

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.83:[528.2:629.78]

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-3-5-12

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ В ЦЕЛЯХ ЗАЩИТЫ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ ТРАНСПОРТНЫХ БЕРМ

Сашурин А. Д., Панжин А. А., Мельник В. В.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Постановка задачи: в статье приводятся методика и результаты решения задачи обеспечения устойчивости бортов карьеров в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм от внезапных обрушений и оползневых явлений. Представленная методика основана на учете ряда факторов: структурных особенностей массива горных пород; современной геодинамической активности; закономерностей формирования вторичного напряженно-деформированного состояния. **Используемые методы:** комплексная инструментальная диагностика структурного строения горных пород производится с использованием современных геофизических методов, определение природного и техногенно измененного напряженно-деформированного состояния массива выполняется с использованием технологий спутниковой геодезии с учетом величин трендовых и циклических короткопериодных движений на больших и малых базах. Геофизическими методами проводится укрупненная оценка карьерного поля на предмет тектонической нарушенности, при этом определяются наиболее опасные участки, приуроченные к участкам пересечения бортов карьеров известными крупными тектоническими нарушениями. В дальнейшем производится уточнение местоположения крупных нарушений и поиск и фиксация средних с построением схемы структурно-тектонической нарушенности прибортового массива карьера. Изменения первоначального напряженно-деформированного состояния породного массива фиксируются прямыми геодезическими методами. При этом определяются пространственные компоненты двух видов современных геодинамических движений: трендовых (криповых) и циклических короткопериодных. Оценка напряженно-деформированного состояния горного массива производится на основе решения обратной геомеханической задачи по замеренным деформациям породного массива. **Полученные результаты:** приведенный в статье комплексный подход, включающий анализ и обобщение информации о тектоническом строении месторождения, экспериментальные и теоретические исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород с использованием технологий спутниковой геодезии и инженерно-геофизических исследований структурных особенностей массива, позволяет достичь поставленной цели – выявления участков, потенциально опасных по устойчивости транспортных берм.

Ключевые слова: защита транспортных берм, устойчивость бортов, оползневые процессы, напряженно-деформированное состояние, структура массива, диагностика, инструментальный контроль.

Исследования выполнены в рамках проекта № 15-10-5-12 «Разработка инновационной технологии диагностики состояния геологической среды и построение модели воздействия геомеханических процессов и явлений среды на техногенные объекты недропользования» (Комплексная программа фундаментальных исследований УрО РАН на 2015–2017 гг.).

Введение

Устойчивость бортов карьеров определяется параметрами углов уступов, рассчитанных по специальным методикам, использующим прочностные и деформационные характеристики

массива горных пород с учетом его обводненности. Однако такой подход зачастую недостаточен для определения истинных параметров разработки карьеров, что, в свою очередь, приводит к аварийным ситуациям – оползневым процессам, разрушению транспортных магистралей, завалам дорогостоящей техники и нередко сопровожда-

© Сашурин А. Д., Панжин А. А., Мельник В. В., 2016

ется человеческими жертвами.

Большую роль в устойчивости бортов карьера играет напряженно-деформированное состояние, изменяющееся как под воздействием техногенных факторов (выемка руды и породы), так и под влиянием природных факторов – современной геодинамической активности тектонических нарушений [1].

В работах, связанных с оценкой устойчивости транспортных берм, специалистами отдела геомеханики ИГД УрО РАН в основу принимается методологический подход, основанный на учете:

- структурных особенностей массива горных пород;
- современной геодинамической активности, характеризующей современными геодинамическими движениями трендового и циклического характеров;
- закономерностей формирования вторичного напряженно-деформированного состояния в районе размещения карьеров и, самое главное, его непостоянства во времени, оказывающего определяющее влияние на устойчивость бортов и уступов.

Исследование структурных особенностей массива горных пород

На первом этапе исследований проводится укрупненная оценка карьерного поля на предмет тектонической нарушенности. Для этого используются фондовые материалы, полученные в процессе разведки месторождения и имеющиеся на любом горном предприятии.

Далее определяются наиболее опасные участки, приуроченные к участкам пересечения бортов карьеров известными крупными тектоническими нарушениями. На этих участках уточняется структурно-тектоническое строение и состояние прибортового массива карьера с помощью методов наземной геофизики. Естественно, что тектоническое строение месторождения не ограничивается крупными нарушениями и фактическим уровнем изученности тектоники района. В связи с этим, при необходимости, на основании информации о происходящих в карьере неблагоприятных процессах расположение и площадь исследований может корректироваться [2].

Далеко не все геофизические методы могут использоваться при проведении открытых и подземных горных работ. Электроразведка, в условиях рудных месторождений, является мало информативной, поскольку основана на изучении электропроводности грунтов, а руда является

хорошим проводником, как и обводненные тектонические нарушения, и вопрос достоверной интерпретации остается открытым. Магниторазведка имеет подобные недостатки, да и не дает представления о структурном строении по глубине. Глубинность исследований с помощью георадарного зондирования не превышает высоты уступов, все неоднородности на эту глубину видны невооруженным взглядом и такие работы не представляют научного и практического интереса. Сейморазведка, в ее классическом представлении, является достаточно дорогим и малопродуктивным методом [3].

В последнее время для определения структурно-тектонического строения и геомеханического состояния бортов карьера хорошо зарекомендовал себя метод спектрального сеймопрофилирования (метод ССП), разработанный специалистами НТФ «Геофизпрогноз» (г. Санкт-Петербурга). Благодаря высокой производительности, достаточно большой глубине исследований (150–200 м), высокой разрешающей способности и мобильности при производстве измерений он крепко закрепился в качестве основного геофизического метода, используемого коллективом отдела геомеханики Института горного дела УрО РАН для решения поставленных задач [4–5].

Пример получаемой при производстве измерений информации на одном из карьеров Восточной Сибири представлен на **рис. 1**.

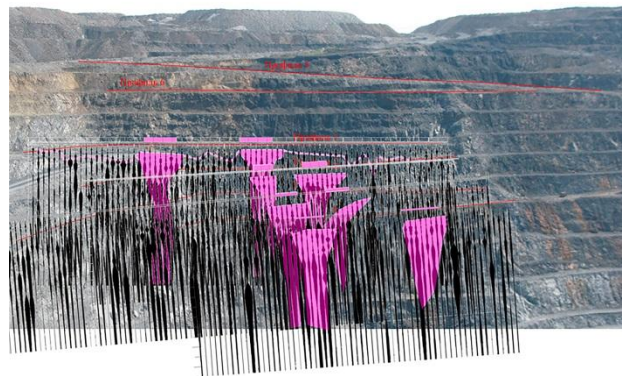


Рис. 1. Проекция спектральных сейморазрезов на борт карьера

С точки зрения наглядности представления результатов спектрального сеймопрофилирования, значительно выигрывают проекции сейморазрезов на борта карьера по каждому уступу, по результатам которых впоследствии была построена схема структурно-тектонической нарушенности прибортового массива карьера.

Как видно из **рис. 1**, при помощи используе-

мого метода хорошо выделяются не только области повышенной тектонической нарушенности в плане, но и детально прослеживается структура по глубине. Представленные структурные неоднородности, выявленные методом ССП, приурочены к контактам геологических разностей и хорошо коррелируют с данными геологической разведки. Приповерхностная часть разреза уступов обладает повышенной трещиноватостью, связанной с буровзрывными работами.

Получив представление о структурно-тектоническом строении и состоянии породного массива, необходимо получить информацию о подвижности выявленных тектонических структур. Данная задача решается двумя различными методами: геофизическим, путем организации мониторинговых наблюдений за имманацией радона [6], либо прямыми геодезическими, путем организации мониторинга за деформациями массива [7–8].

Исследование современной геодинамической активности

При эксплуатации месторождения, вследствие образования карьерной выемки, перемещения горной массы из карьера в отвалы и прочих факторов, происходит нарушение первоначального напряженно-деформированного состояния породного массива и формирование вторичного напряженно-деформированного состояния [9].

Изменения, как правило, затрагивают не только прибортовой массив, но и проявляются на достаточно обширных территориях, прилегающих к месторождению. Ранее экспериментальными исследованиями ИГД УрО РАН выявлены два вида современных геодинамических движений – трендовые (криповые) и циклические [10]. Трендовые движения происходят в виде взаимных подвижек соседних структурных блоков массива горных пород с относительно постоянными скоростью и направлением в течение продолжительного промежутка времени, сопоставимого со сроком службы объекта. Циклические движения носят полигармонический характер и состоятся из многочисленных знакопеременных движений с разными частотами и амплитудами перемещения в цикле.

Трендовые движения могут иметь как естественную природу, обусловленную тектоническими подвижками по границам структурных блоков, так и техногенную, обусловленную перераспределением напряжений и деформаций в породном массиве под воздействием горных работ, откачки подземных вод и других факторов. Зафиксированные инструментальными методами величины трендовых смещений составляют от 0,5 мм/год для имеющих естественную природу

до 200 мм/год для техногенных.

Короткопериодные циклические движения имеют широкий полигармонический спектр частот с продолжительностью циклов от 30–60 с до 1 ч, нескольких часов, суток и более.

Все измерения по определению компонент трендовой и циклической геодинамической активности производятся с использованием комплекса спутниковой геодезии GPS-ГЛОНАСС, позволяющего с высокой точностью определять пространственные координаты точек на земной поверхности [11]. При этом в режиме дифференциальной GPS изначально определяется вектор – приращение координат в геоцентрической системе между фазовыми центрами двух и более антенн приемников, отцентрированных над пунктами геодезической сети, координаты которых необходимо определить (рис. 2).

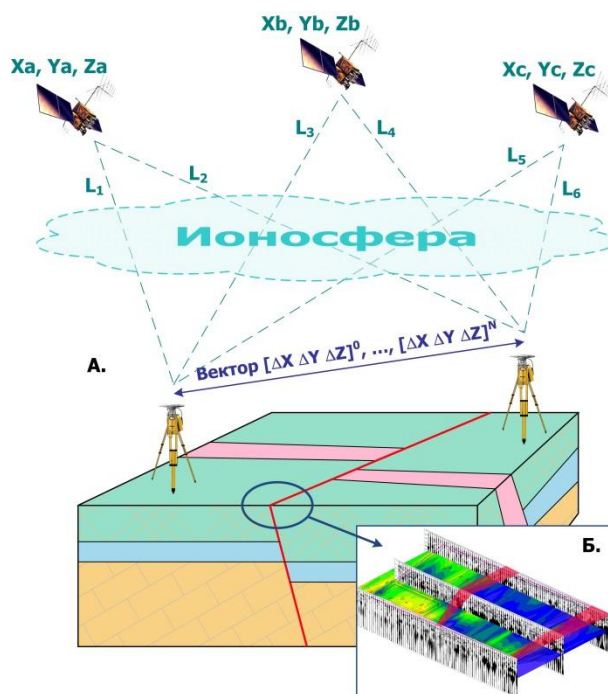


Рис. 2. Методика определения современных геодинамических движений (А) и выявления активных тектонических структур (Б)

В дальнейшем совокупность полученных векторов, образующая пространственную геодезическую сеть, проходит контроль на точность геометрических построений путем определения фактических невязок по замкнутым контурам и математически строго уравнивается в принятой системе координат – центрируется и ориентируется.

При этом определяют современные пространственные координаты пунктов государственной геодезической, маркшейдерско-геодезической сети, реперов геодинамического полигона, а при их

сопоставлении с ранее полученными исходными значениями определяют геодинимические подвижки, происходящие в массиве горных пород.

Трендовые движения определяют на основе анализа изменений пространственных приращений координат (векторов) ΔX , ΔY , ΔZ между пунктами геодезических сетей или реперов наблюдательных станций, выполненными в промежутках между повторными циклами измерений.

Полученные в результате инструментальных наблюдений деформации интервалов с использованием математического аппарата механики сплошной среды преобразованы в тензорное представление деформационного поля с выделением главных компонент тензора деформаций.

В случае, если необходимо определение величин и направлений векторов трендовых движений, геодезическая привязка опорных реперов наблюдательной станции и их абсолютное позиционирование осуществляется от пунктов глобальной сети IGS, пространственное положение которых определяется в динамической системе координат ITRF.

На примере исследуемого участка в приборном массиве карьеров Качканарского ГОКа Гусевогорского месторождения расположен ряд реперов геодинимического полигона и маркшейдерско-геодезической сети, исходные координаты которых были ранее определены в период 2010–2011 годы (рис. 3).

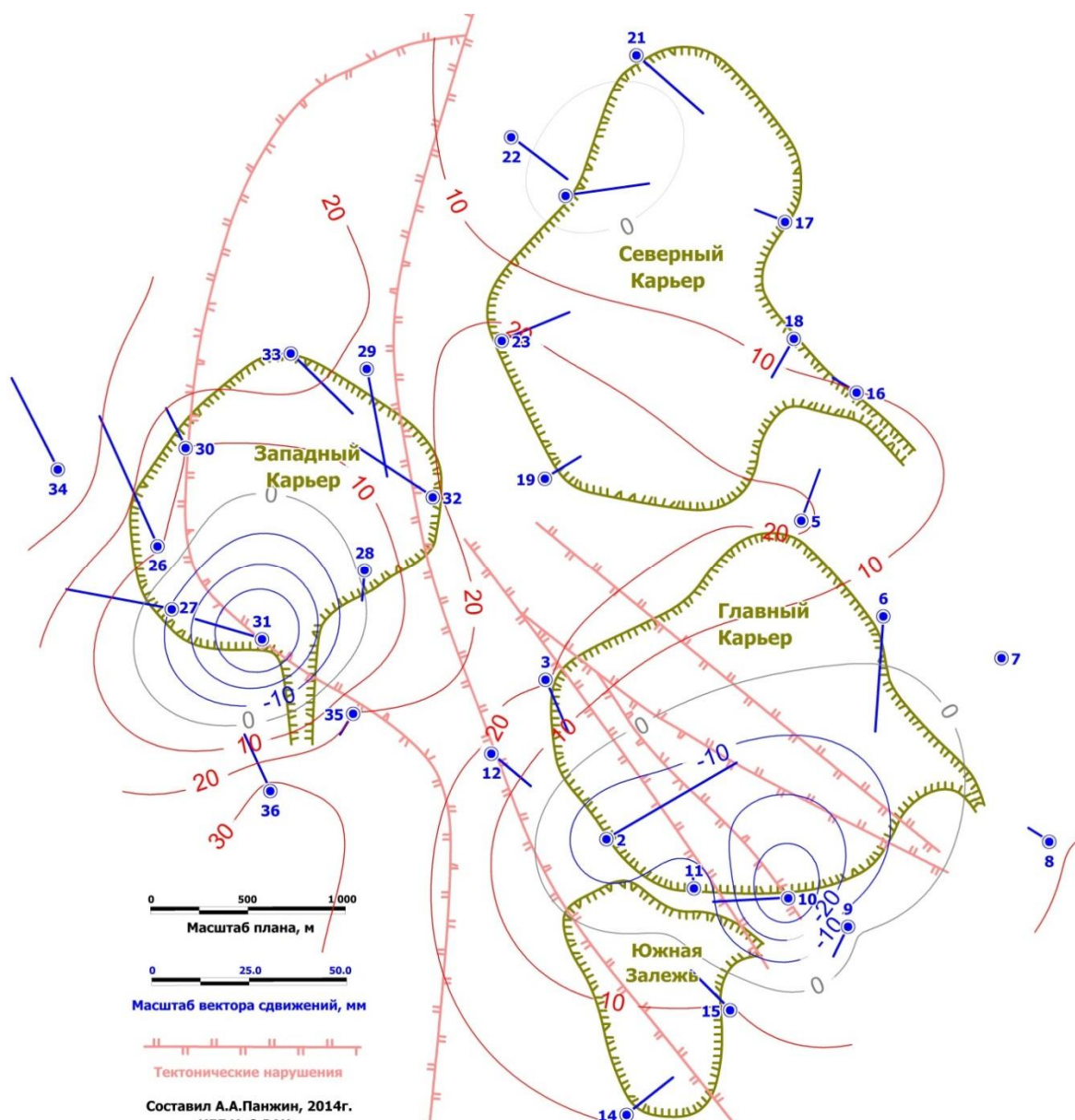


Рис. 3. Схема геодинимического полигона Гусевогорского месторождения, векторы горизонтальных и изолинии вертикальных смещений

По полученным разностям пространственных координат были вычислены величины сдвижений реперов геодинамического полигона и отстроены полные векторы смещений пунктов, отражающие произошедшие за этот период трендовые движения и вызванные ими деформации. Векторы смещений являются достаточно информативными данными о деформационных процессах, позволяющими далее расчетным путем определить все необходимые параметры деформаций [12].

Анализ данных трендовых движений – величин и направлений векторов сдвижений, изолиний вертикальных сдвижений в данном случае выявил сложный знакопеременный характер деформирования породного массива Гусевогорского месторождения и структурно-блочный характер распределения параметров деформаций. Также зафиксирована смена картины распределения трендовых геодинамических движений за различные периоды времени – 2010–2011 и 2011–2014 гг. Наиболее выделяется знакопеременный трендовый характер деформирования массива горных пород, слагающего перешеек между восточным бортом Западного и западным бортом Северного карьера.

В отмеченном районе отмечается как смена направления и величин векторов горизонтальных сдвижений, так и характер деформирования в вертикальной плоскости – смена оседаний реперов на поднятия. Это свидетельствует о формировании в массиве горных пород сложного вторичного напряженно-деформированного состояния, с концентрацией деформаций на границах структурных блоков, с миграцией их во времени.

Исследование закономерностей формирования вторичного напряженно-деформированного состояния горного массива

Основу деформационных методов оценки напряженно-деформированного состояния горного массива составляет решение обратной геомеханической задачи по замеренным деформациям, вызванным воздействием тех или иных возмущений первоначального поля напряжений. На практике используют целенаправленные перераспределения напряжений, произошедшие вследствие выемки в напряженном массиве полостей с известными формой и размерами: скважин, щелей, выработок, выработанных пространств и пр. При выполнении расчетов предполагается, что имеет место упругое деформирование сплошной однородной и, как правило, изотропной среды с однородным полем первоначальных напряжений.

Для натурных замеров крупномасштабных полей напряжений, соизмеримых с размерами место-

рождений и горных отводов, в качестве возмущающих полостей рассматриваются карьеры и зоны обрушения от подземных разработок. Упругие деформации окружающего массива определяются по замерам смещений тех реперных пунктов, которые были заранее установлены в пределах будущей области упругого деформирования, т.е. в зоне влияния полости, но вне мульды гравитационного оседания породной толщи. Для этого используются репера маркшейдерских наблюдательных станций, закладываемые на шахтах и карьерах для мониторинга процессов сдвижения, а также пункты маркшейдерско-геодезической сети и Государственной геодезической сети.

Решение обратной геомеханической задачи осуществляется для условий плоского напряженного состояния по смещениям точек земной поверхности, при этом карьер или зона обрушения аппроксимируются в рассматриваемой напряженной плоскости эллиптическим или, в частном случае, круговым отверстием. В соответствии с принципом суперпозиции смещения, вызванные выемкой в упругой изотропной плоскости эллиптического отверстия, могут быть представлены как разность между смещениями, обусловленными нагружением плоскости с отверстием, и смещениями, вызванными нагружением плоскости без отверстия [13]. При решении задач геомеханики численные значения векторов смещений для точек земной поверхности определяются на основе функций комплексных переменных Н.И. Мусхелишвили.

Для построения деформационной модели района Джетыгаринского асбестового карьера на первом этапе была произведена разбивка исследуемого участка на сеть единичных треугольных элементов, которая была произведена с использованием математического аппарата триангуляции Делоне. Всего построено 37 треугольников, пространственные координаты вершин которых определены с высокой точностью для каждой серии измерений.

Для каждого треугольного элемента были определены:

- суммарные сдвижения каждого треугольного элемента как среднее сдвижений реперов, являющихся его вершинами;
- компоненты тензоров горизонтальных деформаций за период, прошедший с начала отработки месторождения по 2014 г.;
- первый инвариант тензора горизонтальных деформаций как сумма компонент тензоров максимальных деформаций.

В графическом виде результаты, описывающие деформационные процессы, происходящие в прибортовом массиве в виде компонент тензоров деформаций, представлены на **рис. 4**.

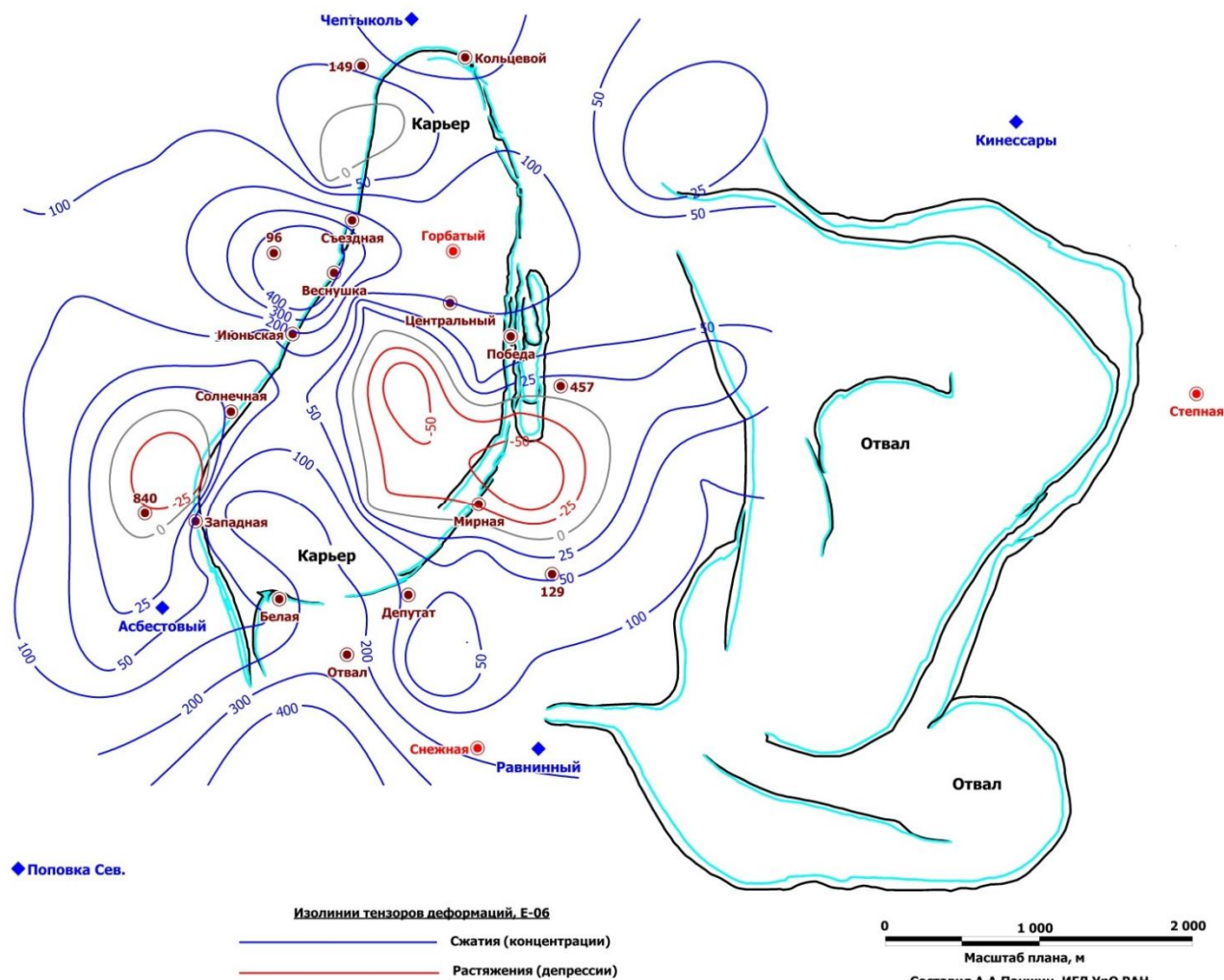


Рис. 4. Изолинии главных горизонтальных деформаций ϵ_1

В приведенном примере анализ данных трендовых движений – величин и направлений векторов сдвижений, изолиний вертикальных сдвижений во внешней и внутренней областях выявил сложный знакопеременный характер деформирования породного массива Джетыгаринского месторождения и структурно-блочный характер распределения параметров деформаций. По результатам инструментальных измерений в области влияния горных работ формируются локальные зоны концентрации как растягивающих, так и сжимающих напряжений, многие из которых являются высокоградиентными, а следовательно, представляют опасность по фактору развития обрушений и оползневых явлений.

Заключение

Таким образом, вышеописанный комплекс исследований в полной мере раскрывает особенности в развитии геомеханических процессов и явлений, сопровождающих эксплуатацию карье-

ров. Для достижения поставленной цели – выявления участков потенциально опасных по устойчивости транспортных берм использован комплексный подход, включающий: анализ и обобщение имеющейся информации о тектоническом строении месторождения, экспериментальные и теоретические исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород с использованием технологий спутниковой геодезии и инженерно-геофизических исследований структурных особенностей массива.

Список литературы

1. Мельников Н.Н., Козырев А.А. Изменение геодинамического режима геологической среды при ведении крупномасштабных горных работ на глубоких карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № S56. С. 7–23.
2. Мельник В.В., Пустуев А.Л., Замятин А.Л. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для прогноза и снижения риска аварий и катастроф при недропользовании // Горный журнал. 2012. №1 С. 86–89.
3. Зуев П.И., Ведерников А.С., Григорьев Д.В. Геофизическая

- диагностика состояния массива горных пород зоны комбинированной разработки Гороблагодатского железорудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 11. С. 114–121.
4. Каллистова Т.В. Влияние тектонического строения массива на деформационные свойства оснований инженерных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 5. С. 163–168.
 5. Замятин А.Л. Экспериментальные исследования состояния массива горных пород на объектах недропользования // Проблемы недропользования. 2014. № 2. С. 29–33.
 6. Далатказин Т.Ш., Коновалова Ю.П., Ручкин В.И. Экспериментальные исследования возможности использования радонометрии для геодинамического районирования // Литосфера. 2013. № 3. С. 146–150.
 7. Желтышева О.Д., Ефремов Е.Ю. Современные технологии мониторинга устойчивости бортов карьеров // Маркшейдерия и недропользование. 2014. № 5 (73). С. 63–66.
 8. Панжин А.А. Пространственно-временной геодинамический мониторинг на объектах недропользования // Горный журнал. 2012. № 1. С. 39–43.
 9. Ручкин В.И., Желтышева О.Д. Влияние техногенной нагрузки на динамику напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Проблемы недропользования. 2015. № 1 (4). С. 26–31.
 10. Ручкин В.И., Коновалова Ю.П. Изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды под воздействием комплекса естественных и техногенных геодинамических факторов на горнодобывающих предприятиях // Проблемы недропользования. 2015. № 1 (4). С. 32–37.
 11. Панжин А.А., Панжина Н.А. Об особенностях проведения геодинамического мониторинга при разработке месторождений полезных ископаемых Урала с использованием комплексов спутниковой геодезии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 6. С. 46–55.
 12. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Организация геодинамического мониторинга на карьерах Качканарского ГОКа // Проблемы недропользования. 2015. № 1 (4). С. 45–54.
 13. Ефремов Е.Ю., Желтышева О.Д. Метод определения напряжений на протяженных участках массива горных пород // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 7. С. 34–39.

Материал поступил в редакцию 28.03.16.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-3-5-12

SECURING OPEN-PIT WALLS FOR PROTECTION OF HAZARDOUS AREAS OF HAULAGE BENCHES

Anatoly D. Sashourin – D.Sc. (Eng.), Professor

Institute of Mining of the Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: sashour@igd.uran.ru.

Andrey A. Panzhin – Ph.D. (Eng.)

Institute of Mining of the Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: panzhin@igduran.ru.

Vitaly V. Melnik – Ph.D. (Eng.)

Institute of Mining of the Urals Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: melnik@igduran.ru.

Abstract

Problem Statement (Relevance): This article describes the methods and results of securing open-pit walls aimed at protecting the hazardous areas of haulage benches from sudden collapses and landslides. The methods highlighted allow for a number of factors, such as the rock mass structure; current earth movements; secondary stress-strain state creation patterns. **Methods Applied:** Advanced geophysical methods were applied for the comprehensive instrumentation-based analysis of the rock mass structure; satellite geodesy was applied for the definition of both tectonic and man-affected stress-strain states of a rock mass while taking into account the creeping and short-term cyclical movements in the large and small bases. The geophysical methods were applied to check the open-pit field for tectonic faults while identifying the most hazardous areas adjacent to the areas where the pit walls cross the major tectonic faults found. After that the locations of the major faults were verified and the medium size faults were located and documented. As a result, a fault map was generated for the near-wall rock mass. Direct methods of geodesy were used to register the changes in the initial stress-strain state of the rock mass with the definition of the space components of two current earth movements – the creeping movement and the short-term cyclical movement.

The stress-strain state of the rock mass was analysed through solving an inverse geomechanical problem based on the measured rock mass deformations. **Findings:** The comprehensive approach described in the article, which includes the analysis and synthesis of the deposit tectonics data and the experimental and theoretical studies of the rock mass stress-strain state based on satellite geodesy and the geophysical analysis of the structure, helped accomplish the task of identifying hazardous areas in terms of haulage bench stability.

Keywords: Protection of haulage benches, wall stability, landslides, stress-strain state, rock mass structure, analysis, instrumentation control

References

1. Melnikov N.N., Kozyrev A.A. Changes in the earth movements in large-scale deep pit mining operations. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Newsletter], 2015, no. S56, pp. 7-23. (In Russ.)
2. Melnik V.V., Pustuev A.L., Zamyatin A.L. Application of the spectral seismic survey technique to predict and reduce the risk of accidents and disasters in mining. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], 2012, no. 1, pp. 86-89. (In Russ.)
3. Zuev P.I., Vedemikov A.S., Grigoriev D.V. The geophysical analysis of the rock mass in the combined mining area of the Goroblagodatsky

- Iron Ore Deposit. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Newsletter], 2012, no. 11, pp. 114-121. (In Russ.)
4. Kallistova T.V. The relationship between the rock tectonics and the stress-strain behaviour of structure bases. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Newsletter], 2013, no. 5, pp. 163-168. (In Russ.)
5. Zamyatin A.L. Experimental studies of rock mass at mining sites. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of Subsoil Use], 2014, no. 2, pp. 29-33. doi:10.18454/2313-1586.2014.02.029
6. Dalatkazin T.Sh., Konovalova Yu.P., Ruchkin V.I. Experimental research into possible use of radonometric techniques for geodynamic zoning. *Litosfera* [Lithosphere], 2013, no. 3, pp. 146-150. (In Russ.)
7. Zheltysheva O.D., Efremov E.Yu. Advanced technologies for monitoring the stability of open-pit walls. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie* [Mine Surveying and Subsoil Use], 2014, no. 5 (73), pp. 63-66. (In Russ.)
8. Panzhin A.A. Spatiotemporal geodynamic monitoring of mining objects. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2012, no. 1, pp. 39-43.
9. Ruchkin V.I., Zheltysheva O.D. The effect of technogenic load on the rock mass stress-strain state dynamics. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of Subsoil Use], 2015, no. 1 (4), pp. 26-31. doi:10.18454/2313-1586.2015.4.888
10. Ruchkin V.I., Konovalova Yu.P. Changes in the stress-strain state of a geological environment caused by a combination of tectonic and technogenic factors present at mining sites. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of Subsoil Use], 2015, no. 1 (4), pp. 32-37. doi:10.18454/2313-1586.2015.4.889
11. Panzhin A.A., Panzhina N.A. Satellite geodesy-aided monitoring in mineral mining in the Urals Region. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh* [Journal of Mining Science], 2012, no. 6, pp. 46-55. doi:10.1134/S1062739148060056
12. Sashourin A.D., Panzhin A.A. Geodynamic monitoring at the Kachkanar GOK open pits. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of Subsoil Use], 2015, no. 1 (4), pp. 45-54. doi:10.18454/2313-1586.2015.01.045
13. Efremov E.Yu., Zheltysheva O.D. The method for stress determination at extended rock mass areas. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [Proceedings of universities. Mining Journal], 2013, no. 7, pp. 34-39.

Received 28/03/16

Сашурин А. Д., Панжин А.А., Мельник В.В. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №3. С. 5–12. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-3-5-12

Sashourin A.D., Panzhin A.A., Melnik V.V. Securing open-pit walls for protection of hazardous areas of haulage benches. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 3, pp. 5–12. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-3-5-12