

УДК 622.271.332:624.131

Мелихов Михаил Владимирович

кандидат технических наук,
научный сотрудник,
Горный институт КНЦ РАН,
184209 г. Апатиты, Мурманская обл.,
ул. Ферсмана, 24
e-mail: mmelikhov@inbox.ru

Мелихов Дмитрий Владимирович

генеральный директор,
ООО «Научно-производственная компания
«ГеоПолимер»»,
199106, г. Санкт-Петербург,
ул. 22 линия В.О., д. 3, корп. 1, лит. М
e-mail: info@geopolymer.spb.ru

**ОПЫТ ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ
ИЗЫСКАНИЙ НА КАРЬЕРНЫХ УСТУПАХ***Аннотация:*

Приведены общие сведения об условиях эксплуатации карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК»; проанализировано влияние климатических и гидрогеологических факторов на устойчивость уступов карьера; приведена информация о деформации уступа, проявившейся на труднодоступном участке карьера вблизи транспортной бермы; описан опыт по защите людей от падающих камней путем монтажа сетчатой крепи для проведения инженерных изысканий по изучению зоны деформации уступа; показаны результаты георадарного обследования зоны деформации уступа.

Ключевые слова: деформация уступа, падение камней, защита людей от камней, временная крепь, противокамнепадная сетка, промышленный альпинизм, инженерные изыскания

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.175

Melikhov Mike V.

candidate of technical sciences, researcher,
The Mining Institute
of Kola Scientific Center RAS,
184209, Murmansk Region, Apatite,
24 Fersman st.
e-mail: mmelikhov@inbox.ru

Melikhov Dmitry V.

Director General,
Research and production company
JSC GeoPolymer,
199106, St. Petersburg,
22nd Line of V.I., 3, building 1 M
e-mail: info@geopolymer.spb.ru

**EXPERIENCE OF PEOPLE PROTECTION
CARRYING OUT ENGINEERING SURVEY
ON PIT BENCHES***Abstract:*

General information on service conditions of the "Iron" pit by JSC Kovdorsky GOK is given; the influence of climatic and hydro-geological factors on pit benches stability are analyzed; the information on bench deformation shown in a remote site of a pit near a transport berm is cited. The practice of people protection from rock fall by mesh support arrangement for carrying out engineering survey on studying the bench deformation zone is described. The results of geo-radar inspection of a bench deformation zone are shown.

Key words: bench deformation, rock fall, people protection from rock fall, preliminary support, rock net, industrial mountaineering, engineering surveys

Карьер «Железный» АО «Ковдорский ГОК» разрабатывает комплексное месторождение магнетит-апатит-бадделеитовых руд открытым способом. Их добыча ведется методом циклично-поточной технологии. Проектная глубина карьера при устойчивых углах наклона бортов $31\div 60^\circ$ составляет 810 м (фактическая – 450 м). На его текущем контуре отстраиваются сдвоенные 24-метровые уступы с откосами до 75° , а на конечном – сдвоенные 30-метровые уступы с вертикальными откосами. Постановка уступов в конечном положение производится по шадящей технологии с применением контурного взрывания и скважин уменьшенного диаметра в сочетании с низкоэнергетическими типами взрывчатых веществ. На карьере ведется мониторинг состояния его уступов и бортов и выхода подземных вод на их поверхности (АО «Гипроруда», 2011).

Район месторождения характеризуется умеренно-континентальным климатом. По данным метеостанции «Ковдор» переход от отрицательных температур к положительным происходит в конце апреля – начале марта, от положительных к отрицательным – в начале октября (рис. 1 а). Продолжительность периода снеготаяния достигает 40 дней. В течение зимы возможны аномальные оттепели. В год выпадает 533 – 630 мм осадков (30 % в виде снега, остальные в виде дождя). Большая часть осадков выпадает в

июле (71 мм). Снежный покров устанавливается в октябре. Наибольшая глубина промерзания почвы составляет 1,16 – 1,2 м [1].

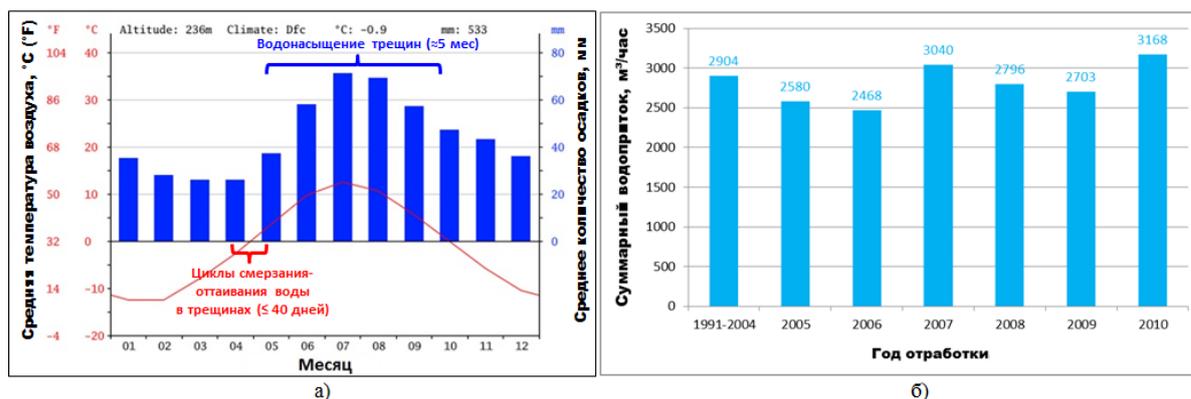


Рис. 1 – Климатические (а) [1] и гидрогеологические (б) особенности эксплуатации карьера АО «Ковдорский ГОК» (по данным АО «МГРЭ»)

Обводненность карьера (рис. 1 б) обусловлена фильтрацией вмещающих пород через четвертичные отложения, зоны дезинтеграции, верхней трещиноватости зоны скальных пород со стороны водообильных зон речных долин, акватории близлежащего озера Ковдоро и хвостохранилища по водопроводящим зонам тектонических разломов. В бортах карьера, преимущественно на верхних уступах, постоянно идет высачивание подземных вод. Степень перехвата подземных вод действующей системой осушения карьера отличается заметной стабильностью: ее значения за длительный период изменились от 45 до 62 % (АО «Гипроруда», 2011).

Климатические и гидрогеологические условия, в которых эксплуатируется карьер «Железный» АО «Ковдорский ГОК», способствуют ухудшению устойчивости его уступов и бортов до критического состояния. Их влияние обусловлено тем, что в период оттепели в системах трещин породного массива происходят циклично повторяющиеся процессы смерзания-оттаивания воды, которые приводят к подвижке отдельных блоков горных пород относительно друг друга и, как следствие, к разупрочнению породного массива на локальных участках карьера [2, 3]. Эти процессы нередко протекают с интенсивным выпадением кусков породы из откосов уступов, что может представлять опасность для людей и карьерной техники [4, 5]. При обильном водонасыщении систем трещин на критичные смещения блоков горных пород указывают значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона, которые, по мнению экспертов АО «МГРЭ», существенно изменяются: первый показатель снижается, а второй – повышается до предельных значений. Как правило, крупные по масштабу деформации бортов, сопровождающиеся обрушением группы уступов, происходят на карьере именно в период обильного водонасыщения систем трещин (в июне – сентябре).

Один из последних случаев опасного смещения блоков пород под воздействием вышеприведенных факторов произошел в апреле 2015 г. на гор. +40 ÷ +70 м южного борта карьера вблизи транспортной бермы (рис. 2). По данным службы мониторинга устойчивости уступов (СМУУ) АО «Ковдорский ГОК» деформация уступа проявилась в виде образования закола горных пород и его частичного обрушения в средней части. Она отнесена к разряду плоскостных, и ее предполагаемые размеры составили следующие значения: по фронту 15 м, по глубине 1,5 – 2 м, по высоте 20 м, по объему около 500 м³. Горные породы на данном участке представлены ийолитами и карбонатитами с низкой и средней трещиноватостью, пронизанными жилами и прожилками карбонатитов. Постановка уступа осуществлялась с применением технологии предварительного щелеобразования, и деформация проявилась после шести месяцев его стояния. Фактические параметры уступа после его частичного обрушения не изменились: высота 30 м,

угол откоса 75° и ширина бермы (предохранительной) 10 м. Причиной деформации уступа явилось наличие в приконтурном массиве, в зоне воздействия взрыва, плоскости ослабления, неблагоприятно ориентированной в сторону рабочего пространства, а также высокая обводненность горных пород.

Согласно «Правилам безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (приказ № 599 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.12.2013 г.) на АО «Ковдорский ГОК» изначально принято решение об ограничении движения карьерной техники по транспортной берме гор. +40 м и ликвидации образовавшегося закола.

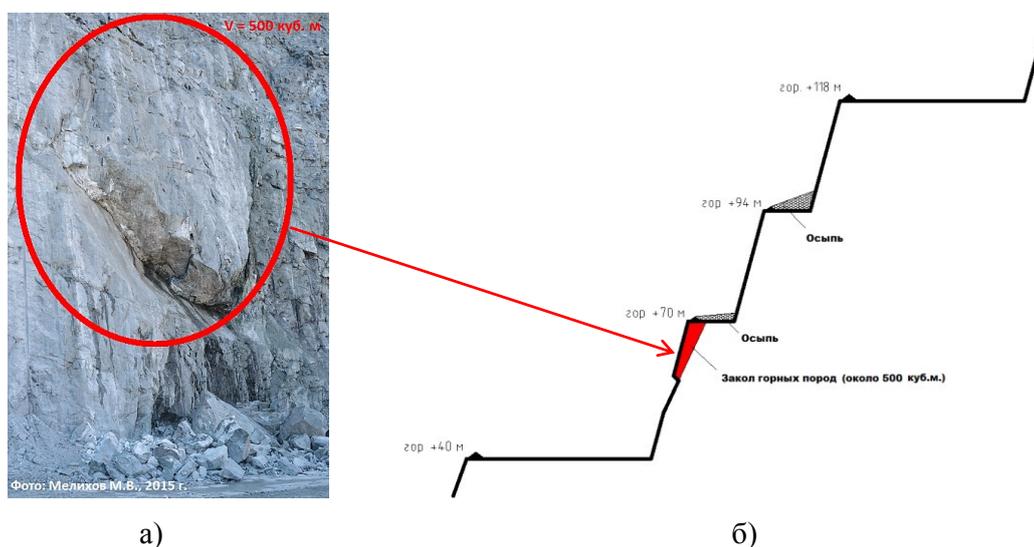


Рис. 2 – Проявление деформации уступа на карьере «Железный» АО «Ковдорский ГОК» вблизи транспортной бермы гор. +40 ÷ +70 м:
а – фото деформации уступа; б – схема по профилю борта

В ликвидации закола принимали участие специалисты ООО «НПК «ГеоПолимер»» и Горного института КНЦ РАН по запатентованной ими технологии посредством промышленного альпинизма. При этом проведены мероприятия по доставке людей, инструментов и материалов, а также по обеспечению безопасности работ. Первое связано с отсутствием доступа спецтехники к месту производства работ, а второе – с риском произвольного обрушения закола при нахождении на нем людей, а также с интенсивным выпадением камней из откосов вышележащих уступов и наличием крупных обломков горной породы, неустойчиво лежащих на бермах гор. +94 и +118 м.

Доставка людей, инструментов и материалов на гор. +70 м осуществлялась с помощью строительного крана, размещенного на транспортной берме гор. +40 м вне зоны деформации, а также с транспортной бермы гор. +118 м методами промышленного альпинизма. Безопасность людей при риске обрушения закола обеспечивалась с помощью альпинистского снаряжения и страховки, а от падающих камней – с помощью временной крепи.

Опираясь на законы механики движения тела для конкретных условий, установлено, что камень массой всего 0,23 кг, свободно падающий с 24-метрового уступа на голову человека, защищенную строительной каской (при среднем росте человека в каске 1,8 м), способен причинить вред его здоровью. Однако при визуальном осмотре берм и откосов (рис. 3) выявлено, что самые крупные скальные обломки имеют массу около 840 кг (объем 0,294 м³). В свободном падении такие куски породы способны развивать скорость 21,7 м/с, а кинетическая энергия их движения составит 198 кДж, что значительно превышает защитную способность строительной каски, которая составляет всего 50 Дж [6].



Рис. 3 – Состояние предохранительной бермы гор.+70 м до начала производства работ

Для защиты людей от падающих камней с гор. +118 до +70 м сооружена временная крепь на основе сетчатой завесы с конструкцией улавливающего типа (рис. 4). По завершению работ проектом предусматривался ее демонтаж. Предварительно производилась ручная оборка откосов и зачистка берм от представляющих опасность обломков горных пород.

Несущими элементами сетчатой завесы служили набивные анкеры (31 шт.) из стальной арматуры периодического профиля А3 класса А500С (СТО АСЧМ 7-93, ТУ 14-5254-2006) диаметром 32 мм и длиной 1,5 м, которые устанавливались на транспортную берму гор. +118 м. Кроме того, они использовались в качестве станций для альпинистской страховки. Допустимое сдвигающее усилие каждого элемента принималось 232 кН. Между собой анкеры соединялись б/у швеллерами 18П (У) (ГОСТ 8240-97) из стали 09Г2С, а места их сопряжений приваривались ручной сваркой.

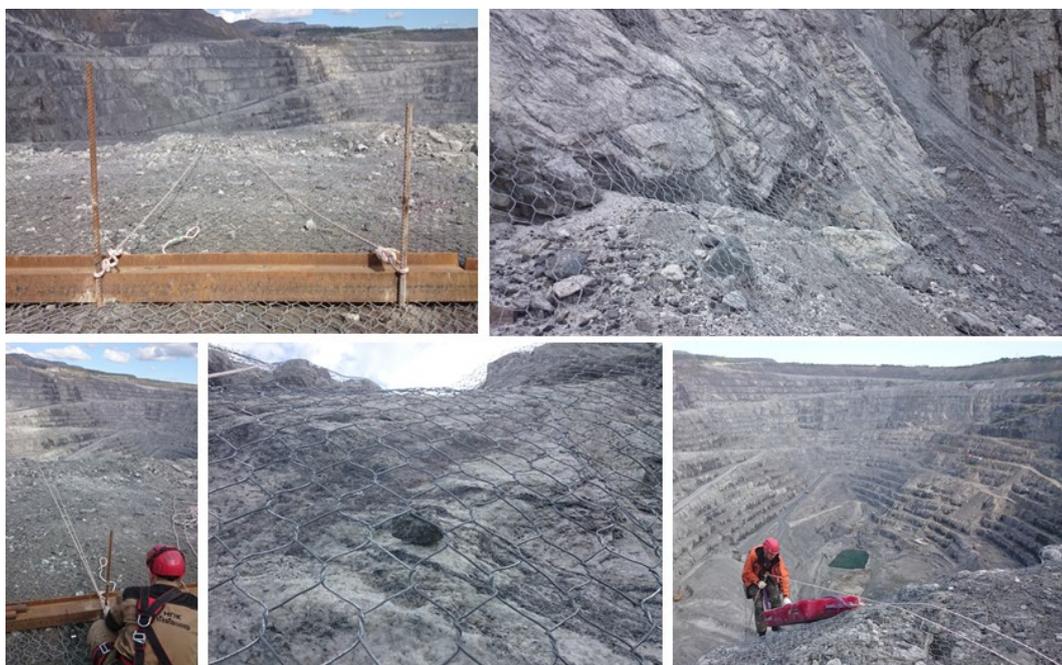


Рис. 4 – Использование временной крепи на основе сетчатой завесы с конструкцией улавливающего типа на карьере АО «Ковдорский ГОК» (ООО «НПК «ГеоПолимер») и Горный институт КНЦ РАН)

В качестве покровного материала выбрана шестиугольная металлическая сетка двойного кручения 8x10-3,0-03-2500 (ТУ 14-178-351-98), предназначенная для защиты

крутых склонов от камнепадов. В рассматриваемых условиях разрывного усилия одной ячейки, равного 53 кН, достаточно для того, чтобы выдержать динамический удар о сетку куса породы массой 684 кг (0,238 м³) при кинетической энергии его движения 161 кДж. Возникающие при этом сила удара скального обломка о сетку и растягивающее усилие в проволоке составят 52 и 40,8 кН, соответственно.

Стоит отметить, что сетку двойного кручения можно использовать в качестве временной или постоянной крепи в виде самостоятельного элемента конструкции или дополнительного в других сооружениях. Однако, несмотря на приемлемую улавливающую способность данной сетки, ее применение целесообразно только для защиты от небольших камней или при условии, что перед ее монтажом производится оборка откосов от крупных обломков горных пород. Обусловлено это тем, что при взаимодействии сетки двойного кручения с камнем нагрузка приходится на локальную точку и в силу ее конструкции не перераспределяется по всей площади. В результате это приводит к повреждению проволоки в точке удара, вследствие чего сетка не способна многократно выдерживать максимальную нагрузку. Поэтому при падении крупных кусков породы целесообразно использовать другие противокаменпадные сооружения, более предрасположенные к упругим нагрузкам. В настоящее время в этом направлении предпочтение отдается кольчужным сеткам с улавливающей способностью от 100 до 8500 кДж.

После организации мер безопасности осуществлено взрывание закола накладными зарядами. В качестве ВВ использовался тротил, а места его закладки располагались на берме гор. +70 м. Однако это не привело к принудительному обрушению закола, и впоследствии на горном предприятии приняли решение о проведении инженерных изысканий для детального изучения его параметров.

После контрольного осмотра состояния откосов и берм, а также противокаменпадной сетки Д.А. Максимовым, А.Ю. Демахиним и др. под руководством А.И. Калашника (ГоИ КНЦ РАН) при непосредственном участии сотрудников ООО «НПК «ГеоПолимер»» выполнено георадарное обследование зоны деформации уступа. Данный метод дает возможность при определенных условиях (у метода есть ограничения), не прибегая к бурению скважин, оперативно получить информацию о наличии и параметрах структурных неоднородностей [7, 8]. Обследование проводилось измерительными приборами *RAMAC GPR* и *ЛОЗА-1В* по профилям (рис. 5): продольным на берме (профили № 1 и 2); поперечным на берме (профили № 3) и поперечным на откосе уступа (профили № 4).

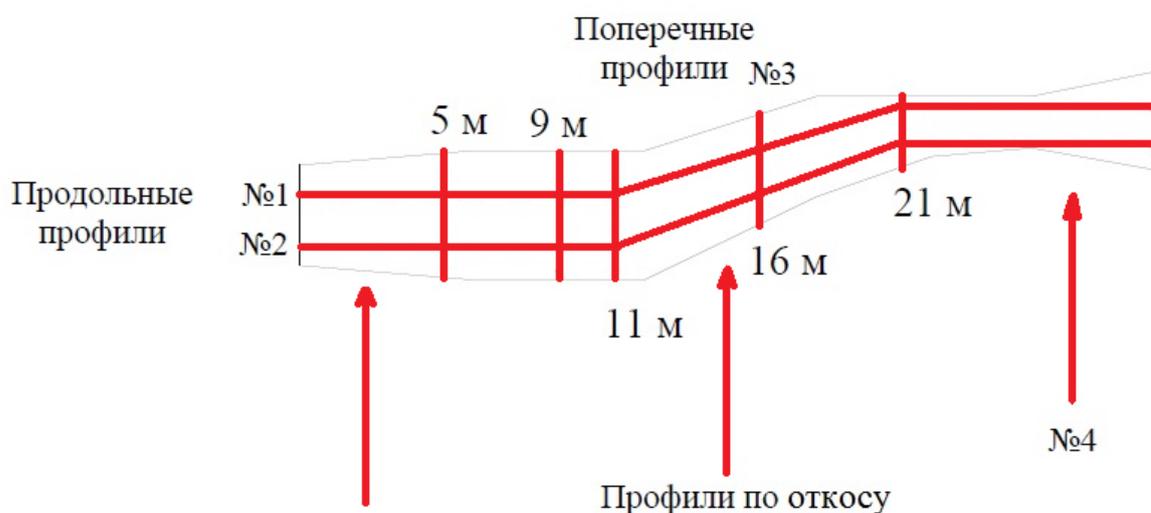


Рис. 5 – Схема профилирования участка (вид в плане)
(А.И. Калашник, Д.А. Максимов, А.Ю. Демахини др., ГоИ КНЦ РАН, 2015)

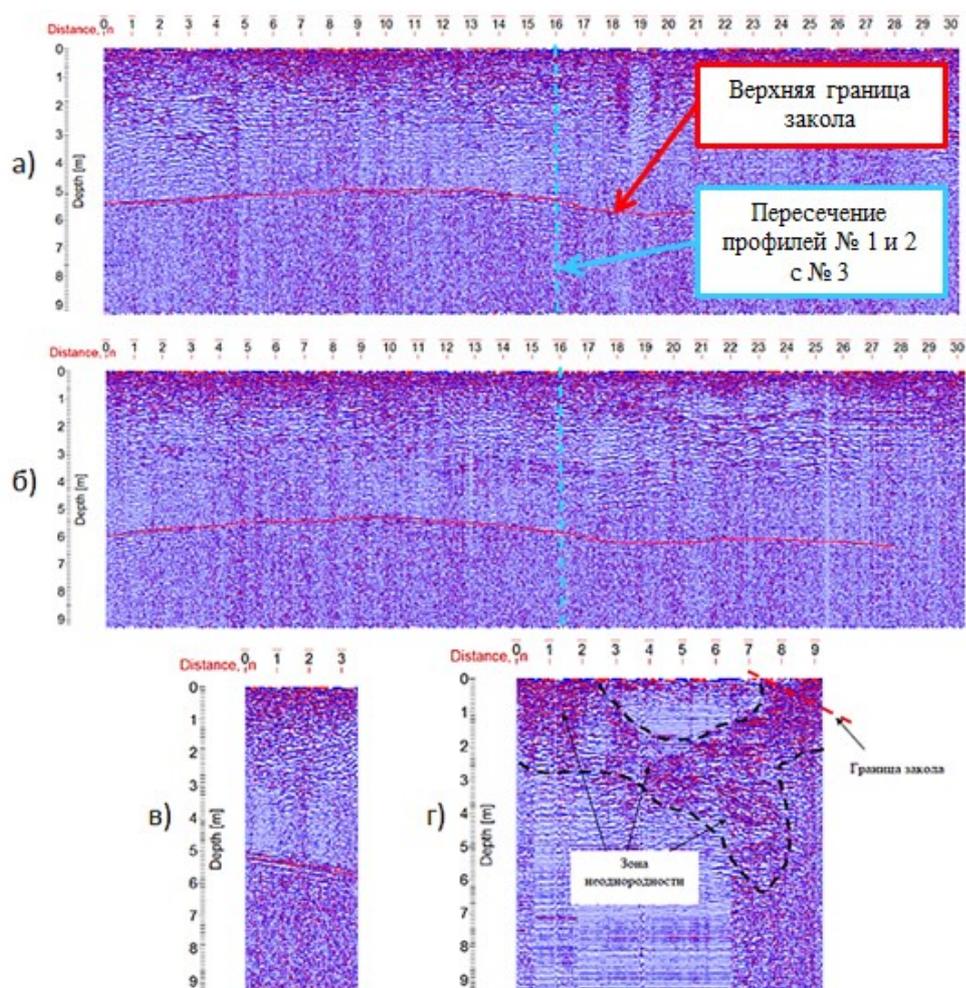


Рис. 6 – Радарограмма по результатам георадарного обследования:
а, б, в и г – по профилю № 1, 2, 3 и 4, соответственно
(А.И. Калашник, Д.А. Максимов, А.Ю. Демахини др., ГоИ КНЦ РАН, 2015)

По результатам георадарного зондирования бермы и откоса построены радарограммы (рис. 6), на основе которых интерпретирована верхняя граница закола с глубиной залегания от 5 до 6,5 м. В пределах границ трассы по профилям № 1 – 3 (рис. 6 а – в) не выявлены признаки сужения закола и сделано заключение о его расширении вглубь массива. При этом выделение структурных неоднородностей по результатам профилирования откоса № 4 оказалось невозможным из-за большого количества помех на радарограммах (рис. 6 г), обусловленных сложностями соблюдения методик проведения георадиолокационного обследования.

Для более детальной интерпретации результатов исследований ООО «НПК «ГеоПолимер»» и Горным институтом КНЦ РАН предложено доизучение зоны деформации уступа геологическими и геомеханическими методами, а для обеспечения безопасности перемещений карьерной техники по транспортной берме гор. +40 м – организация непрерывного мониторинга ее состояния.

Выводы и рекомендации

Приведенный опыт ООО «НПК «ГеоПолимер»» и Горного института КНЦ РАН показал возможность проведения инженерных изысканий на труднодоступных участках карьера в сложных условиях посредством промышленного альпинизма с соблюдением требований безопасности при организации работ.

По результатам выполненных исследований сделаны следующие основные выводы и рекомендации:

- при проведении инженерных изысканий в зоне риска падения камней на людей необходимо обеспечить их безопасность, что может достигаться с помощью монтажа временной крепи на основе сетчатых завес с конструкцией улавливающего типа;
- применение сеток двойного кручения целесообразно только для защиты людей от небольших камней. При интенсивном осыпании уступов, сопровождаемом выпадением крупных обломков горных пород, использование кольчужных сеток предпочтительнее сеток двойного кручения;
- перед монтажом противокамнепадных сеток рекомендуется производить оборку откосов и очистку берм, что значительно снизит количество и объемы потенциально падающих кусков породы, и, следовательно, ударную нагрузку на защитное сооружение;
- при обследовании крупных заколов существует риск их произвольного обрушения вместе с находящимися рядом людьми, поэтому безопасность людей в этом случае рекомендуется обеспечивать с помощью альпинистского снаряжения и страховки, несущие элементы которой следует устанавливать на вышележащем уступе (берме);
- георадарное зондирование откоса не позволяет четко выделить структурную неоднородность вследствие невозможности соблюдения методик проведения исследований. Георадарное обследование участка развития деформации уступа рекомендуется дополнять геофизическими или геологическими методами для проверки и получения более достоверной информации;
- при организации мероприятий по обследованию и ликвидации крупных заколов необходимо вести непрерывный мониторинг их состояния, а при выявлении прогрессирующих во времени смещений горных пород работы следует остановить, а людей и технику вывести из опасной зоны.

Литература

1. Климат-Ковдор // Электронные библиотеки [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://ru.climate-data.org/location/30585/>
2. Решетняк С.П. Обеспечение безопасности карьерного технологического оборудования при риске деформаций уступов, поставленных на предельный контур / С.П. Решетняк, М.В. Мелихов // Глубокие карьеры: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Апатиты; СПб., 2012. – С. 424 - 428.
3. Фокин В.А. Проектирование и производство буровзрывных работ при постановке уступов в конечное положение на предельном контуре глубоких карьеров / В.А. Фокин. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. – 231 с.
4. Мелихов М.В. Защита технологических участков карьера от негативных последствий процесса деформации породного массива / М.В. Мелихов // Информационные технологии сбалансированного природопользования поддержки: сборник трудов VI научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. – Апатиты: КНЦ, 2011. – С. 67 - 71.
5. Мелихов М.В. Обоснование конструкции и технологии формирования проектных бортов рудных карьеров с использованием анкерно-тросово-сетчатых завес: дис. ... канд. техн. наук / М.В. Мелихов. – Апатиты, 2014. – 141 с.
6. ГОСТ Система стандартов безопасности труда. Строительство. Каски строительные. Введ. 1985-01-01. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2006. - 7 с.
7. Калашник А.И. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера / А.И. Калашник, А.Ю. Дьяков // Изв. вузов. Горный журнал. – 2015. – № 6. – С. 73 - 78.
8. Исследования георадарами структуры и текущего состояния горных пород, слагающих уступы основного карьера Ковдорского ГОКа / А.И. Калашник, Д.В. Запорожец, А.Ю. Дьяков, С.В. Казачков, В.А. Сохарев // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 60 - 64.