УДК 622.831

И.Ю. Розанов, М.А. Кузнецов, Р.Н. Достовалов

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ ДЛЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Изложен опыт организации геомеханического мониторинга с применением GNSS наблюдений в карьере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК». Приведены данные о расположении, конструкции фундаментальных реперов полигона, применяемых комплектах аппаратуры, методике выполнения измерений и интерпретации получаемых результатов. Опыт применения спутниковой геодезии на полигонах Мурманской области позволил собрать материал для составления методических указаний по применению методов космической геодезии для геомеханического мониторинга массивов горных пород при открытых горных работах.

Ключевые слова: открытые горные работы, карьер, геомеханический мониторинг, деформации массива горных пород, GNSS-наблюдения.

Общей тенденцией развития инженерной деятельности человечества является неуклонное возрастание воздействий на окружающую среду, что проявляется в резком ухудшении ее общего экологического состояния. Подобная ситуация характерна для всех регионов мира, при этом в отдельных случаях, положение становится катастрофическим или весьма близким к нему.

Наиболее сильное воздействие на окружающую среду оказывает разработка месторождений полезных ископаемых, при этом природное состояние среды, представленной, в частности, массивом окружающих горных пород, изменяется.

В результате ведения горных работ изменениям подвергаются все компоненты массивов пород, но в различной степени. В некоторых случаях изменения свойств пород в процессе разработки могут быть мало заметны. В большей степени наблюдается изменение состояния структурных неоднородностей –

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 4. С. 100–106.
© 2017. И.Ю. Розанов, М.А. Кузнецов, Р.Н. Достовалов.

раскрываются имеющиеся естественные структурные неоднородности; происходят подвижки по разрывным нарушениям (разломам); образуются новые, техногенные нарушения (трещины). Но в еще большей степени и, практически, повсеместно, имеет место изменение естественного напряженного состояния различных блоков массивов пород.

Для определения геомеханического состояния горных сооружений и вмещающего массива пород, в настоящее время широко применяются методы непосредственного измерения смещений традиционными геодезическими и маркшейдерскими методами, но в последнее время при этом все шире начинают использоваться физические методы измерения длин (лазерная и радио- дальнометрия), а также методы спутниковой геодезии (GPS- и ГЛОНАСС-технологий).

Родоначальником всех навигационно-геодезических систем являлась спутниковая навигационная система ВМФ США – NNSS (Navy Navigation Satellite System), известная также под названием «Навсат», которая в свое время создавалась по программе с кодовым названием «Транзит», работы по созданию которой начались в декабре 1958 г. В 1973 г. на основе полученного опыта и выполненных разработок исследовательскими лабораториями ВМФ США была разработана специализированная «Навигационная Система со Временем и Дальностью», которая в настоящее время называется «Всеобщая Координирующая Система» (GPS). В нашей стране первое применение системы GPS для изучения современной геодинамики было осуществлено в 1991 г. на Кавказе сотрудниками Института физики Земли АН СССР, Индианского университета США и Массачусетского технологического института [1].

Для условий рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК», как и для любого другого карьера, актуальной проблемой остается обеспечение устойчивости уступов и бортов карьера. Наравне с традиционными методами сбора информации о перемещении массива горных пород широко применяются методы спутниковой геодезии. В 2006 г. на контуре карьера рудника «Железный» был заложен измерительный полигон из 6 фундаментальных пунктов (рис. 1). Регулярные измерения с применением технологий GPS-измерений выполняются с 2007 г.

Места расположения фундаментальных пунктов были выбраны в соответствии с пространственным положением крупных структурных неоднородностей. Конструкция фундаментальных пунктов представлена на рис. 2.

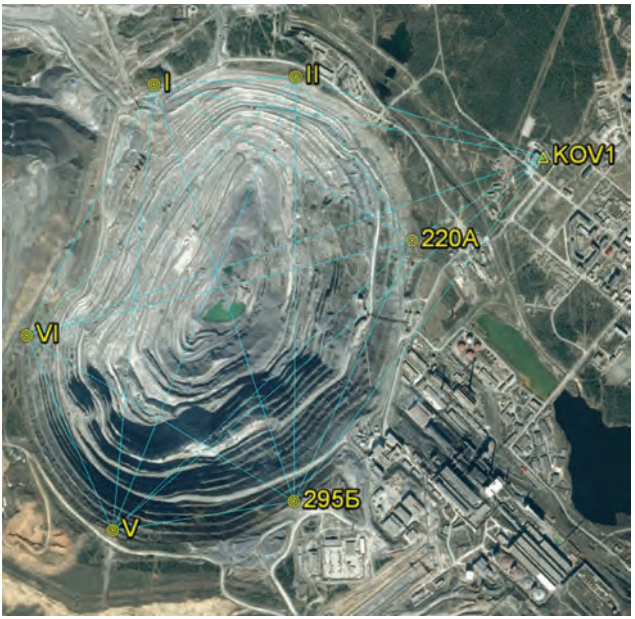

Рис. 1. Схема расположения фундаментальных реперов геомеханического полигона в карьере рудника «Железный»

Для проведения наблюдений использовался комплект оборудования состоящий из 4 приемников Lexon GGD и приемника Delta G3T, а также антенн JNS Choke Ring. Все оборудование разработано и произведено фирмой Javad Navigation System.

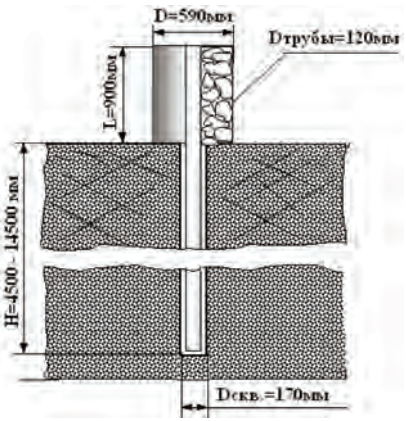

Рис. 2. Конструкция фундаментальных пунктов геомеханического полигона в карьере рудника «Железный»

После проведения измерений выполняется обработка полученных результатов с использованием программы обработки Trimble Business Centre (TBC). Создается рабочий проект для начального цикла измерений, его настройки в дальнейшем без изменений переносятся во все проекты последующих циклов наблюдений.

Координаты опорного пункта (KOV1) определялись в системе координат ITRF2005, при этом в качестве исходных пунктов использовались пункты международной геодезической сети IGS: KIRU, г. Кируна (Швеция); TRO1 – Тромсе (Норвегия); SVTL – Светлое (Россия), представленные на рис. 3.

Рис. 3. Сеть пунктов для определения координат опорного пункта KOV1 (рудник «Железный» АО «Ковдорский ГОК»)

Рис. 4. Схема смещений (в плане) фундаментальных пунктов внутреннего контура в период 26.09.2011 г. – 02.11.2016 г.

Для нанесения результатов определения смещений пунктов на планы горных работ выполняется перевод координат из геоцентрической системы координат WGS-84 в проекцию Гаусса – Крюгера. Для этого используются приближенные параметры стандартного набора Trimble Business Center для системы координат СК-42 зона 6. Для перехода от геодезических к нормальным высотам используется глобальная модель геоида EGM2008.

На рис. 4 показаны результирующие векторы плановых смещений пунктов внутреннего контура на общем плане карьера рудника «Железный» за весь период наблюдений.

Максимальные результирующие смещения наблюдаются на пунктах 295Б и VI. Значения смещений для этих пунктов составляют 0,1387 м и 0,0883 м соответственно.

Основной задачей мониторинга состояния бортов карьера является оценка степени их устойчивости, которая может быть осуществлена различными методами. Один из таких методов – метод расчета величин обратных скоростей сдвижения фундаментальных пунктов полигона.

Метод был разработан японским исследователем Фукузоно [2]. В основу метода положено предположение о возрастании скорости смещения деформирующегося откоса по мере его приближения к моменту обрушения и, практически, бесконечно большой величине скорости смещения в сам момент обрушения.

При этом, чтобы не иметь дело с неопределенными бесконечно большими величинами скоростей, Фукузоно предложил использовать обратные величины значений скоростей смещений, при которых момент разрушения определяется точкой пересечения графика изменения обратных значений скоростей смещения с осью времени. Типичные графики зависимости величины обратных скоростей от времени приведены на рис. 5 [2].

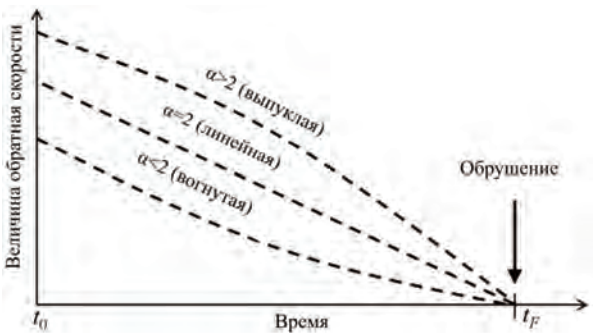

Рис. 5. График зависимости величины обратной скорости от времени

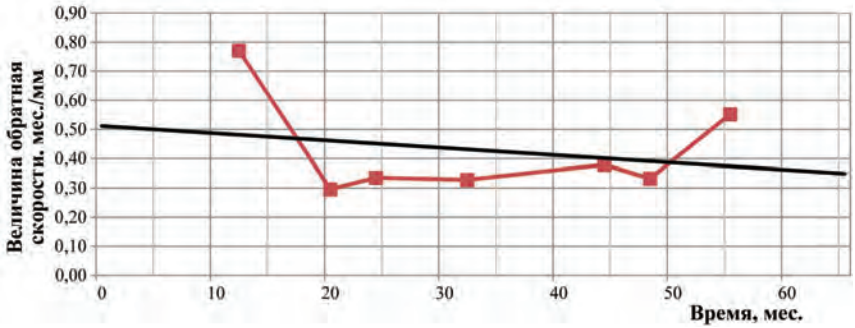

Рис. 6. Изменение величины обратной скорости по времени для пункта 295Б

В нашем случае для анализа изменения значений обратных скоростей были выбраны пункты с максимальными результирующими смещениями (295Б и VI) и построены графики зависимости величины обратной скорости от времени (рис. 6 и 7).

Сравнивая два графика можно увидеть два совершенно противоположных характера развития деформации. Если на графике для пункта VI линия тренда направлена от оси времени, что может говорить об устойчивости горных пород на этом участке борта, то на графике для пункта 295Б ситуация обратная. Наклон линии тренда к оси времени говорит о возможной потери устойчивости. Угол наклона линии показывает, что при таком характере развития деформаций в ближайший год обрушения не предвидится, однако тенденция вызывает опасения.

В качестве выводов хочется отметить, что метод спутниковой геодезии хорошо зарекомендовал себя в качестве средства мониторинга устойчивости бортов карьеров. Данные измерений показывают, что наблюдается сближение бортов карьера, а это значит, что необходимо продолжить проведение монито-

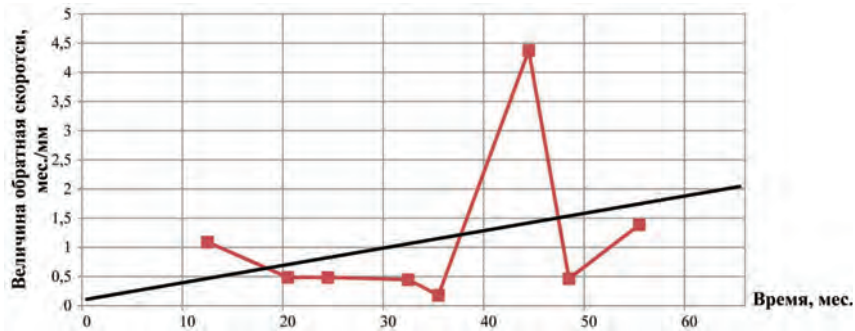

Рис. 7. Изменение величины обратной скорости по времени для пункта VI

ринга. Также необходимо продолжить исследования в области интерпретации данных мониторинга с целью прогнозирования обрушений по данным инструментальных наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макаров В. И. Трапезников А. Ю.* Изучение современной деформации земной коры методами космической геодезии // Геоэкология. – 1996. – № 3. – С. 70–85.
2. *Fukuzono T.* A new method for predicting the failure time of a slope / Proceedings of the IVth International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo, Japan. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Розанов Иван Юрьевич[1] – младший научный сотрудник,
e-mail: ivan-rozanov@yandex.ru,
Кузнецов Михаил Андреевич[1] – ведущий технолог,
e-mail: misha.kuznetsov@gmail.com,
Достовалов Роман Николаевич[1] – технолог, e-mail: 2737247@mail.ru,
[1] Горный институт Кольского научного центра РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 100–106.

UDC 622.831

I.Yu. Rozanov, M.A. Kuznetsov, R.N. Dostovalov

CASE HISTORY OF SPACE GEODESY IN GEOMECHANICAL MONITORING OF ROCK MASS UNDER OPEN PIT MINING

The experience of geomechanical monitoring with the use of GNSS observations in the open pit of the "Zheleznymine" ,"KovdorskyGOK" JSC is exposed. The data are given on the location and design of the precise reference marks of a testing site, used sets of equipment, and methods for measuring and processing results. Experience in the use of satellite geodesy in the Murmansk region objects allowed to collect material to make recommendations on the use of satellite geodesy techniques for geomechanical monitoring of rock mass in open pit mining.

Key words: open pit mining, open pit, geomechanical monitoring, deformation of rock mass, GNSS observations.

AUTHORS

Rozanov I.Yu[1], Junior Researcher, e-mail: ivan-rozanov@yandex.ru,
Kuznetsov M.A.[1], Leading Technologist, e-mail: misha.kuznetsov@gmail.com,
Dostovalov R.N.[1], Technologist, e-mail: 2737247@mail.ru,
[1] Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia.

REFERENCES

1. Makarov V. I. Trapeznikov A. Yu. *Geoekologiya*, 1996, no 3, pp. 70–85.
2. Fukuzono T. A new method for predicting the failure time of a slope. *Proceedings of the IVth International Conference and Field Workshop on Landslide*s, Tokyo, Japan.