

**А.А. Кавардаков, Е.Г. Кузин, Е.Ю. Пудов**

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ КОТИНСКАЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Приведено обоснование необходимости контроля состояния подготовительных горных выработок закрепленных анкерной крепью для безопасности ведения горных работ. Показано, что применяемые в настоящее время методы контроля за состоянием крепи не дают полной оценки на всем протяжении выработки. Предложено использовать метод георадиолокации для выявления опасных зон, склонных к деформациям и обрушению. Приведены данные горно-геологического прогноза на лаву 5210 шахты Котинская, с учетом которых был составлен график проведения обследований и определены участки горных выработок. Показан алгоритм обработки радарограмм. Приведены радарограммы горных выработок с разным состоянием анкерной крепи, подтверждающиеся в большинстве случаев визуальным наблюдением. Показана необходимость накопления значительного количества экспериментальных данных для разработки полноценной методики георадарных обследований подземных горных выработок.

Ключевые слова: георадар, кровля, подземные выработки, безопасность горных работ, состояние, трещиноватость, геофизические методы исследования.

**В** настоящее время вопросам контроля состояния выработок, закрепленных анкерной крепью, уделяется много внимания. В правилах безопасности регламентирован порядок проведения визуального наблюдения за элементами крепи. При изменении горно-геологических и горнотехнических условий в документацию по ведению горных работ необходимо вносить соответствующие дополнения, учитывающие происходящие изменения [1, 3, 4].

Согласно инструкции по применению анкерной крепи при визуальном контроле работоспособности анкерной крепи про-

проводится оценка состояния анкеров, элементов крепи, затяжки и величины смятия демпфирующих податливых элементов. Периодичность визуального контроля вне зоны влияния очистных работ – не реже одного раза в месяц, а в зонах влияния опорного давления – ежедневно. В горных выработках с различными типами кровли по обрушаемости контроль деформационного состояния пород кровли должен осуществляться глубинными реперами, шаг установки глубинных реперных станций составляет 40–200 м [2].

При этом не представляется возможным оценить состояние выработки на всем ее протяжении и остается вероятность пропуска опасных участков кровли склонных к деформациям и обрушению.

Для оценки состояния кровли на всем ее протяжении в процессе отработки пласта с учетом влияния опорного давления предложен метод георадиолокации. Основной задачей являлось выявление опасных зон подверженных деформациям и своевременное принятие мер по предотвращению аварийных ситуаций.

Георадиолокация – это методика неразрушающего обследования, заключающаяся в анализе импульсов, отраженных от границ сред с разными электрофизическими характеристиками (с различной диэлектрической проницаемостью –  $\epsilon$ ) [5].

Принцип действия георадара основан на излучении широкополосных наносекундных импульсов, приеме сигналов, отраженных от границ раздела сред, стробоскопической обработке принятых сигналов и последующим измерением временных интервалов между отраженными импульсами.

Отражения вызываются наличием границ между веществами в породах с разными электрическими свойствами. Такими границами являются границы пластов угля и различных пород, изменения влагонасыщенности пород, различные трещины и пустоты, различные искусственные объекты (трубы, кабели, элементы крепи и др.). Глубина проникновения радиоволн зависит от электрической проводимости и диэлектрической проницаемости горных пород на каждом отдельном участке.

В настоящей работе приводятся результаты георадарных обследований подготовительных горных выработок при отработке лавы 5210 пласта 52 шахты Котинская.

Для прогноза горно-геологических условий отработки лавы 5210 использовались материалы детальной разведки поля шахты «Котинская» и шахты № 7, материалы геологического отчета по оперативному подсчету запасов пл. 52 для первооче-

редной отработки, выполненные ФГУПП «Запсибгеоусъемка», геологическая и маркшейдерская документация.

По результатам детальной и эксплуатационной разведки выявлены пологоволнистость гипсометрии пласта и наличие мелкоамплитудной разрывной тектоники. Углы падения пласта в пределах выемочного участка изменяются от 2–3° с выколаживанием до 0° в Соколовской синклинали и переходящие в северо-восточное падение под углом 2–3° образуя мульдовую часть в контуре лавы с затоплением вдоль оси синклинальной складки.

Глубина ведения очистных горных работ: максимальная по вентиляционному штреку 5210 – 394 м, минимальная – 380 м по конвейерному штреку 5210 от дневной поверхности.

Мощность пласта относительно выдержанная от 3,80 до 4,54 м. Строение пласта от простого до сложного, от 1 до 4 породных прослоек мощностью от 0,01 до 0,1 м. Уголь сильно трещиноватый, до 25 тр/м<sup>2</sup>, слабой устойчивости, структура однородная и сложена блестящими и полублестящими разностями. Склонен к кливажу и вывалам, наблюдается три разновидности кливажа: нормально-секущий ( $Az_{\text{пл}} 50-60^\circ$ , Угол<sub>пл</sub> 75–85°) и косо-секущий ( $Az_{\text{пл}} 250-260^\circ$ , Угол<sub>пл</sub> 25–30°) ( $Az_{\text{пл}} 325^\circ$ , Угол 20°). Коэффициент крепости  $f = 0,8 - 1,2$ . Марка угля – энергетическая ДГ. Моноклиналное залегание пласта осложнено волнистостью (мелкими изгибами пласта).

Ложная кровля – мощностью 0,1–0,7 м присутствует повсеместно и представлена алевролитами мелкозернистыми и алевролитами углистыми, класс контактов слоев I, весьма неустойчивая, коэффициент крепости 1–1,5 ед.

Непосредственная кровля представлена алевролитами мелкозернистыми,  $m = 5-21$  м, на контакте с основной кровлей прослеживаются включения углистого материала. Классифицируется среднеустойчивым, местами неустойчивые, время устойчивого состояния – 0,1–1 часа, коэффициент крепости 2,8–4 ед. допустимая площадь обнажения кровли 3,0 м<sup>2</sup>.

Основная кровля – алевролит крупнозернистый, среднеобрушаемый, постепенно переходящий в песчаник,  $m = 12-25$  м, коэффициент крепости 3,6–5,8.

Ложная почва алевролит углистый  $m$  до 0,5 м, коэффициент крепости 1–1,5.

Непосредственная почва алевролит с включением линз угля  $m = 2-8$  м, коэффициент крепости 2,8–4,5, насыщенность углистым материалом падает по мере удаления от пласта.

Все породы не образуют выдержанные слои, а имеют линзообразный характер залегания. С глубины 180 м – пласт отнесен к угрожаемому по горным ударам.

Природная метаноносность 9,8 м<sup>3</sup>/с.б.м.

В процессе ведения очистных работ ожидаются мелкоамплитудные геологические нарушения и размывы пласта с весьма неустойчивой кровлей.

На основании прогноза был составлен график проведения обследования с учетом скорости движения очистного забоя. Для удобства обработки результатов длина трасс определена в 20 м.

Камеральные работы по дешифрированию георадарных профилей производились с применением стандартного программного комплекса обработки данных георадиолокации GeoScan-32. Данные по профилям переносились из внутренней памяти в ПЭВМ с помощью USB накопителя. Обработка георадиолокационных зондирований велась однотипно для всех профилей. Целью обработки является преобразование георадиолокационных данных в разрез, отображающий все геологические и техногенные объекты, залегающие в исследуемой среде. С помощью разнообразных приемов помехи и шумы ослабляются, а полезный сигнал подчеркивается.

Обработка данных проводилась 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, беря за основу определение средней скорости распространения волн в исследуемых породах
- задание параметров визуализации данных;
- выделение объектов.

На георадарных профилях выделялись области, характерные для локальных неоднородностей в породе, расслоений, влагонасыщенных зон.

Ниже приведены радарограммы кровли горных выработок.

На рис. 1 представлена радарограмма кровли конвейерного штрека 5210 на пикетах 15–17 до начала работы лавы. Расслоения пород не прослеживаются, состояние оценивается как хорошее.

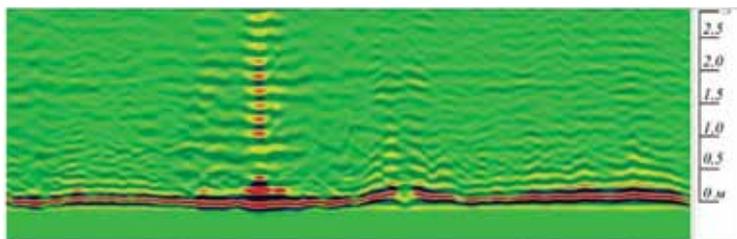


Рис. 1. Радарограмма кровли конвейерного штрека пикеты 15–17

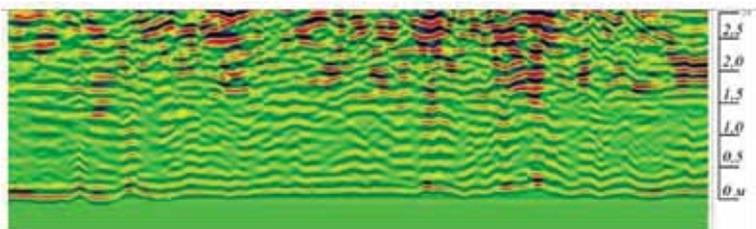


Рис. 2. Радарограмма кровли конвейерного штрека 5210 пикеты 67–69

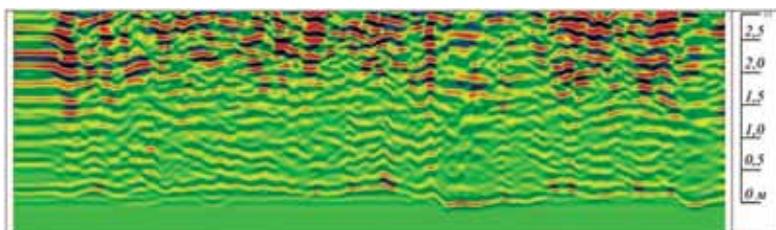


Рис. 3. Радарограмма кровли конвейерного штрека 5210 пикеты 67–69

На рис. 2, 3 представлены радарограммы кровли конвейерного штрека 5210 на пикетах 67–69 с интервалом 3 месяца. При этом до начала работы лавы состояние кровли (рис. 2) оценивалось как удовлетворительное, имелись расслоения пород кровли на высоте от 1,5 до 1,7 м. По состоянию на повторное обследование в кровле наблюдается усиление деформаций (см. рис. 3), причем в районе пикета 68 видно как изменился контур выработки с деформацией решетчатой затяжки.

На рис. 4–6 представлены радарограммы кровли конвейерного штрека 5210 пикеты 135–137 с интервалом в несколько месяцев.

Первоначальная съемка (рис. 4) показывала удовлетворительное состояние кровли. На радарограмме (рис. 5) заметно появление деформаций в кровле и явно прослеживается граница расслоения горных пород на высоте 1,5–1,6 м.

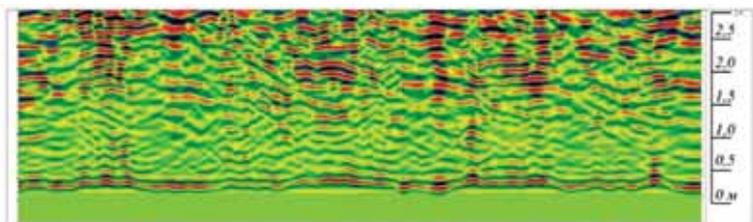


Рис. 4. Радарограмма кровли конвейерного штрека 5210 пикеты 135–137

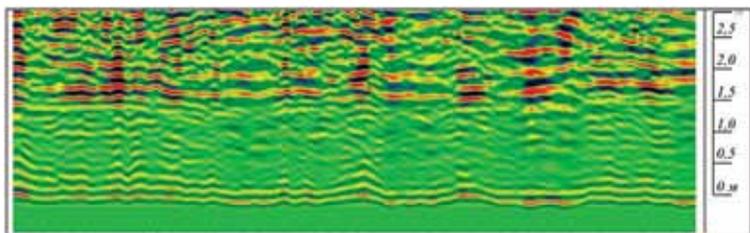


Рис. 5. Радарограмма кровли конвейерного штрека 5210 пикеты 135–137

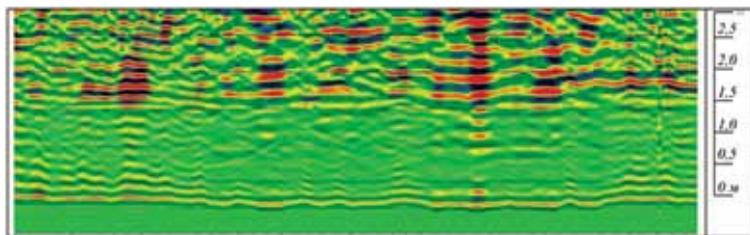
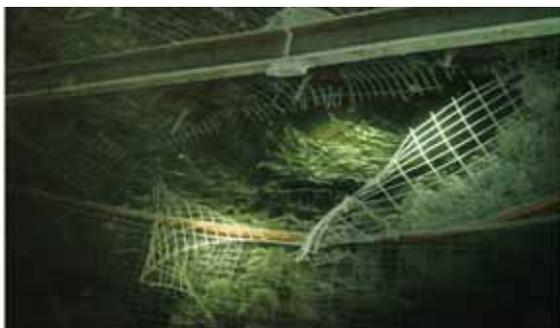


Рис. 6. Радарограмма кровли конвейерного штрека 5210 пикеты 135–137

На основании данных геолокации специалистам по анкерному креплению шахты были даны рекомендации по усилению визуального контроля за данным участком выработки и изменен срок контроля. Следующее обследование подтвердило усиление деформаций пород кровли (рис. 6). Местами была деформирована и даже оборвана решетчатая затяжка крепи (см. рис. 7).

В целях повышения достоверности результатов, а также для упрощения работ, целесообразно своевременно дополнять сопроводительную документацию по технике и методике проведения работ с учетом конкретных горно-геологических условий.

Специфика георадарных обследований заключается в значительной сложности интерпретации получаемых результатов, так как шахтные выработки обладают большим количеством металлических объектов, силовых кабелей, что является причиной появления на радарограммах значительного количества помех.



*Рис. 7. Фото обрыва затяжки и обрушения в кровле*

Поэтому, в целях получения объективных данных с использованием георадиолокационной аппаратуры в шахтовых условиях необходимо накопление значительного количества экспериментальных данных и сопоставление их с данными других методов исследования состояния кровли.

Проведение георадарных обследований состояния кровли позволяет оперативно выявлять опасные участки, и своевременно принимать меры по усилению крепи. Затраты на обследования несравнимы с затратами на ремонт техники и оборудования, не говоря уже о безопасности персонала.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.12.2013 № 30961).

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» [Электронный ресурс]. — <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70497944>. Гарант. Информационно-правовой портал. Режим доступа свободный. — Загл. с экрана.

3. Хмелинин А. П. Методика исследования железобетонных конструкций подземных сооружений на наличие в них неоднородностей различного типа / Электронный сборник 10-я Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». — М.: ИПКОН РАН, 2013. — С. 89–93.

4. Луганцев Б. Б. Обеспечение устойчивости подземных горных выработок в трещиноватом породном массиве. Автореферат диссертации на соискание уч. степени доктора технич. наук. — Шахты, 2002.

5. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 2005. **ГИАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

*Кавардаков Александр Алексеевич* — директор шахтоуправления «Котинское» ОАО «СУЭК-Кузбасс», e-mail: KavardakovAA@suek.ru,

Кузин Евгений Геннадьевич<sup>1</sup> — старший преподаватель,  
e-mail: kuzinevgen@gmail.com,

Пудов Евгений Юрьевич<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: pudov\_evgen@mail.ru,

<sup>1</sup> Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 11, pp. 222–224.

UDC 550.8.08,  
622.45

**A.A. Kavardakov, E.G. Kuzin, E.Yu. Pudov**

**EXPERIENCE OF USING GPR  
IN THE MINE KOTINSKAJA TO ASSESS CONDITION  
OF PREPARATORY MINE WORKINGS**

The substantiation of the need to monitor the condition of the preparatory mine workings fixed roof bolting for the safety of mining operations. It is shown that the currently applied control methods does not give a comprehensive assessment throughout the mine workings. GPR is proposed to use the method to identify dangerous areas that are prone to deformation and collapse. The data mining and geological forecast lava 5210 Kotinskaja mine, taking into account that a schedule of surveys and identified areas of mining. Shows the algorithm for processing GPR data. Are shown the radargram mines with a different state of roof bolting, confirmed in most cases by visual observation. The necessity of accumulating a significant amount of experimental data to develop a complete technique of GPR surveys of underground mine workings.

Key words: GPR, roofing, underground workings, safety of mining operations, condition, fracture, geophysical research methods.

**AUTHORS**

Kavardakov A.A., Director, Mine Office «Kotinskaja»,  
OJSC «SUEK-Kuzbass», Kiselevsk, Russia, e-mail: KavardakovAA@suek.ru,

Kuzin E.G.<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: kuzinevgen@gmail.com,

Pudov E.Yu.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: pudov\_evgen@mail.ru,

<sup>1</sup> Prokopyevsk branch of Kuzbass State Technical University, 653033, Prokopyevsk, Russia.

**REFERENCES**

1. *Prikaz Rostekhnadzora ot 19.11.2013 no 550 «Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh»* (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 31.12.2013 no 30961) (Approval of the Federal Code on Industrial Safety: Safety Regulations for Coal Mines, Decree of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia, No. 550 as of Nov 19, 2011).

2. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po rashetu i primeneniyu ankernoy krepki na ugol'nykh shakhtakh»* <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70497944>. Garant. Informatsionno-pravovoy portal.

3. Khmelinin A. P. *Elektronnyy sbornik 10-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya shkola molodykh uchenykh i spetsialistov «Problemy osvoeniya neдр v XXI veke glazami molodykh»* (Mineral Mining Challenges in the 21st Century by the Eyes of the Young: E-Proceedings of the 10th International School of Young Scientists and Specialists), Moscow, IPKON RAN, 2013, pp. 89–93.

4. Lugantsev B. B. *Obespechenie ustoychivosti podzemnykh gornykh vyrabotok v treshchinovatom porodnom massive* (Stability of underground excavations in jointed rock masses), Doctor's thesis, Shakhty, 2002.

5. Vladov M. L., Starovoytov A. V. *Vvedenie v georadiolokatsiyu*. Uchebnoe posobie (Introduction into radiolocation. Educational aid), Moscow, Izd-vo MGU, 2005.