



УДК 622.646

## ГЕОРАДАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БЛОКА ДЛЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА РАЗРЕЗЕ «ЗАРЕЧНЫЙ»

Марков С.О., Тюленев М.А., Кузин Е.А.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

### Аннотация.

Исследование внутренней структуры массива горных пород (слоистости, сланцеватости) и параметров его трещиноватости (азимутов и углов падения систем трещин) имеет большое значение при расчете параметров буровзрывных работ. Обычные методы исследования (бурение разведочных скважин) достаточно дороги, и их применение в больших объемах не всегда оправдано экономически. В то же время, слишком укрупненная сетка разведочных скважин зачастую не дает точной картины строения массива в каждом конкретном месте проведения буровзрывных работ. Для уточнения структурных параметров локального массива горных пород (в пределах буровзрывного блока) целесообразно применение метода георадиолокации. Малозатратное и оперативное георадиолокационное обследование буровзрывного блока дает полную картину трещинной и слоевой анизотропии массива (либо отсутствие таковой), наличие обводненных участков. Данные такого обследования могут быть использованы для корректировки параметров буровзрывных работ с целью оптимизации баланса между расходом взрывчатых веществ и заданным качеством дробления горной массы.

### Информация о статье

Принята 01 февраля 2018 г.

**Ключевые слова:** георадар, геофизика, структура массива

## GEORADAR RESEARCH OF THE BLOCK STRUCTURE FOR DRILLING AND BLASTING OPERATIONS ON ZARECHNYI OPEN PIT MINE

Sergey O. Markov, Maxim A. Tyulenev, Evgeny A. Kuzin

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

### Abstract.

Investigation of the internal structure of the rock massif (layer-step, schistosity) and the parameters of its fracturing (azimuths and angles of incidence of fracture systems) is of great importance in calculating the parameters of drilling and blasting operations. Conventional exploration methods (drilling of exploratory wells) are quite expensive, and their use in large volumes is not always justified economically. At the same time, too large a grid of exploratory wells often does not give an accurate picture of the structure of the massif in each specific place of drilling and blasting operations. To clarify the structural parameters of the local rock massif (within the blast-blasting block), it is expedient to use the georadiolocation method. A low-cost and operational georadar survey of the drilling and blasting unit gives a complete picture of the fracture and layer anisotropy of the massif (or its absence), the presence of watered areas. The data of such a survey can be used to adjust the parameters of drilling and blasting operations in order to optimize the balance between the consumption of explosives and the given quality of crushing rock mass.

### Article info

Accepted March 30, 2018

**Keywords:** georadar, geophysics, array structure



## 1. Введение

Георадиолокация является методом геофизики, то есть одним из способов изучения среды, в которую посылаются сигналы (грунты, породы, строительные конструкции).

Метод георадиолокации является электромагнитным методом, то есть основан на принципе реакции среды на излучаемое электромагнитное поле. Диапазон частот, при котором возможно применение данного метода – от 50 до 2000 МГц.

Результаты, полученные при помощи геофизических методов, отображают истинную картину лишь в некотором приближении. Глубины залегания и мощности слоев вычисляются с определенной точностью, которая зависит от количества геологической информации об объекте исследования, точности измерительных приборов и множества других факторов. Общепринято проводить геофизические исследования совместно с бурением контрольных скважин. В более широком смысле под данными контрольных скважин можно понимать любую точку среды с известными свойствами (например, в некоторой точке исследуемой области известна глубина залегания искомого слоя). Интерпретируя геофизику как метод уточнения геологического строения между двумя скважинами, можно получать результаты, близкие к истинным.

Необходимым условием применения метода георадиолокации является наличие дифференциации исследуемых сред по физическим свойствам, достаточной для её установления с помощью имеющихся технических средств.

Достоинствами метода георадиолокации являются сравнительно невысокая стоимость обследования, большая производительность и технологичность. Георадиолокация обеспечивает непрерывность измерений и достаточно четко устанавливает положение границ разделов грунта.

## 2. Материалы и методы

Исследования породного массива выполнялись с использованием георадара ОКО-2 производства российской компании ГЕОТЕХ. Для возбуждения и приема радиоволн использовалась наземная экранированная антенна АБ-90 с центральной частотой 90 МГц.

Георадарные исследования выполнялись путем прохождения профилей через определенные интервалы, длина одиночных профилей составляла в среднем 50-60 метров (рис. 1, 2). Глубина исследований с антенным блоком 90 МГц в геологических условиях разреза "Заречный" – до 11,0-12,0 метров.

Обработка данных выполнялась по следующему алгоритму:

- введение данных;
- корректирование первого вступления прямой волны;
- частотная фильтрация;
- усиление амплитуд;
- удаление влияния прямого сигнала для приповерхностных объектов;
- скоростной анализ и выделение гиперболических осей синфазности;
- преобразование временной шкалы в шкалу глубин на основе определения средней скорости распространения волн в исследуемых породах;
- задание параметров визуализации данных;
- выделение объектов.

Целью георадиолокационного обследования было уточнение внутренней структуры блока, подготовленного под буровзрывные работы, а именно выявление параметров возможной слоистости или трещиноватости пород (направления и углов падения слоев, поверхностей ослабления или систем трещин).

Работы проводились на площадке уступа скальных пород разреза "Заречный" путем передвижения георадара по поверхности уступа как поперек площадки (от верхней бровки к нижней бровке и обратно), так и вдоль площадки. Схема направления передвижения георадара представлена на рис. 1.



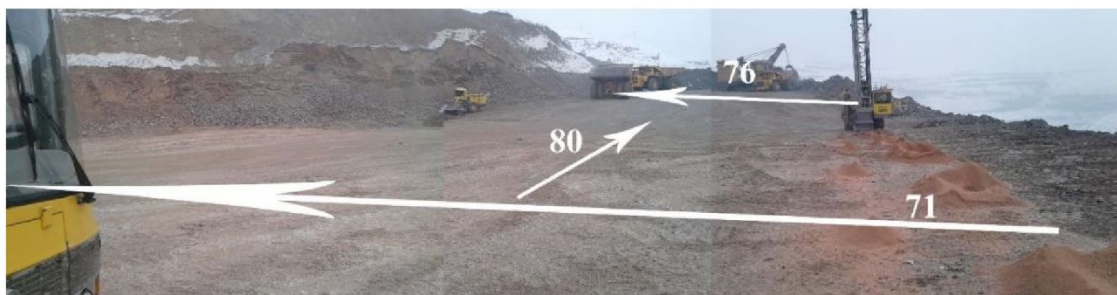


Рис. 1. Фото площадки обследования с указанием некоторых профилей

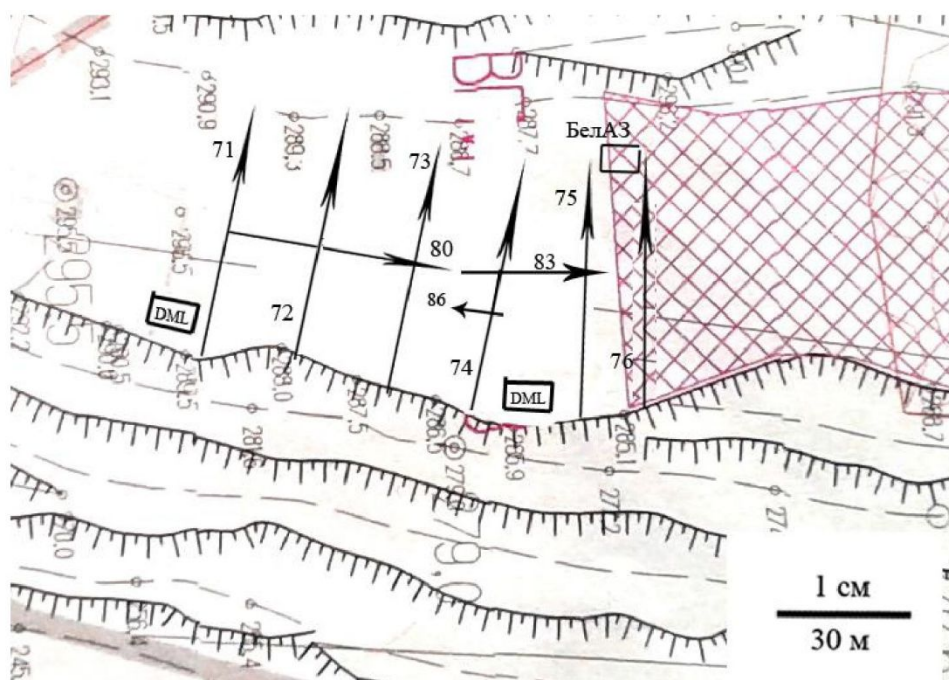


Рис. 2. План буровзрывного блока и схемы передвижения георадара

Направление и длина передвижения георадара обозначены стрелками. Номера отснятых профилей обозначены цифрами возле соответствующих стрелок.

Усиление, параметры фильтрации и обработки радиоволновых импульсов выбирались таким образом, чтобы обеспечить максимальное увеличение полезного сигнала в сравнении с фоном и помехами.

В процессе съемки использовались следующие параметры:

Вертикальный фильтр:

низких частот	600
высоких частот	50

Скорость передачи, кГц 100

Размер выборки, бит 16

Количество выборок на развертку 512

Количество точек усиления 16

Количество накоплений 24

Точность вертикальной шкалы, % 5



Рис.3. Фото вышележащего уступа в конце профиля 71

### 3. Результаты и обсуждение

Результатом георадарного обследования являются радарограммы – наборы одиночных трасс (сигналов), зарегистрированных приемной антенной при каждом положении георадара. Контрастность каждого пикселя радарограммы соответствует уровню амплитуды отраженной волны. Горизонтальная ось радарограммы соответствует длине профиля, вертикальная – времени регистрации отраженной волны (после обработки вертикальная ось преобразуется в метры глубины от поверхности массива пород).

Камеральные работы по дешифрированию георадарных профилей производились с применением стандартного программного комплекса обработки данных георадиолокации *GeoScan-32*. Обработка георадиолокационных данных велась однотипно для всех профилей. Целью обработки является преобразование георадиолокационных данных в разрез, отображающий все геологические и техногенные объекты, залегающие в исследуемой среде. Обработанные радарограммы представлены на рис. 4-9.

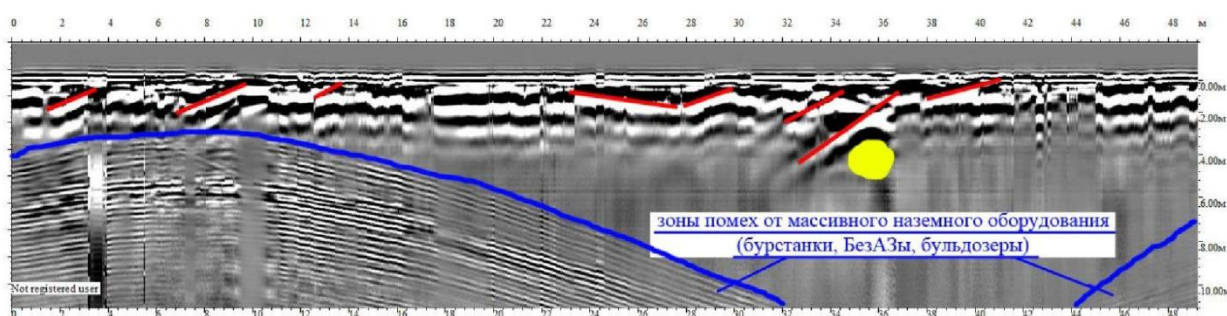


Рис. 4. Профиль 71



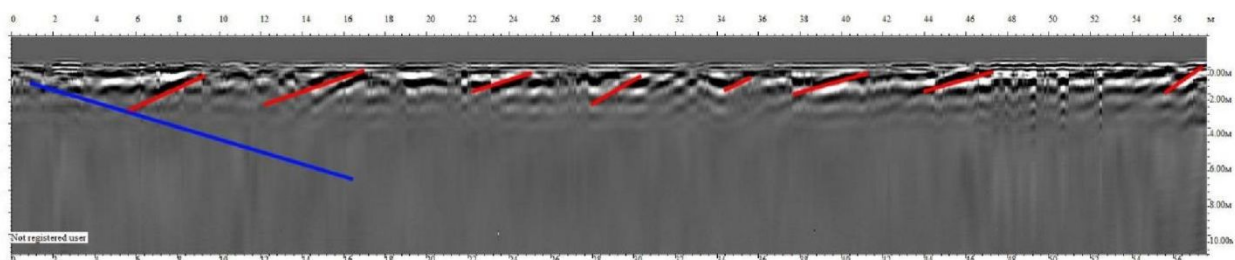


Рис. 5. Профиль 72

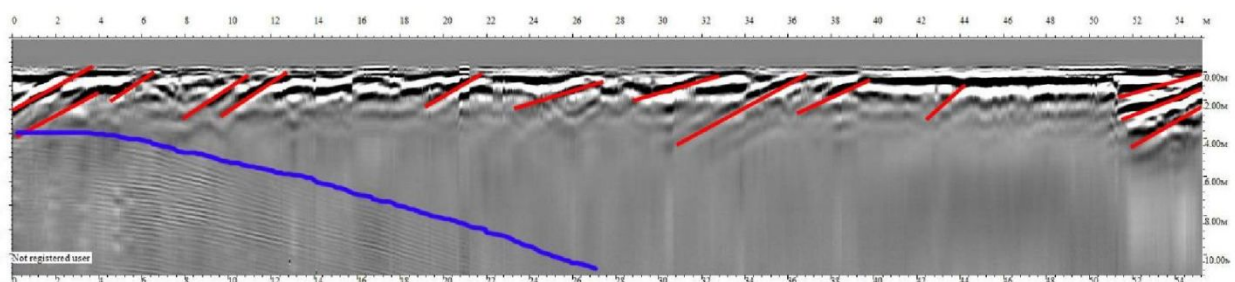


Рис. 6. Профиль 73

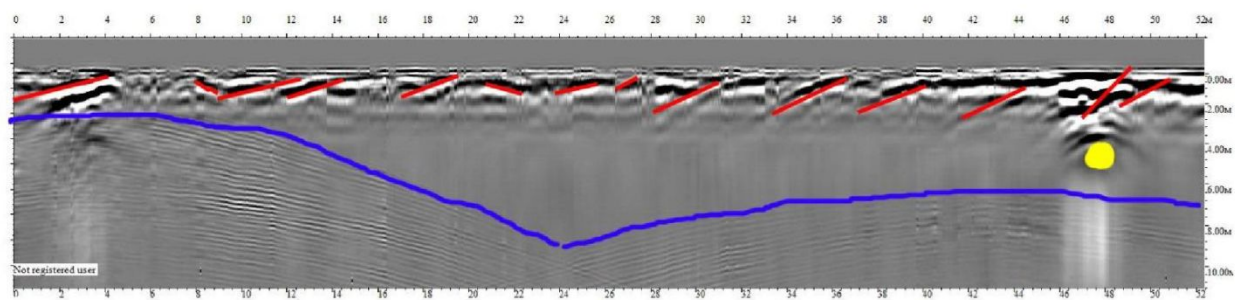


Рис. 7. Профиль 74

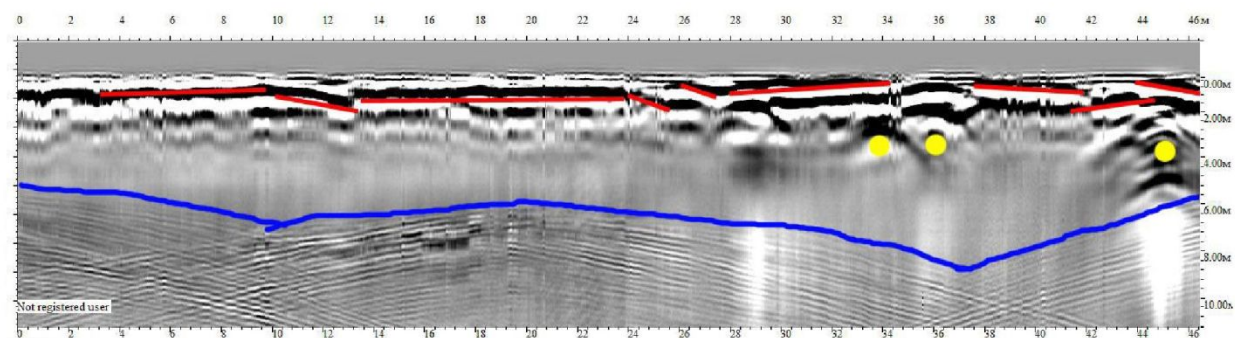


Рис. 8. Профиль 80

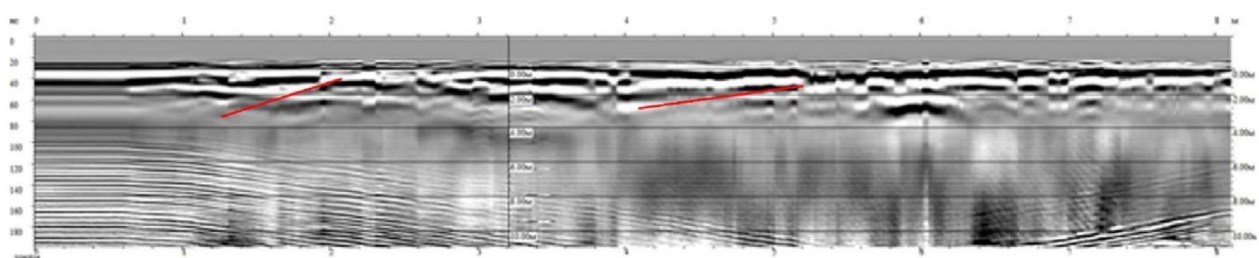


Рис. 9. Профиль 86



Интерпретация данных, представленных на рис. 4-9, показала наличие резких неоднородностей среды в некоторых областях массива (выделено желтым цветом) и поверхностей ослабления в верхней части массива (выделено красным цветом). Синим цветом показаны границы зоны влияния тяжелого горного оборудования (бурстанки и автосамосвалы).

На рис. 10 приведена 3D-интерпретация положения отдельных поверхностей ослабления в массиве горных пород.

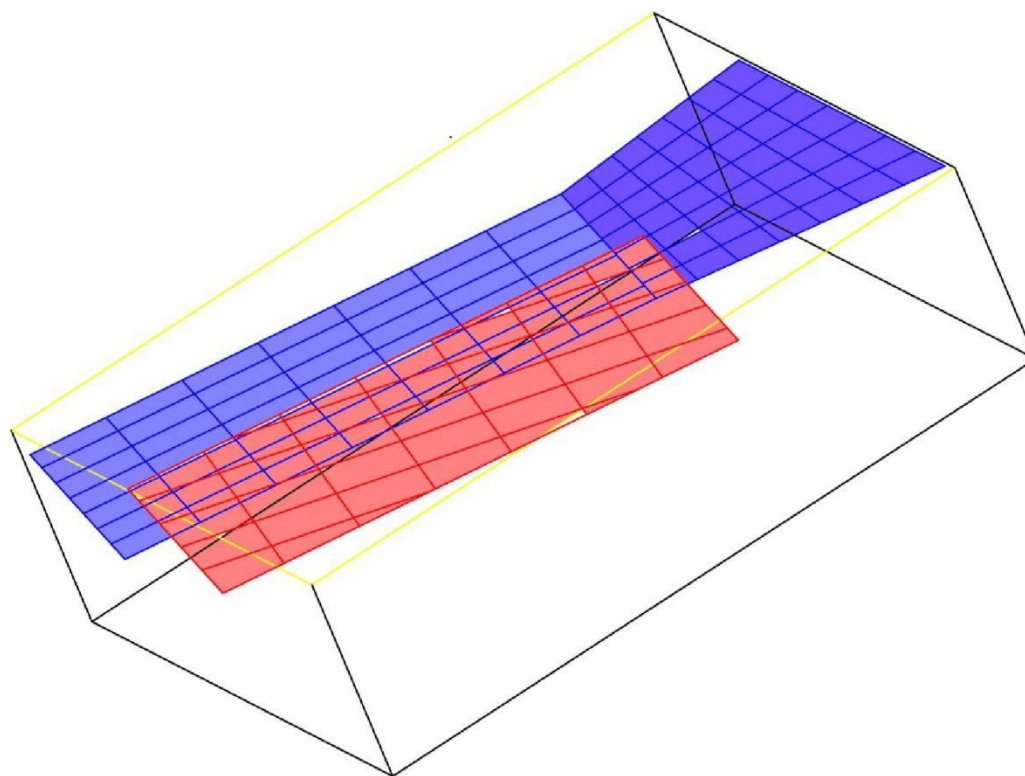


Рис. 10. 3D модель уступа с поверхностями ослабления (вид со стороны точки начала профиля 71 в сторону конца профиля 76)

#### 4. Выводы

В результате выполненного обследования выявлено, что верхняя часть уступа, до глубины приблизительно от 2 до 3,5 м от поверхности, находится в нарушенном состоянии. Предполагая максимально полную выемку взорванной горной массы и качественную зачистку поверхности площадки, данные нарушения в виде раскрытых поверхностей ослабления можно связать с влиянием ранее выполненной взрывной подготовки. Анализ радарограмм и фотографий вышележащего уступа показывает изменение параметров поверхностей ослабления: угол падения  $10-30^\circ$  и азимут падения ЮВ  $100-120^\circ$  в районе профилей 71-73 до угла падения  $25^\circ$  с азимутом падения ЮВ  $120-140^\circ$  в районе профилей 75-76.

Также, при обследовании были обнаружены несколько областей с резко отличающимися от окружающей среды параметрами, выделенные на радарограммах желтым цветом, где возможны локальные включения более прочных пород.

Ниже 3,5 м от поверхности породный массив имеет практически однородную структуру без заметных нарушений до максимально возможной в данных условиях глубины исследования 10-11 м.

Полученные данные были использованы для выбора оптимального положения скважин в массиве при проведении буровзрывных работ с целью более качественного дробления пород.





## Список источников

1. Abramovich A., Pudov E., Kuzin E. (2017) Prerequisites for the Establishment of the Automated Monitoring System and Accounting of the Displacement of the Roof of Underground Mines for the Improvement of Safety of Mining Work. E3S Web Conf 15:01011. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101011
2. Kennedy C.D., Wilderotter S., Payne M., Buda A.R., Kleinman P.J.A., Bryant R.B. A geospatial model to quantify mean thickness of peat in cranberry bogs .GEODERMA Vol. 319, 2018, pp. 122-131. DOI: [10.1016/j.geoderma.2017.12.032](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.032)
3. Łyskowski M., Pasierb B., Wardas-Lasoń M., Wojas A. Historical anthropogenic layers identification by geophysical and geochemical methods in the Old Town area of Krakow (Poland). CATENA Vol. 163, 2018, pp. 196-203. DOI: [10.1016/j.catena.2017.12.012](https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.012)
4. Tamura T., Nicholas W.A., Oliver T.S.N., Brooke B.P. Coarse-sand beach ridges at Cowley Beach, north-eastern Australia: Their formative processes and potential as records of tropical cyclone history (2018) SEDI-MENTOLOGY Vol. 65, Issue 3, pp. 721-744. DOI: [10.1111/sed.12402](https://doi.org/10.1111/sed.12402)
5. Campbell S., Affleck R.T., Sinclair S. Ground-penetrating radar studies of permafrost, periglacial, and near-surface geology at McMurdo Station, Antarctica (2018) Cold Regions Science and Technology Vol. 148, pp. 38-49. DOI: [10.1016/j.coldregions.2017.12.008](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.12.008)
6. Arcone S.A., Peapples P.R., Liu L. Propagation of a ground-penetrating radar (GPR) pulse in a thin-surface waveguide GEOPHYSICS (2003), 68(6), pp. 1922-1933. DOI: <http://dx.doi.org/10.1190/1.163504668>
7. Cameron R.M., Goodman K.S. Detection and Mapping of Subsurface Hydrocarbons with Airborne Ground-Penetrating Radar (1989) Proc. 3rd Nati Outdoor Action Conf, Orlando, Fla
8. Annan A.P. Ground-penetrating radar, in near-surface geophysics (2005) Soc. Exploration Geophys. Vol. 13, pp. 357-438
9. Al-Qadi IL, Lahouar S Measuring layer thicknesses with GPR – Theory to practice (2005) CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS Vol. 19, Issue 10, pp. 763-772. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.06.005
10. Ground Penetrating Radar Theory and Applications (2009) ELSEVIER SCIENCE BV, ed. Jol H.M., pp. 1-526. ISBN:978-0-08-095184-3

## References

1. Abramovich A., Pudov E., Kuzin E. (2017) Prerequisites for the Establishment of the Automated Monitoring System and Accounting of the Displacement of the Roof of Underground Mines for the Improvement of Safety of Mining Work. E3S Web Conf 15:01011. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101011
2. Kennedy C.D., Wilderotter S., Payne M., Buda A.R., Kleinman P.J.A., Bryant R.B. A geospatial model to quantify mean thickness of peat in cranberry bogs .GEODERMA Vol. 319, 2018, pp. 122-131. DOI: [10.1016/j.geoderma.2017.12.032](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.032)
3. Łyskowski M., Pasierb B., Wardas-Lasoń M., Wojas A. Historical anthropogenic layers identification by geophysical and geochemical methods in the Old Town area of Krakow (Poland). CATENA Vol. 163, 2018, pp. 196-203. DOI: [10.1016/j.catena.2017.12.012](https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.012)
4. Tamura T., Nicholas W.A., Oliver T.S.N., Brooke B.P. Coarse-sand beach ridges at Cowley Beach, north-eastern Australia: Their formative processes and potential as records of tropical cyclone history (2018) SEDI-MENTOLOGY Vol. 65, Issue 3, pp. 721-744. DOI: [10.1111/sed.12402](https://doi.org/10.1111/sed.12402)
5. Campbell S., Affleck R.T., Sinclair S. Ground-penetrating radar studies of permafrost, periglacial, and near-surface geology at McMurdo Station, Antarctica (2018) Cold Regions Science and Technology Vol. 148, pp. 38-49. DOI: [10.1016/j.coldregions.2017.12.008](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.12.008)
6. Arcone S.A., Peapples P.R., Liu L. Propagation of a ground-penetrating radar (GPR) pulse in a thin-surface waveguide GEOPHYSICS (2003), 68(6), pp. 1922-1933. DOI: <http://dx.doi.org/10.1190/1.163504668>
7. Cameron R.M., Goodman K.S. Detection and Mapping of Subsurface Hydrocarbons with Airborne Ground-Penetrating Radar (1989) Proc. 3rd Nati Outdoor Action Conf, Orlando, Fla
8. Annan A.P. Ground-penetrating radar, in near-surface geophysics (2005) Soc. Exploration Geophys. Vol. 13, pp. 357-438
9. Al-Qadi IL, Lahouar S Measuring layer thicknesses with GPR – Theory to practice (2005) CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS Vol. 19, Issue 10, pp. 763-772. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.06.005
10. Ground Penetrating Radar Theory and Applications (2009) ELSEVIER SCIENCE BV, ed. Jol H.M., pp. 1-526. ISBN:978-0-08-095184-3



#### Авторы

**Марков Сергей Олегович,**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
маркшейдерского дела и геологии  
e-mail: markovso@kuzstu.ru

**Тюленев Максим Анатольевич,**

кандидат технических наук, профессор кафедры  
открытых горных работ,  
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

**Кузин Евгений Геннадьевич** - заместитель заведующего лабораторией "Технической диагностики" филиала КузГТУ в г. Прокопьевск

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

#### Authors

**Sergey O. Markov,**

PhD, Associate Professor of the Department of Mine  
Surveying and Geology  
e-mail: markovso@kuzstu.ru

**Maxim A. Tyulenev,**

PhD, Professor of the Department of Open Mining,  
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

**Kuzin Evgeny Gennadievich** - deputy head of the  
Technical Diagnostics laboratory of the KuzSTU  
branch in Prokopyevsk

**T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University**

#### Библиографическое описание статьи

Марков, С.О. Георадарное исследование структуры блока для буровзрывных работ разреза «Заречный» / С.О. Марков, М.А. Тюленев, Е.А. Кузин // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 1 (1). – С. 57-64.

#### Cite this article

Markov S.O., Tyulenev M.A., Kuzin E.A. (2018) Georadar research of the block structure for drilling and blasting operations of Zarechnyi open pit mine, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 1(1):57.