

УДК 622.271.223:550.837(470.21)

**А.И. Калашник, А.Ю. Дьяков**

**ОЦЕНКА НАРУШЕННОСТИ СКАЛЬНЫХ ПОРОД  
УСТУПА КАРЬЕРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ  
ЗОНДИРОВАНИЕМ\***

*Описано исследование геолого-структурного строения законтурного массива пород участков глубоких рабочих уступов карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК». Приведены результаты георадарных исследований до проведения работ на уступе и после бурения взрывных скважин в комплексе с наливом воды в скважины. Установлена взаимосвязь структурной нарушенности пород и их диэлектрической проницаемости под действием водонасыщения пород. Предложены подходы по оценке структурной нарушенности пород взрывного блока рабочего уступа карьера электромагнитным зондированием.*

*Ключевые слова: карьер, уступ, законтурный массив, георадарное зондирование, радарограмма, дислокации, скрытые нарушения, водонасыщение.*

---

**Р**азработка горизонтов глубоких карьеров выдвигает особое требование к ведению горных работ и степени сохранности уступов на контуре. Учет основных структурных особенностей массива скальных пород (зоны трещиноватости, тектонические нарушения, обводненные и нарушенные зоны) играет важную роль в выборе рациональной технологии буровых, взрывных и экскаваторных работ. В настоящее время активно развиваются неразрушающие методы изучения структуры и состояния горных пород [1—5], в числе которых хорошо зарекомендовал себя метод электромагнитного зондирования (георадиолокация), для выявления пространственной неоднородности физических свойств, структуры и текстуры пород на месторождениях Урала, Сибири, Дальнего востока. Получены результаты, подтверждающие, что проведение буровзрывных работ, с учетом выявленных георадиолокацией геолого-структурных особенностей массива пород, позволяют обеспечивать максимально возможное равномерное дробление горной массы для последующих технологических этапов ее обработки.

---

\* Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проект 15-05-05835.

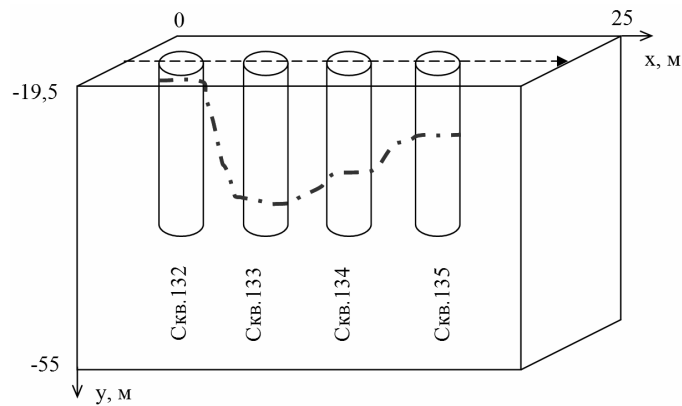
Принимая во внимание то обстоятельство, что обводненность контактных зон и структурных нарушений приводит к изменению физических свойств горных пород вблизи их поверхностей [6], в данной работе рассмотрено влияние этого фактора на волновую картину радарограмм в целях выявления в массиве горных пород различного рода структурных неоднородностей (зоны трещиноватости, геологических включений, тектонических нарушений и т.п). Для повышения информативности и контрастности регистрируемых георадиолокационных данных изучения геолого-структурного строения участков уступа и последующего дифференцирования их по степени структурной нарушенности, до проведения и при подготовке буровзрывных работ на одном из участков уступа горизонта –35 запад, выполнен экспресс-налив четырех буровых, принятых за контрольные, скважин с проведением георадиолокационного мониторинга состояния массива пород во времени. Следует отметить, что по геологическим данным породы данного участка представлены ийолитами с IV категорией трещиноватости. На рис. 1 показана схема участка с расположением 4-х контрольных скважин, на которой пунктирной линией показаны трасса и направление проведения георадиолокационного обследования.

Экспресс-налив осуществлялся последовательной закачкой воды в скважины 135–132, причем скважины 135–133 налить до устья не удалось (вода сразу же ушла по трещинам). Было проведено георадиолокационное обследование участка с целью определения изменения диэлектрической проницаемости пород по мере изменения водонасыщенности массива через интервалы времени, обозначенные в табл. 1. Через час после проведения экспресс-налива уровень воды в скважинах 135–133 зафиксировался на глубинах 5,3, 8,8 и 11,5м соответственно (пунктирная линия на рис. 1), что свидетельствует о неравномерной и достаточно сильной трещиноватости пород массива в приповерхностной зоне.

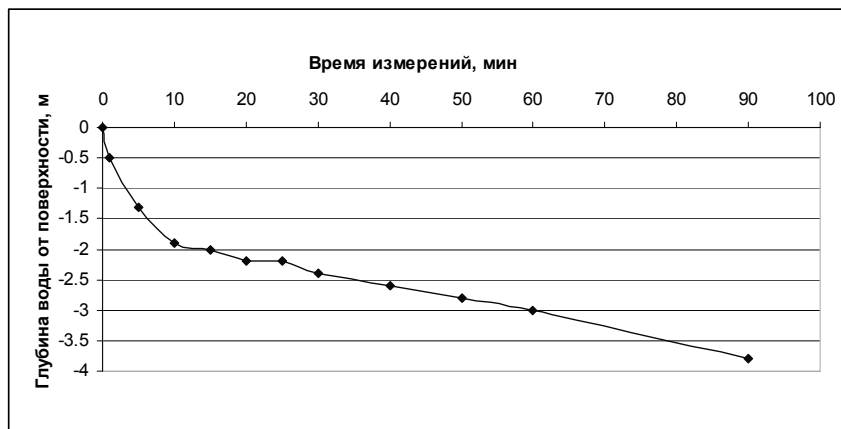
Таблица 1

**Изменение уровня воды в скважине №132 от поверхности после проведения их экспресс-налива.**

Время, мин.	1<	5	10	15	20	25	30	40	50	60	90
Скв. №132, м	0,5	1,3	1,9	2	2,2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,8



**Рис. 1. Схема исследуемого участка уступа и проведения геоэлектродного обследования (линией — . показан установившийся уровень после налива скважин)**



**Рис.2 Понижение уровня воды в скважине № 132 с течением времени**

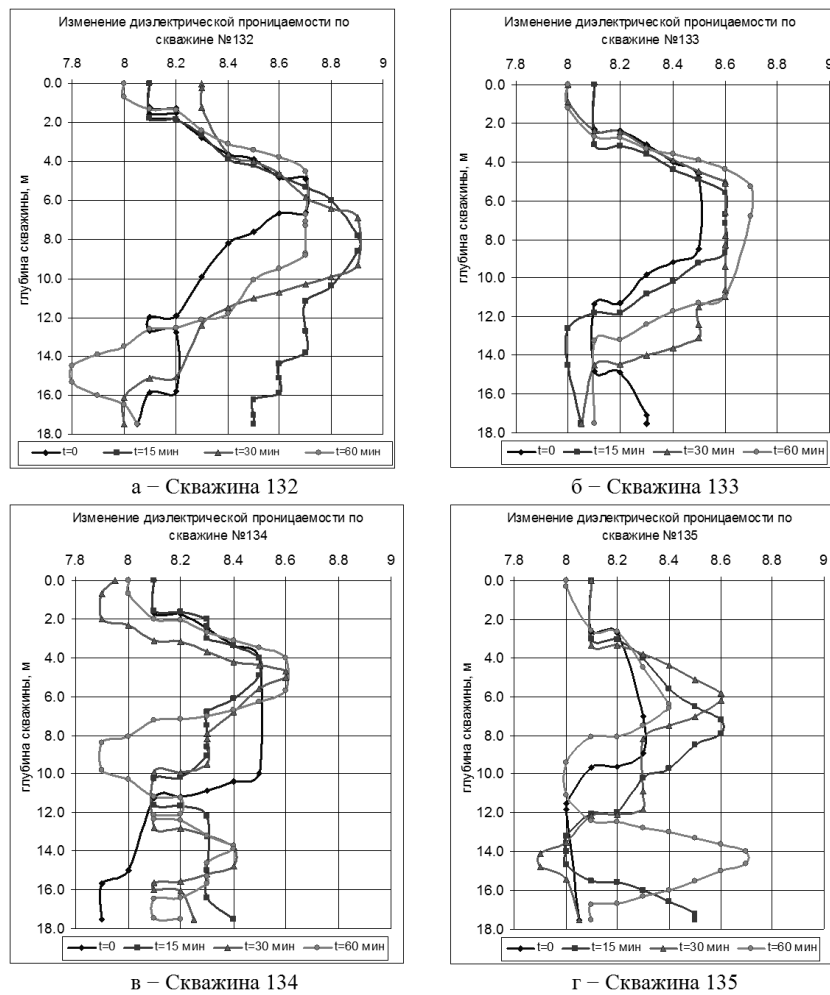
На рис. 2 представлен график изменения уровня воды в скважине №132 от поверхности с течением времени. Для условий налива процесс снижения уровня воды в скважине описывается двумя выражениями: для временного интервала  $0 \leq t \leq 5$  и  $10 \leq t \leq 90$  минут. Первый, весьма кратковременный, участок графика соответствует фильтрации в нарушенном прискважинном пространстве, сформировавшемся в результате бурения скважины:  $h = -0.2429t$

– 0.1143 (0–5 мин.), второй  $h = -0.0232t - 1.6671$  (10–90 мин.) при установившемся режиме фильтрации, где  $h$  — уровень воды в скважине,  $t$  — время после выполнения экспресс-налива.

Камеральная обработка данных георадиолокационных измерений проводилась в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, на основе обработки результатов анализа поля обратного рассеяния. На вход программы автоматизированной обработки подавалась числовая матрица амплитуд отраженных сигналов, полученная при георадиолокационном зондировании. В результате вычислений на выходе формируется матрица того же размера, но уже со значениями диэлектрической проницаемости для каждой точки двумерного пространства разреза. Технология (основанная на эффекте дифракции, как и в случае голографа 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 [7].

Анализ данных полученных по 12 волновым радарограммам, выполненных около буровых скважин, показал, что в интервале глубин 0–15 метров после проведения экспресс-налива скважин появились зоны водонасыщенности пород, которые характеризуются повышенными значениями диэлектрической проницаемости и падением значений скоростей электромагнитной волны (рис. 3, а–г **(см. Приложение, с. 450)**).

Изменение характера распределения диэлектрической проницаемости на георадарных профилях свидетельствует о водонасыщении массива скальных пород по трещинам и порам. Участки значений диэлектрической проницаемости более 8,5 ед. можно охарактеризовать как водонасыщенные. Значение диэлектрической проницаемости в интервале 8,4–8,6 ед. является пограничным, так как является максимальным значением на этом участке блока до проведения экспресс-налива. На рис. 3, а представлено распределение значений диэлектрической проницаемости до проведения экспресс-налива, где максимальные значения составили 8,6 ед. в интервале 3–8 м. профиля, на глубине 5–8 м. Для проверки полученных данных выполнено телеметрическое обследование 132-й скважины, находящейся на 5 метре георадарного профиля, по результатам которого данный участок является трещиноватым. На рис. 3, б–г представлено изменение диэлектрической проницаемости массива горных пород после проведения экспресс-налива через 15, 30 и 60 минут.



**Рис. 4. Изменения значений диэлектрической проницаемости по скважинам**

Как видно из графика рис. 4, а, через 15 минут после проведения налива на всем интервале глубины скважины № 132 значение диэлектрической проницаемости увеличилось и составляет от 8,6 ед. до 8,9 ед. Через 30 минут в интервале 10–18 м. произошло резкое уменьшение значений диэлектрической проницаемости с тенденцией сохранения значений в интервале 6–8 м. Спустя час уровень диэлектрической проницаемости прибли-

зился к значениям, полученным до проведения налива в скважины. В скважине № 133 (рис. 4, б) на протяжении всего времени наблюдений уровень диэлектрической проницаемости увеличивается и сохраняет тенденцию к увеличению, что связано в первую очередь с водонасыщением массива пород под влиянием налитых соседних скважин. Изменения значений диэлектрической проницаемости в скважинах № 134 и № 135 (рис. 4, в, г) неоднозначны, например, на интервале глубин 8–10 м. значения диэлектрической проницаемости установились ниже, чем до проведения налива воды, что может свидетельствовать о вымывании заполнителя трещин. Таким образом, вода является своего рода индикатором, который позволяет более контрастно выявлять зоны нарушенности пород, ввиду незначительных изменений диэлектрической проницаемости в ненарушенном и нарушенном массиве.

### **Заключение**

На участке рабочего уступа карьера (горизонт -35 запад карьера «Железный» Ковдорского ГОКа) выполнен экспресс-налив четырех буровых скважин и изучено изменение уровня воды в скважинах (понижение от поверхности) во времени в течение 90 минут. Построена зависимость понижения уровня воды в скважине с течением времени.

По данным георадарного зондирования построены картины распределения значений диэлектрической проницаемости пород и скорости электромагнитной волны в изолиниях на вертикальных профилях участка экспресс-налива. Выявлено влияние водонасыщения скальных пород по трещинам и порам на волновую картину радарограмм.

Применение георадарных технологий на рабочих уступах горнорудных карьеров позволяет оперативно выявлять геологическое строение скального массива, определять подповерхностные аномальные структурные зоны, включая зоны повышенной трещиноватости пород, особенно в условиях их водонасыщения.

---

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мельников Н.Н., Калашник А.И. Инновационные георадарные технологии изучения подповерхностной структуры и состояния природно-технических систем // Вестник КНЦ, 2010, № 3. С. 4–8.

2. Калашник А.И., Дьяков А.Ю. Исследование взаимосвязи параметров электромагнитного зондирования и напряженного состояния пород уступов карьера // Изв. вузов. Горный журнал, 2013, № 8. С. 58–63.

3. Калашник А.И., Казачков С.В., Сохарев В.А., Дьяков А.Ю., Запорожец Д.В., Демахин А.Ю. Исследования горнотехнических конструкций карьера георадарными технологиями. // Вестник КНЦ РАН, 2012, № 2 С. 59–65.

4. Калашник А.И., Казачков С.В., Сохарев В.А., Дьяков А.Ю., Запорожец Д.В. Выявление дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях. // Вестник МГТУ. – 2013. – Т. 16, № 1. С. 93–97.

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

6. Калашник А.И., Дьяков А.Ю. Критерии оценки состояния рабочих уступов карьера «Железный» на основе исследования их георадиолокацией. // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: сб. докл. Всеросс. науч. — техн. конф. с междунар. участием, 24–27 сент. 2013г. — Апатиты; СПб., ООО «Реноме». 2013. С. 255–261.

7. Калашник А.И., Дьяков А.Ю. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 6. – С.73–78.

8. Калашник А.И., Дьяков А.Ю. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера в целях оптимизации параметров проведения буровзрывных работ // Вестник КНЦ. — 2015. — № 3. – С.48–53. **ТИАБ**

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Калашник Анатолий Ильич* – кандидат технических наук, зав. лабораторией Геофлюидомеханики,

*Дьяков Андрей Юрьевич* – научный сотрудник,  
Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук.



---

UDC 622.271.223:550.837(470.21)

## **EM SOUNDING ASSESSMENT OF ROCKS FRACTURING IN OPEN-PIT BENCH**

*Kalashnik A.I.*, Head of laboratory, Ph.D (Eng.), Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Russia,

*Djakov A.Yu.*, researcher, Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Russia.

---

The paper studies geological structure of out-contour rock mass in deep working benches of the Zhelezny open-pit, JSC Kovdorsky GOK. Results of georadar research are presented which were performed before mining operations on a bench and after bore-holes drilling in conjunction with water filling into the boreholes. Interrelations between structural fracturing of rocks and their dielectric permeability under water-saturating have been established. Approaches are proposed for assessing structural fracturing of explosive block's rocks in a working bench with electromagnetic sounding.

Key words: open-pit, bench, out-contour rock mass, georadar sounding, radargram, dislocations, hidden disturbances, water-saturation

## REFERENCES

1. Mel'nikov N.N., Kalashnik A.I. *Innovacionnye georadarnye tehnologii izuchenija podpoverhnostnoj struktury i sostojanija prirodno-tehnicheskikh sistem* (Innovative georadar technologies of studying subsurface structure and condition of natural-technical systems) / Vestnik KNC, 2010, No 3. pp. 4–8.
2. Kalashnik A.I., D'jakov A.Ju. *Issledovanie vzaimosvjazi parametrov jelektronnogo zondirovanija i naprjazhennogo sostojanija porod ustupov kar'era* (Study of the relationship of parameters of electromagnetic sensing and stress state of the rock benches), Izv. vuzov, Gornyj zhurnal, 2013, No 8. pp. 58–63.
3. Kalashnik A.I., Kazachkov S.V., Soharev V.A., D'jakov A.Ju., Zaporozhec D.V., Demahin A.Ju. *Issledovanija gornotehnicheskikh konstrukcij kar'era georadarnymi tehnologijami* (Studies geotechnical structures career of GPR technology). Vestnik KNC RAN, 2012, No 2 pp. 59–65.
4. Kalashnik A.I., Kazachkov S.V., Soharev V.A., D'jakov A.Ju., Zaporozhec D.V. *Vyjavlenie dislokacij v skal'nyh gornotehnicheskikh konstrukcijah* (Identification of dislocations in rock mining structures). Vestnik MGTU. 2013. V. 16, No 1. pp. 93–97.
5. Kalashnik A.I., Kazachkov S.V., Soharev V.A., D'jakov A.Ju., Zaporozhec D.V. *Issledovanija georadarni struktury i tekushhego sostojanija gornyh porod, slagajushhijh ustupy osnovnogo kar'era Kovdorskogo GOKa* (Study of the structure and current state of the rocks, forming ledges of the main pit of Kovdorskiy GOK), Gornyj zhurnal No 4, 2014. pp. 60–64.
6. Kalashnik A.I., D'jakov A.Ju. *Kriterii ocenki sostojanija rabochih ustupov kar'era «Zheleznyj» na osnove issledovanija ih georadiolokacij* (Evaluation Criteria the status of work benches "Iron" based on the study of their GPR). Monitoring prirodnyh i tehnogennyh processov pri vedenii gornyh rabot: sb. dokl. Vseross. nauch.-tehn. konf. s mezhdunar. uchastiem, 24–27 sent. 2013. Apatity; SPb., 2013. pp. 255–261.
7. Kalashnik A.I., D'jakov A.Ju. *Georadarnoe issledovanie geologo-strukturnogo stroenija rabocheho ustupa kar'era* (GPR study of the structural Geology the structure of the working quarry face) // Izv. vuzov. Gornyj zhurnal. 2015. No 6. pp. 73–78.
8. Kalashnik A.I., D'jakov A.Ju. *Georadarnoe issledovanie geologo-strukturnogo stroenija rabocheho ustupa kar'era v celjah optimizacii parametrov provedenija burovzryvnyh rabot* (GPR investigation of geological-structural construction work the quarry face in order to optimize the parameters of drilling and blasting operations) // Vestnik KNC. 2015. No 3. pp. 48–53.