

УДК 622.271.3

**В.В. Рыбин, А.С. Калюжный, К.Н. Константинов,  
Ю.А. Старцев, Д.А. Потапов, В.И. Панин**

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕСТРУКЦИИ БОРТА КАРЬЕРА КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ\***

Приведены результаты определения степени техногенной деструкции приконтурного массива пород в пределах ОПУ на карьере «Олений ручей» комплексом геофизических методов. Приведены количественные характеристики трещиноватости, а так же мощности выявленных нарушенных зон.

Ключевые слова: геомеханика, геофизика, сейсмотомография, карьер, борт, деструкция.

---

### **Введение**

**В** связи с развитием открытой геотехнологии как на новых месторождениях, так и при углублении горных работ на существующих карьерах возрастает роль геомеханического мониторинга бортов, важной составляющей частью которого является геофизические методы, использованные при обосновании технологических параметров карьера «Олений ручей».

Апатит-нефелиновое месторождение Олений ручей расположено в Мурманской области в юго-восточной части Хибинского массива, с середины 2000-х гг. на базе которого было образовано ЗАО «Северо-западная Фосфорная Компания» и началась добыча руды открытым способом [1]. Параллельно с открытой добычей строится подземный рудник, поскольку впоследствии предусматривается переход на подземный способ добычи. В то же время существует возможность улучшить технико-экономические показатели выемки открытым

способом, в частности за счет формирования борта карьера с более крутым по сравнению с существующим проектом генеральным углом откоса со стороны висячего бока рудной залежи. Основой для осуществления этого предложения является обоснование возможности применения на конечном контуре карьера уступов с вертикальными углами откосов.

В соответствии с концепцией геомеханического обоснования рациональных конструкций бортов карьеров в скальных тектонически напряженных массивах, разработанной Горным институтом КНЦ РАН, в карьере организован опытно-промышленный участок (ОПУ), в пределах которого проводятся экспериментальные определения параметров геомеханического состояния приконтурного массива пород [2, 3]. Выполнены определения физических свойств горных пород, структурной нарушенности массива, которые дают представление о напряженно-деформированном состо-

---

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

янии приконтурного массива пород [4, 5]. При этом одним из основных параметров геомеханического состояния массива является мощность нарушенной зоны, которая характеризует степень деструкции борта карьера под влиянием как природных, так и техногенных факторов. Ниже приводятся результаты определения степени техногенной деструкции приконтурного массива пород в пределах ОПУ на карьере «Олений ручей» комплексом геофизических методов.

### **Методика определения параметров деструкции**

Для контроля нарушенного состояния массива использовали визуальные наблюдения за состоянием карьерных уступов, телевизионный контроль скважин (ТКС) и сейсмический метод.

Визуальное наблюдение заключается в анализе фотографий поверхности уступов, выявлении на контуре откоса толщи раздробленной (дезинтегрированной) горной породы вследствие выполнения буровзрывных и экскавационных работ.

Комплекс ТКС предназначен для видеоконтроля технологических, геологоразведочных, контрольных, взрывных и других видов скважин, труб и отверстий. Он позволяет определить степень трещиноватости околоскважинного пространства, оценить разрушение стенок скважин, наличие включений, прожилков, трещин, наличие и направление водопритоков в сухих и обводненных скважинах. При помощи ТКС определялась зона дезинтегрированных пород, расположенных в верхней зоне уступа, а также количество трещин на метр для каждой скважины [6].

Сейсмические исследования проводили в варианте сейсмического профилирования – метод сейсморазведки, где источники и приемники сейсмических сигналов расположены на одной

линии. Применяется в массивах пород, где имеется градиент скоростей волн с глубиной или в слоистых средах. Метод основан на свойстве сейсмических волн искривляться (дифрагированные волны) в градиентных средах и, или преломляться на контакте пород с различными скоростями волн [7].

Для выполнения сейсмического профилирования выполнена разметка сейсмотомографического полигона (установлены реперы-источники и реперы-приемники сейсмических сигналов) с шагом между датчиками и источниками 5 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. Упругие колебания возбуждаются ударом кувалды по металлической подкладке посередине между реперами приемников. Количество ударов-накоплений сигнала составляло 20 раз. Для регистрации упругих колебаний применяли 24-канальную сейсмостанцию SmartSeis-SE. Обработка наблюдений выполнена с помощью специализированной программы «XТomo-LM» по методике 2-D томографии.

### **Результаты исследований и их анализ**

Визуальные наблюдения проводили путем получения фотопанорам с противоположного участка борта карьера, на которых (рис. 1) выделяли участки, где прослеживается зона дезинтегрированных пород по поверхности откоса. Мощность этой зоны составляет от 2 до 13 м для разных участков уступов.

Комплексом ТКС определена мощность зоны дезинтегрированных пород, которая составляет от 1 до 7 м. Также установлены зоны различной трещиноватости. Зона с трещиноватостью 3–6 тр/м располагается ниже



**Рис. 1. Фотопанорама опытно-промышленного участка борта карьера**



**Рис. 2. Фотопанорама участка проведения сейсмотофолирования**

зоны дезинтегрированных пород и имеет мощность от 10 до 30 м. Трещиноватость в этой зоне обусловлена как природными факторами, так и техногенными, прежде всего влиянием БВР. Ниже зоны трещиноватых пород расположены нетронутые породы, количество трещин на метр здесь не превышает 2. Вся трещиноватость обусловлена здесь лишь природными факторами.

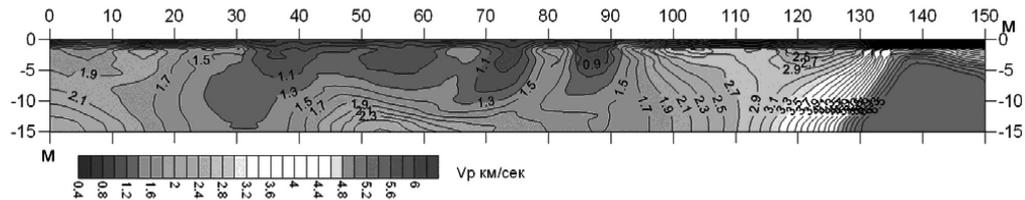
При сейсмотофолировании полезный сигнал имел низкую частоту (порядка 130 Гц), поэтому помехи от бурения взрывных скважин частотой

200 Гц и выше были отфильтрованы. Полезные волны имели малую амплитуду, что связано с наличием между сейсмотофоликами и массивом насыпанной и недостаточно утрамбованной породы.

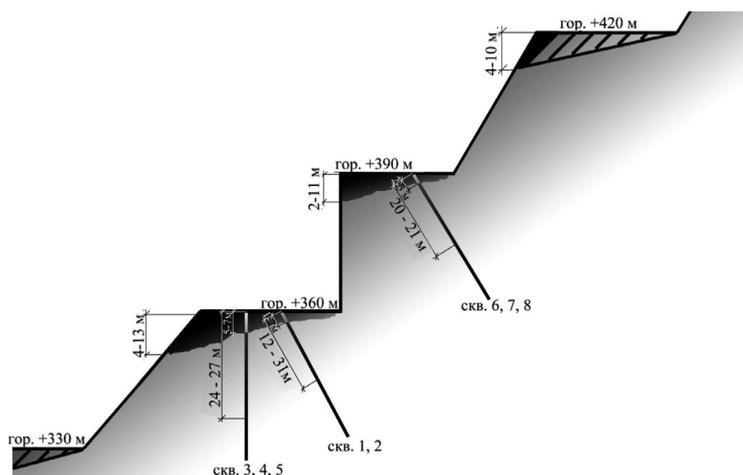
На рис. 2 показана фотопанорама участка, на котором проводились исследования, а на рис. 3 – скоростная модель исследуемого массива. Для наглядности все рисунки имеют примерно одинаковый масштаб и совмещены друг с другом.

Исследуемый участок характеризуется крайне неоднородным скоростным полем, величины скорости продольных волн  $V_p$  изменяются в достаточно широком диапазоне: от 0,4 до 6 км/сек.

На скоростной модели видно, что верхняя часть разреза (зона малых скоростей) характеризуется скоростями 0,4–1,5 км/сек. Мощность этой зоны составляет порядка 2–5 м, и приурочена к насыпным и разрушенным породам, покрывающими подошву



**Рис. 3. Скоростная модель исследуемого участка**



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

бермы уступа. Необходимо отметить, что сам профиль проходил непосредственно между скважинами №№ 1, 2 и 3, 4, 5, т.е. на расстоянии примерно 14–18 м от внутренней бровки уступа.

Полученные результаты подтверждают наличие зоны дезинтегрированных пород на поверхности бермы уступа, которая выявлена визуальным методом и комплексом ТКС. В дальнейшем предполагается продолжить исследование геомеханического состояния законтурного массива с использованием сейсмического метода в варианте сейсмической томографии [8, 9].

На основе результатов исследований геомеханического состояния при бортового массива опытно-промышленного участка карьера «Олений ручей» составлена принципиальная схема техногенной деструкции (рис. 4), на которой выделены три степени техногенной деструкции и определены их количественные характеристики. Первая степень техногенной деструкции (черный цвет) – сильно разрушенные породы (массив полностью разбит); вторая степень (выделено серым цветом) – слабо- и средненарушенный массив (2–6 трещин на метр); третья

степень (белый цвет) – ненарушенный массив (0–2 трещины на метр).

### **Заключение**

Таким образом, определена степень техногенной деструкции на участке опытно-промышленных работ на карьере «Олений ручей». Установлена глубина нарушенной зоны от внутренней бровки уступа с вертикальным откосом в пределах ОПУ (гор. +360 м.) (см. рис. 4), которая составляет ориентировочно 10 м. Полученные результаты свидетельствуют об актуальности дальнейшего совершенствования шадящего взрывания при постановке уступов на конечный контур применительно к условиям массива пород карьера «Олений ручей» и доведение величины мощности нарушенной зоны до значения 1–3 м [10]. Также необходимо разрабатывать методы крепления карьерных откосов и систему мониторинга устойчивости как отдельных уступов, так и борта карьера в целом [11–13]. Выполнение перечисленных мероприятий позволит вести открытые горные работы с высокими технико-экономическими показателями при обеспечении необходимого уровня безопасности.

1. Мельников Н.Н., Федоров С.Г. Инновационный проект освоения месторождения Олений Ручей в Хибинах // Горный журнал. – 2010. – № 9. – С. 36–39.

2. 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 международного 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.

3. Козырев А.А., Рыбин В.В., Билин А.Л., Фокин В.А., Мелик-Гайказов И.В. Обоснование конструкций устойчивых бортов карьеров в массивах скальных тектонически-напряженных пород // Горный журнал. – 2010. – № 9. – С. 24–27.

4. Рыбин В.В., Калужный 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: сб. докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 24–27 сентября 2013 г. Российская академия наук, Отделение наук о Земле РАН, Горный ин-т КНЦ РАН. – Апатиты; СПб, 2013. – С. 180–187.

5. Рыбин В.В., Потапов Д.А., Калужный А.С. Районирование карьерного поля месторождения Олений ручей по глубине с использованием геомеханической классификации профессора Д. Лобшира // Проблемы недропользования. – 2014. – № 1. – С. 44–52.

6. 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. – С. 76–84.

7. Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка: В 2-х т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987, 448 с., ил.

8. 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. – С. 223–230.

9. 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.

10. Фокин В.А., Тарасов Г.Е., Тогунов М.Б., Данилкин А.А., Шитов Ю.А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на предельном контуре карьеров. – Апатиты: изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. – 224 с.

11. 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; Ч. 1 // Инженерная Защита. – 2014. – № 02(02). – С. 22–31.

12. 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; Ч. II // Инженерная Защита. – 2014. – № 03(03), 2014. – С. 16–25.

13. Жиров Д.В., Рыбин В.В., Мелихова Г.С. Инженерно-геологическое и геодинамическое районирование массивов пород как базис для проектирования комплексной системы мониторинга и интерпретации его результатов / Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: сб. докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 24–27 сентября 2013 г. / Российская академия наук, Отделение наук о Земле РАН, Горный ин-т КНЦ РАН. – Апатиты; СПб, 2013. – С. 267–272. **ПАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Рыбин Вадим Вячеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru,  
 Калужный Антон Сергеевич – аспирант, e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru,  
 Константинов Константин Николаевич – младший научный сотрудник, e-mail: const@goi.kolasc.net.ru,  
 Старцев Юрий Алексеевич – ведущий технолог,  
 Потапов Даниил Андреевич – младший научный сотрудник, e-mail: potapovd@goi.kolasc.net.ru,  
 Панин Виктор Иванович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра РАН.

## RESULTS ON DETECTION OF OPEN-PIT WALL DESTRUCTION PARAMETERS BY COMPLEX OF GEOPHYSICAL METHODS

Rybin V.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher,  
e-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru,  
Kaluzhniy A.S.<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru,  
Konstantinov K.N.<sup>1</sup>, Junior Researcher, e-mail: const@goi.kolasc.net.ru,  
Startsev Yu.A.<sup>1</sup>, Leading Technologist,  
Potapov D.A.<sup>1</sup>, Junior Researcher, e-mail: potapovd@goi.kolasc.net.ru,  
Panin V.I.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,  
<sup>1</sup> Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,  
184209, Apatity, Russia.

*The paper gives results on detection of a man-made destruction level of the contour rock mass within a test site at the Oleniy Ruchey open-pit by the complex of geophysical methods. Quantitative characteristics of fracturing and thickness of disturbed zones revealed are presented.*

*Key words: geomechanics, geophysics, seismic tomography, open-pit, pit wall, destruction.*

### ACKNOWLEDGEMENTS

The studies have been supported by the Russian Science Foundation, priority research program «Basic and exploratory research by individual scientific teams», grant no. 14-17-00751 (Research Manager Prof A.A. Kozyrev).

### REFERENCES

1. Mel'nikov N.N., Fedorov S.G. *Gornyi zhurnal*. 2010, no 9, pp. 36–39.
2. Mel'nikov N.N., Kozyrev A.A., Reshetnyak S.P., Kaspar'yan E.V., Rybin V.V., Melik-Gaikazov I.V., Svinin V.S., Ryzhkov A.N. *Trudy 8-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Gornoe delo v Arktike»*. Apatity. 20–23 iyunya 2005 g. (Mining in Arctic. VIII International Symposium Proceedings. Apatity. 20–23 June 2005), Saint-Petersburg, izd. «Tipografiya Ivan Fedorov», 2005, pp. 2–14.
3. Kozyrev A.A., Rybin V.V., Bilin A.L., Fokin V.A., Melik-Gaikazov I.V. *Gornyi zhurnal*. 2010, no 9, pp. 24–27.
4. Rybin V.V., Kalyuzhnyi A.S. Potapov D.A. *Monitoring prirodnykh i tekhnogennykh protsessov pri vedenii gornykh rabot: sbornik dokladov Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem 24–27 sentyabrya 2013 g.* (Monitoring of natural and induced processes in mining: Proceedings of All-Russian scientific conference in partnership with the foreign scientists 24–27 September 2013) Apatity; Saint-Petersburg, Gornyi in-t KNTs RAN, 2013, pp. 180–187.
5. Rybin V.V., Potapov D.A., Kalyuzhnyi A.S. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2014, no 1, pp. 44–52.
6. Shkuratnik V.L., Timofeev V.V., Ermolin A.A., Rybin V.V., Konstantinov K.N. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2009, no 2, pp. 76–84.
7. Sheriff R., Geldart L. *Seismorazvedka: V 2-kh t. Per. s angl.* (Seismic exploration, English–Russian translation), Moscow, Mir, 1987, 448 p.
8. Panin V.I., Startsev Yu.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2011, no 9, pp. 223–230.
9. Kaspar'yan E.V., Rybin V.V., Startsev Yu.A. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2011, no 3(6), pp. 30–33.
10. 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* (Improvement of drilling-and-blasting when ultimate pit limit is reached), Apatity, izd-vo KNTs RAN, 2008, 224 p.
11. 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.
12. Zhirov D.V., Rybin V.V., Klimov S.A., Melikhova G.S., Zav'yalov A.A. *Inzhenernaya Zashchita*. 2014, no 03(03), 2014, pp. 16–25.
13. Zhirov D.V., Rybin V.V., Melikhova G.S. *Monitoring prirodnykh i tekhnogennykh protsessov pri vedenii gornykh rabot: sb. dokladov Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem 24–27 sentyabrya 2013 g.* (Monitoring of natural and induced processes in mining: Proceedings of All-Russian scientific conference in partnership with the foreign scientists 24–27 September 2013) Apatity; Saint-Petersburg, Gornyi in-t KNTs RAN, 2013, pp. 267–272.