

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.271.332:550.837.76 (470.21)

ГЕОРАДАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО СТРОЕНИЯ РАБОЧЕГО УСТУПА КАРЬЕРА

КАЛАШНИК А. И., ДЬЯКОВ А. Ю.

Выполнены георадарные исследования законтурного массива пород трех участков глубоких рабочих уступов карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК» общей протяженностью около 4 км совместно с визуальным и телеметрическим обследованием стенок 11 буровых скважин. В результате комплексного анализа полученных данных и их интерпретации в пространственно-глубинной увязке выявлена взаимосвязь параметров структурной нарушенности массива и диэлектрической проницаемости пород. Установлено, что повышение нарушенности пород обуславливает более высокие регистрируемые значения их диэлектрической проницаемости. Установленная взаимосвязь положена в основу дальнейшей интерпретации данных георадиолокационного зондирования всех исследуемых участков рабочих уступов карьера. Приведен пример построения квазигеологического разреза участка рабочего уступа карьера и его детальной интерпретации с выделением околоконтурных зон, внутренних геологических структур и дислокаций. Проведенные исследования создают методическую основу для развития геолого-маркшейдерского обеспечения отработки рабочих уступов карьера посредством их георадарного зондирования.

Ключевые слова: георадар; карьер; уступ; геолого-структурное строение; структурная нарушенность; геолого-маркшейдерское обеспечение.

Разработка глубоких горизонтов карьеров выдвигает особое требование к проведению буровзрывных работ (БВР) на рабочих уступах в целях обеспечения оптимального дробления пород. Затраты на проведение БВР, качество отбойки и дезинтеграции горных пород, а также производительность карьерного оборудования напрямую зависят от того, в какой степени параметры БВР соответствуют геолого-структурному строению уступа. Наличие в массиве горных пород разного рода структурных неоднородностей (зоны трещиноватости, обводнения, геологических включений, тектонических нарушений и т. п.) приводит к поглощению и рассеиванию энергии распространяющейся взрывной волны, в результате чего происходит неравномерное дробление горной массы. Дополнительные затраты на дробление негабаритов приводят к существенному удорожанию стоимости ведения горных работ. Поэтому важную роль, определяющую качество взрывной отбойки, приобретает учет в паспортах БВР дифференцированного изменения параметров геолого-структурного строения уступа. За счет этого становится возможным подбор рациональных параметров буровых, взрывных и экскаваторных работ, оптимально учитывающих геолого-структурные особенности массива пород, которые должны обеспечивать максимально возможное равно-

Калашник Анатолий Ильич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией геофлюидомеханики. 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, 24, Горный институт КНЦ РАН. E-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Дьяков Андрей Юрьевич – научный сотрудник лаборатории геофлюидомеханики. 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, 24, Горный институт КНЦ РАН.

мерное дробление горной массы для последующих технологических этапов ее обработки.

Одним из оперативных методов изучения геолого-структурного строения массива горных пород, наряду с сейсмотомографией [1], является георадиолокационное подповерхностное зондирование, представляющее собой относительно малозатратное, оперативное и информативное средство измерений с высокой степенью разрешения, позволяющее получать результаты практически в режиме реального времени [2–5]. Поэтому целью данной работы являлось изучение возможности применения георадиолокационного обследования законтурного массива пород участков глубоких рабочих уступов карьера для оценки их геолого-структурного строения и дифференцирования по степени структурной нарушенности до проведения и при подготовке буровзрывных работ.

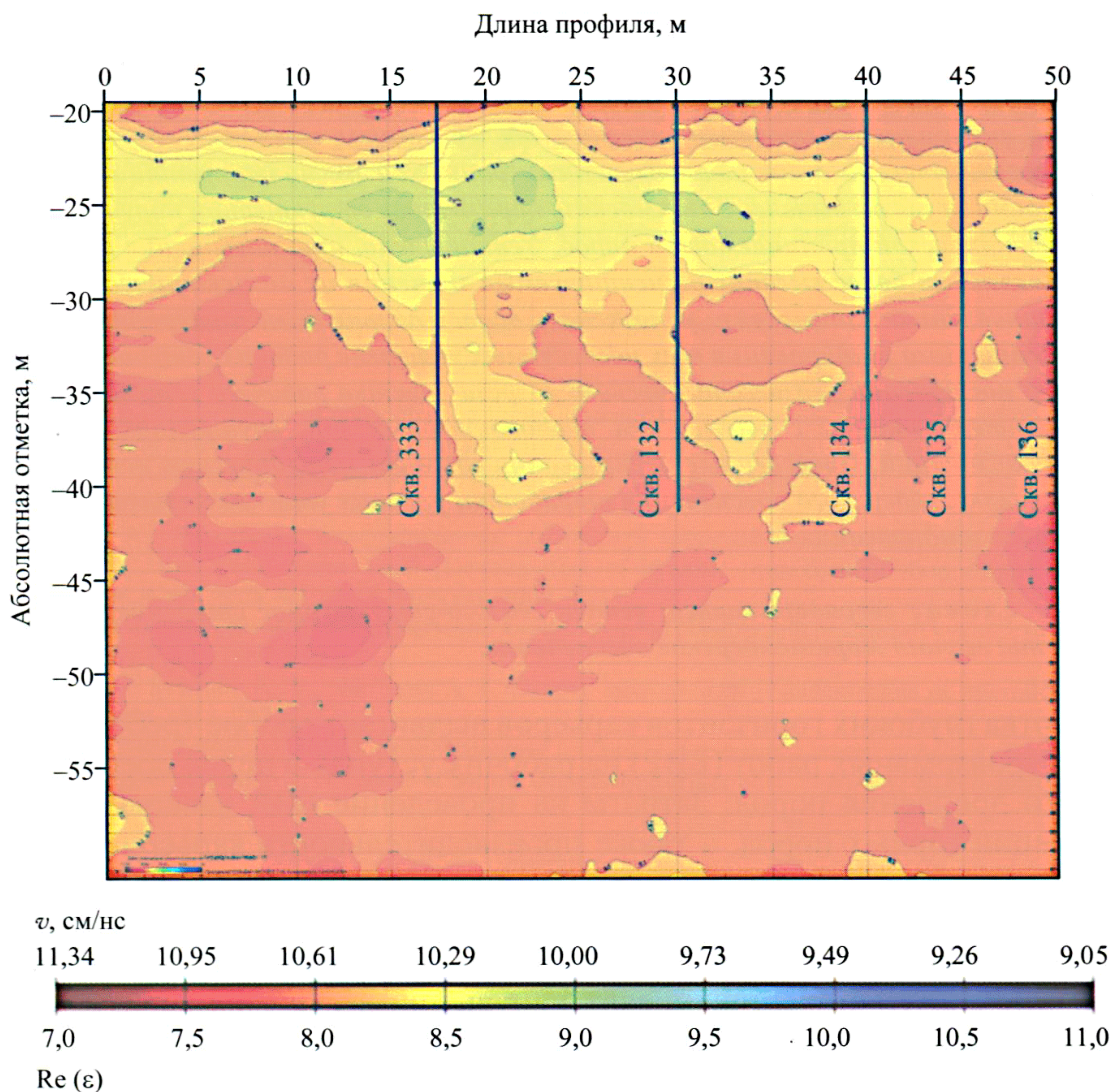


Рис. 1. Радарограмма вертикального сечения рабочего уступа гор. –35 м

В качестве объекта исследований был принят рудник «Железный» АО «Ковдорский ГОК». Комплексные исследования проведены на участках глубоких рабочих уступов западного (гор. –35 м), юго-западного (гор. –110 м) и северного (гор. –110 м) бортов карьера общей протяженностью около 4 км. Георадиолокационные измерения выполнялись продольным и поперечным профилированием с использованием георадарного комплекса Ramac по поверхности уступа до проведения работ и после бурения взрывных скважин, в комплексе с телеметрическим обследованием (с помощью телевизионной камеры) стенок скважин, созданием стоп-кадров и протоколированием визуально определяемых трещин и зон повышенной трещиноватости пород.

Результаты георадарного исследования геолого-структурного строения уступа вначале обрабатывались с использованием специализированных компьютерных программ (ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, RadExplorer) и интерпретировались в радарограммы, представляющие собой скоростные (электромагнитные) вертикальные разрезы уступа (рис. 1).

На рис. 1 также показано положение буровзрывных скважин, через которые проводилось георадарное профилирование. Как видно из рисунка, радарограмма характеризуется неравномерным волновым распределением. В приповерхностной зоне, глубиной до 2 м, представляющей собой уплотненные породы, значения диэлектрической проницаемости составляют менее 8,2. На глубине от 2 до 10 м (в среднем) они вначале возрастают до 8,6–8,8, а затем уменьшаются вновь до 8,2 и ниже. По-видимому, на этом интервале глубин породы нарушены в большей степени. Ниже глубины 10–20 м (на разных участках) массив пород почти не нарушен, и здесь значения диэлектрической проницаемости практически повсеместно равны 8,0.

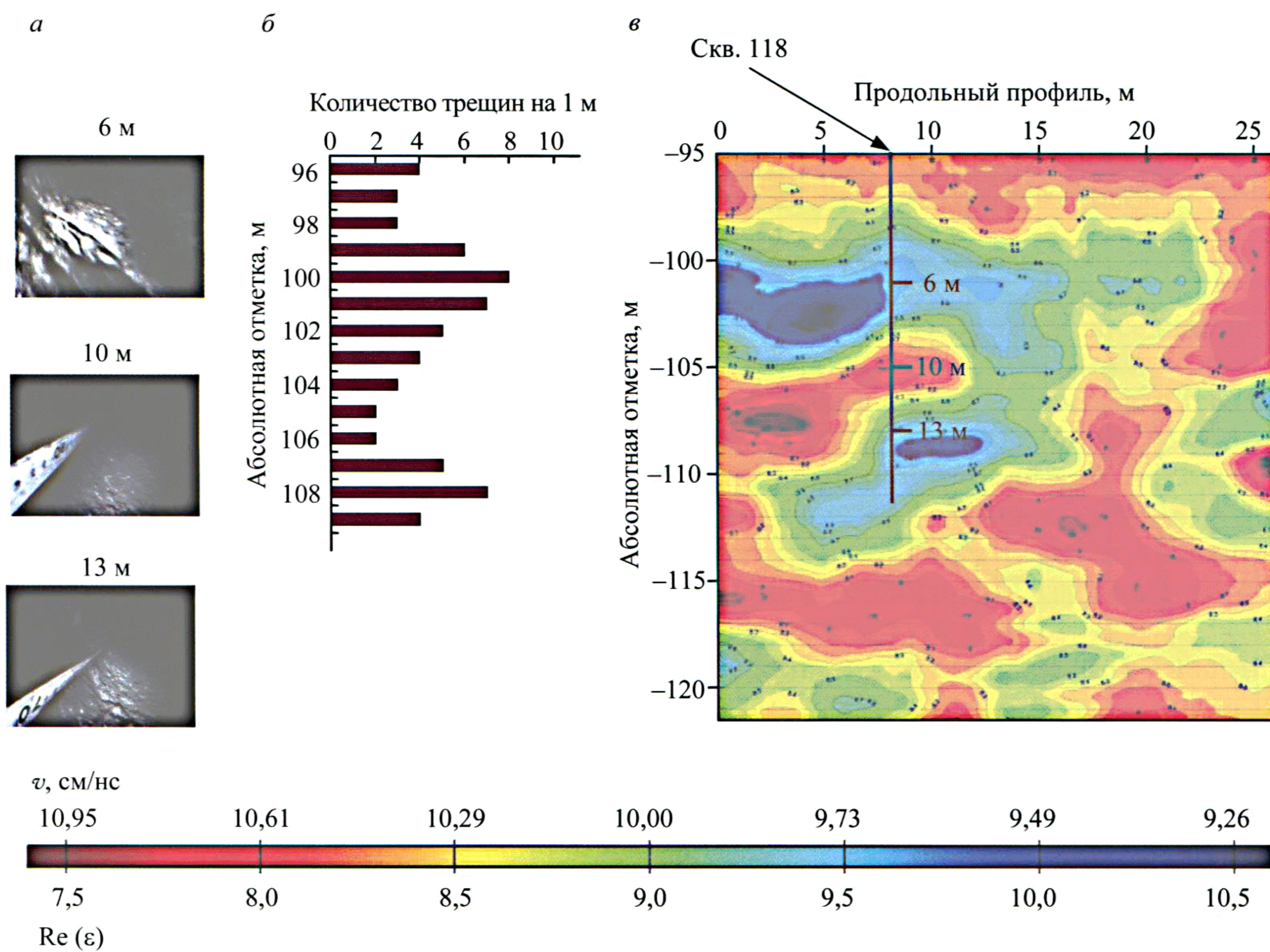


Рис. 2. Данные комплексных исследований взрывного блока рабочего уступа в пространственно-глубинной увязке:

а – стоп-кадры телеметрии; *б* – распределение трещин по глубине скв. 118; *в* – георадиолокационный скоростной профиль (радарограмма)

Затем результаты георадарных определений были подвергнуты комплексному анализу с учетом данных визуального и телеметрического обследования скважин в пространственно-глубинной взаимосвязи. В частности, на рис. 2 приведены взаимоувязанные по глубине данные телеметрического обследования скв. 118, распределение количества трещин (на 1 м длины скважины как количественная характеристика интенсивности трещиноватости пород) и радарограмма вертикального сечения, построенная в изолиниях диэлектрической проницаемости по-

род по данным георадиолокационного профилирования этого участка рабочего уступа протяженностью 25 м. Как видно из гистограммы (рис. 2, б), количество трещин по глубине скважин изменяется от 2–4 на 1 м (приповерхностная зона и породы на глубине около 10 м) до 5 и более на интервалах абсолютных отметок 98,5–102,0 м и 106,5–109,0 м (глубина скважины 3,5–7,0 м и 11,5–14,0 м от поверхности соответственно). На радарограмме (рис. 2, в) визуально для этих глубин выделяются зоны голубого и синего цветов, в пределах которых диэлектрическая проницаемость пород регистрируется в более высоких значениях: от 8,8 до 9,7. То есть большее количество трещин на один метр в массиве пород прямо соотносится с повышенным значением диэлектрической проницаемости на радарограмме этого участка. Таким образом, можно предположить, что определяемые георадиолокационными измерениями значения диэлектрической проницаемости пород свыше 8,8 будут соответствовать породам повышенной трещиноватости.

Для этого были статистически обработаны данные регистрации количества трещин на один метр (определена интенсивность трещиноватости $K_{тр}$) и георадиолокационных измерений диэлектрической проницаемости ϵ по 6 буровым скважинам одного участка уступа, а также построены графики изменения их средних значений по глубине (рис. 3). На рисунке видна четкая корреляция как в характерах изменения графиков, так и в количественных значениях исследуемых параметров.

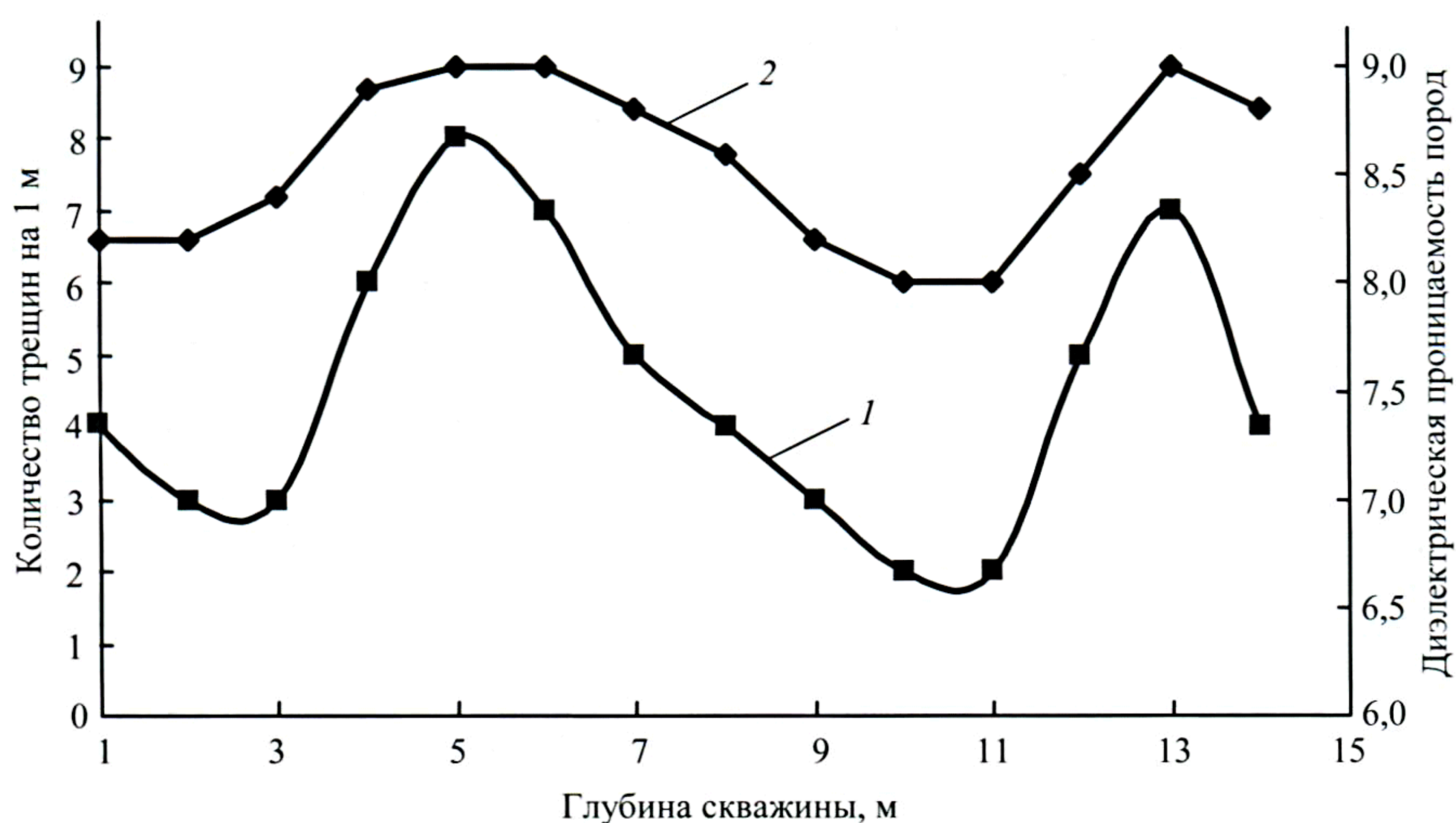


Рис. 3. Графики изменения интенсивности трещиноватости $K_{тр}$ — 1 и диэлектрической проницаемости пород ϵ — 2 по глубине

Установленная взаимосвязь интенсивности трещиноватости пород и их диэлектрической проницаемости была положена в основу интерпретации данных георадиолокационного зондирования всех остальных участков исследуемых рабочих уступов. Для построенных радарограмм выполнен анализ волновой картины и интерпретация с точки зрения выделения геологических структур и дислокаций. В качестве примера на рис. 4 приведен квазигеологический разрез, построенный по одному из уступов. Как видно из рисунка, приповерхностная зона уступа мощностью до 2–4 м характеризуется равномерной волновой картиной и соответствует раздробленным (разрушенным), но уплотненным породам. Далее до глубины примерно 10–20 м (на различных участках) выделяется зона пород, в пределах которой диэлектрическая проницаемость пород существенно выше, что может быть обусловлено их разуплотнением вследствие разгрузки от действия первоначальных гравитационно-тектонических напряжений.

Глубже 10–20 м идентифицируются породы, состояние которых, очевидно, близко к первоначальному – техногенно не измененному.

На радарограмме также выделяются геологические структуры (зоны) и дислокации. В начале профиля на глубине около 8 м прослеживается трещина с углом падения 22° до глубины примерно 17 м. На интервале 250–270 м профиля выделяются две пересекающиеся на глубине 11 м трещины такого же характера (зеленые линии). Зеленым пунктиром выделены предполагаемые крупные трещины, красным – субвертикальные тектонические разломы.

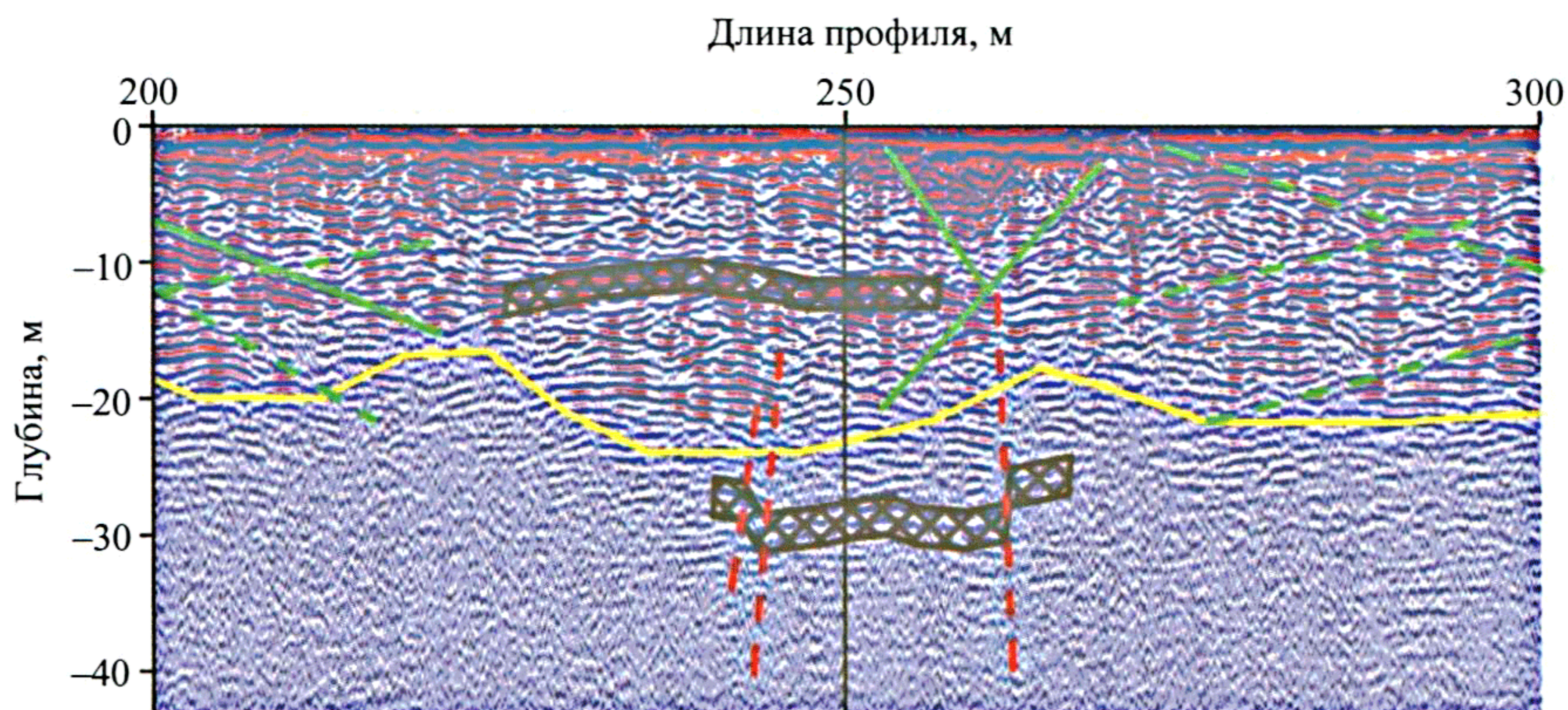


Рис. 4. Фрагмент интерпретированной радарограммы участка рабочего уступа

На профиле также выделяются две геологические структуры (пересекающаяся штриховка), схожие по своим электрофизическим (скоростным) свойствам, которые могут быть интерпретированы как включения литологических разностей пород. 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 – в правой ее части, со сдвигом центральной части структуры вниз.

Аналогично была выполнена дифференциация геолого-структурного строения массивов пород всех обследованных участков уступов, в результате чего предложено внести в параметры БВР корректировки для оптимизации качества дробления горной массы.

Таким образом, в комплексе с визуальным и телеметрическим обследованием выполнены георадарные исследования 11 буровых скважин трех участков глубоких рабочих уступов карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК» общей протяженностью около 4 км. Полученные результаты обработаны в специализированных компьютерных программах с определением количественных характеристик трещиноватости и диэлектрической проницаемости пород для участков измерений.

В результате комплексного анализа полученных данных и их интерпретации в пространственно-глубинной увязке выявлена взаимосвязь показателей структурной нарушенности массива и диэлектрической проницаемости пород. Установлено, что повышение трещиноватости пород обуславливает повышенные регистрируемые значения их диэлектрической проницаемости. Установленная взаимосвязь положена в основу дальнейшей интерпретации данных георадиолокационного зондирования всех исследуемых участков рабочих уступов карьера.

Разработаны методические подходы по оценке структурной нарушенности пород глубоких рабочих уступов карьера «Железный» на основе опережающих оперативных георадиолокационных подконтурных измерений. Это дает возможность оптимизировать параметры буровзрывных работ непосредственно перед их проведением.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ 15-05-05835.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов Н. Н. Методические аспекты сейсмотомографического мониторинга нарушенности скального массива // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 4. С. 126–130.
2. 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.
3. Калашник А. И., Запорожец Д. В., Дьяков А. Ю., Демахин А. Ю. Подповерхностное георадарное зондирование горно-геологических сред Кольского полуострова // Вестник МГТУ. Труды Мурманск. гос. техн. ун-та. 2009. Т. 12, № 4. С. 576–583.
4. Калашник А. И., Казачков С. В., Сохарев В. А., Запорожец Д. В., Дьяков А. Ю. Исследования горнотехнических конструкций карьера георадарными технологиями // Вестник КНЦ РАН. 2012. № 2. С. 58–64.
5. Калашник А. И., Казачков С. В., Сохарев В. А., Запорожец Д. В., Дьяков А. Ю. Выявление дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях // Вестник МГТУ. Труды Мурманск. гос. техн. ун-та. 2013. Т. 16, № 1. С. 93–97.

Поступила в редакцию 18 февраля 2015 г.

GEORADAR RESEARCH OF GEOLOGICAL-STRUCTURAL CONFIGURATION OF OPEN PIT WORKING BENCH

Kalashnik A. I., D'iakov A. Iu. – The Mining Unstitute, CSC RAS, Apatites, Murmansk region, the Russian Federation.
E-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Georadar research of stepout massif is performed at three sections of deep working benches at open pit "Zhelezny" "Kovdorsky GOK" JSC of total length about 4 km together with visual inspection and telemetry inspection of walls at 11 drilling wells. As the result of complex analysis into the obtained data and their interpretation at spatial-deep coordination, the parameters interrelation of massif structural displacement and rock permittivity is determined. It is determined that the increase in rock displacement causes higher values of their dielectric permittivity. The determined interrelation is accepted as a basis for further interpretation of penetrating radar sounding data of all the investigated sections of working open pit benches. The article gives the example of quasi-geological section of open pit working bench area construction and its detailed interpretation with the highlight of near-outline zones, internal geological structures and locations. These investigations create methodological basis for the development of geological-surveyor maintenance of open pit working benches mining through their georadar sounding.

Key words: georadar; open pit; bench; geological-structural configuration; structural displacement; geological-surveyor maintenance.

REFERENCES

1. Abramov N. N. [Methodological aspects of seismo-tomographic monitoring of rock mass displacement]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2014, no. 4, pp. 126–130. (In Russ.)
2. Kalashnik A. I., Kazachkov S. V., Sokharev V. A., D'iakov A. Iu., Zaporozhets D. V. [Georadar research of current condition and structure of rocks composing benches of the main "Kovdorsky GOK" open pit]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*. 2014, no. 4, pp. 60–64. (In Russ.)
3. Kalashnik A. I., Zaporozhets D. V., D'iakov A. Iu., Demakhin A. Iu. [Subsurface georadar sounding of mining-and-geological medium of the Kola Peninsula]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmansk. gos. tekhn. un-ta – The News of MSTU. Proc. of Murmansk State Technical University*. 2009, vol. 12, no. 4, pp. 576–583. (In Russ.)
4. Kalashnik A. I., Kazachkov S. V., Sokharev V. A., Zaporozhets D. V., D'iakov A. Iu. [Open pit mine technical constructions examination with georadar technologies]. *Vestnik KNTS RAN – The news of CSC RAS*. 2012, no. 2, pp. 58–64. (In Russ.)
5. Kalashnik A. I., Kazachkov S. V., Sokharev V. A., Zaporozhets D. V., D'iakov A. Iu. [Locations detection in rocky mine technical constructions]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmansk. gos. tekhn. un-ta – The News of MSTU. Proc. of Murmansk State Technical University*. 2013, vol. 16, no. 1, pp. 93–97. (In Russ.)