

Література

1. Невручев С.Г., Рагозина Е.А., Зеліченко І.А. и др. Основные закономерности нефтегазообразования в зоне больших глубин осадочных бассейнов // Условия нефтеобразования на больших глубинах. – М: Наука, 1988. – С.20-31.
2. Калинин М.К. Неорганическое происхождение нефти в свете современных данных. М.: Недра, 1968. – 336с.
3. А.А. Дроздовская, А.И. Фиалко, Н.Б. Шевченко О неорганическом происхождении высокомолекулярных углеводородов и элементного углерода в раннем докембрии // Геодинамика нефтегазоносные системы Черноморско-Каспийского ригиона (Тезисы III Международной конференции «Крым-2001», Гурзуф, 17-21 сентября). - Сиферополь, - 2001. – С.56-57.
4. Геологический словарь. М.: Недра, 1973, Т.1. – С.214-215.
5. Флюидодинамический фактор в тектонике и нефтегазоносности осадочных бассейнов. – М.: Наука, 1989. – 239с.
6. Перерва В.М. Спутниковая информация в изучении флюидопроводящих структур литосферы // Космічна наука і технологія, - 1998. – Т.4. – №23. – С.126-132.

УДК 552.578: 553.981

## **ОСОБЛИВОСТІ ЛІТОЛОГО-ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛЕКТОРІВ НИЖНЬОЇ КРЕЙДИ ЛОПУШНЯНСЬКОГО РОДОВИЩА**

*М. Ю. Нестеренко, В. В. Олійник, Ю. І. Петраш, Г. П. Боднарчук,  
А. А. Хома, В. Б. Заланський*

*ЛВ УкрДІГРІ, 79000 м. Львів, пл. Міцкевича, 8 E-mail: lv\_ukrdgri@polynet.lviv.ua*

*Установлены петрофизические зависимости, изучено влияние эффективного давления на изменение проницаемости и поровый объем коллекторов нижнего мела Лопушнянского месторождения. Выявлены аномальные концентрации сульфида железа (67,6 %), установлено, что содержание хрома, марганца, кобальта, никеля, меди, цинка и свинца превышает их среднее содержание в осадочных породах.*

*Продуктивные отложения с высоким содержанием пирита могут выделяться в разрезе по данным ГИС как водонасыщенные.*

*Petrophysical interdependencies are established, the influence of effective pressure on the Lower Cretaceous reservoirs permeability change and pore volume of the Lopushna field is studied. The anomalous concentration of iron sulphide (67.6 %) is revealed, it is established, that the content of chromium, manganese, cobalt, nickel, copper, zinc and lead exceeds their average content in sedimentary rocks. Producing deposits with the high content of pyrite can be singled out in the section after the well logging data as water-saturated.*

Для літолого-фізичних досліджень порід-колекторів продуктивної крейдової товщі Лопушнянського родовища використаний керн, відібраний в нафто- і водонасичених частинах розрізів свердловин 4 (інт. 4249-4281 м), 8 (інт. 4206-4236 м), 9 (інт. 4370-4399 м) та 11 (інт. 4063-4112 м).

Колектори сеноманського ярусу представлені переважно пісковиками середньо-дрібнозернистими і дрібнозернистими, кварцовими з домішками глауконіту, масивними або з гніздоподібною текстурою. У грануло-метричному складі переважає дрібнозерниста фракція (до - 76,4 %), постійно присутня алевритова фракція (до 25 % і більше). Кількість розсіяної глинистої речовини за рідким винятком перевищує 10 %. За даними рентгенівського аналізу у її складі переважає гідрослюда, вміст хлориту близько 5 %. Розчинені у 5 %-й соляній кислоті компоненти представлені переважно карбонатами (9,7-21,7 %).

Глауконітові зерна становлять до 5-10 %. Фіксуються поодинокі зерна фосфориту, іноді присутні мікрровключення піриту.

Колектори нижньої крейди складені переважно кварцовими різнозернистими і середньо-дрібнозернистими пісковиками. Текстура їх масивна, в окремих випадках горизонтально-шарувата. Кількість алевритової фракції становить 5-31,4 %. Подекуди відзначається збільшення вмісту уламків кременистих порід до 10-15 %. Домішка глинистих мінералів (хлорит-каолініт-гідролюдиста асоціація) досягає 16,2 %. Розчинні компоненти становлять 1,8-26,1 %.

Алевроліти кварцові, масивні або з гніздоподібною текстурою. Уламковий матеріал нерідко слабо відсортований – вміст піщаних і глинистої фракції досягає 25 % і більше. Розчинні компоненти становлять 4,5-11,6 %. Збагачені глинистим і карбонатним матеріалом алевроліти відносяться зазвичай до неколекторів.

Поровий простір дрібноуламкових порід утворюють пори з максимальним діаметром (1-2) · 10<sup>-4</sup> м, які нерідко різною мірою заповнені бітумом. Відкрита пористість становить 2,2-29,4 %. Максимальними значеннями пористості характеризуються слабоглинисті (4,2-11,3%), середньо-дрібнозернисті і дрібнозернисті пісковики сеноманського ярусу з свердловини 11 (інт.4063-4072 м).

### Петрофізичні залежності

При вивченні електричних властивостей для насичення порід використана модель пластової води з питомим електричним опором 0,056 Ом·м. За прийнятих умов експериментальних досліджень питомий електричний опір повністю водонасичених зразків змінюється від 1,1 до 33 Ом·м, при відкритій пористості 20,0 і 2,2 % відповідно. Проміжні значення водонасичення і відповідні їм значення питомого електричного опору в міру збільшення тиску витиснення визначені в камері високого тиску.

Петрофізичні залежності (параметр пористості  $P_n$  – коефіцієнт відкритої пористості  $K_n$  і параметр насичення  $P_n$  – коефіцієнт водонасичення  $K_v$ ) описуються такими рівняннями:

$$lq P_n = 3,603 - 1,788 lq K_n, \quad R = -0,986, \quad (1)$$

$$lq P_n = 3,120 - 1,502 lq K_v, \quad R = -0,932. \quad (2)$$

Петрофізичні залежності, незважаючи на деяку відмінність мінералогічного складу і структури порід, підпорядковані одній закономірності.

Окремо виконано петрофізичне вивчення 8 зразків пісковиків нижньої крейди (табл.1). Метою досліджень було виявлення причини значного відхилення значень параметра насичення– його збільшення при відносно високих значеннях водонасичення. Зниження водонасичення встановлювалося ступінчасто методом центрифугування, а виміри питомого електричного опору повністю і частково водонасичених порід, як і в попередньому випадку, зроблені в камері високого тиску при 35 МПа.

Одержані петрофізичні залежності мають таке аналітичне вираження (рисунки 1, 2):

$$lq P_n = 3,95 - 1,94 lq K_n, \quad R = -0,997, \quad (3)$$

$$lq P_n = 3,86 - 2,03 lq K_v, \quad R = -0,950. \quad (4)$$

Порівняння залежностей 2 і 4 свідчить про штучне завищення показників параметра насичення у першому випадку, що скоріше всього пов'язане з нерівномірним розподілом водонасичення в зразках під час вимірів питомого електричного опору. Підтверджують це допущення також експериментальні дослідження зразків 3, 4 і 18, що підняті з одного і того самого інтервалу відбору керн і характеризуються подібними фільтраційно-смкнісними параметрами.

### Вплив ефективного тиску на проникність і об'єм порового середовища

Дослідження абсолютної проникності при зміні ефективного тиску в діапазоні від 0,2 до 100 МПа проведені на чотирьох зразках пісковиків нижньої крейди.

Початкова газопроникність, виміряна при 0,2 МПа, коливається в межах (52,3-127,5) · 10<sup>-15</sup> м<sup>2</sup>.

У процесі проведення досліджень проекстраговані і висушені зразки порід устанавлюються в гумові манжети, що з обох торців закриваються металевими штоками, з'єднаними з входом і виходом камери високого тиску. Подавався гідрообтиск 0,2 МПа і зразок витримувався протягом

часу, необхідного для стабілізації деформації породи. Відтак вимірювалась витрата газу на трьох режимах перепаду тиску. В подальшому гідрообтиск піднімався ступінчасто через 10 МПа до 100 МПа, і відповідно на кожному ступені вимірювалась газопроникність.

**Таблиця 1 - Результати петрофізичних досліджень піщаних порід-колекторів нижньої крейди Лопушнянського родовища**

Номер зразка	Коефіцієнт абсолютної газопроникності $K_a, 10^{15} \text{ м}^2$	Коефіцієнт відкритої пористості $K_p, \%$		Питомий електричний опір водонасичених порід $\rho_{\text{вн}^{\text{в}}}$ <i>Ом·м</i>	Параметр пористості $P_n$	Коефіцієнт залишкового водонасичення, %		Коефіцієнт водонасичення $K_b, \%$	Параметр насичення $P_n$
		в поверхневих умовах	приведений до пластових умов $K_{\text{п.пл}}$			в поверхневих умовах $K_{\text{вн}}$	приведений до пластових умов $K_{\text{вн.пл}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
237-2	27,5	14,0	13,2	2,81	46,8	15,5	16,5	39,0	3,3
								27,0	6,3
								21,5	8,4
								20,6	13,4
								17,4	22,3
16,3	28,3								
290	25,1	14,0	13,2	2,71	45,2	21,5	22,9	51,8	2,0
								36,2	4,7
								28,8	7,6
								26,4	10,3
								23,2	12,1
21,8	15,6								
292	24,8	15,9	14,9	2,03	33,8	18,5	19,7	44,5	3,0
								31,2	5,8
								26,6	9,3
								25,9	11,2
								21,0	16,1
18,0	21,8								
293	28,5	14,5	13,6	3,00	50,0	21,5	22,9	47,7	2,5
								41,5	3,6
								28,6	7,1
								25,4	9,5
								21,6	11,6
21,2	14,4								

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
295	28,6	14,3	13,4	2,89	48,2	20,0	21,3	49,7	2,2
								34,4	3,8
								27,0	9,0
								25,3	13,2
								22,4	16,0
19,5	22,0								
297	15,3	15,0	14,1	2,71	45,1	17,0	18,1	40,5	2,8
								28,2	5,5
								26,6	6,7
								21,8	12,3
								19,2	16,1
17,1	18,7								
298	21,2	14,6	13,7	2,64	44,0	19,0	20,2	45,8	3,4
								36,5	5,2
								29,0	8,8
								23,5	13,8
								20,0	19,6
17,2	25,7								
309	28,1	13,9	13,1	3,04	50,7	26,5	28,2	59,0	1,9
								50,3	2,9
								40,4	4,7
								35,6	6,6
								33,0	7,8
30,1	9,2								
3	-	13,2	-	2,58	46,2	-	-	81,0	1,4
								77,0	2,0
								63,0	2,5
								53,0	3,3
								41,0	5,0
4	-	13,8	-	2,14	38,2	-	-	65,0	2,5
								50,0	3,6
								35,0	7,1
								29,0	8,3
18	-	13,5	-	2,14	38,2	-	-	86,0	2,1
								78,0	2,4
								67,0	3,1
								66,0	3,2

Результати досліджень, наведені в таблиці 2 і на рисунку 3, свідчать про те, що на зменшення газопроникності особливо різко впливають початкові навантаження - від 0,2 до 30 – 40 МПа (до 18,2 %). На ділянці від 40 до 100 МПа спад значення параметра становить менше 8,5 %.

Вплив ефективного тиску на об'єм пор порід-колекторів вивчений на зразках керна, що використовувалися для досліджень газопроникності.

Досліди проведені в такій послідовності. Насичені дистильованою водою зразки установлювали в гумові манжети, закриті з обох торців металевими штоками. При цьому вихід із нижнього штоку був заглушеним. На виходах із камер високого тиску розміщали мікробюретки. Гідрообтиск піднімався ступінчасто через 10 МПа до 100 МПа. На кожному ступені витримувався час до повної стабілізації рівня витисненої води в мікробюретці і брався відлік.

Результати досліджень наведені на рисунку 4. Вони показують, що при максимальному тиску 100 МПа середній об'єм порового простору порівняно з визначеним в атмосферних умовах зменшується лише на 0,48 % від абсолютних, чим можна знехтувати.

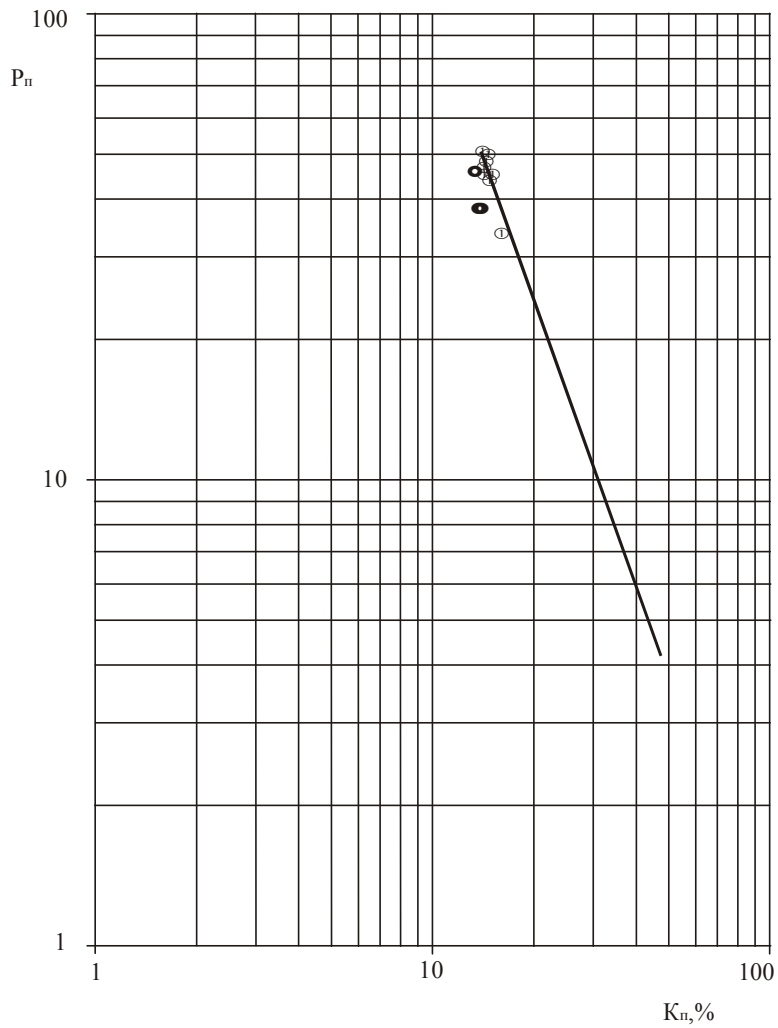


Рисунок 1. Залежність параметра пористості  $P_n$  від коефіцієнта пористості  $K_n$  для теригенних порід нижньої крейди Лопушнянського родовища.  
●- зразки 3; 4; 18.

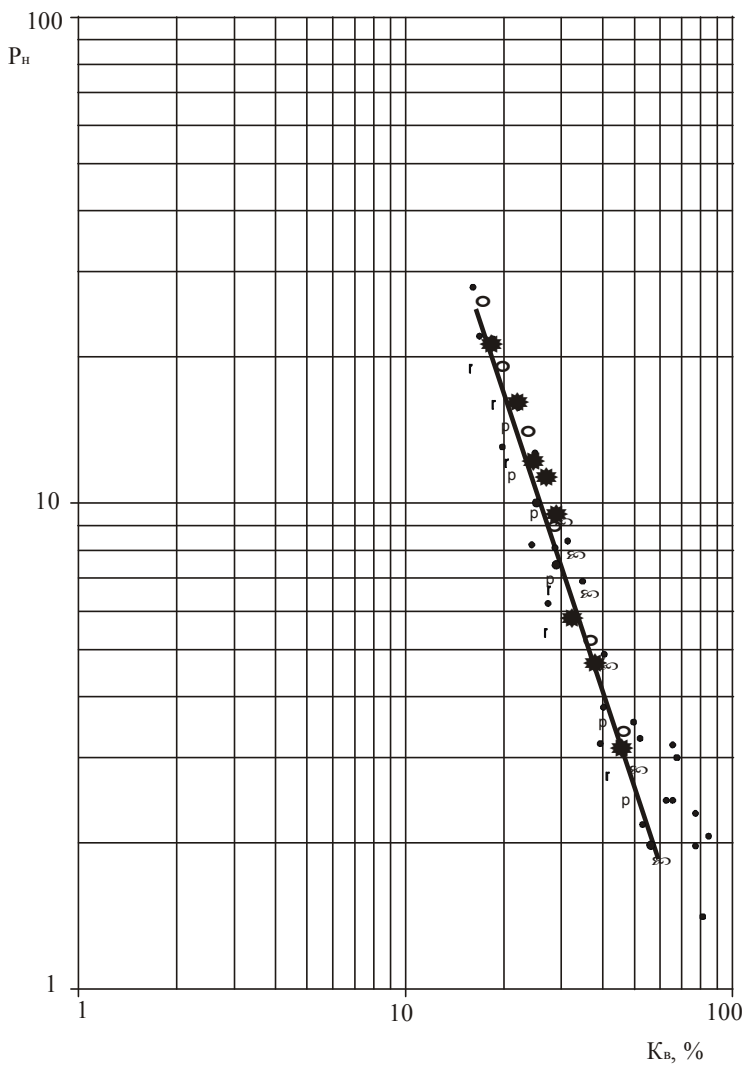


Рисунок 2. Залежність параметра насичення  $P_n$  від водонасичення  $K_w$  для теригенних порід-колекторів нижньої крейди Лопушнянського родовища:

- -зр.298; ∞ -зр.309; ρ -зр.293; \* -зр.292; ● -зр.237-2;
- -зр.295; r -зр.297; ● -зр.290; ● -зр.3, 4, 18.

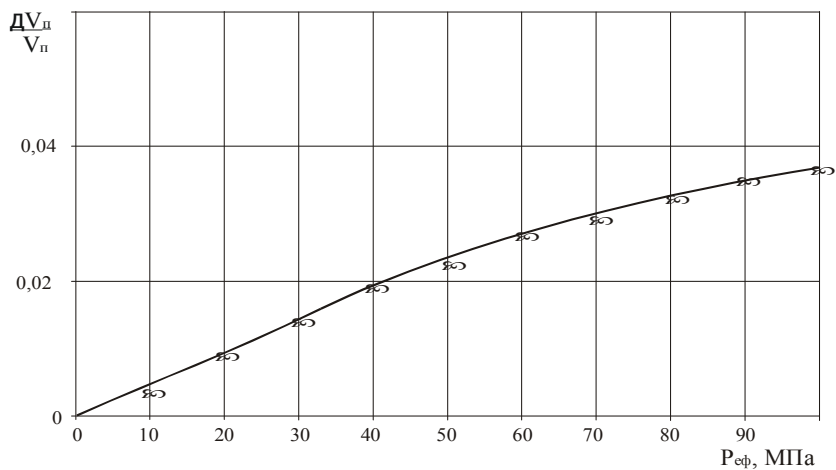


Рисунок 4. Залежність середнього значення відносного об'єму пор  $\frac{\Delta V_{п}}{V_{п}}$  під дією ефективного тиску  $P_{эф}$  для пісковиків нижньої крейди Лопушнянського родовища

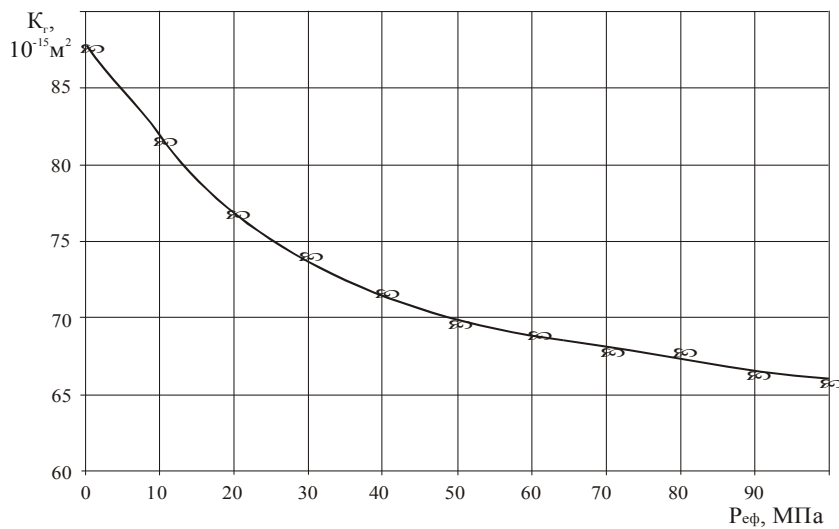


Рисунок 3. Залежності середніх значень абсолютної проникності  $K_{г}$  від ефективного тиску  $P_{эф}$  для пісковиків нижньої крейди Лопушнянського родовища

Таблиця 2 - Результати досліджень зміни абсолютної проникності пісковиків нижньої крейди Лопушнянського родовища під дією ефективного тиску

№ зразка	Абсолютна проникність ( $10^{-15} \text{ м}^2$ ) при ефективному тиску (МПа)										
	0,2	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
300	127,5	107,2	109,2	111,0	104,4	102,1	101,6	97,6	96,7	94,3	92,7
238-1	105,6	109,2	97,3	87,5	89,1	86,1	85,6	86,2	85,8	88,3	88,9
303	65,9	66,9	64,6	62,2	60,4	58,2	58,6	54,3	57,6	56,7	55,7
231-1	52,3	43,9	36,2	36,4	33,4	32,2	31,1	33,9	33,03	30,5	31,9
В середньому	87,8	81,8	76,8	74,3	71,8	69,6	69,2	67,7	68,0	66,2	65,7

Таблиця 3 Петрографічні і морфологічні особливості уламків порід

Породи	Максимальний розмір уламків, мм	Форма уламків	Примітка
Вапняк тонкозернистий	25	Кутасто-обкачана, кутова	Іноді присутні прожилки і гнізда яснозернистого кальциту
Вапняк тонкозернистий піщано-алевритистий	18	Кутасто-обкачана	
Вапняк дрібно-тонкозернистий з піритом	13	-- // --	Присутні прожилки яснозернистого кальциту і піриту, або тільки піриту
Пісковик дрібнозернистий алевритистий з глинистим поровим цементом	15	Обкачана, кутасто-обкачана	
Пісковик дрібнозернистий алевритовий з глауконітом і глинистим поровим цементом	30	-- // --	
Пісковик різнозернистий алевритистий з піритовим корозійним цементом	17	Кутасто-обкачана, кутова	

#### Аномальні концентрації сульфідів заліза

Новоутворення сульфідів заліза установлені у пробі уламкового матеріалу, винесеного із сеноман-альбської продуктивної товщі в інтервалі перфорації 4063-4103 м свердловини 11 Лопушнянського родовища. Уламки неоднорідні за розміром, формою і петрографічним складом. Для визначення їх складу виготовлено 22 шліфи і виконаний їх петрографічний опис. Одержані результати макро- і мікроскопічних досліджень узагальнені в таблиці 3.

Найбільш поширеними у пробі є уламки пісковиків дрібнозернистих алевритових з нешаруватою текстурою, які за мінералогічним складом належать до групи кварцових.



Зерна кварцу переважно кутасто-обкачаної форми, деколи значно регеновані. Польові шпати представлені плагіоклазом і калішпатом, слюди – здебільшого мусковітом (розмір до 0,5 мм). Уламки порід (кременистих та ін.) не перевищують 8-10 %. Цемент глинистий порового типу. Спостерігаються окремі пори розміром до 0,1 мм.

Як різновид цих пісковиків поширені пісковики дрібнозернисті алевритові глинисті з глауконітом. Зерна глауконіту округлої і неправильної форми, розмір до 0,25 мм. Вміст їх 1-2 %.

Виділяються також пісковики різнозернисті алевритисті, які за текстурою і мінералогічним складом уламкового матеріалу близькі до вище описаних. Цей різновид пісковиків збагачений піритом у вигляді суцільної маси, що заповнює міжзерновий простір і кородує уламки, або скупчень кристалів.

Вапняки за структурою тонкозернисті, з масивною текстурою. Іноді в них спостерігаються переривчасті прожилки і неправильної форми гнізда яснозернистого кальциту. Окремі уламки представлені тонкозернистим вапняком з підвищеним вмістом (більше 5 %) піщаного та алевритового матеріалу у розсіяній і концентрованій (гнізда) формі. У складі теригенної домішки присутні кварц, кременисті породи, слюдисто-кременисті сланці та інші. Розмір уламків досягає 0,7 мм.

Поширені також дрібно-тонкозернисті вапняки, збагачені піритом. Пірит розсіяний серед карбонатної маси і складає окремі плями. Присутні також прожилки піриту і яснозернистого кальциту або тільки піриту. Включення піриту перевищують третину площі шліфа.

Таким чином, характерним для вивченої проби є наявність залізовмісного мінералу в окремих різновидах пісковиків і вапняків. За даними хімічного аналізу в пісковиках різнозернистих алевритистих з корозійним піритовим цементом кількість сульфїду заліза, визначена за вмістом сульфїдної сірки, досягає 67,6 %.

На спектрометрі "Spektroskan" у пісковиках різнозернистих алевритистих з корозійним піритовим цементом встановлений вміст хрому, марганцю, кобальту, нікелю, міді, цинку та свинцю більший, ніж середній їх вміст в осадових породах [1].

Для визначення впливу сульфїдизації пісковиків на їх електричні властивості виконані виміри електричного опору. З цією метою виготовлені пластинки прямокутної форми з паралельними відполірованими поверхнями. Для забезпечення контактів використані свинцеві прокладки. За допомогою спеціального пристрою забезпечувався необхідний контакт породи зі свинцевою прокладкою. Електричний опір вимірювався за допомогою мосту змінного струму Р 5010 відповідно до вимог [2]. Експериментальні дослідження показали, що питомий електричний опір порід змінюється в межах (0,283-1,6) Ом · м.

Отже, породи з аномально високими концентраціями залізовмісного мінералу – електронного провідника характеризуються значеннями електричного опору, що відповідають водоносним породам, і меншими. Можливий також від'ємний вплив вторинної сульфїдизації на фільтраційно-ємкісні властивості порід-колекторів у привибійній зоні свердловини.

Наведені дані дають підставу зробити такі висновки:

- породи з аномально високими концентраціями залізовмісного мінералу (електронного провідника) можуть відповідати на каротажних діаграмах значенням питомого електричного опору, що відповідає водоносним породам;
- 
- в інтенсивно тріщинуватих ділянках розрізів свердловин можуть формуватися обширні зони проникнення бурового розчину, що перевищують глибину вивчення пласта методами промислової геофізики, і відповідно в їх межах породи можуть ідентифікуватися як водоносні.

### Література

1. Краткий справочник по геохимии // Г. В. Войткович, А. Е. Мирошников, А. С. Поваренных и др. – М.: Недра, 1970. - 280 с.
2. ГОСТ 25494-82. Породы горные. Метод определения удельного электрического сопротивления. – Москва.: Изд-во стандартов, 1983, - 7 с.