УДК 622.271.3

# А.С. Калюжный

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАРУШЕННОЙ ЗОНЫ И ОБЪЕМОВ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВЫВАЛОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ КАРЬЕРА «ОЛЕНИЙ РУЧЕЙ»\*

Приведены результаты исследования нарушенного состояния уступов на опытно-промышленном участке карьера «Олений ручей». В качестве критерия состояния прибортового массива в условиях скальных пород выбрана мощность нарушенной зоны, которая формируется в приповерхностной зоне, из которой в большинстве случаев происходят вывалы. В работе применялись следующие методы исследования: визуальный, телевизионного контроля скважин, сейсмического профилирования. Визуальным методом на поверхности откоса уступа установлена мощность зоны дезинтегрированных пород. Методом телевизионного контроля скважин удалось установить 3 зоны состояния массива: зона дезинтегрированных пород, зона нарушенного состояния пород (3-6 трещин на метр), ненарушенная зона (0-2 трещины на метр). С помощью метода сейсмотомографии установлена мощность покрывающих пород на подошве уступа. На основании проведенных исследований предложена типовая схема техногенной деструкции прибортового массива пород. Также в работе сделана попытка определения размера возможного вывала на данном участке борта карьера. При установленной мощности нарушенной зоны 3 м длина возможного вывала по фронту составляет порядка 14 м, а его объем около 100 м<sup>3</sup>. При уменьшении мощности нарушенной зоны до 1 м, длина вывала по фронту составит 4 м, а объем его уменьшится более чем на порядок – до 4 м<sup>3</sup>, что позволит уменьшить риски нарушения технологического режима при ведении открытых горных работ. Ключевые слова: геомеханика, геофизика, нарушенное состояние, сейсмотомография, карьер, борт, вывал.

**3** а последние 20 лет глубина карьеров во всем мире значительно увеличилась, а горно-геологические условия ухудшились, что связано, прежде всего, с изменением физических

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. С. 403–412. © 2016. А.С. Калюжный.

<sup>\*</sup> Исследования выполнены в рамках гранта по приоритетному направлению деятельности РНФ «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» № 14-17-00751 (научн. рук. проф. А.А. Козырев).

свойств пород и их напряженно-деформированного состояния с глубиной. Так, например самыми глубокими карьерами в мире считаются: карьер «Бингам-Каньон» глубиной порядка 1200 м, расположенный в США, штат Юта [1]; карьер «Чукикамата», глубиной более 850 м Чили [2]; карьер «Палабора», глубиной около 700 м ЮАР [3], карьер «Фимистон», глубиной более 660 м Австралия [4]. Средняя глубина карьеров рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» и «Центральный» АО «Апатит», расположенных в России на Кольском полуострове, уже превысила отметку 400 м. В таких условиях безопасность ведения горных работ требует повышенного внимания.

Увеличение глубины карьера со снижением объема вскрышных пород без разноса борта возможно только за счет увеличения угла его наклона. Горным институтом КНЦ РАН накоплен огромный опыт по обоснованию рациональных конструкций бортов карьеров [5, 6], который на протяжении нескольких последних лет переносится и на карьер «Олений ручей». Месторождение Олений ручей находится в западной части Хибинского массива, расположенного в центральной части Кольского полуострова. Карьер «Олений ручей» отрабатывается АО «Северо-Западная фосфорная компания», которое было основано более 10 лет назад. За это время предприятием добыто более 10 млн т апатит-нефелиновой руды и выработано около 2 млн т апатитового концентрата [7].

Для организации работ по отработке технологии постановки борта карьера на конечный контур с использованием высоких вертикальных уступов на карьере «Олений ручей» был организован опытно-промышленный участок (ОПУ). При этом выбор места расположения ОПУ был сделан в соответствии со следующими требованиями:

- ОПУ должен быть достаточно представительным с точки зрения инженерно-геологических и геомеханических условий [8, 9] и находится со стороны висячего бока рудного тела;
- удобство положения ОПУ с точки зрения технических возможностей рудника по его организации и возможности проведения опытно-промышленных работ.

В результате рассмотрения различных вариантов место расположения ОПУ было выбрано на западном участке борта со стороны висячего бока рудного тела.

Оценка устойчивости уступов с вертикальными откосами и борта карьера, проведенная ранее [10] показывает, что при высоте уступа 30 м его коэффициент запаса устойчивости  $n_v \approx 1,53$ .

Для участка борта со стороны висячего бока рудного тела  $n_{\rm fopr1} \approx 1,45-1,76$ , со стороны лежачего бока  $n_{\rm fopr2} \approx 2,8$ . Необходимо отметить, что со стороны лежачего бока рудного тела находится Главный разлом, залегающий по направлению рудного тела под углом  $40-45^\circ$ , что не позволяет производить формирование борта с этой стороны под углами, превышающими эти значения.

В декабре 2013 г. были выполнены работы по формированию первого 30-ти метрового уступа с вертикальным углом откоса. Визуально состояние уступа можно было охарактеризовать как удовлетворительное. Уступ сохраняет свое устойчивое состояние. На сегодняшний день сформирован ряд уступов с вертикальными откосами в пределах гор. + 390 м ÷ гор. + 330 м протяженностью около 250 м.

Для контроля нарушенного состояния массива пород использовали визуальные наблюдения, телевизионный контроль скважин (ТКС) и сейсмический метод.

В качестве визуального контроля использовали фотопанорамы (пример на рис. 1), полученные с противоположного участка борта карьера, на которых выделялись участки, где прослеживается зона дезинтегрированных (разбитых вследствие ведения горных работ) пород по поверхности откоса. В ходе анализа фотопанорам установлено, что мощность раздробленных пород от верхней бровки уступа по поверхности откоса в сторону нижней бровки составляет от 2 до13 м.

Комплекс телевизионного контроля скважин (ТКС) предназначен для видеоконтроля технологических, геологоразведочных, контрольных, взрывных и других видов скважин, труб и отверстий с целью определения степени трещиноватости околоскважинного пространства и разрушения стенок скважин,

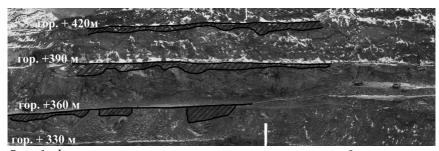


Рис. 1. Фотопанорама опытно-промышленного участка борта карьера, заштрихованные участки — область дезинтегрированных пород



Рис. 2. Фотопанорама участка проведения сейсмопофилирования; штриховкой показана исследуемая область

наличие включений, прожилков, трещин [11]. С помощью него определена зона дезинтегрированных пород, расположенных в верхней части уступа, а также количество трещин на метр для каждой скважины. Мощность этой зоны составляет от 1 до 7 м. Помимо этого определены зоны различной трещиноватости. Установлено, что зона с трещиноватостью 3—6 тр/м располагается ниже зоны дезинтегрированных пород и имеет мощность около 3 м. Трещиноватость в этой зоне обусловлена как природными, так и техногенными факторами и, прежде всего, влиянием буро-взрывных работ (БВР). Ниже зоны трещиноватых пород расположены нетронутые породы, количество трещин на метр в которых не превышает 2.

Так же на данном участке проводилось сейсмическое профилирование [12, 13]. Разметка сейсмотомографического полигона выполнялась с шагом между датчиками и источниками 5 м и расстоянием от внутренней бровки уступа 14—18 м. Установка датчиков проводилась при помощи вмораживания их в снежный и ледяной покров поверхности бермы уступа. Возбуждение и прием упругих колебаний осуществляли вдоль общего профиля. При сейсмопрофилировании полезные волны имели малую амплитуду в виду наличия между сейсмоприемниками и массивом раздробленной и недостаточно утрамбованной породы.

Фотопанорама участка, на котором проводились исследования, показана на рис. 2. На рис. 3 представлена скоростная модель массива этого участка. Оба рисунка имеют примерно одинаковый масштаб для более наглядного представления.

На скоростной модели (рис. 3) четко выражена зона малых скоростей, которая находится в верхней его части и характе-

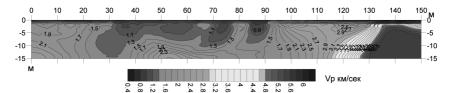


Рис. 3. Скоростная модель волн исследуемого участка

ризуется скоростями  $V_{\rm p}\approx 0.4-1.5$  км /сек. Эта зона приурочена к раздробленным породам, покрывающим подошву бермы уступа. Мощность этой зоны составляет от 2 до 5 м. Результаты сейсмического профилирования подтверждают наличие зоны дезинтегрированных пород, которая выявлена визуальным способом и комплексом ТКС.

На основе результатов исследований нарушенного состояния прибортового массива опытно-промышленного участка карьера «Олений ручей» составлена принципиальная схема техногенной деструкции (рис. 4), на которой выделены три ее степени и определены количественные характеристики трещиноватости. Первая степень техногенной деструкции (черный цвет) сильно разрушенные породы (массив полностью разбит); вторая степень (серый цвет) слабо- и средненарушенный массив (2—6 трещин на метр); третья степень (светло-серый цвет) ненарушенный массив (0—2 трещины на метр).

Таким образом, исходя из общих соображений, можно принять мощность нарушенной зоны для данного участка борта карьера равной 3 м.

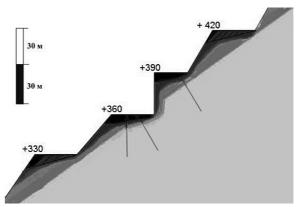


Рис. 4. Степени техногенной деструкции борта на опытно-промышленном участке карьера «Олений ручей»

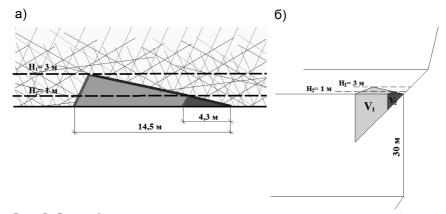


Рис. 5. Схема формирования потенциальных вывалов при различной мощности нарушенной зоны (для условий ОПУ карьера «Олений ручей»): а) план уступа с нанесенными системами трещин; б) объемная схема формирования потенциального вывала; — системы трещин,  $H_1$  и  $H_2$  — мощность нарушенной зоны 1 м и 3 м соответственно;  $V_1$  и  $V_2$  — объем возможного вывала при мощности нарушенной зоны 1 м и 3 м соответственно

Сопоставив имеющиеся данные о системах трещин, задокументированных на этом участке, с полученной мощностью нарушенной зоны, разработана схема формирования потенциальных вывалов (рис. 5). Данная схема показывает, что при мощности нарушенной зоны  $H_1 \approx 3$  м линейная длина вывала по фронту составляет 14 м, а объем вывала при этом  $V_1 \approx 100$  м³. Уменьшив глубину мощности нарушенной зоны до  $H_2 \approx 1$  м, линейная длина по фронту вывала составит ориентировочно 4 м, а объем вывала уменьшится до  $V_2 \approx 4$  м³, что позволит обезопасить подоткосное пространство путем механизированной зачистки верхней бровки уступа.

В результате выполненного комплекса работ по изучению нарушенного состояния массива пород установлено, что мощность дезинтегрированных пород в верхней части уступа изменяется в пределах от 2 до 13 м. Мощность нарушенной зоны составляет ориентировочно 3 м. Количество трещин в нарушенной зоне изменяется от 2 до 6 тр/м. В соответствии с разработанной схемой формирования вывалов установлено, что при существующей мощности нарушенной зоны 3 м объем потенциального вывала составляет ориентировочно 100 м³, при уменьшении этой зоны до 1 м объем уменьшится примерно до 4 м³, что позволит производить механизированную зачистку верхней бровки и обезопасить подоткосное пространство. По-

лученные результаты свидетельствуют об актуальности дальнейшего совершенствования способа щадящего взрывания при постановке уступов на конечный контур [14] применительно к условиям массива пород карьера «Олений ручей». Помимо этого, для обеспечения необходимого уровня безопасности требуется разрабатывать методы крепления карьерных откосов, а так же организовать систему мониторинга устойчивости, как отдельных уступов, так и борта карьера в целом [15, 16].

В заключение необходимо сказать, что в связи с изменением экономической конъюнктуры предприятием было принято решение приостановить работы по изменению конструкции конечного контура борта карьера и ускорить работы по переходу на подземный способ добычи. Помимо этого, современная трактовка экспертным сообществом п. 531 «Правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» [17] затрудняет обоснование возможности формирования бортов карьеров новой конструкции с использованием уступов с вертикальными углами откосов.

Автор выражает благодарность научному руководителю проф. д.т.н. А.А. Козыреву, к.т.н. В.В. Рыбину, К.Н. Константинову, Ю.А. Старцеву за полезные советы и замечания при написании работы, помощь в исследованиях.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Dowling J., Beale G., Bloom J.* Designing a Large Scale Pit Slope Depressurization System at Bingham Canyon // International Mine Water Association Annual Conference. Reliable Mine Water Technology. 2013. Vol. I, pp. 119–125.
- 2. Tapia A., Contreras L.F., Jefferies M., Steffen O. Risk evaluation of slope failure at the Chuquicamata mine // Slope Stability 2007. Proceedings of 2007 International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering (ed. Y Potvin). 2007. pp. 477–495.
- 3. Brummer R. K., Li H., Moss A., Casten T. The Transition from Open Pit To Underground Mining: An Unusual Slope Failure Mechanism at Palabora / Proceedings of International Symposium on Stability of Rock Slopes in OpenPit Mining and Civil Engineering, The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2006. pp. 411–420.
- 4. Wines D. R., Lilly P. A., Measurement and analysis of rock mass discontinuity spacing and frequency in part of the Fimiston Open Pit operation in Kalgoorlie, Western Australia: a case study // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2002, Vol. 39, no 5. 2002. pp. 589 602.
- 5. Мельников Н. Н., Козырев А. А., Решетняк С. П., Каспарьян Э. В., Рыбин В. В., Мелик-Гайказов И. В., Свинин В. С., Рыжков А. Н. Концептуальные основы оптимизации конструкции бортов карьеров Кольского полуострова в конечном положении / Труды 8-го международно-

- го симпозиума «Горное дело в Арктике» / Под ред. Н.Н. Мельникова, С.П. Решетняка. Апатиты. Мурманская область. Россия. 20–23 июня 2005 г. СПб.: изд. «Типография Иван Федоров», 2005. С. 2–14.
- 6. Козырев А.А., Рыбин В.В., Билин А.Л., Фокин В.А., Мелик-Гай-казов И.В. Обоснование конструкций устойчивых бортов карьеров в массивах скальных тектонически-напряженных пород // Горный журнал. -2010.-N 9. C. 24-27.
- 7. *Мельников Н. Н.*, *Федоров С. Г.* Инновационный проект освоения месторождения Олений Ручей в Хибинах // Горный журнал. 2010. 100. —
- 8. Рыбин В. В., Калюжный А. С., Потапов Д. А. Геомеханическое обоснование параметров борта карьера на месторождении «Олений ручей» и мониторинг его устойчивости / Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: докл. Всеросс. научтехн. конф. с междунар. участием 24—27 сентября 2013 г. Российская академия наук, Отделение наук о земле РАН, Горный ин-т Кольского научного центра РАН. Апатиты; СПб., 2013. С. 180—187.
- 9. *Рыбин В.В.*, *Потапов Д.А.* Районирование карьерного поля месторождения Олений ручей по глубине с использованием геомеханической классификации профессора Д. Лобшира // Проблемы недропользования. 2014. 1. —
- 10. Калюжный А.С. Оценка устойчивости уступа с вертикальным углом откоса и борта карьера на месторождении Олений ручей / Геотехнология и обогащение полезных ископаемых. Материалы VI Школы молодых ученых (Апатиты, 19—20 ноября 2014 г.) Горн. ин-т Кол. Науч. Центра РАН. Апатиты: УНЦ РАН, 2015. С. 41—45.
- 11. Шкуратник В. Л., Тимофеев В. В., Ермолин А. А., Рыбин В. В., Константинов К. Н. Телевизионный мониторинг скважин на рудниках Кольского полуострова // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2009. -№ 2. -C. 76-84.
- 12. *Шерифф Р., Гелдарт Л.* Сейсморазведка: В 2-х т. Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 448 с., ил.
- 13. Панин В. И., Старцев Ю. А. Контроль динамики напряженно-деформированного состояния геологической среды при горных работах методом сейсмической томографии // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2011. № 9. C. 223-230.
- 14. Каспарьян Э. В., Рыбин В. В., Старцев Ю. А. Применение сейсмотомографических исследований для геомеханического мониторинга участка борта карьера // Вестник Кольского научного центра РАН. 2011. № 3(6). С. 30—33.
- 15. Фокин В.А., Тарасов Г.Е., Тогунов М.Б., Данилкин А.А., Ши-тов Ю.А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на предельном контуре карьеров. Апатиты: изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. 224 с.
- 16. Жиров Д. В., Рыбин В. В., Климов С. А. Мелихова Г. С. Завьялов А. А. Проведение комплексного инженерно-геологического районирования для обоснования объектов и видов работ по закреплению / стабилизации уступов карьера; Часть 1 // Инженерная Защита. 2014. № 02(02). С. 22—31.

17. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». — СПб.: ЦОТПБСППО, 2014. — 216 с. пав

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Калюжный Антон Сергеевич — младший научный сотрудник, e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru, Горный институт Кольского научного центра РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 7, pp. 403-412.

UDC 622.271.3 A.S. Kalyuzhnyy

DEFINING THE PARAMETERS
OF FRACTURED ZONE AND VOLUME
OF POTENTIAL CAVINGS FOR THE CONDITIONS
OF THE OLENIY RUCHEY OPEN PIT

The paper presents the research results on the disturbed state of pit walls at the experimental-industrial site of the Oleniy Ruchey open pit. In the subsurface area a fractured zone is generated where cavings occur in most cases. Thickness of this zone is chosen as a criterion for pit wall rock mass state under hard rocks conditions. The paper used the following methods: visual, television monitoring of boreholes, seismic profiling. The visual method has established thickness of the disintegrated rock zone on the surface of the bench's slope. The borehole television monitoring method has managed to establish 3 zones of the rock mass: a zone of disintegrated rock, an area of disturbed state of rocks (3-6 fractures per meter), and an undisturbed zone (0-2 fractures per meter). The seismic tomography method was used to define the thickness of overburden rocks on the bench's bottom. A typical scheme of mininginduced destruction of the pit wall rock mass was proposed on the basis of the research. The author also makes an attempt to determine the size of the potential caving in the pit wall area given. With the defined 3 m thickness of the fractured zone, the length of a possible rock caving along the front is approximately 14 m, and its volume about 100 m3. If the thickness of the fractured zone reduces to 1 m, length of the caving along the front is 4 m, and its volume reduces by more than an order up to 4 m3, which will reduce the risks of a technological regime violation in open mining.

Key words: geomechanics, geophysics, disturbed state, seismic tomography, open pit, pit wall, caving.

### **AUTHOR**

*Kalyuzhnyy A.S.*, Junior Researcher, e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru, Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia.

### ACKNOWLEDGEMENTS

The studies have been supported by the Russian Science Foundation within the priority area of fundamental research and exploration by separate research groups, Grant No. 141700751 (research manager—A.A. Kozyrev).

# REFERENCES

- 1. Dowling J., Beale G., Bloom J. Designing a Large Scale Pit Slope Depressurization System at Bingham Canyon. *International Mine Water Association Annual Conference. Reliable Mine Water Technology.* 2013. Vol. I, pp. 119–125.
- 2. Tapia A., Contreras L.F., Jefferies M., Steffen O. Risk evaluation of slope failure at the Chuquicamata mine. *Slope Stability 2007. Proceedings of 2007 International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering* (ed. Y Potvin). 2007. pp. 477–495.
- 3. Brummer R. K., Li H., Moss A., Casten T. The Transition from Open Pit To Underground Mining: An Unusual Slope Failure Mechanism at Palabora. *Proceedings of International Symposium on Stability of Rock Slopes in OpenPit Mining and Civil Engineering, The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2006. pp. 411–420.
- 4. Wines D. R., Lilly P.A., Measurement and analysis of rock mass discontinuity spacing and frequency in part of the Fimiston Open Pit operation in Kalgoorlie, Western Australia: a case study. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2002, Vol. 39, no 5, 2002, pp. 589 602.
- 5. Mel'nikov N.N., Kozyrev A.A., Reshetnyak S.P., Kaspar'yan E.V., Rybin V.V., Melik-Gaykazov I.V., Svinin V.S., Ryzhkov A.N. *Trudy 8-go mezhdunarodnogo sim-poziuma «Gornoe delo v Arktike»*. Pod red. N.N. Mel'nikova, S.P. Reshetnyaka. Apatity. 20–23 iyunya 2005 g. (Proceedings of the 8th International symposium «Mining in the Arctic», Melnikov N.N., Reshetnyak S.P. (Eds.), 20–23 June 2005), Saint-Petersburg, izd. «Tipografiya Ivan Fedorov», 2005, pp. 2–14.
- 6. Kozyrev A.A., Rybin V.V., Bilin A.L., Fokin V.A., Melik-Gaykazov I.V. *Gornyy zhurnal*. 2010, no 9, pp. 24–27.
  - 7. Mel'nikov N. N., Fedorov S. G. *Gornyy zhurnal*. 2010, no 9, pp. 36–39.
- 8. Rybin V.V., Kalyuzhnyy A.S., Potapov D.A. *Monitoring prirodnykh i tekhnogennykh protsessov pri vedenii gornykh rabot: doklady Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem 24–27 sentyabrya 2013 g.* (Mining & Monitoring: natural and mining-induced processes, Proceedings of the International Conference 24–27 September, 2013), Apatity; Saint-Petersburg, 2013, pp. 180–187.
  - 9. Rybin V. V., Potapov D. A. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2014, no 1, pp. 44–52.
- 10. Kalyuzhnyy A. S. *Geotekhnologiya i obogashchenie poleznykh iskopaemykh. Materialy VI Shkoly molodykh uchenykh.* Apatity, 19–20 noyabrya 2014 g. (Geotechnology and mineral processing. Proceedings of the VI School of young scientists. Apatity, Russia, November 19–20, 2014), Apatity, UNTs RAN, 2015, pp. 41–45.
- 11. Shkuratnik V. L., Timofeev V. V., Ermolin A. A., Rybin V. V., Konstantinov K. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*'. 2009, no 2, pp. 76–84.
- 12. Sheriff R., Geldart L. *Seysmorazvedka*: V 2-kh t. Per. s angl. (Seismic prospecting: 2 volumes. English—Russian translation), Moscow, Mir, 1987, 448 p.
- 13. Panin V.I., Startsev Yu.A. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2011, no 9, pp. 223–230.
- 14. Kaspar'yan E.V., Rybin V.V., Startsev Yu.A. Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2011, no 3(6), pp. 30–33.
- 15. Fokin V.A., Tarasov G. E., Togunov M. B., Danilkin A.A., Shitov Yu.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii burovzryvnykh rabot na predel'nom konture kar'erov* (Advancement of a drilling-lasting technology for the open pits' final position), Apatity, izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2008, 224 p.
- 16. Zhirov D. V., Rybin V. V., Klimov S. A. Melikhova G. S. Zav'yalov A. A. *Inzhenernaya Zashchita*. 2014, no 02(02), pp. 22–31.
- 17. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh» (Federal rules and regulations on industrial safety «Safety regulations in mining and mineral processing»), Saint-Petersburg, TsOTPBSPPO, 2014, 216 p.