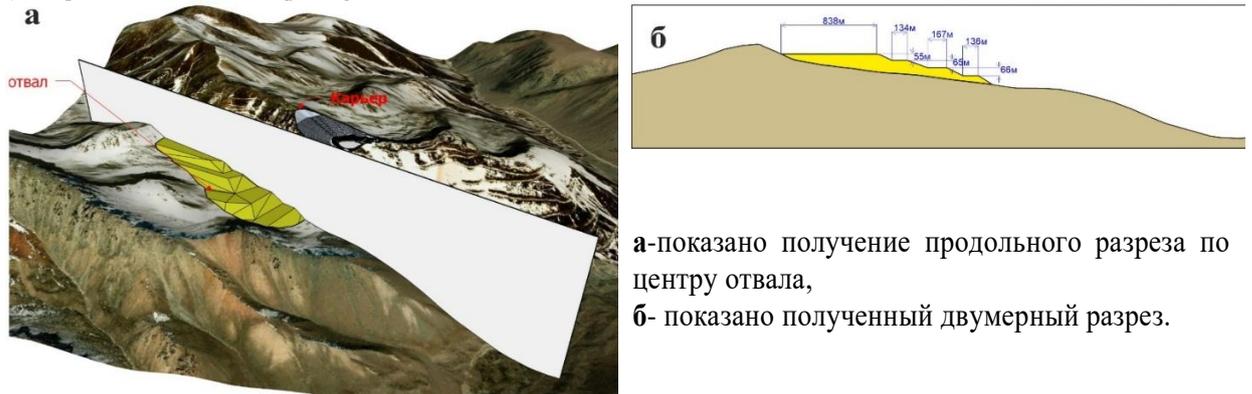


Рисунок 3. 3Д-Модель объекта проектируемого отвала.

**Построение профилей с 3Д-модели отвала и земной коры.**

Построение геометрических параметров отвалов. Из построенной 3д-модели получаем вертикальные профили отвала и земной коры от поверхности в глубину. Рисунок . [Б.Т. Джакупбеков 2016, Djakupbekov B.T. 2023]



а-показано получение продольного разреза по центру отвала,  
б- показано полученный двумерный разрез.

Рисунок 9. Построение эскиза чертежа разреза.

Методика оценки устойчивости отвалов вскрышных пород. Полученные разрезы из 3Д модели отвала, загружаем в программный модуль GeoStudio SLOPE/W для постройки по образцу подгоняем чертеж отвала в масштабе 1:1, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**- 11

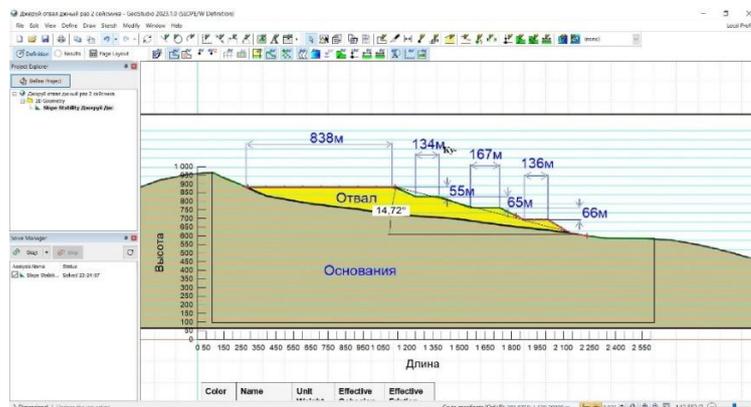
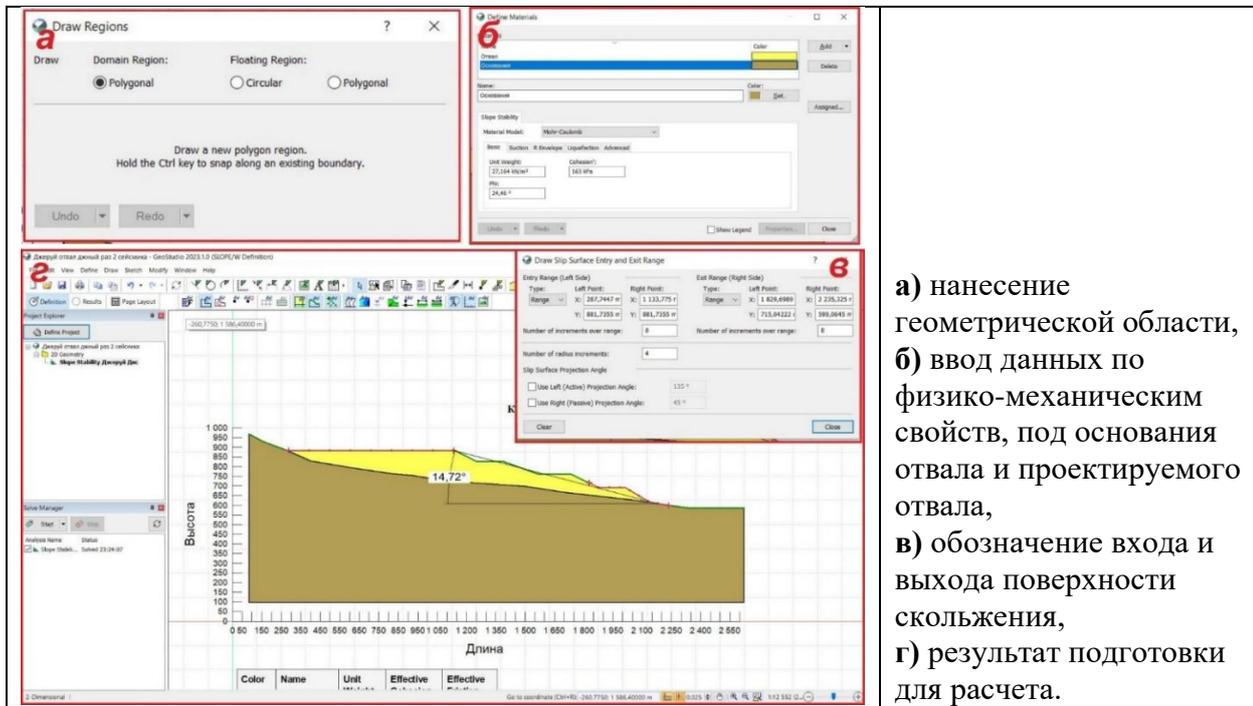


Рисунок 10. Подгон по масштабу чертежа отвала в GeoStudio SLOPE/W.



- 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.

Рисунок 11. По этапное работа над чертежом,

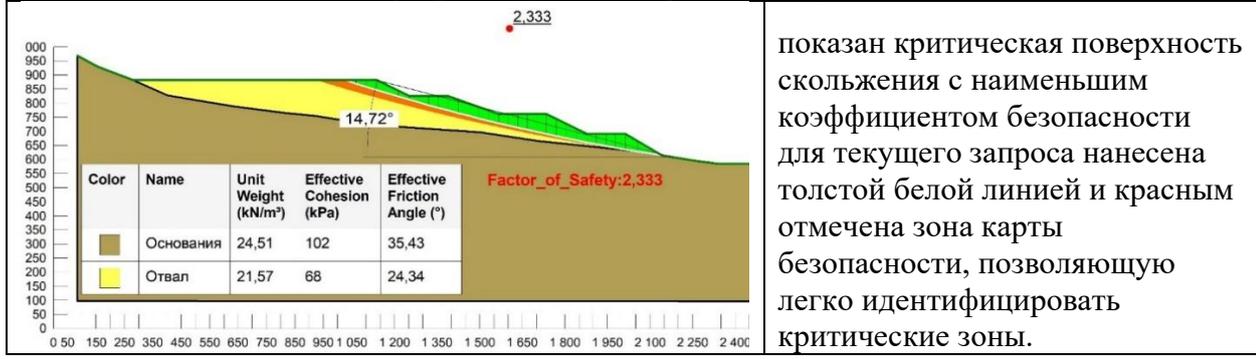
Для определения расчета по оценке коэффициента устойчивости вводим данные по механическим свойствам горных пород по трем значениям свойств это; угол внутреннего трения -  $\varphi$ , сцепление -  $c$  и удельный вес (насыпной вес) –  $\gamma$ . Таблица. [Supandi S., Fernando A., 2023, К. Ч. Кожугулов 2020]

Таблица 2. физико-механические свойства приименная в расчетах.

цвет	Название	Вес, т/м <sup>3</sup> (кН/м <sup>3</sup> )	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 Моргенштейна и Прайса (коэффициент запаса устойчивости) [Асилова З.А., 2023, Ashutosh K., 2011, Немова Н. 2019].

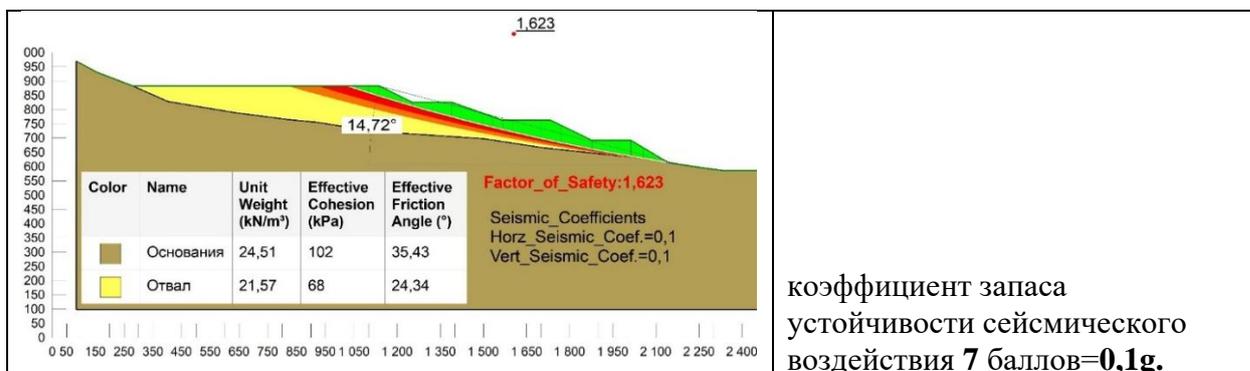
Отвала что в данном разрезе составила  $K_u=2,33$  Рисунок .



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.

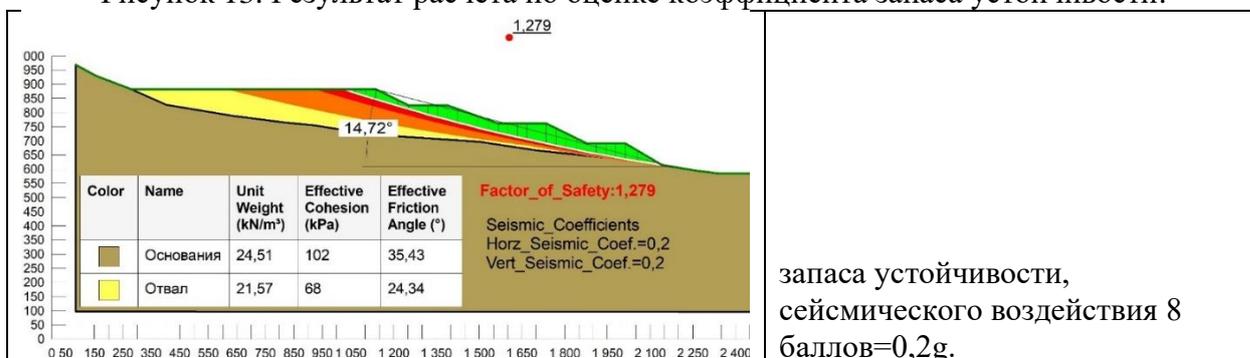
Рисунок 12. Результат расчета по оценке коэффициента запаса устойчивости

**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 Рисунок13-14 [Кожугулов К.Ч., 2018 Фоменко И.К., 2011, Попов В.Н. 2010]



коэффициент запаса устойчивости сейсмического воздействия 7 баллов=0,1g.

Рисунок 13. Результат расчета по оценке коэффициента запаса устойчивости.



запаса устойчивости, сейсмического воздействия 8 баллов=0,2g.

Рисунок 14. Результат расчета по оценке коэффициента запаса устойчивости.

Расчет устойчивости отвала вскрышных пород с учетом сейсмических ускорений показал, что отвал устойчив, с значениями  $K_u=1,6$  на Рисунок, а значениями  $K_u=1,3$  не устойчив на Рисунок. [Смолич С. В., Бабелло В. А., 2017, Вохуан Lin, 2022, Немова Н. А., 2019, Кан Кай 2019]. 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.

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.



Рисунок 15 Коэффициент безопасности в зависимости от горизонтального сейсмического коэффициента.

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 отвалообразования 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.

**В четвертой главе** приводятся оценка устойчивости породных отвалов и рекомендации по размещению породных отвалов на Джеруйском месторождении. Высокогорный 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. Рисунок 16



Рисунок 16. Обзорная карта района 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. В соответствии с «Картой сейсмического районирования Кыргызской Республики» месторождение располагается в сейсмогенерирующей зоне с магнитудой 9 по шкале Рихтера. [СН КР 20-02:2024, Приложение В, Г, И.]. 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. 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.

По гидрогеологическому районированию Кыргызстана месторождение Джеруй относится к бассейну рек Чу-Талас, Таласскому под региону. Климат Таласского района континентальный. Среднегодовая температура воздуха - 4.1°C, годовое количество осадков 750 мм. 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 м<sup>3</sup>/с. В целом по месторождению водопритоки к горным выработкам незначительные. **Общая характеристика горных пород** 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 неизменные 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 расланцевания 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. [127, 2. Общая часть, Раздел 2. 12-30 стр., <https://www.alliance-altyn.kg/ustoychivoe-razvitie/ovos/>]

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 Протодеяконову (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»

были определены следующие свойства согласно техническому заданию:

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

Таблица 4. Сводная таблица физико-механических свойств пород в воздушно-сухом состоянии

№ проб	Место отбора	Объемный вес $\gamma_o$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при растяжении $\sigma_r$ , МПа	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа	Угол внутреннего трения $\phi$ , 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

В расчетах коэффициента устойчивости использованы свойства пород, приведенные ниже. Для свойств основания: угол внутреннего трения равен 24,460; сцепление равна 1,63 МПа, плотность равна 2769 кг/м<sup>3</sup> (насыпной вес 2100 кг/м<sup>3</sup>).

Свойства отсыпаемых вскрышных пород, следующие: угол внутреннего трения равен 35,430; сцепление равна 0,72 МПа, плотность равна 2769 кг/м<sup>3</sup> (насыпной вес 1700 кг/м<sup>3</sup>).

4.3 Расчет и оценка устойчивости основания под отвалы. Обзорная карта (схему) размещения отвалов с нанесенными согласованными сечениями и соответствующими разрезами (Рисунок 17).

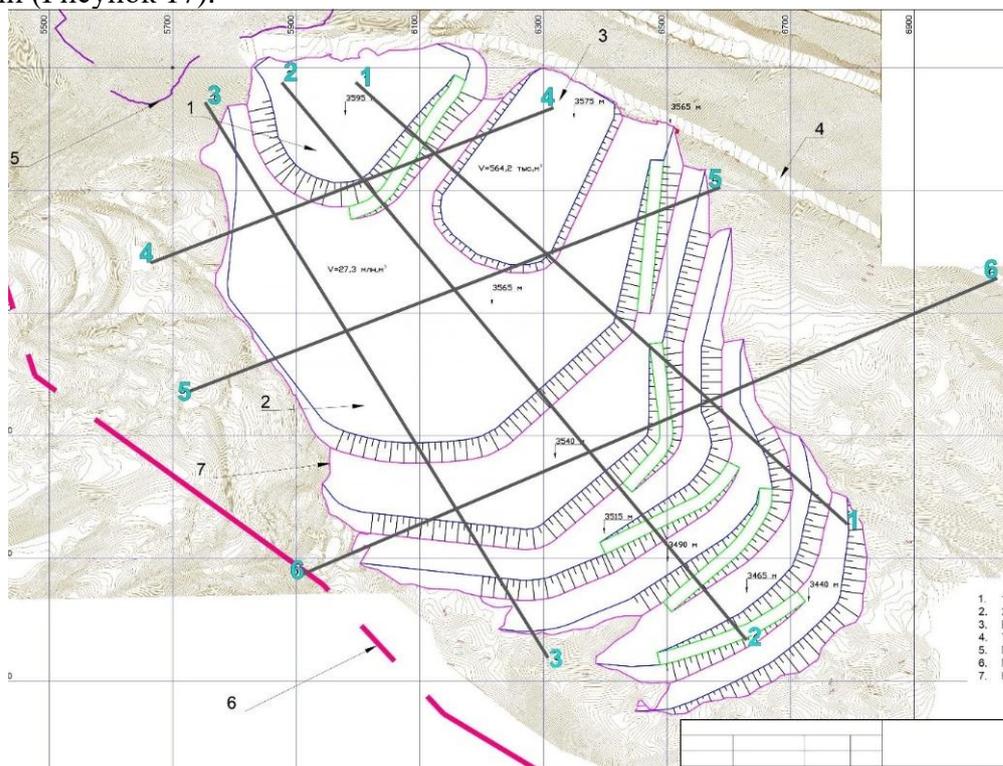


Рисунок 17. Схема размещения отвалов вскрышных пород и нанесенными линиями разрезов на месторождении Джеруй.

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 5.

Таблица 5. 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 [128] расчетное сопротивление щебенистых и дресвяных грунтов основания по отвал составляет 60 МПа.

**Общая характеристика отвал пустой породы «Южный»** расположен на участке Южный, месторождении Джеруй расположены с юго-западной стороны карьера в радиусе от 0,1 до 0,9 км. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Отвал планируется разместить на площади 750000м<sup>2</sup>. Общий объем отгружаемых в отвал пород составит 24,129 млн. м<sup>3</sup>, Вид сверху **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Проектная емкость отвала 27,3 млн. м<sup>3</sup>. 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 таблице.

№	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 <sup>3</sup>	16,0
4	Общий объем вскрышных пород (с учетом коэффициента разрыхления), размещаемый в отвале	млн. м <sup>3</sup>	24,1
5	Проектная емкость отвала	млн. м <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup>	623,7
16	Средний угол падения рельефа под отвалом	град.	7
17	Ширина транспортной бермы	м	Не менее 20



Рисунок 18. Общий вид отвала Южный (дата съемки 24.10.2023г).

Расчет и **оценку устойчивости** производили по шести сечениям. 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** на отвал, 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 20-21. [Geostudio 2023, СН КР 20-02:2024].



Рисунок 20 Отгружаемые породы различной крупности в отвал. (фотоснимок от 23.11.2023г)

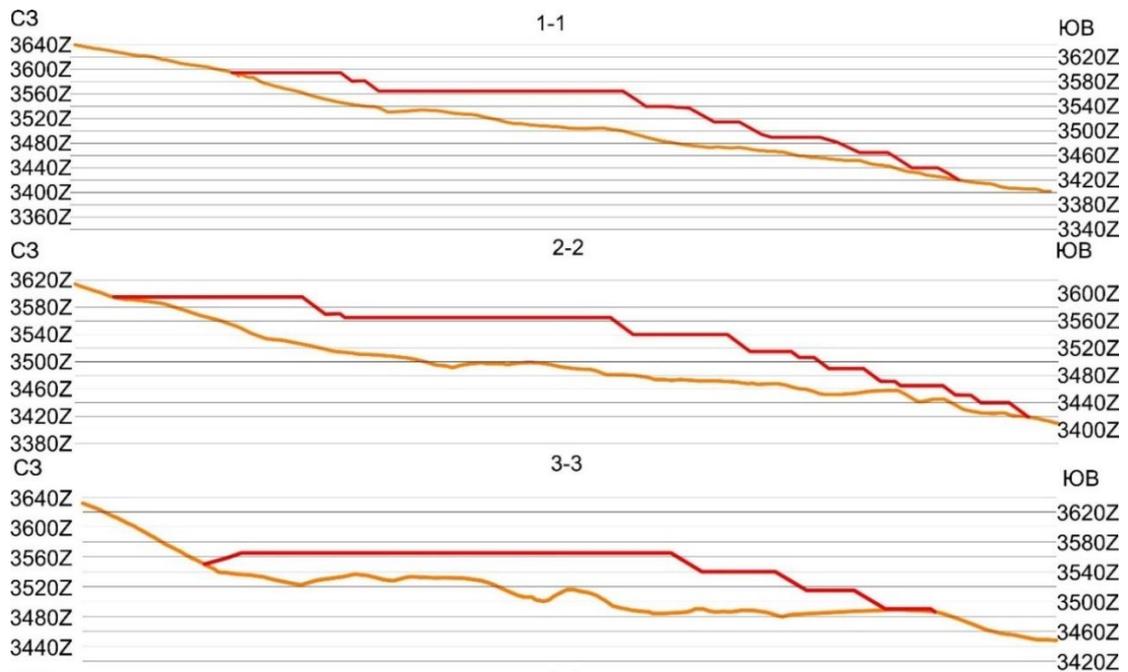
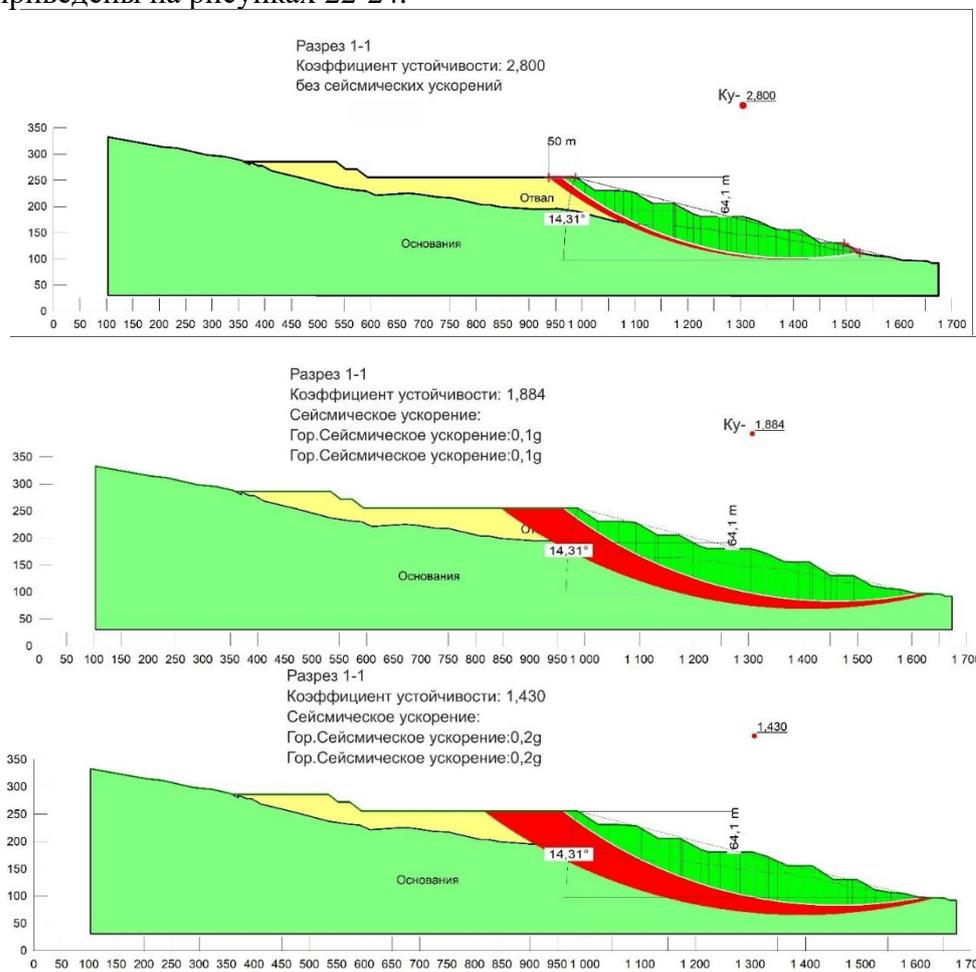


Рисунок 21. Профили отвала по расчетным сечениям (1-3 продольные, 4-6 поперечные)  
 Результаты расчета коэффициента устойчивости отвала вскрышных пород  
 приведены на рисунках 22-24.



**а** – расчет  
 коэффициента  
 устойчивости  
 $K_u=2,800$

**б** – расчет  
 коэффициента  
 устойчивости  
 при  
 сейсмических  
 ускорениях  
 $0,1g$  (7 баллов)  
 $K_{ус}=1,884$

**в** - расчет  
 коэффициента  
 устойчивости  
 при  
 сейсмических  
 ускорениях  
 $0,2g$  (8 баллов).  
 $K_{ус}=1,430$

Рисунок 22. Расчет коэффициент устойчивости разрез-1-1

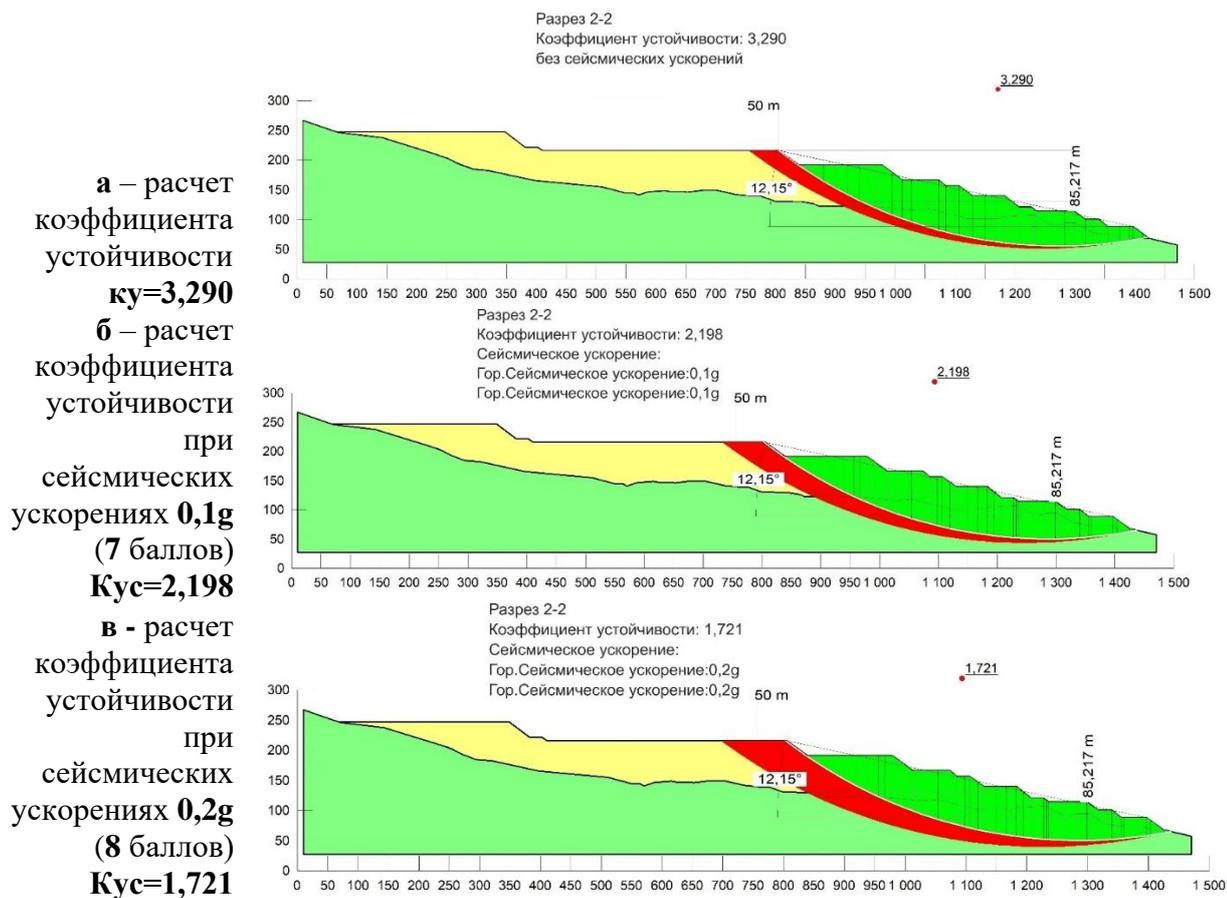


Рисунок 23. Расчет коэффициент устойчивости разрез-2-2.

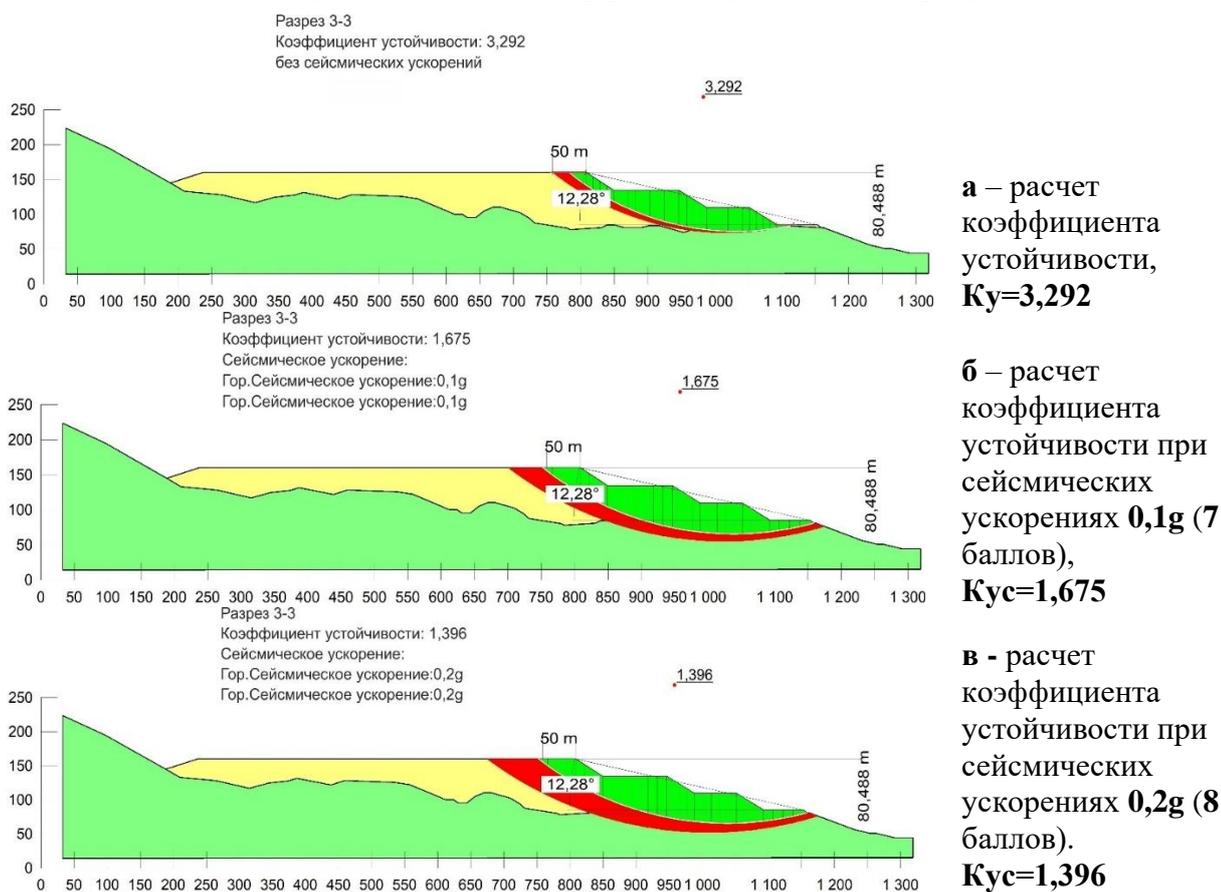
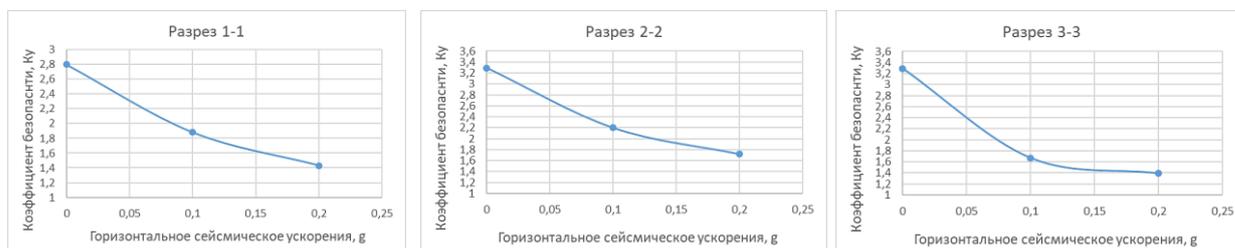


Рисунок 24. Расчет коэффициент устойчивости разрез-3-3.

**Таблица 6.** 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

**Рисунок 25.** Коэффициент безопасности в зависимости от горизонтального сейсмического коэффициента.

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.

#### 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 автоматическом режиме съема данных согласно внутренней документации.

Как только обнаружен потенциально неустойчивый участок на отвалах, персонал рудника должен определить, можно ли продолжить или следует приостановить горные работы.

Первое — это как можно раньше определить, какие участки имеют больший 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  $\varphi=41,720$ .
- Для свойств основания: угол внутреннего трения равен 24,460; сцепление равна 1,63 МПа, плотность равна 2769 кг/м<sup>3</sup> (насыпной вес 2100 кг/м<sup>3</sup>).
- Свойства отсыпаемых вскрышных пород, следующие: угол внутреннего трения равен 35,430; сцепление равна 0,72 МПа, плотность равна 2769 кг/м<sup>3</sup> (насыпной вес 1700 кг/м<sup>3</sup>).
- Отвал планируется разместить на площади 750000 м<sup>2</sup>. Общий объем отгружаемых в отвал пород составит 24,129 млн. м<sup>3</sup>. Проектная емкость отвала 27,3 млн. м<sup>3</sup>.

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 60 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.
- Расстояние, на которое сместится отвал 500 м, при полной остановке 850 м. угол падения составляет 110 (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 - 340.
- 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.
- На склоне следует предусмотреть предохранительный вал высотой не менее 0,5 высоты колеса автосамосвала и обратный уклон разгрузочной площадки не менее 30. Отвалы, размещаемые на 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 предопределили 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%.

7. **Таблица 7** 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, складываемых 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 опубликованных работ по теме диссертации

1. Никольская О.В., Кадыралиева Г.А., **Джакупбеков Б.Т.** Зависимость свойств грунтов оползнеопасного склонов от сезонных колебаний температуры воздуха. Сбор.мат.науч.прак.конф. «Старт в большую науку», Изд.»Илим», Бишкек 2013г.-с.44-45
2. Кадыралиева Г.А., **Джакупбеков Б.Т.** Прогнозирование устойчивости отвалов при освоении высокогорных месторождений полезных ископаемых. Сборник материалов научно-практической конференции молодых ученых Кыргызстана «Старт в большую науку». Бишкек 2013 г. С. 3-6.
3. K. Ch. Kozhogulov, G.A. Kadyralieva, **B.T. Dzhakupbekov.** Assessment and the landslides forecast dangers of slopes in mountain-folded areas. Proceeding of the International Symposium on «Geohazards: Science, Engineering and Management», Katmandu, Nepal 2014, p-172-179
4. Кожоголов К.Ч., Никольская О.В., Кадыралиева Г.А., **Джакупбеков Б.Т.** Устойчивость бортов нагорных карьеров в зонах влияния тектонических нарушений. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2015. Т. 2. № 2. С. 240-244.

5. **Джакупбеков Б.Т.** Определение параметров отвалов на горных склонах с применением программного приложения google sketchup. Современные проблемы механики. 2016. № 26 (4). С. 58-64.
6. Куваков С.Ж., Кадыралиева Г.А., **Джакупбеков Б.Т.** Физико-механические свойства горных пород глубоких горизонтов месторождения "Макмал". Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2016. Т. 16. № 5. С. 151-153.
7. G. Kadyralieva, **B. Dzhakupbekov**, S. Kuvakov. Assessment peculiarities of the constructions stability in the areas of affected by mining operations. on TC 305 "Geotechnical Infrastructure for Megacities and New Capitals" // Orlando, New York: Geo-Institute, Kazakhstan Geotechnical Society, 2018 - P.116 С.114-116.
8. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., **Джакупбеков Б.Т.**, Жумабек У.Ж. Моделирование процесса разрушения прибортового массива горных пород блочного строения. Современные проблемы механики. 2018. № 34 (4). С. 3-10.
9. Кадыралиева Г.А., **Джакупбеков Б.Т.** Особенности оценки устойчивости сооружений в зонах воздействия горных работ. Вестник евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева серия: технические науки и технологии, 2020. Т.132(3). С. 74-81.
10. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., **Джакупбеков Б.Т.** Проблемы безопасного отвалообразования при освоении высокогорных месторождений. Современные проблемы механики. 2020. Т. 41. № 3. С. 110-118.
11. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., **Джакупбеков Б.Т.** Устойчивость отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2021. Т. 8. № 1. С. 93-96.
12. **Джакупбеков Б.Т.**, Исагалиева С.У., Кадыралиева Г.А. Анализ влияния морозного пучения дорожного полотна автомобильных дорог на их эксплуатацию. Инженер: научное и периодическое издание Инженерной академии Кыргызской Республики. 2022. № 24. С. 120-126.
13. **Джакупбеков Б.Т.**, Асилова З.А. Трехмерное моделирование отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений. Известия ВУЗов Кыргызстана. 2023. №. 3. С. 16-20
14. Асилова З.А., **Джакупбеков Б.Т.** Отличительные признаки устойчивости отвалов, обеспечивающие безопасное складирование вскрышных пород на склоне. Известия ВУЗов Кыргызстана. 2023. №. 3. С. 12-15
15. **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. 2023. Т. 10. № 1. С. 30-36.
16. K.Ch Kozhogulov, **B.T. Dzhakupbekov**. Calculation of the parameters of the base of waste rock dumps on a mountain slope. Smart Geotechnics for Smart Societies, 2023, страницы 867–870
17. **Джакупбеков Б.Т.**, Исагалиева С.У., Кадыралиева Г.А., Алимбеков К.С.. Составления топографических планов высокогорных рельефов местности с помощью Google Sketchup. Современные проблемы механики. 2023. Т. 53. № 3. С. 69-74.
18. Kadyralieva Gulzat Asanbekovna, **Dzhakupbekov Belek Torokulovich**, Isagalieva Seiilkan Usenbekovna, and Aitkuliev Nurlan Ataibekovich. Displacement of rocks and parameters of the trough of displacement. ICGE-Iraq & WICES, Earth and Environmental Science 1374 (2024) 012037

## ЖЫЙЫНТЫК

**Джакупбеков Белек Төрөкуловичтин 25.00.20 адистиги боюнча техника илимдеринин кандидат илимий даражасын алуу үчүн «Тоо-кендерди өздөштүрүүдө бош тектердин үйүндүлөрүнүн туруктуулугун негиздөө» темасындагы диссертация. - «Геомеханика, тоо тектердин жарылуу менен гөчүүсү, шахтанын аэрогаздинамикасы жана тоо-кен жылуулук физикасы».**

**Негизги сөздөр:** төгүндү, туруктуулук, физикалык-механикалык касиеттери, төгүндүнүн геометриялык параметрлери, бош тектердин үйүндүлөрүнүн көлөмү, коопсуздук коэффициенти, туруктуулук коэффициенти, гөчүү айланасы.

**Диссертациялык изилдөөнүн объектиси болуп** Жерүйдүн кениндердеги бош тектердин үйүндүлөрү саналат.

**Изилдөөнүн предмети** 3D моделин ыңгайлаштыруу, Тоо-кендерди өздөштүрүүдө бош тектердин үйүндүлөрүнүн туруктуулугун изилдөө жана сыноо.

**Изилдөөнүн максаты** – Жерүй кенинин Тоо-кендерди өздөштүрүүдө бош тектердин үйүндүлөрүнүн туруктуулугун негиздөө жана эсептөө ыкмасын иштеп чыгуу.

**Изилдөө ыкмалары:** теориялык, лабораториялык, сандык, компьютердик.

**Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы:** бош тектердин үйүндүлөрүн төгүүчү жайлардын туруктуулугун изилдөөгө жаңы ыкма иштелип чыккан, мында сакталган үстүңкү тектердин көлөмү жана бош тектердин төгүүчү жайдын астындагы пайдубалдын көтөрүү жөндөмдүүлүгү эске алынган; бош тектердин үйүндүлөрүнүн көлөмүнө бош тектердин үйүндүлөрүнүн геометриялык параметрлеринин көз карандылыгы белгиленген; үйүндүлөрдүн туруктуулугу жантайманын инженердик-геологиялык, гидрогеологиялык өзгөчөлүктөрүн жана сейсмикалык жүктөрдү эске алуу менен бааланган; Эңкейиштин жана төгүндүнүн 3D модели иштелип чыкты жана негизделди, бул эңкейиштеги жүк ташуучу төгүндүлөрдүн туруктуулугун баалоо үчүн интерпретациялоонун ар кандай түрлөрүн жүргүзүүгө мүмкүндүк берет.

**Колдонуу чөйрөсү:** илимий жоболор, алынган натыйжалар жана иштелип чыккан методдор теориялык жана практикалык мааниге ээ жана ченемдик документтерде жана окуу-методикалык адабияттарда, долбоорлоо жана өндүрүштүк ишмердүүлүктө колдонулушу мүмкүн.

## РЕЗЮМЕ

**Диссертация Джакупбекова Белека Торокуловича на тему «Обоснование устойчивости породных отвалов при освоении высокогорных месторождений» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20. – «Геомеханика, разрушение горных пород взрывом, рудничная аэрогаздинамика и горная теплофизика».**

**Ключевые слова:** отвал, устойчивость, физико-механические свойства, геометрические параметры отвала, объем вскрышных пород, коэффициент запаса устойчивости, коэффициент устойчивости, зона обрушения.

**Объектом исследования диссертации** являются отвалы на рудном месторождении Джеруй.

**Предметом исследования** является адаптирование 3D-модели для изучения и оценки устойчивости отвалов на высокогорных месторождениях.

**Целью исследования** является разработка методики расчета и обоснование устойчивости породных отвалов Джеруй месторождения.

**Методы исследования:** теоретические, лабораторные, численные, компьютерные.

**Полученные результаты и их новизна:** разработан новый подход изучения устойчивости отвалов, учитывающий объем складироваемых вскрышных пород и несущую способность основания под отвал; установлена зависимость геометрических параметров отвала от объема отгружаемых пород; оценена устойчивость отвала с учетом инженерно-

геологических, гидрогеологических особенностей склона и сейсмических нагрузок; разработана и обоснована 3Д-модель склона и отвала, позволяющая произвести различного вида интерпретацию по оценке устойчивости отвалов вскрышных пород на склоне.

**Область применения:** научные положения, полученные результаты и разработанные способы имеют теоретическое и практическое значение, могут найти применение в нормативной документации и учебно-методической литературе, в проектной и производственной деятельности.

#### SUMMARY

**Dissertation by Belek Torokulovich Dzhakupbekov on the topic "Justification of the stability of rock dumps during the development of high-mountain deposits" for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 25.00.20. - "Geomechanics, destruction of rocks by explosion, mine aerogas dynamics and mining thermal physics".**

**Keywords:** dump, stability, physical and mechanical properties, geometric parameters of the dump, volume of overburden, safety factor, stability factor, collapse zone.

**The object of the dissertation research** is the dumps at the Jerooy ore deposit.

**The subject of the study** is the adaptation of a 3D model for the study and assessment of the stability of dumps at high-mountain deposits.

**The aim of the study** is to develop a calculation methodology and justification for the stability of the rock dumps of the Jerooy deposit.

**Research methods:** theoretical, laboratory, numerical, computer.

**The results obtained and their novelty:** a new approach to studying the stability of waste dumps has been developed, taking into account the volume of stored overburden rocks and the bearing capacity of the foundation under the waste dump; the dependence of the geometric parameters of the waste dump on the volume of shipped rocks has been established; the stability of the waste dump has been assessed taking into account the engineering-geological, hydrogeological features of the slope and seismic loads; a 3D model of the slope and waste dump has been developed and substantiated, allowing for various types of interpretation to assess the stability of waste dumps on the slope.

**Scope:** scientific provisions, the results obtained and the developed methods have theoretical and practical significance, can find application in regulatory documentation and educational and methodological literature, in design and production activities.