

С.А. Вижва, І.М. Безродна, О.О. Козіонова

АНАЛІЗ ФІЛЬТРАЦІЙНО-ЄМНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАРБОНАТНИХ ПОРІД КАРБОНУ РУДЕНКІВСЬКО-ПРОЛЕТАРСЬКОГО РЕГІОНУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПЕТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянуто площові зміни фільтраційно-ємнісних властивостей карбонатних порід турнейського та візейського ярусів, що отримані за результатами петрофізичних досліджень близько 1000 зразків керна 45 свердловин Руденківсько-Пролетарської нафтогазоносної області. За статистичним аналізом K_n та $K_{пр}$ пористих порід (212 зразків) на гістограмах виділено кілька груп, в яких зразки характеризуються різними умовами формування та структурою пористості. Створено банк даних значень пористості і проникності, на основі якого виконано аналіз розподілу фільтраційно-ємнісних властивостей карбонатів регіону та побудовано кореляційні залежності вигляду $K_{пр} = f(K_n)$.

Ключові слова: пористість, проникність, петрофізичні дослідження, карбонатні породи, Руденківсько-Пролетарський регіон.

Вступ. Ємнісні і фільтраційні характеристики є ключовими в петрофізичних залежностях, які розробляють для інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин (ГДС) під час пошуків родовищ нафти і газу. Їх систематизація дає змогу вирішувати завдання класифікації в процесі інтерпретації даних ГДС та оцінювати на їхній основі перспективи нафтогазоносності регіонів.

Завдання кореляції і класифікації виконують на основі баз даних геолого-геофізичної інформації. Бази петрофізичних досліджень необхідні для побудови математичних моделей колекторів і геологічних об'єктів, оцінки фільтраційно-ємнісних властивостей та визначення структури пустотного простору складнобудованих порід-колекторів.

Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) була і залишається основною нафтогазоносною провінцією України за обсягами потенційних вуглеводневих ресурсів. Причому найбільший інтерес становлять саме складнобудовані карбонатні породи-колектори, з якими пов'язують значні перспективи нарощування розвіданих запасів вуглеводнів. Актуальність дорозвідки вже відкритих родовищ на території ДДЗ, і зокрема Руденківсько-Пролетарської нафтогазоносної області (НГО), на сьогодні не викликає сумніву. Розвідані поклади на Мачуському, Багатойському, Новомиколаївському та інших родовищах дають підстави для додаткових пошуків вуглеводнів саме у карбонатних пастках турнейського та візейського віку.

Стан проблеми. Петрофізичні властивості карбонатних порід південної прибортової зони ДДЗ у різний час визначали в УкрДГРІ (Київ, Львів), ДП "Полтава РГП", ДГП "Укргеофізика", Полтавській експедиції геофізичних досліджень у свердловинах, ДП "Полтавнафтогазгеологія",

ДК "Укргазвидобування", ВАТ "Укрнафта", Полтавській НГРЕ, Київському національному університеті імені Тараса Шевченка (далі Київський університет) та інших організаціях. Дослідження ємнісно-фільтраційних властивостей карбонатів Руденківсько-Пролетарського регіону висвітлено в роботах таких авторів, як І.М. Безродна, А.О. Білик, С.А. Вижва, І.В. Височанський, Я.І. Гузик, В.Г. Колісниченко, В.О. Кривошея, І.М. Куровець, С.О. Лизун, Л.Н. Лозова, О.Ю. Лукін, С.О. Мачуліна, Г.Т. Продайвода, В.І. Савченко, Г.Л. Трофименко, М.В. Шукін та ін.

Незважаючи на досить високу вивченість нафтогазоносних об'єктів Руденківсько-Пролетарської НГО, майже відсутні узагальнені дані щодо фільтраційно-ємнісних властивостей карбонатних порід цього регіону. В більшості фондкових і літературних матеріалів результати наведені переважно для окремих родовищ та площ, рідко – для груп родовищ.

Відносно високою вивченістю карбонатів за петрофізичними даними вирізняються Багатойське, Мачуське та Новомиколаївське родовища. Для них пористість і проникність визначали на зразках керна різні організації, і накопичена досить велика кількість фактичного матеріалу щодо карбонатних порід кам'яновугільного віку. Інші площі та родовища охарактеризовані значно меншим, іноді нерепрезентативним обсягом лабораторних даних.

Вивчення властивостей порід традиційними лабораторними методами істотно ускладнюється тим, що кернавий матеріал представлений здебільшого ущільненими різновидами. Цей недолік дуже характерний для керна, що отриманий саме в карбонатних пластах з розвинутою тріщинуватістю та кавернозністю.

Метою роботи є систематизація та аналіз петрофізичних даних визначень пористості та проникності, що були отримані протягом останніх десятиріч різними організаціями як для окремих родовищ Руденківсько-Пролетарської НГО, так і для регіону в цілому.

Результати досліджень. Успішне вивчення нафтогазоносних об'єктів у візейських і турнейських карбонатних породах можливе за системного комплексного підходу. Для цього відклади треба розглядати як систему, що сформувалася в часі та складається із взаємозумовлених і взаємопов'язаних елементів.

З метою вивчення та систематизації ємнісних властивостей карбонатних порід кам'яновугільного віку Руденківсько-Пролетарського регіону авторами зібрані матеріали із 129 літературних і фондових джерел, в яких наведені результати лабораторних визначень пористості та проникності насамперед на зразках вапняків, менше – доломітів і мергелів [1].

Достатньо великий обсяг інформації про карбонатні породи турнейського та візейського ярусів отримано за керном свердловин Мачуської, Новомиколаївської, Гнатівської, Багатовської площ, менший – Юр'ївської, Керносівської, Руденківської, Личківської, Решетняківської та Східнорешетняківської, значно менший – Перещепинської, Гупалівської, Відраденської площ.

Мачуська площа характеризується достатньо доброю вивченістю колекторських властивостей карбонатних порід. Автори проаналізували матеріал вивчення карбонатних порід площі за даними ДП "Полтава РГП", досліджень Полтавської ЕГДС, ВАТ УкрНГІ та Київського університету (табл. 1). У розрізі Мачуського родовища продуктивний горизонт у межах вапнякової товщі Т-2-4 представлений переважно органогенно-детритовими вапняками, як чистими, так і глинистими різновидами. За даними [2], на родовищі порові

та порово-тріщинні колектори характеризуються задовільними ємнісно-фільтраційними властивостями, що зумовлені первинними седиментаційними процесами і розвитком вторинної пористості та тріщинуватості.

Зіставлення значень пористості, визначених в атмосферних (K_n^{at}) і близьких до пластових умовах (K_n^{pl}) показало, що щільні різновиди карбонатів майже не розрізняються за пористістю (різниця становить 0–0,5 %), у колекторах значення K_n^{pl} нижчі від K_n^{at} у середньому на 1 % (різниця – 0,5–1,5 %). При цьому граничне значення пористості дорівнює приблизно 2 %. Встановлена межа пористості є абсолютною межею для початку фільтрації вуглеводнів у колекторах. Проте на цей час рентабельний видобуток із колекторів при $K_n = 2–4$ % технологічно не відпрацьований, і на Мачуському родовищі з карбонатних порід з такою пористістю припливів не отримано [3].

В процесі узагальнення матеріалів петрофізичних досліджень на Мачуській площі було проаналізовано результати визначень пористості у 246 зразках карбонатних порід турнейського і візейського ярусів карбону св. 1, 2, 4, 5, 500. Установлено, що максимальна кількість досліджених зразків характеризується низькими значеннями пористості (до 4 %), що, на думку авторів, пов'язано з технологією відбору керна. Ще дві групи зразків з $K_n = 4–6$ і $6–16$ %, імовірно, відповідають зразкам порід-колекторів з різним типом пористості і структурою пустотного простору. В цілому значення пористості змінюються в межах від 0,3 до 16 %. За даними [3], критичне її значення розглядають на рівні 4 %. Пористість карбонатних колекторів родовища, за літературними даними, становить у середньому 9,3, за статистичним осередненням, проведеним авторами статті, – 7,9 %.

Результати визначення проникності за матеріалами ВАТ УкрНГІ та ПЕГДС наведені в табл. 2.

Таблиця 1. Результати статистичного аналізу пористості карбонатних порід нижнього карбону зразків свердловин Руденківсько-Пролетарської нафтогазоносної області

Площа	Загальна кількість зразків / колекторів	Межі зміни пористості карбонатних колекторів, %	Межі зміни пористості для груп інтервалів карбонатних порід за її статистичного аналізу, %			Середнє значення пористості, %	
			Карбонатні породи	Колектори	Колектори	Колектори	
Мачуська	246 / 84	4–16	0,3–4	4–6	6–16	3,9	7,9
Гнатівська	234 / 81	4–17,4	0,3–4,1	4,1–6,3	6,4–17,4	3,8	7,7
Багатовська	100 / 7	2,6–13,5	0,4–1,3		3,5–13,3	2,0	5,4
Новомиколаївська	66 / 17	4,7–13,3	0,4–4,7	5–7	7–13,3	3,5	8,8
Юр'ївська	51 / 11	3,5–6,3	0,2–3,5	3,5–5,5	5,5–6,3	2,5	4,8
Керносівська	46 / 0	–		0,1–2,4		0,8	–
Руденківська	29 / 3	3,1–5,3	0,5–3,1		3,1–5,3	1,3	4,5
Решетняківська та Східнорешетняківська	27 / 16	0,9–18,5	0,9–4,0	4,0–7,8	7,8–12 12–18,5	7,2	8,7
Личківська	20 / 0	0,2–2,3		0,2–1	1–2,3	0,7	–
Гупалівська	19 / 4	1,2–7,1		1,2–4,8	4,8–7,1	2,8	6,2
Перещепинська	13 / 0	0,57–2,6		0,6–1,8	1,8–2,6	1,5	–
Відраденська	11 / 0	0,3–2,1		0,3–2,1		1,0	–

Таблиця 2. Результати статистичного аналізу проникності карбонатних порід нижнього карбону зразків свердловин Руденівсько-Пролетарської нафтогазоносної області

Площа	Кількість зразків загальна / колекторів	Середнє значення проникності для карбонатних порід, мД	Межі зміни проникності для карбонатних порід, мД	Середнє значення проникності для колекторів, мД
Мачуська	185 / 104	1,56	0–47,69	3,5
Юр'ївська	51 / 11	0,067	0–0,19	0,18
Новомиколаївська	79 / 33	1,84	0–80,5	4,39
Багатойська	96 / 30	0,49	0–11,45	1,57
Гупалівська	16 / 1	0,42	0–6,27	6,72
Гнатівська	75 / 38	0,44	0–8,03	0,84
Керносівська	32 / 1	0,11	0–3,47	3,47
Відрадненська	11 / 1	0,025	0,002–0,11	0,11
Перещепинська	13 / 2	0,169	0–1,64	1,01
Решетняківська та Східнорешетняківська	5/0	0,015	0,001–0,04	–
Руденківська	29 / 2	0,03	0–0,4	0,25

За даними вивчення 185 зразків карбонатних порід Мачуської площі середнє значення проникності визначено як 1,56, а для 79 зразків порід-колекторів – 3,5 мД при граничному значенні 0,2 мД (за системою СІ 1 Д \approx 1 км²).

За узагальненими даними карбонатні породи колекції за фільтраційно-ємнісними властивостями поділено на 3 групи:

- тріщинно-порові і кавернозно-порові породи-колектори з проникністю понад 0,22 мД;
- вапняки порово-тріщинного типу з широким діапазоном зміни фільтраційних властивостей ($K_{пр} = 0,01–50$ мД);
- карбонати, проникність яких не перевищує 0,01 мД (можливо з гранулярною пористістю), які є неколекторами.

Проаналізовано функціональну залежність проникності від пористості, яка в результаті систематизації всіх даних площі має вигляд

$$K_{пр} = 0,268K_n - 1,268,$$

але без тісного зв'язку ($R^2 = 0,53$). За графіком всі зразки розділені на 2 групи з різними фільтраційно-ємнісними зв'язками:

$$K_{пр} = 0,442K_n - 2,026 \text{ при } R^2 = 0,916,$$

$$K_{пр} = 0,009 e^{0,4289K_n} - 2,026 \text{ при } R^2 = 0,846.$$

Петрофізичні визначення пористості й проникності карбонатних зразків свердловин Гнатівської площі проводили ДП “Полтавнафтогазгеологія”, УкрДГРІ, ПолтавДГРП, ВАТ УкрНГІ, ПЕГДС та інші організації. Карбонатні породи площі представлені передусім вапняками органогенно-детритовими та доломітами. Згідно з аналізом усіх розглянутих авторами даних визначення пористості (рис. 1), 153 зразки з 234 досліджених не можна вважати колекторами – пористість досягає 4% (граничне значення, за фондовими даними). Загалом на площі пористість карбонатних порід кам'яновугільного віку змінюється в межах 0,3–17,4%. Серед колекторів

(81 зразок) умовно виділені 2 групи: пористі, $K_n = 4,1–6,3\%$; високопористі, $K_n = 6,4–17,4\%$; середнє значення пористості порід-колекторів 7,71%.

Середнє значення проникності (75 зразків) 0,44 мД (табл. 2), причому проникність 38 зразків вища за граничне значення 0,1 мД, для них $K_{пр}^{ср} = 0,84$ мД.

Проаналізовано залежність проникності від пористості, яка в результаті систематизації всіх визначень на площі не має тісного зв'язку даних:

$$K_{пр} = 0,07K_n - 0,021 \text{ (} R^2 = 0,325 \text{)}.$$

За графіком $K_{пр} = f(K_n)$ виділені 2 групи порід з різними фільтраційно-ємнісними властивостями, для них отримані тісніші функціональні залежності:

$$K_{пр} = 0,131K_n - 0,0026, R^2 = 0,855,$$

$$K_{пр} = 0,018 e^{0,3269K_n}, R^2 = 0,77.$$

Інтенсивно доломітизовані біогермні водоростеві вапняки Багатойського родовища складають



Рис. 1. Гістограма розподілу відкритої пористості карбонатних зразків керна порід карбону св. 14, 26, 27, 29, 33, 36, 42, 43, 45, 46 Гнатівської площі

ся з ромбодричних зерен доломіту дрібно- та середньопіщаної розмірності, внаслідок чого набувають властивості гранулярних колекторів. У нерівномірно доломітизованих водоростевокриноїдних (з форамініферами, коралами тощо) біогермних та особливо біоморфно-детритусових вапняках пористість і газонасиченість знижуються. Для бітумінозних глинистих мікрозернистих вапняків нижнього візе характерна інтенсивна тріщинуватість.

За даними лабораторних визначень керна свердловин Багатойського родовища [4], ємнісні властивості карбонатних порід переважно низькі. Відкрита пористість першої карбонатної товщі змінюється від 0,4 до 13,5, другої – від 0,5 до 5,7 %. Гістограми розподілу відкритої пористості різко асиметричні через переважну кількість зразків з пористістю до 1,5 %. Гранічне значення K_n для карбонатних колекторів за даними ДП “Полтавнафтогазгеологія” – 2,6 %. Це значення підтвержене результатами досліджень колекторів турнейського ярусу в свердловинах Багатойського та суміжних з ним Личківського та Перешепинського родовищ.

На основі результатів визначення літологофізичних властивостей карбонатних порід нижньовізейського і турнейського ярусів св. 1–4, 6, 7, 9–12, 403 Багатойського родовища (за даними ДП “Полтавнафтогазгеологія” та УкрДГРІ) автори встановили, що із 100 зразків керна лише 17 мають K_n вищу за 2,6 %, а серед низькопористих зразків спостерігається логнормальний закон розподілу пористості, згідно з яким для найбільшої кількості зразків K_n становить 1–1,3 %. Діапазон зміни пористості карбонатів для родовища – 0,3–13,3 % (див. табл. 1). Середнє значення пористості порід-колекторів (понад 2,6 %) – 5,4 %.

За даними лабораторних визначень проникності 96 зразків, ємнісні властивості карбонатних порід низькі – $K_{пр}^{ср} = 0,5$ мД (див. табл. 2). Лише 30 зразків можна вважати проникними, для них середнє значення проникності дорівнює 1,6 мД.

Проаналізовано функціональну залежність проникності від пористості, яка в результаті систематизації всіх даних на площі має вигляд:

$$K_{пр} = 0,84K_n - 0,93 (R^2 = 0,81).$$

За даними ВАТ “Укрнафта”, вапняки турнейського ярусу *Новомиколаївського родовища* переважно мають обмежені колекторські властивості: за даними лабораторних досліджень відкрита пористість змінюється в межах від 0,4 до 10,7 %, на основі лабораторних визначень для підрахунку запасів прийнято $K_n^{ср} = 8,7$ %.

Карбонатні породи представлені передусім вапняками брекчієподібними, середньо- й тонкозернистими органогенно-детритовими, органоген-

но-шламовими, згустково-грудкуватими з масивною текстурою та уламковою структурою; тріщини мають характер як взаємоперпендикулярних серій, так і окремих різноспрямованих та розмішених по спайності зерен.

За результатами петрофізичних досліджень карбонатних зразків на Новомиколаївській площі, які були проведені ВАТ “Укрнафта”, ВАТ УкрНГП, Київським університетом, ПолтавДГРП, УкрДГРІ, вивчено зразки св. 2, 3, 5, 6, 9, 10, 14, 15, 21, 32, 42, 46. Пористість для 66 зразків змінюється в межах 0,3–13,3 % (для 17 зразків пористих і високопористих порід – від 5,1 до 11,6 %) (див. табл. 1). Найвищі значення пористості за керном характерні для порід з великим вмістом органогенних залишків і каверн.

За даними ВАТ “Укрнафта”, на Новомиколаївському родовищі вапняки карбонатної товщі турнейського ярусу переважно мають низькі колекторські властивості: за лабораторними дослідженнями проникність змінюється в межах 0–20 мД.

За даними УкрДГРІ, в карбонатних породах горизонту Т-1 шляхами фільтрації в породах є міжзернові канали й тріщини ($K_{пр} = 0,01$ –19,5 мД). У горизонті Т-3, який складений вапняками органогенно-детритовими, перекристалізованими, середнє значення газопроникності змінюється від 0 до 1,43 мД.

Загалом, згідно з аналізом 79 зразків Новомиколаївської площі за даними лабораторних досліджень, проведених у різних організаціях, проникність змінювалась в межах 0–80,5 мД (див. табл. 2). Середнє значення проникності 1,84, для порід-колекторів (33 зразка) – 4,39 мД при граничному значенні 0,2 мД.

Функціональна залежність, за статистичним аналізом, має вигляд

$$K_{пр} = 0,48K_n - 0,65 (R^2 = 0,826).$$

Фізичні властивості карбонатних порід візейського ярусу горизонтів В-22, В-23 і В-26 *Юр’ївської площі* вивчали в ДП “Полтавнафтогазгеологія” і Полтавській ЕГДС. Вапняки карбону представлені органогенно-детритовими дрібно-, середньозернистими та брекчієподібними різновидами з уламками кальциту, детриту та вуглесто-глинистої речовини, часто смугастими; тріщини здебільшого перпендикулярні до осі керна. У зв’язку з відбором здебільшого низькопористих карбонатних різновидів середнє значення пористості в інтервалі досліджень дорівнює 2,5 % (при максимальному значенні $K_n = 6,3$ %), проникності – 0,067 мД (для 11 колекторів – 0,18 мД) (див. табл. 1, 2). За даними статистичного аналізу фільтраційно-ємнісних властивостей, виділено 3 групи порід, які чітко виділяються на гістограмах їх розподілу.

За узагальненими даними щодо карбонатних порід карбону з пористістю понад 4 % та проникністю більше 0,1 мД розраховано залежність

$$K_{np} = 0,075K_n - 0,241 \quad (R^2 = 0,569).$$

Оскільки узагальнена залежність має нетісний зв'язок, зразки поділено на 2 групи – низькопористі, які описуються залежністю

$$K_{np} = 0,075K_n - 0,252 \quad \text{при } R^2 = 0,708,$$

та високопористі із експоненціальною залежністю

$$K_{np} = 0,016 e^{0,812K_n} \quad \text{при } R^2 = 0,664.$$

За даними петрофізичних досліджень ПЕГДС та ДК “Укргазвидобування” на *Керносівській площі* (св. 1, 2) високопористих та проникних різновидів не виявлено (див. табл. 1, 2). Всі відібрані зразки можна характеризувати як неколектори через низькі значення пористості (максимальне значення 2,3 % в межах 0,1–2,3 %) та дуже низьку проникність – менше за 0,09 мД (за середнього значення 0,11 мД), 1 зразок – 3,47 мД. Побудова кореляційних зв'язків для порід-неколекторів не має сенсу. Недосконалість вибірки порід не дає можливості виконати аналітичні узагальнення.

Для *Руденківської площі* проаналізовано результати досліджень 29 зразків ядра інтервалів св. 15 та 18 за даними Полтавської ЕГДС. Установлено, що майже всі відібрані карбонатні зразки відповідають малопористим і непроникним різновидам (відкрита пористість змінюється від 0,5 до 5,3 %, середнє значення проникності для колекції становить 0,03 мД).

Для колекції зразків з $K_{np} > 0,1$ мД складено залежність $K_{np} = 0,0107K_n + 0,0135$, яка виявилась нетісною ($R^2 = 0,4275$). Крім того, побудована кореляційна залежність для зразків з пористістю понад 3 %:

$$K_{np} = 0,012K_n + 0,014 \quad (R^2 = 0,43).$$

За результатами досліджень зразків *Решетняківської та Східнорешетняківської площі* у лабораторії ПЕГДС автори статті виявили 3 групи порід:

- низькопористі, K_n від 0,9 до 5,0 % (12 зразків);
- пористі, $K_n = 7,8$ –11,4 % (11 зразків);
- високопористі, K_n від 12,2 до 18,5 % (4 зразка).

Для зразків порід з проникністю понад 0,1 мД побудовано залежність

$$K_{np} = 0,00482,5 + 0,0014 \quad (R^2 = 0,902).$$

На *Личківській площі* автори проаналізували результати досліджень 20 зразків ядра. Карбонатні породи інтервалу досліджень представлені тонко-, дрібно- та середньозернистими вапняками, часто з включеннями кальциту та вуглистої речовини, тріщини орієнтовані перпендикулярно до осі ядра та розорієнтовані.

Встановлено, що всі відібрані карбонатні зразки відповідають малопористим і малопроникним різновидам, відкрита пористість у середньому становить 0,7 % (див. табл. 1), проникність менша за 0,01 мД.

За даними визначення фізичних параметрів зразків карбонатних порід *Гупалівської площі* (Полтавська НГРЕ об'єднання “Полтавнафтогаз-геологія”) авторами встановлено, що з 19 досліджених зразків лише для 4 коефіцієнт пористості вищий за граничне значення, а більшість зразків (10) потрапляють в інтервал пористості 1,2–1,8 %. Величина K_n змінюється для карбонатів карбону в межах 1,2–7,1 %, $K_{np} = 0$ –0,021 мД (див. табл. 1, 2).

Петрофізичні визначення пористості для зразків *Перещепинської площі* були проаналізовані авторами лише за результатами досліджень ПЕГДС. Карбонатні породи карбону представлені органогенно-детритовими, органогенно-шламовими вапняками, мергелями. Жоден із 13 зразків не має пористості понад 3 %. Середня пористість карбонатних зразків колекції дорівнює 1,5 %, проникність – 0,169 мД (див. табл. 1, 2).

В 11 досліджених зразках карбону *Відрадненської площі* максимальна пористість карбонатів становила 2,1 % за приблизно рівномірної зміни пористості від 0,32 % до максимальних значень, середнє значення $K_n^{ср} = 1,0$ %, середня проникність вибірки 0,025 мД (див. табл. 1, 2).

Статистичні узагальнення для побудови зв'язків проникності зразків з їхньою пористістю на Личківській, Гупалівській, Перещепинській та Відрадненській площах автори не проводили у зв'язку з нерепрезентативністю вибірок карбонатних порід.

Статистичний аналіз фільтраційно-ємнісних властивостей карбонатних порід карбону Руденківсько-Пролетарського регіону за результатами петрофізичних досліджень дав змогу виділити інтервали зміни пористості і проникності для карбонатних порід різного складу та структури пустоти, а також побудувати петрофізичні залежності для тих площ, де вибірка була представлена достатньою кількістю даних.

Для узагальнення всього проаналізованого вище матеріалу вивчені площі були розбиті на групи, згідно з їх територіально-геологічним розташуванням:

- 1) структури північної частини Зачепилівсько-Левенцівського валу (Мачуська, Відрадненська, Решетняківська, Східнорешетняківська площі);
- 2) структури в межах Нехворощанського виступу (Гнатівська, Новомиколаївська, Руденківська площі);
- 3) структури, що прилягають до крайового розлому грабену (Гупалівська, Левенцівська, Юр'ївська площі);

Таблиця 3. Узагальнені результати статистичного аналізу фільтраційно-ємнісних властивостей карбонатних порід зразків Руденівсько-Пролетарської нафтогазоносною області

Структури	Кількість зразків, в яких аналізували пористість/проникність	Середнє значення пористості, % / проникності, мД		Межі зміни параметрів для груп карбонатних порід за їх статистичного аналізу						
		загалом	колекторів	Пористість, %			Проникність, мД			
Усього регіону	964 / 592	3,6 / 0,89	8,4 / 2,33	0,1–3,9	4,0–7,0	8,0–18,5	до 0,1	0,1–0,5	0,5–8,0	8,0–80,5
Північної частини Зачепилівсько-Левенцівського валу	285 / 201	4,1 / 1,43	8,6 / 2,46	0,1–4,0	4,0–8,0	8,0–18,46	до 0,1	0,1–0,7	0,7–47,69	
У межах Нехворощанського виступу	327 / 183	3,5 / 0,98	7,9 / 2,43	0,1–4,1	4,1–8,5	8,5–17,4	до 0,1	0,1–0,63	0,8–80,5	
Прилеглі до крайового розлому грабену	69 / 67	2,1 / 0,152	4,8 / 0,725	0,16–1,0	1,0–5,0	5,0–7,1	до 0,1	0,1–0,38	6,72	
Південної частини Зачепилівсько-Левенцівського валу	183 / 141	1,5 / 0,36	9,8 / 1,59	0,1–3,5	5,7–13,3		до 0,1	0,1–11,45		

4) структури південної частини Зачепилівсько-Левенцівського валу (Багатойська, Керносівська, Личківська, Перещепинська площі).

Для 1-ї групи площ проаналізовано пористість, визначену в 285 карбонатних зразках кам'яновугільного віку (змінюється в межах від 0,1 до 18,5 %) та проникність, вивчену в 201 зразку (змінюється від 0 до 47,69 мД) (табл. 3). За даними статистичного аналізу, для групи родовищ виділено 3 типи порід: низькопористі та малопроникні (внаслідок відбору зразків щільних різновидів); пористі (від 4 до 8 %) з проникністю від 0,1 до 0,7 мД; високопористі (від 8 до 18 %) з проникністю понад 0,7 мД. Для високопористих порід характерна наявність вторинної пористості, як тріщинної, так і кавернозної. Процеси розчинення і вилуговування у високопористих карбонатах зумовлюють збільшення пористості (вторинних пористот, каверн і тріщин) порід-колекторів, які характеризуються аномально низькими значеннями коефіцієнта ущільнення відносно порід, які їх вміщують.

Узагальнивши дані по групах площ, автори розрахували загальну функціональну залежність проникності від пористості для двох типів карбонатних порід із різними фільтраційно-ємнісними зв'язками:

$$K_{np} = 0,131K_n - 0,0026, R^2 = 0,86,$$

$$K_{np} = 0,018 e^{0,327K_n}, R^2 = 0,77.$$

Для структур у межах Нехворощанського виступу проаналізовано пористість 327 і проникність 183 зразків карбонатів турнейського та візейського віку, для яких середнє значення дорівнює: пористості – 3,5 %, проникності – 0,98 мД (табл. 3). Серед вивчених зразків виділено також 3 групи порід: низькопористі та малопроникні; пористі (від 4,1 до 17,4 %) з проникністю від 0,1 до

0,63 мД; високопористі з проникністю понад 0,8 мД. Узагальнені залежності $K_{np} = f(K_n)$, прийняті авторами для 2-ї групи площ, мають вигляд

$$K_{np} = 0,036 e^{0,269K_n} \text{ при } R^2 = 0,612,$$

$$K_{np} = 0,387K_n - 0,568 \text{ при } R^2 = 0,784.$$

Для групи площ, що приурочені до крайового розлому грабену, проаналізовано 69 зразків карбонатних порід карбону, для яких пористість змінювалась у межах від 1,2 до 6,3 %, а проникність – від 0 до 6,72 мД (табл. 3).

Виділено 3 діапазони зміни пористості і проникності: K_n до 1 % і $K_{np} < 0,1$ мД – щільні зразки; K_n від 1 до 5 % і K_{np} від 0,1 до 0,38 мД; K_n понад 5 % і з високою проникністю, які мають високі ємнісні та фільтраційні властивості і, відповідно, інші структурні особливості, що зумовлені наявністю вторинної пористості, зокрема тріщинної.

Для 3-ї групи площ за найхарактерніші прийнято залежності:

для низькопористих зразків

$$K_{np} = 0,075K_n - 0,252 \text{ при } R^2 = 0,708,$$

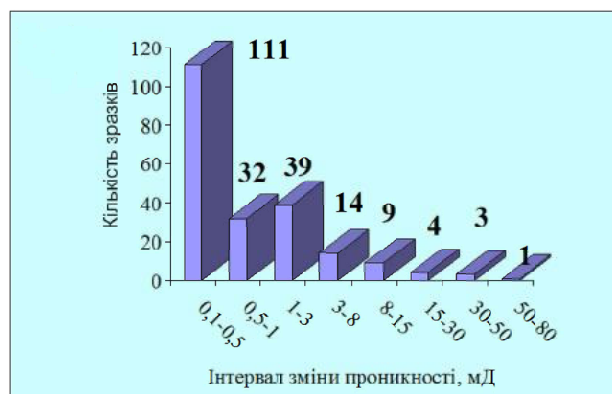
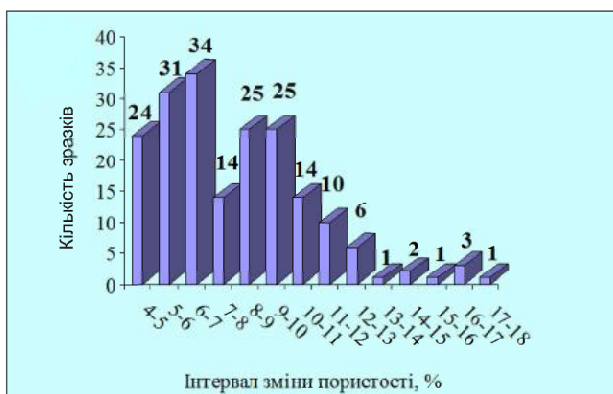
для високопористих зразків

$$K_{np} = 0,016 e^{0,812K_n} \text{ при } R^2 = 0,664.$$

Для 4-ї групи площ пористість і проникність визначені відповідно в 183 і 141 карбонатних зразках. Для них за статистичним аналізом виділено лише 2 групи порід з пористістю та проникністю нижче та вище їх граничних значень – 3,5 % та 0,1 мД (табл. 3). Рівняння кореляційної залежності для цієї групи має вигляд

$$K_{np} = 0,84K_n - 0,93 (R^2 = 0,81).$$

В цілому для Руденківсько-Пролетарської НГО авторами проаналізовано результати петро-



a

b

Рис. 2. Аналіз розподілу узагальноної пористості (а) та проникності (б) карбонатних порід-колекторів карбону Руденківсько-Пролетарської нафтогазононої області

фізичних визначень пористості в 965 та проникності в 592 карбонатних зразках турнейського та візейського ярусів [1]. Лише 212 зразків (менше чверті від загальної кількості) можна розглядати як породи, що можуть характеризуватися як колектори.

Як видно на рис. 2, а, переважна кількість зразків-колекторів (198) відповідає інтервалу пористості 4–13 %, для якого середнє значення K_n дорівнює 7,9 %. В цьому інтервалі виділено два максимуми, які відповідають пористим, $K_n = 4-7$ % (89 зразків), і високопористим, $K_n = 8-11$ % (71 зразок), карбонатним різновидам. Виділено 3 групи порід за проникністю, мД: 0,1–0,5 (111 зразків); 0,5–8 (85 зразків); 8–80,05 (17 зразків) (рис. 2, б). Ці окремі групи порід-колекторів характеризують карбонатні породи з різними умовами утворення, що разом з різним вмістом біогенних рештків зумовлює різну структуру пористості зразків, яка характеризується пористістю різних типів і форматів. Більшість розглянутих зразків карбонатних порід кам'яновугільного віку являють собою низькопористі та малопроникні різновиди, що передусім пов'язано з технічною складністю відбору керн в карбонатних пластах-колекторах. Тому гістограми розподілу найчастіше різко асиметричні через переважну кількість зразків порід з низькою пористістю. Звичайно,

практичний інтерес як колектори становлять породи з відкритою пористістю понад 4–5 % і проникністю більше 0,01 мД.

Для Руденківсько-Пролетарської НГО в цілому автори виконали площинний аналіз та узагальнення петрофізичних даних визначення пористості та проникності на основі аналізу всіх літературних і фондових матеріалів [1] і за допомогою програми MAPINFO побудували карти, що характеризують зміну пористості (рис. 3) та проникності, згідно з даними петрофізики в карбонатних породах карбону, для всієї колекції зразків.

Висновки. За даними статистичного аналізу площинних змін пористості та проникності, отриманих за результатами петрофізичних досліджень на території Руденківсько-Пролетарської НГО, встановлено, що з 965 карбонатних зразків турнейського та візейського віку (для яких автори створили банк даних визначення пористості та проникності) 753 належать до малопроникних і низькопористих різновидів (табл. 3). Насамперед це пов'язане з технічною складністю відбору керн, особливо із тріщинних і кавернозних пластів, що характерно не лише для зразків регіону, а й для керн карбонатних порід загалом.

Значно менша частина зразків (212) представлена колекторами з пористістю $K_n^{ср} = 8,4\%$ і проникністю $K_{пр}^{ср} = 2,33$ мД. За статистичним аналізом

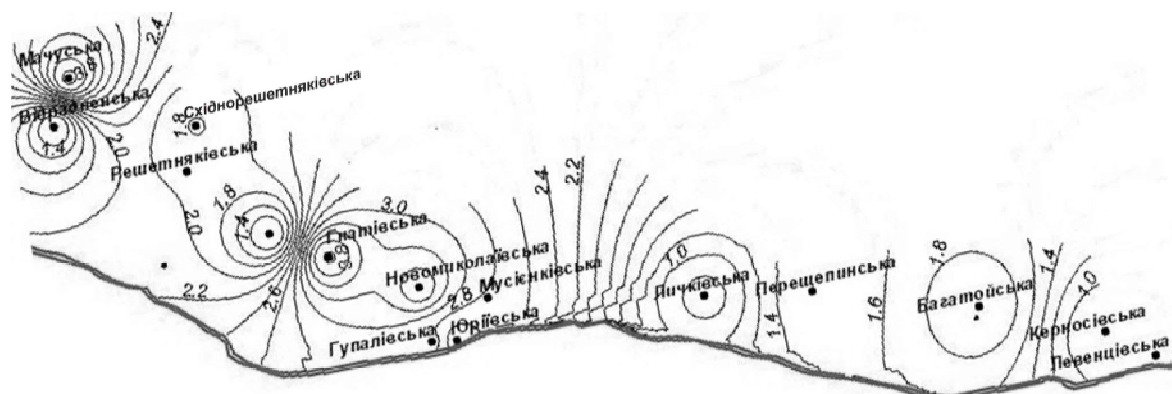


Рис. 3. Схема розподілу узагальноної пористості карбонатних порід нижнього карбону Руденківсько-Пролетарської нафтогазононої області

фільтраційно-ємнісних властивостей порід-колекторів виділено 2 групи, що відображені на гістограмах їх розподілу та характеризують породи-колектори з різними умовами формування та залягання (вилуговування, міграція флюїдів, тектоногеодинамічні процеси та ін.), що разом з різним вмістом біогенних рештків зумовлює різну структуру пористості зразків.

Вибірка керн для досліджень часто явно нерепрезентативна, вона не може висвітлити кращі і навіть середні за фільтраційно-ємнісними властивостями породи-колектори. Тому на керновому матеріалі виконана лише оцінка петрофізичних залежностей. Цей факт ускладнює виділення пластів-колекторів у карбонатному розрізі та побудову математичних моделей “кern–кern” та “кern–ГДС”. Враховуючи, що дані визначень пористості за керном і даними ГДС не завжди перекриваються в інтервалах досліджень, за отриманими залежностями є можливість відновити відсутні характеристики карбонатних пластів.

У зв'язку із зазначеними особливостями карбонатних порід побудувати репрезентативні петрофізичні залежності для всіх розглянутих площ виявилось практично неможливим. З метою детальнішого аналізу результатів лабораторних досліджень авторами заплановані додатковий збір і статистична обробка петрофізичних матеріалів, а також кореляція петрофізичних визначень пористості з результатами, що отримані за даними ГДС.

Проведений аналіз розподілу пористості у південній прибортовій зоні ДДЗ дасть можливість використовувати узагальнені дані для надійнішої інтерпретації даних ГДС.

*Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

Надійшла до редакції 13.04.2011 р.

С.А. Вижва, И.Н. Безродная, О.А. Козионова

АНАЛИЗ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД КАРБОНА РУДЕНКОВСКО-ПРОЛЕТАРСКОГО РЕГИОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрены площадные изменения фильтрационно-емкостных свойств карбонатных пород турнейского и визейского ярусов, полученные по результатам петрофизических исследований около 1000 образцов керн 45 скважин Руденковско-Пролетарской нефтегазоносной области. На основе статистического анализа коэффициентов пористости K_n и проницаемости K_{np} пористых пород (212 образцов) на гистограммах выделено несколько групп, образцы которых характеризуются различными условиями формирования и структурой пустотного пространства. Создан банк данных значений пористости и проницаемости, на базе которого выполнен анализ распределения фильтрационно-емкостных свойств карбонатов региона и построены корреляционные зависимости вида $K_{np} = f(K_n)$.

Ключевые слова: пористость, проницаемость, петрофизические исследования, карбонатные породы, Руденковско-Пролетарский регион.

Слід зазначити, що на сьогодні потенціал видобутку нафти і газу з карбонатів використовують дуже слабо. Це пов'язане з недостатньою увагою до вказаної проблеми, і як результат, з відсутністю єдиного методологічного підходу до її розв'язання. Тому потрібне створення на державному рівні програми досліджень саме в цьому напрямі, яка має охопити всі етапи розробки родовищ нафти і газу в складнопобудованих карбонатних колекторах від їх пошуків і розвідки до експлуатації свердловин.

1. *Аналитичний огляд фондових матеріалів з фільтраційно-ємнісних властивостей та структури пустотного простору складнопобудованих карбонатних порід південної прибортової зони ДДЗ. Звіт / Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. – К., 2010. – 123 с.*
2. *Кабышев Б.П. История и достоверность прогнозов нефтегазоносности ДДВ (гносеологический анализ). – Киев: УкрГГРИ, 2001. – 380 с.*
3. *Геолого-економічна оцінка Мачухського газового родовища Полтавської області України. Звіт / ДП “Полтава РГП”. – Полтава, 2009. – Кн.1. – 240 с.*
4. *Геологічна будова та підрахунок запасів ВВ Богатойського газоконденсатного родовища. Новомосковський район Дніпропетровської області. Звіт / ДГП “Полтавнафтогазгеологія”, УкрДГРІ. – Львів; Полтава, 1994. – Кн.1. – 303 с.*
5. *Заключение о перспективах нефтегазоносности карбонатных пород нижнего карбона – верхнего девона на участке Руденки–Ливенцы в южной прибортовой зоне ДДВ (по результатам литофизических исследований и переинтерпретации материалов ГИС). – Киев: КГО УкрНИГРИ, 1998. – 233 с.*

ANALYSIS OF FILTRATION-CAPACITIVE PROPERTIES OF CARBONATE ROCKS CARBONIFEROUS OF RUDENKIVSKO-PROLETARSRKIY REGION WITH PETROPHYSICAL INVESTIGATION RESULTS

Considered in the paper are areal changes of filtration-capacitive properties of carbonate rocks. The investigations are based on petrophysical studies of about 1000 Tournaisian and Vizean samples from 45 wells of the Rudenkivsko-Proletarskiy region. Several groups are distinguished at the histogram on the basis of statistical analysis of KP and KPR of the porous rocks (212 samples). These samples are characterized by different conditions of formation and structure of the hollow space. Created by the authors is the database of porosity and permeability. The analysis of distribution of filtration-capacitive properties of carbonates in the region is produced. The relation $K_p = f(K_{PR})$ is built.

Keywords: porosity, permeability, petrophysical investigation, carbonate rocks, Rudenkivsko-Proletarskiy region.