

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО И ВТОРИЧНОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, И ПАРАМЕТРОВ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ГЕОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЙОНАХ

Чунуев И.К., Умаров Т.С.

ИГД и ГТ, Бишкек, Кыргызстан, Ichunuev@gmail.com

Аннотация: Рассматриваются результаты исследований естественного и вторичного напряженно-деформированного состояния, параметров сдвижения горных пород Кумторского месторождения. Разработанная и внедренная методика площадного принципа построения наблюдательной станции за счет использования GPS позволила определить параметры устойчивого состояния борта карьера и повысить эффективность и безопасность горных работ.
Ключевые слова: земная поверхность, геомеханическая модель, орогенные гранитоиды, оседание.

INVESTIGATION OF NATURAL AND SECONDARY STRESS-STRAIN STATES AND PARAMETERS OF ROCK MOVEMENT IN GEODYNAMICALLY ACTIVE REGIONS

Chunuev I. K., Umarov T. S.

Institute of mining and mining technologies named after, Bishkek, Kyrgyzstan

Abstract: In the article the results of studies of natural and secondary stress-strain state, the parameters of rocks Kumtor mine. Developed and implemented a technique areal principle of construction observation station by using GPS it possible to determine the parameters of the steady state board of open pit and increase the efficiency and safety of mining operations.
Key words: earth's surface, geomechanical model, orogenic granitoids, subsidence.

Параметры напряженно-деформированного состояния массива горных пород (тектонические напряжения и система разломов) относятся к основным факторам, определяющим закономерности развития процесса сдвижения и деформирования горных пород и земной поверхности в областях влияния разработки месторождений полезных ископаемых. На основании этих данных делаются прогнозные оценки развития процесса сдвижения и принимаются решения о безопасной эксплуатации объектов, попадающих в область влияния горных разработок. Основным, а зачастую и единственным способом определения параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород являются натурные инструментальные измерения смещений в пространстве и во времени специально оборудованных точек земной поверхности - реперов наблюдательных станций.

Существующие методики по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых не полно отражают реальные геомеханические процессы, происходящие при формировании вторичного напряженно-деформированного состояния массива горных пород, поскольку измерения смещений реперов производятся по неравномерной измерительной сетке только в двух плоскостях - в вертикальной и в направлении профильной линии. К тому же не охваченной геодезическими измерениями остается обширная область техногенного влияния горных разработок - зона, в которой имеют место деформации, вызванные перераспределением техногенных нагрузок. Упрощенный подход к оценке деформационных процессов в двухмерном пространстве влечет за собой ошибочные представления о состоянии охраняемых объектов, что нередко приводит к аварийным ситуациям. Для решения современных задач геомеханики и принятия решений по охране объектов от влияния горных разработок необходима достоверная информация о распределении деформаций в трехмерном пространстве, которую, в свою очередь, невозможно получить без знания величин и направлений полного вектора смещений точек, распределенных по всей области влияния горных разработок.

Данная работа выполняется в рамках комплексной программы научно-исследовательских работ кафедры геодезии и маркшейдерского дела Института горного дела и горных технологий при КГТУ им. И. Раззакова: *„Геометризация и прогнозирование геомеханических свойств и состояния массива пород с целью безопасного и эффективного ведения горных работ в условиях высокогорья”* и включает в себя исследования закономерностей деформирования массива горных пород и земной поверхности в области влияния горных разработок в условиях анизотропного начального поля напряжений и иерархически-блочной структуры массива горных пород для создания метода инструментальных исследований сдвижении горных пород, обеспечивающего повышение надежности прогнозных оценок состояния охраняемых объектов и бортов карьера.

В основу исследований заложено применение площадного принципа построения наблюдательной станции за счет использования GPS-технологий, что позволяет получить полные трехмерные вектора смещения точек земной поверхности и пространственные компоненты поля деформаций.

Основные научные и практические результаты многолетних исследований заключаются в следующем:

1. В результате проведения тектонофизического анализа структуры месторождения и разработки его геодинамической модели установлена общая картина распределения осей тектонических напряжений, определены показатель прочности и удельная трещиноватость массива пород для ряда месторождений полезных ископаемых Кыргызстана с применением компьютерной программы DIPS.

2. Установлены основные закономерности формирования вторичного напряженно-деформированного состояния массива горных пород в области влияния горных разработок. Выделяются внутренняя зона деформирования, образующаяся непосредственно вокруг выработанного пространства под воздействием уравновешенной системы сил, и внешняя, возникающая за счет нарушения изостазии при перемещении полезного ископаемого и вскрышных пород. Используемые методы спутниковой геодезии не требуют прямой оптической видимости между соседними реперами, а все три координаты, определяющие положение репера в пространстве, определяются одновременно

3. Обоснованы основные параметры геомеханической модели разрабатываемого месторождения для исследования процессов сдвижения земной поверхности. Размеры внутренней зоны, в соответствии с принципом Сен-Венана, составляют 2-3 средних радиуса выработанного пространства, а у внешней зоны, в соответствии с решением Бусинеска, практически заметные деформации могут распространяться на 20-30 средних радиусов.

4. Доказано, что получение объемного тензора деформаций, характеризующего напряженно-деформированное состояние массива, достигается за счет измерения параметров полных векторов смещений реперов наблюдательной станции, образующих базовые треугольные элементы, с использованием математического аппарата механики сплошной среды.

5. Разработана методика измерений смещений и деформаций земной поверхности по площадной наблюдательной станции с применением GPS-технологий и методика камеральной обработки результатов измерений, исследованы условия ее применения, погрешности измерений, преимущества и недостатки разработанной методики определения трехмерных векторов сдвижения площадной наблюдательной станции перед существующими методиками.

7. Полученные с использованием методики площадного принципа величины тензоров деформаций, спроецированные на профильные линии, совпадают, в пределах среднеквадратичных ошибок измерений, со значениями деформаций, полученными традиционными методами инструментального контроля. Установлено, что плотность сети реперов наблюдательной станции зависит от расположения охраняемых объектов, ожидаемых градиентов деформирования, структуры массива горных пород; расстояния между реперами определяются во внутренней области деформирования размерами

охраняемых сооружений, а во внешней области деформирования изменяются от 1 до 5 радиусов в направлении внешней границы деформируемой области.

8. Произведена практическая проверка разработанной методики на горных предприятиях для решения задач, связанных с охраной сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок.

Полевые исследования были проведены и апробированы на рудниках Кумторского золоторудного (1998-2012 гг.), Хайдарканского ртутного (1980-1992 гг.), Сумсарского (1985-1988 гг.), Сарыджазского оловорудного (1985-1992 гг.) и Джергаланского угольного (1982-1992 гг.) месторождений. Результаты исследований по вышеперечисленным месторождениям в свое время широко обсуждались на международных конференциях и были опубликованы. В данной же статье приводятся данные исследований для условий Кумторского месторождения, обрабатываемым открытым (1995-2023 гг.) способом и в будущем подземным.

Полевые наблюдения на участках даются в координатах UTM (WGS84 UTM 44N). Структурные данные приведены как замеры простирания, с соответствующим падением и направлением падения. Магнитное склонение было установлено на 0°, чтобы соответствовать используемой на руднике локальной сети.

Тектонофизический анализ. Месторождение Кумтор лежит вдоль главного структурного нарушения (линии Николаева), и что поздние орогенные гранитоиды, считающиеся движущим механизмом образования минерализаций, указывают, на основе изотопных данных, на возможное существование более одного этапа минерализации в районе. Столкновение Индийской плиты с Центральной Азией началось в олигоценный период (~35 млн. лет). Деформация Гималайского пояса была перенесена через жёсткий Таримский блок, реактивируя Тянь-шаньский пояс в виде направленного на северо-запад компрессионного события, имевшего место приблизительно через 10-15 млн. лет после начала этой орогении (рис.1).



Рис.1. Каракум-Таримский континент надвигается на Казахстанский щит

Считается, что, в настоящий момент наблюдаемое 50% сокращение ширины Тянь-шаньского пояса, связано с деформациями, вызванными альпийско-гималайской орогенией (~20-23 млн. лет). К сожалению, несмотря на то, что на участке Кумтор несколько раз проводился структурный анализ (Трифонов, 1989; Thomas, 1999; Andsell и др., 1999a&b; Abeleira и др., 2000), только в работах А.Шевкунова рассматривается вопрос пост рудной деформации кайнозойского периода (альпийско-гималайской орогении). Тектонические схемы, составленные А.Шевкуновым (2006, геологич. отчет, КОК) и И.Чунуевым (в результате редуцирования земной коры и тектонофизических исследований данного района, 1991, 2002) дают определение альпийско-гималайской орогении как деформацион-

ное событие, с основным направлением напряжения с севера на юг, сформировавшим В-З и С-Ю линейные структуры (рис.2 и рис.3).



Рис.2. Современное тектоническое сжатие установлено в результате высокоточных измерений на месторождении Кумтор

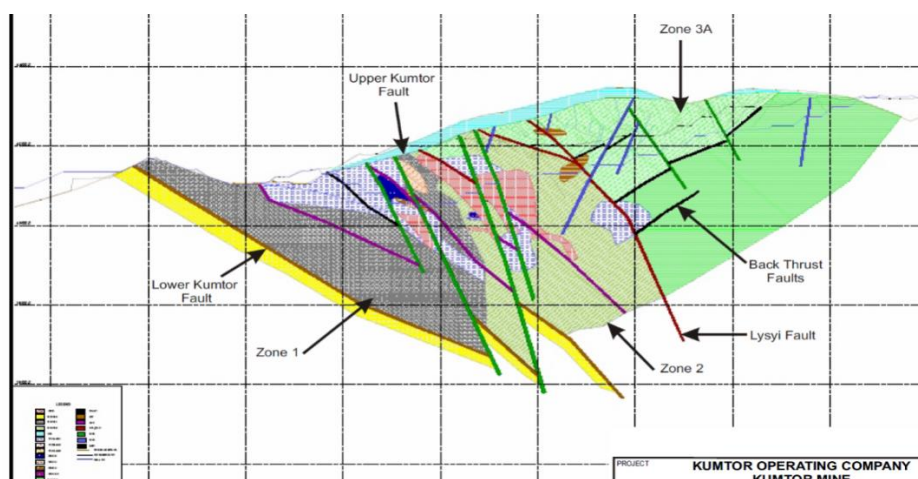


Рис.3. Блочная модель структуры массива и ее влияние на параметры устойчивого состояния борта карьера Кумторского месторождения (разрез)

В настоящее время региональное сжатие ориентировано в СЗ и ССЗ направлениях (рис. 1, “World Stress Map Database”; Flesch и др., 2001), на направлениях локальных напряжений отражается влияние жёсткого Таримского блока. Об этом также свидетельствуют результаты инструментальных наблюдений за движениями земной коры на полигоне ИВТАН России в пределах месторождения Кумтор и непосредственные наши измерения. Кинематические индикаторы вертикальных смещений вдоль графитизированных сдвигов и взаимоотношения типов пород в пределах Кумторской зоны разлома, реактивированный тектонический меланж и литология лежащих боков надвигов свидетельствует о том, что большая часть деформаций этапа на Кумторской площади представлена надвигами, ориентированными на северо-запад. Во время альпийской деформации некоторые граничащие с зоной минерализации структуры были преимущественно реактивированы благодаря сильному литологическому контрасту между метасоматически изменёнными породами и вмещающими филлитами, видообразование в

рудной последовательности пород усиливается ближе к контакту лежачего бока, что отражается ясно в зональности тектонизированных типов пород с ЮВ к СЗ (зональность, установленная КОК). **Инструментальные измерения** проводились с помощью приборов LEICA и TRIMBLE (рис.4 и рис.5).

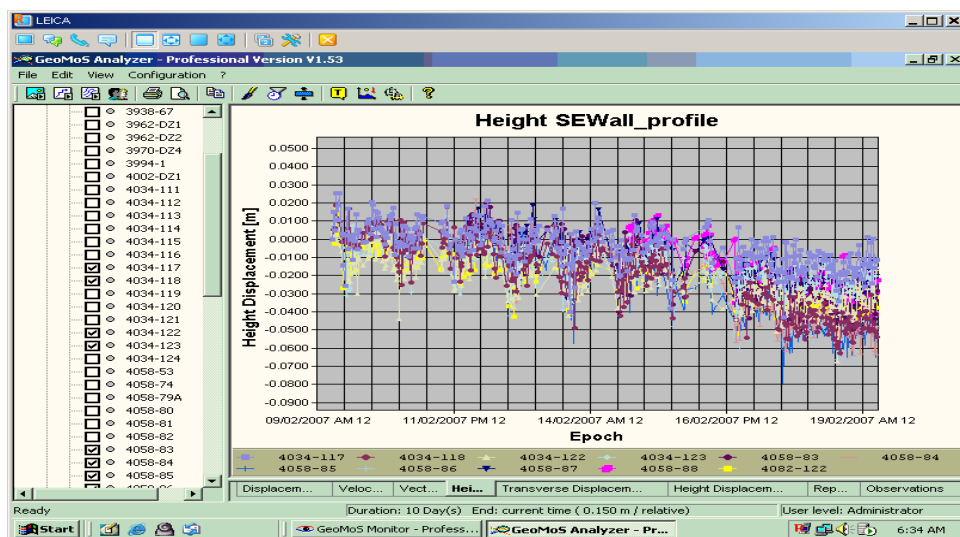


Рис.4. Наблюдение за устойчивостью борта карьера в реальном режиме времени с помощью GPS

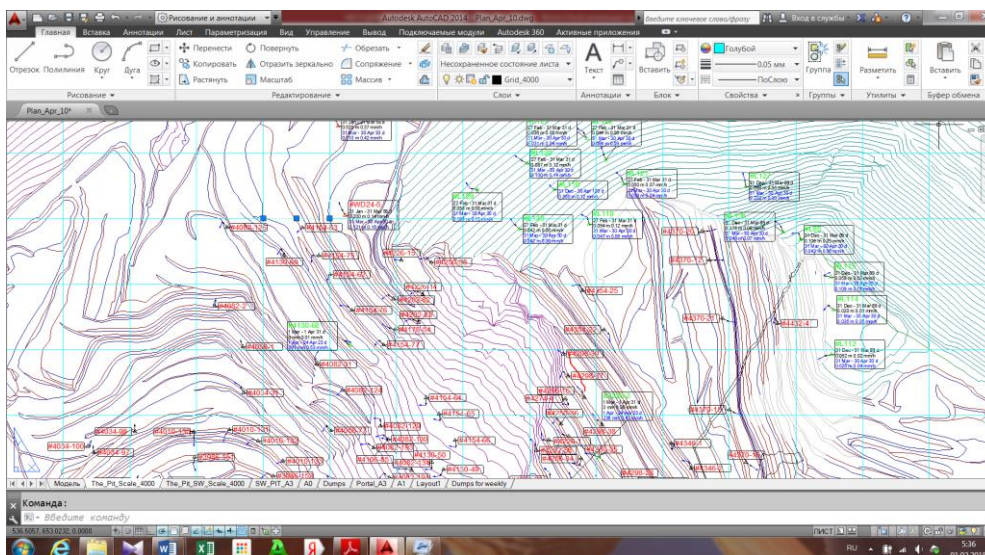


Рис.5. Площадной принцип построения наблюдательной станции за счет использования GPS-технологий, что позволяет получить полные трехмерные вектора смещения точек земной поверхности и пространственные компоненты поля деформаций.

При этом было внедрена методика площадного принципа построения наблюдательной станции за счет использования GPS-технологий, что позволило получить полные трехмерные вектора смещения точек земной поверхности и пространственные компоненты поля деформаций. В программе GEMCOM отстраивается поверхности абсолютных величин деформаций, из скоростей деформаций, из оседаний точек и т.д., с помощью которых можно отстроит любые сечения и разрезы в карьере, что позволяет оперативно и эффективно определять параметры сдвижения горных пород и принимать те или иные технологические и организационные решения по технологии безопасного ведения горных работ (рис.6 и рис.7).

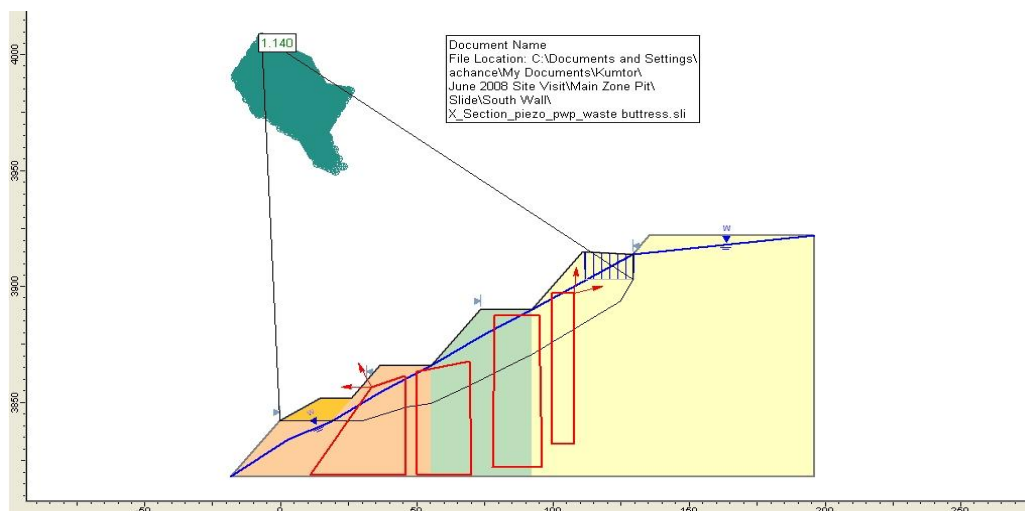


Рис.6. Расчет коэффициента запаса прочности (1.140) борта карьера с учетом тектонических напряжений и блочности массива

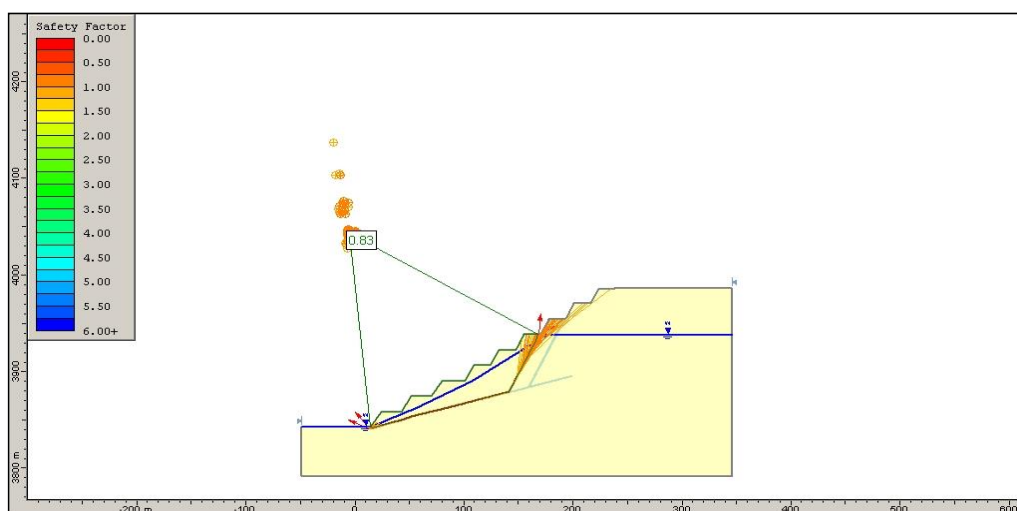


Рис.7. Влияние согласнорентирующего разлома на устойчивость борта карьера. Коэффициент запаса устойчивости равен 0,83- борт неустойчив.

Использованная литература

1. Abeleira, A., Andsell, K.M., Thomas, D., and Heaman, L., 2000. Geology and Structural Evolution of the Kumtor Region, Tien Shan, Kyrgyzstan. (abs): Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs, v. 32, no.7. p-A-32.
2. Andsell, K.M., Abeleira, A., and Ivanov, S., 1999. Structural Evolution and Vein Paragenesis at the Kumtor Gold Deposit, Kyrgyzstan. In Stanley C.J. et al., eds., Mineral Deposits: Processes to Processing: Rotterdam, Balkema, v.2, pp. – P. 1375-1378.
3. Thomas, D. 1999. A Review of the Geological Setting of the 3900 Block Area, Kumtor Gold Deposit, Kyrgyzstan. Internal unpub. Report, Cameco Corporation, – 64 p.
4. Чунуев И.К. Применение спутниковых систем в маркшейдерском деле. Материалы Международной научной конференции «Использование современных информационных технологий на руднике Кумтор». 14-15 июня 2006 года, –Б., – С.72-81.