Заляднов В.Ю., Пыталев И.А., Курочкин А.И., Алимпьев К.А., Баранов О.В. Геомеханическое обоснование параметров бортов карьера золоторудного месторождения на стадии проектирования // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2026. – № 40. – С. 88-96.

УДК 622.271.333.1 https://doi.org/10.26160/2658-3305-2026-40-88-96

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ КАРЬЕРА ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Заляднов В.Ю., Пыталев И.А., Курочкин А.И., Алимпьев К.А., Баранов О.В.
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск

Ключевые слова: карьер, угол откоса борта, устойчивость, физико-механические свойства, программный комплекс, расчет коэффициента запаса устойчивости.
Аннотация. В статье представлены результаты научно-исследовательской работы по оценке устойчивости бортов карьера месторождения рудного золота. Исследования связаны с необходимостью выполнения технико-экономического обоснования постоянных разведочных кондиций с пересчетом запасов, предусмотренных к отработке открытым способом в современных условиях конъюнктуры рынка. Дано описание пород представляющих приоткосный массив, их физико-механические свойства и результаты подготовки исходных данных для математического моделирования и аналитических расчетов устойчивости откосов карьера в предварительных проектных контурах. Представлены результаты расчета показателя устойчивости по исследуемым профильным разрезам проектируемого карьера, которые показывают, что параметры откосов, принятых по нормам технологического проектирования, соответствуют имеющимся прочностным характеристикам приоткосного массива. Расчет устойчивости откосов бортов карьера произведен с использованием компьютерной программы «Программа расчета коэффициента запаса устойчивости откосов борта карьера и отвалов», имеющей свидетельство о государственной регистрации от 2024 года. В описании приведены основные особенности и возможности программы. На основе представленных расчетов и полученных результатов, предложены рациональные значения откосов бортов карьера, обеспечивающие их устойчивость и безопасность ведения горных работ на длительный период времени.

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF GOLD ORE DEPOSIT OPEN-QUIRY SIDE PARAMETERS AT THE DESIGN STAGE

Zalyadnov V.Yu., Pytalev I.A., Kurochkin A.I., Alimpyev K.A., Baranov O.V.
Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk

Keywords: open-pit mine, slope angle, stability, physical and mechanical properties, software package, calculation of the ore reserve.
Abstract. This article presents the results of a research project to assess the stability of open-pit mine walls at a gold ore deposit. This research is related to the need to conduct a feasibility study of permanent exploration conditions with the recalculation of reserves planned for open-pit mining in the current market conditions. This article describes the rocks comprising the slope massif, their physical and mechanical properties, and the results of preparing the initial data for mathematical modeling and analytical calculations of quarry slope stability within preliminary design contours. The results of stability index calculations for the studied profile sections of the designed quarry are presented, demonstrating that the slope parameters adopted according to process design standards correspond to the existing strength characteristics of the slope massif. The quarry slope stability calculation was performed using the "Program for Calculating the Slope Stability of Quarry Walls and Dumps" computer program, which has a state registration certificate from 2024. The description presents the main features and capabilities of the program. Based on the presented calculations and the obtained results, rational values for quarry slopes are proposed, ensuring their stability and the safety of mining operations over a long period of time.

Введение

Участок исследуемого месторождения административно принадлежит Чебаркульскому муниципальному району Челябинской области. Географически участок расположен на восточном склоне Южного Урала, близ границы с Республикой Башкортостан.

В составе рудного поля выделено 4 участка: Северный фланг, Центральный (собственно месторождение), Промежуточный и Южный фланг. Основным участком является Центральный, где сосредоточены основные запасы.

Оруденение участка относится к типу минерализованных зон, а по характеру жильных и рудных минералов, входящих в состав руд, может быть отнесено к средне глубинной формации умеренно-сульфидных объектов с проявлением лиственитизации и беретизации.

Вмещающий комплекс пород представлен базальтами, андезибазальтами амурской толщи и их туфами, превращенными в различные сланцы: кварц-карбонат-хлоритовые, кварц-серицит-хлоритовые, кварц-альбит-эпидот-хлоритовые и т.д.

Породы палеозойского комплекса участками перекрыты покровом четвертичных рыхлых отложений и структурной корой выветривания глинистого и дресвяно-щебнистого характера. Мощность коры выветривания достигает 60 метров.

Материалы и методы исследований

Анализ горнотехнических условий залегания рудных тел исследуемого участка (морфология, выход рудных тел на дневную поверхность, низкие содержания полезного компонента, а также сложное внутреннее строение) предопределяет применение открытого способа разработки. Предварительный контур карьера на конец отработки построен в соответствии с нормами технологического проектирования с учетом характеристик горных пород, слагающих массив [1-5]. Параметры элементов бортов карьера приведены в таблице 1.

Параметры карьера на конец отработки приведены в таблице 2.

Табл. 1. Основные параметры конструкции бортов карьера

Наименование параметров	Ед. изм.	Значения
Высота добычного уступа	м	5,0
Высота вскрышного уступа	м	10,0
Высота уступа в погашении	м	20,0-30,0
Ширина бермы безопасности	м	10,0
Ширина однополосных транспортных съездов	м	18,0
Углы откоса уступов в погашении – в скальных породах; – в рыхлых породах	град	 60 50

Табл. 2. Основные горнотехнические параметры карьера на конец отработки

Параметры	Ед. изм.	Объемы
Средняя отметка поверхности	м	465
Проектная отметка дна	м	+303,0
Максимальная глубина карьера	м	166,0
Площадь карьера по поверхности	тыс. $м^2$	284,4
Длина дна карьера	м	55,0
Ширина дна карьера	м	25,0
Коэффициент вскрыши средний	$м^3/т$	9,3

Для определения производственной мощности рудника использована методика, представленная в Ведомственных Нормах Технологического проектирования (ВНТП-35-86) с учетом коэффициента рудоносности и среднего годового понижения горных работ. Производственная мощность рудника принята равной 250 тыс. т. руды в год по выбранному варианту.

Для оценки устойчивости на плане проектируемого карьера был намечен ряд соответствующих расчетных линий разрезов (рис. 1).

Для проведения исследований по оценке устойчивости бортов карьера, проведен специальный отбор проб пород и их лабораторные испытания. Физико-механические характеристики пород, слагающих прибортовой массив, получены в результате исследований на базе ООО «Гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии» ГИНГЕО.

Средние значения основных показателей физико-механических свойств скальных грунтов характерных для образца породы исследуемого месторождения, представлены в таблице 3.

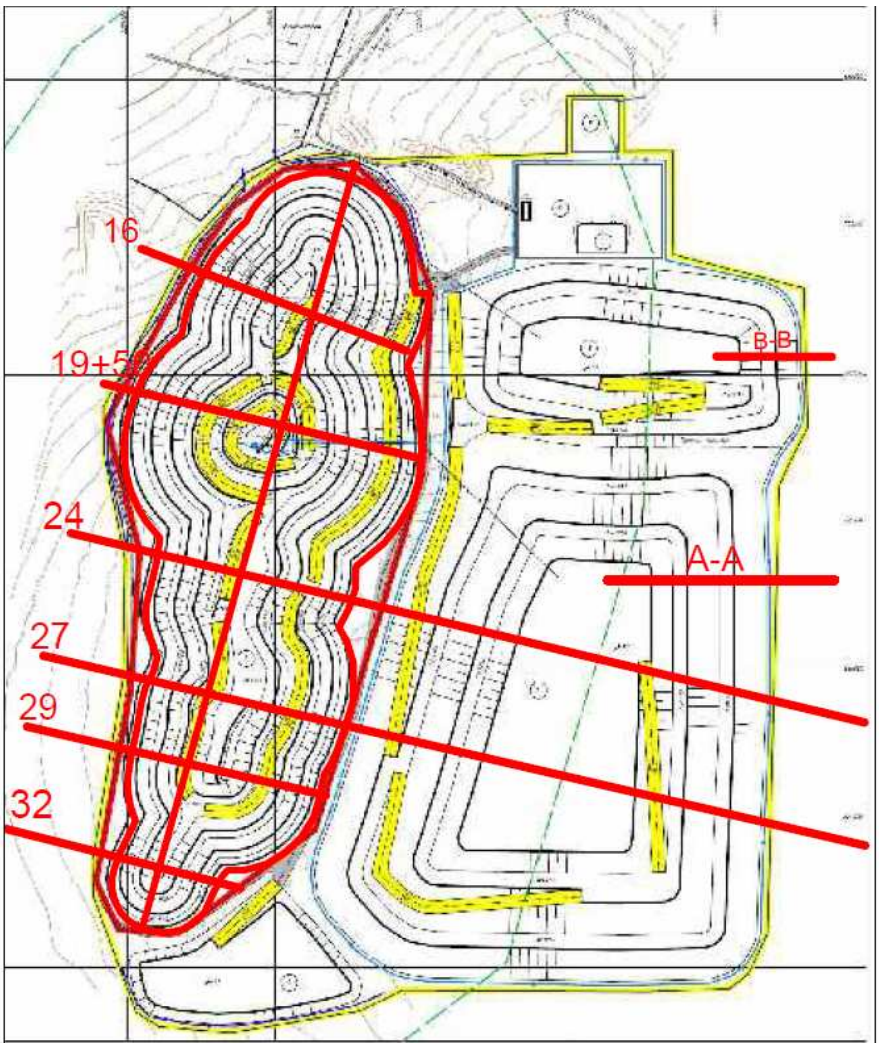


Рис. 1. План современного проектируемого карьера исследуемого месторождения

Табл. 3. Средние значения основных показателей физико-механических свойств скальных грунтов характерных для образца породы

Разновидность пород по прочности			Малопрочные	Средней прочности	Прочные
Плотность грунта,р, г/см^3			2,76	2,83	2,85
Коэффициент размягчаемости, д.е.			0,38	0,71	0,96
Предел прочности, МПа	в сухом состоянии	при сжатии	24,5	40,7	57,6
		при растяжении	4,9	7,1	8,8
	в водонас. состоянии	при сжатии	9,3	28,8	55,3
		при растяжении	2,1	5,4	8,6
при срезе со сжатием (CCS)		Удельное сцепление, МПа	6,3	10,5	15,6
		Угол внутреннего трения, град	35	36	39
Модуль упругости (Юнга), ГПа			49,0	53,6	54,1
Коэффициент Пуассона			0,25	0,20	0,16
Коэффициент крепости			4	7	10

Следует отметить, что представленные в таблице 3 данные являются среднеарифметическими по общему объему проб и не учитывают водонасыщенное состояние пород. Для расчета устойчивости откосов бортов карьера следует рассматривать наиболее

неблагоприятные условия, в том числе свойства пород в водонасыщенном состоянии, а также конкретные типы пород, слагающие массив на отдельно-взятых участках.

В таблице 4 представлены данные физико-механических свойств пород средней прочности в образце в водонасыщенном состоянии для конкретных типов пород.

Табл. 4. Физико-механические свойства пород средней прочности в образце

Наименование грунта по ГОСТ 25100-2020	Уд. вес кН/м^3	Удельное сцепление, МПа		Угол внутреннего трения, град	
		В сухом	В водо-насыщенном	В сухом	В водо-насыщенном
Ожелезненный кварц-хлоритовые сланцы средней прочности, размягчаемый	24,3	15,8	7,8	39	37
Кварц-карбонат-мусковитый метасоматит средней прочности, размягчаемый	28,4	8,8	6,5	37	36
Кварц-карбонат-серицитовые сланцы средней прочности, не размягчаемый	28,4	12,6	12,0	39	38
Кварц-хлорит-мусковитовые сланцы средней прочности, не размягчаемый	28,2	13,1	12,0	40	39

Следует отметить, что полученные в лаборатории характеристики горных пород относятся к их состоянию в монолите (куске). В естественных же условиях прочность пород гораздо ниже вследствие проявления так называемого «масштабного» эффекта, обусловленного наличием в массиве пород систем трещин и других ослабляющих массив факторов.

Физико-механические свойства пород в массиве представлены в таблице 5.

Табл. 5. Физико-механические свойства пород в массиве исследуемого карьера на основе данных ГИНГЕО

Наименование грунта по ГОСТ 25100-2020	Удельное сцепление, т/м^2	Удельное сцепление, мПа	Угол внутр. трения, град
Ожелезненный кварц-хлоритовые сланцы средней прочности, размягчаемый	37,0	0,370	34,1
Кварц-карбонат-мусковитый метасоматит средней прочности, размягчаемый	31	0,31	33,2
Кварц-карбонат-серицитовые сланцы средней прочности, неразмягчаемый	57	0,57	35,1
Кварц-хлорит-мусковитовые сланцы средней прочности, неразмягчаемый	57	0,57	36,1
Ожелезненный кварц-хлоритовые сланцы средней прочности, размягчаемый	49	0,49	34,1
Кварц-хлорит-эпидотовые сланцы средней прочности, неразмягчаемый	29	0,29	34,1

Результаты

Из-за изменчивости состава пород по изучаемым участкам карьера существенно меняется и их соотношение по наиболее вероятным поверхностям скольжения, таким образом необходима конкретизация исходных характеристик прочности массива для каждого расчётного профиля. Особенно это относится к скальным породам, где исходные характеристики пород напрямую зависят от протяжённости поверхностей скольжения.

В связи с этим для каждого расчётного профиля было установлено пропорциональное соотношение всех типов пород по предполагаемым поверхностям скольжения и в зависимости от этого определены прочностные характеристики скальных пород в массиве. При этом использовались свойства пород в монолите с учетом степени трещиноватости массива [6-8].

Расчет устойчивости откосов бортов карьера произведен с помощью программы для ЭВМ «Программа расчета КЗУ откосов борта карьера и отвалов» [9]. В данной программе, реализующей методику научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела «ВНИМИ», нахождение минимального коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) производится путём подбора наименее устойчивой поверхности скольжения изучаемого массива в результате многократных расчетов. Отличительными особенностями представленной программы от имеющихся аналогов являются: 1) возможность наиболее точного учета конструкции борта карьера, что позволяет повысить точность расчетов, особенно для условий ломанного профиля изучаемого откоса; 2) возможность использования программы без усреднения удельного сцепления по всей линии скольжения, что сокращает время подготовки исходных данных [10-12].

Интерфейс программы расчета КЗУ откосов борта карьера и отвалов с примером расчета представлен на рисунке 2.

Результаты расчетов КЗУ по обозначенным профильным разрезам сведены в таблицу 6.

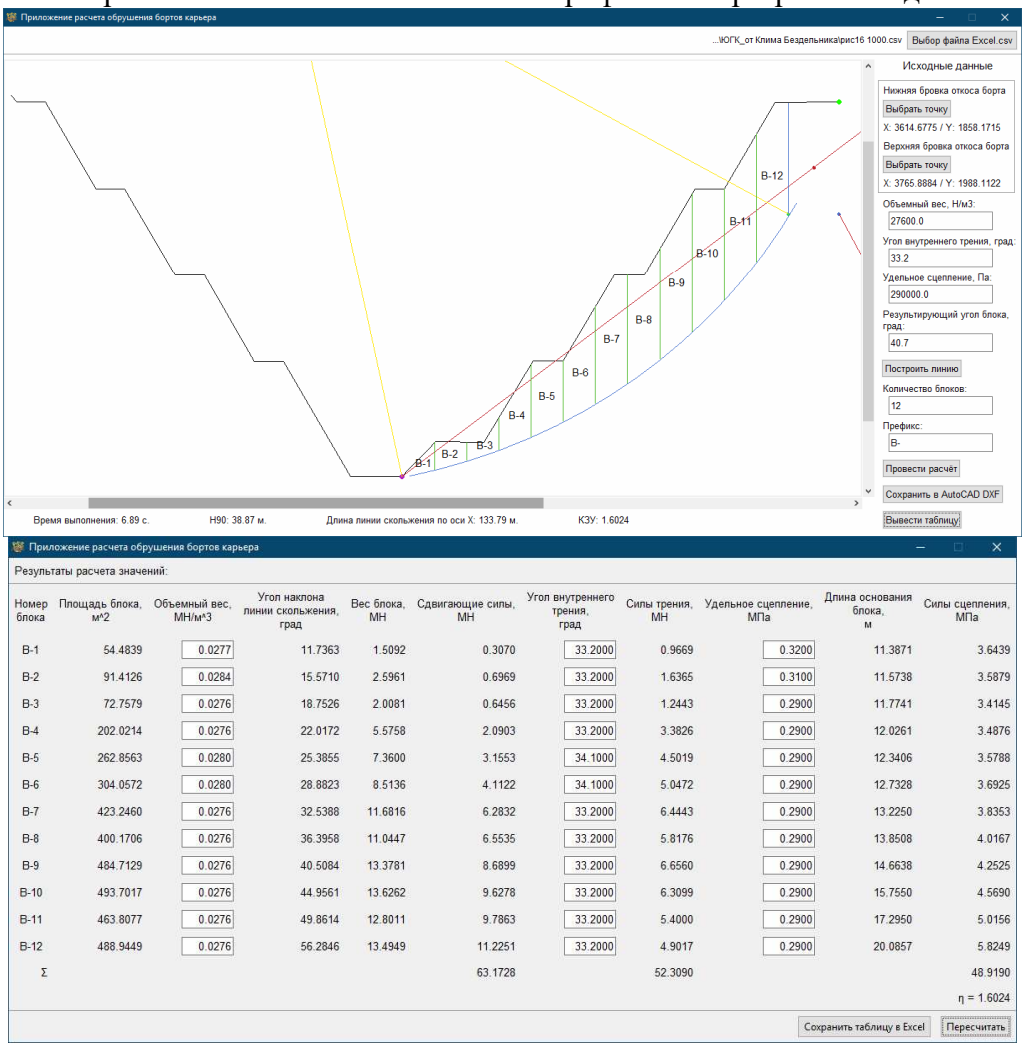


Рис. 2. Интерфейс программы расчета КЗУ откосов борта карьера и отвалов

Результаты расчета КЗУ, полученные на основе расчетных данных для массива пород и представленные в таблице 6, показывают, что его наименьшие значения проявляются на участке по линиям 16 и 19+50. При этом, следует отметить, что полученные значения

коэффициента запаса устойчивости $К_{з.у.}$ = 1,39-1,62 находятся в пределах нормативных значений, которые составляют 1,3-1,5.

Предварительными проектными решениями предусматривается внешнее отвалообразование с формированием отвала на поверхности восточного борта карьера. В таблице 7 представлены расчеты КЗУ по различным профильным разрезам проектного карьера с учетом расположения на поверхности отвала вскрышных пород.

Табл. 6. Результаты расчетов КЗУ по различным профильным разрезам проектируемого карьера

Профильные линии	Высота изучаемого участка профиля борта Н, м		Угол откоса изучаемого участка профиля борта α, град		$К_{з.у.}$	
	Западный борт	Восточный борт	Западный борт	Восточный борт	Западный борт	Восточный борт
16	132	132	48	41	1,39	1,60
19+50	163	163	39	39	2,04	1,62
24	111	111	48	44	2,51	1,89
27	109	109	41	44	2,51	1,93
29	118	118	40	46	2,45	1,77
32	74	74	49	49	2,07	2,01

Табл. 7. Результаты расчета КЗУ по различным профильным разрезам проектного карьера с учетом расположения на поверхности отвала вскрышных пород

Профильные линии	Высота изучаемого участка профиля борта Н, м	Угол откоса изучаемого участка профиля борта α, град	$К_{з.у.}$
24	191	28	1,80
27	189	29	1,52

Результаты расчета КЗУ, полученные на основе минимальных значений физико-механических свойств приоткосного массива с учетом расположения на поверхности отвала вскрышных пород, показывают, что в целом весь откос исследуемого борта с отвалами находится в устойчивом состоянии. Полученные значения коэффициента запаса устойчивости в пределах $К_{з.у.}$ = 1,5-1,8 полностью соответствуют нормативным значениям. Проведенные расчеты в целом показывают, что принятые параметры откосов бортов карьера и отвалов обеспечивают устойчивость их откосов. Принятое расположение отвалов и их проектные параметры не оказывают негативного влияния на устойчивость откосов бортов карьера.

В таблице 8 представлены расчеты КЗУ отвалов вскрышных пород.

Табл. 8. Результаты расчета КЗУ откосов проектируемых отвалов

Исследуемый участок	Результирующий угол откоса, град.	Высота, м	$К_{з.у.}$
Отвал скальных пород (линия А-А)	25	80	1,29
Отвал рыхлых пород (линия В-В)	27	40	1,24

Нормативные значения коэффициента запаса устойчивости для различных условий отвалообразования составляют для отвалов скальных пород $К_{з.у.}$ = 1,05-1,2, для отвалов рыхлых пород $К_{з.у.}$ = 1,1-1,2. Таким образом, расчетные значения КЗУ, представленные в таблице 8, показывают, что принятые параметры отвалов обеспечивают их устойчивость.

Выводы

В ходе выполнения научно-исследовательской работы произведено изучение геологической и маркшейдерской документации, планов проектного карьера на участке исследуемого месторождения рудного золота. Проведен анализ выполненных научно-

исследовательских по определению физико-механических свойств и оценке геомеханического состояния приоткосного массива аналоговых месторождений. Выявлено, что приоткосный массив периферийной части карьера, является мало изученным с точки зрения геологического строения и его напряженно-деформированного состояния. Подтверждена актуальность проведения исследований устойчивости откосов бортов проектируемого карьера и отвалов с учетом горнотехнических и горно-геологических условий разработки.

С целью уточнения геологических характеристик массива и проведения исследований по оценке устойчивости откосов бортов произведен специальный отбор и анализ проб пород. Выполнены лабораторные испытания пород в специализированных учреждениях г. Екатеринбург (ООО ГИНГЕО). Определены и проанализированы физико-механические свойства образцов пород.

Подготовлены исходные данные для математического моделирования напряженно-деформированного состояния приоткосного массива, графических и аналитических расчетов устойчивости откосов, проектируемых карьера и отвалов. Определены физико-механические свойства для массива пород. Произведено усреднение физико-механических свойств для отдельных изучаемых участков приоткосного массива.

Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости по различным профильным разрезам карьера показывают, что параметры откосов бортов исследуемой части карьера полностью соответствуют имеющимся прочностным характеристикам приоткосного массива. По условию безопасности ведения горных работ значение коэффициента запаса устойчивости ($К_{з.у.}$) для откосов бортов карьера должно составлять $К_{з.у.}$ = 1,3-1,5. При этом расчетные значения $К_{з.у.}$ для ряда профильных разрезов бортов карьера на основе значений физико-механических свойств пород в массиве находятся в пределах $К_{з.у.}$ = 1,39-1,62. Наименьшие значения из представленных проявляются на участке по линиям 16 и 19+50.

Заключение

Предварительными проектными решениями предусматривается внешнее отвалообразование с формированием отвала на поверхности восточного борта карьера, который при определенных условиях может создавать дополнительную нагрузку на приоткосный массив.

Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости, полученные на основе минимальных значений физико-механических свойств приоткосного массива с учетом расположения на поверхности отвала вскрышных пород, показывают, что в целом весь откос исследуемого борта с отвалами находится в устойчивом состоянии. Принятое расположение отвалов и их проектные параметры не оказывают негативного влияния на устойчивость откосов бортов карьера. Полученные значения коэффициента запаса устойчивости в пределах $К_{з.у.}$ = 1,5-1,8 полностью соответствуют нормативным значениям.

Отдельно произведена оценка устойчивости откосов отвалов скальных и рыхлых пород. Полученные значения коэффициента запаса устойчивости находятся в пределах $К_{з.у.}$ = 1,24-1,29, что в целом соответствует нормативным значениям, которые для отвалов составляют $К_{з.у.}$ = 1,05-1,2.

Таким образом, на основе представленных расчетов и полученных результатов можно сделать вывод, что принятые в ТЭО параметры откосов бортов карьера и отвалов обеспечивают их устойчивость на весь период разработки месторождения.

Список литературы

1. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная разработка рудных месторождений. – М.: Горная книга, 2012. – 344 с.
2. Peng H., Cai Q., Ma L., Tang W. End-wall Slope Stability Analysis of Surface Coal Mine under the Combined Open-pit Mining with Underground Mining // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2014, vol. 19, pp. 185-194.
3. Argimbaev K.R. Simulation of rock mass stress-strain behavior using the method of equivalent materials during ore deposit open-pit mining // Research Journal of Applied Sciences. 2016, vol. 11, no. 9, pp. 894-899.

4. Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Низаметдинов Ф.К., Олейникова Е.А. Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера "Кентобе" // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – №6. – С. 120-126. – DOI: 10.15372/FTPRPI20180612..
5. Cheskidov V.V., Lipina A.V., Melnichenko I.A. Integrated monitoring of engineering structures in mining // Eurasian Mining. 2018, no. 2, pp. 18-21. DOI: 10.17580/em.2018.02.05.
6. Колесатова О.С., Романько Е.А., Хонякин В.Н., Картунова С.О., КрасавинА.В. Обоснование устойчивых параметров бортов карьера Камаганского месторождения с учетом трещиноватости прибортового массива пород // Маркшейдерский вестник. – 2017. –№6(121). – С. 49-54.
7. Горбатова Е.А., Колесатова О.С., Романько Е.А., Смяткин А.Н. Геомеханический мониторинг за состоянием земной поверхности и деформациями бортов карьеров // Горный журнал. – 2020. – №4. – С. 16-20. – DOI: 10.17580/gzh.2020.04.03.
8. Мухаметкалиев Б.С., Калюжный Е.С., Съедина С.А., Абдибеков Н.К. Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при увеличении глубины отработки // Горный журнал. – 2018. – №4. – С. 27-32. – DOI: 10.17580/gzh.2018.04.05.
9. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ №2024612477 РФ. Программа расчета КЗУ откосов борта карьера и отвалов / А.К. Артюшин, И.А. Пыталев, В.В. Якшина, Е.Е. Швабенланд, А.А. Козловский, А.А. Полинов, Т.С. Кравчук, А.А. Сизиков. – Заявл. 29.01.2024; зарег. 01.02.2024.
10. Мельников И.Т., Заляднов В.Ю., Шевцов Н.С., Павлова Е.В., Погорелов А.Ю., Смяткин А.Н. Автоматизированный расчет устойчивости откосов бортов карьеров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – №2(42). – С. 8-12.
11. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Кравчук Т.С., Павлова Е.В., Погорелов А.Ю. Оценка общей устойчивости бортов сибайского карьера при отработке законтурных запасов руды подземным способом // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – С. 155-163.
12. Рыльникова М.В., Зотеев О.В., Никифорова И.Л. Развитие нормативной базы в области обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов // Горная промышленность. – 2018. – №3(139). – С. 95. – DOI: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-95-98.

References

1. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Combined development of ore deposits. – M.: Mining book, 2012. – 344 p.
2. Peng H., Cai Q., Ma L., Tang W. End-wall Slope Stability Analysis of Surface Coal Mine under the Combined Open-pit Mining with Underground Mining // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2014, vol. 19, pp 185-194.
3. Argimbaev K.R. Simulation of rock mass stress-strain behavior using the method of equivalent materials during ore deposit open-pit mining // Research Journal of Applied Sciences. 2016, vol. 11, no. 9, pp. 894-899.
4. Besimbaeva O.G., Khmyrova E.N., Nizametdinov F.K., Oleinikova E.A. Assessment and prediction of slope stability in the kentobe open pit mine // Journal of Mining Science. 2018, vol. 54, no. 6, pp. 988-994. DOI: 10.1134/S1062739118065143.
5. Cheskidov V.V., Lipina A.V., Melnichenko I.A. Integrated monitoring of engineering structures in mining // Eurasian Mining. 2018, no. 2, pp. 18-21. DOI: 10.17580/em.2018.02.05.
6. Kolesatova O.S., Romanko E.A., Khonyakin V.N., Kartunova S.O., Krasavin A.V. Justification of stable parameters of quarry walls of the Kamaganskoye deposit taking into account fracturing of the edge rock mass // Mine Surveying Bulletin. 2017, no.6(121), pp.. 49-54.
7. Gorbatova E.A., Kolesatova O.S., Romanko E.A., Smyatkin A.N. Geomechanical monitoring of the state of the earth's surface and deformations of quarry walls // Mining Journal. 2020, no. 4, pp. 16-20. DOI: 10.17580/gzh.2020.04.03.
8. Mukhametkaliev B.S., Kalyuzhny E.S., Sedyna S.A., Abdibekov N.K. Geomechanical Ensuring the Stability of Quarry Slopes with Increasing Mining Depth // Mining Journal. 2018, no. 4, pp. 27-32. DOI: 10.17580/gzh.2018.04.05.
9. Certificate of state registration of a computer program No. 2024612477 RU. Program for calculating the slope stability of quarry walls and dumps / A.K. Artyushin, I.A. Pytalev, V.V. Yakshina, E.E. Shvabenland, A.A. Kozlovsky, A.A. Polinov, T.S. Kravchuk, A.A. Sizikov. – Declared on 29.01.2024; registered on 01.02.2024.
10. Melnikov I.T., Zalyadnov V.Yu., Shevtsov N.S., Pavlova E.V., Pogorelov A.Yu., Smyatkin A.N. Automated Calculation of Quarry Slope Stability // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 2013, no. 2(42), pp. 8-12.
11. Gavrishev S.E., Zalyadnov V.Yu., Kravchuk T.S., Pavlova E.V., Pogorelov A.Yu. Assessment of the Overall Stability of the Sibay Quarry Slopes During Underground Mining of Aquifer Ore Reserves // Mine Surveying and Geological Support for Mining Operations: Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the International Scientific and Practical Conference. – Magnitogorsk: Publ. house of Magnitogorsk State Technical University n.a. G.I. Nosov, 2013. pp. 155-163.

12. Rylnikova M.V., Zoteev O.V., Nikiforova I.L. Development of a regulatory framework in the field of ensuring the stability of sides and benches of quarries, open pits and dumps // Russian mining industry. 2018, no. 3(139), p. 95. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-3-139-95-98.

Сведения об авторах:	*Information about authors:*
Заляднов Вадим Юрьевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых	**Zalyadnov Vadim Yurevich** – doctor of technical sciences, professor of the Department of mineral deposits development
Пыталев Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых	**Pytalev Ivan Alekseevich** – doctor of technical sciences, professor of the Department of mineral deposits development
Курочкин Антон Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой горных машин и транспортно-технологических комплексов	**Kurochkin Anton Ivanovich** – candidate of technical sciences, Associate Professor, head of the Department of mining machinery and transport and technological complexes
Алимпьев Клим Артемович – лаборант-исследователь, студент	**Alimyev Klim Artemovich** – laboratory research assistant, student
Баранов Олег Валерьевич – лаборант-исследователь, студент	**Baranov Oleg Valerievich** – laboratory research assistant, student
vehicle@list.ru	

Получена 06.04.2026