

УДК 622.271.332 : 550.835(470.21)

## Выявление дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях

А.И. Калашник<sup>1</sup>, С.В. Казачков<sup>2</sup>, В.А. Сохарев<sup>2</sup>, Д.В. Запорожец<sup>1</sup>,  
А.Ю. Дьяков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Горный институт КНЦ РАН

<sup>2</sup> ОАО "Ковдорский ГОК"

**Аннотация.** Рассмотрены методические подходы к выявлению дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях. Приведены практические примеры георадарного подконтурного зондирования уступов карьера Железный Ковдорского ГОКа с выявлением дислокаций, заверенных скважинным бурением. Результаты георадарных исследований дают основу для принятия технических решений по параметрам и технологии отработки уступов и постановке борта карьера в конечное положение.

**Abstract.** Methodical approaches to revealing dispositions in rocky mining constructions have been considered. Some practical examples of georadar underground sounding of ledges of the open-cast mine Zhelezny (Iron, Kovdor Mineral-Processing Industrial Complex) with revealing dispositions assured by drilling have been shown. Data georadar researches substantiate technical decisions on parameters and technology of working off of ledges and setting pit edge of an open-cast mine in the final position.

**Ключевые слова:** горнотехнические конструкции, дислокации, георадар, зондирование, устойчивость, безопасность  
**Key words:** mining constructions, dispositions, georadar, sounding, stability, safety

### 1. Введение

Горнотехнические конструкции, прежде всего с точки зрения конструктивных элементов систем разработки, имеют важнейшее значение при решении вопросов эффективности и безопасности разработки месторождений полезных ископаемых. Поэтому реализация задачи обеспечения их устойчивости и выполнения ими функционального назначения (работоспособности) всегда являлась и является актуальной (Калашник и др., 2000). При этом существенную роль играет информация о текущем состоянии и структуре горнотехнических конструкций, которую получают на основе данных оперативной оценки и мониторинга их состояния специальными геомеханическими и геофизическими методами: визуальное обследование, акустические исследования, сейсмодоформационные определения, реометрия, метод разгрузки, контрольные скважины, теле- и видеосъёмка скважин и др.

Вместе с тем, названные методы в большинстве своем являются малоинформативными и требующими значительных капитальных затрат. Наиболее достоверную информацию дают специальные геологические скважины. Однако бурение их весьма затратно, трудоемко и длительно. К тому же, для выявления и трассирования структурных ослаблений/дислокаций возможно получить лишь точечные результаты, и требуется сгущение сетки размещения. В этой связи применение неразрушающих, дающих сплошную (профильную) картину методов исследования является предпочтительным и экономически значительно более выгодным.

Активное развитие георадиолокации и создание современных высокопроизводительных георадарных систем даёт достаточные основания полагать, что неразрушающее подповерхностное георадиолокационное зондирование может эффективно использоваться для исследования состояния и структуры горнотехнических систем. В общем виде для целей горного дела георадары могут использоваться для определения структуры массива пород, обнаружения полостей, кварцевых гнезд, интрузий и т.п.; локализации природных и техногенных разрывных нарушений в законтурном массиве пород, геологической слоистости, неоднородности и пр. (Андрянов и др., 2005).

В Горном институте Кольского научного центра Российской академии наук развивается инновационное направление георадиолокационных исследований с применением георадарного комплекса Ramac/GPR X3M (производства компании Mala GeoScience, Швеция), оснащенного экранированными антеннами 100, 500 и 800 МГц, что позволяет получать непрерывную информацию об основных элементах строения участков массивов горных пород на глубину до 30 м с выделением (идентификацией) его аномалий (разрывные нарушения, полости, влагонасыщенные грунты и т.п.), и георадарного комплекса "ЛОЗА-1Н" (производства ООО "ВНИИСМИ", Россия), оснащенного двумя

антеннами: передающей и приемной, длиной по 15 м, с частотой 10 МГц, что позволяет производить зондирование горно-геологического массива на глубину до 200 и более метров (Калашиник и др., 2009).

## 2. Методика исследований

Для оценки законтурной структуры горнотехнических конструкций нами были разработаны методики проведения полевых георадарных исследований, камеральной обработки, анализа и выявления подповерхностных (законтурных) структурных дислокаций (наклонных, субвертикальных, линзовидных) в скальных горнотехнических конструкциях. Методики заключаются в применении специальных детерминированных операций и процедур измерений и обработки, что позволяет повысить оперативность определения местоположения и трассирования дислокаций при существенном снижении затрат в сравнении с традиционными методами.

Алгоритм выполнения работ заключался в следующем (рис. 1):

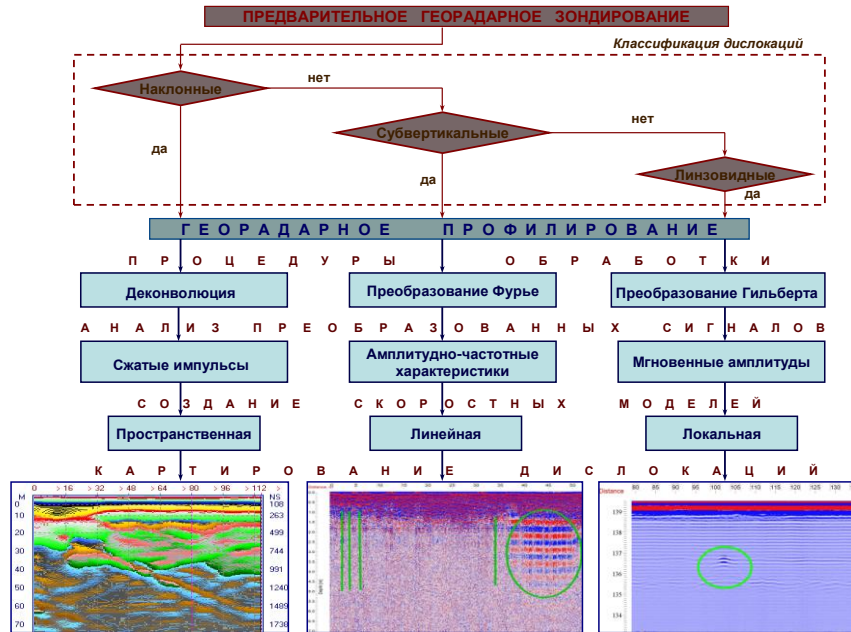


Рис. 1. Блок-схема алгоритма выявления структурных дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях

1. Выполняется предварительное зондирование исследуемого участка с визуальным анализом получаемой волновой картины.
2. При выявлении аномалий в волновой картине идентифицируется вид (тип) дислокации с отнесением к одной из трех групп: наклонные, субвертикальные, линзовидные.
3. Выполняется корректировка управляющих параметров (интервал зондирования, время двойного пробега электромагнитной волны и др.), в наибольшей степени соответствующих идентифицированному типу дислокации.
4. Составляется план-схема профилирования с учетом возможности трассирования дислокации.
5. Выполняется георадарное профилирование.
6. В камеральных условиях, в дополнение к стандартным, применяются специализированные процедуры обработки (деконволюция, преобразование Фурье, преобразование Гильберта) и последующий анализ преобразованных сигналов (сжатые импульсы, амплитудно-частотные характеристики, мгновенные амплитуды).
7. Для каждого вида дислокаций (вертикальных, наклонных, локализованных) создаются соответствующие скоростные модели.
8. Выполняется построение радарограмм с картированием выявленных дислокаций.

## 3. Результаты исследований

На основе георадарных исследований уступов карьера построен ряд радарограмм, выполнен анализ волновой картины и интерпретация с точки зрения выделения геологических структур и дислокаций. Как видно из рис. 2, приповерхностная зона профиля, до 4-х метров, характеризуется

равномерной волновой картиной и соответствует раздробленным/разрушенным, но уплотненным породам. Далее, до глубины примерно 20 м, выделяется слой, в пределах которого породы имеют другие электрофизические свойства, что может быть обусловлено их разуплотнением вследствие разгрузки от действия первоначальных гравитационно-тектонических напряжений. Ниже 20 м идентифицируются породы с несколько иным напряженно-деформированным состоянием.

На радарограмме также выделяются геологические структуры/зоны и дислокации. В начале профиля на глубине около 8 м прослеживается трещина с углом падения  $22^\circ$  до глубины примерно 17 м. На интервале 250-270 м профиля выделяются две пересекающиеся на глубине 11 м трещины такого же характера.

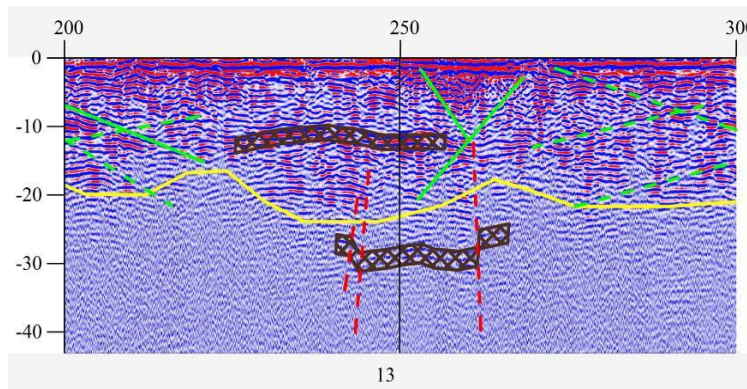


Рис. 2. Фрагмент профиля по рабочему уступу карьера

На профиле также выделяются две структуры (пересекающаяся штриховка), схожие по своим электрофизическим свойствам, которые могут быть приурочены к зонам структурного нарушения. Первая – на интервале 225-255 м, на глубине 13 м, мощностью 2 м, расположенная субгоризонтально в плоскости профиля, и вторая – на интервале 240-265 м, на глубине 31 м, мощностью 3 м, разорванная двумя разломами в левой и одним разломом в правой ее части, со сдвигом центральной части структуры вниз.

На рис. 3. приведен фрагмент георадарного профиля по результатам исследований на уступе гор.+40м участка РДКК рудника.

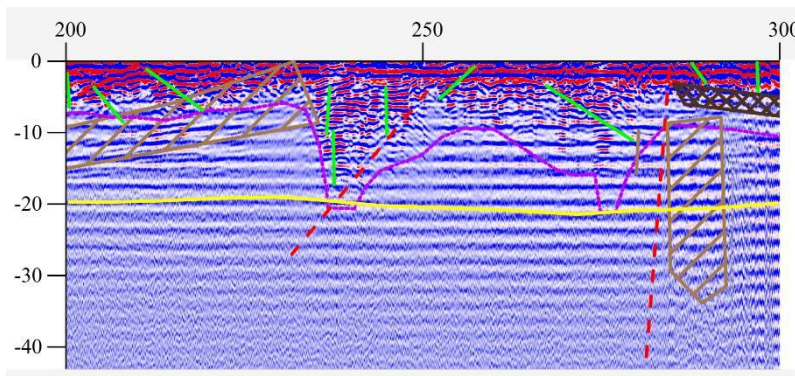


Рис. 3. Фрагмент профиля 1344 горизонт +40м, участок РДКК

Как показывает рис. 3, приповерхностная зона профиля мощностью до 4 м (раздробленный слой пород) характеризуется равномерной волновой картиной с небольшим количеством наклонных трещин. Следующий слой мощностью около 15 м соответствует разуплотненным породам, и далее, с глубины примерно 20 м, породы менее разуплотнены.

На интервале 230-250 м профиля отмечается наличие трех субвертикальных трещин с изменением формы сигнала электромагнитной волны, где, предположительно, по косвенным признакам, проходит тектонический разлом.

На профиле также выделяются две геологические структуры. Первая – на интервале 200-230 м с глубины 15 м и мощностью 7-10 м, выходящая под углом  $15^\circ$  практически на поверхность. Вторая,

субвертикальная структура, – на интервале от 284 до 291 м с глубины от 9 м до 33 м. При этом вторая структура разделяет в вертикальной плоскости исследованный массив пород на две зоны с различными электрофизическими свойствами. В конце профиля, на интервале 285-300 м, контрастно выделяется зона, располагаемая на глубине от 3 до 7 м, мощностью 3 м, которая может быть приурочена к зоне структурного нарушения.

Глубинное зондирование выполнялось с использованием георадарного комплекса "ЛЮЗА-1Н", с заданной глубиной профилирования около 200 м. На рис. 4 приведен фрагмент радарограммы, полученной в результате камеральной обработки исследований уступа гор.+40м участка РДКК рудника.

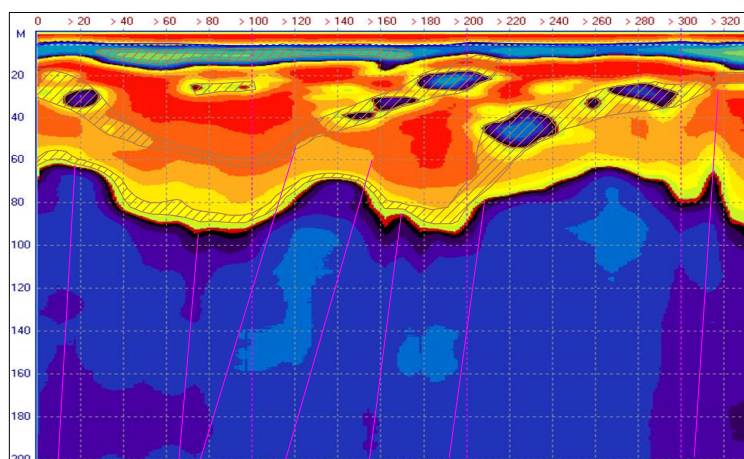


Рис. 4. Радарограммный профиль глубинного профилирования (гор.+40м, участок РДКК)

Анализ и интерпретация радарограммы позволяют сделать следующие выводы. Полученная волновая картина характеризуется своей неоднородностью в плане изменчивости границ подповерхностных структур и наличия структурных дислокаций/аномалий. По глубине георадарного профиля четко выделяются слои различной мощности: 4-5, 5-10, 20-60 и далее – основной массив. Приповерхностный слой составляет примерно 4-5 м глубины профиля и представляет собой раздробленные/разрушенные породы. Далее следует слой мощностью от 5 до 10 м, в пределах которого породы, по-видимому, разуплотнены и имеют более раскрытую, в сравнении с основным массивом, трещиноватость. В пределах этого слоя на интервалах 25-170 м и 300-330 м профиля выделяются пологие (для плоскости профиля) геологические структуры. Следует отметить, что граница между этим и следующим слоем изменяется в диапазоне 10-15 м глубины профиля.

Следующий (третий сверху) слой, мощностью от 20 до 60 м на различных участках, имеет более сложную градиентную картину, обусловленную, как можно предположить, наличием достаточно большого числа геологических структур (выделены штриховкой), неоднородностью напряженно-деформированного состояния пород, а также вполне вероятным наличием в этой зоне подземных вод, имеющих, в свою очередь, градиент порового давления. Нижняя граница достаточно контрастна, изменчива и прослеживается на данном профиле на глубинах от 60 до 90 м. Далее следует, по всей видимости, основной массив горных пород, в котором волновая картина также имеет градиентные изменения, обусловленные литологическими разностями слагающих массив пород, естественными зонами разуплотнения и другими факторами.

#### 4. Обсуждение результатов

Таким образом, георадарными исследованиями выявлены особенности структуры и состояния массива пород для участков измерений, имеющие подтверждения данными бурения и заключающиеся в следующем. Применение георадарных технологий на уступах горнорудных карьеров позволяет уверенно выявлять и оценивать параметры подповерхностных аномальных структурных зон, включая зоны повышенной трещиноватости пород, а также скрытые тектонические нарушения, дайки, штоки, интрузии и другие геологические структуры, что дает основания для оценки состояния горнотехнических конструкций. Для условий рассматриваемого карьера георадарными определениями локализованы как субвертикальные, так и наклонные тектонические нарушения массива пород с выделением приповерхностной сильнотрещиноватой и раздробленной зоны.

## 5. Выводы

1. Выявленные дислокации в законтурном массиве пород требуют применения специальных технологий при постановке уступов и бортов в конечное положение. В первую очередь это касается принятия решения по генеральному углу наклона борта карьера, конструктивным параметрам уступов, способам и средствам применения методов укрепления откосов, а также применению специальной технологии буровзрывных работ.

2. Разработана методика выявления подповерхностных (законтурных) структурных аномалий в скальных горнотехнических конструкциях, заключающаяся в идентификации аномалий (наклонные, субвертикальные, линзовидные) на основе георадарного зондирования и применении специализированных операций и процедур измерений и обработки, что позволяет повысить оперативность и точность определения дислокаций при существенном снижении затрат в сравнении с традиционными методами. Методика георадарных определений может быть применена на карьерах, обрабатываемых как рудные, так и нерудные месторождения полезных ископаемых.

3. На основе комплексного анализа всех результатов подповерхностного (до 40 м) и глубинного (до 200 м) электромагнитного зондирования массива горных пород на одном из карьеров Кольского полуострова выявлены особенности состояния массива, заключающиеся в формировании субпараллельных общему контуру карьерной выемки зон мощностью до 4-5 м, 10-20 м и 20-60 м, обусловленных различными параметрами напряженно-деформированного состояния, сплошности (трещиноватости) и влагонасыщенности пород. Выявленные особенности развивают современные представления о состоянии массивов пород в окрестности карьерной выемки и предоставляют возможность для прогноза устойчивости как отдельных уступов, так и участков борта карьера и обоснования параметров ведения горных работ, обеспечивающих их более высокую безопасность и эффективность.

## Литература

- Андрянов А.В., Астанин Л.Ю., Багно Д.В. и др.** Вопросы подповерхностной радиолокации. *Петрозаводск, Радиотехника*, 416 с., 2005.
- Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Демахин А.Ю.** Подповерхностное георадарное зондирование горно-геологических сред Кольского полуострова. *Вестник МГТУ*, т. 12, № 4, с.576-582, 2009.
- Калашник Н.А., Бессонов И.И., Калашник А.И.** Определение пролетов очистных выработок и размеров целиков. *Апатиты, КНЦ РАН*, 85 с., 2000.