

разрушающих измерений, позволяющим получать результаты в режиме реального времени и с привязкой данных к GPS;

- георадарные технологии информативны как для естественных грунтовых и породных массивов, так и для искусственных грунтовых сооружений, дамб, плотин, оснований (фундаментов) и позволяют осуществлять оценку исходного (первоначального) состояния и структуры, а также мониторинг развития деформационных процессов, развитие трещиноватости, изменения структуры и т.п. природно-технических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копейкин В.В. К вопросу об истории и перспективах развития георадиолокации. URL: <http://www.geo-radar.ru/articles/article1.php#1>

2. Копейкин В.В. Первичная обработка георадарных сигналов. URL: <http://www.geo-radar.ru/articles/article3.php#1>

3. Калашник А.И., Демахин А.Ю., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю. Георадарные определения подповерхностной структуры пород Хибинского и Ковдорского горнорудных районов // Комплексные геолого-геофизические модели древних щитов: труды Всероссийской (с международным участием) конференции. - Апатиты: Изд. Геологического института КНЦ РАН, 2009. - С.226-230.

4. Калашник А.И., Демахин А.Ю. О возможностях неразрушающего мониторинга геологических сред на глубину до 200 метров // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 24-27 сент. 2013г. - Апатиты; СПб., 2013. – С. 249-255.

УДК 622.271.332:550.835(470.21)

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД

А.Ю. Дьяков¹, А.И. Калашник²

¹научный сотрудник, e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru

²кандидат технических наук, заведующий лабораторией геофлюидомеханики, e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

^{1, 2}Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Россия

Аннотация. Статья посвящена исследованию законтурного состояния пород участков рабочих уступов карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК». Приведены результаты георадиолокационных исследований слагающего уступ массива скальных пород. Предложены подходы по оценке структурной нарушенности пород рабочих уступов карьера электромагнитным зондированием.

Ключевые слова: георадиолокационное зондирование, карьер, уступ, структурная нарушенность.

GPR INVESTIGATION OF SOLID ROCK

Andrei Dyakov¹, Anatoly Kalashnik²

¹Scientific Researcher, e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru

²Dr (Eng.), head of laboratory, e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

^{1,2}Mining Institute KSC RAS, Apatity, Russia

Abstract. The article is devoted to step-out status of the species sections of the working ledges quarry "Iron" "Kovdorskiy GOK". The results of studies forming the ledge of rocks by ground-penetrating radar. Approaches according to a structural displacement of the massif of breeds are offered by a Georadar-location.

Keywords: georadar surveys, open pit main, pitfall rocks, structural displacement.

Введение. При открытой разработке месторождений полезных ископаемых очень важно обеспечить устойчивость бортов и уступов карьера, не допуская критических их деформаций в течение всего периода строительства и эксплуатации карьера. Информация о состоянии пород приконтурного скального массива приобретает большое значение для локализации потенциально опасных участков, в пределах которых возможны потери устойчивости уступов различного характера.

Георадиолокация - это подповерхностное радиолокационное зондирование природных сред, где, в отличие от классической радиолокации, импульсы излучаются не в воздушное пространство, а в среды с большим затуханием.

Принцип действия аппаратуры подповерхностного радиолокационного зондирования (в общепринятой терминологии - георадара) основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства [1].

Диэлектрическая проницаемость, влияющая на скорость прохождения электромагнитных волн, является ключевым параметром для георадиолокационных исследований, т.к. отраженные сигналы электромагнитных волн возникают на границах сред с разными скоростями. Для исследования массивов скальных пород это границы между сухими и влагонасыщенными породами (уровень грунтовых вод), контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между нарушенным и ненарушенным массивом пород и т.д [2, 3].

Применение импульсов различного диапазона электромагнитных волн обусловлено выбором глубинности и необходимой разрешающей способности исследования (минимальное расстояние по глубине, на котором могут быть различимы два отражающих объекта или их детали). Разрешающая способность определяется длиной волны, которая прямо пропорциональна скорости и обратно пропорциональна частоте электромагнитных волн в массиве скальных пород. При понижении частоты уменьшается разрешающая способность, но увеличивается глубинность исследований. Например, для скальных пород глубинность зондирования антеннами 50–100 МГц составляет в среднем 50–30 м с разрешающей способностью 0,5–0,25 м., а для антенн 500–800 МГц разрешающая способность составит 0,1–0,05 м при глубине 15–5 м.

Георадиолокация относительно новый волновой метод, где по сравнению с другими геофизическими методами, в которых уже получено большое количество данных о параметрах среды и установлены зависимости между ними и волновыми характеристиками, то здесь наблюдается острая нехватка данных прямых измерений. Наименее исследованными являются вопросы дифференциации геологических сред по строению и состоянию с помощью георадиолокации. Измеряя электрофизические параметры массива пород, и определяя структурные аномалии, можно судить как о свойствах пород, так и получить сведения о горно-геологическом строении исследуемого массива скальных пород.

Цель работы. Целью работы являлось изучение возможности применения георадиолокационного обследования законтурного массива пород участков рабочих уступов карьера для оценки их геолого-структурного строения и дифференцирования по степени нарушенности до и после проведения буровзрывных работ.

Результаты исследований. В работе приведены результаты георадиолокационных исследований, выполненных с применением георадарного комплекса Ramac/GPR X3M, оснащенного экранированными антеннами. Получены данные, отображающие подповерхностную структуру массива скальных пород в предгорье Ковдорского горнорудного массива Кольского полуострова, представляющего собой природно-техническую систему, подвергающуюся периодическим взрывным (волновым) воздействиям.

На рисунке 1 представлены результаты георадиолокационного исследования участка уступов +70 м, +40 м карьера «Железный» Ковдорского ГОКа. Целью исследования являлось изучение структурных особенностей массива пород уступа и выявление геометрических параметров структурных неоднородностей в зоне деформированных пород. Для определения

геометрических параметров структурной неоднородности в массиве скальных пород, по которой произошло деформирование, было проведено горизонтальное (площадное) (рис. 1а, б) и вертикальное георадарное профилирование (рис. 1в, г). Определение нарушений в скальном массиве по волновым данным радарограмм производилось посредством анализа осей синфазности отраженных сигналов. Анализ кинематических и динамических характеристик записей волн площадной съемки участка уступа +70 м (радарограмм рис. 1а, б) позволил установить верхнюю границу закола, глубина залегания которой изменяется от 5,5 м в начале профиля до 5 м на отрезке 9-13 м длины профиля и до глубины 6 м на отрезке 19-27 м профиля, и плавно нарастает в глубь массива.

При участии профессиональных альпинистов было произведено георадиолокационное профилирование по субвертикальному откосу деформированного уступа для уточнения геометрических параметров структурной неоднородности в зоне исследований (рис. 1в-д).

В результате камеральной обработки и анализа осей синфазности волнового сигнала радарограммы рисунка 1 д выявлена подповерхностная граница (красная пунктирная линия) на отметке профиля 7,3 м, уходящая в глубь массива, которая является предположительно частью верхней границы закола. Черной пунктирной линией обозначена зона неоднородности (трещиноватости), отличающаяся по физико-механическим характеристикам от окружающих пород, и имеющая сложную геометрическую форму от поверхности на глубину от 3-х до 6 м. Нижней границы закола по данным георадиолокационного исследования выявлено не было. Следует отметить, что выполненный в последующем поверхностный взрыв непосредственно над заколом не изменил его размеров, и не привел к его сходу, что может быть объяснено его массивными размерами.

На рисунке 2 представлены результаты георадиолокационного исследования участка рабочего уступа карьера «Железный» Ковдорского ГОКа до (рис.2а) и после (рис.2б) проведения буровзрывных работ. Количественной оценкой изменения состояния массива пород после взрыва являются значения диэлектрической проницаемости, которые отражают степень нарушенности массива пород [4].

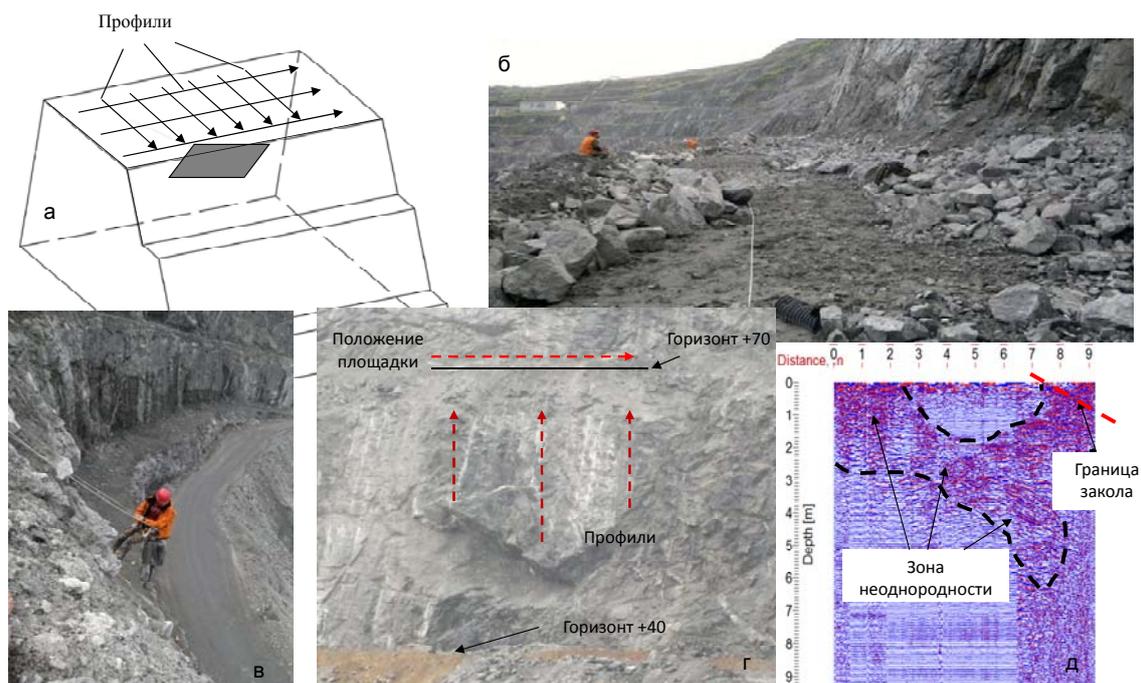


Рисунок 1 - Георадиолокационное исследование участка массива скальных пород на уступе карьера

Обсуждение результатов. Диэлектрическая проницаемость скальных пород определяет их способность поляризоваться под воздействием переменного электромагнитного поля за счет упорядоченной ориентации имеющихся в породе связанных электрических зарядов и зависит от диэлектрических свойств составляющих ее компонентов, где независимо от их состояния определяется по формуле Лихтенекера [5]:

$$\varepsilon'_3 = \prod_{i=1}^n (\varepsilon'_i)^{\Phi_i} \quad (1)$$

где ε'_3 - диэлектрическая проницаемость пород; ε'_i - диэлектрическая проницаемость i фазы породы; Φ_i - объемная часть i составляющей фазы. Для нарушенных пород изменение диэлектрической проницаемости будет связано с количеством заполнителя трещин в нарушенном скальном массиве.

Для оценки результатов массового взрыва на участках рабочих уступов выполнено определение линии поверхности отрыва на радарограммах путем анализа изменений значений диэлектрической проницаемости и ее сопоставление с геологическими особенностями разреза.

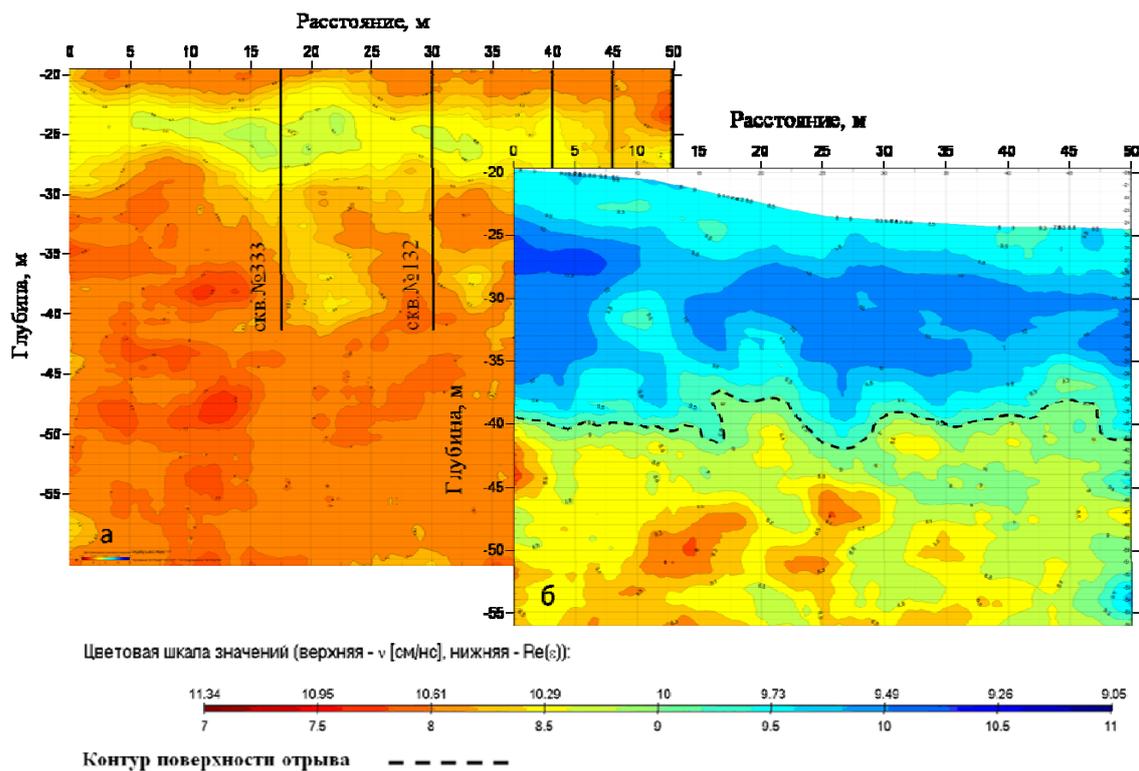


Рисунок 2 - Георадиолокационное исследование участка уступа массива скальных пород

Анализ значений диэлектрической проницаемости и скорости электромагнитной волны на участке взрывного блока до и после буровзрывных работ позволил определить зону нарушенности пород образовавшуюся после массового взрыва. На основе полученных данных (местоположение взрывных скважин, высотные отметки контрольных точек маркшейдерской съемки) по сетке профилей на участке уступа сделан вывод о том, что значение диэлектрической проницаемости 9,3 является пограничным и может условно считаться линией поверхности отрыва. Граница контура взорванной массы колеблется на интервале глубин 17-20 м, при глубине взрывных скважин 17,5 м. (рис.2 б).

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. По результатам продольного и поперечного профилирования участка горизонта +70 м уступа карьера выявлен слой с глубиной залегания от 5 до 6,5 м, которая плавно увеличивается в глубь массива, предположительно интерпретированный как верхняя граница закола.

2. В определенной степени дополнительной количественной мерой степени нарушенности скальных пород может служить диэлектрическая

проницаемость, которая значительно меняется вследствие массового взрыва в массиве горных пород.

3. Выявленные особенности геолого-структурного строения скального массива при отработке карьера позволяют выполнить подбор рациональных параметров буровых, взрывных и экскаваторных работ, оптимально учитывающих эти особенности, и позволяющие обеспечить максимально возможное равномерное дробление горной массы для последующих технологических этапов ее обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владов М.Л. Введение в георадиолокацию / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. - Изд-во МГУ, 2005. - 153с.

2. Калашник А.И. Исследования георадарами структуры и текущего состояния горных пород, слагающих уступы основного карьера Ковдорского ГОКа / А.И. Калашник, Д.В. Запорожец, А.Ю. Дьяков, С.В. Казачков, В.А. Сохарев // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С.60-64.

3. 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.

4. Калашник А.И. Оценка нарушенности скальных пород уступа карьера электромагнитным зондированием / А.И. Калашник, А.Ю. Дьяков // Горный информационно-аналитический бюллетень - 2015. - Глубокие карьеры. Специальный выпуск № 56. - С.230-238.

5. Гензе Д.А. Диэлектрическая проницаемость грунтов нарушенной структуры / Д.А. Гензе, А.Н. Шуваев // Вестник ТГАСУ. - 2011. - №1. - С. 200-206.

УДК 622.831.3:627.43(470.21)

ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННО-ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ НАСЫПНОЙ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ГЭС ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.А. Калашник¹, А.И. Калашник²

¹научный сотрудник, e-mail: nadezhda-kalashnik28@rambler.ru

²кандидат технических наук, заведующий лабораторией геофлюидомеханики, e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

^{1, 2}Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Россия

Аннотация. Приведены результаты компьютерного моделирования насыпной грунтовой плотины ГЭС и подстилающего породного основания в целях выявления особенностей их фильтрационно-деформационного состояния. Гидрогеомеханическое моделирование выполнено для системы «водоем-плотина-основание» с использова-