

П.А. Рязанцев

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СЫРЬЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ

Рассмотрены возможности геофизических методов для изучения сырья на месторождениях облицовочного камня. Основной характеристикой таких месторождений является степень трещиноватости вмещающего горного массива. Естественные трещины контрастно проявляют себя в геофизических полях, поэтому являются хорошим объектом поиска. Рассмотрены геоэлектрические методы — электротомография и георадиолокация. Приведены характерные величины удельного электрического сопротивления для различных типов пород: сильно, умеренно и слабо трещиноватых. Рассмотрено применение электротомографии для выделения структурно-однородных зон в горном массиве и крупных нарушений. Показаны значения скорости электромагнитной волны и диэлектрической проницаемости для разных скальных пород и направления использования георадиолокации при изучении облицовочного камня. Приведены результаты геофизических работ на месторождении габбродолерита в Южной Карелии. Использование электротомографии в локальной области карьера позволило получить геоэлектрическую модель. Сопоставление уровня УЭС и показателя выхода блоков (полученных для этого месторождения ранее) обеспечило получение параметров для структурирования горного массива. На основе моделирования область исследования была разделена на 4 категории исходя из процента выхода блоков. Аналитические расчеты позволили оценить предполагаемый выход блоков в ее пределах равный 8%. Радарограммы, полученные на месторождении были объединены в единую пространственную схему. Сделаны выводы об умеренной трещиноватости горного массива в области исследований, а также о слабых перспективах данного участка для горной отработки.

Ключевые слова: электротомография, георадиолокация, модель, трещиноватость, месторождение, облицовочный камень, горный массив, оценка.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-149-158

## Введение

Геофизические методы исследования приобретают все большее значение не только при разведке месторождений твердых полезных ископаемых, но и для дальнейшего эксплуатационного сопровождения. Это обусловлено относительно невысокой стоимостью их применения, скоростью получения конечного результата и достаточной информативностью. Широко применяются геофизические

методы и для изучения месторождений облицовочного камня [1, 2, 3]. Главным параметром, определяющим качество для такого сырья является естественная трещиноватость. Сгущение или разряжение трещин горного массива формирует природные структурно-однородные зоны, в пределах которых обрабатываемые блок-заготовки будут иметь максимальный размер, а значит, при добыче экономическая эффективность горного

предприятия будет выше [4]. На практике наиболее активно используются методы электроразведки на постоянном токе [1, 3] и георадиолокация [2, 5, 6].

Цель данного исследования — обобщить материалы по использованию электроразведочных методов геофизики в области изучения трещиноватости на месторождениях облицовочного камня. Для этого был проведен детальный анализ имеющегося мирового опыта по рассматриваемому вопросу, а также выполнены натурные эксперименты на горнодобывающих предприятиях в Республике Карелия.

Следует отметить, что регион для проведения подобных работ является перспективным, так как его геологическое строение включает множество массивов декоративных магматических и метаморфических горных пород, а добыча облицовочного камня является одним из основных направлений деятельности горнопромышленного сектора Карелии [7].

#### **Описание используемых методов**

Использование геофизических методов на месторождениях облицовочного камня должно иметь определенный порядок в соответствии с геологоразведочными стадиями [8]. На первом этапе эффективно применять модификацию метода на постоянном токе — электротомографию. Электротомография представляет собой комплекс, включающий процедуры сбора и обработки полевых

данных, подробно описанных в работах [9, 10]. Ключевым ее преимуществом является использование многоэлектродных систем наблюдений (представляющих собой электродные косы и коммутирующее устройство), которые позволяют получить большой набор данных об удельном электрическом сопротивлении (УЭС) горных пород. Наблюдения методикой электротомографии выполняются по сети профилей, разрешающая способность и глубина которых обусловлена расстоянием между электродами в косе и выбранной электродной установкой [11, 12]. Все измеренные значения УЭС обрабатываются в едином массиве, в результате чего может быть получена блочная двумерная или трехмерная геоэлектрическая модель, отражающая геологические неоднородности изучаемой среды.

Факторы, позволяющие определить параметры областей трещиноватости по показателю УЭС, были детально изложены в [3]. В общем виде можно отметить, что чем интенсивнее трещиноватость горного массива, тем больше его обводненность и ниже УЭС. Зависимость УЭС и трещиноватости для некоторых горных пород Карелии показана в табл. 1. Эти данные получены по результатам многолетних работ, выполненных коллективом лаборатории геофизики ИГ КарНЦ РАН. Из таблицы видно, что каждый тип пород характеризуется индивидуальными параметрами УЭС. Отсюда следует, что для каждого месторождения требуется

Таблица 1

#### **Значение УЭС горной породы в зависимости от трещиноватости**

Степень трещиноватости	Тип горной породы и ее УЭС, Ом · м			
	габбродолерит	гранит	кварцевые сланцы	пироксенит
Сильно трещиноватые	< 5000	< 10 000	< 10 000	< 2000
Умеренно трещиноватые	5000—10 000	10 000—25 000	10 000—30 000	2000—12 000
Слабо трещиноватые	> 10 000	> 25 000	> 30 000	> 12 000

ся разработка своих критериев оценки трещиноватости.

Использование электротомографии на стадии разведки и освоения позволяет определить положение и параметры крупных тектонических разломов, мега-трещин, зон дробления в горном массиве [11, 12]. В результате чего, в промежутки между этими тектоническими дислокациями вписываются относительно однородные области горного массива наиболее перспективные для горной разработки. При наличии большого количества наблюдений и дополнительных опорных данных (бурение, отработка) выполняется параметризация модели, т.е. уровень УЭС сопоставляется с горно-геологическим показателем — удельной трещиноватостью или процентом выхода блоков. Это позволяет по геофизическим данным дать количественный прогноз о строении горного массива, в пределах которого планируются горные работы. Пример такого подхода показан в [13].

Георадиолокация является наиболее перспективным методом при детальном изучении трещиноватости горного массива. Его основы изложены в многочисленных трудах [13, 14]. В простейшем виде этот метод заключается в генерации короткого широкополосного импульса и записи отклика при его прохождении через геологическую среду. Скорость распространения электромагнитного импульса и затухание будут зависеть от электрофизических свойств горной породы — диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и проводимости ( $\sigma$ ). На границах двух сред будет формироваться отраженная волна, интенсивность которой зависит от разности  $\epsilon$ . Некоторые характерные значения  $\epsilon$  горных пород показаны в табл. 2.

Каждый импульс записывается в отдельную трассу, комплект трасс формирует радарограмму. Определяя на радарограмме оси синфазности амплитуд,

Таблица 2

**Диэлектрическая проницаемость некоторых горных пород**

Горная порода	V, см/нс	$\epsilon$
Известняк	7,0	11
Сланец	7,7	15
Гранит	12,0	6
Габбро	9,0	9
Анортозит	12,0	6
Вода	3,3	81

изменение картины волнового поля и т.д. можно определить наличие локальных неоднородностей. Ввод  $\epsilon$  для исследуемой среды позволяет перейти от временного разреза к глубинному. Следует отметить, что разрешающая способность георадиолокации зависит от длины волны ( $\lambda$ ), которая определяется центральной частотой используемого антенного блока.

При исследовании трещиноватости с точки зрения георадиолокации, отдельная крупная трещина будет служить рефлектором, и формировать протяженную ось синфазности вследствие ее водонасыщения. Кроме того установлено, что наличие множества мелких трещин формирует так называемое «хаотичное» волновое поле [16], а изменение ширины раскрытия трещины и вещества-заполнителя приводит к изменению амплитудно-фазовых характеристик сигнала [5, 17]. Используя такой подход можно выделить наиболее монолитные области по отсутствию значимых отражений импульса.

Георадиолокация хорошо зарекомендовала себя при работе на технологических горизонтах действующих карьеров по добыче облицовочного камня. Ее использование позволяет определить расстояние между пластовыми трещинами и оценить возможные параметры природного блока в естественном залега-

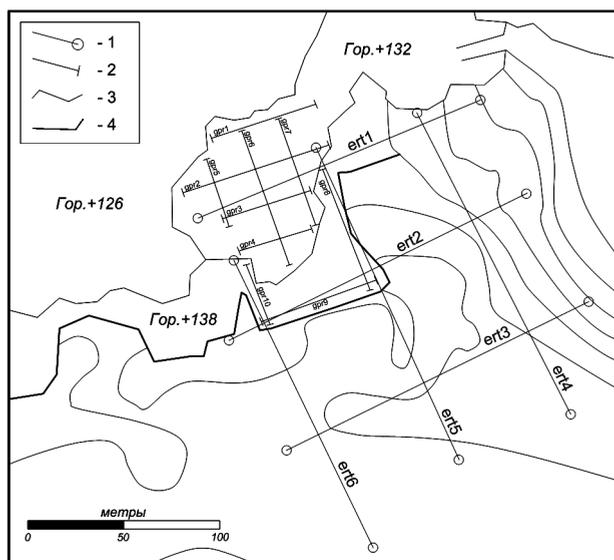


Рис. 1. Схема расположения геофизических профилей на месторождении «Другорецкое 2»: 1 — профили электротомографии; 2 — профили георадиолокации; 3 — контуры горных уступов; 4 — граница отвала рыхлых пород

нии. Как правило, наилучший результат достигается на карьерах, где используется канатное пиление [2, 18]. Еще одно направление применения георадиолокации — это исследование качества получаемых блок-заготовок [6, 18]. Как известно, внутренние трещины являются фактором, вызывающим рекламации со стороны потребителей. Поэтому предпродажная оценка внутренних неоднородностей блок-заготовок с их отбраковкой позволяет избежать дополнительных финансовых и репутационных потерь.

### Объект исследования

Месторождение габбродолерита «Другорецкое-2» ЗАО АК «Карелид» расположено на территории Прионежского района Республики Карелия в 2–6 км от д. Другая Река. Оно относится к естественной возвышенности, ограниченной с востока скальным обрывом. В этой области расположен ряд подобных месторождений. В настоящее время предприятия, базирующиеся на объектах Другорецкой группы, дают до трех чет-

вертей объемов добычи блочного камня Республики Карелия.

Для южной части месторождения «Другорецкое-2» характерно наличие 3 основных систем трещиноватости:

- I — аз. пад.  $78^\circ$  угол пад.  $84^\circ$ ;
- II — аз. пад.  $270^\circ$  угол пад.  $90^\circ$ ;
- III — аз. пад.  $276^\circ$  угол пад.  $7^\circ$ .

Удельная трещиноватость для этой части массива составляет  $1,10 \text{ м/м}^2$ . Теоретический выход блоков составляет 46,7%, а практический 11,2% (по ГОСТ 9479-98).

При разработке месторождения периодически возникает необходимость эксплуатационной доразведки имеющихся запасов сырья с целью определения экономической целесообразности проведения горных работ. В задачи геофизических работ на карьере «Другорецкое-2» входило изучение его южного фланга для оценки потенциальной блочности. Особенностью этой области является присутствие крупной тектонической зоны субмеридионального простирания, оперяющая трещиноватость

которой влияет на вмещающий горный массив. Конфигурация выполненных профилей показана на рис. 1.

### Результаты исследований

Для выполнения наблюдений методикой электротомографии использовался электроразведочный комплекс, включающий: генератор SGD-EGC200 «SKAT II» и измеритель SGD-EEM «MEDUSA» производства ООО «СибГеофизПрибор»; коммутирующий модуль CommDD2 изготовленный ООО «Геодавайс». Измерения выполнялись при помощи двух электроразведочных кос включающих 32 электродных соединения, по 160 м каждая, производства ООО «Геодавайс».

Всего на участке измерено 6 профилей электротомографии длиной 900 пог. м (рис. 1). Комплексный анализ полученных геоэлектрических моделей позволил выделить положение зон наибольшего УЭС, которые соотносятся с монолитными областями горного массива. Определение проводящих зон локализует области трещиноватости. Низкие показатели УЭС в верхней части характеризуют мощность рыхлых пород. По полученным разрезам отчетливо наблюдается

дифференциация площади месторождения. Геоэлектрические модели имеют широкий диапазон УЭС от первых сотен до десятков тысяч Ом · м, что является характерным при изучении трещиноватости скальных массивов.

В качестве перспективных зон (для добычи кондиционных блоков) выделялись области, имеющие высокие показатели УЭС, а также плавное распределение данного параметра без резких градиентов. Все профили были сведены в единой системе, что позволило представить их в виде трехмерной модели (рис. 2). Для ее привязки вынесено положение горизонта +132 (красный цвет) и граница вскрыши (синий цвет). На рис. 2 показан случай с изоповерхностью, проведенной через значения 10 кОм · м. Объем, ограниченный этой поверхностью относится к слаботрещинчатой горной массе. Как видно из модели существует область относительно монолитных пород, которая проходит по направлению с северо-запада на юго-восток. Следует отметить, что данная зона разделяется тремя крупными зонами трещиноватости.

Использование объемного моделирования позволило выполнить структури-

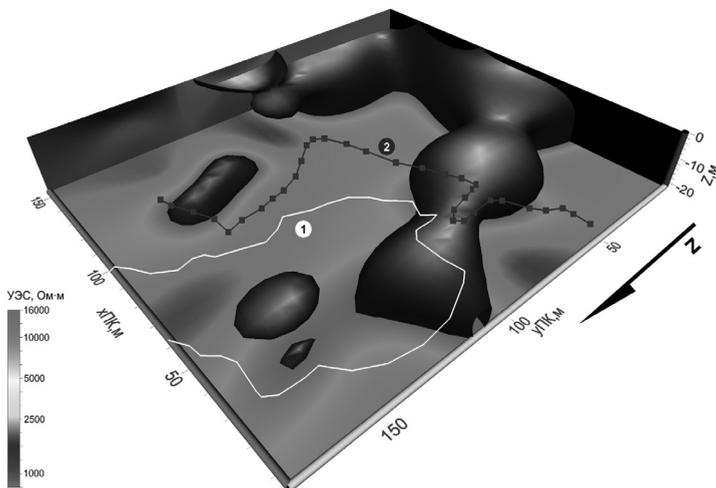


Рис. 2. Объемная модель УЭС в пределах участка исследований на месторождении «Другоречное-2»: 1 — граница горизонта +132; 2 — граница отвала вскрыши

Таблица 3

**Теоретический расчет выхода блоков по результатам электротомографии**

Интервал УЭС, кОм · м	Объем горной массы, м <sup>3</sup>	Предположительная блочность, %	Предположительный объем блоков, м <sup>3</sup>
1,0–2,5	27 768	3	833
2,5–5,0	250 464	6	15 027
5,0–10,0	197 656	9	17 789
10,0–30,0	114 948	12	13 793
общий объем горной массы: 590 840 м <sup>3</sup>		общий объем блоков: 47 444 м <sup>3</sup>	
общий теоретический выход блоков со всего исследуемого участка составляет 8%			

рование исследуемой области горного массива. Все исследуемое пространство разделено на элементарные ячейки с присвоенными значениями УЭС. Сопоставление величины УЭС (в логарифмическом масштабе) с известными показателями отработки карьеров Другорецкой группы позволило провести разделение массива ячеек на четыре класса и для каждого подобрать предположительную блочность.

В табл. 3 показаны результаты расчета объема горной массы с разным выходом блоков. Также оценена интегральная величина блочности для всего исследуемого участка. Следует отметить, что эта оценка является приблизительной из-за недостаточной плотности разведочной сети. Однако, ее величина соответствует среднему выходу блоков на месторождении, с поправкой на повы-

шенную трещиноватость изучаемой области из-за близости крупного тектонического нарушения.

Георадиолокационные исследования на месторождении облицовочного камня «Другорецкое-2» осуществлялись георадарный комплект «ОКО-2» (рис. 6), производства ООО «ЛОГИС», включающий: антенный блок АБ-150М, блок управления и регистрации, датчик перемещения ДП-32. Для обработки использовалось программное обеспечение GeoScan32. Измерения выполнялись по отдельным профилям, с привязкой на местности GPS приемником. Всего было выполнено 500 пог. м профилей георадиолокации.

Для основных горных пород, слагающих месторождение «Другорецкое-2» на основании табличных данных (см. табл. 2) и определениям по осям дифрагированной волны установлена диэлект-

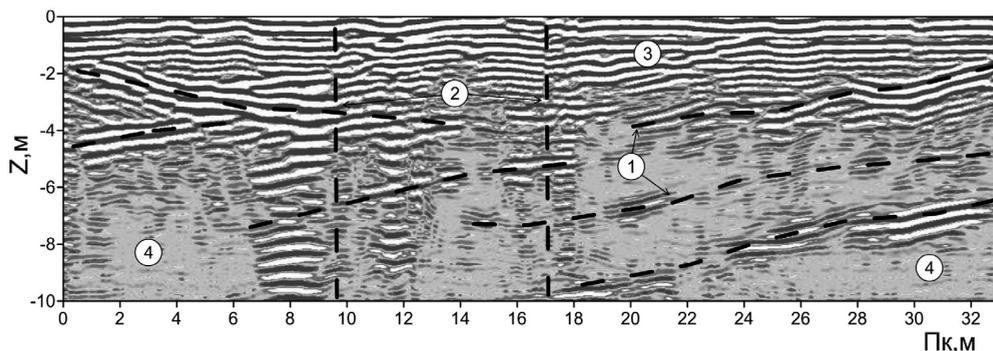


Рис. 3. Радарограмма профиля № 4: 1 — субгоризонтальные трещины; 2 — субвертикальные трещины; 3 — приповерхностная зона; 4 — относительно монолитные зоны

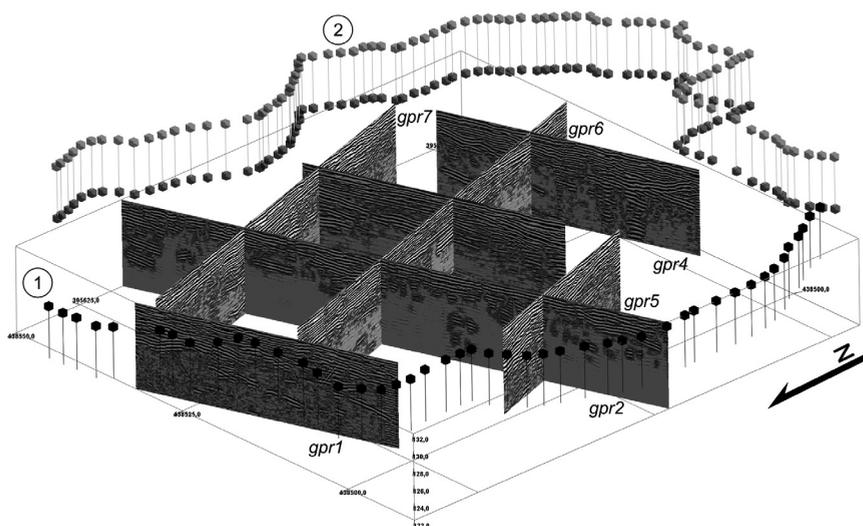


Рис. 4. Пространственная схема расположения радарограмм на горизонте +132: 1 – северная граница горизонта +132; 2 – южная граница

рическая проницаемость равная 8. Это позволило рассчитать максимальную эффективную глубину георадиолокации в 10 м. На радарограммах выделялись магистральные наклонные трещины по протяженным осям синфазности и субвертикальные по местам их срыва (рис. 3).

Следует отметить, что монолитность горного массива определялась как по удельному количеству трещин на выбранный интервал, так и по поведению волнового поля. Когда волновое поле не имеет ярких «всплесков», характеризуется спокойным распределением можно предположить, что в данной области крупных нарушений не имеется.

Сопоставление всех профилей в единой системе (рис. 4) позволяет проследить направление магистральных трещин и оценить, в первом приближении, их элементы залегания. Также, в перспективе, можно локализовать монолитные области оценить объем природных блоков в естественном залегании. В общем виде, по данным георадиолокации участок исследований рассматривается как нарушенный, так как расстояние между субгоризонтальными трещинами

составляет, в среднем, 2 м, что свидетельствует о залегании сырья объемом не более 1–1,5 м<sup>3</sup>. Кондиционное сырье вероятнее всего залегает на глубине глубже 6 м.

## Выводы

Рассмотренные данные исследований показали, что методы электроразведочной геофизики могут служить эффективным средством оценки степени нарушения горного массива. Это является следствием контрастным проявлением трещин в геофизических полях из-за их повышенной обводненности, заполнения продуктами выветривания, изменения пористости и т.д. Приведенные примеры наглядно показывают, что разные горные породы обладают специфическими геоэлектрическими параметрами.

По результатам изысканий методами электротомографии и георадиолокации на месторождении габбродолерита «Другорецкое-2» построена схема положения структурно-однородных блоков горного массива на основе моделирования распределения УЭС. При помощи пространственного анализа радарограмм карти-

рованы зоны трещиноватости горного массива, определено их направление. Кроме того, по полученным моделям дана прогнозная оценка выхода блоков и их размеров. В итоге можно сделать вывод о слабых перспективах исследуемого участка для горной отработки.

Развитие практических подходов к оценке сырья природного камня в естественном залегании методами геофизики является возможным средством для оптимизации горных работ и, как следствие, повышения экономической эффективности горного предприятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Magnusson M., Fernlund J., Dahlin T.* Geoelectrical imaging in the interpretation of geological conditions affecting quarry operations // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. — 2010. — № 3. — Pp. 465–486.
2. *Luodes H.* Ground penetrating radar and assessment of natural stone. — Espoo: Geological Survey of Finland, 2015. — 46 p.
3. *Рязанцев П. А.* Оценка трещиноватости горного массива на основе моделей электромографии // *Геофизика*. — 2015. — № 1. — С. 41–50.
4. *Карасев Ю. Г., Бакка Н. Т.* Природный камень. Добыча блочного и стенового камня: Учебное пособие. — СПб: Изд-во Горного института, 1997. — 428 с.
5. *Pipan M., Forte E., Guangyou F., Finetti I.* High resolution GPR imaging and joint characterization in limestone // *Near Surface Geophysics*. — 2003. — Vol. 1. — Pp. 39–55.
6. *Rey J., Martínez J., Vera P., Ruiz N., Cañadas F., Montiel V.* Ground-penetrating radar method used for the characterisation of ornamental stone quarries // *Construction and Building Materials*. — 2015. — Vol. 77 — Pp. 439–447.
7. *Рязанцев П. А., Прокопьев Е. А., Туоминен Д. К.* Горнопромышленный комплекс Республики Карелия: состояние, проблемы и перспективы // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. — 2014. — № 4. — С. 47–53.
8. *Поротов Г. С.* Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. — СПб.: Изд-во Горного института, 2005. — 116 с.
9. *Loke M. H.* Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys [Electronic resource]. — 2016. — 148 p. — URL: [www.geotomo.com/download/coursenotes](http://www.geotomo.com/download/coursenotes), свободный. Яз. англ. (дата обращения 20.02.2017)
10. *Бобачев А. А., Яковлев А. Г., Яковлев Д. В.* Электротомография — высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе // *Инженерная геология*. — 2007. — № 3. — С. 31–35.
11. *Ganerot G. V., Ronning J. S.* et al. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fractures zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway // *Bulletin of Engineering and the Environment*. — 2006. — Vol. 65. — P. 231–243.
12. *Diaferia, I., Barchi M., Loddo M., Schiavone D., Siniscalchi A.* Detailed imaging of tectonic structures by multiscale Earth resistivity tomographies: The Colfiorito normal faults // *Geophysical research letters*. — 2006. — Vol. 33. — P. 752–761.
13. *Рязанцев П. А.* Применение объемного моделирования для изучения трещиноватости и блочности на месторождении облицовочного камня // *Разведка и охрана недр*. — 2014 — № 1. — С. 22–27.
14. *Daniels D. J.* Ground penetrating radar. — Cornwall: MPG Books Limited, 2004. — 722 p.
15. *Владов М. Л., Старовойтов А. В.* Введение в георадиолокацию: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 2004. — 153 с.
16. *Глазунов В. В., Данильев С. М.* Обоснование оценки степени трещиноватости скального массива методом георадиолокации на основе математического моделирования // *Записки Горного института*. — 2012. — Т. 199. — С. 199–205.
17. *Sambuelli L., Calzoni C.* Estimation of thin fracture aperture in a marble block by GPR sounding // *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*. — 2010. — Vol. 51. — Pp. 239–252.
18. *Porsani J., Sauck W., Junior A.* GPR for mapping fractures and as a guide for the extraction of ornamental granite from a quarry: a case study from southern Brazil // *Journal of Applied Geophysics*. — 2006. — Vol. 58. — Pp. 177–187. **ИДБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Рязанцев Павел Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник, e-mail: chthonian@yandex.ru, Институт геологии Карельского научного центра РАН.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 4, pp. 149–158.

P.A. Ryazantsev

## GEOPHYSICAL METHODS OF RAW MATERIAL CONTROL AT FACING STONE QUARRIES

Under discussion are capabilities of geophysical methods in the study of raw material at facing stone quarries. Intrinsic fractures are contrast in geophysical fields and are a good object of detection. A detailed study is focused on geoelectrical methods of electrotomography and ground-penetrating radar. The characteristic values of electrical resistivity are given for different types of rocks: heavily, moderately and weakly fractured. It is discussed how electrotomography can be used in detection of structurally homogeneous and damaged zones in rock mass. The values of electromagnetic wave velocity and dielectric capacitivy are presented for different hard rocks. The application of ground-penetrating radar in the analysis of facing stone is shown. The case-study on geophysical exploration at gabbro-dolerite deposit in South Karelia is described. The electrotomography method used in a local area of a quarry allowed construction of a geoelectrical model. The comparison of the electrical resistivity levels and the block yield of stone (were obtained at the deposit earlier) provided parameters of rock mass structuring. As a result, based on the modeling, the study domain was divided into 4 categories per percentage yield of stone blocks. The analytical calculations estimated the yield of blocks as 8 %. The obtained radarograms were integrated in a unified layout. As a consequence, directions of main fractures were determined and their spacing was measured. At the average spacing of 2 m, the estimated size of blocks is not more than 1.5 m<sup>3</sup>. Finally, it is concluded that the rock mass under examination is moderately fractured and has weak prospects for mining.

Key words: electrotomography, ground-penetrating radar, model, fracturing, deposit, facing stone, rock mass, estimate.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-149-158

## AUTHOR

Ryazantsev P.A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Junior Researcher, e-mail: chthonian@yandex.ru, Institute of Geology Karelian Research Center Russian Academy of Science, 185910, Petrozavodsk, Karelia, Russia.

## REFERENCES

1. Magnusson M., Fernlund J., Dahlin T. Geoelectrical imaging in the interpretation of geological conditions affecting quarry operations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2010, no 3, pp. 465–486.
2. Luodes H. *Ground penetrating radar and assessment of natural stone*. Espoo: Geological Survey of Finland, 2015. 46 p.
3. Ryazantsev P.A. *Geofizika*. 2015, no 1, pp. 41–50.
4. Karasev Yu.G., Bakka N.T. *Prirodnyy kamen'. Dobycha blochnogo i stenovogo kamnya: Uchebnoe posobie* (Natural stone. Production of block stone and walling stone: Educational aid), Saint-Petersburg, Izd-vo Gornogo instituta, 1997, 428 p.
5. Pipan M., Forte E., Guangyou F., Finetti I. High resolution GPR imaging and joint characterization in limestone. *Near Surface Geophysics*. 2003. Vol. 1, pp. 39–55.
6. Rey J., Martínez J., Vera P., Ruiz N., Cañadas F., Montiel V. Ground-penetrating radar method used for the characterisation of ornamental stone quarries. *Construction and Building Materials*. 2015, vol. 77, pp. 439–447.

7. Ryazantsev P.A., Prokop'ev E.A., Tuominen D.K. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2014, no 4, pp. 47–53.
8. Porotov G.S. *Prognozirovaniye i poiski mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* (Mineral prospecting and exploration), Saint-Petersburg, Izd-vo Gornogo instituta, 2005, 116 p.
9. Loke M.H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys [Electronic resource]. 2016. 148 p., available at: [www.geotomo.com/download/coursenotes](http://www.geotomo.com/download/coursenotes) (accessed 20.02.2017).
10. Bobachev A.A., Yakovlev A.G., Yakovlev D.V. *Inzhenernaya geologiya*. 2007, no 3, pp. 31–35.
11. Ganerod G.V. Ronning J.S. et al. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fractures zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway. *Bulletin of Engineering and the Environment*. 2006, vol. 65, pp. 231–243.
12. Diaferia, I., Barchi M., Loddo M., Schiavone D., Siniscalchi A. Detailed imaging of tectonic structures by multiscale Earth resistivity tomographies: The Colfiorito normal faults. *Geophysical research letters*. 2006, vol. 33, pp. 752–761.
13. Ryazantsev P.A. *Razvedka i okhrana nedr*. 2014, no 31, pp. 22–27.
14. Daniels D.J. *Ground penetrating radar*. Cornwall: MPG Books Limited, 2004. 722 p.
15. Vladov M.L., Starovoytov A.V. *Vvedenie v georadiolokatsiyu: Uchebnoe posobie* (Introduction to ground-penetrating radar: Educational aid), Moscow, Izd-vo MGU, 2004, 153 p.
16. Glazunov V.V., Danil'ev S.M. *Zapiski Gornogo instituta*. 2012, vol. 199, pp. 199–205.
17. Sambuelli L., Calzoni C. Estimation of thin fracture aperture in a marble block by GPR sounding. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*. 2010, vol. 51, pp. 239–252.
18. Porsani J., Sauck W., Junior A. GPR for mapping fractures and as a guide for the extraction of ornamental granite from a quarry: a case study from southern Brazil. *Journal of Applied Geophysics*. 2006, vol. 58, pp. 177–187.

## FIGURES

Fig. 1. Scheme geophysical profiles location on the field «Drugoretsky-2»: 1 – ERI profiles; 2 – GPR profiles; 3 – contours of mountain ledges; 4 – boundary of capping.

Fig. 2. Volume resistivity model within the area of research in the field «Drugoretsky-2»: 1 – boundary of horizon +132; 2 – border capping.

Fig. 3. GPR data Profile №4: 1 – subhorizontal fractures; 2 – subvertical fractures; 3 – near-surface zone; 4 – monolithic zone.

Fig. 4. GPR data spatial scheme on the horizon +132: 1 – northern boundary of the horizon 132; 2 – southern boundary.

## TABLES

Table 1. The value of resistivity of the rock depending on the fracture.

Table 2. Dielectric permeability of some rocks.



**Информационные технологии в реализации экологической стратегии развития горнодобывающей промышленности: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Специальный выпуск 23.**

Автор: Коллектив авторов

Год: 2017

Страниц: 604

ISBN: 0236-1493 (в пер.)

UDK: 622.2:004.9

Доклады Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в реализации экологической стратегии развития горнодобывающей отрасли», проведенной в Горном институте КНЦ РАН, посвящены обсуждению современного состояния и актуальных проблем в области применения информационных технологий в горном деле при реализации экологической стратегии развития горнодобывающей отрасли.

Усложнение условий ведения горных работ, снижение качества руд, необходимость повышения промышленной и экологической безопасности и ряд других негативных тенденций повышают роль компьютерных технологий при решении задач горного производства. Появляются новые специализированные и комплексные программные продукты, находящие все более широкое применение в исследовательских, проектных организациях и на горных предприятиях России.