

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО БОРТА ГЛАВНОГО КАРЬЕРА АО «ЕВРАЗ КГОК»

А. В. Яковлев¹, Т. М. Переход¹, Е. С. Шимкив¹, Л. В. Тыныныка²

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия;

² АО «ЕВРАЗ КГОК», Свердловская область, Качканар, Россия

Аннотация: Рассмотрена проблема деформирования массива северо-западного борта Главного карьера АО «ЕВРАЗ КГОК». Для исследования деформаций массива и обеспечения безопасности производства горных работ применен комплексный мониторинг, включающий инженерно-геологическое изучение структурно-тектонического строения прибортового массива с картированием неблагоприятно ориентированных протяженных трещин, нарушений и зон дробления пород, инструментальные маркшейдерские наблюдения с использованием электронного тахеометра, площадной мониторинг бортов карьеров с применением наземной лазерной сканирующей системы RIEGL, исследования смещений пунктов геодинимического полигона и оценку изменения напряженно-деформированного состояния массива с помощью технологий спутниковой геодезии. Приведены результаты исследований развития деформаций массива в связи с возобновлением горных работ, в том числе технологических взрывов, в верхней части северо-западного борта. Установлено, что в различные периоды в массиве преобладают гравитационные или тектонические деформации. В начальный период производство взрывных и выемочно-погрузочных работ вызвало увеличение подвижности массива. По мере отработки верхней зоны и понижения горных работ происходит уменьшение амплитуды и скорости смещений массива в направлении выработанного пространства карьера. Для уменьшения деформаций рекомендовано сформировать рабочую зону с одновременной разработкой нескольких уступов с целью выполаживания угла наклона верхней части борта и уменьшения объема призмы активного давления.

Ключевые слова: карьер, борт, устойчивость уступа, массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, комплексный мониторинг, маркшейдерские наблюдения, скорость деформаций.

Благодарность: Статья подготовлена при выполнении Госзадания по теме «Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых» (№ 0405–2019–0005).

Для цитирования: Яковлев А. В., Переход Т. М., Шимкив Е. С., Тыныныка Л. В. Комплексный мониторинг деформирования северо-западного борта Главного карьера АО «ЕВРАЗ КГОК» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–2. – С. 181–191. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_181.

Integrated deformation monitoring of the northwestern wall of Glavny open pit of EVRAZ KGOK

A. V. Yakovlev¹, T. M. Perekhod¹, E. S. Shimkiv¹, L. V. Tynynyka²

¹ Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;

² SGM AO EVRAZ KGOK, Kachkanar, Sverdlovsk region, Russia

Abstract: The article analyzes deformation of the northwestern wall of Glavny open pit of EVRAZ KGOK. The integrated monitoring was applied to study deformations and to ensure safety of mining operations. The integrated monitoring included the engineering and geological study of the structure and tectonics of the pit wall rock mass with mapping of unfavorably oriented extended cracks, faults and fragmentation zones, as well as the instrumental surveying observations using an electronic tacheometer, areal monitoring of the quarry sides with use of the RIEGL ground-based laser scanning system, inspection of displacements of check points of the geodynamic test site, and the estimate of changes in the stress–strain behavior of pit wall rock mass using the satellite geodesy technologies. The studies of deformation development in rock mass after recommencement of mining operations, including blasting on the northwestern pit wall are presented. It is found that gravitational and tectonic deformations prevail periodically. Initially, blasting, excavation and loading operations activated movability of rock mass. Subsequently, after mining-out of upper part of the pit wall and with increasing depth of the open pit, the displacement amplitude and PPV in the direction toward the mined-out void decreased. It is recommended to reduce deformations by implementing simultaneous operation on a few benches to provide the cutback at the top of the pit wall and with intent to diminish the active pressure wedge.

Key words: open pit, pit wall, bench stability, rock mass, stress–strain behavior, integrated monitoring, surveying observations, deformation rate.

Благодарность: The article is prepared under the State Contract on the Methods to Take into Account Transient Technological Processes in Mining Deep-Sated Mineral Deposits of Complex Structure, Topic No. 0405-2019-0005.

For citation: Yakovlev A. V., Perekhod T. M., Shimkiv E. S., Tynynyka L. V. Integrated deformation monitoring of the northwestern wall of Glavny open pit of EVRAZ KGOK. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):181–191. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_181.

Введение

Деформации в массиве скальных горных пород нагорной части северо-западного борта Главного карьера Качканарского ГОК происходят с середины семидесятых годов прошлого века по настоящее время.

Поводом для комплексного исследования массива северо-западного борта Главного карьера послужила необычность его деформационного поведения:

- генеральное смещение оползневого массива происходит в направлении выработанного пространства карьера со скоростью около 1 мм/сут, которую можно считать фоновой;
- наблюдаются периоды активизации сдвижений массива до 20–35 мм/сут (до 60 мм/сут в мае 2006 г.);
- различаются периоды преобладания гравитационного и тектонического сдвижения различных участков оползневого массива;

– в периоды тектонического деформирования наблюдаются разнонаправленные перемещения отдельных участков массива, в том числе по простиранию борта и в массив, часто с изменением направления перемещения реперов на противоположное в смежных сериях наблюдений.

Регулярные инструментальные маркшейдерские наблюдения в районе оползня проводятся маркшейдерской службой Качканарского ГОК по профильной линии, ориентированной по падению борта, а также сотрудниками ИГД УрО РАН по площадной наблюдательной станции, реперы кото-

рой расположены на восьми горизонтах оползневой зоны (рис. 1), с целью получения информации о деформациях массива (величины смещений и деформаций, скорость развития процесса деформирования, границы зоны деформаций) и обеспечения безопасности отработки нижележащих уступов северо-западного борта.

Для оценки степени опасности и понимания механизма деформационного процесса в массиве нагорной части борта, поставленной во временное нерабочее положение с углом наклона 30° , в начале двухтысячных годов были проведены инженерно-гео-

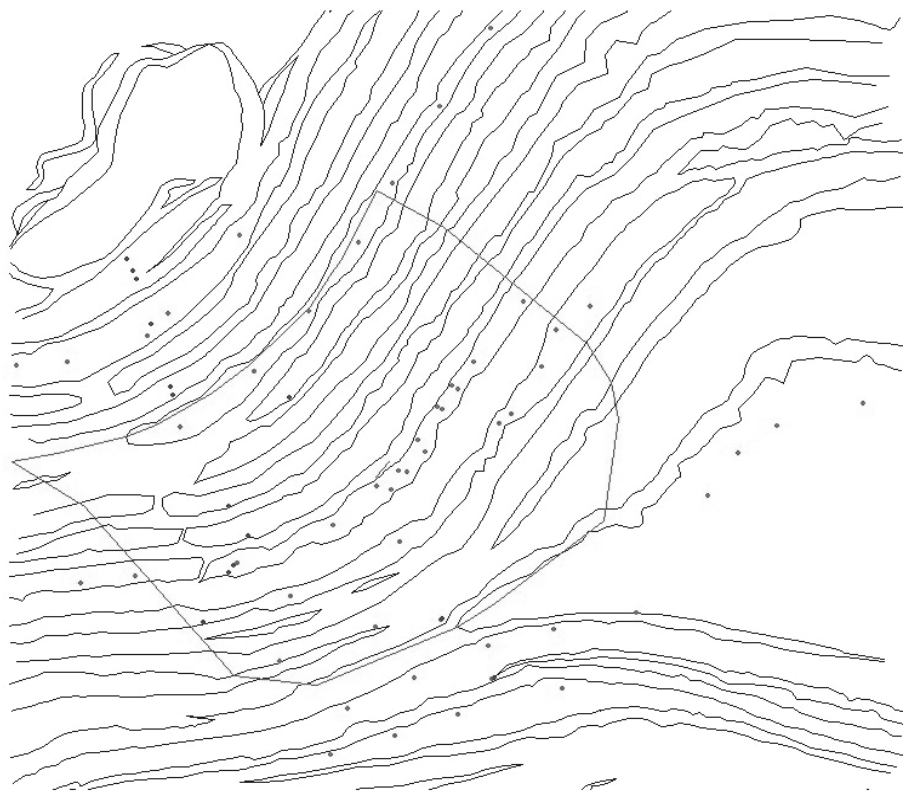


Рис. 1. Схема расположения реперов на оползневом участке северо-западного борта Главного карьера: — — граница опасной зоны; • — реперы маркшейдерской профильной линии; • — реперы наблюдательной станции ИГД

Fig. 1. Layout of reference points on the landslide section of the north-western side of the Main quarry (Glavny): — — border of the danger zone; • — reference points of the survey profile line; • — reference points of the observation station of IM UB RAS

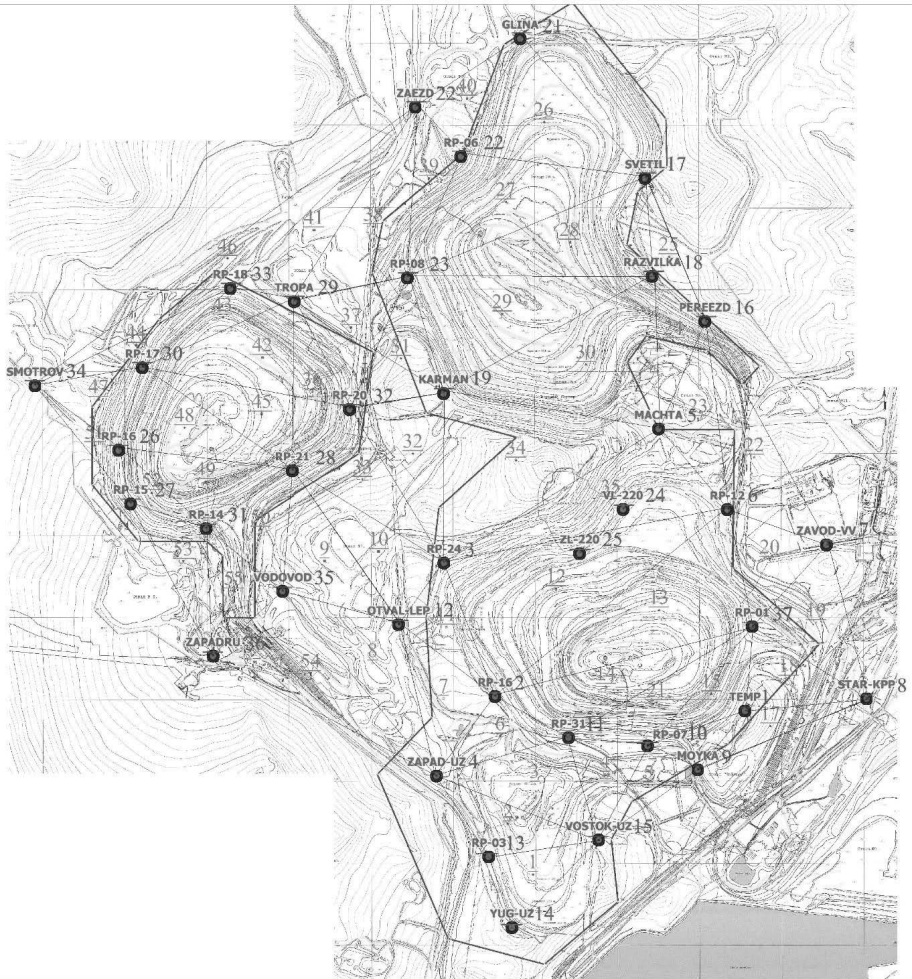


Рис. 2. Схема геодинамического полигона
 Fig. 2. Scheme of the geodynamic polygon

логические и геофизические исследования, результаты которых подробно изложены в [1].

Многочисленными исследованиями установлено, что деформирование бортов карьеров в скальных массивах происходит в гравитационном и тектоническом полях напряжений [2–11]. По мере углубки карьера наблюдается постоянное перераспределение напряжений в прибортовых массивах. Основной причиной оползневых процессов является неупругое деформи-

рование участков массива под воздействием многократных тектонических движений, в результате чего происходит дезинтеграция массива с объединением существующих и вновь образовавшихся трещин и нарушений в поверхность или зону скольжения, формирование оползневой призмы и перемещение оползня в направлении выработанного пространства карьера под воздействием гравитации.

Помимо маркшейдерских наблюдений в 2000–2002 гг., были проведены

наблюдения за подвижностью прибортового массива на оползневом участке с помощью технологий спутниковой геодезии. Рассчитанная по геодезическим данным генеральная направленность перемещений прибортового массива в опасной зоне имеет юго-восточную ориентацию, то есть в карьер. В отдельные периоды отмечается разнонаправленность векторов смещений, что свидетельствует о тектонической природе деформаций массива.

Для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород в 2010 г. был заложён геодинамический полигон (ГП), который включает как существующие пункты маркшейдерского обоснования, так и новые пункты (37 реперов забивного типа). Наблюдательные пункты ГП располагались по периметру всех карьеров АО «ЕВРАЗ КГОК» и в непосредственной близости от них (рис. 2). Исследования смещений пунктов ГП и оценка изменения НДС массива производились в 2010–2011, 2014 и 2019 гг.

Кроме того, с 2016 г. по разработанной маркшейдерской службой Качканарского ГОК методике и утвержденному проекту наблюдательной станции площадного мониторинга бортов карьеров выполняется ежегодная (в мае и сентябре) съемка всех бортов с применением наземной лазерной сканирующей системы RIEGL с целью выявления участков нерабочих бортов карьеров, подверженных деформационным процессам.

Методы

Комплексность мониторинга деформирования северо-западного борта подразумевает применение различных методов исследований:

- инженерно-геологическое изучение структурно-тектонического строе-

ния прибортового массива с картированием неблагоприятно ориентированных протяженных трещин, нарушений и зон дробления пород;

- инструментальные маркшейдерские наблюдения с использованием электронного тахеометра;

- площадной мониторинг бортов карьеров с применением наземной лазерной сканирующей системы RIEGL с целью выявления деформаций;

- исследования смещений пунктов ГП и оценку изменения НДС массива с помощью технологий спутниковой геодезии.

При производстве инструментальных маркшейдерских наблюдений деформационная активность массива определяется изменением пространственных координат реперов, полученных в мониторинговом режиме.

Измерения в разные годы производились двумя способами:

- прямыми засечками рабочих реперов непосредственно на горизонте карьера с привязкой опорных реперов методом обратных засечек к пунктам опорной маркшейдерской сети карьера;

- прямыми засечками реперов наблюдательной станции с двух базовых пунктов, расположенных на противоположном борту карьера и оборудованных столиками для установки тахеометра.

Камеральная обработка результатов наблюдений выполнялась в программном комплексе Credo-DAT (Инженерная геодезия).

По изменениям координат реперов определялись направления и вычислялись величины и скорости вертикальных, горизонтальных и полных пространственных векторов смещений массива.

Съемка прибортовых массивов с помощью наземной лазерной сканирующей системы RIEGL производилась с пунктов съемочной сети.

Камеральная обработка данных, полученных в ходе сканирования, выполняется в программном обеспечении «RiScan PRO». Результатом является получение достоверной цифровой модели поверхности (ЦМП). Анализ результатов наблюдений выполняется путем совмещения полученной ЦМП с ЦМП предыдущей съемки. Изменение цветовой сегментации происходит за счет разности перпендикулярных расстояний между ЦМП. Для сравнения двух ЦМП задан интервал поиска отклонений в 0,25 м. Наличие зеленого цвета и цветового интервала от голубого до желтого указывает, что разница между двумя цифровыми поверхностями незначительна.

Методы и особенности мониторинга подвижности массива с использованием технологий спутниковой геодезии отражены в [12, 13]. Камеральная обработка спутниковых наблюдений проводилась А. А. Панжиным с использованием авторской методики [14–17], апробированной на предприятиях Урала, Сибири и Казахстана.

Результаты

С 2014 г. в верхней части оползневого участка были начаты горные работы по разному северо-западного борта в соответствии с проектом АО «Институт Уралгипроруда» и «Специальным проектом безопасной отработки оползневого участка северо-западного борта Главного карьера» (ИГД УрО РАН).

Отличительными особенностями проектной документации являются:

- ведение горных работ в зоне, опасной по оползневым процессам;
- обеспечение минимального нарушения законтурного массива при производстве буровзрывных работ.

Анализ деформационного поведения массива за период 2014–2020 гг. пока-

зывает, что в начальный период производства взрывных и выемочно-погрузочных работ в районе горы Острая (в верхней части северо-западного борта) произошло увеличение подвижности массива до 3 мм/сут (рис. 3).

В период с июня по октябрь 2015 г. около половины реперов наблюдательной станции смещалась в направлении выработанного пространства карьера.

С октября 2015 г. по май 2016 г. весь оползневой участок сдвигался в карьер, но величины горизонтальных смещений уменьшились почти два раза.

В 2016–2017 гг. деформации постепенно уменьшались. В сентябре 2017 г. сдвижение массива в направлении выработанного пространства карьера отмечалось только на горизонте +280 м на южном участке наблюдательной станции ИГД УрО РАН.

В 2018–2019 гг. преобладали разнонаправленные смещения реперов при наличии локальных участков со сдвижением массива в направлении выработанного пространства карьера на горизонтах +355 м, +280 м и +250 м.

В 2020 г. на фоне разнонаправленных смещений реперов произошло небольшое увеличение скоростей смещения до 1,1 мм/сут на горизонтах +340 м, +310 м и +250 м, что во многом связано с ведением буровзрывных работ над наблюдаемым участком.

Периодическая съемка прибортового массива с помощью наземной лазерной сканирующей системы RiEGL позволяет визуально определить участки деформации. В 2016–2020 гг. зафиксированы лишь локальные обрушения верхней части некоторых уступов (рис. 4), вызванные производством взрывных работ в зоне разноса борта.

По результатам диагностики НДС в границах геодинамического полигона (в 2010–2011, 2014 и 2019 гг.) с использованием технологий спутни-

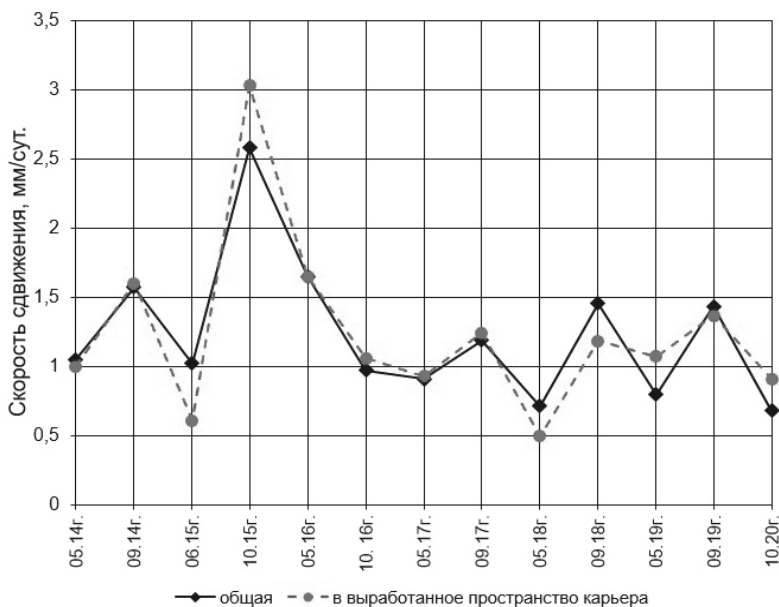


Рис. 3. Средние скорости сдвижения реперов по периодам наблюдений
 Fig. 3. Average rates of reference points movement over the observation periods

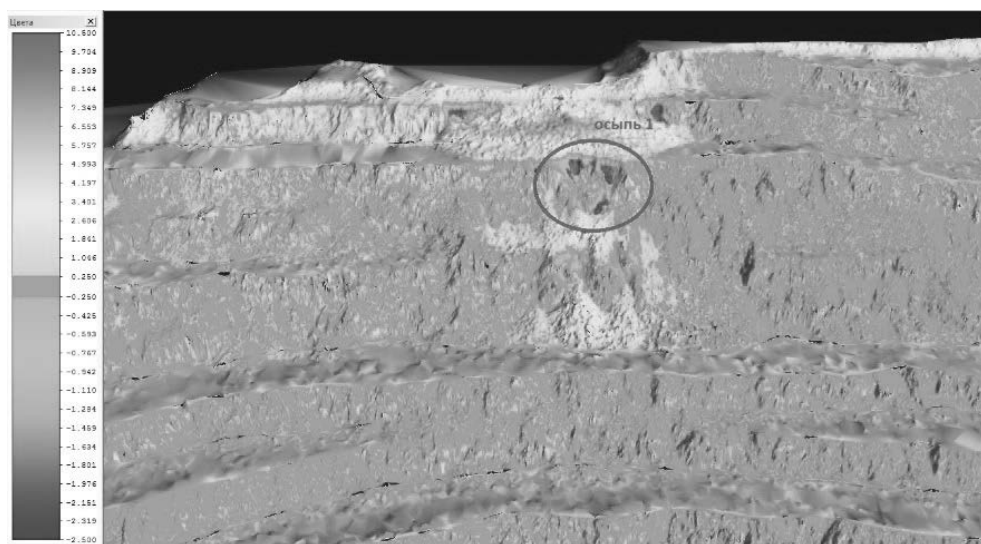


Рис. 4. Осыпь на горизонте +340–310 м (2018 г.)
 Fig. 4. Crumbling on the horizon +340–310 m (2018)

ковой геодезии и определения полных векторов смещений наблюдательных пунктов [18]:

– выявлено современное НДС массива;

– определены зоны концентрации напряжений, их миграция в карьерном пространстве и переход из одного напряженного состояния в другое в разные периоды времени;

– установлены величины и направления главных напряжений σ_1 и σ_2 и их изменчивость во времени в одной и той же точке;

– установлено периодическое изменение величины и направления смещений массива во времени.

Зона максимальных напряжений сжатия до -10 МПа была выявлена на участке, расположенном между Западным и Главным карьерами. Эта величина подтверждена при исследованиях НДС массива на основе тектонофизического метода оценки напряжений и метода дисконирования керн. Впоследствии на данном участке произошла трансформация НДС массива от сжатия к растяжению. Уровень этих напряжений и их изменение во времени вызывают подвижки и изменение структурного строения прибортовых массивов, а следовательно, условий устойчивости бортов карьеров.

Поскольку одной из задач исследований является обеспечение безопасности при производстве горных работ в зоне разноса борта, были произведены расчеты устойчивости борта в современном его положении (с учетом разноса верхних горизонтов) и на проектном контуре.

Результаты расчетов показывают, что коэффициент запаса устойчивости борта в пределах горизонтов $+400$ – (-5) м после его частичного разноса в верхней части увеличился до $n_3 = 1,31$.

Действующим проектом предусматривается разнос северо-западного борта с погашением верхней части борта с поверхности (гор. $+400$ м) до гор. $+190$ м под углом 27° (против существующего угла 30°), ниже гор. $+190$ м до гор. -5 м под углом 32° , ниже гор. -5 м до гор. -140 м (дно карьера) под углом 39° .

Устойчивость проектного контура борта обеспечивается с коэффициентом запаса $n_3 = 1,34$.

Возобновление горных работ в юго-западной части северо-западного борта (в юго-западном направлении от профильной наблюдательной линии маркшейдерской службы АО «ЕВРАЗ КГОК») в пределах горизонтов $+400$ м – $+250$ м, на которых в результате локальных обрушений сформировались строенные и счетверенные уступы, предлагается производить в том же порядке, что и при разносе верхней части борта в зоне деформаций. Расконсервацию уступов (на начальном этапе) рекомендуется производить в направлении с юго-запада на северо-восток поперечными заходками для минимизации последствий возможных обрушений приоткосной части уступов с последующим переходом к нормальным рабочим площадкам, как в центральной и северо-восточной частях северо-западного борта.

В 2019 г. были разработаны рекомендации по изменению схемы вскрытия, параметров рабочей зоны, порядка отработки и постановки в устойчивое положение северо-западного борта Главного карьера, в результате чего при переходе на отработку борта одновременно несколькими уступами с нормальными рабочими площадками достигается уменьшение угла наклона борта в его верхней части, то есть повышается устойчивость прибортового массива.

Заключение

В настоящее время в условиях наличия только локальных деформаций массива в направлении выработанного пространства карьера ограничений в объемах производства горных работ на горизонтах северо-западного борта не предусматривается.

Эти работы следует продолжать, так как разгрузка верхней части борта (уменьшение призмы активного давле-

ния) является радикальным способом нормализации состояния массива.

С начала ведения горных работ по разному борту произведена отгрузка горной массы в объеме более 14 млн м³, что привело к существенному уменьшению деформационной активности массива.

Комплексный мониторинг структурно-тектонического строения, подвижности и напряженно-деформированного состояния массива позволил обеспечить безопасность производства горных работ в районе северо-западного борта Главного карьера Качканарского ГОКа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев А. В., Ермаков Н. И. Устойчивость бортов рудных карьеров при действии тектонических напряжений в массиве. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2006. — 231 с.
2. Семенова И. Э., Козырев А. А., Рыбин В. В., Аветисян И. М. Закономерности перераспределения полей напряжений при формировании глубокой карьерной выемки. — Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: сб. докладов Всероссийской конференции в 2-х томах. Том 2. — М.: ИФЗ РАН, 2012. — С. 326 — 330.
3. Яковлев А. В., Панжин А. А., Ручкин В. И. Мониторинг напряженно-деформированного состояния бортов карьеров ОАО «ЕВРАЗ КГОК» // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: Всероссийская науч.-техн. конф. с междунар. уч. (24—27 сентября 2013). — Апатиты, ГоИ КНЦ РАН, 2013. — С. 83—92.
4. Яковлев В. Л., Яковлев А. В. Оценка напряженного состояния прибортовых массивов карьеров // Физико-техн. проблемы разраб. полезных ископаемых. — 2007. — № 3. — С. 36 — 45.
5. Кузьмин Ю. О. Современная геодинамика: от движений земной коры до мониторинга ответственных объектов // Физика Земли. — 2019. — № 1. — С. 78 — 103.
6. Kasparyan E., Fedotova I. Stress-strain state in the rock mass of the Khibiny deposits and tasks of geodynamical zoning / Proceedings 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. — Albena, Bulgaria. June 16 — 25, 2015. Book 1. Vol. 2. P. 759 — 766.
7. Середин В. В., Хрулев А. С., Пушкарева М. В. Оценка напряженного состояния горных пород и геоматериалов // ФТПРПИ. — 2017. — № 1. — С. 53—57.
8. Qinghua Lei, Ke Gao. A numerical study of stress variability in heterogeneous fractured rockss // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 113. P. 121—133.
9. Кузьмин Ю. О., Жуков В. С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Изд-во МГГУ, 2004. — 262 с.
10. Ловчиков А. В. Техногенная сейсмичность при разработке Ловозерского редкометального месторождения // Триггерные эффекты в геосистемах: материалы IV Всероссийской конференции с международным участием (Москва, 6—9 июня 2017 г.). — М., ИДГ РАН, 2017. — С. 334 — 340.
11. Трофимов В. А., Макеева Т. Г., Флиппов Ю. А. Оценка устойчивости породного массива // Триггерные эффекты в геосистемах: материалы IV Всероссийской конференции с международным участием (Москва, 6—9 июня 2017 г.). — М., ИДГ РАН, 2017. — С. 340—350.
12. Панжин А. А. Пространственно-временной геодинамический мониторинг на объектах недропользования // Горный журнал. — 2012. — № 1. — С. 39—43.
13. Панжин А. А., Панжина Н. А. Об особенностях проведения геодинамического мониторинга при разработке месторождений полезных ископаемых Урала с использованием комплексов спутниковой геодезии // Физико-техн. проблемы разраб. полезных ископаемых — 2012. — № 6. — С. 46—55.

14. Панжин А. А. Исследование гармоник квазипериодических современных деформаций породного массива на больших пространственно-временных базах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 9. — С. 312–331.

15. Панжин А. А. Исследование короткопериодных деформаций разломных зон верхней части земной коры с применением систем спутниковой геодезии // Маркшейдерия и недропользование. — 2003. — № 2(8). — С. 43–54.

16. He X., Hua X., Yu K., Xuan W., Lu T., Zhang W., Chen X. Accuracy enhancement of GPS time series using principal component analysis and block spatial filtering // *Advances in Space Research*. — 2015. — Vol. 55, Issue 5. March. — pp. 1316–1327.

17. He X., Montillet J.-P., Fernandes R., Bos M., Yu K., Hua X., Jiang W. Review of current GPS methodologies for producing accurate time series and their error sources // *Journal of Geodynamics*. — 2017. — Vol. 106. May. — pp. 12–29.

18. Панжин А. А., Панжина Н. А. Исследование геодинамической активности массива горных пород на карьерах и хвостохранилищах Качканарского горно-обогатительного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3–1. — С. 178–187. **ИЗДАНИЕ**

REFERENCES

1. Yakovlev A. V., Ermakov N. I. *Ustoychivost bortov rudnykh karieov pri deystvii tektonicheskikh napryazheniyd massive* [Stability of open pit walls under the action of tectonic stresses in the rock mass]. Ekaterinburg, Institute of Mining, Ural Branch of RAS, 2006, 231 p. [In Russ.]

2. Semenova I. E., Kozyrev A. A., Rybin V. V., Avetisyan I. M. *Zakonomernosti pereraspredeleniya poley napryazheniy pri formirovaniy glubokoy kariernoy vyemki* [Regularities of redistribution of stress fields during the formation of deep open pit], Tretiya tektonicheskaya konferentsiya v IFZ RAN. Tektonofizika i aktualnye voprosy nauk o Zemle: sb. dokladov Vserossiyskoy konferentsii v 2-kh tomakh. Vol. 2, Moscow, the Institute of Earth's Physics of RAS, 2012, pp. 326–330 [In Russ.]

3. Yakovlev A. V., Panzhin A. A., Ruchkin V. I. *Monitoring napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya bortov karieroov OAO "EVRAZ GKOK"* [Monitoring of the stress-deformed state of the open pit wells of JSC EVRAZ Kachkanarsky MPS], Monitoring pri vedenii gornych rabot: Vserossiyskaya nauch.-tekhn. konf. s mezhdunarodnym uch. (September 24–27, 2013). Apatity, GOI KSC RAS, 2013, p. 83–92. [In Russ.]

4. Yakovlev V. L., Yakovlev A. V. *Assessment of Stress State of Near-Edge Rock Masses of Open-Pit Mines*, *Physiko-techn. problemy razrab. poleznykh iskopaemykh*, 2007, no. 3, pp. 36–45. [In Russ.]

5. Kuzmin Yu. O. Modern geodynamics: from movements of the earth's crust to monitoring critical objects, *Fizika Zemli*, 2019, no. 1, pp. 78–103 [In Russ.]

6. Kasparyan E., Fedotova I. *Stress-deformed state in the rock mass of the Khibiny deposits and tasks of geodynamical zoning / Proceedings 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015*. Albena, Bulgaria. June 16–25, 2015. Book 1. Vol. 2. pp. 759–766.

7. Seredin V. V., Khrulev A. S., Pushkareva M. B. *Assessment of the stress state of rocks and geomaterials*, *FTPRPI*. 2017, no. 1, 53–57. [In Russ.]

8. Qinghua Lei, Ke Gao. A numerical study of stress variability in heterogeneous fractured rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019. Vol. 113. p. 121–133.

9. Kuzmin Yu. O., Zhukov V. S., *Sovremennaya geodinamika i variatsii fizicheskikh svoystv gornnykh porod* [Modern geodynamics and variations of physical properties of rocks]. Moscow: Moscow State University Press, 2004, 262 p. [In Russ.]

10. Lovchikov A. V. *Tekhnogennaya seismichnost pri razrabotke Lovozerskogo redkozemel'nogo mestorozhdeniya* [Technogenic seismicity during development of the

Lovozerkiy rare-metal deposit], Triggernye efekty v geosistemakh: materialy IV Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunorodnym uchastiem (Moscow, June 6–9, 2017), Moscow, the Institute of Mining of RAS, 2017, pp. 334–340. [In Russ.].

11. *Trofimov V. A., Makeeva T. G., Filippov Yu. A. Otsenka ustoychivosti porodnogo massiva* [Assessment of rock mass stability], Triggernye efekty v geosistemakh: materialy IV Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunorodnym uchastiem (Moscow, June 6–9, 2017), Moscow, the Institute of Mining of RAS, 2017, pp. 340–350. [In Russ.].

12. *Panzhin A. A. Spatial-Temporal Geodynamic Monitoring at Mining Objects*, Gornyy zhurnal, 2012, no. 1, pp. 39–43 [In Russ.].

13. *Panzhin A. A., Panzhina N. A. On the Peculiarities of Geodynamic Monitoring in the Development of Mineral Deposits of the Urals with the Use of Satellite Geodesy Complexes*, Fiziko-tekhn. problemy razrab. poleznykh iskopaemykh, 2021, no. 6, 46–55 [In Russ.].

14. *Panzhin A. A. Study of Harmonics of Quasi-Periodic Recent Deformations of Rock Mass at Large Spatial and Temporal Databases*, MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2010, no. 9, pp. 312–331 [In Russ.].

15. *Panzhin A. A. Study of Short-Period Deformations of Fault Zones of the Upper Part of the Earth's Crust Using Satellite Geodesy Systems*, Marksheideriya and nedropolzovanie, 2003, no. 2(8), 43–54 [In Russ.].

16. *He X., Hua X., Yu K., Xuan W., Lu T., Zhang W., Chen X. Accuracy enhancement of GPS time series using principal component analysis and block spatial filtering. Advances in Space Research.* 2015. Vol. 55, Issue 5. March. pp. 1316–1327.

17. *He X., Montillet J.-P., Fernandes R., Bos M., Yu K., Hua X., Jiang W. Review of current GPS methodologies for producing accurate time series and their error sources. Journal of Geodynamics.* 2017. Vol. 106. May. pp. 12–29.

18. *Panzhin A. A., Panzhina H. A. Study of the Geodynamic Activity of the Rock Mass in the Open-Pit Mines and Tailings of the Kachkanarsky Mining and Processing Plant*, MIAB. Mining Inf. Anal. Bull., 2020, no. 3–1, 178–187 [In Russ.].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Яковлев Алексей Викторович*¹ – зав. лабораторией открытой геотехнологии, канд. техн. наук;

*Переход Татьяна Максимовна*¹ – ведущий инженер,

*Шимкив Екатерина Сергеевна*¹ – научный сотрудник;

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия, lubk_igd@mail.ru;

Тыныныка Лариса Викторовна – начальник маркшейдерского отдела карьеров рудоуправления СГМ, АО «ЕВРАЗ КГОК», 624350, Свердловская область, г. Качканар, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yakovlev A. V., Head of Laboratory of Open Geotechnology, Cand. Sci. (Eng.),

Perekhod T. M., Leading Engineer,

Shimkiv E. S., Research Worker,

Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia, lubk_igd@mail.ru;

Тыныныка L. V., Head of the mine surveying department of SGM AO EVRAZ KGOK, Kachkanar, Sverdlovsk region, Russia.

Получена редакцией 15.12.2020; получена после рецензии 19.04.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 15.12.2020; received after the review 19.04.2021; accepted for printing 10.04.2021.