

УДК 622.271.332:550.835(470.21)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО СТРОЕНИЯ МАССИВА 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}Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

Аннотация. Статья посвящена исследованию законтурного состояния скальных пород участков рабочих уступов карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК». Приведены результаты электромагнитного зондирования слагающего уступ массива скальных пород совместно с визуальным и телеметрическим обследованием стенок буровых скважин. Предложены подходы по оценке структурной нарушенности пород рабочих уступов карьера электромагнитным зондированием.

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

PARTICULARITIES OF ELECTROMAGNETIC SOUNDING TO ASSESS THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF ROCK MASS

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 the study of the beyond-contour state of hard rocks in the working benches of the Zhelezny open pit, JSC Kovdorsky GOK. The results are presented of electromagnetic sounding of the rock mass composing a bench, together with visual and telemetric survey of borehole walls. Approaches are proposed for assessing the structural disturbance of the rocks in the working benches by electromagnetic sounding.

Keywords: electromagnetic sounding, open pit, bench, structural disturbance.

Введение. Одним из оперативных методов изучения геолого-структурного строения массива скальных пород является электромагнитное зондирование, позволяющее исследовать изменение физических свойств скальных пород. Вследствие многообразия геолого-геофизических условий, стандартной методики для оценки геолого-структурного строения массива скальных пород и интерпретации данных электромагнитного зондирования, подходящей для большинства случаев, не существует. Вопросы



оценки геолого-структурного строения массивов горных пород электромагнитным зондированием, не смотря на все более активное его применение различными исследователями, все еще остаются не решенными [1,2]. Существенным недостатком электромагнитного зондирования, как и у большинства волновых методов, является сложность камеральной обработки полученных данных, неоднозначность интерпретации, на качество которой влияет опыт интерпретатора, а так же острая нехватка данных прямых измерений.

Наиболее важным параметром, характеризующим возможности применения электромагнитного зондирования в различных средах, является ее диэлектрическая проницаемость, влияющая на скорость прохождения электромагнитных волн. Вычисление этого параметра и установления его взаимосвязи с параметрами среды (геолого-структурным строением), является ключевым моментом при применении электромагнитного зондирования массивов скальных пород.

Из-за сложности получения этих данных по профилю электромагнитного зондирования, интерпретация в подавляющем большинстве случаев производится на основе детального анализа амплитудных, частотных и фазовых характеристик электромагнитного сигнала, сопоставления осей синфазности сигнала внутри выделенных на профиле участков или областей, которые отличаются друг от друга характером картины, поверхностями угловых несогласий, интенсивностью отражающих горизонтов. Для количественной интерпретации данных электромагнитного зондирования необходимо вычислить диэлектрическую проницаемость пород и произвести пересчет временной задержки отраженного импульса в глубину [3].

Цель работы. Целью данной работы являлось выявление особенностей изменения электромагнитного сигнала в скальных породах с определением значений диэлектрической проницаемости, и оценки их геолого-структурного строения с дифференцированием по степени структурной нарушенности.

Результаты исследований. В работе приведены результаты электромагнитного зондирования, выполненного с применением комплекса Ramac/GPR X3M, оснащенного экранированными антеннами. Полученные данные электромагнитного зондирования геолого-структурного строения уступа вначале обрабатывались с использованием специализированных компьютерных программ (ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, RadExplorer) и интерпретировались в радарограммы [4-6], представляющие собой скоростные (электромагнитные) вертикальные (рис.1) и горизонтальные (рис.2) разрезы уступа.

На профиле (радарограмме) рис. 1, проходящем по центру участка

рабочего уступа, в непосредственной близости к скважине №60, выявлена зона повышенной трещиноватости. Значения диэлектрической проницаемости нарушенных пород этой зоны отмечены на профиле голубым цветом, и составляют 9-9,3 ед. в интервале профиля 14-21 м со значением абсолютной отметки 102-110 м (на глубине 9-17 м от поверхности уступа), что подтверждается данными телеметрического обследования скважины №60 (гистограмма рис. 1). Как видно из гистограммы в центральной части рис.1, число трещин по глубине скважины изменяется от 2-4 на 1 п.м. (приповерхностная уплотненная зона) до 6 и более на интервале абсолютной отметки 98,5-112 м., что соответствует сильно нарушенному массиву пород.

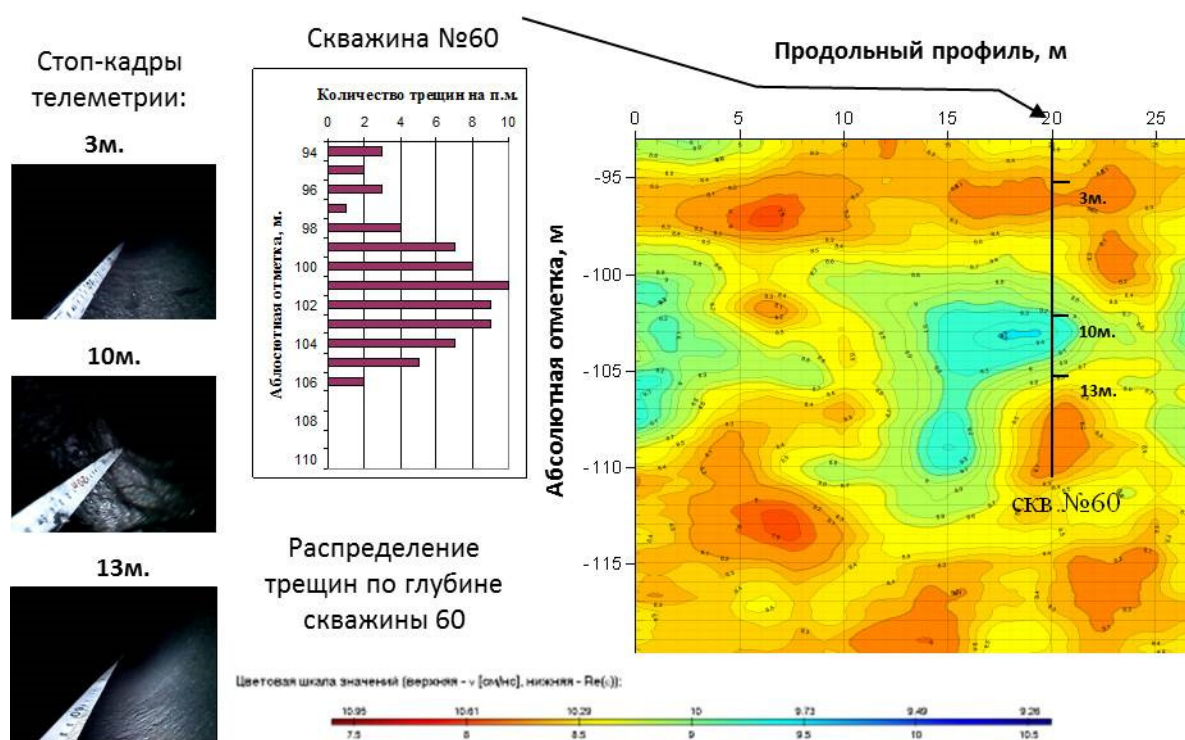


Рис. 1. – Данные комплексных исследований взрывного блока рабочего уступа в пространственно-глубинной увязке

В целом, радарограмма характеризуется общим неравномерным волновым распределением. Приповерхностная зона глубиной до -97м абсолютной отметки, представляет собой уплотненные породы, значения диэлектрической проницаемости составляют менее 8,2-8,5 ед. Ниже глубины -112м массив пород практически однороден и здесь значения диэлектрической проницаемости практически повсеместно равны 8,2 ед.

Анализ данных электромагнитного зондирования и телеметрического обследования, позволил выявить тенденцию изменения диэлектрической проницаемости в зависимости от количества трещин в массиве горных пород. С увеличением количества трещин в массиве горных пород значения

диэлектрической проницаемости увеличиваются, а значения скорости электромагнитной волны уменьшается. Анализ значений диэлектрической проницаемости и скорости электромагнитной волны на экспериментальном участке позволил определить зоны повышенной трещиноватости скальных пород, которые соответствуют интервалу значений диэлектрической проницаемости от 9 ед. и выше. Полученные данные позволили с высокой степенью достоверности, интерпретировать данные горизонтального электромагнитного зондирования (рис.2) и дифференцировать участок уступа: нарушенный-ненарушенный массив.

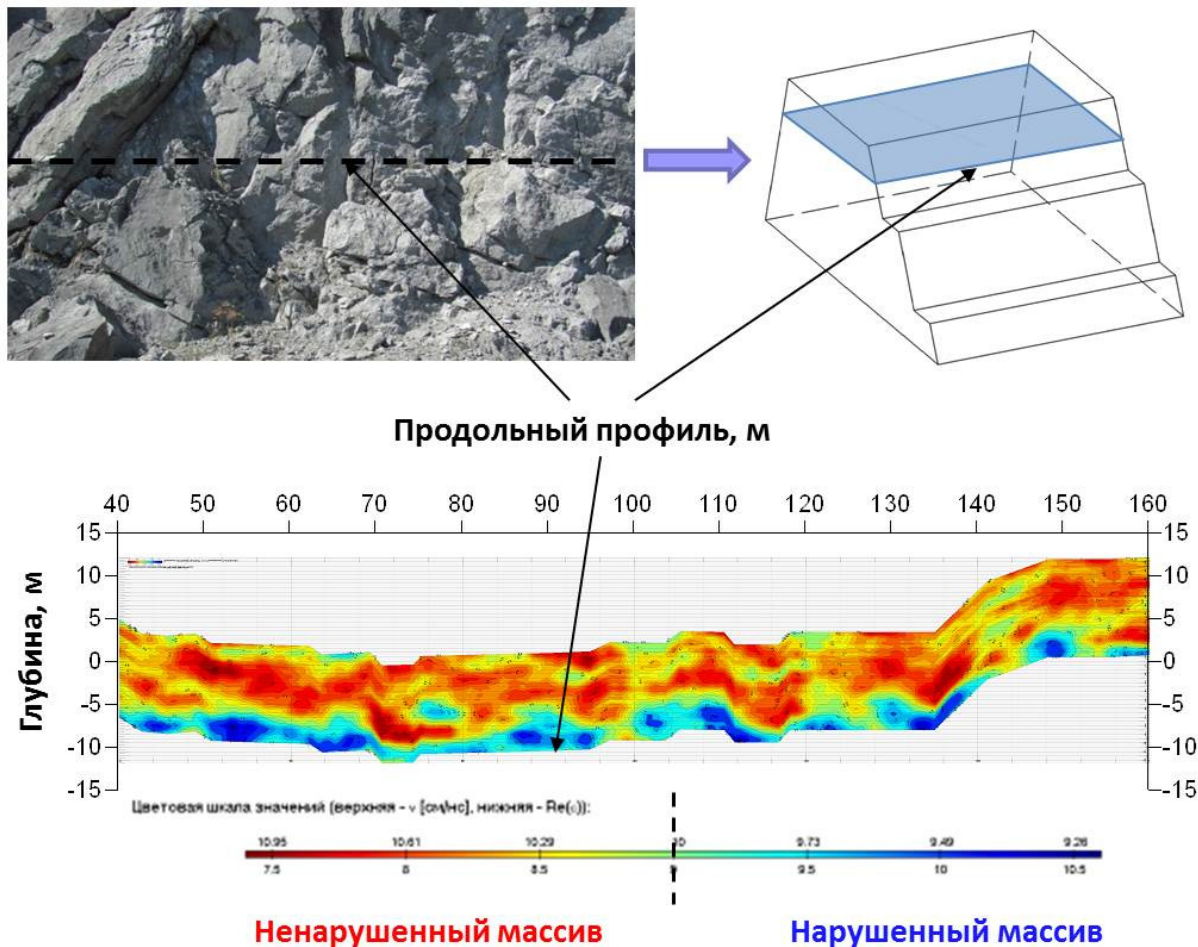


Рис. 2. – Результат георадиолокационного зондирования по стенке уступа.

Анализ радарограммы рис.2 позволил выявить заметное различие значений диэлектрической проницаемости в приповерхностной зоне уступа на глубину от 0,5 до 2м, что обусловлено его нарушением под действием техногенных (взрывных работ при постановке уступа) и природных факторов (влияние воды и отрицательных температур). Значения диэлектрической проницаемости здесь повсеместно колеблются от 9 до 10,5. По мере углубления в массив значения диэлектрической проницаемости падают до 7,5, красная палитра, что соответствует однородному массиву

скальных пород. Полученные данные хорошо коррелируются с данными сейсмотомографического профилирования выполненного ранее [7], подтверждая его, а также визуально прослеживаются на протяжении всего профиля.

Обсуждение результатов. Изменчивость свойств и неоднородность массива скальных пород обуславливает изменение параметров результирующего электромагнитного сигнала. Большим числом инструментальных измерений выявлено, что в пределах зон неоднородностей массива (разломная тектоника, участки повышенной трещиноватости) наведенное электромагнитное поле искажается в степени различия физических свойств пород зоны и основного массива. Установлено, что интенсивность искажения волнового поля определяется контрастностью (соотношением) физических свойств пород и глубиной расположения зоны.

Проведенное электромагнитное зондирование на рабочем участке уступа, в комплексе с телеметрическим обследованием (с помощью телевизионной камеры) стенок скважин, созданием стоп-кадров и протоколированием визуально определяемых трещин и зон повышенной трещиноватости пород, позволило выявить интервалы значений диэлектрической проницаемости соответствующие этим зонам.

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

1. Зарегистрировано, что повышение трещиноватости пород обуславливает повышенные значения их диэлектрической проницаемости.
2. Установлены интервалы значений диэлектрической проницаемости, отражающие структурную неоднородность массива скальных пород, заверенную телеметрическим обследованием скважин.
3. Применение электромагнитного зондирования на рабочих уступах рудных карьеров позволяет оперативно выявлять геолого-структурное строение скального массива и определять подповерхностные (скрытые) зоны повышенной трещиноватости пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Н.Н. Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части Российского сектора Арктики / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник, Д.В. Запорожец, А.Ю. Дьяков, Д.А. Максимов // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – № 1 (107). – С. 39-49.
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 ра-



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

6. Дьяков А.Ю. Георадиолокационное исследование массивов скальных пород / А.Ю. Дьяков, А.И. Калашник // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. – 2017. – № 4. – С. 25-30.

7. Панин В.И. Контроль динамики геомеханической ситуации в борту карьера сейсмотомографическим методом / В.И. Панин, Ю.А. Старцев // Глубокие карьеры – 2012. – С. 429-433.

УДК 622.012:626:550.34.016

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ (ГТС) ГОРНОГО ПРОФИЛЯ

Д.В. Запорожец¹, Д.Н. Еграшичева²

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

²инженер, e-mail: diana-shhukina@yandex.ru

^{1,2} Горный институт - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Кольский научный центр Российской академии наук"

Аннотация: В статье приводится пример совместного применения результатов натурных геодезических измерений и данных дистанционного зондирования земли. Натурные геодезические наблюдения за состоянием ГТС являются достаточно точными и позволяют надежно оценить фактическое состояние сооружения, выявить нежелательные процессы, происходящие в сооружении, и в комплексе с результатами других измерений принять решения по своевременному предотвращению аварийных ситуаций. Опыт работы с космическими снимками показал их эффективность в качестве средства для оперативного картографирования и мониторинга изменений. С помощью компенсированных методов геодезического мониторинга удалось собрать всю необходимую информацию о состоянии дамб хвостохранилища.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, мониторинг, геодезические измерения, космоснимки.

