

УДК 550.834+550.34.016+550.34.013.4

І. Безродна, канд. геол. наук,
О. Демченко, студ.

ВИВЧЕННЯ АКУСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД В УМОВАХ ЗМІННОГО ТИСКУ (НА ПРИКЛАДІ СВЕРДЛОВИН ВОЛИНО-ПОДІЛЬСЬКОГО РЕГІОНУ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Вивчено закономірності зміни акустичних властивостей кембрійських та девонських теригенних порід свердловин Волино-Поділля в залежності від прикладеного тиску. Розраховані значення швидкостей позовжніх хвиль зразків для глибин їх відбору. Виділено окремі групи порід, що корелюються за акустичними, ємнісними та петрографічними параметрами. Якісно визначено структуру пустотного простору порід.

The regularities of changes in acoustic properties of the Carboniferous and Devonian terrigenous rocks wells Volyn-Podolia, depending on the applied pressure. The value of longitudinal wave velocities for the depth of selection calculated. There are separate groups of species that correlated with acoustic, emptiness and petrographic parameters. Qualitatively determined the structure of hollow space rocks.

В період, коли видобуток нафти і газу в світі з кожним днем зростає, необхідно приділити важливу увагу тим родовищам, на яких з тих чи інших причин, не було отримано продуктивних притоків флюїду.

Питання реалізації нерозвіданої частини ресурсів Волино-Поділля пов'язане насамперед з фондом нафтогазоперспективних об'єктів, зокрема його резервом – виявленими й підготовленими структурами. Для подальшого вивчення перспектив нафтогазоносності Волино-Поділля необхідно насамперед посилити геофізичні роботи з виявлення й підготовки об'єктів у різних перспективних комплексах даного регіону [6]. Саме тому постає проблема повторного дослідження властивостей порід, які можуть бути визнані продуктивними за допомогою сучасних петрофізичних методів дослідження, вимірювальної апаратури, методів інтерпретації геофізичних даних.

Метою даної роботи є вивчення закономірностей зміни акустичних властивостей кембрійських теригенних порід сьоми свердловин Волино-Поділля в залежності від прикладеного тиску для використання результатів досліджень при оцінці перспективності порід-колекторів.

Стан проблеми Відомо, що швидкість пружних хвиль в мінералах за високих тисків змінюється згідно з їх кристалічною структурою в особливих напрямках, якими є вісі симетрії або перпендикуляри до площини симетрії [1, 4].

Різке зростання швидкості в гірських породах за невеликих тисків обумовлено ліквідацією мікротріщинних дефектів. За тисків вище 200 МПа швидкість зростає повільно, в інтервалі від 200 до 1500 МПа вона зростає лише на 3–8 % [5, 7].

З ростом тиску здатність стискання пустот зменшується, тобто збільшується пружність породи, що призведе до зростання швидкості. Чим вища пористість порід, тим більша зміна пружності породи, що пов'язано

зі зменшенням здатності пустот до стискання при збільшенні тиску.

Встановлено [7], що при впливі зовнішнього тиску до 250 МПа на зразок, швидкість позовжніх хвиль, при збільшенні тиску, зростає, причому основна її зміна спостерігається в діапазоні зміни тиску від атмосферного до 50–100 МПа. При подальшому зростанні тиску градієнт збільшення швидкості зменшується, і графік швидкості часто прямує до асимптоти. Але вплив тиску на швидкість для порід з різною структурою та складом також є різним. При збільшенні тиску до 250 МПа швидкість в залежності від типу породи збільшується від 5–10 % до 80–100 %.

При вивченні пісковиків та їх більш мілкозернистих різновидів (алевролітів) важливе значення має мінеральний склад та структура цементу порід, оскільки ці фактори визначають поведінку в процесі деформації. Мінімальна зміна швидкості зі збільшенням тиску спостерігається в уламкових породах, зцементованих кварцовим або кременистим цементом, а найбільші – глинистим. Для уламкових порід, що зцементовані кварцовим або кременистим цементом, стискання пустот мінімальне, внаслідок чого зміна швидкості від тиску також повинна бути мінімальна. Пісковики та алевроліти, в яких цемент глинистий базального та контактового типу, мають більш високі значення стискання пустот та, відповідно, за однакової пористості з пісковиками, що зцементовані опаловим цементом, будуть мати менші значення V_p та більший діапазон зміни V_p в залежності від зміни тиску.

Серед домішок осадових порід найменшу швидкість мають глини. Причина полягає в тому, що зерна глинистих мінералів дуже тонкодисперсні і, як наслідок цього, глини мають високу пористість. Як відомо, кристалічна решітка глинистих мінералів складається із пакетів, зв'язки між якими слабкіші.

Відомо, що зміна швидкості, обумовлена збільшенням тиску від атмосферного до 150 МПа, для осадових порід збільшується зі збільшенням пористості, причому пропорційна величині пористості [5].

Методика петрофізичних досліджень Для експериментальних петрофізичних досліджень використовувалась установка ультрависоких тисків, яку було сконструйовано на геологічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка [1, 3]. Установка дає можливість при зміні тиску від 1 атм. до 600 атм. вимірювати швидкості пружних хвиль та електричний опір зразків.

Принцип знаходження швидкостей пружних хвиль полягає в тому, що в камеру установки поміщається зразок, що насичений моделлю пластової води, та затискається між двома ультразвуковими датчиками; через визначений інтервал часу, хвилин в установці змінюється

тиск та вимірюється частота проходження пружної хвилі через зразок. Після цього, на основі наявних даних – довжина зразка та частота проходження пружної хвилі – визначаємо швидкість поздовжньої хвилі [1, 3].

Процес дослідження можна розділити на два етапи. Під час першого етапу тиск збільшується від 1 атм. на 50 атм. до 600 атм., а під час другого – зменшується від 600 до 1 атм.

Результати дослідження В процесі досліджень було проведено вимірювання 37 зразків-пісковиків, що датуються віком кембрію та девону, свердловин Волино-Поділля (табл. 1): визначено швидкості поздовжніх хвиль та коефіцієнт відкритої пористості при змінних тисках, а також розраховано ці параметри для певних глибин відбору зразків Володимирської, Великомошківської, Добротвірської, Лудинської, Сокальської та Сушнівської площ.

Таблиця 1

Характеристика зразків, що було відібрано для аналізу досліджень пружних властивостей в умовах високого тиску

Площа	№ зразка	Глибина відбору, м	Вік	Літологія	Швидкість в атмосфер. умовах, м/с	В пластових умовах			
						Температура, °C	Тиск, кГс/см ²	Швидкість, м/с	K _п , %
Володимирська	Вл_4	2525	Є	Пісковик дрібнозернистий	3899	71	304	4400	11,7
	Вл_25	2189–2200	Є	Пісковик	3952	61	261	4250	8,4
	Вл_28	2210–2219	Є	Пісковик дрібнозернистий	3661	62	264	4140	11,2
	Вл_30	2263–2268	Є	Пісковик дрібнозернистий	3466	63	270	4100	11,5
	Вл_32	2268–2272	Є	Пісковик білий, тонко-дрібнозернистий	4649	64	271	4820	5,6
	Вл_34	2296–2304	Є	Пісковик	4056	64	275	4680	9,1
	Вл_38	2296–2304	Є	Пісковик дрібнозернистий	3732	64	275	4150	10,4
Велико-мошківська	Вм_34	2242–2250	D	Пісковик тонкозернистий світло-сірий	4399	63	268	4660	5,25
Добротвірська	До_9	3236–3238	Є	Пісковик світло-сірий дрібно-середньозернистий	4564	91	395	5180	2,75
	До_10	3362–3365	Є	Пісковик світло-сірий, тонкозернистий	4146	94	411	5090	4,8
	До_12	3389–3390	Є	Пісковик дрібно- та середньозернистий	5355	95	414	5710	1,75
	До_17	3676–3679	Є	Пісковик дрібнозернистий, світло-сірий	5364	103	451	5620	2,4
Лудинська	Лу_8	2862	Є	Пісковик	4394	80	347	4820	6,5
	Лу_9	2866	Є	Пісковик дрібнозернистий	4707	80	347	5020	4,7
	Лу_11	2875	Є	Пісковик дрібнозернистий	4400	81	348	5040	3,5
	Лу_13	3005	Є	Пісковик	4065	84	365	4520	10
	Лу_15	3009	Є	Пісковик	4844	84	366	5220	3,9
	Лу_30	2954–2958	Є	Пісковик тонкозернистий	4017	83	359	4510	9,4
	Лу_33	3056–3062	Є	Пісковик тонкозернистий	4771	86	372	5160	6,8
	Лу_35	3081–3086	Є	Пісковик	4031	86	375	4690	9,2
	Лу_37	3102–3110	Є	Пісковик	4022	87	378	4580	10,3
Ліщинська	Лщ_43	2760–2761,5	Є	Пісковик тонко-дрібнозернистий	4812	77	334	5210	5,7
	Лщ_15	3845–3850	D	Пісковик	5106	108	473	5470	1,9
Сокальська	Со_5	3113–3115	Є	Пісковик світлий бурувато-сірий	4664	87	379	5190	4
	Со_10	3308–3315	Є	Пісковик сірий, тонкозернистий	5247	93	404	5680	5,2
	Со_18	3406–3409	Є	Пісковик тонкозернистий, світло-сірий	5189	95	471	5590	1,45
	Со_19	3484–3506	Є	Пісковик сірий, тонкозернистий	4844	98	428	5220	3,1
	Со_20	3484–3506	Є	Пісковик сірий, тонкозернистий	4664	98	427	5210	4,05
Сушнівська	Су_8	2522–2525	Є	Пісковик дрібно- та середньозернистий	4043	70	303	4700	8,15
	Су_10	2529–2532	Є	Пісковик світло-сірий, дрібнозернистий	4609	70	304	5200	3,7
	Су_12	2537–2541	Є	Пісковик світло-сірий	4801	70	305	5220	3,75
	Су_15	2638–2641	Є	Пісковик світло-сірий	4871	75	318	5410	2,6
	Су_18	2545–2550	Є	Пісковик світло-сірий	4522	70	306	5010	4,4
	Су_19	2500–2502	Є	Пісковик тонкозернистий білий	4460	70	300	5200	5,4
	Су_21	2498–2502	Є	Пісковик тонкозернистий білий	4784	70	300	5440	5,25
	Су_22	2522–2525	Є	Пісковик тонкозернистий	4598	70	303	5000	4,45
	Су_23	2559–2562	Є	Пісковик світло-сірий, тонкозернистий	4803	70	308	5190	6,15

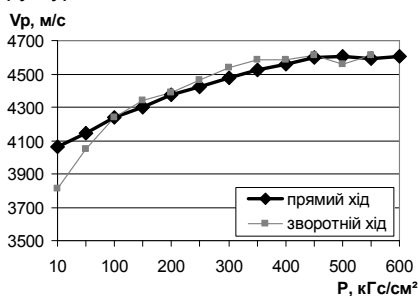
Авторами встановлено, що при збільшенні тиску швидкості повздовжніх хвиль зростають, але нелінійно і неоднаково (з різною інтенсивністю та криві $V_p = f(P)$ мають різний вигляд. Швидкості в них при атмосферних умовах ($P = 0$) змінюються від 3900 (зразок Вл_25, що відібраний з глибини 2189–2200 м Володимирівської свердловини № 1) до 4800 м/с (зразок ЛЩ_15, що відібраний з глибини 3845–3850 м свердловини Ліщинська, 1), а при накладанні тиску – збільшуються непропорційно та характеризує як структуру пустотного простору так і структурно-текстурні особливості зразків-пісковиків. На швидкості повздовжніх хвиль зразків має великий вплив їх пористість, яка з глибиною відбору, в цілому, зменшується, але це не відбувається систематично.

Розраховані для глибини відбору зразків значення швидкостей повздовжніх хвиль і пористості можуть використовуватись при складанні петрофізичних залежностей типу "керн"-ГДС для проведення переінтерпретації даних ГДС по свердловинах Волино-Поділля. Але за характеристиками функцій $V_p = f(P)$ можна провести додатковий аналіз для уточненої характеристики зразків при оцінці перспектив нафтогазоносності інтервалів відбору порід.

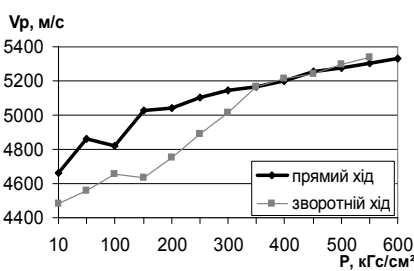
Авторами проведений аналіз результатів вивчення акустичних властивостей пісковиків в умовах змінних тисків та систематизація отриманих матеріалів. При систематизації всіх наявних результатів досліджень зразків окремих площ за даними петрофізики та макро-мікропетрографії враховувались:

- літологічний склад порід;
- структура зразка;
- розміри зерен мінералів;
- текстура зразка;
- діапазон зміни швидкості пружних хвиль;
- діапазон зміни коефіцієнта пористості;
- форма кривої $V_p = f(P)$.

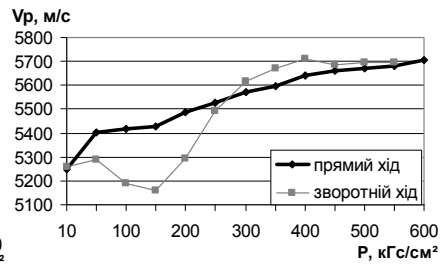
При аналізі всіх закономірностей впливу тиску на швидкості повздовжніх хвиль в насичених зразках-пісковиках 7 площ Волино-Поділля було проведено групування зразків. Окремо по площах сформовано 9 груп теригенних порід з однаковими акустично-ємнісними та структурно-літологічними особливостями порід.



а



б



в

Рис. 1. Приклади кривих $V_p = f(P)$ для зразків трьох груп пісковиків,

що виділені за акустично-ємнісними та структурно-літологічними особливостями порід (а – Лу-13, б – Со-5 і в – Со-18)

Різкі зміни значень V_p характеризують, ймовірно, зашполювання тріщин невеликого діаметру і говорить про наявність тріщин різного формату.

Третя група пісковиків має пористість невисоку (до 4–5 %). Криві $V_p = f(P)$ прямого ходу мають обов'язкові невеликі стрибки в області до 100 кГс/см², а $V_p = f(P)$ зворотного ходу – сильно змінені порівняно з прямим (приклад на рис. 1в). Це вказує на порушення структур-

Наведемо приклад групування зразків-пісковиків при аналізі результатів досліджень Володимирівської площі, де авторами виділена група порід, до якої відносяться зразки Вл_4, Вл_28, Вл_30, Вл_34 та Вл_38. При систематизації всіх наявних результатів досліджень зразків отримано такі загальні риси:

- однаковий літологічний склад – зразки представлені пісковиками дрібнозернистими;
- подібну структуру, що визначається як псамітова, із розмірами зерен менше 0,1 мм;
- текстура в загальному випадку неоднорідна, не шарувата;
- однаковий діапазон зміни швидкості повздовжніх хвиль (3600–4700 м/с);
- подібна форма кривої $V_p = f(P)$, де криві не мають різких змін та стрибків швидкостей;
- швидкості повздовжніх хвиль всіх зразків збільшуються при зворотному ході;
- коефіцієнт пористості високий та змінюється від 9,1 % до 11,7 %;
- зразки можуть характеризуватися як вірогідні колектори з переважною гранулярною пористістю.

При узагальненні результатів досліджень всієї колекції зразків встановлено, що деякі групи порід корелюються між собою і в цілому нами виділено 3 групи зразків [3].

Перша група – пісковики псамітової структури із розмірами зерен менше за 0,1 мм неоднорідної текстури і високої пористості (переважно зразки Володимирівської площі). Криві $V_p = f(P)$ характеризуються як доволі круті з невеликими значеннями V_p (до 4700 м/с), але не стрибкоподібні із більшими значеннями V_p зворотного ходу (приклад на рис. 1а). Це пояснюється переважною гранулярною пористістю зразків, яка руйнується під час накладання напруги і не відновлюється при її знятті [2, 3].

Друга група тонко- і дрібнозернистих пісковиків має середню порівняно з іншими пористість (3,5–7 %), а криві $V_p = f(P)$ можуть носити стрибкоподібний характер як в прямому, так і в зворотному ході (приклад на рис. 1б).

но-текстурних особливостей та структури пустотного простору в зразках в період вимірювань.

Деякі зразки не входять в жодну з груп, що говорить про особливості їх будови, які не вивчено в даній статті і потребують додаткових досліджень.

Висновки Таким чином, проведений комплексний аналіз результатів досліджень акустичних властивостей теригенних зразків Волино-Поділля в умовах змінних тисків надав можливість визначити особливості структури мінерального скелету і перше якісне наближення

структури пустотного простору порід, а також виділити окремі групи порід, що корелюються за певними акустичними, ємнісними та петрографічними параметрами. Загалом, виділено 3 групи теригенних порід регіону з міжзерновою, тріщинною та складною пористістю.

Результати даних досліджень добре корелюються з теоретичними відомостями, які були отримані, при опрацюванні попередніх робіт присвячених даній проблемі. Але по деяких площах спостерігається невідповідність кривих зворотного ходу з кривими прямого ходу. Дана особливість потребує більш детального вивчення.

Матеріали, що отримано на основі аналізу результатів петрографічних і петрофізичних досліджень в умовах змінних тисків можуть бути використані для вирішення ряду прикладних задач, зокрема, для кількісного аналізу структури пустотного простору теригенних порід регіону, а також при використанні результатів

акустичного каротажу та коефіцієнтів пористості порід в умовах природного залягання з подальшим прогнозування продуктивних товщ. та, відповідно, оцінки перспектив нафтогазоносності порід-колекторів.

1. Александров К.С., Продайвода Г.Т. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород – Новосибирск, 2000. 2. Баяк Е.И., Воларович М.П., Левитова Ф.М. Упругая анизотропия горных пород при высоких давлениях – М., 1982. 3. Омельченко А.В., Вишва С.А., Безродна І.М. та інші "Комплексні геолого-петрофізичні дослідження складнобудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину". – Звіт з НДР. 2011 р. – 594 с. 4. Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа – М., 1970. 5. Физические свойства коллекторов нефти при высоких давлениях и температурах / Сборник статей, под ред. В.П. Баяк, – М., 1965. 6. Юник Н.В. Перспективи та проблеми освоєння нерозвіданих ресурсів вуглеводнів західного регіону України // Горючі корисні копалини – 2011. – №2. – С. 29–33. 5. Physical rock properties database. Rock samples. / http://gdr.nrcan.gc.ca/rockprop/rock_e.php

Надійшла до редколегії 06.02.12