

УДК 622.235.5:528.48:550.837.7(470.21)

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.089

Лукичев Сергей Вячеславович

доктор технических наук,
врио директора института,
заведующий лабораторией теории комплексного
освоения и сохранения недр,
Горный институт КНЦ РАН,
184209, Мурманская обл., г. Апатиты,
ул. Ферсмана, д. 24
e-mail: lu24@goi.kolasc.net

Lukichev Sergey V.

Doctor of technical sciences,
acting director; the head of the laboratory
of complex development, mining
and mineral resources preservation,
The Mining Institute KSC RAS,
184209, Russia, Murmansk region,
Apatites, 24 Fersman st.
e-mail: lu24@goi.kolasc.net

Дьяков Андрей Юрьевич

научный сотрудник,
Горный институт КНЦ РАН
e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru

Dyakov Andrew Yu.

Researcher,
The Mining Institute KSC RAS
e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru

Шишкин Александр Сергеевич

младший научный сотрудник,
Горный институт КНЦ РАН
e-mail: shishkin@goi.kolasc.net.ru

Shishkin Alexander S.

Junior researcher,
The Mining Institute KSC RAS
e-mail: shishkin@goi.kolasc.net.ru

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ
АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ
РЕЗУЛЬТАТОВ КАРЬЕРНЫХ
МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ**

**GEOINFORMATION METHODS
OF ANALYSIS THE RESULTS
OF GEODETIC AND GEOPHYSICAL
RESEARCHES USED TO EVALUATE
THE RESULTS OF OPEN PIT'S
LARGE-SCALE BLASTS**

Аннотация:

Представлены результаты обработки данных лазерного сканирования и георадарного зондирования до и после проведения взрывных работ на участках рабочих уступов карьера «Железный» горнодобывающего предприятия ОАО «Ковдорский ГОК». Описана методология георадиолокационного исследования для получения поверхности границы разрушения от массового взрыва. Совместный анализ результатов лазерной съемки и георадиолокационного зондирования позволил сделать выводы о форме границы отрыва горной массы от массива горных пород, а также ее расположении относительно поверхности уступа до взрыва и относительно поверхности развала, образовавшегося после взрыва.

Ключевые слова: лазерное сканирование, георадарное зондирование, профиль, георадиолокация, радарограмма, массовый взрыв, граница разрушения, облако точек, цифровая модель уступа

Abstract:

The article presents the results of processing laser scanning data and geo-radar sensing data obtained before and after blasting on areas of working benches of the "Zheleznyy" open pit, JSC "Kovdor GOK" mining company. The methodology of geo-radar research for obtaining contour of break surface is described. Joint analysis of laser scanning and geo-radar research has led to the conclusion on the shape of break surface and its location relative to the surface of the bench before blasting and to the surface of broken rock mass formed after blasting.

Key words: laser scanning, geo-radar sensing, track, ground penetrating radar, radar-gram, large-scale blast, surface of breaking, cloud of points, digital model of the bench

Введение

Основным способом подготовки горной массы (ГМ) на карьерах перед ее выемкой является взрывное разрушение горных пород (ГП). От качества взрывной подготовки горной массы зависит эффективность последующих производственных процессов, свя-

занных с ее погрузкой и транспортированием. В связи с этим оценка результатов скважинной отбойки на участках рабочих уступов с целью определения параметров массового взрыва (МВ) и их оптимизации является актуальной задачей.

Комплексное применение геодезических и геофизических методов исследования может дать хороший эффект при изучении массивов ГП с различными целями, в том числе для оценки результатов МВ. С этой целью было проведено комплексное исследование участков рабочих уступов для серии МВ путем лазерной съемки и георадарного зондирования. Использование такого геодезического метода исследования, как лазерное сканирование, обеспечивает высокую точность и детальность получаемых данных и позволяет строить трехмерные цифровые модели по данным сканирования [1, 2]. Применение геофизических методов, в частности георадиолокации, позволяет определять как степень нарушенности массива до проведения взрывных работ, так и степень дезинтеграции исследуемой среды после их проведения.

Исследования проводились на участках рабочих уступов карьера «Железный», принадлежащего ОАО «Ковдорский ГОК», при тесном сотрудничестве со специалистами предприятия. В ходе исследований было выполнено лазерное сканирование, георадиолокационное продольное и поперечное профилирование до и после проведения МВ на участках западного, юго-западного и северного бортов карьера. Геологическое строение исследованных участков карьера следующее:

- «Горизонт –110 юго-запад» – апатит-магнетитовая руда V категории трещиноватости;
- «Горизонт –35 запад» – ийолиты IV категории трещиноватости;
- «Горизонт –110 север» – апатит-форстерит-магнетитовая руда, пироксениты V категории трещиноватости.

Для оценки результатов МВ на участках рабочих уступов требовалось выполнить:

- Построение трехмерных цифровых моделей участков уступов по данным лазерного сканирования до и после проведения МВ;
- Определение линии поверхности отрыва ГМ от массива ГП под развалом при помощи георадарного зондирования;
- Анализ структуры экспериментальных участков карьера на основе данных лазерного сканирования и георадиолокационного зондирования до и после проведения на них МВ.

Построение трехмерных цифровых моделей участков уступов по данным лазерного сканирования до и после МВ

С целью получения актуальных и точных данных о поверхности участков уступов до и после взрыва было произведено построение их трехмерных моделей по результатам лазерного сканирования. Исходными данными для построения моделей служили облака точек, полученные при помощи лазерного сканера RIEGL VZ-4000.

Обработка данных лазерного сканирования производилась в приложении Geo Tech-3D горно-геологической информационной системы MINEFRAME [3, 4]. Для каждого облака точек была выполнена процедура удаления избыточных точек (при сохранении достаточной степени детализации), что позволило снизить их количество в 100 раз. Трехмерные модели участков уступов были построены посредством триангуляции оставшегося набора точек. На рис. 1 представлена фотография и трехмерная модель участка рабочего уступа «горизонт -35 запад» до взрыва, на рис. 2 – фотография и трехмерная модель развала горных пород, образовавшегося после взрыва на этом участке.

Совместный анализ каркасных моделей участка (рис. 1б, 2б, 3) до и после МВ позволяет с высокой степенью точности оценить параметры трансформации участка в процессе взрывной дезинтеграции массива ГП. Одновременно каркасные модели исследуемых участков позволили выполнить точную привязку результатов георадиолокационного зондирования к рельефу поверхности.

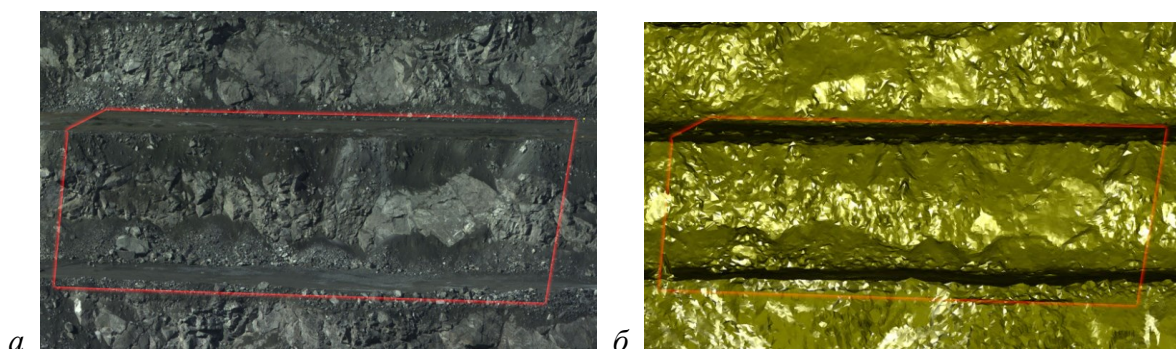


Рис. 1 – Фотография участка уступа «Горизонт –35 запад» до проведения взрывных работ (а) и его каркасная модель, построенная по данным лазерного сканирования (б)

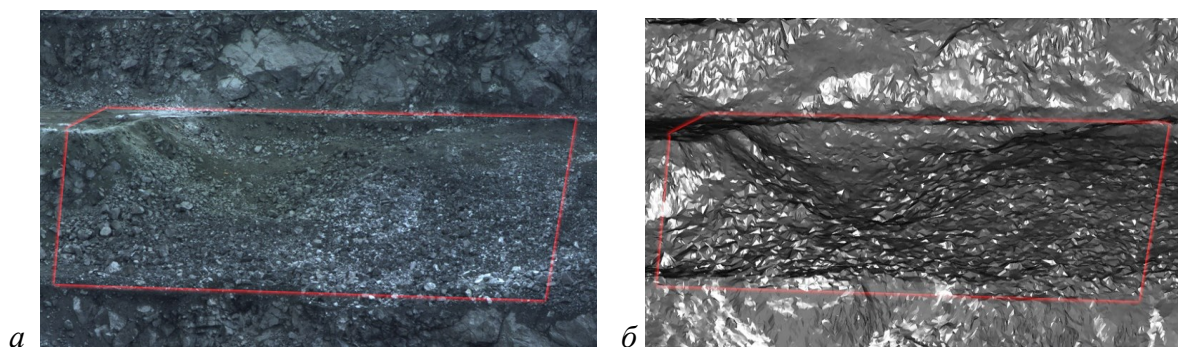


Рис. 2 – Фотография развала ГП после взрыва на участке уступа «Горизонт –35 запад» (а) и его модель, построенная по данным лазерного сканирования (б)

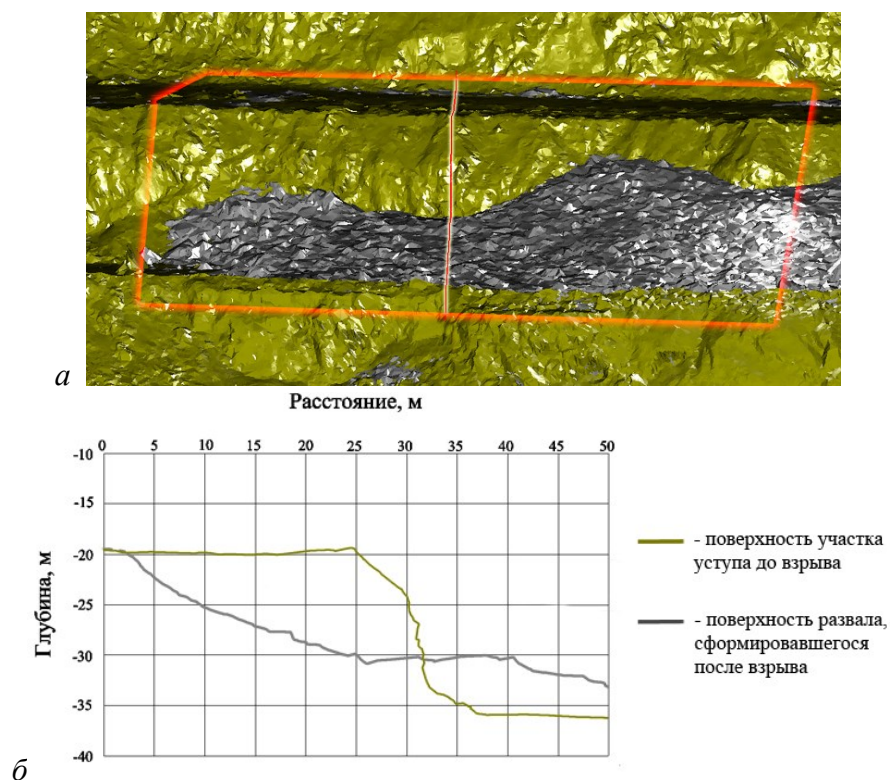


Рис. 3 – Совмещенные модели участка уступа «Горизонт –35 запад» до и после МВ: а – в трехмерном пространстве моделирования, б – в поперечном вертикальном разрезе

Определение линии поверхности отрыва ГМ от массива ГП под развалом при помощи георадарного зондирования

Для оценки результатов МВ на участках рабочих уступов выполнено определение линии поверхности отрыва на радарограммах путем выделения и прослеживание осей синфазности отраженных волн от границ раздела сред (развал – нетронутый массив) и их сопоставление с геологическими особенностями разреза по профилю зондирования. Признаками отделения ГМ от массива на радарограммах служили различные характеристики волнового поля (участки с различными типами записи).

Результаты георадарного исследования структурного строения уступа обрабатывались с использованием специализированных компьютерных программ (ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, RadExplorer) и интерпретировались в радарограммы, представляющие собой скоростные/электромагнитные вертикальные разрезы уступа [5 – 7]. Вычисление диэлектрической проницаемости производилось на основе обработки результатов анализа поля обратного рассеяния. Технология (основанная на эффекте дифракции, как и в случае годографа дифрагирующей волны, но в автоматизированном программном режиме по всей площади разреза) позволяет производить построение разрезов как в случае наличия отражающих границ, так и в случае непрерывного изменения электрофизических свойств по профилю наблюдений и по глубине [8, 9].

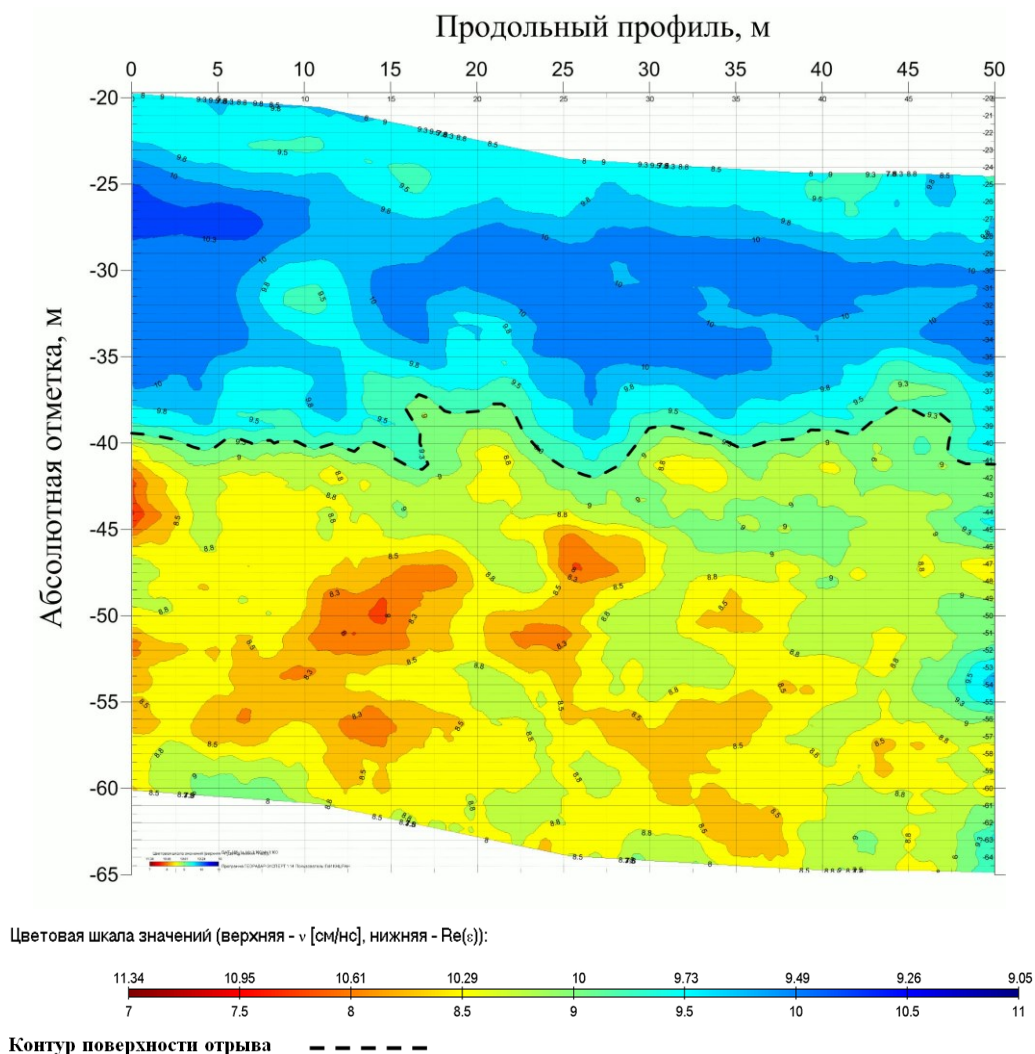


Рис. 4 – Радарограмма по участку «Горизонт –35 запад»

Анализ полученных данных (местоположение взрывных скважин, результаты лазерного сканирования до и после МВ, высотные отметки контрольных точек маркшейдерской съемки) по сетке профилей на участке «Горизонт –35 запад» позволил сделать вывод о том, что значение диэлектрической проницаемости 9,3 является пограничным и может условно считаться линией поверхности отрыва. На рис. 4 представлена продольная радарограмма, выполненная по поверхности развала на участке «Горизонт –35 запад». Следует отметить, что на участке после проведения МВ и до момента георадарного зондирования была произведена частичная выемка взрывной ГМ и подсыпка грунта для формирования съезда, что несколько изменило рельеф поверхности. Как видно на рис. 4, граница линии отрыва по профилю колеблется в интервале глубин 17 – 20 м (от –39 м до –42 м по абсолютной отметке) при глубине взрывных скважин 17,5 м.

На рис. 5 представлено изменение контура отрыва по длине площадки по трем продольным профилям 188, 189, 190 участка «Горизонт – 35 запад». Данный участок находился на съезде. Большой разброс изменения контура поверхности отрыва в районе 35 –40 м вызван этапным взрыванием всего блока, где середина обследуемого участка являлась границей взрыва двух этапов. Зеленым цветом (пунктирная линия) отмечена усредненная линия границы концов взрывных скважин на обследуемом участке. Методом интерполяции на основе продольных и поперечных радарограмм построена модель поверхности границы разрушения массива ГП для данного участка (рис. 6).

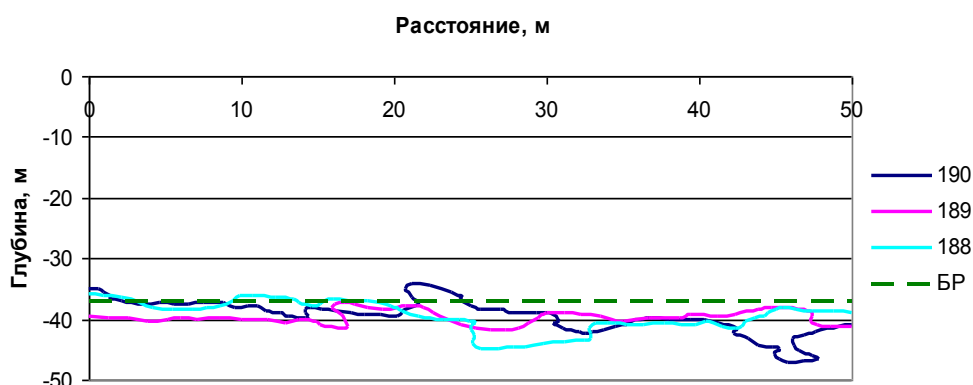


Рис. 5 – График линий, фиксирующих границу разрушения массива ГП по профилям георадарного зондирования участка «Горизонт –35 запад» (значение диэлектрической проницаемости $\epsilon=9,3$)

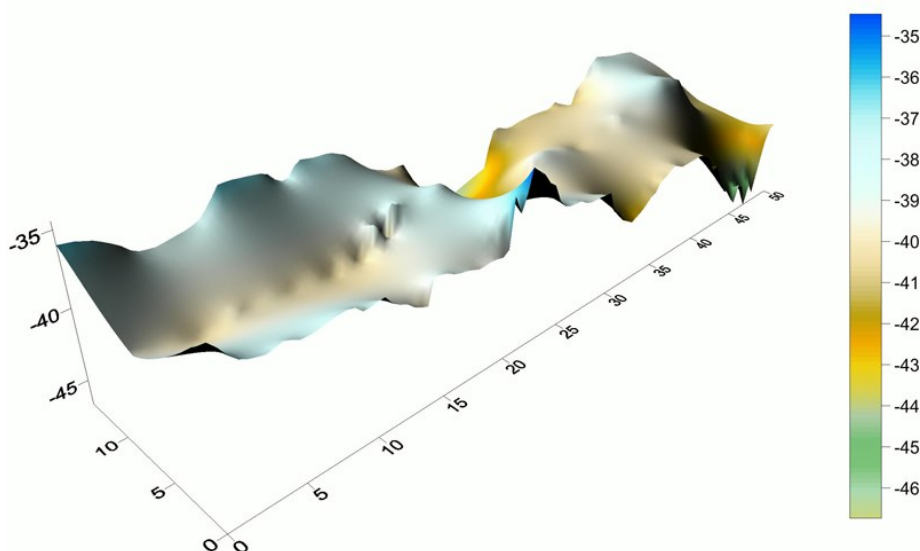


Рис. 6 – Поверхность границы разрушения массива ГП участка «Горизонт –35 запад»

Анализ структуры экспериментальных участков карьера на основе данных лазерного сканирования и георадиолокационного зондирования до и после проведения на них МВ

Комплексный анализ результатов лазерного сканирования и георадиолокационного зондирования позволил установить местоположение границы раздела «отбитая ГМ – массив ГП», которую можно интерпретировать как границу разрушения. Для получения абсолютных высотных отметок границы разрушения использовались цифровые модели поверхности участков по профилю георадарного зондирования. Ниже приведены результаты анализа по участку рабочего уступа «Горизонт –35 запад». Совмещение результатов лазерного сканирования и георадиолокационного зондирования участка уступа до взрыва позволило оценить местоположение границы разрушения от взрыва вышележащего блока (рис. 7). Как видно из рисунка, глубина границы разрушения от взрыва вышележащего блока варьируется от 0 до 4,1 м относительно поверхности уступа.

Совмещение результатов лазерного сканирования и георадиолокационного зондирования участка до и после МВ на профиле разреза с вынесением на него местоположения взрывных скважин (рис. 8) позволяет с большой уверенностью говорить о том, что фиксируемая на радарограммах граница раздела двух сред является границей перехода от дезинтегрированного массива ГП к массиву в ненарушенном состоянии. Подтверждением этого является и расстояние от концов скважин до границы разрушения, которое изменяется от 0,06 м до 3,6 м. Такой разброс вполне объясняется тем, что скважины располагаются на разном расстоянии от плоскости разреза по профилю зондирования.

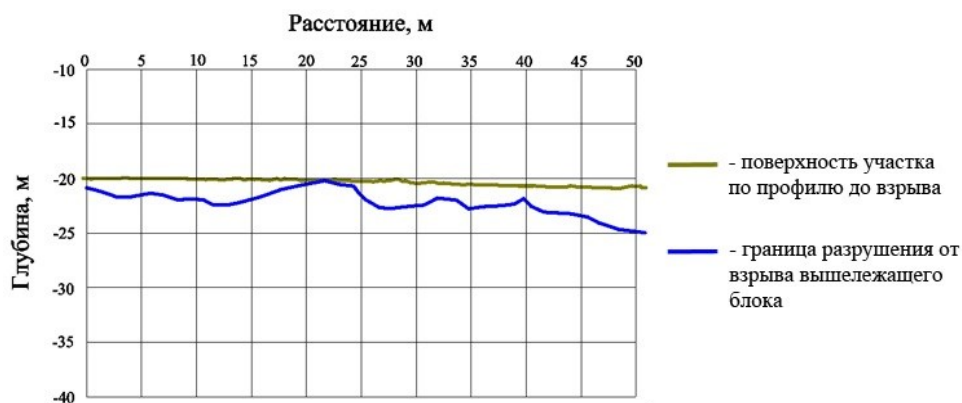


Рис. 7 – Разрез уступа по профилю георадарного зондирования исследуемого участка уступа до МВ с нанесенной границей разрушения от взрыва вышележащего блока

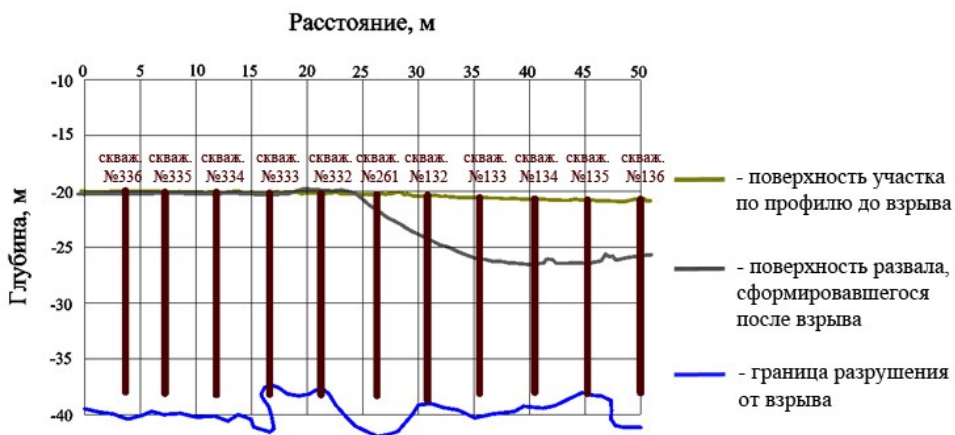


Рис. 8 – Разрез уступа по профилю георадарного зондирования с проекциями близлежащих скважин до и после МВ с нанесенной границей разрушения

Заключение

На основе результатов выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Нарушенный и не нарушенный взрывом массивы горных пород отличаются диэлектрической проницаемостью, что может служить диагностическим признаком степени нарушенности исследуемого участка массива;
2. Георадарное зондирование приповерхностного массива на глубине первых десятков метров позволяет, задаваясь выявленным диагностическим признаком, получить линию границы разрушения по профилю зондирования;
3. Совместная интерпретация данных лазерного сканирования поверхности уступа и георадарного зондирования подповерхностного массива позволяет получить достоверную информацию о зонах дезинтеграции массива горных пород и их местоположении в пространстве.

Литература

1. Низаметдинов Н.Ф. Наземное лазерное сканирование в геодезии / Н.Ф. Низаметдинов, Р.Ф. Низаметдинов // Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 3. – С. 24 - 26.
2. Бастраков Ю.Г. Съёмка единых объектов недвижимости лазерным сканером / Ю.Г. Бастраков, Д.А. Ковалев, Е.С. Саламонов // Геодезия и картография. – 2013. – № 11. – С. 51 - 54.
3. Наговицын О.В. Развитие методов моделирования горно-геологических объектов в системе MINEFRAME / О.В. Наговицын, С.В. Лукичёв // Информационные технологии в горном деле: доклады Всероссийской научной конференции с международным участием 12 - 14 октября 2011 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – С. 142 - 147.
4. Лукичёв С.В. Автоматизированные инструменты инженерного обеспечения горных работ в системе MINEFRAME / С.В. Лукичёв, О.В. Наговицын // ГИАБ. – 2013. – № 7. – С. 184 - 192.
5. Исследования горнотехнических конструкций карьера георадарными технологиями / А.И. Калашник, С.В. Казачков, В.А. Сохарев, Д.В. Запорожец, А.Ю. Дьяков // Вестник КНЦ РАН. – 2012. – № 2. – С. 58 - 64.
6. Выявление дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях / А.И. Калашник, В.А. Сохарев, Д.В. Запорожец, А.Ю. Дьяков // Вестник МГТУ. – 2013. – Т. 16. – № 1. – С. 93 - 97.
7. Исследования георадарами структуры и текущего состояния горных пород, слагающих уступы основного карьера Ковдорского ГОКа / А.И. Калашник, С.В. Казачков, В.А. Сохарев, А.Ю. Дьяков, Д.В. Запорожец // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 60 - 64.
8. Калашник А.И. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера в целях оптимизации параметров проведения буровзрывных работ / А.И. Калашник, А.Ю. Дьяков // Вестник КНЦ. – 2015. – № 3. – С.48-53.
9. Калашник А.И. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера / А.И. Калашник, А.Ю. Дьяков // Изв. вузов. Горный журнал. – 2015. – № 6. – С. 73 - 78.