

УДК 622.271.333

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕУСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ  
КАРЬЕРОВ БРИТАНСКОЙ КОЛУМБИИ**

**С. Нуну**

E-mail: sam.nunoo@alumni.ubc.ca, VIR 3С3, г. Трейл, Британская Колумбия, Канада

Рассмотрены проблемы добычи полезных ископаемых на карьерах Британской Колумбии (Канада) на протяжении трех десятилетий в различных горно-геологических условиях. Исследованы примеры нестабильного состояния откосов бортов карьеров с анализом их особенностей. Приведены рекомендации по предотвращению случаев обрушения бортов.

*Скорость движения откоса, карьеры Британской Колумбии, движение откоса, предел смещения*

DOI: 10.15372/FTPRPI20180511

Устойчивость откоса борта карьера — особое техническое требование безопасности и важный производственный вопрос. Как показывает практика, обрушения бортов карьеров могут произойти без каких-либо визуальных признаков, вызвав гибель людей, повреждение оборудования и срыв графика горных работ. Понимание причин обрушения поможет избежать их проявления, определить стратегию проектирования и планирования горных работ. В данном исследовании рассматриваются случаи нестабильности бортов карьеров в различных горно-геологических условиях.

Обсуждаются трудности, связанные с нестабильностями, которые наблюдались на протяжении трех десятилетий во время проведения горных работ, и анализируются их особенности. Описаны примеры нестабильностей, которые удалось устранить, а также даны общие рекомендации, которые могут быть полезны при проведении текущих или предстоящих горных работ. Представлен анализ аспектов, которые следует учитывать в случае нестабильности, для того чтобы подобрать правильный подход во избежание несчастного случая. Выбор ситуаций основан на доступности данных, полученных при проведении горных работ, литературных обзоров и консультационных отчетов.

Существует достаточное количество примеров нестабильности откосов бортов карьеров. Возникновение подобных нестабильностей может быть спровоцировано разными факторами, в том числе изменением угла откоса борта, его высоты, взрывными работами, применением горно-транспортного оборудования, геотектоникой и др. Границы движения откоса, находящиеся в пределах 0–150 мм/день, контролируются при помощи нескольких технических приемов для оценки состояния откоса в процессе проведения горных работ. Если обрушение неминуемо, движение откоса на некоторое время приостанавливается, а затем под влиянием вышепере-

численных факторов переходит из регрессивной в прогрессивную стадию со скоростью смещения от 20 до 150 мм/ч. Возникновение обрушения откоса может в определенной степени повлиять на продолжительность выполнения операций, связанных с разработкой карьера.

В основе нестабильностей, проявляющихся в наклонном слое породы, лежит сложная взаимосвязь причины и следствия и пусковых факторов развития данного процесса. Обычно анализ устойчивости откоса борта карьера основан на ограниченных данных о локализации проводимых работ и сведениях о деформации и прочности породного массива, а также информации о грунтовых водах.

Причинно-следственная связь, относящаяся к нестабильности откоса борта карьера, представлена в виде восьми баз данных, полученных во время исследования операций, проводимых в породном массиве. Изучение данных о нестабильностях горных пород в прошлом обеспечивает более полное понимание того, влияет ли местоположение горных работ на стабильность бортов карьера. В базах отражено, как в условиях каждого месторождения решались вопросы обеспечения стабильности откосов бортов карьеров с течением времени.

**Карьер Кемесс-Саут.** На карьере Кемесс-Саут, расположенном на севере центральной части Британской Колумбии, велась разработка медно-порфировой руды. Постоянные работы проводились с 1996 по 2011 г. до самого окончания его существования. Ежегодная добыча составляла 7 087 – 8 505 кг золота и 29 483 504 – 34 019 428 кг меди. Качество руды оценивалось от среднего до высокого (RMR 50–60). Во время разработки карьера обнаружено несколько крупных структурных нарушений (разрывов породы). Разрывы тянулись вдоль всего карьера ближе к основанию северного борта, другой разрыв шел по задней стороне восточного борта карьера. В мае 2004 г. на карьере произошло обрушение породы массой 1 360 777.110 кг вдоль северо-восточного борта на глубине 100 м. Это первая множественная неустойчивость уступа карьера среди нескольких случаев нестабильности. Верхний северо-восточный откос имел тенденцию к постепенному медленному смещению после первого случая обрушения, при этом скорость смещения составляла 10–150 мм/день. В марте 2006 г. это привело к остановке работ вблизи основания неустойчивой области северо-восточного борта карьера. Для мониторинга устойчивости использовался радар SSR компании “Ground Probe”, измерения осуществлялись каждые 3–5 мин с моментальным анализом результатов. Предельные значения смещений составили 120 мм/день по северному борту и 360 мм/день по северо-восточному борту. Установленные пределы основаны на данных наблюдений и лабораторных испытаний. При превышении значений смещения откоса активизировался сигнал тревоги и проводился осмотр для определения соответствия данным, полученным системой. Если визуальный контроль подтверждал данные контрольно-измерительного прибора, на карьере при помощи радио передавалась информация о начале эвакуации, все рабочие незамедлительно покидали карьер, а оборудование удалялось [1].

Наличие структурных нарушений и состояние породного массива повлияли на стабильность бортов карьера, вызвав неустойчивость его северного борта. Дождевые осадки могли способствовать возникновению нестабильности, хотя это не было зафиксировано, а горные работы, проводимые на данном участке, порождали нестабильность северного борта. Из-за нестабильности северного борта подземные воды опустились до уровня северо-восточного угла карьера, оборудованного водоотводящими траншеями на кровле борта и горизонтально расположенными дренами. Для снижения уровня подземных вод угол откоса борта был уменьшен с целью снижения скорости смещения до 10 мм/день в границах оползневого

участка. Однако со временем смещение северо-восточного борта, где наблюдались структурные нарушения, стало превышать допустимые значения. Произошло подвигание борта карьера вдоль северо-восточного угла, и угол откоса снизился до  $27^\circ$  в местах, где присутствовали структурные нарушения. На карьере также проводились управляемые взрывные работы и была установлена система горизонтального дренажа для того, чтобы сбрасывать давление в откосе.

**Карьер Бренда.** На карьере Бренда, расположенном на севере в гористой местности внутренней части Британской Колумбии, велись работы по добыче медно-молибденовой руды. Между пачками породы проходило несколько глинистых прожилков, влияющих на стабильность стенок карьера. В рудном пласте, залегающем на глубине 305 м, обнаружены области сланцеватости с умеренно однородным кварцево-диоритовым рудным телом. Устойчивый угол откоса борта спроектированного карьера составил  $45^\circ$ . С 1974 г. на карьере использовался современный электронный дальномер для проведения измерений и мониторинга откоса карьера, при помощи которого собраны данные о смещении. Проведение взрывных работ и обильные осадки оказали влияние на скорость смещения откосов бортов карьера. В середине сентября 1978 г. нестабильность начала проявляться в виде обрушения в нижней части карьера и распространилась вниз по уклону до нижней площадки карьера. Предполагалось, что обрушение спровоцировано наличием глинистых прожилков в структуре горных пород, а весенний водосток стал иницирующим фактором. В большинстве случаев смещение 12.7 мм/день является сигналом к прекращению работ на карьере в области нестабильности. Предполагаемый предел прочности при одноосном сжатии неповрежденной породы для южного борта карьера составил более 150 МПа, и обрушение было достаточно ограниченным. Во время последней разработки южного борта были отчетливо видны более значительные проявления нестабильности. Последний уступ на карьере начат в середине 1988 г. с конструкционным углом  $45^\circ$ , однако обвал породы начался после высокоуступной разработки на высоте 30 м [2].

Уровень грунтовых вод и интенсивность выемки на тот момент имели непостоянные значения при скорости смещения откоса в пределах 75–750 мм/день. Эти значения скорости смещения зафиксированы после проведения взрывных работ и во время разработки каждого уступа карьера. Разработка продолжалась со скоростью смещения порядка 50 мм/день, но сильного обрушения не произошло.

Выравнивание угла откоса в нижней части южного борта до  $40^\circ$  и область дренирования (6000 м дренажных отверстий) держали обрушение под контролем. В результате измерений вертикальная деформация оказалась значительно больше в бровке откоса по сравнению с нижними зонами откоса. Механизм обрушения представлял масштабный обвал вдоль южного борта с заполненными глиной разломами [2–4].

**Месторождение Афтон.** Медное месторождение Афтон находится в 13 км к востоку от г. Камлупса в Британской Колумбии, глубина карьера 214 м. Рудное тело залегает в плутоническом диорите и претерпело изменение. Географическое картирование данного участка показало, что тип горной породы и геологические структурные особенности обуславливают обрушения на карьере. Смещение борта карьера отслеживалось при помощи беспроводного экстензометра и электронного дальномера. Наблюдалось колебание значения прочности на одноосное сжатие от 207 МПа для дацита до 3–10 МПа для аргиллита. Прочность на одноосное сжатие для диоритового породного массива варьировала от 2 до 110 МПа. Обрушение северо-восточной части борта, произошедшее в марте 1984 г., оценено в  $2 \cdot 10^8$  кг породы. Во время этого происшествия предельный угол откоса северного борта карьера составлял  $40^\circ$ , ширина уступа около 11 м. Оставшаяся часть борта имела угол откоса  $45^\circ$ , ширина уступа около 8 м. Обрушение не повли-

яло на производительность карьера, так как визуальный контроль, проведенный непосредственно перед обрушением, и данные, полученные при помощи экстензометра, помогли предвидеть это событие. Максимальная скорость смещения составила 28.8 м/день [5].

Проведение горных работ в северо-восточной части карьера повлияло на обрушение уступа. Взрывные работы послужили иницирующим фактором, вызвавшим увеличение скорости смещения и в конечном итоге обрушение породы. Обрушение привело к сглаживанию угла откоса северного борта с 40 до 30°. Общее обрушение перекрывающей породы составило  $1 \cdot 10^9$  кг [5].

Обрушения южного борта карьера шли в сторону западной и восточной части, углубляясь к югу на уровень 65–90°. С 1985 по 1986 г. обрушения в районе южного борта произошли из-за недостаточной осведомленности о данном процессе во время проведения горных работ. Около  $1 \cdot 10^7$  кг породы обрушилось на нижние уступы южного борта карьера и считалось, что характер обрушения связан с обвалом породы. Общая высота наклонной поверхности на момент обрушения составляла 300 м, но часть откоса, подвергшаяся обрушению, была примерно 170 м высотой. Скорость движения породы составляла 2 мм/день в зимний период, что является неплохим показателем. За период с 1985 по 1986 г. создано около 3000 м горизонтальных скважин, несмотря на это с весенним таянием снега в 1986 г. скорость движения увеличилась до 30–60 мм/день. Максимально установленное смещение, предшествовавшее обрушению породы, зафиксировано в бровке откоса [2]. В начале июня 1986 г. произошло сильное обрушение объемом около 124 660 м<sup>3</sup>. После обрушения движение породы в центральной активной части откоса борта карьера какое-то время составляло 25 мм/день, а скорость движения породы по краям неустойчивой зоны варьировала от 6 до 12 мм/день [2].

**Месторождение Хайленд-Валли (Канада).** Нестабильность зафиксирована на карьере Хаймонт медного месторождения Хайленд-Валли (HVC). Обрушение, произошедшее в мае 1983 г. в северо-восточном углу восточной части карьера, по мере проведения горных работ продолжило распространяться на глубину около 60 м. Последовательная разработка на глубине до 110 м вызвала многочисленные и значительные сдвиги откоса борта карьера, объем обрушившейся породы составил 500 000–1 000 000 м<sup>3</sup>. Слой кварцевого диорита шириной 15 м с заметными изменениями и глинистыми вкраплениями пересекал карьер и залегал под углом 20–30° по направлению к востоку, далее углублялся на 60° к западу. По всей площади разработки наблюдались тектонические изменения различной степени с пределом прочности неповрежденной породы 1–140 МПа. На карьере использовался электронно-оптический дальномер AGA 140 для наблюдений за движением уступа с момента обнаружения трещин за линией кромки карьера. В связи с увеличением скорости сдвижения мониторинг проводился 2 раза в неделю, а после достижения скорости 8–10 мм/день — ежедневно [6].

После продолжения горных работ получены данные о четырех отчетливо различимых ударах. Полученная информация указывала на то, насколько откос бортов карьера подвержен оседанию при проведении горных работ. На основе данных, полученных в результате изучения геотектоники и физико-механических свойств породы, сделаны выводы, что на территории разработки обрушение в юго-восточной части свидетельствует о нарастающем состоянии неустойчивости, характеризующемся движущимися вдоль борта карьера структурными нарушениями сплошности и плохим качеством низкопрочной породы в нижней части карьера. Обрушение определено как глубоко залегающее повреждение, так как оно начало проявляться на кровле борта и под действием давления грунтовых вод распространилось по откосу борта карьера. Расчеты по результатам измерений параметров прочности породного массива выявили угол трения 33° и сцепление уровней в пределах 0.1–0.4 МПа [6].

Карьер Лорнекс — один из действующих карьеров на месторождении НВС. Согласно проекту, он разделен на восемь участков с углами откоса рабочего борта карьера в зоне геологических нарушений от 25 до 40°. Юго-западный борт карьера по плану должен иметь высоту 500 м. По всей площади карьера обнаружены зоны гидротермальных изменений, структурно зависящие от близлежащих участков трещиноватостей и сдвигов [7]. Главной структурной особенностью юго-западного борта карьера Лорнекс является зона разломов шириной 80 м, которая распространяется к северу и югу и спускается вниз на уровень 60–80° к западу. Три структурные области, характерные для карьера, определены на основе данных, полученных в результате картографирования. Юго-западный борт карьера имеет многолетнюю тенденцию к сдвигению откоса, которое впервые зафиксировано в 1978 г., после ввода карьера в разработку. Максимальный угол откоса 30°.

Впоследствии в области юго-западного борта стали наблюдаться движения откоса, связанные с низвержением породы и горными работами. До 1992 г. сдвигения горных пород в бортах карьера контролировались путем планирования промежуточных контуров карьера, при котором нагрузка учитывается по верхней части откоса. Данные системы коммутации видеоисточников информации, полученные с начала 1997 г. по август 2001 г., собраны и проанализированы. Выявлено по меньшей мере шесть случаев движения породы за весь период времени. Толчки напряжения связаны с такими сопутствующими факторами, как взрывные работы, низвержение породы и давление грунтовых вод. Скорость движения считалась структурно управляемой. Скрытые в глубине наклонные колебания, обвалы породы откоса бортов карьера определены как механизм, инициирующий движение породы [8].

18 ноября в 2012 г. в конце дневной смены зафиксированы случаи осыпания породы на высоте 920–935 м на 8-м уровне восточного борта карьера. Обычно подобная информация передается геолого-технической группе на месторождении НВС, однако в данной ситуации этого не произошло. Днем 22 ноября 2012 г. управление по контролю работ на карьере получило оповещение о геотехнической опасности. Примерно в 16 ч главный техник связался с членом геолого-технической группы и сообщил об обвале породы на уровне 8, основываясь на данных, переданных водителем карьерного самосвала. Эксперт геолого-технической группы исследовал опасную зону и дал инструкции работникам карьера покинуть карьер. Это была неактивная область разработки (рис. 1). Непосредственно в области неустойчивости не наблюдалось просачивание воды, хотя незначительное пропитывание воды обнаружено на юго-восточном борту карьера. Осыпание породы, зафиксированное 18 ноября 2012 г., усилилось 22 ноября. Ниже дается краткий отчет проявления неустойчивости:

Воздействие на ход работ	Обвал, ослабление структуры
Борт карьера и название	Карьер Хайленд-Валли, юго-восточный борт
Общая высота, м	90
Общий угол, град	45
Угол откоса рабочего борта карьера, град	39
Геологический индекс прочности	34–36
Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	16–39
Связность горных пород, КПа	50–200
Угол трения породного массива, град	21–34
Сейсмическое фоновое движение, мм/день	1
Наблюдаемое движение, мм/день	10
Предупреждение об опасности, мм/день	15
Опасность, мм/день	20



Рис. 1. Нестабильность откоса с обрушением породы

После обнаружения зон неустойчивости работа на некоторых участках проводилась только в дневные часы. Обследованы трещины растяжения, обнаруженные в ходе визуального контроля, и установлен проводной экстензометр для мониторинга скорости движения на данном участке.

**Месторождение Хакльберри.** Восточный карьер на месторождении Хакльберри заброшен из-за массивного обвала, произошедшего 22 июня 2007 г. (рис. 2). Никто не пострадал, так как весь персонал и оборудование были перемещены на другие участки разработки, как только трещины в верхней части стены были обнаружены за 4 дня до происшествия. Произошло обрушение большого объема породы с верхней части северного борта на дно карьера [9].



Рис. 2. Восточная часть обрушения борта карьера на месторождении Хакльберри [9]

Зоны неустойчивости находились под постоянным наблюдением и подвергались обваловыванию при помощи породных отвалов. На проблемных участках работы ограничились дневными часами, а в неблагоприятных условиях проведение работ было запрещено.

**Карьер Коппер Маунтин.** Многоуровневое плоскостное обрушение породы произошло 4 ноября 2011 г. вдоль восточного борта карьера 3 (рис. 3). Обрушение представляло многоуровневый плоскостной непрерывный сход породы вдоль стремящейся к западу трещины, подрезанной экскаватором. После происшествия угол откоса рабочего борта карьера уменьшился до  $45^\circ$ . Ниже представлены дополнительные детали данного обрушения:

Механизм обрушения	Многоуровневое плоскостное обрушение (приблизительно 4 уровня, 60 м)
Воздействие на ход работ	Выход оборудования из строя на две недели
Борт карьера	Фаза 2, восточный борт
Общая высота, м	80
Общий угол, град	55
Угол откоса рабочего борта карьера, град	51
Угол борта уступа	70
Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	110–142

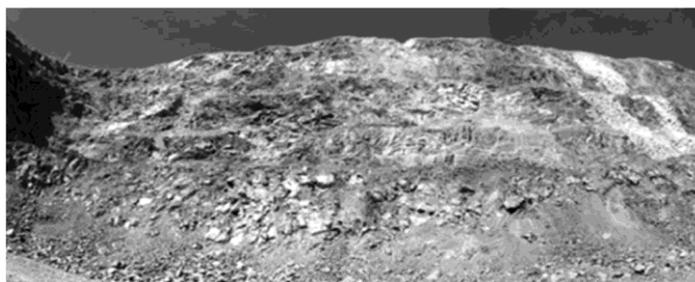


Рис. 3. Северо-восточный угол области обрушения

Во время ночной смены 17 июля 2013 г. погрузочный экскаватор проводил уборку породы в зоне борта карьера 3, когда борт начал осыпаться. Большая часть осыпающейся породы не задела экскаватор, но небольшая часть повредила его левую сторону. Инженерно-геологическая карта данного участка показала наличие группы наклонных плоскостных отдельностей в борту карьера и области деформации под воздействием боковых сдвигов. Комбинация этих факторов стала причиной потери прочности породы, в результате чего произошло обрушение. К северо-западу борт изменил ориентацию и система трещин начала двигаться. К северо-востоку система трещин заканчивалась разрывом. Оба эти явления указывали на наличие локализованного обвала (рис. 4).

**Месторождение Эндако.** В 1994 г. на месторождении Эндако произошло несколько обрушений вдоль сплошных углубляющихся к северо-западу разрывов. Плоскостное обрушение зафиксировано на юго-восточном уступе, клиновидное обрушение — на юго-восточном борту и в центральной области южной части карьера. Обрушения произошли вдоль большинства крупных сплошных углубляющихся к северо-западу разрывов. После обрушения конфигурация борта была изменена с двухступенной на одноступенной для уменьшения обрушений, происходивших при двухступенной конфигурации в зонах, примыкающих к восточному разрыву [10].



Рис. 4. Предполагаемый обвал с указанием ориентации и отдельностей

В августе 2001 г. во время проведения работ на месторождении обнаружилась нестабильность в нижней части юго-восточного уступа вдоль разрыва. Считалось, что пониженная прочность и ориентация разрывов стали причиной нестабильности [10]. В марте того же года произошли плоскостные и клиновидные обрушения, что было связано с углубляющимися к северо-западу разрывами в верхней части откоса. Неустойчивость в нижней части откоса появилась в результате сдвижения породы вдоль горизонтально залегающих жил, выступающих ниже южного базальтового разрыва. Углубляющиеся к северо-западу разрывы, инициировавшие плоскостную/клиновидную нестабильность в верхней части откоса, были относительно непрерывными и обозначались на плане вдоль предполагаемого сплошного промежуточного контура карьера [10].

Вследствие нестабильности на карьере, проявившейся в 2007 г., под завалом едва не оказался погрузочный комбайн. Произошло многоуровневое обрушение и работы были приостановлены. Пострадал юго-восточный борт карьера. Как только скорость движения породы уменьшилась, горные работы в дневное время продолжились.

**Месторождение Гибралтар.** Горный массив рядом с гранитным карьером пронизан трещинами и характеризуется наличием отдельностей и разрывов с характерной сопряженной системой трещин. Большинство этих вторичных структур расположено параллельно системам крупных разрывов.

Юго-восточный борт гранитного карьера состоит из верхней и нижней частей, разделенных временным уступом. Обе части расположены по отношению к горизонтальному направлению под углами около 315 и 340° соответственно. Выемка на юго-восточном борту проводилась под углом откоса рабочего борта карьера 37°, высота откоса 137 м.

При помощи структурного картирования в пределах одного уровня юго-восточного борта карьера обнаружены следующие структуры:

- падение пластов в западном направлении под углом приблизительно 45°/290° (угол падения пласта/направление по падению); наблюдалось на нескольких уровнях;
- падение пластов в северо-восточном направлении под углом приблизительно 45°/250°;
- падение пластов в северо-западном направлении под углом приблизительно 45°/325°; эти структуры периодически обнажают глинистые прожилки и плоскости скольжения;
- падение пластов в западном направлении под углом приблизительно 25°/265°; данные структуры наблюдались на высоте до 31 м и более; они заполнены глиной толщиной в несколько сантиметров;
- падение пластов в юго-западном направлении под углом приблизительно 40°/220°;
- падение пластов в юго-восточном направлении под углом приблизительно 45°/165°; структуры отмечались на высоте до 31 м, с незначительными глинистыми корками;
- падение пластов в юго-восточном направлении под углом приблизительно 80°/115°; данные структуры расположены на большом расстоянии друг от друга и непрерывны на высоте нескольких уровней;
- падение пластов в северо-восточном направлении под углом 20°/055°; характер структур изолированный, непрерывный на высоте 3 – 5 м [11].

Ранее в августе 2010 г. обнаружена большая трещина на бровке уступа. В верхней части бортов карьера установлены пассивные радиолокационные станции для наблюдения за движением, которые выявили сдвиги в юго-восточной части. Локальная систематически контролируемая зона клиновидной неустойчивости обнаружена 4 февраля 2011 г. на высоте 3 – 4 уступов

вдоль западной границы движения большого объема породы в юго-восточной части борта. Механизм движения показал, что локальная зона неустойчивости схожа с клиновидной неустойчивостью, ранее возникшей в центральной части борта.

Ожидалось, что движение откоса увеличится во время весеннего стока, поэтому для предотвращения скорости движения породы рекомендовано укрепить верхнюю часть борта при помощи пустой породы. Устойчивость откоса юго-восточного борта контролировалась относительно сформированного укрепления. При увеличении скорости движения размер карьерного укрепления увеличивался.

Независимо от наблюдения за скоростью движения, работы в зоне движения откоса прекращались, если радиолокационная система начинала выводить по три или более показаний смещения пород. Работы не возобновлялись до тех пор, пока радиолокационная система не выдавала постоянные значения скорости движения, не превышающие заданных для данного участка карьера [11].

На протяжении трех десятилетий способы решения проблемы неустойчивости откосов бортов карьера практически не изменились. Опыт прошлых лет дает возможность узнать многое, что поможет в решении данной проблемы в настоящем и будущем. Рассмотренные ситуации показывают, что независимо от сложности возникшей проблемы, связанной с неустойчивостью, они влияли на ход работ. В результате план работ изменялся, требовался пересчет угла наклона откоса бортов, возведение укреплений из пустой породы, перекрытие доступа к уступам и прекращение горных работ вблизи зоны неустойчивости. На всех карьерах применялась система горизонтального дренажа для уменьшения влияния грунтовых вод на устойчивость откосов бортов. На одном из карьеров использовалась вертикальная система дренажа (система вертикальных скважин), способствующая сбросу давления в откосе. Данные способы могут быть полезны в предотвращении будущих катастроф.

Для разработки карьера наличие выработанной системы управления устойчивостью откоса его борта имеет важное значение. Отметим, что не все случаи возникновения неустойчивости приводят к остановке работ на карьере, на некоторых объектах удалось продолжить работу и предотвратить несчастные случаи, связанные с неустойчивостью. Методы мониторинга необходимы для наблюдения за скоростью движения откоса борта карьера, чтобы предотвратить обрушение, которое может привести к прекращению разработки.

Увеличение скорости сдвижения пород, приводящее к неустойчивости, обычно происходит в период проливных дождей, весенних паводков, а также из-за нерациональной техники ведения взрывных работ. Рассмотренные примеры выявили причинно-следственные связи, ведущие к потере устойчивости. При разработке карьера напряжение внутри породного массива изменяется, что приводит к исчезновению и возникновению трещин на разных участках. В образованные трещины может попасть вода. Проникновение воды в толщу породы вызывает эрозию, приводит к образованию в бортах карьера трещин или к заполнению трещин другими материалами, как увеличивая, так и уменьшая скорость потока воды во время процесса дренирования [12]. Увеличение количества осадков и весенний сток — основные факторы, приводящие к потере устойчивости откоса. Несмотря на множество факторов, вызывающих увеличение скорости сдвижения пород и неустойчивость откосов бортов, в практике открытых горных работ учитываются, как правило, лишь незначительное их количество. Существует ряд методик для управления рисками, связанными с неустойчивостью откоса, однако при разработке большинства карьеров данным методикам не уделяется должного внимания.

## ВЫВОДЫ

Рассмотренные случаи обрушения бортов карьеров свидетельствуют о необходимости применения на горных работах системы управления устойчивостью откосов бортов карьеров, предотвращения ситуаций, приводящих к остановке работ на карьере. Показано, что существует взаимосвязь факторов, влияющих на устойчивость откоса, независимо от местоположения рассматриваемых объектов. При риске возникновения обрушения должны быть просчитаны все последствия обрушения. Во время проведения работ на карьере в дополнение к основным инструментам мониторинга необходима надежная система контроля.

При оценке опасности обрушения бортов карьеров и планировании мероприятий по их нейтрализации большое значение имеют допустимые пределы скорости сдвижения горных пород. Они должны устанавливаться по наименьшему значению. Важно правильно рассчитать расстояние, на которое сместится порода при обрушении, чтобы вовремя эвакуировать людей и оборудование.

Автор выражает признательность персоналу следующих объектов разработки: Коппер Маунтин, Эндако, Гибралтар, Хайленд-Валли, Хакльберри и Маунт Полли, за предоставленные данные и помощь в данном исследовании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Yang D. Y., Mercer R. A., Brouwer K. J., and Tomlinson C.** Managing pit slope stability at the Kemess South Mine — Changes over Time, Slope Stability, Vancouver, Canada, 2011. — P. 12.
2. **Martin D. C.** Deformation of open pit mine slopes by deep seated toppling, Int. J. of Surface Mining, Reclamation and Environment, 1990, Vol. 4, Issue 4. — P. 153–164.
3. **Calder P. N. and Blackwell G.** Investigation of a complex rock slope displacement at Brenda Mines, CIM Bulletin, 1980, Vol. 73, Issue 820. — P. 73–82.
4. **Martin D. C.** Time dependent deformation of rock slopes (Ph.D.), University of London, 1993.
5. **Stewart D. H. and Reid G. J.** Afton- a geotechnical pot-pourri, CIM Bulletin, 1988, Vol. 81, Issue 917. — P. 77–83.
6. **Newcomen H. W. and Martin D. C.** Geotechnical assessment of the southeast wall slope failure at Highmont Mine, British Columbia, CIM Bulletin, 1988, Vol. 81, Issue 917. — P. 71–76.
7. **Graden R.** NI 43-101 Technical report teck highland valley copper, Highland Valley Copper, 2012. — P. 232.
8. **Newcomen H. W., Shwydiuk L., and Maggs C. S.** Managing pit slope displacements: Highland Valley Copper's Lornex pit southwest wall, CIM Bulletin, 2003, Vol. 96, Issue 1071. — P. 43–48.
9. **Imperial Metals** [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.imperialmetals.com/s/News-2007.asp?ReportID=193331&\\_Title=Imperial-Reports-Pit-Wall-Failure-at-Huckleberry-Mine](http://www.imperialmetals.com/s/News-2007.asp?ReportID=193331&_Title=Imperial-Reports-Pit-Wall-Failure-at-Huckleberry-Mine), 2007 (дата обращения 02.02.2018).
10. **Golder A.** A preliminary review of pit slope design parameters for the proposed pushback of the South Wall of the Endako pit (Technical Report), Endako Mine, 2002.
11. **Golder A.** Site visit report and preliminary recommendations regarding instability of the SE Wall of the Granite lake pit (Technical Memorandum), 2011. — P. 14.
12. **Hudson J. A. and Harrison J. P.** Engineering rock mechanics: an introduction to the principles, Tarrytown, N. Y., Pergamon, 2005.

*Поступила в редакцию 28/III 2018*