

УДК 622.831.1

Исмаилов Анварбек Суннатгуллаевич

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Геотехнология
угольных и пластовых месторождений»,
Ташкентский государственный
технический университет,
100095, Республика Узбекистан, г. Ташкент,
ул. Университетская, 2
e-mail: anvarbek_ismailov@mail.ru

Меликулов Абдусаттар Джаббарович

кандидат технических наук, доцент,
зам. генерального директора,
ООО «Специальное управление № 75»,
100104, Республика Узбекистан, г. Ташкент,
ул. Биллур, 53
e-mail: konchilik@mail.ru

Садиков Шухрат Марданович

главный маркшейдер,
Навоийский горно-металлургический комбинат,
210100, Республика Узбекистан, г. Навои,
ул. Навои, 27
e-mail: shuhrat.sadinov@mail.ru

Султанов Карим Султанович

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз,
100125, Республика Узбекистан, г. Ташкент,
ул. Дурмон йули, 31
e-mail: sultanov.karim@mail.ru

Салямова Клара Джаббаровна

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз
e-mail: klara_51@mail.ru

Гасанова Надежда Юнисовна

старший преподаватель,
кафедра математики и механики,
Ташкентский государственный
технический университет
e-mail: lima-07@mail.ru

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ
ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ
МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД
И ИХ МОНИТОРИНГ ПРИ ОТРАБОТКЕ
ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ***Аннотация:*

В статье рассматриваются вопросы, связанные с особенностями деформирования массивов скальных пород бортов глубоких карьеров, приводятся примеры из практики карьера Мурунтау. Приведены закономерности поведения массивов пород, некоторые случаи деформации бортов, информация о системе мониторинга состояния бортов, включая сейсмические и маркшейдерские способы. Дана информация о возможности устройства внутренних отвалов на некоторых уступах бортов отработанной части карьера.

Ключевые слова: глубокий карьер, массив горных пород, деформации, маркшейдерская служба, долгосрочный мониторинг, ползучесть пород.

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.018

Ismailov Anvarbek S.

candidate of technical sciences,
associate professor, the head of geo-technology of coal
and bedded deposits department,
The Tashkent State Technical University,
100095, the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, 2 University st..
e-mail: anvarbek_ismailov@mail.ru

Melikulov Abdusattar D.

candidate of technical sciences,
associate professor, deputy general director,
Co.Ltd "Special Administration No 75",
100104, the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, 53 Billur st.
e-mail: konchilik@mail.ru

Sadinov Shukhrat M.

chief surveyor,
The Navoi mining & metallurgical integrated works,
210100, the Republic of Uzbekistan,
Navoi, 27 Navoi st.
e-mail: shuhrat.sadinov@mail.ru

Sultanov Karim S.

Doctor of technical sciences,
professor; leading researcher
The Institute of Seismic Stability of Structures,
Science academy of Uzbekistan republic,
100125, the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, 31 Durmonyuli st.
e-mail: sultanov.karim@mail.ru

Salyamova Klara D.

Doctor of technical sciences, professor,
leading researcher,
The Institute of Seismic Stability of Structures,
Science academy of Uzbekistan republic
e-mail: klara_51@mail.ru

Gasanova Nadejda Yu.

senior instructor, the department
of mathematics & mechanics,
The Tashkent state technical university
e-mail: lima-07@mail.ru

**FEATURES OF HARD ROCK MASS LONG-TERM
DEFORMATION PROCESSES AND THEIR
MONITORING BY DEEP OPEN PITS
DEVELOPMENT***Abstract:*

The article discusses issues related to the features of hard rock mass deforming of deep open pit edges. The examples from the Muruntau open pit operation are cited. The regularities of rock mass behavior, some cases of edges deformation, as well as the information on the state of edges monitoring system, including seismic and surveying methods are adduced. The information on the chances of internal dumps arrangement on some benches of the exhausted open pit area is given in the article.

Key words: deep open pit, rock mass, deformation, surveying service, long-term monitoring, creepage

Крупнейшее на Евразийском континенте месторождение Мурунтау в Центральных Кызылкумах (Узбекистан) входит в число уникальных месторождений мира по запасам и добыче золота. Детальное геологическое изучение Мурунтауского рудного поля с прогнозной оценкой флангов и глубоких горизонтов в масштабе 1:10000, а также глубинного строения земной коры на основе бурения сверхглубокой скважины СГ-10 на глубину 4294 м выполнено в основном во второй половине прошлого века [1, 2].

Золотодобывающий карьер Мурунтау с размерами в плане 3,3×2,5 км глубиной более 600 м является в настоящее время крупнейшим по объемам и глубине выемки горной массы. За время разработки этого карьера с 1967 г. извлечено 1,5 млрд м³ горной массы при максимально достигнутой годовой производительности 53,6 млн м³. Проектом намечается довести глубину карьера до 900 – 950 м, суммарная площадь поверхности породных обнажений оценивается более 10 кв. км.

В геолого-структурном отношении условия расположения карьера определяются сетью тектонических разломов, пронизывающих месторождение в субширотном направлении и играющих определенную роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива в региональном масштабе. Значительную роль в современной геодинамической активности района играет участие Южного разлома, о чем свидетельствуют дифференцированные смещения породных масс (блоков) в горизонтальном и вертикальном направлениях, а также сейсмическая активность. Длинная ось карьера совпадает с осью синклинальной складки, крылья которой имеют падение в сторону выработанного пространства. Район отнесен к семи-восьмibalльной сейсмической зоне.

В современной геомеханике отмечается ряд закономерностей проявления свойств реальных горных пород и массивов, объясняющих их поведение, которое существенным образом отличается от поведения большинства других твердых тел (металлов, строительных и искусственных композитных материалов). В этой связи значительное место занимают проблемы изучения закономерностей деформирования и разрушения породного массива, формирования его напряженно-деформированного состояния при ведении горных работ, оценки механического состояния породного массива и управления этим состоянием с учетом механических последствий как открытых, так и подземных горных работ. Множество задач геомеханики связано, с одной стороны, с повышением эффективности разрушения горных пород при их разработке, и, с другой, – с обеспечением надежной устойчивости техногенных породных обнажений в течение необходимого временного периода.

Расчетные методы не учитывают, что при формировании рассматриваемых параметров карьера (при достигнутых глубинах 500–600 м) в течение 40 лет были некоторые предыдущие состояния бортов карьера (например, вначале при глубине до 200 – 300 м, затем последовательно изменялись до нынешнего состояния), когда естественным образом поэтапно непрерывно происходили деформации во вскрытой на тот момент верхней части будущего 600-метрового борта. Эти деформации, независимо от их природы (упругие, пластические и т. д.), уже привели к дезинтеграции структуры и связанной с ней релаксации напряжений, тем самым создали условия, в определенной степени предупреждающие и в принципе препятствующие возникновению где-либо в прибортовом массиве зон чрезмерной концентрации напряжений [3, 4].

Разработка глубоких карьеров увеличивает неравномерность всестороннего сжатия пород, что приводит к росту касательных напряжений в прибортовой зоне, возможности достижения ими предельных значений, следствием чего является появление различного рода деформаций. В процессе горных работ постепенно высвобождается упругая энергия, накопившаяся под воздействием геостатической нагрузки и тектонических сил и расходуемая на деформацию массива, образуя трещины бортового и донного отпора за счет раскрытия тектонических трещин, трещин выветривания и появления новых. Процесс деформирования массива обычно носит неравномерный характер как по величине, так и по направлению вектора деформаций [5, 6, 7, 8].

Особое место в этих процессах, происходящих в течение длительного времени, занимает явление ползучести горных пород [9]. Даже поверхности ослабления или напластования, имеющие наклон от выработанного пространства карьера в сторону массива, традиционно оцениваемые как более устойчивые геологические структуры, при наличии нескольких систем трещин, во-первых, становятся поверхностями, служащими дезинтеграции сплошности массива, и, во-вторых, путями проникновения и распространения влаги. Известно, что у большинства горных пород-заполнителей трещинного пространства при увеличении их влажности резко снижаются сцепление и коэффициент трения.

Таким образом, деформации массива горных пород являются проявлением естественных свойств, во-первых, горных пород; во-вторых, природных и техногенных конструкций, какими являются борта карьеров; в-третьих, мерой реакции породных обнажений на целый ряд периодически повторяющихся (циклических) воздействий от массовых взрывов, сейсмических процессов при землетрясениях; вибрации от деятельности большегрузной горной техники, природно-климатических явлений и т. д. Таким образом, деформации являются природным атрибутом массивов пород откосов бортов карьеров, т. е. они неизбежны. Правда, глубокие карьеры отличаются не только масштабом, массивностью, они имеют также соответствующую продолжительность «жизненного» периода, или срока службы. В связи с этим возрастает значимость задач жизнеобеспечения таких объектов как в инженерно-техническом аспекте, так и в экономическом выражении. В практических условиях работы карьеров весьма сложно разграничить деформации как «дыхание» крупномасштабного объекта и деформации, которые впоследствии могут привести к нежелательным результатам или даже к катастрофе, повлечь лишние расходы (сил, средств, времени).

Анализ материалов многолетних наблюдений за состоянием бортов карьеров как в странах СНГ, так и в других странах с развитой горнодобывающей промышленностью показывает, что деформации различных объемов происходят практически при любой высоте борта, причем параметры этих деформаций (высота, ширина по простиранию, объем) также отмечаются разные вне зависимости от глубины карьера. Так, на медно-порфировых карьерах при углах заложения бортов в пределах $35\div 40$ градусов одинаково отмечены деформации при высоте бортов 200 – 250 м и 450 – 650 м (карьеры Escondida, Тоуерелата, Чукикамата) [10]. За 30–40 лет строительства и эксплуатации железорудных карьеров Кривбасса отмечено более 500 случаев оползневых явлений (деформаций) суммарным объемом 20 млн м³, которые причинили ощутимый вред производству. Один из крупнейших оползней в практике открытых горных работ отмечен на карьере № 3 месторождения Меловое при высоте борта 110 м и угле наклона 22 градуса (1987 г.). Длина зоны деформаций достигла 950 м, объем – 25 млн м³. Основной причиной деформаций отмечено «гравитационно-тектоническое разуплотнение слагающих пород по системе непрогнозируемых тектонических трещин и поверхностей напластования, что привело к снижению прочностных характеристик пород». Правда, этот масштабный оползень не доставил значительного ущерба, так как он не повлиял существенно на производительную работу карьера [11].

За время функционирования карьера Мурунтау (с 1967 г.) зафиксировано 54 случая различных деформаций. В общем количестве зарегистрированных деформаций в глубоком карьере объемы нарушенных пород варьируют в пределах от 0,9 тыс. м³ до 230 тыс. м³, при этом оползни составляют 18,5 %, обрушения – 81,5 %. Длина всех разрушающих деформаций по фронту превышает высоту деформированного уступа в 2 – 5 раз.

Организованная на карьере Мурунтау система геодинамического мониторинга предусматривает непрерывное выполнение системы взаимоувязанных мероприятий, которые позволяют развивать, дополнять и углублять методы интерпретации результатов

наблюдений и прогнозирования устойчивости прибортового массива, одновременно совершенствуя саму систему наблюдений [12].

Система контроля включает следующие основные компоненты: сейсмические наблюдения (стационарные сейсмостанции в 4-х различных точках по наружному периметру карьера, находящиеся в автоматическом «ждущем» режиме); станции для производства наблюдений методом вертикального электроразведывания (ВЭЗ); наблюдения в скважинах (как в разведочных, так и в специально оборудованных для периодических наблюдений); профильные маркшейдерские наблюдения на специально оборудованных полигонах [13,14].

Системные инструментальные наблюдения за состоянием бортов карьера позволяют установить количественные показатели деформаций отдельных участков бортов в течение времени в зависимости от геологических условий и развития горных работ. Наиболее полные данные о характере деформаций откосов получают путем наблюдения за смещением реперов, заложенных по профильным линиям, расположенным вкрест простирания бортов.

Зафиксированы случаи, когда после ликвидации или стабилизации деформации через некоторое время наблюдалось развитие в этой зоне деформаций с новыми параметрами. Например, оползень № 33 на северном борту карьера с расчетным объемом деформации 18,0 тыс. м³ на откосе нерабочего уступа с гор. +345,0 м по гор. +315,0 м длиной по фронту 72 м выполненными горными работами в июле 1996 г. был стабилизирован, затем здесь вновь в 2007 г. активизировались обрушения на участке по фронту 340 м, что было ликвидировано в октябре 2007 г. Аналогично повела себя деформация № 53 откоса с гор. +405,0 м по гор. +300,0 м нерабочего уступа на северном борту длиной по фронту 70 м с расчетным объемом деформации 10,0 тыс. м³: первоначально активизировалась в январе 2011 г., была стабилизирована (разгружена верхняя часть), затем вновь проявила активность в мае 2013 г., увеличившись по фронту до 80 м, и была ликвидирована в октябре 2013 г. В зоне интенсивного влияния Южного разлома на южном борту в марте 2014 г. активизировался оползень № 54 на откосе нерабочего уступа с гор. +513,6 м по гор. +465,0 м на участке длиной по фронту 361 м с расчетным объемом возможной деформации в границах потенциальной поверхности скольжения 673,0 тыс. м³. В результате горных работ в течение года фронт участка деформации удалось сократить до 200 м, при этом расчетный объем возможной деформации в границах потенциальной поверхности скольжения сократился до 394,7 тыс. м³. В течение 2015 г. были выполнены горные работы в верхней части южного борта карьера на трех горизонтах (гор. +500,0 м, +490,0 м и гор. +480,0 м) для обеспечения безопасности ведения горных работ на нижних горизонтах, и к концу 2015 г. было достигнуто уменьшение скорости смещения.

Вместе с тем имеются другие примеры практического использования геомеханического мониторинга во взаимосвязи с технологическим циклом работ на карьере. Так, карьер на западном фланге вышел на проектный контур, который в дальнейшем на этом участке не будет смещаться в плане, а будет продолжать развиваться в глубину. Откос борта на этом участке имеет угол наклона несколько меньше угла естественного откоса взорванных пустых пород, что делает его перспективным для размещения внутреннего отвала. Однако ситуация осложняется тем, что прибортовой массив имеет блочное строение, которое способствует развитию деформаций, и в рабочей зоне карьера продолжают горные работы. Поэтому при использовании откоса борта для складирования вскрышных пород формируемый внутренний отвал будет «нависать» над рабочей зоной карьера, а его размещение на блоках прибортового массива может инициировать развитие деформации. Тем не менее потенциальные выгоды от размещения такого отвала делают предлагаемое техническое решение весьма привлекательным [15, 16].

На основании анализа опыта формирования внутренних отвалов на откосах бортов глубоких карьеров, изучения условий формирования и развития деформаций участков борта карьера, изучения геологических и геомеханических характеристик Западного борта карьера Мурунтау, анализа опыта формирования внутренних отвалов на откосах бортов глубоких карьеров были рассмотрены возможные варианты размещения внутреннего отвала на откосе борта карьера. Для этого было выполнено математическое моделирование и разработка компьютерной программы для расчетных схем различных сценариев возможного развития деформаций при нагружении борта внутренним отвалом с оценкой влияния внутреннего отвала на устойчивость откоса борта карьера. В результате были количественно оценены условия безопасного формирования внутреннего отвала и намечены варианты технических решений по размещению внутреннего отвала на откосе борта карьера [17, 18]. По различным вариантам рассмотрено размещение во внутренних отвалах 19 – 37 млн м³ пород, и эта программа уже частично реализована в карьере.

Перспективы дальнейшего увеличения глубины отработки карьера повышают требования к обеспечению длительной устойчивости бортов. Геомеханическим бюро карьера (специальной внутренней мониторинговой службой) реализуется программа долгосрочного мониторинга карьера Мурунтау, внедряется комплекс мероприятий, направленный на прогноз и предотвращение самопроизвольных деформаций и уменьшение их вредного воздействия на работу карьера. Например, наблюдательная сеть вдоль профильной линии уникального крутонаклонного конвейерного комплекса КНК-270 охватывает 8 уступов (горизонтов) и содержит более 50 реперов, размещенных в обоих (северном и южном) направлениях от створа конвейера.

Прогнозирование потенциально опасных по деформациям участков месторождения позволяет на стадии планирования горных работ установить места возможных деформаций и принять меры по их предотвращению.

Литература

1. Рудные месторождения Узбекистана. – Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2001. – 611 с.
2. Скрытый Мурунтауский гранитоидный интрузив (по данным Мурунтауской сверхглубокой скважины СГ-10) / И.Х. Хамрабаев, Ю.Н. Зуев и др. // Узбекский геологический журнал. – 1995. – № 4. – С. 45 - 59.
3. Быковцев А.С. Моделирование геодинамических и сейсмических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых / А.С. Быковцев, Г.А. Прохоренко, В.Н. Сытенков. – Ташкент: Фан, 2000. – 271 с.
4. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах Узбекистана / А.А. Силкин, В.Н. Кольцов, П.А. Шеметов и др. – Ташкент: Фан, 2005. – 229 с.
5. Яковлев А.В. Методика изучения прибортовых массивов для прогнозирования устойчивости бортов карьеров / А.В. Яковлев, Н.И. Ермаков. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008. – 78 с.
6. Тагильцев С.Н. Геомеханическая роль тектонических разломов и закономерности их пространственного расположения / С.Н. Тагильцев, А.Е. Лукьянов // Геомеханика в горном деле: доклады научно-технической конференции 12-14 октября 2011 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – С. 26 – 39.
7. Giani G. Rock slope stability analyses. – Rotterdam: A.A.Balkema, 1992. – 345 p.
8. Hoek E., Bray J. Rock slope engineering. Third edition. – London – New York: Published in the Taylor & Francis, 2005. – 358 p.
9. Glamheden R., Hokmark H. Creep in jointed rock masses. – Stockholm: Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., 2010. – 51 p.
10. Slope stability in surface mining // edited by Hustrulid W., McCarter M.K., Van Zyl J. Published by the Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. – Littleton, Colorado, USA, 2000. – 443 p.

11. Прогноз устойчивости и оптимизация параметров бортов глубоких карьеров // С.З. Полищук, В.Т. Лашко, П.А. Шеметов и др. – Днепропетровск: Полиграфист, 2001. – 371 с.
12. Рахимов В.Р. Прогноз устойчивости бортов глубоких карьеров и организация системы геодинамического мониторинга / В.Р. Рахимов, П.А. Шеметов, А.С. Федянин // Горный вестник Узбекистана. – 2003. - № 3. – С. 85–87.
13. Лукишов Б.Г. Совершенствование системы сейсмического контроля устойчивости бортов карьера «Мурунтау» / Б.Г. Лукишов, А.А. Тер-Семенов, А.С. Федянин // Горный журнал. - № 5. - 2007. – С. 65 – 67.
14. Сытенков В.Н. Применение геофизических исследований при открытой разработке сложноструктурных золоторудных месторождений / В.Н. Сытенков, А.С. Федянин // Горный журнал. - № 5. - 2007. – С. 67 – 70.
15. Шеметов П.А. Разработка крутопадающего месторождения открытым способом с поэтапным внутренним отвалообразованием / П.А. Шеметов, В.Н. Сытенков, С.С. Коломников // Горный журнал. - № 5. - 2007. – С. 27 – 30.
16. Сытенков В.Н. Разработка технологических схем формирования внутренних отвалов в отработанной части карьера Мурунтау / В.Н. Сытенков, С.С. Коломников, Р.Ш. Наимова // Горный вестник Узбекистана. - 2009. – № 4. – С. 21 – 24.
17. Обоснование условий безопасного размещения отвалов на откосе борта глубокого карьера: отчет о НИР: тема № 325-2009. Этапы 1-4 / А.Д. Меликулов, К.С. Султанов, К.Д. Салямова и др. – Навои: Навоийский гос. горный ин-т, 2009–2010. – 218 с.
18. Программа для ЭВМ «USTBORT.FOR» (Свидетельство № DGU 01464 об официальной регистрации) / А.Д. Меликулов, К.Д. Салямова, Н.Ю. Гасанова. – Ташкент: Гос. патентное ведомство Респ. Узб., 2009.