

## О влиянии глин на распределение субкапиллярных пор по размерам и удельную поверхность пород

С. Мишев<sup>1</sup>, М. Беляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт полезных ископаемых, 1505 София

<sup>2</sup> Московский институт нефти и газа им. И. М. Губкина, 117917 Москва

S. Mischev, M. Beljakov — *On the influence of clay component on the distribution of subcapillary pores by size and specific surface of rocks.* The studies include sandstones of Early Jurassic and Late Triassic (Rhaetian) age from the area of Dolni Lukovit and Gostilja. Laboratory analysis — X-ray-structural, granulometric, electrometric and capillary condensation, show that sandstones with regeneration quartz cement —  $A_{da}$  from 2.8 to 22.2 mV,  $S_a$  — from 2.3 to 8.2 m<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> are good collectors. The presence of carbonat pigment controls the content of subcapillary pores analogously to the presence of clay pigment.

### Введение

Для изучения размеров пор в неразрушенном образце породы применяются несколько способов: метод капиллярной конденсации, метод растровой электронной микроскопии, метод ртутной порометрии. Наиболее распространенным способом определения распределения субкапиллярных пор по размерам и тем самым определения влияния минерального состава и содержания в минеральном скелете породы высокодисперсных компонентов на коллекторские свойства остается метод капиллярной конденсации (Грег С., Синг К. 1970). С его помощью получаем информацию о структуре пространства дисперсных сред в области пор субкапиллярных размеров (от 15 ÷ 20 до сотен ангстрем), характерных для глинистой компоненты (Поспелов, 1975).

### Теоретические основы метода капиллярной конденсации

Метод основывается на уравнении Кельвина:

$$(1) \quad \ln \frac{P}{P_s} = - \frac{2V_M \sigma}{rRT} \cos \varphi,$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение „твердое тело— жидкость“, N/m;  $V_M$  — молярный объем, m<sup>3</sup>/mol;  $P/P_s$  — относительная упругость пара;  $\varphi$  — краевой угол мениска жидкости в капилляре;  $r$  — радиус капилляра.

Практическое использование уравнения (1) возможно при известном краевом угле  $\varphi$ . Если жидкость полностью смачивает стенки капилляров (пор гидрофильного коллектора), то  $\varphi=0$ , и уравнение (1) приводится к виду:

$$(2) \quad \ln \frac{P}{P_s} = - \frac{2V_M \sigma}{rRT}.$$

Используя (2), можно вычислить значения эквивалентных радиусов капилляров  $r_e$ , заполняемых конденсированным паром при соответствующих величинах  $P/P_S$ , подставляя значения  $V_M=18 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ,  $\delta=72,8 \text{ erg/cm}^2$  и  $R=8,31 \cdot 10^7 \text{ erg/mol} \cdot \text{grad}$ ., при  $T=293^\circ\text{K}$

$$(3) \quad r_e = \frac{10,78}{\ln \frac{P}{P_S}}, \text{ \AA}$$

Из уравнения (3) следует, что для заполнения пор эквивалентного радиуса  $r_e < 540 \text{ \AA}$  ( $0,054 \text{ \mu m}$ ) необходимо относительное давление  $P/P_S=0,98$ . С дальнейшим ростом  $P/P_S$  размеры заполняемых конденсатом пор резко возрастают и для капиллярной конденсации в порах диаметром  $d_p \geq 1 \text{ \mu m}$   $P$  становится практически равным  $P_S$ . При  $P/P_S=0,3$  ощутимую роль играет полимолекулярная адсорбция паров  $\text{H}_2\text{O}$  на стенках капилляров. Поэтому наиболее надежные результаты получают в диапазоне  $r_e - 10 \div 600 \text{ \AA}$ , что для паров воды соответствует диапазону  $P/P_S - 0,3 \div 0,98$ .

В пористых осадочных породах, содержащих глинистый материал, капиллярная конденсация паров усложняется вследствие отступления реальных дисперсных сред от модели, описываемой уравнением (1) — цилиндрические поры, поверхностное натяжение и плотность жидкости, не зависящие от радиусов каналов, угол смачивания — равен нулю.

## Объект исследования

Методом капиллярной конденсации исследована представительная коллекция образцов (нижнеюрского и верхнетриасового-рет возраста) Гостилской и Долнолуковитской площадей — НР Болгария (табл. 1).

## Результаты лабораторных исследований

Микроскопические исследования образцов по методике, описанной К о ц е р у б о й Л. А. (1977), показали, что коллекторские свойства исследуемых пород улучшаются (соответственно ухудшаются) при присутствии в породе регенерационно-кварцевого цемента. Особенностью структуры порового пространства изучаемых пород является наличие межзерновых и внутризерновых пор различных размеров (Д о н ч е в а и др., 1982). На основании детального изучения вещественного состава пород по типу цементации и преобладающему составу цемента оказалось возможным классифицировать породы в три группы, и после исследования структуры их порового пространства ( $> 1 \text{ \mu m}$ ) уточнить принадлежность породы к той или иной группе и, таким образом, охарактеризовать тип коллектора.

В первой группе пород (песчаники мелкозернистые) по вещественному составу преобладает кварц с размерами зерен  $0,8 \div 0,25 \text{ mm}$  и реже  $0,5 \text{ mm}$ . Содержание полевых шпатов не превышает  $1 \div 2\%$ . В породах этой группы преобладает регенерационно-кварцевый цемент с конформными сочленениями зерен. Межзерновые и внутризерновые поры пород первой группы имеют размеры от  $48$  до  $8 \text{ \mu m}$ , до  $62 \text{ \mu m}$  же встречаются редко. Внутризерновые поры приурочены к полевым шпатам. Для этой группы пород характерна минимальная удельная поверхность, в среднем  $4,5 \text{ m}^2/\text{cm}^3$  (от  $2,3$  до  $8,2 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ ), удельное сопротивление  $\rho_n$  (при  $C_B=36 \text{ g/l NaCl}$ ,  $t=20^\circ\text{C}$ ) изменяется от  $5,1$  до  $13,8 \text{ \Omega m}$ , диффузионно-адсорбционная активность — от  $2,8$  до  $22,2 \text{ mV}$  (при  $C_{p-p}=3,6 \text{ g/l NaCl}$ ).

В отличие от первой, песчаники второй группы пород (песчаники мелкозернистые, редко алевроитовые) характеризуются преобладанием карбонатного цемента. Содер-

жание полевых шпатов составляет от 6 до 9%. Внутризерновые и межзерновые пустоты имеют размеры от 16 до 8  $\mu\text{m}$  и менее, реже 32  $\mu\text{m}$ . Внутризерновые поры в основном отмечаются в цементе. Для второй группы пород удельная поверхность равна в среднем 19,5  $\text{m}^2/\text{cm}^3$  (от 8,4 до 26,9  $\text{m}^2/\text{cm}^3$ ), удельное электрическое сопротивление находится в интервале от 7,5 до 15,7  $\Omega\text{m}$ , диффузионно-адсорбционная активность — от 29,3 до 32,2  $\text{mV}$ .

Третья группа пород (алевролиты глинистые, песчаники алевролитовые) характеризуется преобладанием глинистого цемента. Для них характерно самое высокое содержание полевых шпатов — до 14% и наличие слюды в обломочных зернах или цементе. Пустоты в глинистом цементе имеют размеры 8  $\mu\text{m}$  и менее. Их удельная поверхность больше 18  $\text{m}^2/\text{cm}^3$ , удельное электрическое сопротивление — от 4,5 до 6,5  $\Omega\text{m}$ , диффузионно-адсорбционная активность — от 16,6 до 28,4  $\text{mV}$ .

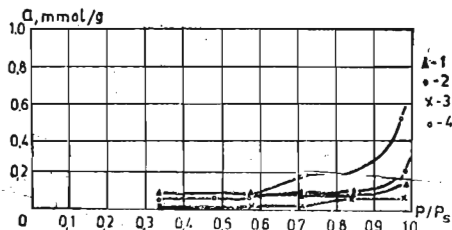


Рис. 1. Зависимость количества адсорбированной воды  $a$  от относительной упругости паров  $P/P_s$ , цемент регенерационно-кварцевый  
1 — обр. № 10; 2 — обр. № 12; 3 — обр. № 18; 4 — обр. № 24

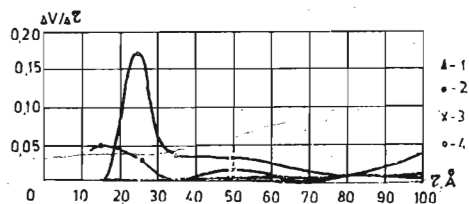


Рис. 2. Зависимость относительного содержания пор  $\Delta v/\Delta r$  от размеров  $r$ , цемент регенерационно-кварцевый (обозначения аналогичны на рис. 1)

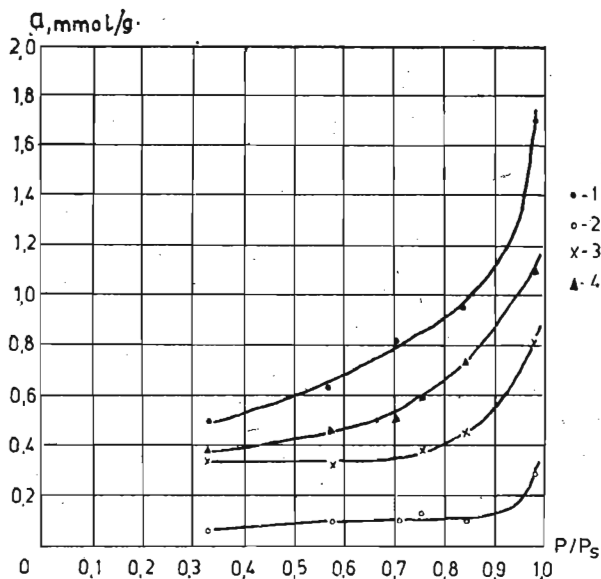
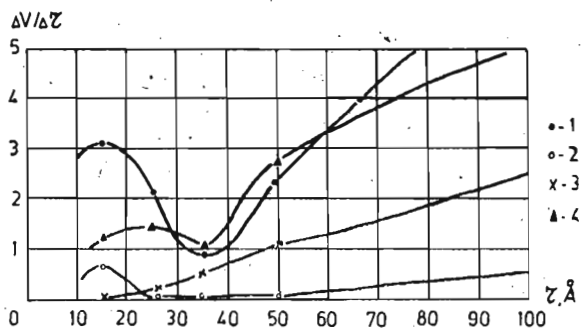


Рис. 3. Зависимость количества адсорбированной воды  $a$  от относительной упругости паров  $P/P_s$ , цемент карбонатный и глинистый  
1 — обр. № 3; 2 — обр. № 6; 3 — обр. № 8; 4 — обр. № 31

Таблица 1

## Результаты петрофизических исследований керна

№ образца	Пористость		Удельное сопротивление 36 g/l NaCl $\rho_{п \Omega m}$	Относительная глинистость $\eta_{гг}$	Удельная поверхность $S_a$ $m^2/cm^3$	Соотношение глинистых минералов (полук. анализ)	
	открытая $K_{п}$ , %	эффективная $K_{эф}$ , %				смеш.-слоин. и гидрослюд. %	каолинит %
2	7,3	1,3	5,1	0,43	—	70	30
3	7,8	1,1	6,6	0,70	36,0	85	15
4	16,0	10,2	4,4	0,28	18,7	55	45
5	10,0	3,2	7,5	0,47	17,4	60	40
6	9,5	6,3	8,8	0,32	8,4	25	75
8	5,5	0,4	14,1	0,50	19,8	65	35
10	7,2	4,5	13,5	0,06	5,2	100	0
11	13,0	10,2	6,1	0	—	—	—
12	9,4	6,9	8,0	0,05	5,5	100	0
13	11,0	6,1	8,0	0,25	6,7	35	65
14	10,4	7,3	7,3	0	2,1	100	0
15	10,0	2,3	6,2	0,26	14,8	100	0
16	10,4	3,0	9,1	0,21	—	100	0
17	12,0	11,1	7,1	0,12	2,3	0	106
18	6,5	6,0	13,8	0,13	2,6	40	60
20	4,1	3,5	15,0	0,05	1,2	75	25
22	9,2	—	7,4	0,09	—	25	75
23	—	—	—	0,56	32,5	95	5
24	11,0	6,8	7,5	0,39	3,2	15	85
26	9,4	3,2	8,1	0,39	6,8	30	70
29	7,4	—	10,6	0,44	11,6	50	50
31	—	—	—	0,39	24,2	90	10
32	12,4	0,1	6,5	0,24	8,2	60	40
33	4,5	0,5	15,8	0,62	14,3	90	10

Рис. 4. Зависимость относительного содержания пор  $\Delta v/\Delta r$  от размеров  $r$ , цемент карбонатный и глинистый (обозначения аналогичны на рис. 3)

Методом капиллярной конденсации для исследованных объектов установлено, что поровое пространство в области  $r_p < 600 \text{ \AA}$  имеет нерегулярную структуру, при чем неоднородность возрастает с увеличением глинистости. Для исследуемых пород

у которых субкапиллярные поры имеют размеры  $r_s < 50 \text{ \AA}$  и  $r_s = 15, 300 \text{ \AA}$  (образцы №№ 6, 10, 12, 13, 14, 18, 24, рис. 1, 2), соответствует минимальному содержанию глинистой компоненты. Появление пор с размерами  $r_s = 25, 50 \text{ \AA}$  является следствием повышенной глинистости (образцы №№ 4, 8, 9, 23, 24, 26, 29, 31, 32), рис. 3, 4.

Исследования показали (М и ч е в, 1986), что относительное содержание субкапиллярных пор ( $r_s < 600 \text{ \AA}$ ) не только является следствием содержания высокодисперсной компоненты, но зависит и от типа цемента. Породы с глинистым цементом (образцы № 3, 4), имеют в  $2 \div 20$  раз больше пор размерами с  $r_s = 15 \div 300 \text{ \AA}$ , чем породы с регенерационно-кварцевым цементом. В породах с карбонатным цементом содержание пор с  $r_s = 15 \div 300 \text{ \AA}$  примерно в пять раз больше, чем в породах с регенерационно-кварцевым цементом.

## Выводы

1. Для песчаников нижнеюрского (Костинской свиты) и верхнетриасового (рет) возраста Долнолуковитской и Гостилской площадей характерны три типа цемента, определяющие их структуру и адсорбционные свойства (распределение субкапиллярных пор по размерам и удельной поверхности).
2. Наличие карбонатного цемента оказывает влияние на содержание субкапиллярных пор подобно глинистому цементу.
3. Хорошими коллекторами являются в основном только песчаники с регенерационно-кварцевым цементом — первой группы.

## Л и т е р а т у р а

- Г р е г, С., К. Синг. 1970. *Адсорбция, удельная поверхность, пористость*. М., Мир. 407 с.
- К о ц е р у б а, Л. 1977. *Методы насыщения пород-коллекторов окрашенными смолами*. М., Недра. 95 с.
- П о с п е л о в, В. 1975. Исследование структуры и минерального состава полимиктовых коллекторов нефти и газа на их важнейшие электрические свойства (на примере месторождений Узень и Жетыбай). *Автореферат канд. геол.-минер. наук*. М., МИНХ и ГП. 25 с.
- Д о н ч е в а, М., Р. В е н е в а, Н. О в ч а р о в а. 1982. Долноюрските теригенни колектори в Централна Северна България. — *Нефтена и въглищна геология*, 16, 29—39.
- М и ч е в, С. 1986. Методика учета глинистости при промышленной оценке терригенных коллекторов методами ГИС (на примере мезозойских отложений НРБ). *Дис. канд. геол.-минер. наук*. М., МИНГ. 155 с.

(Постъпила на 13. III. 1989 г.)