

# Петрофізична типізація складнобудованих порід-колекторів візейських і турнейських відкладів Березівського родовища на основі їхніх фільтраційно-ємнісних та пружних властивостей за методиками Вінланда і структури-геометрії пустот

*В.Ю. Ємець, І.М. Безродна, 2024*

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ «Інститут геології», Київ, Україна  
Надійшла 4 квітня 2024 р.

Петрофізична типізація порід-колекторів за даними геофізичних досліджень свердловин (ГДС) є невід'ємною складовою процедури побудови петрофізичної моделі. Виділення петрофізичних типів порід поліпшує можливості інтерпретації геофізичних даних для оцінювання запасів покладів вуглеводнів і прогнозу їхньої продуктивності.

Метою роботи є типізація складнобудованих порід-колекторів візейських і турнейських відкладів Березівського родовища (Дніпровсько-Донецька западина) на підставі результатів інтерпретації матеріалів ГДС та демонстрація переваг комплексування методик Вінланда і структури-геометрії пустот (СГП).

Застосування рівнянь Вінланда дало можливість згенерувати кореляційний зв'язок між ефективним розміром пустот, коефіцієнтом абсолютної проникності і коефіцієнтом пористості для порід візейських і турнейських відкладів свердловини Березівського родовища. Породини-колектори було розділено на шість різних типів з визначенням ефективного радіуса пустот (від 0,025 до 1,8 мкм). Для кожної виділеної групи були підібрані відповідні коефіцієнти рівнянь згідно з методикою типізації порід СГП на підставі кореляції між параметрами геометрії і структури пустот. Встановлено, що переважними ефективними пустотами порід-колекторів є пори первинного походження, в решті пластів наявні вторинні пустоти різних типів.

На основі комплексування методик Вінланда і СГП уперше для Березівського даного родовища здійснено типізацію порід-колекторів та оцінено співвідношення між пружними параметрами й характеристиками, що описують структуру і геометрію їхніх пустот. Згідно з отриманими матеріалами наведені вище методики є результативними для визначення кореляції пружних властивостей порід-колекторів з коефіцієнтами пористості та проникності за кількісної оцінки геометрії і структури пустот.

**Ключові слова:** типізація порід-колекторів, параметр структури пустот, параметр геометрії пустот, геофізичні дослідження свердловин.

**Вступ.** Типізація порід на основі петрофізичних параметрів є необхідним інструментом для моделювання геофізичних да-

них при побудові статичної та динамічної моделі порід-колекторів нафти й газу. При детальній характеристиці пластів можуть

Citation: *Yemets, V.Yu., & Bezrodna, I.M. (2024). Petrophysical rock typing of complex reservoirs in the Viséan and Tournaisian formations of the Berezhivske field based on filtration capacity and elastic properties using the Winland Method and Pore Geometry Structure Method. Geofizychnyi Zhurnal, 46(4), 55–65. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i4.300816>.*

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

бути оцінені запаси покладів вуглеводнів та проведений прогноз їхньої продуктивності.

Акустичні і пружні властивості порід у розрізі нафтогазових свердловин широко використовуються при типізації колекторів [Prakoso et al., 2016].

Багато досліджень [Prasad, 2003; Akbar, 2018; Akbar, Szabó, 2019] підтверджують той факт, що на швидкості поширення поздовжніх  $V_P$  та поперечних  $V_S$  хвиль, які переважно контролюються фільтраційно-ємнісними властивостями гірських порід, впливають як матриця породи і пластовий флюїд, що займає порожнечу, так і особливості будови цього пустотного простору. Однак для кожного конкретного родовища (покладу і т. п.) актуальним є встановлення характеру зв'язку акустичних параметрів з фільтраційно-ємнісними властивостями та особливостями внутрішньої структури пустот продуктивних відкладів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Моделювання впливу мінеральної складової, пористості порід і вмісту в них флюїду на акустичні та пружні властивості порід загалом ґрунтується на встановленні емпіричних зв'язків петрофізичних параметрів [Ємець та ін., 2023].

При попередніх дослідженнях вченими було доведено емпіричні зв'язки між швидкістю поширення поздовжньої хвилі та пористістю в осадових породах. Наприклад, Вілі та Раймер [Wyllie et al., 1956; Raymer et al., 1980] в результаті низки експериментів для пісковиків з великим діапазоном зміни коефіцієнта пористості (10—25 %) виявили, що швидкість  $P$ -хвилі та коефіцієнт пористості пов'язані нелінійною залежністю.

Серед опосередкованих методів вивчення структури пустотного простору найбільш інформативними є акустичні, що базуються на дослідженні залежностей швидкостей поширення пружних хвиль від ємності пустотного простору, форми окремих пустот, орієнтації мікротріщин тощо. Результати вивчення структури пустотного простору порід-колекторів на підставі дослідження їхніх фізичних властивостей

на зразках керна та за даними геофізичних досліджень свердловин (ГДС) 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 досліджень ці автори застосовували акустичні методи вимірювання швидкостей поширення пружних хвиль і їхнього загаснення як в атмосферних умовах, так і в змодельованих пластових умовах. Визначення внеску різних типів пористості в загальну практично є складною проблемою, найбільші перспективи у цьому напрямі пов'язуються авторами з комбінуванням даних ГДС і петрофізики [Безродна, Шинкаренко, 2015].

Існує багато методів типізації порід: метод індикації зони припливу, метод Вінланла, метод СГП та ін. Ці методи використовують різні принципи класифікації гірських порід і мають відповідні переваги та недоліки.

Г. Вінланд був одним із перших, хто дослідив залежність між пустотним простором порід, їхньою проникністю та пористістю [Winland, 1972]. Його дослідження включало вивчення порід різного віку за різних умов формування. Модель пустотного простору Вінланда базується на функціональному зв'язку пустотного простору і розміру кристалів мінералу, який утворює карбонатну породу [Gunter et al., 1997].

Типізацію порід на основі геометрії пустот і подібності структури пустот було вперше здійснили Permadi і Susilo [2009], які використали рівняння проникності Козені [1927] та диференціювали одну фацію порід від іншої. Пізніше Wibowo і Permadi [2013] створили типову криву для групування порід з огляду на геометрію і структуру пустот з урахуванням мікроскопічних геологічних особливостей породи.

Термін «геометрія пустот» можна зіставити з терміном «середній гідравлічний радіус» [Zahaf, Tiab, 2002]. А «структура пустот порід» включає в себе фундаментальні властивості пористої породи, такі як звивистість, формат пустот, питому

площу внутрішньої поверхні пустот тощо.

Породи, у яких фізичні та колекторські властивості змінюються у вертикальному і радіальному напрямках, можна віднести до складнобудованих. Ця мінливість визначається насамперед структурою та геометрією пустот порід.

**Мета дослідження.** Метою даної роботи є петрофізична типізація складнобудованих порід-колекторів у візейських і турнейських відкладах в інтервалі глибин 5750—6110 м свердловини Березівського родовища Дніпровсько-Донецької западини з проведенням авторами інтерпретації даних ГДС, вивченням фільтраційно-ємнісних та акустичних властивостей виділених складнобудованих порід-колекторів, дослідженням зв'язку їх ефективного радіуса пустот з параметрами динамічних модулів пружності.

**Геологічні особливості об'єкта дослідження.** Породи вивченого розрізу свердловини Березівського нафтогазоконденсатного родовища, яке розміщується в центральній частині Дніпровсько-Донецької западини, належать до турнейського та візейського ярусів карбону. Вони представлені в горизонтах Т-1 і В-26—В-24 чергуванням вапняків, аргілітів, пісковиків, мергелів. Нафтогазоносність порід пов'язана зі складнобудованими пісковиками і вапняками.

**Матеріал і методика досліджень.** Опрацьовано матеріали ГДС свердловини Березівського нафтогазоконденсатного родовища. Фахівці фірми «Schlumberger» в інтервалі дослідження виконали такі дослідження: гамма-каротаж, нейтронний каротаж, літощільнісний каротаж, мікробоковий каротаж, багатозондовий боковий каротаж, кавернометрію, крос-дипольний акустичний каротаж, ядерно-магнітний резонанс. Після проведення якісної та кількісної інтерпретації даних ГДС у програмному забезпеченні Techlog [Schlumberger, 2024] авторами для подальшого аналізу даних була використана концепція Вінланда, на основі якої досліджувалися визначені ними фільтраційно-ємнісні властивості порід.

**Концепція Вінланда** полягає в тому, що якщо міжкристалічна система пустот складена міжзерновою і тріщинною пористістю, які контролюють відтік і приплив флюїду у великі пустоти, то вона є системою із найменшим діаметром пустот.

Дана концепція підтверджена результатами дослідження, у якому було прокорельовано пористість, проникність і ефективний радіус пустот при 30, 35, 40 і 50 %-му насиченні ртуттю в лабораторних умовах. Вінланд визначив, що найкращу кореляцію зі значенням пористості та проникності має ефективний радіус пустот при 35 %-му насиченні ртуттю. Взнявши за основу дане співвідношення, Вінланд згенерував зв'язок між ефективним розміром пустот, коефіцієнтом абсолютної проникності і коефіцієнтом пористості у вигляді рівняння, опублікованого Kolodzie [1980]:

$$\log(R35) = 0,732 + 0,588 \log(k) - 0,864 \log(\emptyset), \quad (1)$$

де  $R35$  — ефективний радіус пустот (в мікрометрах), коли насичення ртуттю дорівнює 35 %;  $\emptyset$  — коефіцієнт пористості (у відсотках);  $k$  — коефіцієнт абсолютної проникності (мД).

З рівняння (1) визначається панівний тип пустот породи при встановленні значення  $R35$  для кожного зразка або пласта породи, як і на наступному етапі класифікуються саме за параметром  $R35$ .

**За методикою СГП** визначаються параметр геометрії пустот  $(k/\emptyset)^{0,5}$ , який також часто називають «середнім гідравлічним радіусом», та параметр їхньої структури  $(k/\emptyset)^3$  [Palabiran et al., 2016; Wibowo, Permadi, 2013]. Після обрахунків будуються графіки кореляції між характеристикою геометрії пустот і параметром їхньої структури.

Кожна крива у методиці СГП представляє один тип гірської породи, який характеризується окремими типами пустот, що можуть бути аналогічними за параметрами: подібності геометрії пустот, їхнього розміру, розподілу, звивистості тощо [El-Khatib, 1995].

Коефіцієнт проникності може бути наближено розрахований шляхом використання відомого **рівняння Козені**, яке є найбільш вживаною емпіричною моделлю для визначення коефіцієнта проникності через особливості структури пустотного простору [Антонюк, 2023].

З огляду на методику СГП рівняння Козені [Kozeny, 1927] можна записати у двох формах:

$$(k/\varnothing) = \varnothing \left( \frac{1}{\tau F_S S_b^2} \right)^{0,5} \quad (2)$$

і

$$(k/\varnothing^3) = \varnothing \left( \frac{1}{\tau F_S S_b^2} \right), \quad (3)$$

де  $\tau$ ,  $F_S$  і  $S_b$  — це звивистість, коефіцієнт форми пустот і питома внутрішня поверхня пустот відповідно.

Для використання методу типізації можна записати рівняння (2) у формі

$$(k/\varnothing)^{0,5} = a \left( \frac{k}{\varnothing^3} \right)^b, \quad (4)$$

де  $a$  і  $b$  — константи для окремих різновидів порід, що різняться за типом пустотного простору [Prakoso et al., 2016].

Авторами статті для коректності викладання матеріалу надалі у тексті параметр геометрії пустот  $(k/\varnothing)^{0,5}$  позначено як  $\gamma$ , а параметр структури пустот  $(k/\varnothing)^3$  — як  $\theta$ .

Продуктивність порід-колекторів значною мірою визначається складністю пустотного простору, яка є співвідношенням геометрії пустот  $\gamma$  і їхньої структури  $\theta$ . Ці два параметри використовують для характеристики груп гірських порід із подібним розташуванням пустот. Породи з однаковим типом пустотного простору описуються подібністю геометрії та структури пустот. Чим складніша система пустот породи, тим нижчим буде значення  $b$  у рівнянні (4) ( $b=0,5$  для пустот ідеально округлої форми при діапазоні зміни від 0 до 0,5). Константа  $a$  відома також як поправковий коефіцієнт у формулі визначення ефективності об'ємного потоку рідини для складних

пустотних систем [Wibowo, Permadi, 2013]. Крім того, кожна виділена група характеризується власним значенням граничної пористості.

У цій статті застосовано методику типізації порід СГП для характеристики впливу пустотного простору порід-колекторів на їхні пружні властивості. Кожен тип породи аналізується на підставі їхніх пружних властивостей для створення зв'язку між динамічними акустичними параметрами і пористістю, проникністю, параметрами геометрії та структури пустот.

**Результати досліджень.** Після попередньої обробки та переінтерпретації даних геофізичних досліджень у свердловині Березівського родовища з використанням програмного забезпечення Techlog було визначено акустичні і пружні параметри (швидкості поздовжніх  $V_p$  і поперечних  $V_s$  хвиль, модуль Юнга  $E$ , модуль зсуву  $\mu$ , об'ємний модуль  $\nu$ ) та розраховані фільтраційно-ємнісні властивості (коефіцієнт пористості та проникності). Дана свердловина авторами була використана для аналізу через проведений повний комплекс геофізичних досліджень іноземною компанією Schlumberger в цільовому інтервалі 5750—6110 м.

Згідно з рівнянням Вінланда авторами для порід візейських і турнейських відкладів свердловини Березівського родовища побудовано залежність коефіцієнта порис-

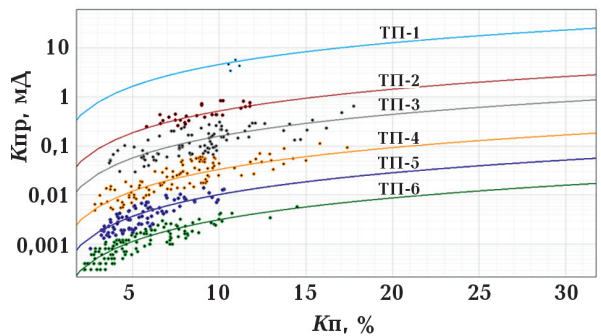


Рис. 1. Результати визначення ефективних радіусів пустот і типізації порід свердловини Березівського родовища за методикою Вінланда.

Fig. 1. Result of determining effective pore throat radius and rock typing results using Winland method in the well of the Berezivske field.

тості від проникності (за точками квантування в інтервалі 5750—6110 м). За рівнянням (1) для обрахунку значення ефективного радіуса пустот ( $R_{35}$ ) отримано шість груп порід (ТП-1—ТП-6) (рис. 1). Кожна ізолінія на графіку характеризує окрему групу порід з ефективним радіусом пустот у мікрометрах (від 0,025 до 1,8 мкм) у відповідності до зміни коефіцієнта пористості від проникності.

На підставі типізації за методикою Вінланда побудовано графік залежності між параметрами  $\gamma$  і  $\theta$  (рис. 2), на якому чітко виділяються шість груп порід. Вказаний конкретний тип порід, виокремлений на підставі типізації порід, засвідчує продуктивність колектору (характеризується коефіцієнтами проникності та пористості), яка зростає зі збільшенням  $\theta$ . Тому, для прикладу, група порід ТП-1 матиме найкращі колекторські властивості, а група порід ТП-6 — найгірші. В середині кожного типу гірських порід головною керівною змінною є внутрішня питома поверхня пустот, тоді як звивистість і коефіцієнт форми пустот залишаються незмінними.

Для кожної виділеної групи були створені рівняння згідно з методикою типізації порід СГП на підставі кореляції між параметрами геометрії і структури пустот (таблиця).

При первинному порівняльному аналізі даних, які характеризують форму пустот порід, що досліджувалися за методика-

ми Вінланда та авторів [Безродна, 2007; Yemets, Bezrodna, 2023], встановлено, що переважними ефективними пустотами порід-колекторів є ущільнені пустоти. За методикою СГП коефіцієнт  $b$  у рівняннях (4) характеризує складні системи пустот порід (див. таблицю), де тільки декілька пропластків характеризуються наявністю пор первинного походження ( $b=0,4934$ ), в решті пластів наявні вторинні пустоти ( $b=0,14\div 0,016$ ), природу яких за цією методикою визначити проблематично. За даними авторів [Yemets, Bezrodna, 2023], попередньо встановлено, що вторинні пустоти є кавернами вилуговування, первинними пустотами та мікротріщинами.

Типізація на підставі фільтраційно-ємнісних властивостей дала можливість оцінити залежності пружних властивостей груп порід з розрахованими параметрами  $\gamma$  і  $\theta$  (рис. 3, 4).

Побудовані зіставлення параметра  $\gamma$  від пружних властивостей породи демонструють (рис. 3), що всі точки даних розділені на окремі групи, де кожна з них представляє певний тип породи. Детальне дослідження зв'язку параметра  $\gamma$  зі швидкістю поширення поздовжніх і поперечних хвиль, модулем Юнга, модулем зсуву, об'ємним модулем показало, що всі ці параметри мають тенденцію до збільшення зі збільшенням параметра геометрії пустот і, відповідно, коефіцієнта проникності у кожній групі порід. Це означає, що пружні властивості також збільшуються зі зростанням середнього гідравлічного радіуса. У п'ятьох з шести виділених груп значення пружних параметрів відносно зростає у породах зі

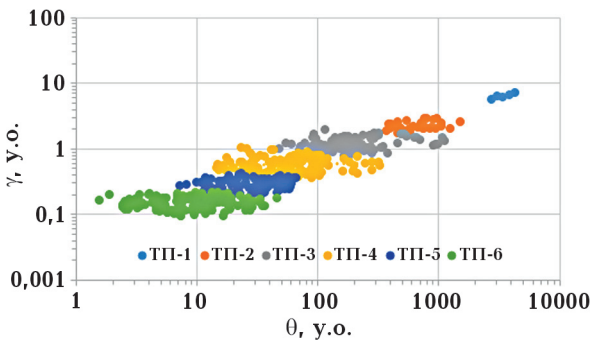


Рис. 2. Кореляція між параметрами геометрії  $\gamma$  і структури  $\theta$  пустот. Умовні позначення див. на рис. 1.

Fig. 2. Correlation between the pore geometry  $\gamma$  and the pore structure  $\theta$ . For symbols, see Fig. 1.

### Типи порід у відповідності до ефективного радіуса пустотного простору

Ефективний радіус пустот, мкм	Тип породи	Рівняння
1,8	ТП-1	$\gamma=0,1131 \theta^{0,4934}$
0,5	ТП-2	$\gamma=0,8508 \theta^{0,1438}$
0,25	ТП-3	$\gamma=0,6949 \theta^{0,0952}$
0,1	ТП-4	$\gamma=0,5107 \theta^{0,0326}$
0,05	ТП-5	$\gamma=0,2680 \theta^{0,0160}$
0,025	ТП-6	$\gamma=0,1448 \theta^{0,0159}$

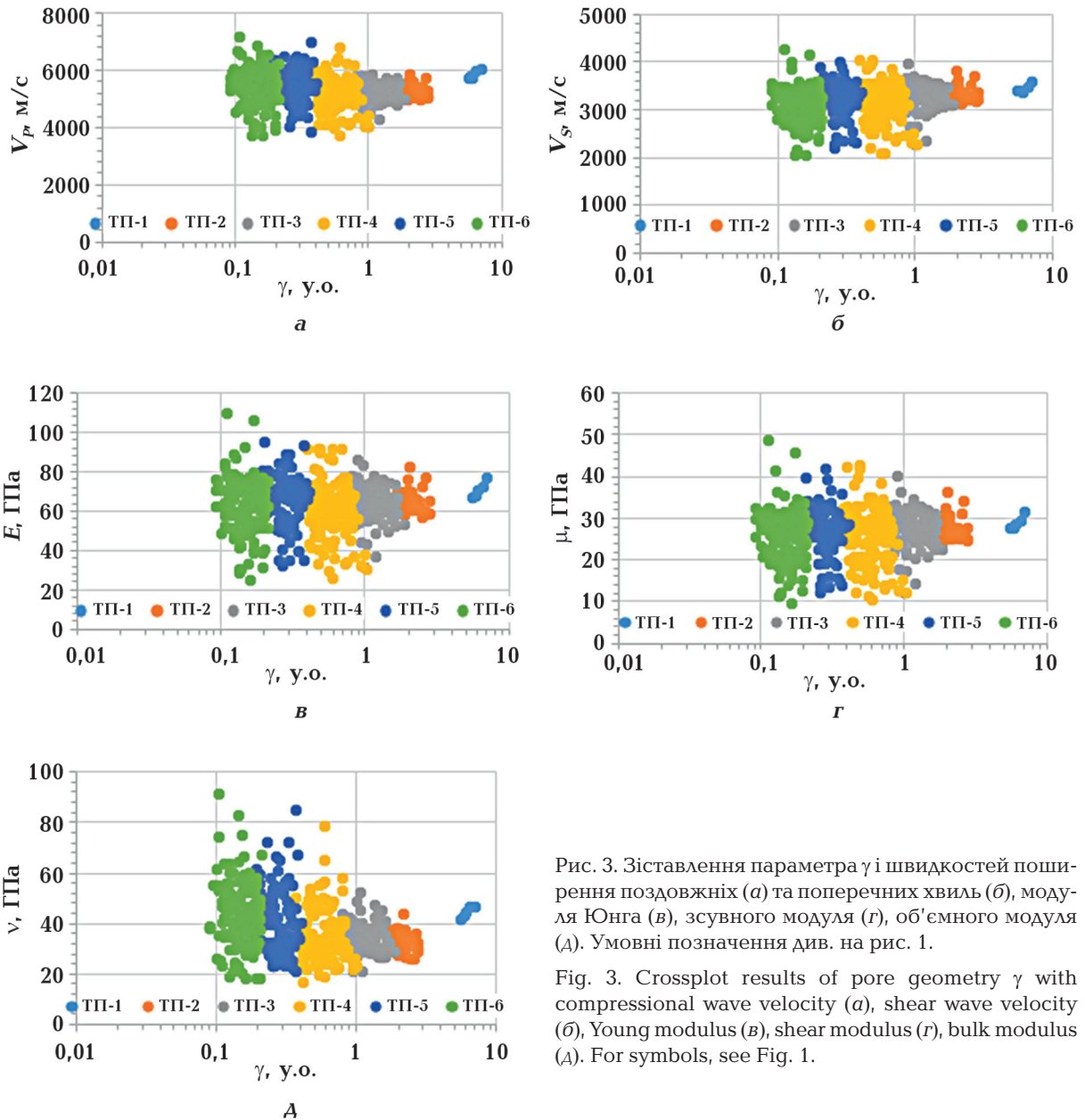


Рис. 3. Зіставлення параметра  $\gamma$  і швидкостей поширення поздовжніх (а) та поперечних хвиль (б), модуля Юнга (в), зсувного модуля (г), об'ємного модуля (А). Умовні позначення див. на рис. 1.

Fig. 3. Crossplot results of pore geometry  $\gamma$  with compressional wave velocity (a), shear wave velocity (б), Young modulus (в), shear modulus (г), bulk modulus (А). For symbols, see Fig. 1.

складною внутрішньою будовою, що можна пояснювати збільшенням звивистості порожнин або наявністю тріщинуватості.

Як показано на рис. 4, графіки залежності параметра  $\theta$  від пружних властивостей мають багато спільних рис з графіками залежностями, де досліджуваним параметром є  $\gamma$ . Проте межі груп порід є менш чіткими і відбувається накладання значень, тому що чисельні значення змінної структури порожнин майже однакові для порід з низькими колекторськими властивостями [Prakoso et al., 2016]. Концепція типу

гірської породи, визначена рівнянням (3), передбачає однакову звивистість і форму порожнин для всього набору даних кожного окремо взятого типу порід, а зміна питомої внутрішньої поверхні породи є визначальною при визначенні структури порожнин.

**Висновки.** У даній роботі досліджено зв'язок параметрів геометрії та структури порожнин з пружними властивостями складнобудованих порід-колекторів візейських і турнейських відкладів свердловини Березівського родовища Дніпровсько-Донецької западини.

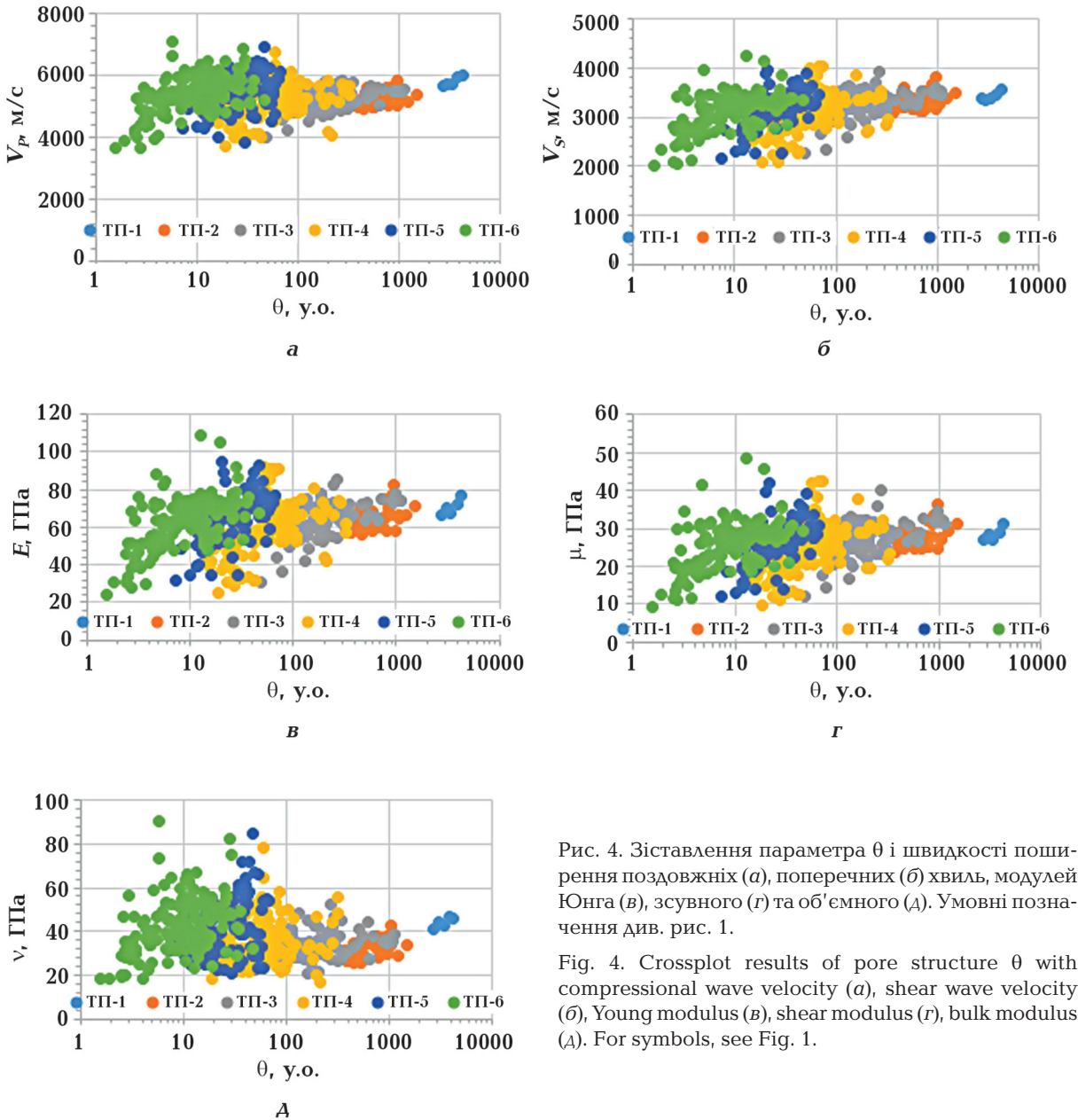


Рис. 4. Зіставлення параметра  $\theta$  і швидкості поширення поздовжніх (а), поперечних (б) хвиль, модулей Юнга (в), зсувного (г) та об'ємного (д). Умовні позначення див. рис. 1.

Fig. 4. Crossplot results of pore structure  $\theta$  with compressional wave velocity (a), shear wave velocity (б), Young modulus (в), shear modulus (г), bulk modulus (д). For symbols, see Fig. 1.

За методикою Вінланда проведено типізацію порід на основі фільтраційно-ємнісних властивостей. Для шести типів порід у відповідності до ефективного радіуса порот знайдено рівняння згідно з методикою СГП на підставі кореляції між параметрами геометрії і структури порот. За методикою СГП уперше для даного родовища з різними типами порід-колекторів проаналізовано зв'язок між пружними параметрами та характеристиками, що описують структуру і геометрію їхніх порот (див. рис. 3, 4).

На прикладі свердловини Березівського родовища вперше доведено, що параметри структури і геометрії порот збільшуються внаслідок зменшення питомої внутрішньої поверхні порот і пористості порід, що веде до збільшення швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль, об'ємного модуля, модуля Юнга та модуля зсуву.

Дослідження дає можливість зробити реалістичні прогнози динамічних пружних параметрів порід з даними коефіцієнта пористості та проникності на підставі типізації порід за методикою Вінланда.

В перспективі планується поєднати результати типізації на основі запропонованих методик з результатами визначення структури пустотного простору для візейських і турнейських відкладів Березівського родовища.

Використання отриманих даних типі-

зації порід покращить кількісну оцінку пружних властивостей порід, яка необхідна у механіці та фізиці гірських порід, при інтерпретації сейсмічних даних, петрофізичному аналізі, а також для оцінювання ефективності колекторів нафти й газу в цілому.

### Список літератури

- Антонюк В.В. Прогнозування фільтраційно-емнісних властивостей та класифікація порід-колекторів за комплексом каротажних та петрофізичних даних (на прикладі відкладів верхнього та середнього карбону приосьової зони Дніпровсько-Донецької западини): *дис. ... г-ра філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 103 «Науки про Землю»*. Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2023, 188 с.
- Безродна І.М. Методика кількісної оцінки структури пустотного простору складнобудованих порід-колекторів та прогнозу їх продуктивності за даними ГДС та петрофізики: *дис. ... канд. геол. наук: 04.00.22*. Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2007, 180 с.
- Безродна І., Шинкаренко А. Оцінка структури пустотного простору низькопористих порід Зарічної площі за результатами їх петрофізичних та геофізичних досліджень. *Вісник Київського університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2015. Т. 2. № 69. С. 53—58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.69.08.53-58>.
- Ємець В.Ю., Безродна І.М., Антонюк В.В. Моделювання ефектів заміщення флюїду в візейських відкладах Яблунівського родовища на основі інтерпретації даних ГДС та петрофізики. *Вісник Київського університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2023. Т. 1. № 100. С. 67—72. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.08>.
- Akbar, M.N.A. (2018). A Systematic Dependence of Acoustic Velocity on Internal Pore Structure in Sandstone. *Geosciences and Engineering*, 6(9), 98—117.
- Akbar, M.N.A., & Szabó, N.P. (2019). The effects of pore geometry and pore structure in characterizing the P-wave velocity and quality factor in sandstone reservoirs. *Magyar Geofizika*, 60, 40—46.
- Gunter, G.W., Finneran, J.M., Hartman, D.J., & dan Miller, J.D. (1997). Early Determination of Reservoir Flow Units Using an Integrated Petrophysical Method. *Paper SPE 38679 presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in San Antonio*.
- El-Khatib, N. (1995). Development of a Modified Capillary Pressure J-Function. *Presented at the SPE Middle East Oil Show in Bahrain. SPE-29890-MS*.
- Kolodzie, S.J. (1980). Analysis of pore throat size and use of the Waxman-Smiths equation to determine OOIP in spindle field. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, September 21—24, 1980, Dallas, Texas* (pp. 1689—1699). <https://doi.org/10.2118/9382-MS>.
- Kozeny, J. (1927). Über kapillare Leitung des Wassers im Boden (Aufstieg Versickerung und Anwendung auf die Bemässerung). *Sitzungsber Akad., Wiss, Wein, Math.-Naturwiss* (pp. 271—306).
- Palabiran, M., Sesilia, N., & Akbar, M.N.A. (2016). An Analysis of Rock Typing Methods in Carbonate Rocks for Better Carbonate Reservoir Characterization: a Case Study of Minahaki Carbonate Formation, Banggai Sula Basin, Central Sulawesi. *41 th Scientific Annual Meeting of Indonesian Association of Geophysicists (Pit Hagi) Lampung (Aip Conference Proceedings)*.
- Permadi, P., & Susilo, A. (2009). Permeability Prediction and Characteristics of Pore structure and Geometry as Inferred from Core Data. *Paper SPE 125350 presented at SPE/EAGE Reservoir Characterization and Simulation Conference held in Abu Dhabi*.
- Prakoso, S., Permadi, P., & Winardhie, S. (2016). Effects of pore geometry and pore structure on dry p-wave velocity. *Modern Applied Science*, 10(8), 117—133. <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v10n8p117>.



- Prasad, M. (2003). Velocity-permeability relations within hydraulic units. *Geophysics*, 68, 108–117. <https://doi.org/10.1190/1.1543198>.
- Raymer, D.S., Hunt, E.R., & Gardner, J.S. (1980). An Improved Sonic Transit Time-To-Porosity. *Transform SPWLA Twenty-First Annual Logging Symposium*.
- Schlumberger. Techlog wellbore software. (2024). Retrieved from <https://www.software.slb.com/products/techlog>. [Accessed April 5, 2024].
- Wibowo, A.S., & Permadi, P. (2013). A Type Curve for Carbonates Rock Typing. *Paper IPTC 16663 presented at The International Petroleum Technology Conference held in Beijing, China*.
- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R., & Gardner, I.W. (1956). Elastic Wave Velocities in Heterogeneous and Porous Media. *Geophysics*, 12(1), 41–70. <https://doi.org/10.1190/1.1438217>.
- Winland, H.D. (1972). Oil Accumulation in Response to Pore Size Changes. *Weyburn Field, Saskatchewan, Amoco Production Research Report*, No F72-G-25.
- Yemets, V.Y., & Bezrodna, I.M. (2023). Evaluation of the void space structure and reservoir properties of rocks in the visevian and tournaisian formations of the Berezivske field of the Dnipro-Donets depression. *Materials of the XVII Int. Sci. Conf. «Monitoring of Geological Hazards and State of the Environment»*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520034>.
- Zahaf, K., & Tiab, D. (2002). Vertical permeability from in situ horizontal measurements in shaly-sand reservoirs. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 41(8). <https://doi.org/10.2118/02-08-01>.

## **Petrophysical rock typing of complex reservoirs in the Visevian and Tournaisian formations of the Berezivske field based on filtration capacity and elastic properties using the Winland Method and Pore Geometry Structure Method**

**V.Yu. Yemets, I.M. Bezrodna, 2024**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine

Petrophysical rock typing of reservoirs based on well logging data is an integral part of constructing a petrophysical model. Identifying petrophysical rock types enhances the interpretation capabilities of well logging data for estimating hydrocarbon reserves and predicting their productivity.

The objective of this paper was to perform reservoir rock typing based on the interpretation results of well logging data in a well of the Berezivske field of the Dnipro-Donets depression for the Visevian and Tournaisian formations using the integration of the Winland-method and Pore Geometry Structure (PGS) method.

The authors generated a correlation between effective pore size, absolute permeability coefficient, and porosity coefficient based on the Winland equation. Six different rock reservoir types were identified with the determination of effective pore size (from 0.025 to 1.8  $\mu\text{m}$ ). The equations were created according to the PSG rock typing methodology based on the correlation between pore geometry and pore structure parameters for each identified group. It was established that the prevailing effective pores in reservoirs were primary pores. The presence of various types of secondary pores was identified in other reservoirs.

For the first time in this field, the authors used the Winland method and PGS method to classify and evaluate the relationships between elastic parameters and the inner parameters of pores for different rock reservoir types. The results showed that the proposed

methodologies are essential for evaluating the elastic properties of rocks based on porosity and permeability coefficients in the form of pore geometry and pore structure.

**Key words:** rock reservoir typing, pore structure parameter, pore geometry parameter, well logging.

## References

- Antoniuk, V. (2023). Prediction of filtration-capacity properties and classification of reservoir rocks on the basis of a set of logging and petrophysical data (on the example of upper and middle Carboniferous deposits of the Dnipro-Donets basin axial zone). *The thesis ... Ph.D. in Natural Sciences*. Taras Shevchenko National University of Kyiv, 188 p. (in Ukrainian).
- Bezrodna, I.M. (2007) The method of quantitative estimation for the empty space structure of composite rock-reservoirs and of their productivity prediction by the logging and petrophysics data. *The thesis ... Ph.D. in Geological Sciences*. Taras Shevchenko National University of Kyiv, 180 p. (in Ukrainian).
- Bezrodna, I., & Shinkarenko, A. (2015). Assessment of the structure of void space of low-porosity rocks of the rich area according to the results of petrophysical and geophysical research. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Geology*, 2(69), 53—58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.69.08> (in Ukrainian).
- Yemets, V.Yu., Bezrodna, I.M., & Antoniuk, V.V. (2023). Modelling of the effects of fluid substitution in the visean deposits of the Yablunivske field based on the interpretation of well logging data and petrophysics. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(100), 67—72. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.08> (in Ukrainian).
- Akbar, M.N.A. (2018). A Systematic Dependence of Acoustic Velocity on Internal Pore Structure in Sandstone. *Geosciences and Engineering*, 6(9), 98—117.
- Akbar, M.N.A., & Szabó, N.P. (2019). The effects of pore geometry and pore structure in characterizing the P-wave velocity and quality factor in sandstone reservoirs. *Magyar Geofizika*, 60, 40—46.
- Gunter, G.W., Finneran, J.M., Hartman, D.J., & dan Miller, J.D. (1997). Early Determination of Reservoir Flow Units Using an Integrated Petrophysical Method. *Paper SPE 38679 presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in San Antonio*.
- El-Khatib, N. (1995). Development of a Modified Capillary Pressure J-Function. *Presented at the SPE Middle East Oil Show in Bahrain. SPE-29890-MS*.
- Kolodzie, S.J. (1980). Analysis of pore throat size and use of the Waxman-Smits equation to determine OOIP in spindle field. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, September 21—24, 1980, Dallas, Texas* (pp. 1689—1699). <https://doi.org/10.2118/9382-MS>.
- Kozeny, J. (1927). Über kapillare Leitung des Wassers im Boden (Aufstieg Versickerung und Anwendung auf die Bemässerung). *Sitzungsber Akad., Wiss, Wein, Math.-Naturwiss* (pp. 271—306).
- Palabiran, M., Sesilia, N., & Akbar, M.N.A. (2016). An Analysis of Rock Typing Methods in Carbonate Rocks for Better Carbonate Reservoir Characterization: a Case Study of Minahaki Carbonate Formation, Banggai Sula Basin, Central Sulawesi. *41 th Scientific Annual Meeting of Indonesian Association of Geophysicists (Pit Hagi) Lampung (Aip Conference Proceedings)*.
- Permadi, P., & Susilo, A. (2009). Permeability Prediction and Characteristics of Pore structure and Geometry as Inferred from Core Data. *Paper SPE 125350 presented at SPE/EAGE Reservoir Characterization and Simulation Conference held in Abu Dhabi*.
- Prakoso, S., Permadi, P., & Winardhie, S. (2016). Effects of pore geometry and pore structure on dry P-wave velocity. *Modern Applied Science*, 10(8), 117—133. <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v10n8p117>.
- Prasad, M. (2003). Velocity-permeability relations within hydraulic units. *Geophysics*, 68, 108—117. <https://doi.org/10.1190/1.1543198>.

- Raymer, D.S., Hunt, E.R., & Gardner, J.S. (1980). An Improved Sonic Transit Time-To-Porosity. *Transform SPWLA Twenty-First Annual Logging Symposium*.
- Schlumberger. Techlog wellbore software. (2024). Retrieved from <https://www.software.slb.com/products/techlog>. [Accessed April 5, 2024].
- Wibowo, A.S., & Permadi, P. (2013). A Type Curve for Carbonates Rock Typing. *Paper IPTC 16663 presented at The International Petroleum Technology Conference held in Beijing, China*.
- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R., & Gardner, I.W. (1956). Elastic Wave Velocities in Heterogeneous and Porous Media. *Geophysics*, 12(1), 41—70. <https://doi.org/10.1190/1.1438217>.
- Winland, H.D. (1972). Oil Accumulation in Response to Pore Size Changes. *Weyburn Field, Saskatchewan, Amoco Production Research Report*, No F72-G-25.
- Yemets, V.Y., & Bezrodna, I.M. (2023). Evaluation of the void space structure and reservoir properties of rocks in the visevian and turnaisian formations of the Berezivske field of the Dnipro-Donets depression. *Materials of the XVII Int. Sci. Conf. «Monitoring of Geological Hazards and State of the Environment»*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520034>.
- Zahaf, K., & Tiab, D. (2002). Vertical permeability from in situ horizontal measurements in shaly-sand reservoirs. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 41(8). <https://doi.org/10.2118/02-08-01>.