УДК 550.552.53.553

І. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: bezin3@ukr.net;
А. Шинкаренко, студ.,
E-mail: anastasiia.nesterenko@gmail.com,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022 Україна

ОЦІНКА СТРУКТУРИ ПУСТОТНОГО ПРОСТОРУ НИЗЬКОПОРИСТИХ ПОРІД ЗАРІЧНОЇ ПЛОЩІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПЕТРОФІЗИЧНИХ ТА ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Авторами проведено дослідження керну та аналіз матеріалів геофізичних досліджень свердловин (ГДС) свердловини № 3А Зарічної площі Дніпровсько-Донецької западини з метою оцінки перспективності пластів як низькопористих колекторів вуглеводнів на основі вивчення структури їх пустотного простору. Комплекс петрофізичних досліджень газо-, нафто- і водонасичених порід проводився в Петрофізичній лабораторії ННІ "Інститут геології", у тому числі, в умовах змінних тисків. Проведено статистичну обробку густинних, електричних, фільтраційно-ємнісних та акустичних параметрів. Інтерпретацію даних ГДС було здійснено у програмному забезпеченні "Геопошук". База даних каротажних кривих включала результати вимірювань кавернометрії, акустичних, електричних та радіоактивних методів.

Визначення структури пустотного простору за даними ГДС та петрофізики проводилось за оригінальною методикою інверсії даних акустичних досліджень у структуру пустотного простору на основі методів найменших квадратів із використанням методів нелінійної оптимізації та умовних моментів. За стандартним аналізом каротажних даних та матеріалів петрофізики встановлено повну невідповідність висновків: породи за даними ГДС визначено як низькопористі пласти-колектори, що за даними петрофізики не підтвердилось.

Проведений комплексний аналіз результатів досліджень акустичних властивостей в умовах змінних тисків надав можливість якісно визначити особливості структури пустотного простору порід. Авторами було оцінено кількісний розподіл пустот різних форматів для колекції зразків керну та для пластів порід. За даними петрофізичних досліджень було визначено, що розглянуті пісковики у своєму складі практично не мають пустот тріщинного типу; пустотний простір органогенно-детритових вапняків складений, в основному, міжзерновими та вторинними пустотами; доломітизовані вапняки, переважно, у своєму складі мають тріщинні пустоти (0,71%-0,95%). За даними ГДС визначено, що у дослідженому інтервалі свердловини за структурою пустотного простору можуть бути оцінені як перспективні породи-колектори чотири карбонатні пласти з високою тріщинною пористістю.

Встановлено у результаті комплексних досліджень, що даний інтервал свердловини містить ущільнені низькопористі колектори, які представлені переважно тріщинними доломітизованими вапняками.

Перспективою подальших досліджень щодо вивчення порід Зарічної та подібних площ є проведення дослідних робіт з врахуванням анізотропії, які планується провести на базі ННІ "Інститут геології". Результати наведених досліджень можуть бути використані для визначення перспективності порід різного літологічного складу та складності пустотного простору при вивченні їх нафтогазоносності.

Ключові слова: порода-колектор, структура пустотного простору, петрофізика, геофізичні дослідження свердловин.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку нафтогазової промисловості основним завданням геолого-геофізичних робіт є пошуки родовищ нафти та газу, складених як традиційними, так і нетрадиційними колекторами. Через значну вичерпаність традиційних джерел вуглеводнів на території України, набуває все більшої актуальності проблема пошуків і розвідки нетрадиційних резервуарів нафти та газу та пов'язаних з ними типів колекторів (газ ущільнених колекторів, сланцевий газ тощо).

Важливого значення зараз набуло вивчення тріщинуватості, кавернозності та кількісна оцінка структури пустотного простору порід нафтогазових комплексів. Окрім того, багато уваги приділяється ємнісним властивостям складнопобудованих колекторів нафти та газу, які вивчати традиційними геофізичними методами досить важко. Це пов'язано зі складною структурою пустотного простору та відсутністю надійних методик визначення розподілу пустот різних видів за геофізичними даними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На даний час є декілька різних підходів до вивчення низькопористих складнопобудованих колекторів: за допомогою даних петрофізичних досліджень зразків керна та методів геофізичних досліджень свердловин.

Важливу інформацію про характер порід-колекторів одержують у процесі буріння при оцінці швидкості проходки, витрат промивної рідини та змін кута нахилу свердловини [11-12]. Серед методів геофізичних досліджень свердловин (ГДС) одними з перших почали використовувати електричні методи. Серед прямих методів себе добре зарекомендував метод двох розчинів, у основі якого лежить вимірювання питомого електричного опору при заповненні свердловини розчинами, що мають різну мінералізацію і, відповідно, різний питомий опір [7]. Одним з різновидів цього методу є визначення тріщинної пористості порід у свердловинах, що бурять-ся на промивній рідині на вуглеводневій основі. При підході до досліджуваного інтервалу змінюють мінералізацію розчину, а після розкриття інтервалу проводять індукційний каротаж [4]. Для визначення пористості тріщинно-кавернозних порід застосовуються методи гамма-каротажу та нейтронного гамма-каротажу. Критеріями при виділенні колекторів слугують коефіцієнти глинистості та пористості [1]. Важливе місце для оцінки наявності тріщинуватості має й акустичний каротаж – у більшості випадків при його інтерпретації на поздовжніх хвилях відмічається значне затухання амплітуд і зростання інтервального часу пробігу на тріщинуватих ділянках [10] . При інтерпретації даних акустичного широкосмугового каротажу (АКш) використовується повний хвильовий пакет, що дозволяє окремо визначати коефіцієнти тріщинуватості та кавернозності за даними ефективної стискуваності колектора, матриці та тріщин (каверн) [10, 13].

У роботах С.А. Вижви, Г.Т. Продайводи запропоновано модель складнопобудованого колектора, числовий метод розрахунків ефективних пружних сталих колекторів зі спектром хаотично орієнтованих пустот різних форматів. Також багато для вивчення складнопобудованих колекторів за даними ГДС зробили Я.Н. Басін, Б.Ю. Вендельштейн, К.Р. Девіс, О.М. Карпенко, В.М. Курганський, В.А. Новгородова, В.І. Петерсільє та ін.

Петрофізичні дослідження відіграють не менш важливу роль при вивченні низькопористих складнопобудованих колекторів. Прямі методи, які використовуються для кількісної оцінки структури пустотного простору та вивчення властивостей складнопобудованих колекторів, це – растрова електронна мікроскопія та оптична мікроскопія, методи напівпроникної мембрани, ртутної та вод-

© Безродна І., Шинкаренко А., 2015

ної порометрії, капілярометричних досліджень із використанням центрифугування, рентгенівської мікротомографії [10] тощо. Всі названі методи безпосередньо вивчають пустотний простір, але більшість з них є достатньо складними в реалізації, крім того, вони не дають оцінки інтегральних ємнісних характеристик колекторів.

Серед опосередкованих методів найбільш інформативними є акустичні, що базуються на дослідженні залежностей швидкостей поширення пружних хвиль від ємності пустотного простору, форми окремих пустот, орієнтації мікротріщин тощо. Комплексування перофізичних досліджень дає змогу вивчити структуру пустотного простору, дослідити фізичні властивості зразків, поведінку електричних та акустичних параметрів в умовах високих тисків і температур, які моделюють пластові умови тощо. Результати опосередкованого вивчення фізичних властивостей порід-колекторів на зразках керна, структури їхнього пустотного простору висвітлено в роботах багатьох дослідників: Г.М. Авчяна, І.М. Безродної, Б.Ю. Вендельштейна, С.А. Вижви, В.М. Дахнова, В.М. Добриніна, С.С. Ітенберга, М.Ю. Нестеренка, Г.Т. Продайводи, Г.А. Шнурмана та ін. Для їх досліджень застосовувалися акустичні методи вимірювання швидкостей розповсюдження пружних хвиль і затухання як в атмосферних умовах, так і в змодельованих пластових умовах. Встановлено кореляційну залежність між коефіцієнтом пористості та інтервальним часом пробігу пружних хвиль у колекторах порового типу, кореляційні залежності між іншими параметрами порід та вплив змінного об'ємного тиску й температури на параметри породи. Однак, внесок різних типів пористості в загальну практично є складною проблемою, найбільші перспективи у цьому напрямку пов'язуються авторами з комбінуванням даних ГДС та петрофізики.

Цілі та задачі роботи. Авторами проведені дослідження керну та матеріалів ГДС свердловини № 3А Зарічної площі Дніпровсько-Донецької западини з метою оцінки перспективності пластів як низькопористих колекторів вуглеводнів на основі вивчення структури їх пустотного простору.

Для цього було поставлено такі задачі:

1. Проведення комплексу петрофізичних досліджень зразків керну, обробка та аналіз отриманих даних;
2. Обробка та інтерпретація каротажних даних для інтервалів відбору зразків керну;
3. Кількісна оцінка структури пустотного простору пластів за даними ГДС та петрофізики;
4. Оцінка внеску пористості різного типу в загальну для кожного зразка та інтервалу досліджень;
5. Виявлення ймовірних низькопористих колекторів серед досліджуваних зразків та інтервалів.

Колекція зразків. У даній роботі для дослідження було обрано зразки Зарічної площі (південний борт Дніпровсько-Донецької западини) зі свердловини № 3А (інтервал глибин 3010-3022 м). Представлені зразки переважно пісковиками та вапняками. При літолого-петрографічному вивченні зразків було проведено макро- й мікропетрографічні дослідження, які включали в себе визначення текстурно-структурних характеристик породи та її мінералогічного складу. Усі експериментальні дослідження проводилися в лабораторіях ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Вивчення структури пустотного простору було проведено за даними петрофізичних досліджень та за результатами інтерпретації даних ГДС по свердловині Зарічна 3А (інтервал 3007,4-3030 м).

Методика досліджень. Зв'язки між ємнісно-фільтраційними характеристиками та даними свердловинних і польових геофізичних методів є доволі складними та потребують ретельного вивчення.

Основою для вивчення цих зв'язків є комплекс лабораторних петрофізичних досліджень. Комплекс проведених експериментальних лабораторних досліджень виконувався на стандартній та оригінальній апаратурі Петрофізичної лабораторії ННІ "Інститут геології" [5] та включав визначення таких параметрів гірських порід:

1) група густинних властивостей: об'ємна густина газо-, нафто- та водонасичених порід;
2) група фільтраційно-ємнісних властивостей: коефіцієнт відкритої пористості газо-, нафто- та водонасичених порід, коефіцієнт залишкового водонасичення, коефіцієнт абсолютної газопроникності;
3) група акустичних і пружних властивостей: швидкості поширення поздовжніх хвиль газо-, нафто- та водонасичених порід;
4) група електричних властивостей: питомий електричний опір газо-, нафто- та водонасичених порід.

Загалом проведено чотири цикли вимірювання: після екстрагування зразків у хлороформі, спиртобензольній суміші, насичення розчином NaCl та гасом [6].

Одними з найінформативніших параметрів для визначення петрофізичних властивостей гірських порід є питомий електричний опір та швидкість поширення пружних хвиль, які визначалися не лише в атмосферних умовах, а й в умовах змінного гідростатичного тиску. Для експериментальних досліджень в умовах високих тисків використовувалася оригінальна установка. Процес лабораторного дослідження проходив при збільшенні тиску від 1 до 60 МПа та зворотно при його зменшенні до 1 МПа [2].

Для виконання поставлених у роботі задач було виконано обробку даних ГДС для інтервалу 3007,4-3030 м свердловини № 3А Зарічної площі у програмному забезпеченні "Геопошук". База даних каротажних кривих включала результати вимірювань таких методів: кавернометрія, акустичний каротаж (АК), метод самочинної поляризації, радіоактивний каротаж – гамма-каротаж (ГК), нейтронний гамма-каротаж (НГК) та гамма-гамма каротаж густинний (ГГКг), електричний каротаж набором градієнт-, потенціал- та мікропотенціал зондами, боковий каротаж (БК), мікробоковий каротаж (МБК). Інтерпретація матеріалів ГДС була проведена згідно з загальноприйнятими методиками в системі "Геопошук".

Визначення структури пустотного простору за даними ГДС та петрофізики виконувалось за оригінальною методикою, розробленою на кафедрі геофізики ННІ "Інститут геології" [3], за якою проводилась інверсія даних акустичних досліджень в структуру пустотного простору на основі методів найменших квадратів із використанням методів нелінійної оптимізації та умовних моментів [2].

Результати досліджень. У результаті інтерпретації даних ГДС інтервалу глибин свердловини Зарічна 3А (3007,4-3030 м) геологічний розріз було розчленовано на шари, визначено пористість пластів та проінтерпретовано зі створенням літологічної колонки. Найбільш інформативними було визначено дані БК, МКЗ, НГК, які стали основою виділення прошарків (табл. 1). За каротажними кривими більшості методів розріз складнодиференційований. Це може бути пов'язано з кавернозністю стінок свердловини. За стандартною інтерпретацією даних ГДС встановлено низьку пористість порід (6,77-11,15%), але пласти-колектори впевнено виділені не були.

Таблиця 1

Параметри пластів для інтервалу 3007,4-3030 м свердловини Зарічна 3А

№	Глибина покрівлі, м	Глибина підошви, м	ΔТ за АК, 10^{-6} с/м	Густина за ГГКг, кг/м^3	$К_п$, %	$К_{гл}$, %
1	3007,4	3008,7	225,7	2510	6,77	13,76
2	3008,7	3010,7	234	2640	9,29	15,63
3	3010,7	3012,7	232,6	2550	10,28	20,75
4	3012,7	3014,9	237,8	2590	11,15	19,29
5	3014,9	3016,7	231,7	2620	6,62	21,08
6	3016,7	3018,7	229,7	2620	9,42	12,11
7	3018,7	3021,9	258,4	2550	10,42	47,77
8	3021,9	3024,5	236	2580	8,21	20,25
9	3024,5	3027,1	233,6	2590	10,55	26,59
10	3027,1	3029,3	232,7	2530	8,76	18,88
11	3029,3	3030	235,9	2470	8,44	24,68

За наведеним комплексом петрофізичних досліджень було отримано такі результати для екстрагованих та насичених моделлю пластової води (мінералізована вода) та нафти (гас) зразків за такими групами параметрів:

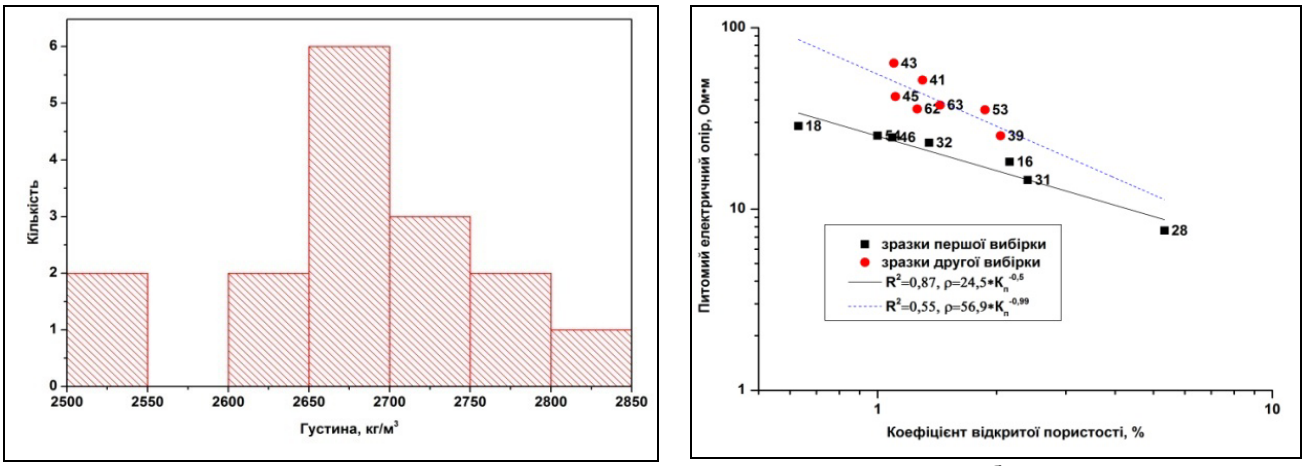
- густина екстрагованих та насичених зразків (в межах 2430-3120 кг/м^3); для карбонатних порід значення вищі, ніж для теригенних;
- коефіцієнт відкритої пористості – від 1 до 8% для різних зразків; для пісковиків характерні більші коефіцієнти пористості, ніж для вапняків;
- абсолютна газопроникність в межах 0,01-57 фм^2,
- швидкість поздовжніх хвиль змінюється від 3000 до 4500 м/с для пісковиків та від 3600 до 5400 м/с для вапняків; при насиченні пустот моделлю пластової води Vp зростає в середньому на 1130 м/с, а при насиченні моделлю нафти – на 1090 м/с;
- електричні параметри: значення питомого електричного опору змінюються в межах $2{,}4\cdot10^2 \div 3{,}5\cdot10^5$ Ом·м для порід після екстрагування та 3,6÷63,7 Ом·м для зразків, насичених моделлю пластової води; параметр пористості змінювався від 36 636 відн. од.

Авторами досліджувалися гістограми розподілу значень петрофізичних параметрів газо-, водо- та нафтонасичених зразків різного літологічного складу, за якими можна було якісно виділити окремі групи порід (приклад наведений на рис. 1а). Але такий аналіз не характеризує виділені групи порід за геологічними та колекторськими ознаками.

Авторами було проведено статистичні дослідження та пошуки кореляційних залежностей між різними властивостями гірських порід. За отриманими результатами було проведено кластерний аналіз параметрів усіх зразків та розділення їх на групи (приклад виділення двох вибірок для зразків вапняків наведений на рис. 1б).

Залежності між групами параметрів можна охарактеризувати таким чином:

1. Залежність між густиною та пористістю для усіх груп зразків апроксимується гіперболічною функцією з величиною достовірності апроксимації (R^2) для пісковиків – 0,65, для вапняків – 0,88;
2. Абсолютна газова проникність лінійно залежить від коефіцієнта відкритої пористості з R^2 для пісковиків – 0,95, для вапняків – 0,54 та 0,94;
3. Для швидкості поздовжніх хвиль та густини характерна лінійна залежність, а із коефіцієнтом відкритої пористості для швидкості характерна обернена лінійна або гіперболічна залежність з R^2 для пісковиків – 0,41, для вапняків – 0,56 та 0,84;
5. Логарифм питомого електричного опору пов'язаний з густиною лінійною залежністю з додатнім коефіцієнтом кореляції, а з коефіцієнтом пористості – лінійною залежністю з від'ємним коефіцієнтом кореляції (з R^2 для пісковиків – 0,64 і 0,55, для вапняків – 0,55 та 0,87);
6. Між питомим електричним опором та швидкістю поздовжніх хвиль було встановлено пряму лінійну залежність з R^2 для пісковиків 0,84, для вапняків – 0,5 та 0,9;
7. Між параметром насичення та коефіцієнтом водонасичення – гіперболічна залежність з R^2 для вапняків 0,89.



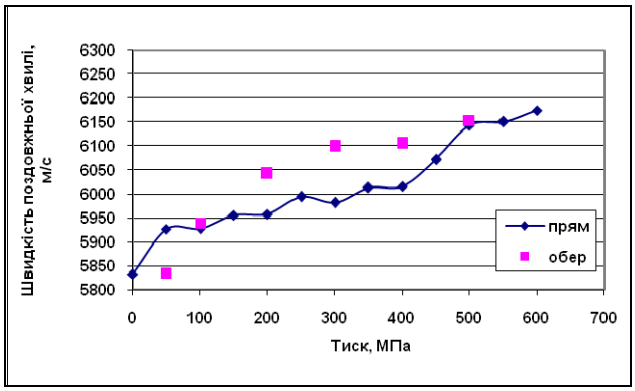
а б

Рис. 1. Приклад виділення вибірок серед зразків вапняків, насичених розчином NaCl:
а – гістограма розподілу зразків вапняків за густиною,
б – на основі дослідження залежності електричного опору від коефіцієнта відкритої пористості

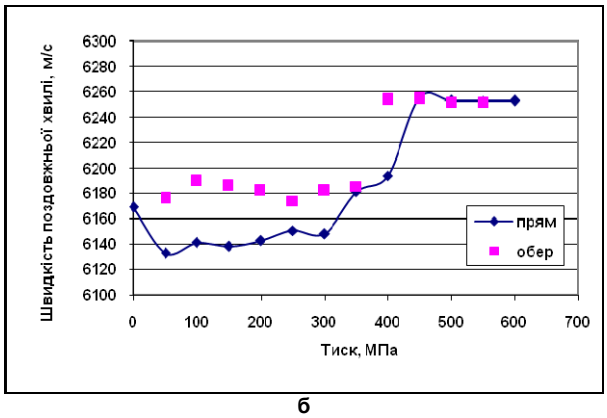
Зразки вапняків за результатами кластерного аналізу було розділено на дві підвибірки, що значно підвищило значення коефіцієнтів кореляції між багатьма параметрами. Проте, літологічно та геохімічно між ними

ніякої різниці встановлено не було. Тому був зроблений висновок, що зразки були виділені за комплексом властивостей, які попередньо встановити не вдалося, і, скоріше за все, основним фактором, що викликав їх розділення, є особливості структури пустотного простору.

Для якісної оцінки структури пустотного простору зразків керну в пластових умовах був проведений аналіз швидкості поздовжніх хвиль та електричного опору залежно від прикладеного до них тиску. Аналіз зміни швидкості пружних хвиль та електричного опору зі зміною гідростатичного тиску надав можливість зробити висновки про зміни структури пустотного простору зразків під час змін тисків, якісно оцінити наявність пустот різних форматів, зокрема, – ізометричних та тріщин, а також у деяких випадках – встановити наявність кількох систем тріщин у зразках або зміну типу їх пористості на певному етапі стискування. Встановлено, що зразки однакового літологічного складу можуть мати різну структуру пустотного простору, що ілюструвалося різними типами кривих стискування та тискового розвантаження зразків (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Залежність швидкостей пружних хвиль від гідростатичного тиску (прямий та обернений хід) для зразків вапняків: а – зразок № 18а, б – зразок № 24

Для кількісної оцінки структури пустотного простору було використано дані вивчення швидкості поздовжніх хвиль та коефіцієнту відкритої пористості на зразках керну та дані геофізичних досліджень свердловин – АК, НГК, ГГКг, ГК тощо.

За результатами обробки наявної петрофізичної інформації та використання оригінального програмного забезпечення [2-3, 5], для колекції зразків було кількісно визначено структуру їх пустотного простору (рис. 3). Встановлено, що розглянуті пісковики у своєму складі практично не мають пустот тріщинного типу, тільки в двох зразках, № 12 та 55, коефіцієнт тріщинної пористості ($К_{п\ тріщ}$) складає 0,85% та 0,75% відповідно (формат пустот 0,000849). Пустотний простір органогенно-детритових вапняків складений тільки міжзерновими (формат пор 0,9) та перехідними вторинними (формат пустот 0,5) пустотами. Доломітизовані вапняки, крім двох зразків (№ 43 та 58), у своєму складі мають тріщинні пустоти у кількості від 0,63% до 1,05%, навіть при наявності низької загальної пористості. Таким чином, можна стверджувати, що з колекції низькопористих зразків Зарічної площі (інтервал глибин 3010-3022 м) можна вважати ущільненими колекторами тільки доломітизовані вапняки та деякі пісковики.

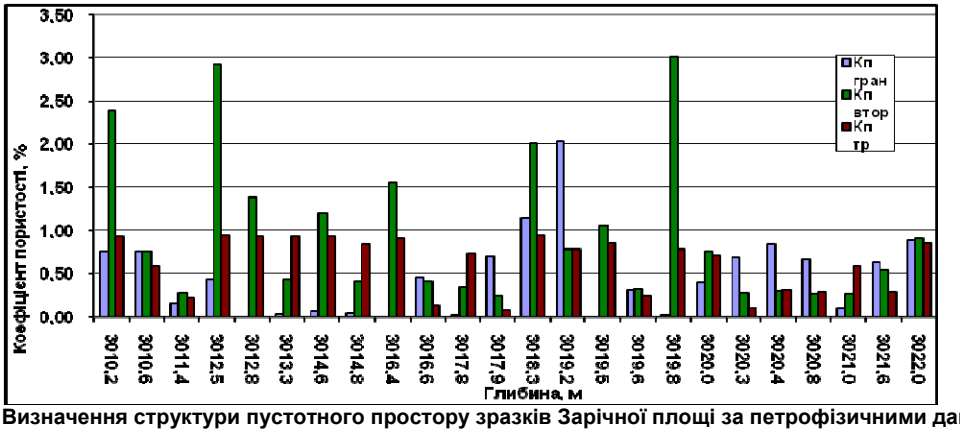


Рис. 3. Визначення структури пустотного простору зразків Зарічної площі за петрофізичними даними

За каротажними даними також було проведено оцінку структури пустотного простору для досліджуваного інтервалу глибин свердловини Зарічна 3А (3007,4-3030 м). За результатами обробки даних каротажу, в попластовому режимі було обчислено криві значень коефіцієнтів глинистості (за даними ГК) та пористості (за даними АК і НГК), а за даними АК було визначено швидкість пружних хвиль. Загальна пористість порід досліджуваного інтервалу ($К_{п\ заг}$) коливається в межах 6,62-11,15%. У результаті обробки отриманих даних в оригінальному програмному забезпеченні встановлено (рис. 4.), що у розрізі загалом переважаючими у пластах є гранулярна ($К_{п\ гран}$) та вторинна ($К_{п\ втор}$) пористість.

Вторинна пористість більша за гранулярну в інтервалах 3008,7-3010,7 м, 3010,7-3012,7 м, 3014,9-3016,7 м, 3021,9-3024,5 м, 3024,5-3027,1 м, 3027,1-3029,3 м, 3029,3-3030 м. Тріщинна пористість присутня у всіх пластах, крім 3014,9-3016,7 м, і становить більше, ніж 0,5%, що є цікавим для подальшого дослідження з урахуванням впливу глинистості на наявного розподілу пустот.

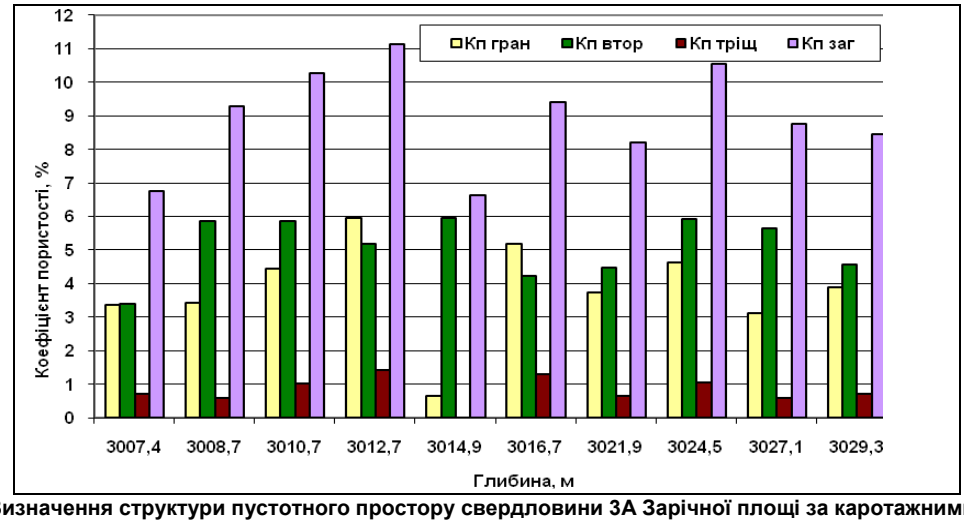


Рис. 4. Визначення структури пустотного простору свердловини 3А Зарічної площі за каротажними даними

Встановлено, що за каротажними даними наявні інтервали з доволі високою тріщиною пористістю, зокрема, інтервали: 3010,7-3012,7 м, 3012,7-3014,9 м, 3016,7-3021,9 м та 3024,5-3027,1 м. Літологічно перші три відповідають вапнякам, а останній – глинистому пісковику. Ці інтервали за структурою пустотного простору за достатньої проникності можуть бути оцінені як перспективні породи-колектори.

Висновки та перспективи розвитку напрямку. У роботі були проведені дослідження та аналіз мінералогічних, петрофізичних та геофізичних властивостей зразків та пластів Зарічної площі південного борту ДДЗ (інтервал – 3007,4-3030 м), які потенційно можуть бути перспективними як низькопористі колектори нафти та газу. Досліджені породи літологічно представлені двома групами – вапняками різного складу та пісковиками.

За стандартним аналізом каротажних даних та даних петрофізики встановлено повну невідповідність висновків: за даними петрофізики породи не можуть бути визнані як перспективні при пошуках нафти та газу, тоді як за даними ГДС пласти вапняків та деяких пісковиків інтерпретуються як низькопористі колектори, але, в свою чергу, перспективність їх кількісно не визначається.

Проведений комплексний аналіз результатів досліджень акустичних властивостей в умовах змінних тисків, в атмосферних умовах надав можливість якісно визначити особливості структури пустотного простору порід.

На основі оригінальної методики визначення структури пустотного простору під час аналізу результатів як петрофізичних досліджень (швидкість поздовжніх хвиль, коефіцієнт пористості, густина), так і даних ГДС (АК, НГК, ГГК$_Г$), було оцінено кількісний розподіл пустот різних форматів для колекції зразків керну та для пластів порід в інтервалі 3007,4-3030 м свердловини Зарічна 3А Зарічної площі.

За даними петрофізичних досліджень було визначено, що розглянуті пісковики у своєму складі практично не мають пустот тріщинного типу ($К_{п\ тріщ}$ складає менше за 0,5%). Пустотний простір органогенно-детритових вапняків складений, в основному, міжзерновими та вторинними пустотами. Доломітизовані вапняки переважно у своєму складі мають тріщинні пустоти у кількості від 0,71% до 0,95%, навіть за наявності низької загальної пористості. Таким чином, можна стверджувати, що з колекції низькопористих зразків Зарічної площі (інтервал глибин 3010-3022 м) можна вважати ущільненими колекторами тільки, переважно, доломітизовані вапняки.

За даними ГДС встановлено, що у досліджуваному інтервалі свердловини за структурою пустотного простору пласти з доволі високою тріщинною пористістю (3010,7-3012,7 м, 3012,7-3014,9 м, 3016,7-3021,9 м та 3024,5-3027,1 м) за достатньої проникності можуть бути оцінені як перспективні породи-колектори.

Отже, у результаті комплексних досліджень було визначено, що даний інтервал Зарічної площі містить ущільнені низькопористі колектори, які представлені, переважно, тріщинними доломітизованими вапняками.

Перспективою подальших досліджень за даною тематикою порід Зарічної та подібних площ є проведення дослідних робіт з урахуванням анізотропії. Вимірювання акустичних властивостей порід на зразках куборомбододекаедрів додатково дасть можливість визначити як акустичну, так і пружну анізотропію на основі розрахунку повної матриці пружних сталих, що більш повно розкриє природу подібних порід та дасть можливість більш надійно трактувати перспективність ущільнених порід-колекторів у цілому. Результати представлених досліджень можуть бути використані для визначення перспективності порід різного літологічного складу та складності пустотного простору при вивченні їх нафтогазоносності.

Список використаних джерел

1. Аракчеев Н.Т., Бондарь В.В., Могилевич М.В., (1981). Способ определения пористости трещинно-кавернозных карбонатных пород. А.с. 635843. Бюл. № 11.

Arakcheev N.T., Bondar V.V., Mogilevich M.V., (1981). Sposob opredelenija poristosti treshhinno-kavernoznyh karbonatnyh porod. A.s. 635843. Bjul. 11. (In Russian).

2. Безродна І.М., (2014). Оцінка структури пустотного простору карбонатних порід за результатами акустичних досліджень в умовах змінного тиску. – Вісник НГУ, 3. – С. 21-25.

Bezrodna I.M., (2014). Otsinka struktury pustotnoho prostoru karbonatnykh porid za rezultatamy akustychnykh doslidzhen v umovakh zminnoho tysku. – Visnyk NHU, 3. – P. 21-25. (In Ukrainian).

3. Безродна І.М., (2013). Прогноз продуктивності порід-колекторів нафти і газу за результатами інверсії акустичних даних ГДС або петрофізики. Нетрадиційні джерела вуглеводнів в Україні (пошуки, розвідка, перспективи): Матер. міжнар. наук. конф. – К. – С. 83-85.

Bezrodna I.M., (2013). Prohnoz produktyvnosti porid-kolektoriv nafty i hazu za rezul'tatamy inversiyi akustychnykh danykh HDS abo petrofizky. Netradytsiyni dzherela vuhlevodniv v Ukrayini (poshuky, rozvidka, perspektyvy): Materialy Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi. – Kyiv. – P. 83-85. (In Ukrainian).

4. Боярчук А.Ф., Шнурман Г.А., Брайловский А.Л., Гольдерберг И.С., (1987). Способ определения трещинной пористости пород. А.с. 1350643. Бюл. № 41.

Bojarchuk A.F., Shnurman G.A., Brajlovskij A.L., Golderberg I.S., (1987). Sposob opredelenija treshhinnoj poristosti porod. A.s. 1350643. Bjul. 41. (In Russian).

5. Вижва С.А., Безродна І.М. та ін., (2011). Комплексні геолого-петрофізичні дослідження складнопобудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину: Звіт з НДР. – К. – 594 с.

Vyzhva S.A., Bezrodna I.M. et al., (2011). Kompleksni heoloho-petrofizychni doslidzhennya skladnopobudovanykh porid-kolektoriv skhidnoho skhylu Lvivskoho paleozoyskoho prohynu: Zvit z NDR. – Kyiv. – 594 p. (In Ukrainian).

6. Вижва С.А., Онищук І.І. та ін., (2008). Комплексні детальні петрофізичні та геохімічні дослідження керну інтервалу 3010,0-3022,3 м пошукової свердловини № 3а Зарічної площі: Звіт з НДР. К.

Vyzhva S.A., Onyshchuk I.I. et al., (2008). Kompleksni detalni petrofizychni ta heokhimichni doslidzhennya kernu intervalu 3010,0-3022,3 m poshukovoyi sverdlovyny № 3a Zarichnoyi ploschi: Zvit z NDR. Kyiv. (In Ukrainian).

7. Дахнов В.Н., (1975). Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. – М. – 343 с.

Dahnov V.N., (1975). Geofizicheskie metody opredelenija kollektorskih svojstv i neftegazonasyschenija gornyh porod. – Moscow. – 343 p. (In Russian).

8. Добрынин М.М., (1991). Изучение сложных карбонатных коллекторов. – Геология нефти и газа, 5. – С. 30-34.

Dobrynin M.M., (1991). Izuchenie slozhnyh karbonatnyh kollektorov. – Geologija nefti i gaza, 5. – P. 30-34. (In Russian).

9. Еременко Н.М., Муравьева Ю.А., (2012). Применение методов рентгеновской микротомографии для определения пористости в керне скважин. – Нефтегазовая геология. Теория и практика, 7, 3.

Eremenko N.M., Muravyeva Yu.A., (2012). Primenenie metodov rentgenovskoj mikrotomografii dlja opredelenija poristosti v kerne skvazhin. – Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika, 7, 3. (In Russian).

10. Ивакин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л., (1978). Акустический метод исследования скважин. – М. – 320 с.

Ivakin B.N., Karus E.V., Kuznecov O.L., (1978). Akusticheskij metod issledovanija skvazhin. – Moscow. – 320 p. (In Russian).

11. Котяхов В.И., (1977). Физика нефтяных и газовых коллекторов. – М. – 287 с.

Kotjahov V.I., (1977). Fizika neftjanyh i gazovyh kollektorov. – Moscow. – 287 p. (In Russian).

12. Лукьянов Э.Е., (1979). Исследование скважин в процессе бурения. – М. – 248 с.

Lukyanov Ye.E., (1979). Issledovanie skvazhin v processe burenija. – Moscow. – 248 p. (In Russian).

13. Schön J.H., (2011). Physical properties of rocks. – 494 p.

Надійшла до редколегії 23.03.15

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol), Senior Scientist
E-mail: bezin3@ukr.net;

A. Shynkarenko, Student
E-mail: anastasiia.nesterenko@gmail.com
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

ESTIMATION OF VOID SPACE STRUCTURE OF ZARICHNA AREA POOR-POROUS ROCKS BASED ON PETROPHYSICAL AND GEOPHYSICAL STUDIES

The authors have conducted the investigation of rock samples and well logging data for the layers of Zarichna 3A well (located in Zarichna area of Dnieper-Donets basin) in order to estimate their prospectivity as poor-porous reservoirs of oil and gas on the basis of their void space structure studies. A set of petrophysical studies of gas-, oil- and water-saturated rocks was conducted at the petrophysical lab of the Institute of Geology including investigations under the alternating pressure conditions. Statistical analysis of density, electrical, filtration and storage, acoustic properties was done. Geophysical well logging data interpretation was performed using "Geopoisk" software. The database of well logs included the results of caliper, acoustic, electrical and radioactive logging.

Assessment of void space structure on the basis of well logging and petrophysical data was conducted using the original method of inversion of acoustic investigations data into the structure of void space. This method is based on the least square method with use of both nonlinear optimization and conditional moment methods. During the standard analysis of petrophysical and geophysical well logging data total mismatch of conclusions was found: rocks determined as poor-porous reservoirs on the basis of well logging data did not show the same result for the petrophysical studies.

Complex analysis of results of the acoustic properties measurements under the alternating pressure conditions made possible the qualitative analysis of rocks' void space structure.

Authors have made quantitative assessment of distribution of voids of different formats for the collection of core samples and rock layers. According to the petrophysical investigations data, it was found that void space of studied sandstones almost does not contain fracture-like voids, the void space of organogenic-detrital limestones consists mostly of granular and secondary voids, dolomite limestones include mostly fracture-like voids (0.71% - 0.95%). From the geophysical well logging data it was revealed that among the studied rock layers of well there are four carbonate layers which can be defined as perspective reservoir rocks with high fracture porosity. As a result of complex investigations it was found that studied interval of the well contains compacted poor-porous reservoirs presented mostly by fractured dolomite limestone.

The perspective for the future studies of Zarichna area samples and similar areas is to extend current investigations by including anisotropy data which are planned to be measured in the Institute of Geology. The results of this work can be used for the determination of prospectivity of rocks with different lithology and complexity of void space during their petroleum potential studies.

Keywords: Reservoir rock, void space structure, petrophysics, geophysical well logging.

И. Безродная, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.
E-mail: bezin3@ukr.net;

А. Шинкаренко, студ.
E-mail: anastasiia.nesterenko@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА НИЗКОПОРИСТЫХ ПОРОД ЗАРЕЧНОЙ ПЛОЩАДИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Авторами проведены исследования керна и анализ материалов геофизических исследований скважин (ГИС) скважины № 3А Заречной площади Днепровско-Донецкой впадины с целью оценки перспективности пластов как низкопористых коллекторов углеводородов на основе изучения структуры их пустотного пространства. Комплекс петрофизических исследований газо-, нефте- и водонасыщенных пород проводился в Петрофизической лаборатории УНИ "Институт геологии", в том числе, в условиях переменных давлений. Выполнена статистическая обработка плотностных, электрических, фильтрационно-емкостных и акустических параметров. Интерпретация данных ГИС была осуществлена с помощью программного обеспечения "Геопоиск". База данных каротажных кривых включала результаты измерений кавернометрии, акустических, электрических и радиоактивных методов. Определение структуры пустотного пространства по данным ГИС и петрофизики проводилось по оригинальной методике инверсии данных акустических исследований в структуру пустотного пространства на основе методов наименьших квадратов с использованием методов нелинейной оптимизации и условных моментов.

По стандартному анализу каротажных данных и материалов петрофизики установлено полное несоответствие выводов: породы по данным ГИС определены как низкопористые коллекторы, что по данным петрофизики не подтвердилось.

Проведенный комплексный анализ результатов исследований акустических свойств в условиях переменных давлений предоставил возможность качественно определить особенности структуры пустотного пространства пород. Авторами было оценено количественное распределение пустот различных форматов для коллекции образцов керна и для пластов пород. По данным петрофизических исследований было определено, что рассмотренные песчаники в своем составе практически не имеют пустот трещинного типа; пустотное пространство органогенно-детритовых известняков состоит, в основном, из межзерновых и вторичных пустот; доломитизированные известняки, преимущественно, в своем составе имеют трещинные пустоты (0,71%-0,95%). По данным ГИС определено, что в исследованном интервале скважины по структуре пустотного пространства могут быть оценены как перспективные породы-коллекторы четыре карбонатных пласта с высокой трещинной пористостью.

Установлено в результате комплексных исследований, что данный интервал скважины содержит уплотненные низкопористые коллекторы, которые представлены, преимущественно, трещинными доломитизированными известняками.

Перспективой дальнейших исследований по изучению пород Заречной и подобных площадей является проведение исследовательских работ с учетом анизотропии, которые планируется провести на базе УНИ "Институт геологии". Результаты представленных исследований могут быть использованы для определения перспективности пород различного литологического состава и сложности пустотного пространства при изучении их нефтегазоносности.

Ключевые слова: порода-коллектор, структура пустотного пространства, петрофизика, геофизические исследования скважин.