

УДК 662'11:069.4

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА

COMPLEX GEOPHYSICAL RESEARCHES OF COAL MASSIVE CONDITION IN KUZBASS

Соколов Сергей Владиславович,
младший научный сотрудник, e-mail: sokolov@uglemetan.ru;
Sokolov Sergey V. junior researcher

Салтымаков Евгений Алексеевич,
старший инженер, e-mail: saltymakov@uglemetan.ru;
Saltymakov Evgeny A., senior engineer

Кормин Алексей Николаевич,
кандидат техн. наук, младший научный сотрудник, e-mail: kormin@uglemetan.ru;
Kormin Alexey N., junior researcher, p.h.d.

Институт угля Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского Отделения Российской академии наук», г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10
Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.650065, Russia, Kemerovo, Ave. Leningradskiy, 10

Аннотация: в статье представлен опыт выполнения комплексных исследований, включающих сейсмо- и электроразведку для определения физико-механических параметров горных пород и регистрации угольных пластов в условиях Кузбасса. Приведены результаты геофизических измерений. Оценены преимущества и недостатки использованных методов. Рассмотрен подход к получению геологических данных на основе комплексного применения сейсмической и электрической разведки без привязки к данным разведочного бурения.

Abstract: experience of implementation in Kuzbass complex researches, that includes seismic and electric surveys for detecting physical and mechanical properties of rock mass and discovering coal seams was presented in article. Results of geophysical measurements were listed. Advantages and defects of used methods were estimated. Way for receiving of geological information that based for complex using of seismic and electric exploration without borehole data was considered.

Ключевые слова: наземная сейсморазведка, общая глубинная точка, отраженная волна, геологическое нарушение, электроразведка, электротомография, геоэлектрический разрез, инверсия.

Key words: seismic prospecting, common depth point, reflected wave, geological fault, electric prospecting, electrical tomography, geoelectric section, inversion.

В последнее время для получения геологической информации расширяющееся применение находят сейсмо- и электроразведка. Эти методы отличаются природой используемых в ходе измерений физических полей, и их применение для оценки условий залегания угольных пластов имеет свои характерные особенности. Поставлена задача - разработать подход для повышения эффективности геофизического картирования углепородного массива. Для этого на одной из угольных шахт Кузбасса выполнены исследования с использованием сейсмической и электрической разведки. Угольные пласты залегают в породных слоях преимущественно алевролитов с наличием песчаников. Помехообразующий фактор – наличие автодороги поблизости от области исследования. Работы проведены по двум профилям, расположенным

таким образом, что электроразведочный профиль являлся продолжением сейсморазведочного, при этом электроразведочные работы начинаются во время демонтажа сейсмического оборудования.

На первом этапе исследования выполнена сейсморазведка по методу общей глубинной точки (ОГТ). Сейсмические изыскания на поверхности горных отводов угольных шахт имеет ряд характерных особенностей:

1. Исследования сосредоточены в пределах пластов угля, залегающих, как правило, в чередовании песчаников, алевролитов и аргиллитов, отличающимися от них своими сейсмическими и плотностными характеристиками [1].

2. Размеры регистрируемых в породном массиве аномалий зачастую весьма небольшие, нередки случаи наличия мелкоамплитудных геологиче-

ских нарушений.

3. Глубина залегания разрабатываемых угольных пластов находится в интервале от десятков до сотен метров, что предполагает применение различных источников упругих сейсмических колебаний и методов регистрации сигнала [2].

4. Факторами, которые осложняют интерпретацию сейсмической информации, зарегистрированной на участках угольных месторождений, являются: незначительная мощность пластов угля по сравнению с глубиной их залегания и наличие сторонних помех. Эти сложности компенсируются мобильностью и отсутствием необходимости бу-

реться изменением параметров сейсмического сигнала. На основании этого подобраны длина исследовательского профиля и схема измерения, позволяющие рационально использовать подходящее для размещения регистрирующей системы пространство горного отвода. Параметры измерительной системы выбраны на основе анализа предполагаемых глубин залегания целевых горизонтов исследования и скоростей прохождения сейсмических волн, выполненного с использованием стратиграфических данных изучаемого участка. Недостаточная кратность данных по ОГТ компенсировалась многократным накоплением сигнала.

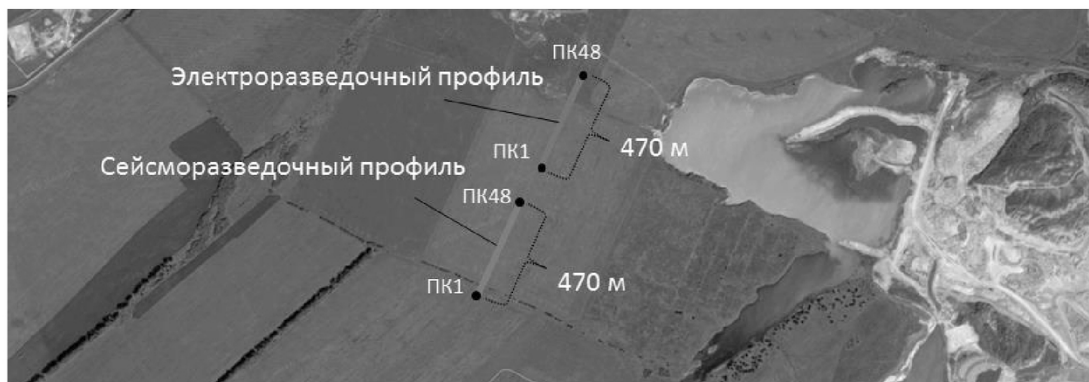
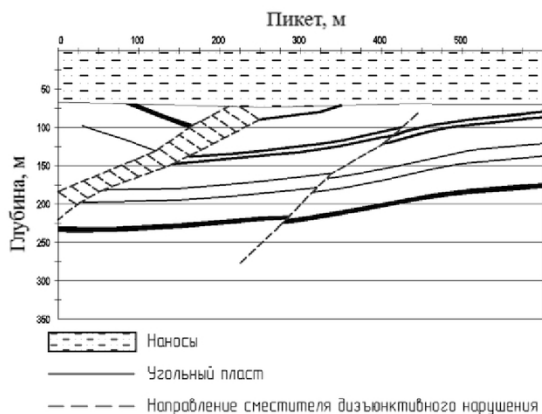


Рис. 1. Расположение геофизических профилей

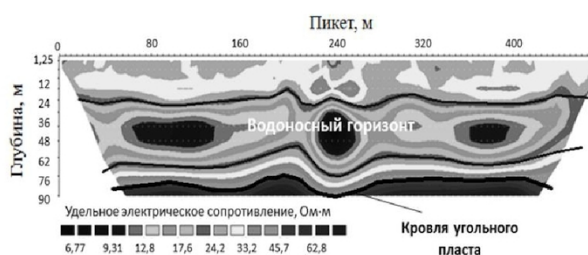
рять дополнительные геологоразведочные скважины [3].

Характеристики сейсмического сигнала изменяются при его прохождении в массиве горных пород, что обуславливается энергией распространяющейся в массиве волны. Энергетическая составляющая волны ослабевает с увеличением расстояния от источника колебания, количества границ, затухания [4]. Дизъюнктивные нарушения

По результатам оценки обработанных сейсмических данных зарегистрировано дизъюнктивное нарушение с амплитудой около 10 м. Оценка среднего амплитудного уровня в окне по координатам общей глубинной точки показала его невыдержанность. На рисунке 2а. представлены результаты интерпретации данных сейморазведки ОГТ на действующей угольной шахте Кузбасса. Получены следующие результаты:



а)



б)

Рис. 2. Результаты, зафиксированные по геофизическим профилям: а) интерпретированный сейсмический разрез; б) геоэлектрический разрез.

характеризуются разрывом сплошности угольного пласта и наличием зоны дробления, обладающей повышенной трещиноватостью, что сопровожда-

- В интервале глубин 70-330 м зафиксированы угольные пласты мощностью от 2 м.
- Зарегистрирована серия разрывных нару-

шений, характеризующихся нарушением прослеживания осей синфазности, соответствующих залеганию угля. Минимальная амплитуда нарушений составила 10 м.

На втором этапе исследования проведена электроразведка углеродного массива методом электротомографии. Применение электротомографии для получения качественных данных с удовлетворительным разрешением ограничено глубиной исследований до 90 м.

Для выполнения исследований по оценке состояния углеродного массива применялась многоэлектродная электроразведочная станция «Скала-48». Выполнены электроразведочные ра-

нено сравнение возможностей методов электро- и сейсморазведки в рамках задач по оценке условий залегания угольных пластов. Электротомография - подход, характеризующийся низкими трудозатратами и высокой оперативностью, который направлен на получение информации с небольших (до 90 м) глубин. При этом сейсморазведка ОГТ, обеспечивающая большую глубину зондирования, требует наибольшие временные издержки на полевой этап. На основе данных интерпретации данных сейсмической и электрической разведки составлен совмещенный геолого-геофизический разрез (рис. 3).

На основе полученных результатов геофизи-

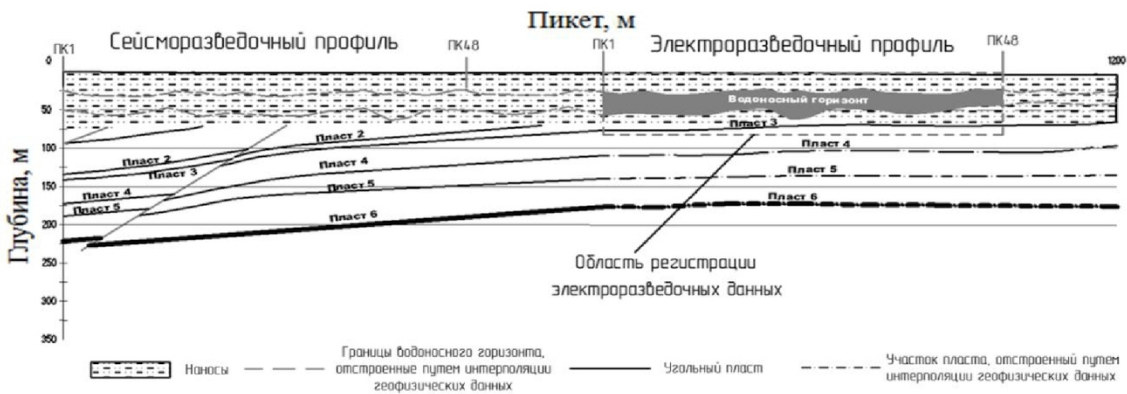


Рис. 3. Совмещенный геолого-геофизический разрез по данным сейсмо- и электроразведочного профилирования

боты. В ходе проведенных исследований зафиксировано более 2500 геофизических наблюдений. Обработка исходных данных выполнялась в 3 основных этапа:

- формирование единого массива зарегистрированных данных, фильтрация полезного сигнала, экспортирование в форматы для дальнейшей обработки;
- применение процедуры инверсии, основанной на методе наименьших квадратов;
- уменьшение различия значений кажущегося сопротивления путем вариации сопротивлений блоков модели.

По результатам исследований определена линия градиента удельного электрического сопротивления (рис 2 б). В связи с тем, что угольный пласт имеет относительно низкую проводимость, его кровля отстроена вдоль градиента удельного электрического сопротивления [5]. Зарегистрирован водонасыщенный горизонт, характеризующийся удельным электрическим сопротивлением 0-30 Ом·м. В данном случае он представлен четвертичными отложениями.

Выполненные на территории Кузбасса исследования подтвердили возможность применения электротомографии и сейсморазведки ОГТ для оценки физико-механических параметров углеродного массива и доразведки условий залегания угля. На основе полученных результатов выпол-

ческих измерений предложен подход к получению геологических данных на основе комплексного применения сейсмической и электрической разведки, позволяющий выполнять инженерное картирование участков углеродного массива неисследованных геологоразведочными скважинами. Для этого была совместно проанализирована зарегистрированная электроразведочная и сейсморазведочная информация и взаимно использована в качестве опорных горизонтов в процессе камеральной обработки.

При анализе сейсмических данных уравнения годографа поверхностной и воздушной волн определяются уравнениями прямой волны:

$$t = x/v$$

где t – временная отметка, с; x - координата по профилю, м; v - скорость распространения волны, м/с.

Для каждой из этих нецелевых волн характерна собственная скорость распространения. Уравнения их годографов записываются в следующем виде:

$$t_B = x_B/v_B \text{ и } t_{II} = x_{II}/v_{II}.$$

По результатам оценки сигнала определены области сейсмограмм с наличием поверхностных и воздушных волн. Уравнение годографа отраженной волны:

$$t_{отр} = \frac{1}{v_{отр}} \cdot \sqrt{(4 \cdot h^2 + 4 \cdot h \cdot \sin\varphi + x_{отр}^2)},$$

где h – глубина отражающего горизонта, м; φ – угол распространения волн $^{\circ}$.

Таким образом, основные условия выделения целевых отраженных волн:

$$t_{\text{отр}} \neq t_{\text{в}} \text{ и } t_{\text{отр}} \neq t_{\text{п}},$$

где $x_{\text{отр}} = x_{\text{в}} = x_{\text{п}} = x$.

На основе анализа расхождения координат на общих временных отметках учтены области регистрации искомого отраженного сигнала. В случае отраженной волны особенности ее отображения на исходной сейсмограмме можно описать отношением, используемым для генерирования синтетических сейсмограмм:

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1},$$

где R – коэффициент отражения, ρ_1 и ρ_2 – плотности пород в первом и втором слое, кг/м³, v_1 и v_2 – скорости распространения волны в первом и втором слое, м/с.

По итогам электроразведочных работ установлено, что изменение параметров регистрируемого электроразведочного сигнала находится в явно прослеживаемой зависимости от плотности исследуемых пород и характера заполнения их

пор и пустот. В результате анализа данных электротомографии, выполненного на основе установленных эмпирических соотношений оценены искомые плотностные характеристики пород на границах раздела сред. На основании сделанных оценок проведена совместная интерпретация геофизических данных.

В результате комплексного использования двух методов геофизических измерений оперативно изучено около 1 км горного отвода шахты. По итогам геофизических работ выполнена оценка гипсометрии угольного пласта в интервалах глубин 40-90 м и определены гидрогеологические условия его залегания. Представленные результаты интерпретации электро- и сейсморазведочных данных использованы при составлении планов горных работ и впоследствии подтверждены фактическими данными. Таким образом, рациональное сочетание двух рассмотренных методов на общем объекте исследования позволяет осуществлять геологическое картирование при рациональных затратах времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасевич А. М., Земцова Д. П., Никитин А. А. Сейсморазведка при изучении метанугольного разреза //ООО «Центр информационных технологий в природопользовании» – М.,2008 – 164 с.
2. Тайлаков О.В., Овчинников В. И., Соколов С. В. Применение малоглубинной сейсморазведки для уточнения условий залегания угольных пластов и локализации изменений их газоносности // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр., ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск - 2010 - №17. – С. 22 – 26.
3. Тайлаков О. В., Макеев М. П., Соколов С. В., Уткаев Е. А. Применение сейсмоакустического профилирования для уточнения условий залегания угольных пластов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. научн. статей, Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. Фрянова В. Н. – Новокузнецк, 2012. –С. 266 – 267.
4. Козлов Е.А. Модели среды в разведочной сейсмологии – Тверь: ГЕРС, 2006. – 480 с.
5. Салтымаков Е.А., Киселев В. Ю., Тайлаков О. В. Применение электротомографии для оценки условий залегания угольных пластов на разрезах Кузбасса // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: материалы Инновационного конвента. – 15.10.2015. – С. 20 – 22.
6. Соколов, С.В. Применение сейсмической разведки для уточнения горно-геологических условий разработки угольных месторождений // Горняцкая смена. - Сб. трудов Всероссийской научной конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы «Горняцкая смена – 2013». Т. 3 – 2013. – С. 153-155.

REFERENCES

1. Karasevich A. M., Zemcova D. P., Nikitin A. A. Sejsmorazvedka pri izuchenii metanougol'nogo razreza //ООО «Centr informacionnyh tekhnologij v prirodopol'zovanii» – М.,2008 – 164 s.
2. Tajlakov O.V., Ovchinnikov V. I., Sokolov S. V. Primenenie maloglubinnoj sejsmorazvedki dlya utochneniya uslovij zaleganiya ugol'nyh plastov i lokalizacii izmenenij ih gazonosnosti // Geotekhnicheskaya mekhanika: Mezhd. sb. nauchn. tr., IGTМ NAN Ukrainy. – Dnepropetrovsk - 2010 - №17. – S. 22 – 26.
3. Tajlakov O. V., Makeev M. P., Sokolov S. V., Utkaeв E. A. Primenenie sejsmoakusticheskogo profilirovaniya dlya utochneniya uslovij zaleganiya ugol'nyh plastov // Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov: sb. nauchn. statej, Sib. gos. industr. un-t; pod obshchej red. Fryanova V. N. – Novokuzneck, 2012. –S. 266 – 267.
4. Kozlov E.A. Modeli sredy v razvedochnoj sejsmologii – Tver': GERS, 2006. – 480 s.

5. Saltymakov E.A., Kiselev V. YU., Tajlakov O. V. Primenenie ehlektrotomografii dlya ocenki uslovij zaleganiya ugol'nyh plastov na razrezah Kuzbassa // Innovacionnyj konvent «Kuzbass: obrazovanie, nauka, innovacii»: materialy Innovacionnogo konventa. – 15.10.2015. – S. 20 – 22.

6. Sokolov, S.V. Primenenie sejsmicheskoy razvedki dlya utochneniya gorno-geologicheskikh uslovij razrabotki ugol'nyh mestorozhdenij // Gornyackaya smena. - Sb. trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii dlya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh s ehlementami nauchnoj shkoly «Gornyackaya smena – 2013». Т. 3 – 2013. – С. 153-155.

Поступило в редакцию 19.03.2017
Received 19.03.2017