

ГЕОРАДАР КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГОРНЫХ ЗАДАЧ

А.Ю. Дьяков, научный сотрудник
Горный институт КНЦ РАН
(Россия, г. Апатиты)

DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11846

Аннотация. Статья посвящена исследованию геолого-структурного строения законтурного массива пород участков рабочих уступов карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК». Приведены результаты георадарных исследований слагающего уступ массива скальных пород. В работе рассматриваются методические вопросы применения георадарного зондирования для исследования внутренней структуры скальных пород. Предложены подходы использования георадара для решения различных горных задач.

Ключевые слова: карьер, уступ, скальный массив, георадар, радарограмма, структурная нарушенность.

При разработке месторождений полезных ископаемых очень важно обеспечить безопасность ведения горных работ, что является актуальной задачей требующего постоянного внимания горно-геологических служб. При этом определяющую роль приобретает информация о состоянии пород приконтурного скального массива для локализации потенциально опасных участков, в пределах которых возможны потери устойчивости. Вместе с тем следует признать, что в настоящее время нет единого стандартизированного метода, позволяющего оперативно и качественно дополнить скважинную разведку и получить детализированную требуемую информацию о состоянии скального массива, а многие из применяемых геомеханических и геофизических методов являются очень трудоемкими, долговременными и зачастую дорогостоящими.

Одним из оперативных методов изучения геолого-структурного строения массива скальных пород является георадарное зондирование, позволяющее исследовать изменение физических свойств в массиве скальных пород. Вследствие многообразия геолого-геофизических условий, стандартной методики для оценки геолого-структурного строения массива скальных пород и интерпретации данных георадарного исследования, подходящей для большинства случаев, не существует. Вопросы оценки геолого-структурного строения массивов горных пород георадарным зон-

дированием, не смотря на все более активное его применение различными исследователями, все еще остаются не решенными [1, 2].

Опыт применения при изучении физических свойств горных пород месторождений Урала, Сибири, и Дальнего востока показывает, что неразрушающее подповерхностное георадарное зондирование может эффективно использоваться для исследования строения массивов скальных пород. В то же время, основным недостатком георадарного зондирования, с точки зрения оперативности, все еще является сложность, трудоемкость и длительность камеральной обработки полученных данных, а так же неоднозначность интерпретации, на качество которой влияет опыт интерпретатора. Сложность интерпретации обусловлена математической некорректностью решения обратных задач геофизики, где, независимо от количества априорной информации о физических свойствах пород, решение будет неоднозначно (как правило, приближенное), ввиду того, что таких решений может быть много или не быть совсем. Наблюдается острая нехватка количественных данных и отсутствие установленных зависимостей параметров среды с волновыми характеристиками. В работе представлены исследования, которые проводились на рабочих участках уступов карьера «Железный», принадлежащего горнодобывающему предприятию АО «Ковдорский ГОК», при тесном со-

трудничестве со специалистами предприятия.

Результаты исследования. Принцип действия аппаратуры подповерхностного георадарного зондирования (в общепринятой терминологии – георадара) основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов, как правило, метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства. Более подробно эти принципы описаны в широко известных работах исследователей в области георадиолокации М.И. Финкельштейн, М.Л. Владов, А.В. Старовойтов, D.J. Daniels, M.J. Harry и др.

Ключевым параметром среды при георадарном зондировании является диэлектрическая проницаемость, влияющая на скорость прохождения электромагнитных волн, где 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. [3].

В работе приведены результаты георадарных исследований, выполненных с применением георадарного комплекса Ramac/GPR X3M, оснащенного экранированными антеннами и Лоза 1В с неэкранированными антеннами.

В работах [4, 5] автором посредством математического моделирования радарограмм, определена волновая картина осей синфазности и изменения амплитудных характеристик сигнала георадарного зондирования массива скальных пород, ослабленного структурной неоднородностью. Установлено, что интенсивность искажения волнового поля определяется контрастностью (соотношением) физических свойств пород, пространственной ориентацией и глубиной расположения неоднородности.

На рисунке 1 приведен пример интерпретации георадарных данных, полученных георадаром Ramac/GPR X3M с антенным блоком 100 МГц. На фоне сильных низкочастотных помех, которые вызваны наличием воды в массиве горных пород, уровень грунтовых вод 8-10 метров от поверхности, четко прослеживается граница структурной нарушенности пород, представленной в виде максимальных амплитуд георадарного сигнала.

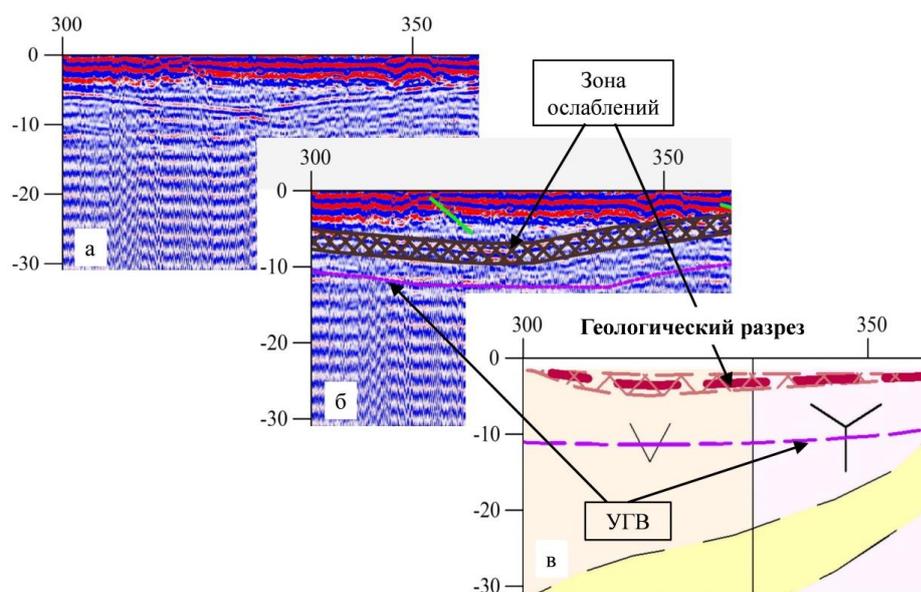


Рис. 1. Пример интерпретации данных георадарного зондирования: а – обработанная радарограмма, б – интерпретированная радарограмма, в – геологический разрез

Выявлена трещиноватая зона (зона ослабления) по данным георадарного зондирования, которая подтверждена геологическим разрезом по данным бурения, где а – обработанная радарограмма, б – интерпретированная радарограмма, в – геологический разрез.

На рисунке 2 представлен пример интерпретации радарограммы обследования участка массива скальных пород, полученных георадаром Лоза 1В с антенным блоком 100МГц., ослабленного крупной магистральной трещиной проходящей через несколько уступов, с визуальным его сопоставлением, отражающим структур-

ное строение. Определение трещин и зон нарушенности производилось путем анализа волновой картины и сопоставлением осей синфазности сигналов. Интерпретированные данные на радарограмме совпадают с визуальным обследованием уступа.

Выполненными инструментальными измерениями выявлено, что в пределах зон неоднородностей массива (разломная тектоника, участки повышенной трещиноватости) наведенное электромагнитное поле искажается в зависимости от степени различия физических свойств пород зоны и основного массива.

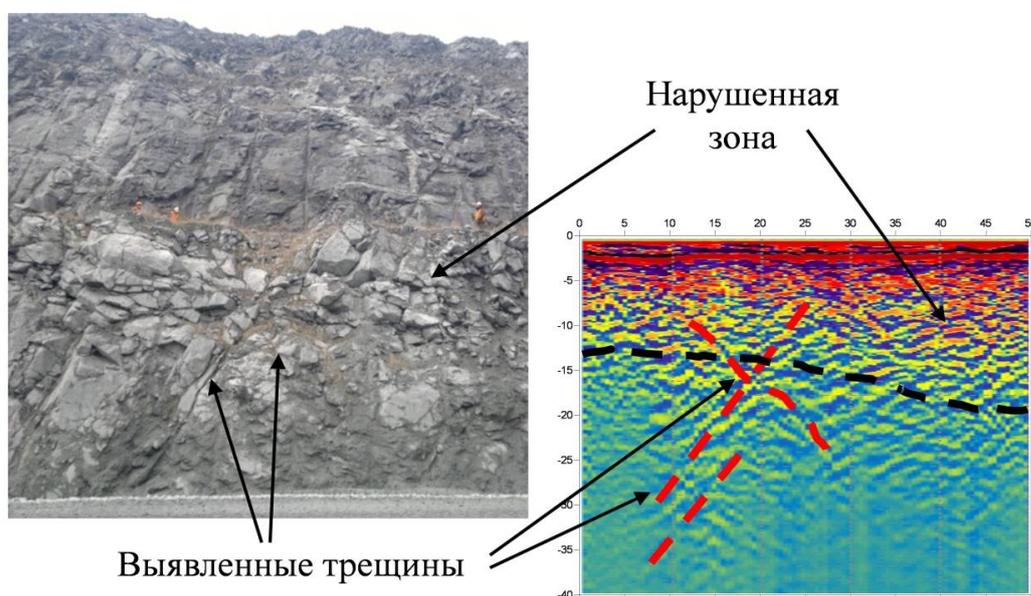


Рис. 2. Пример интерпретации волновых данных георадарного зондирования

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).

В таблице 1 представлено соотношение частоты антенны георадара с длиной волны. Автор не указывает в этой таблице интервалы глубин, т.к. она очень сильно зависит от свойств исследуемой среды, а именно от ее диэлектрической проницаемости.

Таблица 1.

Частота антенны	10 МГц	50 МГц	100 МГц	200 МГц	300 МГц	500 МГц	800 МГц
Тип волны	Короткие волны	Ультракороткие волны					
Диапазон	Декаметровые	Метровые				Дециметровые	
Длина волны	30 м	6 м	3 м	1,5 м	1 м	0,6м	0,375м
Разрешающая способность	0,6м	0,2м	0,1м	0,1м	0,05м	0,04м	0,02м

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 антен-

нами 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. На рисунке 3 представлена блок-схема определения необходимых параметров антенных блоков георадара для решения различных горных задач.

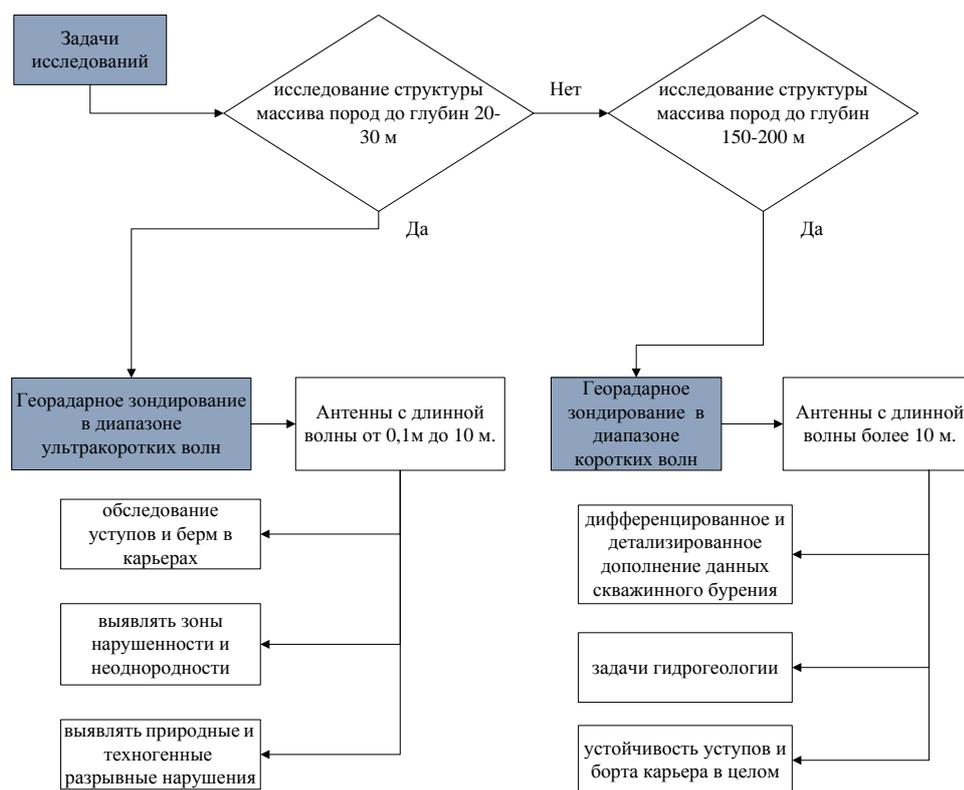


Рис. 3. Блок-схема определения необходимых параметров антенных блоков георадара для решения горных задач.

Заключение. Анализ волновых картин на радарограммах, полученных при проведении исследований, подтвердил возможность применения методов неразрушающего подповерхностного зондирования в подобных условиях с достаточной достоверностью получения данных и их количественной и качественной интерпретацией для решения различных горных задач.

Использование георадара на рабочих уступах горнорудных карьеров позволяет оперативно выявлять геолого-структурное строение скального массива, определять подповерхностные аномальные структурные зоны, включая зоны повышенной трещиноватости пород.

Библиографический список

1. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Максимов Д.А. Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части российского сектора Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – № 1 (107). – С. 39-49.
2. Калашник А.И., Дьяков А.Ю. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – №6. – С. 73-78.

3. Калашник А.И., Дьяков А.Ю. Оценка нарушенности скальных пород уступа карьера электромагнитным зондированием // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S56. – С. 230-237.

4. Дьяков А.Ю., Калашник А.И. Моделирование электромагнитного поля, индуцированного георадарным зондированием в окрестности структурной неоднородности скального массива // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2017. – №14. – С. 275-278.

5. Дьяков А.Ю., Калашник А.И. Интерпретация геолого-геофизических данных для идентификации неоднородностей скального массива по данным электромагнитного зондирования // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2018. – № 15. – С. 132-135.

GPR AS A TOOL FOR SOLVING MOUNTAIN PROBLEMS

A.Yu. Dyakov, *researcher*
Mining Institute KSC RAS
(Russia, Apatity)

***Abstract.** The Article is devoted to the study of the geological and structural structure of the sculptural rock mass of the sections of the working ledges of the Zhelezny open pit of Kovdorsky GOK. The results of georadar studies of the composing ledge of the rock mass are presented. The paper deals with methodological issues of application of georadar sounding for the study of the internal structure of rocks. The approaches of using GPR for solving various mountain problems are proposed.*

***Keywords:** open pit, ledge, rock, GPR, radarogram, structural disturbance.*