

УДК. 621.396.965.2:622.012.3

# МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ



**Б. Н. ЗАРОВНЯЕВ,**  
директор Горного института,  
д-р техн. наук,  
mine\_academy@mail.ru



**Г. В. ШУБИН,**  
зав. кафедрой,  
канд. техн. наук



**И. В. ВАСИЛЬЕВ,**  
главный инженер  
проекта



**Л. Д. ВАРЛАМОВА,**  
доцент,  
канд. пед. наук

Северо-Восточный федеральный университет  
им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

## Введение

Ведущее место среди полезных ископаемых, добываемых в промышленных масштабах в Республике Саха (Якутия) принадлежат алмазам.

Месторождения алмазов встречаются в коренных породах — кимберлитах и в россыпях, на приполярных территориях республики — в Мирнинском, Анабарском, Ленском, Нюрбинском районах. Добыча алмазов из кимберлитовых трубок является одним из приоритетных направлений в горнодобывающей отрасли.

Эксплуатация алмазоносных месторождений в республике осложняется наличием многолетней мерзлоты и подземных грунтовых вод. В зоне мерзлоты грунтовые воды находятся в виде льда. В этих условиях при техногенном воздействии на поверхностные компоненты природной среды (рельеф, почвенно-растительный покров и др.) существенно меняются морфология мерзлых толщ, их свойства. Оттаивание льдонасыщенных пород сопровождается просадками земной поверхности и развитием опасных мерзлотных (криогенных) геологических процессов: термокарста, термоэрозии, солифлюкации и других явлений [1].

Приведены результаты применения системы лазерного сканирования на карьере АК «АЛРОСА». Отмечено, что лазерное сканирование позволяет значительно увеличить скорость полевых работ, обеспечить безопасность проведения мониторинга в труднодоступных и опасных зонах карьера.

**Ключевые слова:** многолетняя мерзлота, лазерный сканер, мониторинг, карьер, опорный пункт, 3D-модель, горизонтали, вертикальный разрез.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.07

В настоящее время основные объемы добычи алмазов в республике приходятся на карьеры, средневзвешенная глубина которых составляет 273 м. Максимальная глубина карьеров уже сейчас достигла 640 м, а в перспективе превысит 850 м. Практически все карьеры находятся в стадии реконструкции и рассчитаны на предельную по горнотехническим условиям глубину и производительность по добыче руды. При этом скорость понижения горных работ возросла с 11,6–15 до 20–24,5 м/год, т. е. более чем в два раза.

В связи с интенсивным углублением горных работ ускоряются и становятся более опасными деформационные процессы в бортах карьеров. Для предупреждения оползневых явлений крайне важен мониторинг геомеханического состояния бортов [2–4].

Существуют много методов изучения процессов сдвижения горных пород и земной поверхности при ведении открытых горных работ — это натурные наблюдения и измерения, физическое и математическое моделирование, аналитические исследования. Традиционные методы требуют немалых затрат времени на полевую и камеральную часть обработки данных. В результате снижается оперативность мониторинга. Это, в свою очередь, замедляет решение вопросов рациональной эксплуатации месторождения, охраны недр, защиты земной поверхности, зданий и сооружений от негативного влияния горных работ.

Эффективный мониторинг в современных условиях возможен с помощью приборов дистанционного типа в рамках технологии наземного лазерного сканирования. Данная технология за последние 10 лет получила широкое применение в области инженерных изысканий, геодезии, горной и нефтегазовой промышленности, архитектуре, строительстве, реконструкции и эксплуатации инженерных сооружений, в научных исследованиях [5–7]. Данная технология позволяет намного увеличить скорость полевых работ, обеспечить безопасность проведения мониторинга в труднодоступных и опасных зонах карьера [8].

Таким образом, технология лазерного сканирования на современном этапе успешно используется для создания цифровых моделей карьеров, при натурном обследовании деформации уступов карьеров, исследовании оползней и других негативных процессов, связанных с ведением открытых горных работ [3, 9–13].

### Методика и результаты лазерного сканирования

В данной статье приводятся результаты исследований с помощью систем лазерного сканирования, разработанных швейцарской фирмой Leica, хорошо зарекомендовавших себя и пригодных для использования на карьерах в суровых климатических условиях [14].

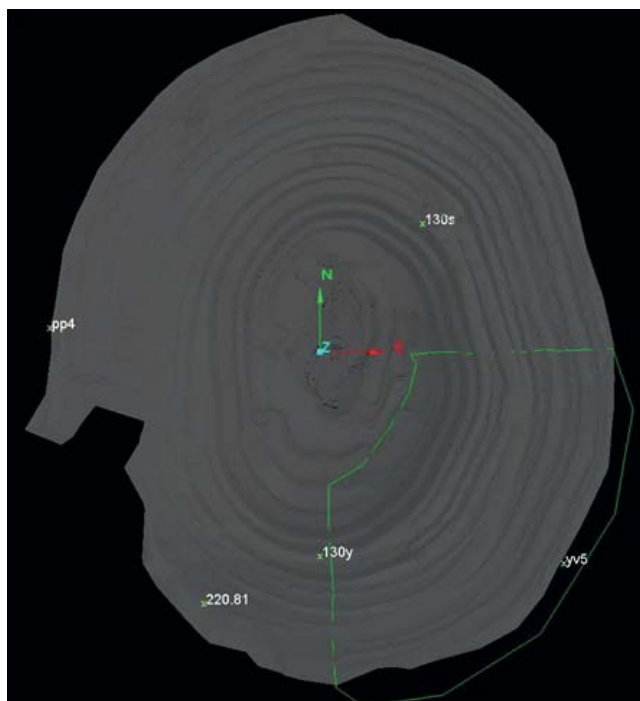


Рис. 1. Схема размещения стационарных опорных пунктов в карьере «Нюрбинский»

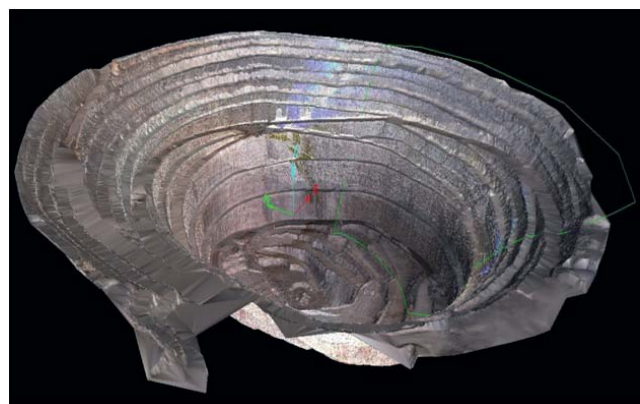


Рис. 2. 3D-модель карьера «Нюрбинский» (скан от 15.05.2014 г.)

Система Leica HDS 8800 отличается высокой скоростью сканирования, простотой в управлении и удобством в использовании. Она испытана специалистами кафедры открытых горных работ Горного института Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова (СВФУ) при мониторинге геомеханического состояния бортов глубоких карьеров АК «АЛРОСА» («Нюрбинский», «Удачный» и др.). Процедура мониторинга состоит в следующем.

По периметру карьера на земной поверхности и уступах оборудованы стационарные опорные пункты, с которых отчетливо просматриваются борта карьера. При выборе положения таких пунктов следует стремиться к минимуму «мертвых зон», так как на опорные пункты приходится весь объем планируемых исследований и дальнейших наблюдений. Система Leica HDS 8800, доставленная к опорному пункту, из транспортного состояния переводится в рабочее. Полученные с одних и тех же точек в разные промежутки времени сканы сопоставляются друг с другом, на основании чего делаются выводы о динамике сдвижения бортов карьера, а также выполняется подсчет выполненных объемов.

Пробный мониторинг был осуществлен на карьере «Нюрбинский» с пяти точек и в основном с трех постоянных стационарных опорных пунктов (рис. 1), находящихся в карьере и на его поверхности. Сканер устанавливался на штатив в точках на горизонте 130 м северной и южной части карьера с расстоянием между точками около 1 км, а также на поверхности горизонта 260 м (точка pp4). Сканирование велось с одних и тех же точек в разное время. Из стационарных точек с закрепленными координатами был снят карьер, а затем сканы объединили и наложили друг на друга.

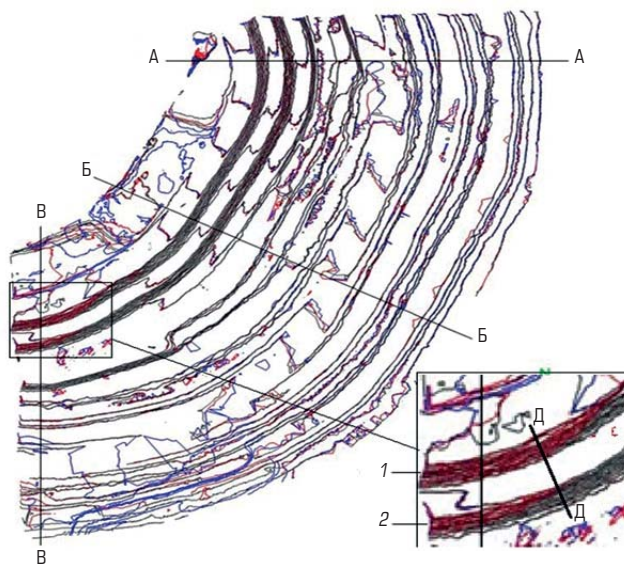


Рис. 3. Горизонтальное сечение юго-восточного борта карьера «Нюрбинский» в различные моменты наблюдений: черные — скан от 15.05.2014 г.; красные — от 23.07.2014 г.; синие — от 11.10.2014 г.

Исследование в карьере началось в мае 2014 г. с четырех опорных пунктов, затем продолжено в июле с трех (из-за ликвидации опорной точки 220.81 в связи с расширением карьера), а в октябре вновь с четырех пунктов с добавлением точки уу5 (см. рис. 1). Особенно детально исследовался юго-восточный борт карьера (отмечен зеленой замкнутой линией).

По результатам сканирования составлена 3D-модель карьера «Нюрбинский», построенная на облаке точек (рис. 2).

После обработки данных сканирования юго-восточного борта карьера осуществлено сравнение результатов. Для этого сканер фиксировал горизонталы с расстоянием между ними 5 м на готовую модель карьера. На исследуемых участках борта методом наложения друг на друга результатов трех съемок, проведенных с мая по октябрь 2014 г., получен наглядный рисунок горизонталей (рис. 3). Он свидетельствует о наличии смещений борта по линиям В–В на нижних горизонтах, где выделяется красная горизонталь, означающая происходящее выпучивание борта [15].

Анализ результатов сканирования позволяет сделать вывод о наличии горизонтальных смещений юго-восточного борта карьера «Нюрбинский». На рис. 3 в выделенном квадрате крупным планом просматривается картина, подтверждающая наличие области сдвига ниже горизонта 130 м (обозначена цифрами 1 и 2); то же видно и в вертикальных разрезах по линиям В–В и Д–Д. Категорично утверждать о наличии этого факта нельзя, так как съемка внутри карьера была осуществлена с двух стационарных опорных точек 130у и 130с (см. рис. 1), и для окончательного подтверждения выявленного факта необходимо проведение дополнительного сканирования.

## Заключение

Лазерное сканирование на сегодняшний день является неотъемлемой частью геомеханического мониторинга открытых разработок вообще и в условиях многолетней мерзлоты, в частности. Дистанционный сбор данных позволяет исключить доступ персонала в опасные зоны, дает возможность съемки объектов сложной формы, обеспечивает значительную экономию средств по сравнению с традиционными методами съемки, отличается простотой создания трехмерных моделей, высокой точностью и детальностью полученных данных, имеет широкий спектр применения материалов лазерной локации [16].

На основании опыта использования лазерного сканера для оценки состояния бортов глубоких карьеров Севера можно рекомендовать следующее:

- мониторинг следует вести сезонно, в том числе в периоды оттайки и промерзания грунта;
- наблюдения необходимо проводить систематически;
- опорные наблюдательные пункты должны закладываться в карьере равномерно с учетом перспективы развития горных работ и состояния бортовых откосов, а также быть привязанными к существующей маркшейдерской сети;
- необходимо создать базу данных мониторинга для всего периода наблюдений по участкам карьера для дальнейшего сравнительного анализа.

Своевременный геомеханический мониторинг в комплексе с другими мероприятиями позволит оперативно предотвращать деформацию уступов и бортов карьера.

## Библиографический список

1. Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование: монография. — Новосибирск: СГА, 2009. — 261 с.
2. Охотин А. Л., Соболев А. В. Опыт применения лидарной съемки в горном деле // Интер-экспо Гео-Сибирь. 2008. Т. 1. № 1. С. 219–221.
3. Лютяк А. И. Технология создания цифровых моделей карьеров с применением лазерных сканеров // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2014. № 1. С. 386–388.
4. Дунаев В. А., Олейник О. В., Игнатенко И. М., Яницкий Е. Б. Дистанционное определение элементов залегания трещин при натурном изучении деформаций уступов карьеров // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2011. Вып. 1. С. 107–111.
5. Оленьков В. Д., Пронина А. А. Технология лазерного сканирования в реставрации памятников архитектуры // Строительство и экология: теория, практика, инновации: сб. докл. I Междунар. науч.-практ. конф. — Челябинск: ПИРС, 2015. С. 81–84.
6. Хмырова Е. Н., Жунусова Г. Е., Бесимбаева О. Г., Максимова М. В. Мониторинг технического состояния уникальных сооружений в г. Астана с использованием современных геодезических приборов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № 3. С. 16–19.
7. Kovanič L., Blištan P. Quarry Wall Stability Assessment Using TLS Method // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1044–1045. P. 603–606. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.603
8. Мельк Е. В., Бубнов А. В. Сравнительный анализ систем лазерного сканирования в геодезии // Россия молодая: передовые технологии — в промышленность. 2015. № 1. С. 236–240.
9. Ляпишев К. М., Погорелов А. В., Шуляков Д. Ю. Исследование оползней с применением технологий наземного лазерного сканирования // Геодезия, картография и маркшейдерия: матер. Всеросс. науч. Интернет-конференции. — Казань, 2014. С. 26–32.
10. Игнатенко И. М., Яницкий Е. Б., Зайцев М. С. Методика оценки блочности пород в уступах карьера и кусковатости горной массы с применением компьютерных технологий // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2011. Вып. 1. С. 112–118.
11. Barbarella M., Fiani M. Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing // European Journal of Remote Sensing. 2013. Vol. 46. P. 126–151.
12. Bin Liang, Chong Yue, Xu Hui Chen, Bing Wang, Xing Kai Sun. The Study of Deformation Monitoring Based on the Ground Three-Dimensional Laser Scanning Technology // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1022. P. 387–391.
13. Alba M., Scaioni M. Automatic detection of changes and deformations in rock faced by terrestrial laser scanning // International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2010. Vol. XXXVIII, Part 5. Commission V Symposium, BNewcastle upon Tyne, England. P. 11–16.
14. Leica Open pit mining Profiles. Profiles & Volumes for Open Pit Mining/ Leica Geosystem: [website]. URL: [http://hds.leica-geosystems.com/en/Open-pit-mining\\_1932.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Open-pit-mining_1932.htm) (дата обращения 25.05.2016).
15. Васильев И. В., Заровняев Б. Н., Сорокин В. С., Шубин Г. В. Совершенствование системы мониторинга глубоких карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. Отд. выпуск № 7: Современные технологии на горнодобывающих предприятиях. С. 211–218.
16. Васильев И. В., Заровняев Б. Н., Шубин Г. В. Мониторинг карьеров методом лазерного сканирования в условиях Крайнего Севера // Уральская горная школа — регион: матер. междунар. науч.-практ. конф. — Екатеринбург, 2015. С. 230–232. **ГЖ**



**Pitwall monitoring in deep surface mines using surface laser scanning**

**Information about authors**

**B. N. Zarovnyaev**<sup>1</sup>, Director of the Mining Institute, Doctor of Engineering Sciences, mine\_academy@mail.ru

**G. V. Shubin**<sup>1</sup>, Head of a Chair, Candidate of Engineering Sciences

**I. V. Vasiliev**<sup>1</sup>, Chief Project Engineer

**L. D. Varlamova**<sup>1</sup>, Associate Professor, Candidate of Pedagogical Sciences

<sup>1</sup> Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

**Abstract**

Open pit mining method under conditions of the Extreme North faces severe environment of permafrost when risk of pitwall instability grows during seasonal thawing of frozen rock mass. This issue is of special concern in the Republic of Sakha (Yakutia). The maximum depth of the local open pit mines has already reached 640 m and will grow down to 850 m in the future. Under deeper level mining conditions, deformation processes become more hazardous in pitwall rock mass. To prevent landslides, it is highly important to carry out pitwall monitoring.

The modern efficient monitoring uses remote equipment in the framework of the surface laser scanning technology. This technology has been enjoying wide application in different industry branches for the last 10 years. The technology increases rates of field operations and ensures safety of monitoring of hard-to-access and hazardous areas in open pit mines.

This article reports the results of researches implemented with surface laser scanning systems by Swiss Leica; such systems have shown good and are applicable to operation under severe climatic conditions. The trial monitoring was performed in Neryungy open pit mine, ALROSA, between May and October 2014. The monitoring revealed hazardous deformation in some areas of the south-east pitwall. The monitoring data were used as the background for elaborating required precautions.

**Keywords:** permafrost, laser scanner, monitoring, open pit mine, reference point, 3D model, horizontals, vertical section.

**References**

1. Seredovich V. A., Komissarov A. V., Komissarov D. V., Shirokova T. A. *Surface laser scanning : monograph*. Novosibirsk : Siberian State University of Geosystems and Geotechnologies, 2009. 261 p.
2. Okhotin A. L., Sobolev A. V. Experience of application of lidar survey in mining. *Interesko Geo-Sibir*. 2008. Vol. 1, No. 1. pp. 219–221.
3. Lyutak A. I. Technology of creation of digital models of open pits with application of laser scanners.

*Problemy razrabotki mestorozhdeniy uglevodородnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh*. 2014. No. 1. pp. 386–388.

4. Dunaev V. A., Oleynik O. V., Ignatenko I. M., Yanitskiy E. B. Distant definition of elements of the cracks bedding during the natural study of deformations of open pit edges. *Izvestiya TulGu. Nauki o Zemle*. 2011. Iss. 1. pp. 107–111.
5. Olenkov V. D., Pronina A. A. Laser scanning technology in restauration of architectural monuments. *Construction and ecology : theory, practice, innovations : collection of reports of the I International scientific-practical conference*. Chelyabinsk : PIRS, 2015. pp. 81–84.
6. Khmyrova E. N., Zhunusova G. E., Besimbaeva O. G., Maksimova M. V. Monitoring of technical state of unique constructions in Astana using modern geodetic instruments. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosemka*. 2013. No. 3. pp. 16–19.
7. Kovanič L., Blištan P. Quarry Wall Stability Assessment Using TLS Method. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 1044-1045. pp. 603–606. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.603
8. Melk E. V., Bubnov A. V. Comparative analysis of the systems of laser scanning in geodesy. *Rossiysa molodaya: peredovye tekhnologii — v promyshlennost*. 2015. No. 1. pp. 236–240.
9. Lyapishev K. M., Pogorelov A. V., Shulyakov D. Yu. Investigation of landslides with application of surface laser scanning technology. *Geodesy, cartography and mine surveying : materials of All-Russian scientific Internet-conference*. Kazan, 2014. pp. 26–32.
10. Ignatenko I. M., Yanitskiy E. B., Zaytsev M. S. Method of assessment of rock modularity in pit edges and lumpiness of rock mass with application of computer technologies. *Izvestiya TulGu. Nauki o Zemle*. 2011. Iss. 1. pp. 112–118.
11. Barbarella M., Fiani M. Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing. *European Journal of Remote Sensing*. 2013. Vol. 46. pp. 126–151.
12. Bin Liang, Chong Yue, Xu Hui Chen, Bing Wang, Xing Kai Sun. The Study of Deformation Monitoring Based on the Ground Three-Dimensional Laser Scanning Technology. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 1022. pp. 387–391.
13. Alba M., Scaioni M. Automatic detection of changes and deformations in rock faced by terrestrial laser scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2010. Vol. XXXVIII, Part 5. Commission V Symposium, BNNewcastle upon Tyne, England. pp. 11–16.
14. Leica Open pit mining Profiles. Profiles & Volumes for Open Pit Mining. Leica Geosystem : [website]. Available at: [http://hds.leica-geosystems.com/en/Open-pit-mining\\_1932.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Open-pit-mining_1932.htm) (accessed: 25.05.2016).
15. Vasiliev I. V., Zarovnyaev B. N., Sorokin V. S., Shubin G. V. Improvement of the system of monitoring of deep open pits. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2012. Special issue No. 7 : *Modern technologies used by mining enterprises*. pp. 211–218.
16. Vasiliev I. V., Zarovnyaev B. N., Shubin G. V. Monitoring of open-pits by laser scanning in the Far North conditions. *Ural mining school — to regions : materials of international scientific-practical conference*. Ekaterinburg, 2015. pp. 230–232.

