



**МОНИТОРИНГ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД  
НА КАРЬЕРЕ АЛМАЗОНОСНОЙ ТРУБКИ “ЗАРНИЦА”**

**В. И. Востриков<sup>1</sup>, Н. С. Полотнянко<sup>1</sup>, А. С. Трофимов<sup>2</sup>, А. А. Потака<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: vvi.49@mail.ru,  
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

<sup>2</sup>*Управление Удачинского ГОКа, E-mail: trofimovas@alrosa.ru,  
г. Удачный 678188, Республика Саха (Якутия), Россия*

Разработан и изготовлен экспериментальный вариант многоканальной измерительно-вычислительной системы “Карьер”, включающей в себя измерительные комплексы “Карьер-Л” и “Карьер-Т”. В 2017 г. комплексы проходили проверку работоспособности в режиме непрерывного мониторинга на карьере алмазоносной трубки “Зарница”. Контролировалось состояние участка “кромка – бермы” и участка с трещиной. Приводятся результаты мониторинга.

*Карьер, измерительная система, датчик, трещина, бортовой откос*

**MONITORING OF GEOMECHANICAL STATE OF ROCK MASSES  
AT THE MINE OF ZARNITSA DIAMOND PIPE**

**V. I. Vostrikov<sup>1</sup>, N. S. Polotnyanko<sup>1</sup>, A. S. Trofimov<sup>2</sup>, and A. A. Potaka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
E-mail: vvi.49@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

<sup>2</sup>*Administration of Udachniy Mining and Processing Plant,  
E-mail: trofimovas@alrosa.ru, Udachnyy 678188, Republic of Sakha (Yakutia), Russia*

An experimental version of the multichannel measuring and computing system Karyer including the measuring complexes Karyer-L and Karyer-T is developed and manufactured. In 2017, the complexes were tested in the continuous monitoring mode at the mine of Zarnitsa diamond pipe. The condition of the “edge – berm” section and the section with a crack were monitored. The monitoring results are presented.

*Mine, measuring system, sensor, crack, side slope*

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых обеспечение устойчивости бортовых откосов глубоких карьеров является важнейшей задачей в течение всего периода строительства и эксплуатации карьера. Для определения причин деформаций уступов и бортов карьеров, а также проведения мероприятий по их прогнозированию и предотвращению необходимо в период строительства и эксплуатации карьеров обеспечить непрерывное наблюдение за устойчивостью откосов.

Глубокие карьеры в прочных массивах горных пород, в частности карьеры алмазоносных трубок, характеризуются блочно-иерархическим строением горного массива. Блоки разделены трещинами и расщелинами, ширина которых имеет диапазон от десятых долей сантиметров до нескольких десятков сантиметров. Кроме того, алмазоносные трубки приурочены к зонам тектонических разломов, в частности трубка “Нюрбинская” [1]. В узле зон субмеридионального и субширотного тектонических разломов расположены трубки “Комсомольская” [2] и “Зарница”. Ширина зоны разломов может достигать порядка десяти и более метров.

Для исследования геодинамического состояния такого сложно построенного массива горных пород с точки зрения перемещений краевых блоков в зоне разломов, а также оценки устойчивости бортовых откосов выполняется мониторинг деформаций с использованием различного рода измерительных систем [1, 3–5]. Для мониторинга геодинамического состояния массивов горных пород глубоких карьеров в Институте горного дела СО РАН разрабатывается и изготавливается экспериментальный вариант многоканальной измерительной системы под общим названием “Карьер”.

**Описание измерительной системы “Карьер”.** Общая функциональная схема системы “Карьер” представлена на рис. 1.

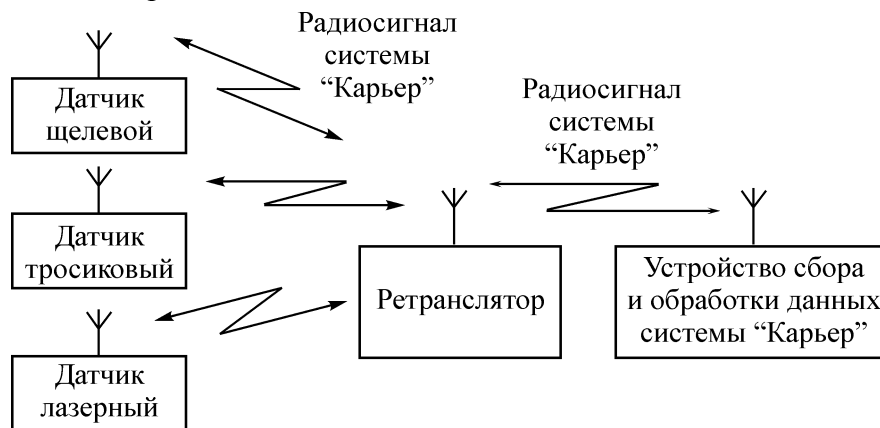


Рис. 1. Общая функциональная схема системы “Карьер”

В процессе натурных экспериментальных работ на карьерах ПАО “Алроса” поэтапно разработаны и выполнены в экспериментальных вариантах три комплекса: “Карьер-Щ”, “Карьер-Т” и “Карьер-Л”, которые образуют полный состав измерительно-вычислительной системы “Карьер”. Каждый комплекс предназначен для решения конкретных задач по измерению определенных размеров трещин в блочно-построенном массиве горных пород, а также для регистрации деформации протяженных участков массива, и представляет собой многоканальную структуру с общими блоками: ретранслятором, устройством сбора, обработки передачи измерительных данных.

Комплексы отличаются друг от друга типом используемых датчиков. В “Карьер-Щ” в качестве первичных преобразователей применяются тензорезисторы. В конструктивном отношении эти датчики представляют собой разжимные устройства из упругих стальных элементов, которые устанавливаются непосредственно в трещину. Измерительная база без дополнительных удлиняющих элементов составляет от 3 до 8 см.

В комплексе “Карьер-Т” используются датчики, созданные на основе цифровых потенциометров. Станция, построенная с использованием этого датчика, требует физического соединения двух точек, между которыми проводится измерение. Измерительная база составляет от 1.5 до 3 м. С применением удлиняющих элементов (тросика, прутка) с поддерживающими стойками можно увеличить измерительную базу до 13 м. В комплексе “Карьер-Л” осуществляется лазерный метод измерения расстояния. Измерительная база может достигать 30 м.

**Развертывание системы и проведение измерений.** Комплексы системы “Карьер”, “Карьер-Т” и “Карьер-Л”, разворачивались и проводились измерения в два периода времени: 9.07. 2017–25.09.2017 г. и 13.11.2017–23.11.2017 г. На рис. 2 приведен план карьера “Зарница” с указанием местоположения комплексов. Установленные комплексы не имеют прямой “радиовидимости” с устройством приема и обработки данных, которое находится на поверхности карьера в операторской. Для организации связи на границе карьера располагается ретранслятор, имеющий прямую видимость с устройством приема и обработки данных и измерительными датчиками.

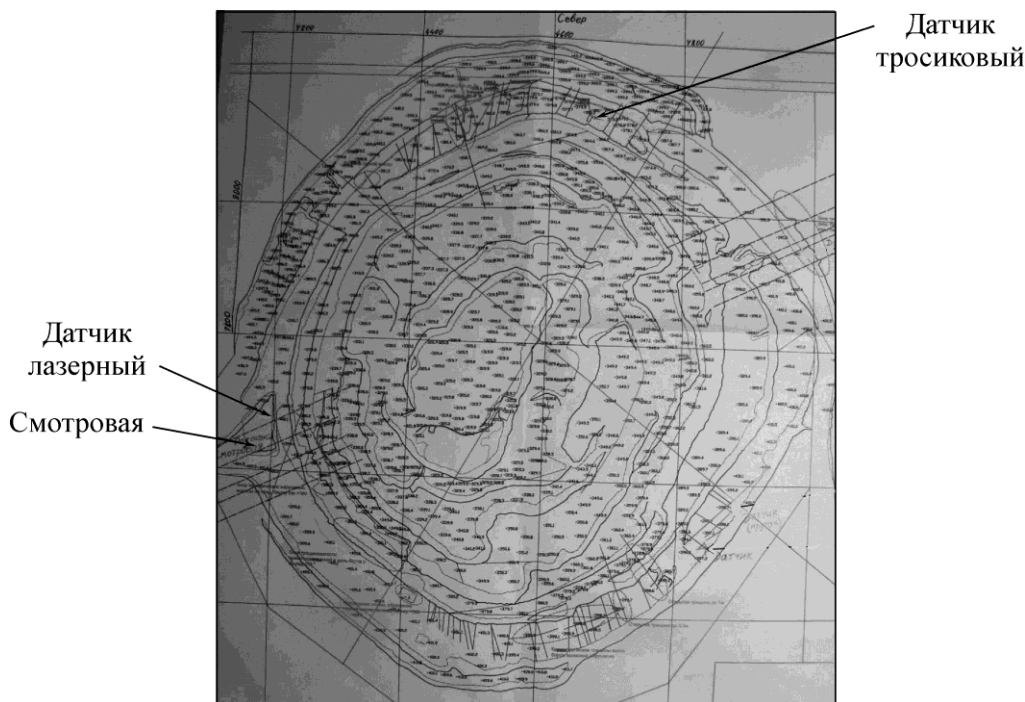


Рис. 2. План карьера “Зарница” с указанием мест установки измерительных комплексов

**Результаты мониторинга комплексами “Карьер-Л” и “Карьер-Т”.** Схема и фотография развернутого комплекса “Карьер-Л” представлены на рис. 3. Комплекс установлен для контроля подвижек участка “кромка борта бермы — кромка дневной поверхности” на северо-западном борту карьера недалеко от смотровой площадки (рис. 2). Отражатель размещается на граничном участке бортового откоса, а излучатель — на границе дневной поверхности (рис. 3). Измерительная база составляет 23 м.

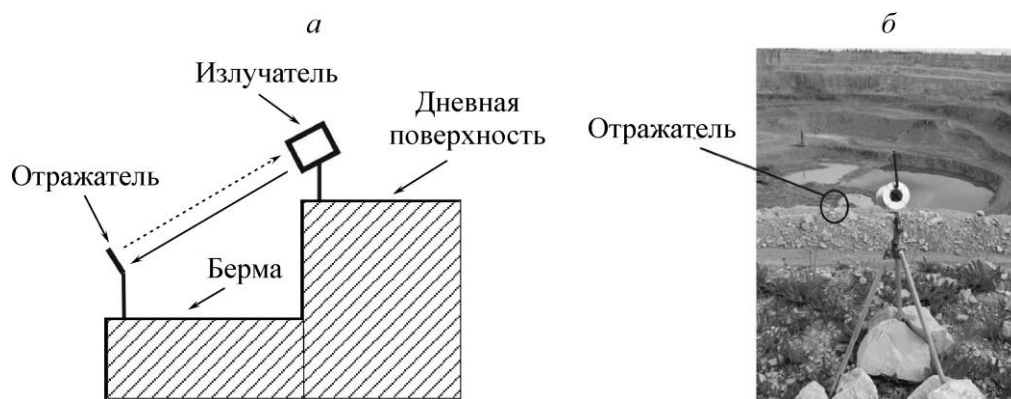


Рис. 3. Схема (а) и фотография (б) установленного комплекса “Карьер-Л”

Результаты измерений комплексом “Карьер-Л” за период 9.07.2017 16:46 – 25.09.2017 15:28 представлены на рис. 4. Максимальное изменение расстояния  $l$  составило 7 мм. С полученными данными измерений проведена полиномиальная аппроксимация со степенью 6, которая показана на рис. 3а штриховой линией.

График тренда имеет волнообразный характер со слабым положительным ростом, максимальный размах тренда равен приблизительно 2 мм, период — около 40 дней. Таким образом, контролируемый участок карьера “кромка бермы – кромка дневной поверхности” претерпевает колебательное смещение, которое, по всей видимости, определяется близостью тектонического разлома. С наступлением осеннего периода, когда температура воздуха понижается, амплитуда смещения уменьшается.

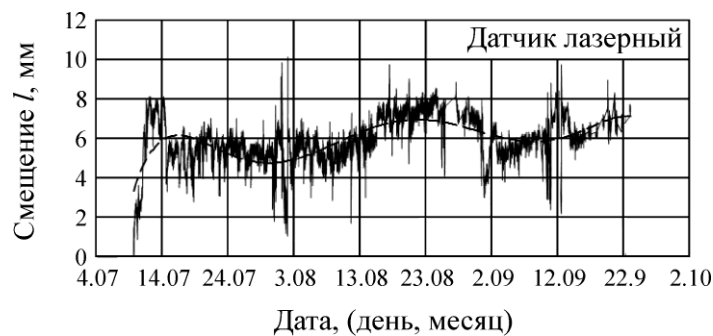


Рис. 4. Результаты мониторинга комплексом “Карьер-Л” за период 9.07.2017 16:46–25.09.2017 19:15

На берме +380 м северо-восточного борта вкрест расщелины установлен комплекс “Карьер-Т” (датчик тросиковый), фотография которого показана на рис. 5. Измерительная база составляет 1.85 м.

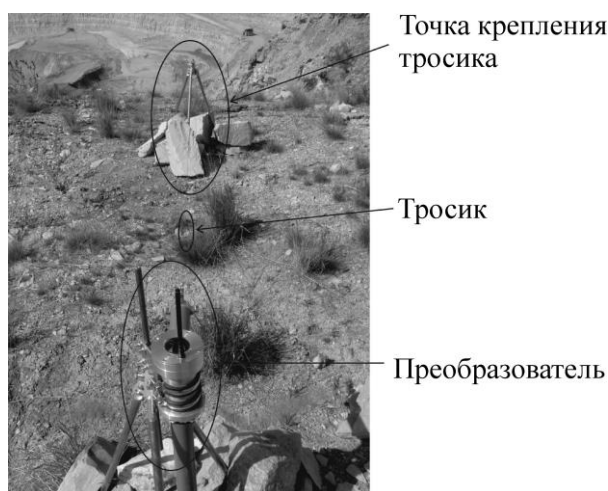


Рис. 5. Фотография установленного тросикового датчика

Результаты измерений комплексом “Карьер-Т” за период 09.07.2017 17:05–27.07.2017 14:37 приведены на рис. 6. Максимальное изменение расстояния  $l$  до 26.07.2017 составило 0.4 мм. Информация также обработана с помощью полиномиальной аппроксимации со степенью 6, тренд изменения — положительный. Наблюдается небольшой рост значения ширины трещины со слабым волнообразным характером. На графике сигнала наблюдаются выбросы, которые обусловлены взрывными работами на дневной поверхности, проводимыми в карьере по разному северного борта. Датчик располагался на второй берме в непосредственной близости от взрывных работ. В момент взрыва ширина трещины на время 20 ч уменьшается почти до исходного состояния, определяемое в период времени 10.7–14.7, затем с задержкой ~20 ч возвращается в предвзрывное состояние.



Рис. 6. Результаты мониторинга комплексом “Карьер-Т” за период 9.07.2017 17:05–27.07.2017 14:37

## ВЫВОДЫ

В Институте горного дела СО РАН разработан и изготовлен экспериментальный вариант многоканальной измерительно-вычислительной системы “Карьер” в составе комплексов “Карьер-Л” и “Карьер-Т”. Система установлена на карьере трубки “Зарница” (республика Саха). Мониторинг геодинамического состояния массивов горных пород осуществлялся в период 9.07.2017 – 25.09.2017. Измерения комплексом “Карьер-Л” выполнялись поперек бермы с дневной поверхности и до кромки нижележащей бермы на северном борту карьера. Максимальное увеличение расстояния составило около 7 мм. Тренд графика изменения расстояния от времени мониторинга имеет волнообразный характер со слабым положительным ростом, его максимальный размах равен 2 мм, период изменения составляет примерно 40 дней.

Комплексом “Карьер-Т” измерялась ширина зоны трещиноватости на берме + 380 м северо-восточного борта карьера. Установлено увеличение ширины зоны трещиноватости на 0.5 мм. Ширина трещины изменяется вследствие проведения взрывных работ на дневной поверхности по разному северного борта карьера. В целом, контролируемые участки за период мониторинга находились в стабильном геодинамическом состоянии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Bornyakov S. A. and Salko V. D.** Instrumental deformation monitoring system and its trial in open-pit diamond mine, *Journal of Mining Science*, 2016, vol. 52, issue 2, pp. 388–393 (in Russian) [**Борняков С. А., Салко Д. В.** Инструментальная система деформационного мониторинга и ее апробация в кимберлитовом карьере // ФТПРПИ. — 2016. — № 2. — С. 172–178.]
2. **Potekhina I. A., Makavchuk I. V., and Gladkov A. S.** Breaking tectonic fields of diamond pipe “Komsomolskaya”, *Vestnik of Irkutsk state University*, 2008, no. 4 (36), pp. 25–31 (in Russian) [**Потехина И. А., Маковчук И. В., Гладков А. С.** Разрывная тектоника месторождения трубки “Комсомольская” // Вестник ИГУ. — 2008. — № 4 (36). — С. 25–31.]
3. **Dimaki A. V. and Psakh’e S. G.** Spaced monitoring system for displacements in block media, designed based on SDVIG-4MR complex, *Journal of Mining Science*, 2009, vol. 45, issue 2, pp. 194–200 (in Russian) [**Димаки А. В., Псахье С. Г.** Распределенная измерительная система для мониторинга смещений по границам раздела блочных сред на базе комплекса “Сдвиг 4МР” // ФТПРПИ. — 2009. — № 2. — С. 110–117.]
4. **Dimaki A. V., Astafurov S. V., Shilko E. V., Ruzhich V. V., and Psakh’e S. G.** Hardware-software complex for recording displacements in fault zones SDVIG-3MR, *Geodynamics and stress state bowels of the earth*, *Proceedings of the International Conference*, Novosibirsk, Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 2006, pp. 193–188 (in Russian) [**Димаки А. В., Астафуров С. В., Шилько Е. В., Ружич В. В., Псахье С. Г.** Аппаратно-программный комплекс регистрации смещений в зонах разломов “Сдвиг-3МР” // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: труды Междунар. конф. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2006. — С. 193–199.]
5. **Vostrikov V. I., Polotnyanko N. S., Ruzhich V. V., and Federyaev O. V.** Control of geomechanical state of collapse-dangerous areas of side slopes of deep pits, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2016, no. 3, pp. 290–296 (in Russian) [**Востриков В. И., Полотнянко Н. С., Ружич В. В., Федеряев О. В.** Контроль геомеханического состояния обвалоопасных участков бортовых откосов глубоких карьеров // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2016. — № 3. — С. 290–296.]