



**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОДРАБОТАННОГО УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА**

**А. В. Анциферов, Л. А. Иванов, В. В. Туманов,
А. В. Савченко, В. А. Анциферов**

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, E-mail: ranimi@ranimi.org, E-mail: ivanov.donetsk@mail.ru, tum.v@yandex.ru, sav-ta2@mail.ru, ranimi@ranimi.org, ул. Челюскинцев 291, г. Донецк 283004, Донецкая Народная Республика

По данным анализа каротажа скважин и электромагнитного зондирования методом становления поля в ближней зоне выше отработанного угольного пласта выявлена сверху вниз по разрезу положительная аномалия удельного электрического сопротивления, которая свидетельствует о нисходящем движении подземных вод и насыщении пород газом.

Электромагнитное зондирование, удельное электрическое сопротивление, подработанный массив горных пород, геоэлектрическая модель

**THE USE OF ELECTROMAGNETIC SOUNDING
TO ESTIMATE THE STATE OF UNDERMINED COAL ROCK MASS**

**A. V. Antsiferov, L. A. Ivanov, V. V. Tumanov,
A. V. Savchenko, and V. A. Antsiferov**

Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying, E-mail: ranimi@ranimi.org, E-mail: ivanov.donetsk@mail.ru, tum.v@yandex.ru, sav-ta2@mail.ru, ranimi@ranimi.org, ul. Chelyuskintsev 291, Donetsk 283004, Donetsk People's Republic

According to the borehole logging analysis and near-field transient electromagnetic sounding method, a positive electric resistivity anomaly was detected from top to bottom along the section above the abandoned coal seam. This anomaly indicates a downward movement of groundwater and saturation of rocks with gas.

Electromagnetic sounding, specific electrical resistivity, undermined rock mass, geoelectric model

Отработка угольного пласта является очагом опасных горно-геологических процессов, она способствует концентрации метана в выработанном пространстве и изменению физических параметров массива горных пород, один из которых — удельное электрическое сопротивление (УЭС) углепородного массива. Учитывая вероятную опасность и перспективу попутной добычи метана, а также существенное изменение физических свойств пород при отработке угольных пластов, исследование подработанного массива при помощи электроразведочных методов угольной геофизики актуально.

Цель исследования — оценка состояния подработанного массива по вертикали и в направлении движения лавы по результатам наземного электромагнитного зондирования.

Подработка приводит к деструкции (дроблению, трещинообразованию) и изменению характера насыщения (обводненности, минерализации подземных вод) массива горных пород. Наиболее чувствительным к подработке, является параметр УЭС. Чтобы выделить подработку как положительный фактор изменения УЭС, необходимо учесть или минимизировать действие

сдерживающих факторов. Учет этих факторов обоснован и реализован в рамках концепции угольной промысловой геофизики и может быть использован при изучении влияния подработки на геофизические параметры [1].

К числу эффективных методов электроразведки, позволяющих наиболее детально исследовать массив горных пород с земной поверхности, относится электромагнитное зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Метод хорошо зарекомендовал себя при изучении осадочных бассейнов в различных геологических условиях, а также при изучении нефтегазоносных месторождений Сибири [2, 3]. В частности, с его помощью выделяются тонкие низкоомные породы-коллекторы в высокоомном разрезе осадочного чехла на юге Сибирской платформы [4]. Однако угольные месторождения, несмотря на перспективность ЗСБ, остаются малоизученными данным методом.

Методика исследования. Для характеристики геоэлектрических свойств углепородного массива использованы результаты геофизических исследований скважин (ГИС) и электромагнитного зондирования с земной поверхности методом становления поля в ближней зоне. По данным ГИС выполнено расчленение разреза на слои, объединение слоев в пачки, определение УЭС пачек и построение априорной геоэлектрической модели. Априорная модель соответствует неподроботанному массиву. Она полностью подтверждается экспериментальной моделью по данным ЗСБ и служит основанием для его применения на неподроботанном массиве. Использование априорной модели к подроботанному массиву позволяет при фиксированной мощности пачек выявить изменение их удельного электрического сопротивления, вызванного подработкой.

Влияние подработки на свойства пачек изучено на примере поля шахты “Южно-Донбасская 3” [2–4]. На рис. 1 представлены изменения УЭС преобладающих терригенных типов пород с глубиной до подработки массива. С увеличением глубины по разрезу повышаются степень катагенеза и температура, а сопротивление пород соответственно возрастает и уменьшается. Минерализация пластовых вод меняется волнообразно и составляет на глубине 20, 200 и 800 м соответственно 5, 1 и 12 г/л. С ростом минерализации пластовых вод сопротивление пород уменьшается. Взаимовлияние на сопротивление однотипных пород катагенеза, температуры и минерализации пластовых вод обуславливает его волнообразное поведение с образованием локального минимума на глубине 700 м [5].

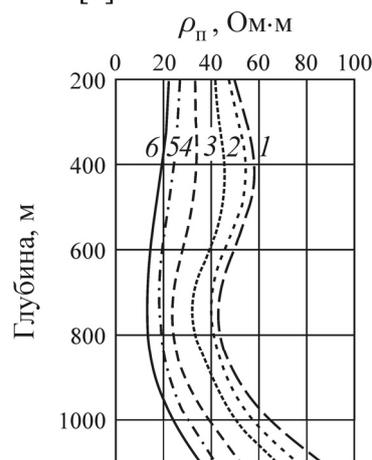


Рис. 1. Изменение удельного электрического сопротивления литотипов по разрезу участка поля шахты “Южно-Донбасская 3” до подработки массива: 1–3 — песчаник соответственно крупно-, средне- и мелкозернистый; 4 — алевролит; 5 — аргиллит алевролитовый; 6 — аргиллит

Для исключения влияния катагенеза на УЭС выделение типов пород по каротажу скважин осуществлялось в пределах интервалов разреза, где изменение физического параметра однотипных пород не превышало двукратную погрешность его измерения. В пределах этих интер-

валов выделялись слои по признаку их отличия от соседних слоев на величину, превышающую двукратную погрешность измерения параметра. Представленные таким образом слои укрупнялись до пачек с преобладающим содержанием породы, УЭС которой отличалось от вмещающих пачек на величину не менее двукратной погрешности определения УЭС, а мощность составляла не менее разрешающей способности метода ЗСБ [6].

Экспериментальный геоэлектрический разрез. На основе разреза участка поля шахты “Южно-Донбасская 3” и литологического расчленения на пачки построен априорный геоэлектрический разрез. Используя его и результаты определения по данным ЗСБ удельного электрического сопротивления пачек, построен экспериментальный геоэлектрический разрез по линии, пересекающей забой лавы (рис. 2) [5].

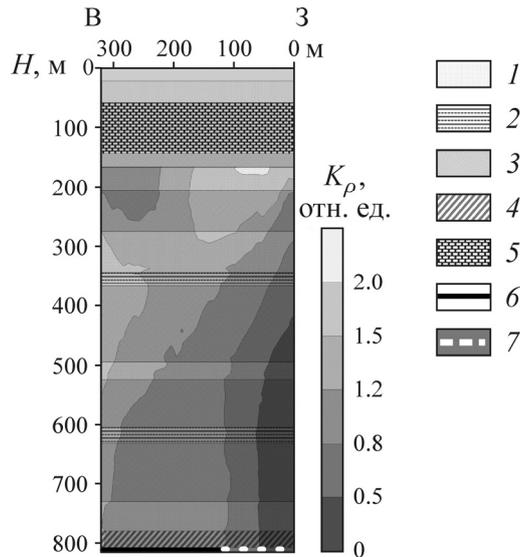


Рис. 2. Экспериментальный геоэлектрический разрез подработанного массива участка поля шахты “Южно-Донбасская 3”: 1 — песчаная пачка; 2 — алевритовая пачка; 3 — глинистая пачка; 4 — пачка смешанная песчано-алеврито-глинистая; 5 — пачка мергельная; 6 — неотработанный угольный пласт; 7 — отработанный угольный пласт

На этом разрезе показано относительное изменение удельного электрического сопротивления однотипных пачек пород по геоэлектрическому коэффициенту влияния подработки на проницаемость и характер насыщения массива горных пород

$$K_{\rho} = \frac{\rho_{п}}{\rho_{нп}},$$

где $\rho_{п}$, $\rho_{нп}$ — удельное электрическое сопротивление пород подработанного и неподработанного массива соответственно [5].

Анализ экспериментального геоэлектрического разреза показывает, что над кровлей отработанного угольного пласта на расстоянии до 300 м сопротивление однотипной пачки пород уменьшается и на расстоянии более 70 м от забоя лавы в сторону обрушения кровли становится в два раза меньше, чем над неотработанным пластом.

На экспериментальном разрезе выше на 500–650 м над отработанным пластом на глубине 150–300 м от поверхности выявлена положительная аномалия, УЭС которой превышает УЭС массива до отработки угольного пласта в 1.5–2 раза (рис. 2). Для интерпретации этой аномалии использовалась геоэлектрическая модель подработанного массива. Модель состоит из двух самостоятельных частей, соответствующих газонасыщенному и водонасыщенному состоянию пород (рис. 3). Она отражает влияние деструкции (трещиноватости) на проницаемость пород, а также характера насыщения на их электрические свойства в пределах мульды сдвижения. В

модели выделена область влияния подработки на структуру углепородного массива с разделением области прогиба на участки — без нарушения и с нарушением сплошности пород. Для этих участков приведена характеристика геоэлектрического коэффициента влияния подработки K_p в виде изолиний данного параметра (рис. 3).

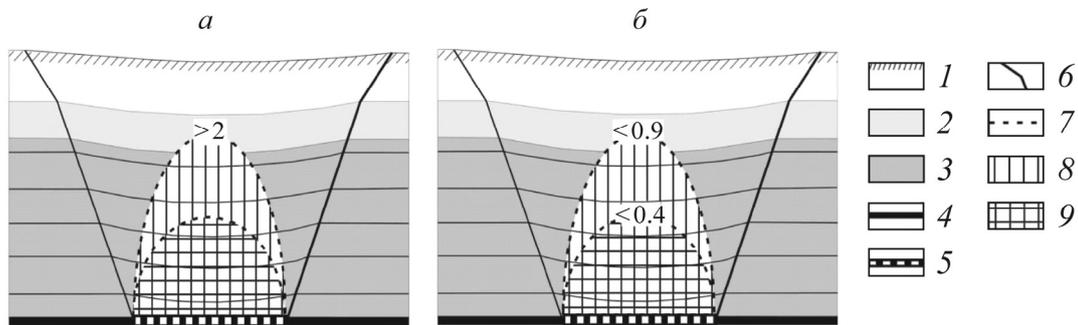


Рис. 3. Обобщенная геоэлектрическая модель подработанного массива газонасыщенных (а) и водонасыщенных (б) горных пород: 1 — покровные отложения; 2 — выветрелые породы карбона; 3 — коренные породы карбона; 4 — неотработанный угольный пласт; 5 — отработанный угольный пласт; 6 — граница мульды сдвижения; 7 — изолинии коэффициента влияния подработки K_p ; 8, 9 — зона прогиба в области влияния подработки на УЭС соответственно без нарушения и с нарушением сплошности пород

В случае водонасыщенного состояния пород внешние границы области прогиба с нарушением и без нарушения сплошности пород устанавливаются по значению K_p , равному соответственно 0.4 и 0.9. При газонасыщенном состоянии область влияния подработки по данному коэффициенту составляет более 2.0 без разделения ее по нарушенности сплошности пород.

Применение геоэлектрической модели подработанного массива позволило установить, что рассматриваемая аномалия параметра УЭС, расположенная высоко над отработанным пластом, связана со сменой характера насыщения пород. Ее образование обусловлено перетеканием пластовых вод вниз по разрезу и насыщением пород газом. Не исключено, что газ, насыщающий породы, дегазировал из нижележащих угольных пластов.

ВЫВОДЫ

В результате анализа экспериментального геоэлектрического разреза, построенного по данным ГИС, и использования метода становления поля в ближней зоне в направлении движения лавы выше отработанного угольного пласта выявлена положительная аномалия удельного электрического сопротивления. Интерпретация этой аномалии с помощью геоэлектрической модели подработанного массива свидетельствует об ее образовании за счет нисходящего движения подземных вод и насыщения пород газом. Метод становления поля в ближней зоне дает возможность оценить изменение состояния подработанного углепородного массива по вертикали и в направлении движения лавы для водонасыщенных и газонасыщенных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Grechukhin V. V. Petrophysics of Coal-Bearing Formations, Moscow, Nedra, 1990, 472 pp. [Гречухин В. В. Петрофизика угленосных формаций. — М.: Недра, 1990. — 472 с.]
2. Nevedrova N. N. and Sanchaa A. M. Geoelectric models typical for oil and gas fields of Western Siberia, Materials of the VI All-Russian School-seminar on electromagnetic sounding of the Earth-EMS-2013. <http://www.emf.ru/ems2013/section5/Санчаа.pdf>. [Неведрова Н. Н., Санчаа А. М. Геоэлектрические модели, характерные для нефтегазоносных месторождений Западной Сибири // Материалы VI Всерос. школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли – ЭМЗ-2013. <http://www.emf.ru/ems2013/section5/Санчаа.pdf>]

3. **Pospeev A. V., Buddo I. V., Agafonov Yu. A., and Kozhevnikov N. O.** Isolation of reservoir layers in the section of the sedimentary cover of the south of the Siberian platform according to the data of sounding by the formation of the field in the near zone, *Geophysics*, 2010, no. 5, pp. 47–52. [**Поспеев А. В., Буддо И. В., Агафонов Ю. А., Кожевников Н. О.** Выделение пластов-коллекторов в разрезе осадочного чехла юга Сибирской платформы по данным зондирования становлением поля в ближней зоне // *Геофизика*. — 2010. — № 5. — С. 47–52.]
4. **Seminsky I. K., Budde I. V., Murzina E. V., and Selyaev V. A.** Possibilities of electric exploration by sounding the formation of the field in the near zone when solving oil and gas exploration problems in the south of the Siberian platform, *Bulletin of the Voronezh State University, Series Geology*, 2019, no. 3, pp. 84–92. [**Семинский И. К., Буддо И. В., Мурзина Е. В., Селяев В. А.** Возможности электроразведки методом зондирования становлением поля в ближней зоне при решении нефтегазопроисковых задач на юге Сибирской платформы // *Вестник ВГУ. Сер. Геология*. — 2019. — № 3. — С. 84–92.]
5. **Antsiferov A. V., Ivanov L. A., and Tumanov V. V.** Electromagnetic Sounding of the Underworked Carboniferous Array in Donbass, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 11–15. [**Анциферов А. В., Иванов Л. А., Туманов В. В.** Электромагнитное зондирование подработанного угленосного массива в Донбассе // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. — 2017. — Т. 4. — № 3. — С. 11–15.]
6. **Electric Prospecting System “Impuls-D”.** Interpreter Directory. IKGP416461.002D2, Sibgeotech LLC. Novosibirsk, 2004, 36 pp. [**Станция электроразведочная “Импульс-Д”.** Руководство интерпретатора. ИКГП416461.002Д2. — Новосибирск: ООО “Сибгеотех”, 2004. — 36 с.]