

Канд. геол.-минерал. наук А.С. Поляшов  
(Национальный горный университет)

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕЙ**

Експериментально доведено, що поверхневі властивості вугілля істотно впливають на електричні характеристики і можуть бути використані як аналітичні сигнали при вивченні електричних властивостей.

## **INTERCONNECTION OF SUPERFICIAL AND ELECTRIC PROPERTIES OF COALS**

It is experimentally showned that superficial properties of coal substantially influence on electric descriptions and can be applied as analytical signals at the study of electric properties.

Объекты геологической среды конечномерны и в геологическом пространстве ограничены геологическими поверхностями. Геологические поверхности обеспечивают в природных геологических и техногенных процессах основные преобразующие геологические объекты функции. Геологические поверхности классифицируют с разных позиций. Наиболее полно разработана геометрическая классификация геологических поверхностей. Физические, химические и другие свойства поверхностей геологических объектов обычно как частные проявления их геологических функций.

Геометрическими характеристиками служат форма поверхности, площадь –  $S$ , связанная с размером –  $l$  и объемом –  $V$  геологического объекта. Форму поверхности в геологических дисциплинах оценивают как степень отклонения от первичной поверхности – плоскости, вводя понятие кривизны:

$$K = \frac{l}{r},$$

где  $r$  – радиус, изменяющийся от бесконечности (плоскость) до величины с конкретным значением.

Если обратиться к наиболее используемой комбинации геометрических величин вида  $l/S$ ,  $S/V$ , имеющих размерность  $l^{-1}$ , то их значения будут зависеть от формы поверхности. У плоской фигуры – круга значение выражения  $l/S$  минимально и равно  $\frac{2}{r}$ , у объемного тела – шара минимальное значение для выражения  $S/V$  равно  $\frac{3}{4 \cdot r}$ . Фактически это значения кривизны линии и поверхности этих фигур.

В практике исследований часто переходят от измеряемых экспериментальных величин ( $X$ ) к их удельным выражениям ( $x$ ) путем нормирования по объему или массе исследуемого объекта:

$$x_V = \frac{X}{V}, \text{ или } x_m = \frac{X}{m} = \frac{l}{\gamma} \cdot \frac{X}{V},$$

где  $\gamma$  - удельный вес (плотность),  $m$  - масса и  $V$  - объем угля. В результате удельным величинам придается зависимость от геометрических характеристик поверхностей геологических объектов. Например, сопротивление образца угля известных размеров в форме куба определяется из выражения:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где  $S$  и  $l$  площадь контакта (грани) и длина ребра, соответственно. Выражение для величины удельной поверхности принимает вид:

$$s_{y\partial} = \frac{S}{V} \approx \frac{l}{S} \approx \frac{R}{\rho}. \quad (2)$$

Выражение (2) раскрывает сущность перехода от геометрической к физической характеристике геологической поверхности, по сути к её кривизне.

Вовлекаемая в соотношение между сопротивлением и удельным сопротивлением удельная поверхность известна в горном деле, как показатель разрушаемости углей [1]:

$$s_{y\partial} = R = 0,06 \cdot \frac{\delta}{\gamma} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{\bar{d}_i} = \frac{l}{V} \cdot \left( \frac{K}{\gamma} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{\bar{d}_i} \right), \quad (3)$$

где  $s_{y\partial}$  - удельная поверхность порошкообразной пробы,  $\text{мм}^{-1}$ ;

$\delta$  - удельный вес;

$V, \gamma$  - объем и объемный вес, соответственно;

$P_i$  - вес угля  $i$ -того класса крупности;

$\bar{d}_i$  - средний диаметр частиц  $i$ -того класса крупности.

Таким образом, геологическую поверхность в данном случае характеризуют совокупной площадью поверхности дисперсных частиц, представляющих геологический объект в виде своеобразного агрегата частиц. Величину удельной поверхности в углях связывают с развитием трещин и пор. Поэтому удельное сопротивление углей традиционно используют для косвенной оценки развития трещин или избыточного давления, способствующего как развитию, так и закрытию трещин. Угли средних марок относятся к классу веществ – диэлектриков, характеризующихся удельным электрическим сопротивлением  $\rho = 10^{+6} \dots 10^{+20}$  Ом·м.

Учитывая изложенное и тот факт, что угли средних стадий метаморфизма являются в электрическом отношении диэлектриками, следует различать объ-

емную и поверхностную составляющие удельного сопротивления. Под удельным поверхностным сопротивлением  $\rho_s$  будем понимать электрическое сопротивление квадратной поверхности, помещенной в равномерное электрическое поле и ориентированной параллельно вектору напряженности поля. Значения удельного поверхностного сопротивления, в отличие от объемного  $\rho_V$ , будут определяться свойствами поверхности (гидрофобная, гидрофильная), характером и степенью её увлажнения (загрязнения). Известно, что с изменениями свойств поверхности при регистрации электрических характеристик могут появляться флуктуации - шумы [2]. Поэтому представляет интерес изучить характер изменения поверхностного и объемного сопротивлений углей при изменении термодинамических параметров.

**Целью** настоящей работы служило выяснение характера и закономерностей изменения электрических характеристик при сжатии и нагревании углей средних стадий метаморфизма.

При измерениях в среде, отклоняющейся от полупространства, закон Ома корректируют с помощью коэффициентов [3], переходя к количественной оценке кажущегося сопротивления ( $r_{каж.}$ ):

$$r_{каж.} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \frac{\Delta U}{I} \quad (4)$$

**Для** пород и углей выражение [4] нельзя считать корректным, так как  $r_{каж.}$  в большой мере определяется электрическим состоянием поверхности контакта объект – электрод. Это становится очевидным при визуализации электрического состояния поверхности в поле токов высокой частоты [4]. На рис.1 приведены фотоизображения электрического состояния поверхностей образцов песчаника и угля. Слагающие песчаник обломки имеют различную проводимость: от проводников (светлый тон) до изоляторов (темный фон) (рис. 1а). На поверхности образца угля контрастно выделяются следы выходов трещин (берега трещин) и минеральные включения (пирит) в виде светлых участков, выделяющихся на общем темном фоне (рис. 1б).

При определении численных значений величины  $r_{каж.}$  следует учитывать вклад участков поверхности, выполняющих доминирующую функцию в переносе зарядов. Изменения в состоянии поверхности, обеспечивающей электрический контакт, могут существенно влиять на количественные оценки удельного электрического сопротивления в результате возникновения шумов [2].

Методика выполнения экспериментов состояла в отборе углей марок Ж и К, слагающих проблемные угольные пласты Донбасса, приготовлении угольных образцов с калибровкой размера частиц и регистрации электрических характеристик при избыточных давлении и температуре. Диапазон изменения температуры был ограничен от комнатной температуры до +200°C, давления – от атмосферного до 150 МПа.

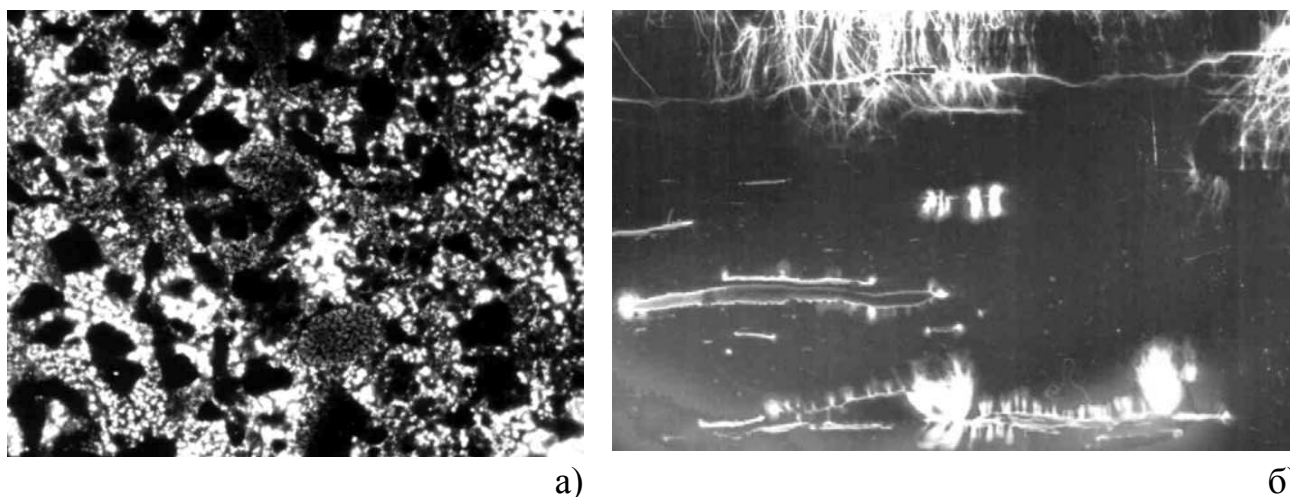


Рис. 1. Изображение электрического состояния поверхностей контакта в поле токов высокой частоты: а - среднезернистый песчаник (Донецко - Макеевский район); б- уголь марки Ж

*Вещественный состав* образцов углей марок Ж и К легко получить с содержанием витринита до 90 % и выше. Поэтому внесением погрешности в результаты измерений за счет изменений вещественного состава углей можно пренебречь. А так как микрокомпоненты группы витринита на протяжении процесса формирования углей изменяют свои свойства пропорционально термодинамическим условиям, то за опорный **объект исследований** был выбран концентрат витринита. Технология получения концентратов витринита достаточно проста и основана на более высокой хрупкости инертинитовой составляющей, уходящей, как правило, при разрушении в пылевую мелочь.

Практическая реализация установки, в которой в измерительной ячейке на образец необходимо наложить одновременно три поля: механическое одноосного сжатия, тепловое и электрическое - потребовала создания нестандартных технических узлов.

Изменения характеристик физических полей регистрировались с помощью двухкоординатного самописца типа Н-307 (запись в аналоговом виде осуществлялась по первой схеме в координатах: по оси X – сигнал от термопары, по оси Y – падение напряжения на термоактивируемом угольном образце). Давление контролировалось с помощью манометра, вмонтированного в настольный пресс, температура – с помощью термопары, размещенной в исследуемом образце, скорость нагревания угля поддерживалась около 3 °С/мин. Давление обеспечивалось с помощью настольного гидравлического пресса, температура - микропечи.

На рис. 2 приведена типичная кривая изменения сопротивления образца угля предварительно сжатого до 20 МПа при нагревании. Сопротивление образца приблизительно равно входному сопротивлению регистрирующего прибора.

Из анализа кривой можно сделать следующие выводы:

1. изменения сопротивления угля согласно данной схемы регистрации прослеживаются со 160 °С;
2. на зарегистрированной кривой выделяются два зашумленных участка в интервалах температур 30...40 и 90...140 °С;

3. природа появления шумов в интервале температур 30...40 °С имеет неоднозначное толкование, а вблизи 100 °С, связана, очевидно, с процессами парообразования, влияющими на качество гальванического контакта поверхности уголь-электрод.

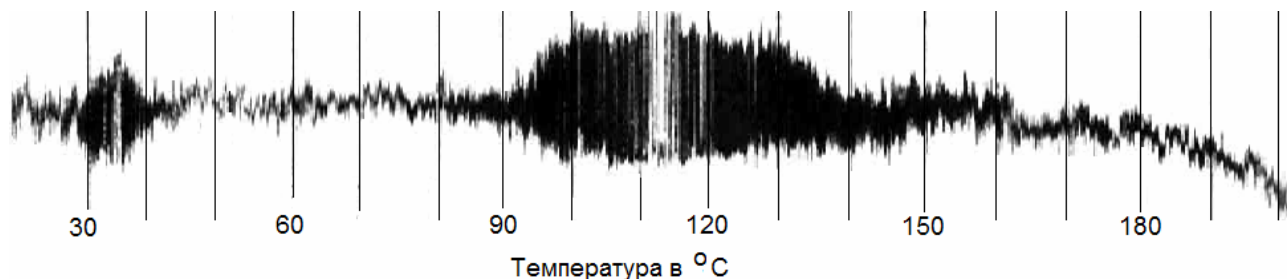


Рис. 2 – Характер изменения сопротивления при нагреве предварительно сжатого до 20 МПа образца угля

На рис. 3 приведены совмещенные кривые при нагревании угольных образцов под давлением 25 и 150 МПа. Для сравнения приведена дифференциальная кривая нагрева угля при атмосферном давлении. Эндотермический эффект у параллельных угольных образцов "плавает" по оси температур с изменением давления.

При атмосферном давлении эндогенный эффект в углях укладывается в интервале температур 70...110 °С, что соответствует интервалу испарения влаги. С увеличением избыточного давления он сдвигается в область более высоких температур. Шумы, как контролирующие экзогенный процесс, должны также смещаться аналогичным образом по шкале температур. В действительности, шумы при 150 МПа сдвинуты в интервал температур 80...110 °С, а низкотемпературные шумы (30...40 °С) исчезли. К тому же изменения сопротивления при нагреве образца при 150 МПа на кривой не проявляются. Можно предположить, что шумы, возникающие вблизи 100 °С, или не связаны с процессами испарения из углей влаги, а, значит, имеют иную физическую природу, или связаны с предшествующим испарению механизмом изменения состояния поверхности.

Кривые, зарегистрированные по второй схеме, когда регистрируемым сигналом служило падение напряжения на опорном сопротивлении (1 МоМ), соединенном последовательно с активируемым угольным образцом, приведены на рис. 4. Поверхностное сопротивление измерялось путем регистрации тока, снимаемого с охранного кольца, объемное сопротивление оценивалось по величине тока, снимаемого с центрального электрода. Кривые регистрировались в процессе изменения температуры от лабораторной до +250 °С под давлением 80 МПа. После остывания угольного образца до исходной температуры при неизменном избыточном давлении электрические свойства возвращаются в исходное состояние. Процесс изменения электрических свойств углей при нагреве до +250 °С близок к обратимому процессу.

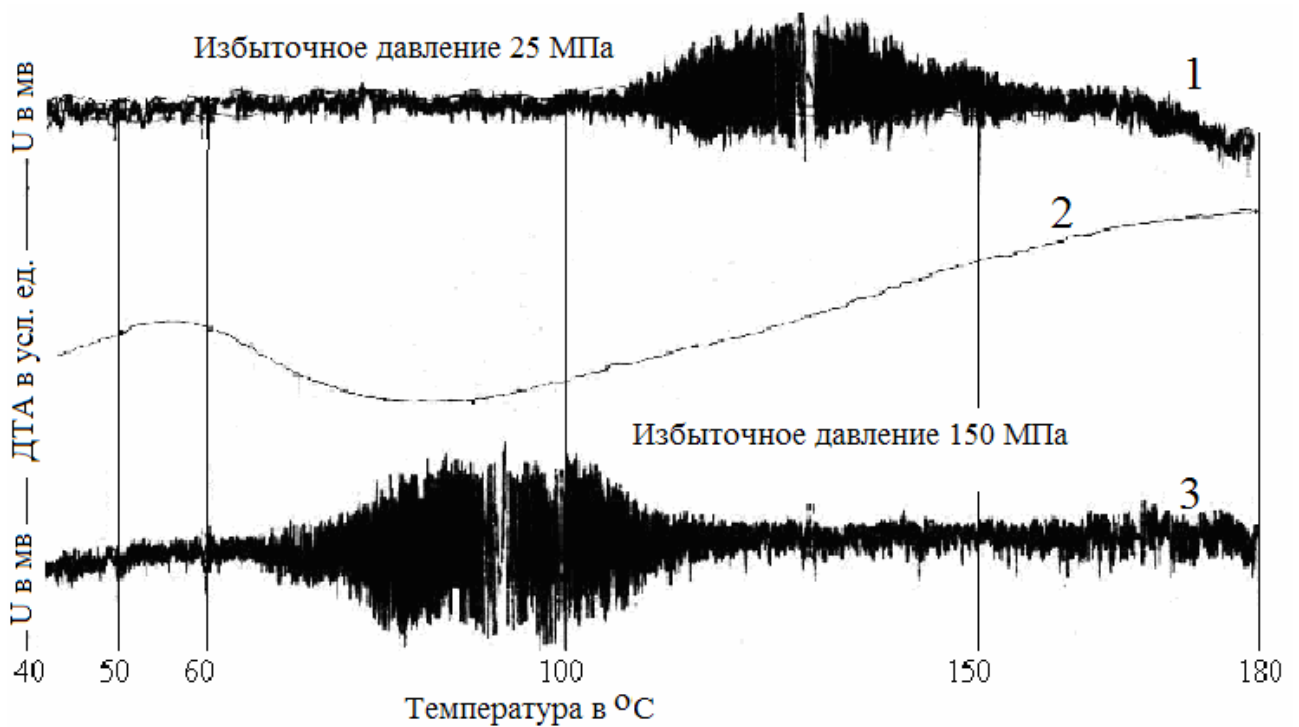


Рис. 3. Кривые изменения падения напряжения на термобароактивируемых образцах угля одной пробы, совмещенные с данными термического анализа

Из анализа экспериментальных кривых, приведенных на рис. 4, следует, что сухие угли при нагреве (кривые 1, 2) изменяют свое поверхностное сопротивление (кривая 2), а влажные (после гидроимпульсного воздействия) изменяют подобным образом поверхностное и объемное сопротивления (кривые 3, 4). Поверхностное сопротивление изменяется по сравнению с объемным сопротивлением более существенно. Вид кривых напоминает вид кривых дифференциального термического анализа углей в таком же интервале изменения температур. Следовательно, изменения кривых связаны с процессами потери образцом влаги. Влага теряется с поверхности электрического контакта. Поэтому изменение объемного сопротивления относительно поверхностного отличается большей инерционностью из-за необходимости перемещения влаги из объема к поверхности.

Вид кривых при нагреве и остывании можно описать экспоненциальным законом вида:  $\rho = A \cdot e^{-b \cdot T}$ , где  $A$  постоянная,  $b$  - температурный коэффициент. Различия вида кривых могут определяться разной скоростью нагрева и остывания.

При аппроксимации экспериментальных данных получены выражения для избыточных давлений:

$$170 \text{ МПа} - \rho = 19,4 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,026 \cdot T} (r=0,98);$$

$$110 \text{ МПа} - \rho = 8,75 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,031 \cdot T} (r=0,99);$$

$$60 \text{ МПа} - \rho = 4,26 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,029 \cdot T} (r=0,99).$$

Величина  $b$  - постоянная, равная приблизительно значению  $0,03/^\circ\text{C}$ .

При изменении давления отмечается обратимое изменение удельного сопротивления, которое можно записать при коэффициенте корреляции  $r=0,99$  в виде:

$$50\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \rho = 12,3 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,0015 \cdot P}$$

$$100\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \rho = 2,28 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,0014 \cdot P}$$

$$130\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \rho = 1,61 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,0016 \cdot P}$$

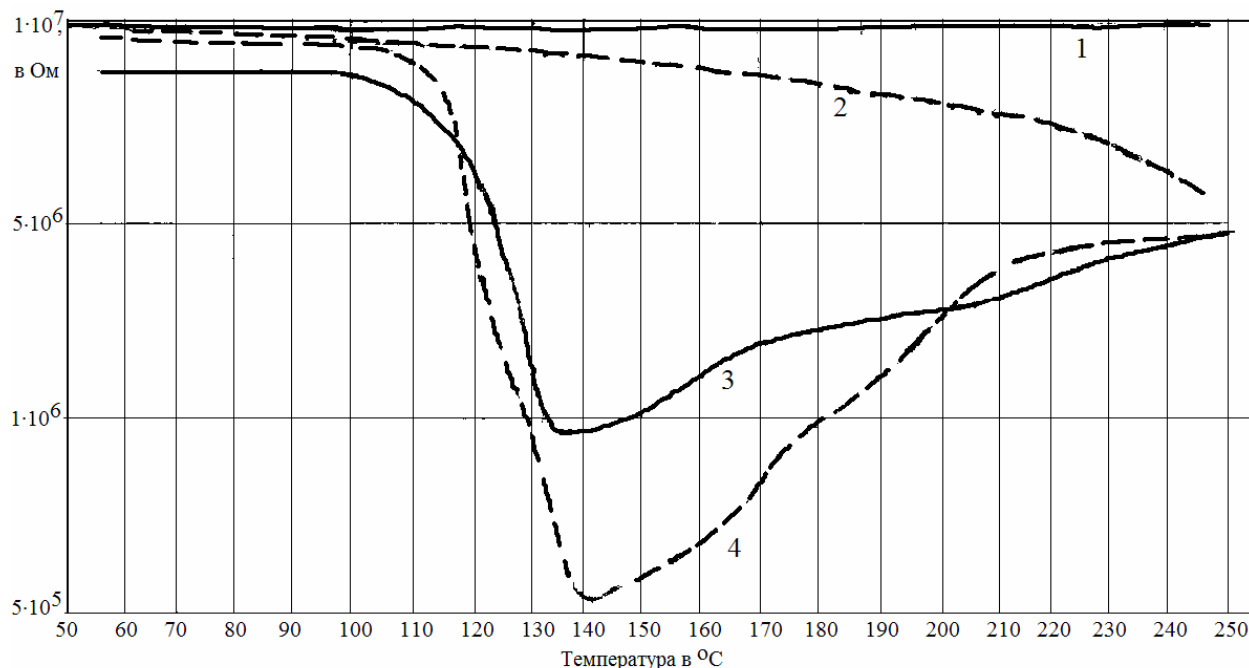


Рис. 4– Вид кривых, отражающих характер изменения при избыточном давлении 80 МПа объемного (1, 3) и поверхностного (2, 4) сопротивлений при нагреве сухого (1, 2) и подвергнутого гидроимпульсному воздействию (3, 4) угля марки Ж угольного пласта  $l_3$

## Выводы

1. Поверхностное сопротивление углей отражает поверхностные процессы, протекающие в углях, например, связанные с испарением влаги.

2. Объемное сопротивление изменяется при нагреве влажных углей подобным изменению поверхностного сопротивления образом.

3. Изменения поверхностного и объемного сопротивлений в совокупном проявлении приводят к формированию вида изменения удельного электрического сопротивления от температуры близкому к экспоненциальному закону.

4. При непрерывной регистрации электрических характеристик появляются на отдельных температурных интервалах шумы, связанные с изменением состояния поверхности в углях.

5. Максимальное влияние на электрические характеристики углей оказывает температура.

6. В исследованных интервалах температур  $+20\dots+250\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлений  $0,1\dots150\text{ МПа}$  электрические характеристики изменяются обратимо.

7. Возникающие при изучении электрических свойств углей шумы являются аналитическим сигналом, исследование которого позволит существенно расширить возможности методов электрометрии в горном деле.

8. Подобный характер изменений у углей при нагреве поверхностного сопротивления и дифференциальной кривой изменения температуры указывает на единство их физической природы и возможность определения форм связи воды с угольным веществом и определения общей, объемной и поверхностной влажности.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жимчича И.М. Региональный прогноз выбросоопасности угольных пластов Донбасса на стадии геолого-разведочных работ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: 1978. – 16 с.
2. Соболев В.В., Поляшов А.С., Тарасенко В.Г. Изменение электрических характеристик углей под влиянием давления и температуры // Науковий вісник НГУУ. – 2008. – № 8. – С. 51–55.
3. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных геотехнических систем. – Днепропетровск: ИГТМ НАН им. Н.С.Полякова Украины. 2004. – 75 с.
4. Поляшов А.С. К вопросу о природе сорбирования углем метана / Науковий висник НГАУ 2001, №1. – С.20–23.

**УДК 553.93:(549+552.16):552.572.578.1|(477.6)**

Канд. геол.-мінерал. наук А.В. Іванова,  
наук. співроб. Л.Б. Зайцева

(Інститут геологічних наук НАН України)

### **ВПЛИВ РЕЧОВИННОГО СКЛАДУ ТА МЕТАМОРФІЗМУ ВУГІЛЛЯ НА ЙОГО ГАЗОНОСНІСТЬ**

Изучались угли пластов  $h_7$  (шх. им. А.А. Скочинского, «Красная звезда»),  $m_3$  (шх. Панфиловская, им. В.М. Бажанова). Они представлены в основном кларенами и дюрено-кларенами. Степень метаморфизма углей  $Zh_3-T_1$ . Установлены положительные коэффициенты зависимости газоносности от содержания витринита и степени метаморфизма. Отрицательные коэффициенты характеризуют связи газоносности с содержанием инертинита и липтинита.

### **INFLUENCE OF MATTER COMPOSITION OF COALS OVER GAS PRESENCE**

Coals from the beds  $h_7$  (Skochinsky and “Krasnaya zvezda” mines) and  $m_3$  (Panfilovskaya and Bazhanova mines) are the subjects of this study. The coals are mainly clarain and durain-clarain. Their metamorphism grade is  $Zh_3-T_1$ . Positive coefficients between the gas presence and vitrinite content-metamorphism grade have been found. Negative coefficients are characteristics of the gas presence and inertinite and liptinie content.

Підвищення видобутку вугілля та освоєння газових ресурсів Донбасу актуальна проблема сьогодення. Дослідження вугілля з метою виявлення впливу його речовинного складу, ступеня відновленості та метаморфізму на газоносність набуває важливого значення.

Вивчалось вугілля пластів  $h_7$  світи  $C_2^3$  (шх. О.О. Скочинського та «Красная звезда»),  $m_3$  світи  $C_2^7$  (шх. Панфіловська та В.М. Бажанова) Донецько-Макіївського вугленосного району. Район розташований на південному крилі Кальміус-Торецької котловини. Тектоніка району досить складна, з інтенсивними проявами плікативних і диз'юнктивних порушень субширотного та субмеридіанального напрямків. В геологічній будові беруть участь відклади