

УДК 622.271:622.1

Андреева О.Н.

старший научный сотрудник
лаборатории устойчивости бортов
карьеров и сдвижения горных пород,
АО «Уралмеханобр»,
620063, г. Екатеринбург, ул. Хохрякова, 87
e-mail: golovina_on@umbr.ru

Кольцов П.В.

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией устойчивости
бортов карьеров и сдвижения горных пород,
АО «Уралмеханобр»
e-mail: Kpavel@umbr.ru

Пыхтеева Н.Ф.

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры строительных конструкций
и механики грунтов,
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
e-mail: n.f.pykhiteeva@urfu.ru

**АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ
КАРЬЕРА ЗАПАДНО-ОЗЕРНЫЙ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ**

Аннотация:

Приведено решение актуальной задачи по обеспечению устойчивости участка борта для функционирования транспортного съезда. В 2020 г. на карьере Западно-Озерного месторождения произошло обрушение группы уступов юго-восточного борта. Эксплуатация транспортного съезда была приостановлена для ликвидации последствий деформационных процессов. Сотрудниками института «Уралмеханобр» было проведено обследование состояния участка деформации, выполнено моделирование исследуемого участка борта для определения фактического коэффициента запаса устойчивости и рассчитан необходимый проектный профиль борта карьера, обеспечивающий долговременную сохранность капитального съезда. Моделирование показало, что проектный угол не соответствует фактическим физико-механическим характеристикам вмещающих пород, кроме того, в проекте на отработку оценка производилась по средневзвешенным характеристикам вмещающих пород, без обоснования устойчивости верхних горизонтов, сложенных слабыми глинистыми породами.

Предметом исследований является устойчивость нарушенного участка юго-восточного борта карьера месторождения Западно-Озерное.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.032

Andreeva O.N.

Senior Researcher,
Laboratory of quarry sides stability
and rock movement,
«Uralmekhanobr» JSC,
620063 Ekaterinburg, 87 Khokhryakova Str.;
e-mail: golovina_on@umbr.ru

Koltsov P.V.

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory of quarry sides stability
and rock movement,
«Uralmekhanobr» JSC,
e-mail: Kpavel@umbr.ru

Pykhiteeva N.F.

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of building
structures and soil mechanics,
Ural Federal University n.a. the First President
of Russia B.N. Yeltsin,
620000 Ekaterinburg, 19 Mira Str.;
e-mail: n.f.pykhiteeva@urfu.ru

**ANALYSIS OF STABILITY OF SLOPES
OF THE ZAPADNO-OZERNY PIT
TO ENSURE MINING SAFETY**

Abstract:

The paper presents the solution of the urgent problem of ensuring the stability of the side section for the functioning of the transport exit.

In 2020, a group of ledges of the southeastern side fell down at the Zapadno-Ozernoye field quarry. The operation of the transport exit was suspended to eliminate the consequences of deformation processes. Employees of the «Uralmekhanobr» Institute conducted a survey of the state of the deformation site, carried out modeling of the studied section of the side to determine the actual coefficient of stability margin, and calculated the necessary design profile of the side of the quarry, ensuring the long-term safety of the capital exit. Modeling has shown that the design angle does not correspond to the actual physical and mechanical characteristics of the host rocks; in addition, in the project for testing, the assessment was made according to the weighted average characteristics of the host rocks, without substantiating the stability of the upper horizons composed of weak clay rocks.

The subject of the research is the stability of the disturbed section of the southeastern side of the quarry of the Zapadno-Ozernoye field.

The purpose of the work is to establish the causes of the deformations that have occurred, to determine the conditions under which the section of the southeastern side of the quarry will be in a stable condition, and to ensure long-term safe operation

Цель работы – установить причины возникших деформаций, определить условия, при которых участок юго-восточного борта карьера будет находиться в устойчивом состоянии, и обеспечить долговременную безопасную эксплуатацию капитального съезда.

Для достижения вышеперечисленных целей решены следующие задачи:

- оценка устойчивости фактического состояния участка деформаций;
- разработка рекомендаций по дальнейшей безопасной отработке запасов руды ниже деформирующегося участка борта карьера.

В процессе выполнения работы были рассмотрены проектные параметры бортов карьера Западно-Озерного месторождения, рассчитан фактический коэффициент запаса устойчивости участка деформаций, рекомендован новый контур, обеспечивающий долговременную устойчивость рассматриваемого участка.

На основании расчетов сделаны выводы о том, что одной из главных причин возникновения деформации на исследуемом участке стали завышенные проектные углы уступов, не соответствующие фактическим физико-механическим характеристикам пород, слагающих эти уступы.

Предприятию выданы рекомендации по дальнейшей отработке деформирующегося участка, возможной при выполнении работ по разному, согласно рекомендованному контуру.

Ключевые слова: карьер, инструментальные спутниковые наблюдения, визуальное обследование, наземное лазерное сканирование, деформации, обрушение, устойчивость бортов карьеров, откос, разнос участка борта.

of the capital exit.

To achieve the above mentioned goals, the following tasks have been solved:

- stability assessment of the actual state of the deformation site;
- development of recommendations for further safe mining of ore reserves below the deforming section of the quarry side.

In the course of the work, the design parameters of the sides of the Zapadno-Ozernoye field quarry were considered, the actual coefficient of stability of the deformation site was calculated, and a new contour was recommended to ensure the long-term stability of the site under consideration.

Based on the calculations, it was concluded that one of the main causes of deformation on the studied area were overestimated design angles of ledges that do not correspond to the actual physical and mechanical characteristics of the rocks composing these ledges.

The company was given recommendations for further development of the deforming area, what is possible when carrying out work on the separation, according to the recommended contour.

Key words: quarry, instrumental satellite observations, visual survey, ground laser scanning, deformations, collapse, stability of quarry walls, slope, separation of a side section.

Введение

Важнейшими задачами на горном предприятии являются обеспечение устойчивости бортов карьера, своевременное предупреждение возникающих деформаций откосов и корректировка углов откосов в зависимости от изменяющейся горно-геологической обстановки как в процессе развития открытых горных работ, так и при постановке бортов в предельное положение на стадии доработки. Решение данных задач направлено на повышение безопасности и экономической эффективности горного производства, а также обеспечение сохранности прилегающих к карьерам территорий и расположенных на них объектов.

Разработка месторождений открытым способом должна сопровождаться комплексом маркшейдерско-геологического мониторинга состояния откосов уступов, бортов карьеров и отвалов для обеспечения их устойчивости, своевременного предупреждения развития деформаций и корректировки углов откосов в зависимости от изменяющейся горно-геологической ситуации и, в конечном итоге, обеспечения безопасности и эффективности ведения открытых горных работ.

Карьеры являются опасным производственным объектом, поэтому, несмотря на ведение горно-капитальных работ в строгом соответствии с проектной документацией, на них возможны проявления деформационных процессов. Предупреждением, установлением причин их развития и разработкой мероприятий по локализации либо ликвида-

ции занимаются специализированные организации, одной из которых является лаборатория устойчивости бортов карьеров и сдвижения горных пород отдела горной науки АО «Уралмеханобр».

В 2010 г. институтом «Уралмеханобр» был разработан Проект наблюдательной станции. С 2011 г. и по настоящее время на карьере, согласно проекту, проводится комплекс инструментальных мониторинговых наблюдений за состоянием устойчивости бортов карьера Западно-Озерного месторождения, который включает в себя спутниковые наблюдения по контрольным точкам, наземное лазерное сканирование и визуальное обследование состояния откосов уступов, предохранительных берм и прибортовой территории.

В 2020 г. на карьере Западно-Озерного месторождения произошло обрушение группы уступов юго-восточного борта. Эксплуатация транспортного съезда была приостановлена для ликвидации последствий деформационных процессов. Сотрудниками института «Уралмеханобр» было проведено обследование состояния участка деформации, выполнено моделирование исследуемого участка борта для определения фактического коэффициента запаса устойчивости и рассчитан необходимый проектный профиль борта карьера, обеспечивающий долговременную сохранность капитального съезда.

Обследование участка деформаций

Наименее устойчивыми участками на карьере являются верхние горизонты, где в течение продолжительного времени протекают плавные деформации откосов уступов, сложенных рыхлыми глинистыми породами наносов и интенсивно выветрелыми породами. На данных участках фиксируются деформационные процессы в виде осыпей и промоин. Данные деформации со временем увеличиваются в размерах и ведут к разрушению уступа и прибортовой поверхности. Одним из таких участков является восточный борт карьера (рис. 1).



Рис. 1. Деформации верхнего уступа восточного борта в августе 2019 г.

Средняя и нижняя группы уступов сложены трещиноватыми интенсивно выветрелыми андезит-дацитами. На данных горизонтах также наблюдаются локальные деформации в виде осыпей, обусловленные выветриванием пород в приоткосной части. В

октябре 2019 г. на участке восточного борта в отметках 470÷420 м произошел вывал горной массы. Обрушение зафиксировано на уступе, выше которого располагается транспортный съезд (рис. 2).



Рис. 2. Деформации восточного борта в отметках 470 – 420 м в октябре 2019 г.

В апреле 2020 г. также были зафиксированы деформации в виде локального обрушения уступа в отметках 497÷485 м и деформации в отметке 478,4 м (транспортный съезд) в виде просадки с размерами трещины: длина – 8,0 м, ширина – 0,1 – 0,15 м. В начале июня 2020 г. на юго-восточном борту карьера Западно-Озерного месторождения маркшейдерской службой предприятия было зафиксировано обрушение горной массы общим объемом 120 758 м³, со смещением ее в сторону выработанного пространства (рис. 3). Согласно паспорту обрушения, размеры деформации составили: длина по фронту – 140 м; глубина развития – 23 м.



Рис. 3. Деформации юго-восточного борта в отметках 504 – 400 м

Для определения причин и возможности локализации деформаций и дальнейшей безопасной отработки запасов руды институтом «Уралмеханобр» был проведен расчет устойчивости по участку деформации.

Методика исследований

Оценка устойчивости участка юго-восточного борта карьера производилась с использованием программного комплекса «Откос» (продукция компании «Scad Office»). Программа включает в себя серию расчетных методик и позволяет выполнять многовариантные расчеты устойчивости откосов. Расчеты производились по методам Феллениуса, Спенсера, Бишопа.

На рис. 4 представлены расчетные поверхности скольжения для оценки устойчивости фактического состояния участка деформаций. Полученные данные значения коэффициента запаса устойчивости (к.з.у) были сведены в табл. 1.

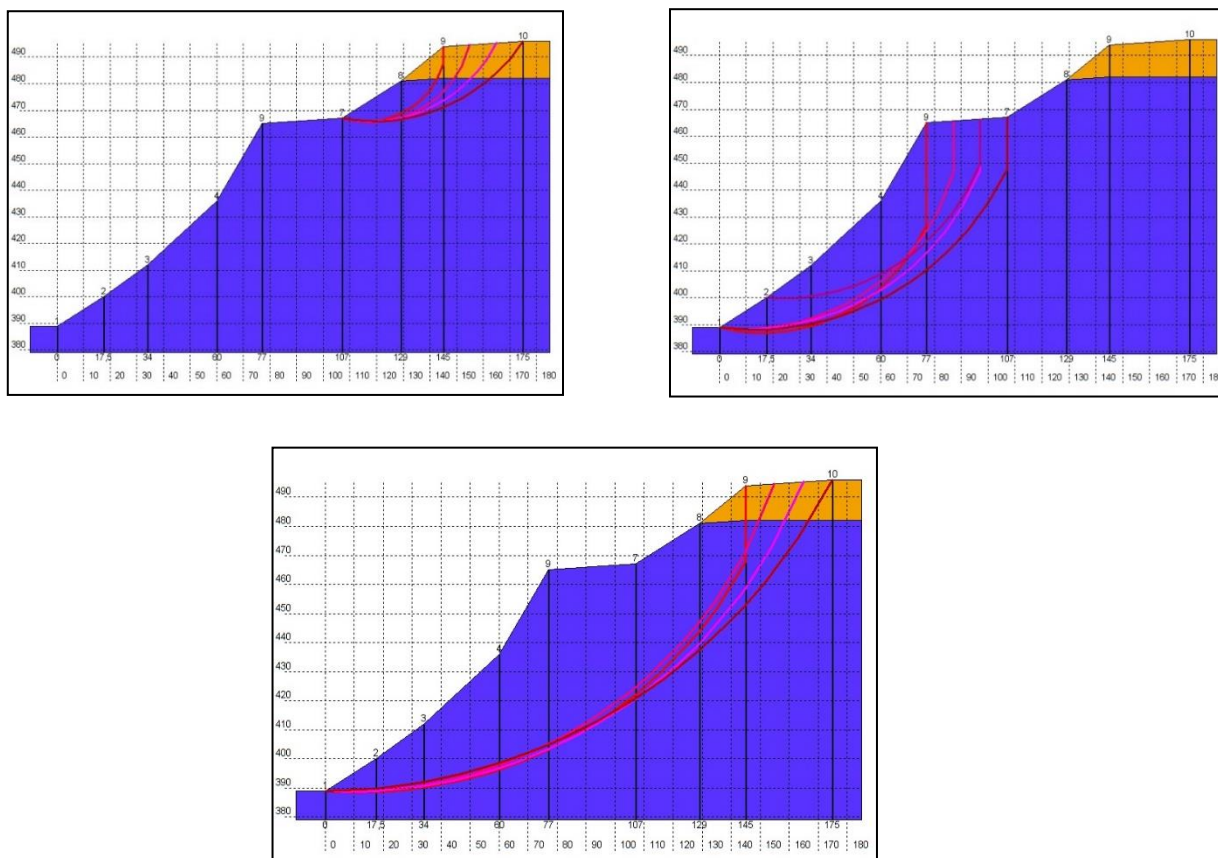


Рис. 4. Расчетные разрезы.
Оценка устойчивости фактического состояния участка деформаций

Таблица 1

Оценка устойчивости фактического состояния на 09.06.2020 г.

Высота уступа, м	Метод	Полученный к.з.у.	Мин. к.з.у.
$\frac{465 \div 388}{77}$	Фелениуса	0,99	0,99
	Спенсера	1,04	
	Бишопа	1,06	
$\frac{495 \div 467}{28}$	Фелениуса	2,1	2,1
	Спенсера	2,19	
	Бишопа	2,2	
$\frac{495 \div 388}{107}$	Фелениуса	1,0	1,0
	Спенсера	1,04	
	Бишопа	1,05	

Результаты

Результаты расчетов показали слабую устойчивость склонов, что приведет к развитию деформаций и нарушению стабильности работы предприятия. Дальнейшая отработка возможна только при корректировке контура участка юго-восточного борта, обеспечивающего его долговременную устойчивость.

Одной из главных причин возникновения деформации на карьере Западно-Озерного месторождения стали завышенные проектные углы уступов, не соответствующие фактическим физико-механическим характеристикам пород, слагающих эти уступы. Сотрудниками института «Уралмеханобр» был отстроен рекомендуемый (новый) контур, обеспечивающий долговременную устойчивость борта карьера (рис. 5).

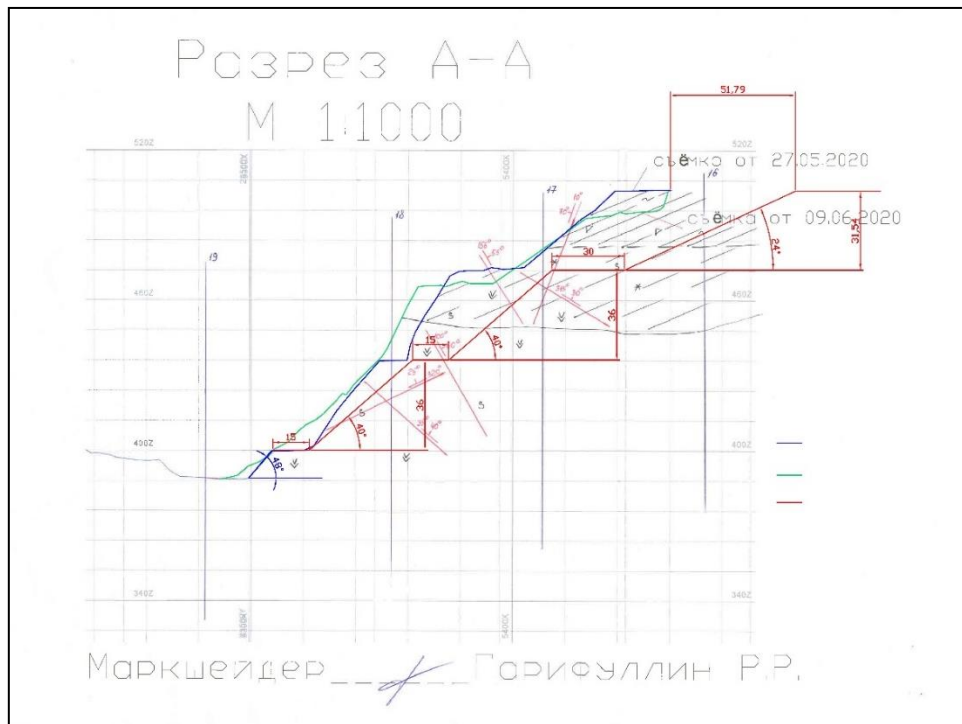


Рис. 5. Рекомендуемый контур юго-восточного борта карьера

По новому контуру была выполнена оценка устойчивости в программном комплексе «Откос». Расчетные поверхности скольжения показаны на рис. 6. Оценка устойчивости рекомендуемого контура представлена в табл. 2.

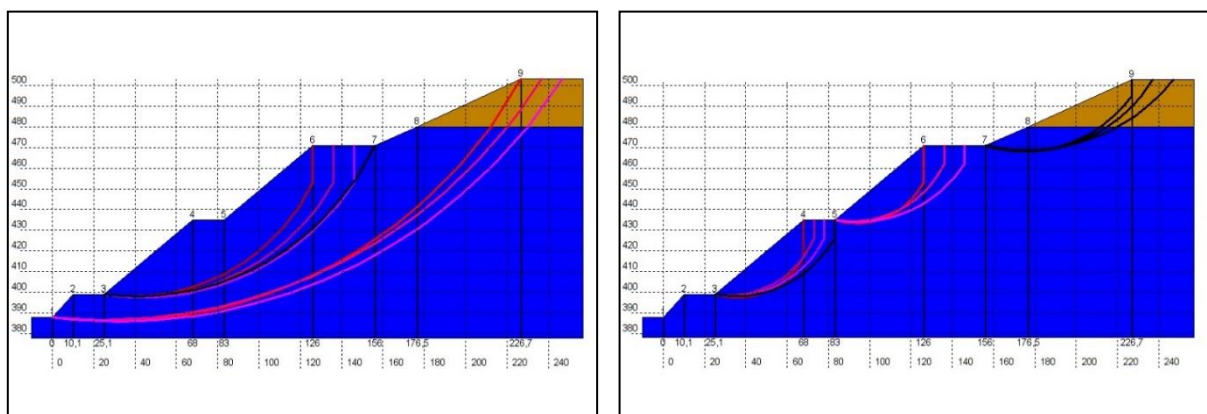


Рис. 6. Расчетные разрезы. Оценка устойчивости рекомендуемого контура

Таблица 2

Оценка устойчивости рекомендуемого (проектного) контура

Горизонт /высота уступа, м		Метод	Полученный к.з.у.	Мин. к.з.у.
$\frac{503 \div 471}{32}$	уступ	Фелениуса	2,37	2,37
		Спенсера	2,47	
		Бишопа	2,48	
$\frac{471 \div 435}{36}$	уступ	Фелениуса	1,54	1,54
		Спенсера	1,61	
		Бишопа	1,62	
$\frac{435 \div 399}{36}$	уступ	Фелениуса	1,54	1,54
		Спенсера	1,61	
		Бишопа	1,62	
$\frac{471 \div 399}{72}$	Часть борта	Фелениуса	1,25	1,25
		Спенсера	1,3	
		Бишопа	1,3	
$\frac{503 \div 388}{115}$	Весь борт	Фелениуса	1,24	1,24
		Спенсера	1,29	
		Бишопа	1,29	

Исходя из выполненных расчетов предприятию АО «Учалинский ГОК» рекомендовано на рассматриваемом участке угол откоса верхней части восточного борта карьера в отм. 508÷479 м снизить до 24°, а угол откоса в отметках 477÷438 м – до 40°. При данных параметрах борт будет находиться в устойчивом состоянии, что позволит обеспечить безопасную отработку месторождения.

В настоящее время на предприятии ведутся работы по разносу верхних горизонтов для придания откосу рекомендуемых параметров (рис. 7).



а) по состоянию на июнь 2020 г.

б) по состоянию на август 2020 г.

Рис. 7. Участок разноса верхних горизонтов восточного борта карьера

Заключение

Завышенные углы уступов, слабая геологическая изученность массива послужили проявлению различных деформаций на участке юго-восточного борта карьера Западно-Озерного месторождения. Дальнейшая отработка может быть продолжена только при выполнении выданных рекомендаций, основной из которых является ведение горных работ по новому рекомендуемому контуру участка юго-восточного борта карьера с приданием склонам рекомендуемых углов наклона, соответствующих свойствам пород.

Список литературы

1. *Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров*, 1972. Ленинград: ВНИМИ, 168 с.
2. *Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.98*, 1998. Санкт-Петербург: ВНИМИ, 208 с.
3. *Проект ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» Открытый рудник на базе месторождения «Западно-Озерное» 0024.02 П 1.01 Пояснительная записка. ФГУП «ГИПРОЦВЕТМЕТ»*. Москва, 2008.
4. *Изменение №1 в Технический проект отработки запасов месторождения Западно-Озерное. АО «Учалинский ГОК». Открытый рудник 5836-354-08-ПЗ. Пояснительная записка. ОАО «Гипроруда»*, Екатеринбург, 2017.
5. *Рекомендации по локализации деформационных явлений на участке юго-восточного борта карьера «Западно-Озерный». ОАО «Уралмеханобр»*, Екатеринбург, 2020.
6. *Проект наблюдательной станции для контроля устойчивости бортов карьера месторождения «Западно-Озерное». ОАО «Уралмеханобр»*, Екатеринбург, 2010.
7. *Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости*, 1987. Ленинград: ВНИМИ,
8. *Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии: утв. Министерством цветной металлургии СССР 14.01.1988*, 1989. Москва: Унипромедь, 128 с.
9. *Инструкция по расчету устойчивости бортов разрезов при их ликвидации и обеспечению сохранности прилегающих к разрезам территорий.: утв. Министерством угольной промышленности СССР 17.01.1977; согласовано Госгортехнадзором СССР 21.12.1976*, 1977. Ленинград: ВНИМИ, 55 с.
10. *Инструментальные наблюдения за деформациями бортов карьера месторождения «Западно-Озерное»: Отчет о НИР: договор № 2086/18. Уралмеханобр; рук. Кольцов П.В.; исполн. Андреева О.Н. и др.*, 2019. Екатеринбург, 47 с.

References

1. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu uglov naklona bortov, otkosov ustupov i otvalov stroyashchikhsya i ekspluatiруemykh kar'erov* [Methodological guidelines for determining the inclination angles of the sides, the slopes of ledges and dumps on quarries under construction and operate], 1972. Leningrad: VNI-MI, 168 p.
2. *Pravila obespecheniya ustoichivosti otkosov na ugol'nykh razrezakh: utv. Gosgortekhnadzorom RF 16.03.98* [Rules for ensuring the stability of slopes at coal mines: approved. Gosgortekhnadzor of the Russian Federation 16.03.98], 1998. Sankt-Peterburg: VNI-MI, 208 p.
3. *Proekt OAO "Uchalinskii gorno-obogatitel'nyi kombinat" Otkrytyi rudnik na baze mestorozhdeniya "Zapadno-Ozernoe" 0024.02 P 1.01 Poyasnitel'naya zapiska.* [Project of JSC "Uchalinsky Mining and Processing Plant": Open mine on the basis of the Zapadno-Ozernoye deposit 0024.02 P 1.01 Explanatory note]. FGUP "GIPROT'sVETMET". Moscow, 2008.
4. *Izmenenie №1 v Tekhnicheskii proekt otrabotki zapasov mestorozhdeniya Zapadno-Ozernoe. AO "Uchalinskii GOK". Otkrytyi rudnik 5836-354-08-PZ. Poyasnitel'naya zapiska* [Change No. 1 to the Technical Project of mining reserves of the deposit Zapadno-Ozernoye. JSC Uchalinsky GOK. Open mine 5836-354-08-PZ. Explanatory note]. ОАО "Giproruda", Ekaterinburg, 2017.
5. *Rekomendatsii po lokalizatsii deformatsionnykh yavlenii na uchastke yugovostochnogo borta kar'era "Zapadno-Ozernyi"* [Recommendations for localization of de-

formation occurrence on the section of the south-eastern side of the Zapadno-Ozerny quarry]. OAO "Uralmekhanobr", Ekaterinburg, 2020.

6. Proekt nablyudatel'noi stantsii dlya kontrolya ustoichivosti bortov kar'era mestorozhdeniya "Zapadno-Ozernoe" [Project of an observation station for monitoring the stability of the sides at the quarry of the Zapadno-Ozernoye deposit]. OAO "Uralmekhanobr", Ekaterinburg, 2010.

7. Metodicheskie ukazaniya po nablyudeniya za deformatsiyami bortov razrezov i otvalov, interpretatsii ikh rezul'tatov i prognozu ustoichivosti [Methodological guidelines for observations the sides deformations of sections and dumps, and for interpretation of the results to predict their stability], 1987. Leningrad: VNIMI,

8. Vremennye metodicheskie ukazaniya po upravleniyu ustoichivost'yu bortov kar'erov tsvetnoi metallurgii: utv. Ministerstvom tsvetnoi metallurgii SSSR 14.01.1988 [Temporary guidelines for managing the stability of the sides of non-ferrous metallurgy quarries: approved. Ministry of Non-Ferrous Metallurgy of the USSR 14.01.1988], 1989. Moscow: Unipromed', 128 p.

9. Instruksiya po raschetu ustoichivosti bortov razrezov pri ikh likvidatsii i obespecheniyu sokhrannosti privileyushchikh k razrezam territorii.: utv. Ministerstvom ugol'noi promyshlennosti SSSR 17.01.1977; soglasovano Gosgortekhnadzorom SSSR 21.12.1976 [Instruction for calculating the stability of the sides of the sections during their liquidation and ensuring the safety of the territories adjacent to the sections: approved. Ministry of Coal Industry of the USSR 17.01.1977; approved by Gosgortekhnadzor of the USSR 21.12.1976], 1977. Leningrad: VNIMI, 55 p.

10. Instrumental'nye nablyudeniya za deformatsiyami bortov kar'era mestorozhdeniya "Zapadno-Ozernoe" [Instrumental observations of deformations of the quarry sides on the Zapadno-Ozernoye deposit]: Otchet o NIR: dogovor № 2086/18. Uralmekhanobr; ruk. Kol'tsov P.V.; ispoln. Andreeva O.N. i dr., 2019. Ekaterinburg, 47 p.