

ПРОГНОЗ КОЛЕКТОРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АКУСТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В УМОВАХ ЗМІННОГО ТИСКУ (НА ПРИКЛАДІ ВОЛОДИМИРСЬКОЇ ПЛОЩІ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ)

Вивчено закономірності зміни петроакустичних властивостей кембрійських теригенних порід Володимирської площі Волино-Поділля в залежності від прикладеного тиску. При аналізі результатів петрофізичних досліджень (швидкості поздовжніх хвиль, коефіцієнт пористості в умовах змінних тисків та густина і швидкість поперечних хвиль в атмосферних умовах) на основі розробленої авторської методики встановлено кількісний розподіл пустот різних форматів в досліджених породах.

Виділено окремі групи порід, що корелюються за акустичними, ємнісними та петрографічними параметрами. Кількісно визначено типи пористості порід.

Визначення структури пустотного порід для умов різних тисків дає можливість прослідкувати кількісні зміни типів пористості порід із зміною тиску, а також виділяти та прогнозувати перспективність складнопобудованих теригенних порід-колекторів на великих глибинах.

Ключові слова: петроакустичні дослідження, змінний тиск, типи пористості.

И.Н. Безродная. ПРОГНОЗ КОЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД-КОЛЕКТОРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИМИРОВСКОЙ ПЛОЩАДИ ВОЛЫНО-ПОДОЛЬЯ). Изучены закономерности изменения петроакустических свойств кембрийских терригенных пород Владимирской площади Волыно-Подолья в зависимости от приложенного давления. При анализе результатов петрофизических исследований (скорость продольных волн, коэффициент пористости в условиях переменных давлений, плотность и скорость поперечных волн в атмосферных условиях) на основе разработанной авторской методики установлено количественное распределение пустот различных форматов в исследованных породах. Выделены отдельные группы пород, в которых наблюдается корреляция акустических, емкостных и петрографических параметров. Количественно определены типы пористости пород.

Определение структуры пустотного пространства пород для условий различных давлений дает возможность проследить количественные изменения типов пористости в породах с изменением давления, а также выделять и прогнозировать перспективность сложнопостроенных терригенных пород-колекторов на больших глубинах.

Ключевые слова: петроакустические исследования, переменное давление, типы пористости.

Вступ На сучасному етапі пошуків та розвідки перспективних у нафтогазовому відношенні об'єктів актуальним стає суттєве вдосконалення технологій проведення робіт в аналітичних петрофізичних лабораторіях, зокрема, при дослідженнях фізичних параметрів в умовах, моделюючих пластові. Важливим етапом підвищення ефективності геолого-геофізичних робіт є розробка новітніх технологій обробки отриманих даних, зокрема, вивчення за сучасними методиками структури пустотного простору порід-колекторів та прогноз їх колекторських властивостей і продуктивності.

У зв'язку зі збільшенням глибин досліджень, температур і тисків в інтервалах пошуку та розвідки нафти і газу, присутності складнопобудованих типів порід-колекторів наявний комплекс геофізичних досліджень не дає надійних результатів при інтерпретації. Складний тип колектора, великі глибини призводять до пропусків продуктивних пластів або невизначеностей геофізичних заключень. Підвищення ефективності геофізичних досліджень при переінтерпретації фондових даних можливо за рахунок покращення методичних прийомів обробки даних ГДС, зокрема, використання результатів петрофізичних досліджень в умовах, що моделюють пластові, та їхньої сучасної інтерпретації.

Для подальшого вивчення перспектив нафтогазоносності саме Волино-Поділля необхідно, насамперед, посилити петрофізичну базу для виявлення й підготовки об'єктів у різних перспективних комплексах даного регіону.

Стан проблеми Як доведено багатьма дослідниками (Г.М. Авчян, К.І. Багринцева, Я.Н. Басін, І.М. Безродна, П.О. Буртний, С.А. Вижва, В.І. Грицишин, В.А. Новгородов, В.І. Петерсільс, В.М. Дахнов, Б.Ю. Вендельштейн, І.П. Дзєбань, В.М. Добринін, В.М. Ільїнський, С.С. Ітенберг, В.О. Корчин, І.К. Куровець, Ю.А. Лімбергер, Є.Є. Лук'янов, Л.М. Марморштейн, М.Ю. Нестеренко, Г.І. Петкевич, Г.Т. Продайвода, В.О. Федішин, В.І. Шеленко, О.В. Шеремета, Г.А. Шнурман тощо) найбільш чутливими і інформативними методами, що дозволяють вивчати структуру пустотного простору, є ультразвукові, акустичні, сейсмоакустичні методи.

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, 2].

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% [3 – 5].

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, що при впливі зовнішнього тиску до 250 МПа на зразок, швидкість поздовжніх хвиль, при збільшенні тиску, зростає, причому основна її зміна спостерігається в діапазоні зміни тиску від атмосферного до 50-100 МПа. При подальшому зростанні тиску графік 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%, а концентрація гранулярних пустот по відношенню до тріщинних збільшується зі збільшенням тиску [3-5].

Метою даної роботи є кількісна оцінка структури пустотного простору та закономірності зміни концентрації пустот різних форматів кембрійських теригенних порід свердловини № 1 Володимирської площі Волино-Поділля в залежності від баричних умов, з подальшим використанням результатів досліджень при оцінці перспективності порід-колекторів.

Методика визначення структури пустотного простору складнобудованих порід-колекторів ґрунтується на інтерпретації результатів акустично-ємнісних досліджень порід

В процесі лабораторних досліджень було проведено вимірювання швидкостей поздовжніх хвиль, об'ємної густини та пористості теригенних порід: Володимирської площі (8 зразків з інтервалу 2296-2520 м), яка розташована в північній частині Волино-Поділля - східного схилу Львівського палеозойського прогину [2].

Для експериментальних петрофізичних досліджень використовувалась установка ультразвукових тисків, яку було сконструйовано на геологічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка [2].

Принцип знаходження швидкостей пружних хвиль полягає в наступному. Зразок, насичений моделлю пластової води, поміщається в камеру установки, де затискається між двома ультразвуковими датчиками. Через визначений інтервал часу в установці змінюють тиск та вимірюють частоту проходження пружної хвилі через зразок, за даними якої розраховується швидкість пружної хвилі [1, 2].

Процес лабораторного дослідження складається з двох етапів. Під час першого етапу

тиск збільшується від 1 кГс/см² на 50 кГс/см² до 600 кГс/см², а під час другого – зменшується від 600 до 1 кГс/см².

Інтерпретаційний блок методики досліджень дає можливість кількісно оцінити структуру пустотного простору та прогнозувати колекторські властивості порід. На основі використання бази даних акустичних і ємнісних (в умовах змінних тисків), а також акустичних і густинних досліджень зразків (в атмосферних умовах) після їхньої стандартної статистичної обробки формуються вибірки груп зразків з близькими (за якісним наближенням) типами пористості.

Математична модель структури пустотного простору може бути задана на основі вивчення керну під електронним або поляризаційним мікроскопом, за літературними даними, чи за результатами математичного моделювання різних літотипів порід за допомогою розробленої методики.

Враховуючи результати досліджень автора, будову породи математично представлена у вигляді жорсткої матриці, яка армована спектром пустот, що апроксимуються сфероїдами обертання з різними форматами $\alpha = \frac{a}{c}$, де a та c – коротка та довга напівосі сфероїда.

На основі літературних даних та досліджень, які проведені безпосередньо автором та колегами, встановлено, що всі пустоти в гірських породах можна описати сфероїдами із значеннями α від 10^{-4} до 10^3 . При цьому ізометричним і сфероїдальним порам відповідають пустоти з форматом 10^0-10^{-1} , перехідним пустотам і мікротріщинам - $10^{-1}-10^{-2}$, мікротріщинам - $10^{-2}-10^{-4}$, кавернам - 10^0-10^3 [1].

Для кількісної оцінки структури пустотного простору при використанні даної методики застосовуються наступні дані:

– результати дослідження швидкостей поздовжніх хвиль зразків керну в умовах змінного тиску;

– коефіцієнт пористості, що отриманий при лабораторних дослідженнях в умовах змінного тиску;

– результати визначення густини зразків гірських порід, що отримані в атмосферних умовах;

– значення густини мінерального скелету породи, що визначаються на основі побудови функціональної залежності густини/пористості ($\sigma = f(K_n)$);

– значення швидкостей розповсюдження поздовжньої та поперечної пружних хвиль мінерального скелету порід, отримані на основі

побудови залежностей швидкостей пружних хвиль від загальної пористості ($V_p = f(K_n), V_s = f(K_n)$).

Вибір початкового наближення структури пустотного простору є пошуком глобальних екстремумів функції складного типу при закріплених форматах α_n і проводиться методом перебору значень концентрації заданих форматів $C_n(\alpha_n)$ з кроком Δ_n , обчислених для кожного формату. Вибір початкового наближення структури пустотного простору забезпечує експресне знаходження точки з мінімальним значенням рівня методу найменших квадратів при перетині області пошукових параметрів по вектору при фіксованих значеннях параметрів пустот α . Знайдене початкове наближення використовується при інверсії акустичних даних.

Обернена задача вирішується шляхом побудови такої теоретичної моделі розповсюдження пружних коливань в геологічному середовищі, що не суперечить спостереженим даним лабораторних акустичних досліджень. При вирішенні оберненої задачі використовуються обмеження на значення концентрацій пустот різних форматів $C(\alpha_n)$: $\sum_{n=1}^N C(\alpha_n) \leq K_n$. Крім

того накладається умова, що концентрація пустот із певним форматом не може бути більше значення, яке забезпечує збіг експериментальних величин швидкостей пружних хвиль з теоретично розрахованими при наявності пустот тільки одного формату.

За допомогою метода умовних моментів обчислюються ефективні пружні постійні порід. Особливістю метода умовних моментів, на відміну від інших, є відсутність обмежень на форму та концентрацію включень. Це дозволяє практично легко описувати форму пустот за допомогою геометричних параметрів сфероїда.

При виборі методів оптимізації доводиться враховувати два основних аспекти: отримання математично стійкого і геологічно достовірного розв'язку та швидкість сходження ітераційного процесу.

За даними інверсії знаходять значення форматів пустот та їхніх концентрацій для кожного окремого зразка і розраховують їхню структуру пустотного простору. На основі визначення спектрів пустот різних форматів та їхніх концентрацій за даними акустичних досліджень проводиться кількісна оцінка вкладу пористості різних типів: між зернової, тріщинної, кавернозної та вторинної [1].

Результати Автором 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). На швидкості повздовжніх хвиль зразків має великий вплив значення їх пористості, яка з глибиною відбору, в цілому, зменшується, але це не відбувається систематично.

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- і 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 узагальненні результатів досліджень всієї колекції зразків встановлено, що параметри зразків порід корелюються між собою, і, в цілому, нами виділено 2 їх групи.

Перша група (Вл-4, Вл-28, Вл-30, Вл-34 та Вл-38) – пісковики псамітової структури із розмірами зерен менше за 0,1 мм неоднорідної текстури і високої пористості. 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 (рис. 1, а). Це пояснюється переважною міжзерною пористістю зразків, яка руйнується під час накладання напруги і не відновлюється при її знятті.

Друга 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. Це вказує на порушення структурно-текстурних особливостей в період вимірювань і потребує додаткових досліджень їх природи.

На основі отриманих даних було визначено ефективні модулі скелету об'ємного стиску та зсуву для кожної з вибірок порід, а також модулі пустотних наповнювачів (взяті для мінералізованої води), які необхідні для визначення початкового наближення моделі та подальшої кількісної оцінки структури пустотного простору.

За підготовленими даними було розраховано структуру пустотного простору зразків для різних баричних умов: від атмосферного тиску до 600 кгс/см² (рис. 1).

При аналізі результатів петрофізичних досліджень (швидкості повздовжніх хвиль та коефіцієнт пористості в умовах змінних тисків та

густини і швидкості поперечних хвиль в атмосферних умовах) на основі авторської методики

встановлено кількісний розподіл пустот різних форматів.

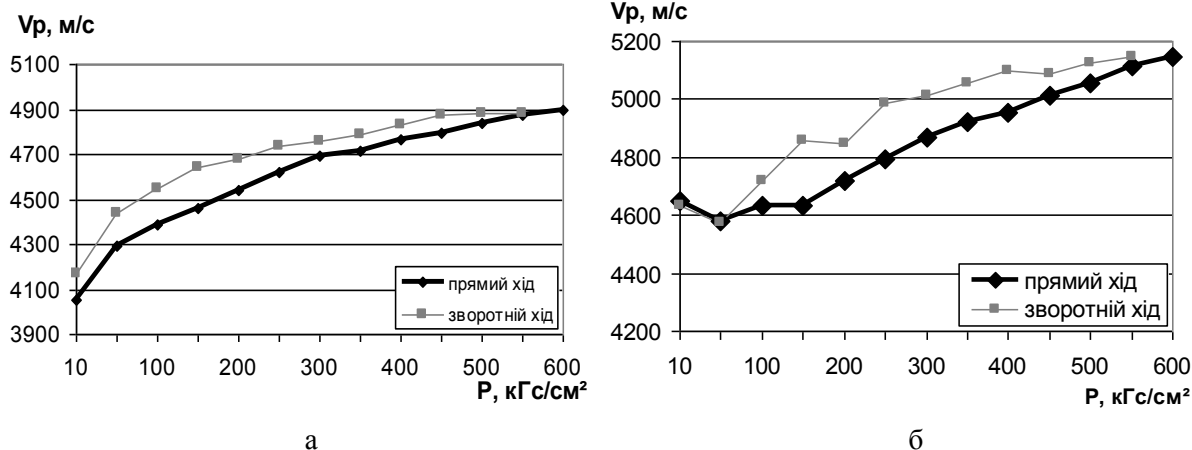


Рис. 1. Залежність швидкості поширення пружних хвиль від тиску для зразків Вл-28 (а) та Вл-32 (б).

Таблиця 1

Результати кількісної оцінки типів пористості в зразках порід

№ зразка	В атмосферних умовах			При тиску 400 кг/см ²		
	Кп (між.), %	Кп (втор.), %	Кп (тріщ.), %	Кп (між.), %	Кп (втор.), %	Кп (тріщ.), %
Вл-3	4,66	0,00	0,44	3,70	1,00	0,00
Вл-4	5,06	4,40	2,14	7,18	0,91	1,80
Вл-25	1,83	4,25	1,61	4,09	2,30	0,70
Вл-28	5,11	1,48	3,61	4,90	2,50	1,90
Вл-30	7,75	2,65	0,01	3,80	4,91	0,29
Вл-32	3,53	1,73	0,05	4,59	0,02	0,59
Вл-34	6,02	1,08	1,40	7,10	0,04	0,96
Вл-38	5,46	1,99	2,35	6,16	1,64	1,59

Встановлено, що в породах незалежно від баричних умов найбільший відсоток пористості займають пустоти гранулярного типу (формат пор 0,8-0,9). Їхня концентрація по відношенню до перехідних (формат пустот 0,049) та тріщинних (формат тріщин – 0,001-0,0005) пустот збільшується зі збільшенням тиску. При тиску більше за 300 кг/см² концентрація пустот малих форматів наближається до нуля, що характеризує закриття пустот тріщинного типу під дією високих тисків.

За визначеною концентрацією всіх форматів пустот було кількісно оцінено коефіцієнти різних типів пористості (табл. 1).

Висновки За результатами досліджень було визначено структуру пустотного простору зразків-пісковиків Володимирівської площі Волино-Поділля (кембрій) (табл. 1). При аналізі результатів петрофізичних досліджень (швидкості повздовжніх хвиль, коефіцієнт пористості в умовах змінних тисків та густина і швидкість поперечних хвиль в атмосферних умовах) на

основі розробленої авторської методики встановлено кількісний розподіл пустот різних форматів в кембрійських пісковиках Володимирівської площі.

Встановлено, що в породах незалежно від баричних умов найбільший відсоток пористості займають пустоти гранулярного типу. При збільшенні тиску до 600 кг/см² кількість тріщинних пустот у всіх зразках зменшилася на 3,91±0,16 %. В деяких зразках така тенденція відсутня: в зразку Вл-3 вже при тиску 400 кг/см² тріщинна пористість відсутня, а гранулярна – збільшилася; а в зразку Вл-30 кількість тріщин збільшилася на фоні зменшення кількості гранулярних пор та збільшення пустот перехідного типу (формат – 0,03). Це говорить про те, що на великих глибинах в більшості порід існує повне або часткове захоплення тріщин даного формату, а загальна пористість із значеннями навіть більше граничних для колекторів не є показником їх перспективності при пошуках нафти і газу.

Методика кількісної оцінки структури пустотного простору за петрофізичними дослідженнями в умовах змінних тисків надає можливість визначати типи пустот в породах та їх-

ню концентрацію, а також прогнозувати перспективність порід-колекторів при пошуках нафти і газу.

Література

1. Александров, К. С. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород [Текст] / К. С. Александров, Г. Т. Продайвода. – Новосибирск : Изд-во СО РАН. – 2000. – 354 с.
2. Комплексні геолого-петрофізичні дослідження складнопобудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину: звіт з НДР [Текст] / Наук. керівн. С. А. Вишва. Київ. ун-т; №ДР У-11-213/13; – К., 2011. – 607 с.
3. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика [Текст] / Под ред. Н. Б. Дортман, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 455 с.
4. Gueguen, Y., Adelinet, M. and others (2011) How cracks modify permeability and introduce velocity dispersion: Examples of glass and basalt, *The Leading Edge*, Vol. 30, № 12, 1392-1398.
5. Регіональні діагностичні петрофізичні особливості порід Антарктичного півострова (район станції «Академік Вернадський») [Текст] / В. О. Корчин, П. О. Буртний, О. Є. Карнаухова та ін. // Український антарктичний журнал. – 2010. – №9. – С. 23–31.

УДК 556.491:622

О.І. Гежий, аспірант,
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ІНФІЛЬТРАЦІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ НА ПРИКЛАДІ ШАХТНИХ ВІДВАЛІВ

Досліджено характер зміни інфільтраційного живлення у часі за умов складування шахтних відвалів. Інфільтраційне живлення це одна з основних величин, які зумовлюють зміни гідрогеологічних умов, підйому або спаду рівня ґрунтових вод. На основі результатів натурних спостережень розглянуто вплив рівня ґрунтових вод на інфільтраційне живлення.

Ключові слова: інфільтраційне живлення, рівень ґрунтових вод, шахтні відвали, нестационарна фільтрація.

А.И. Гежий ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗАПАДНОГО ДОНБАССА НА ПРИМЕРЕ ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ. Изучено характер изменения инфильтрационного питания во времени при условии складирования шахтных отвалов. Инфильтрационное питание это одна из основных величин, которые обуславливают изменения гидрогеологических условий, подъема или спада уровня грунтовых вод. На основании результатов натурных наблюдений рассмотрено влияние грунтовых вод на инфильтрационное питание.

Ключевые слова: инфильтрационное питание, уровень грунтовых вод, шахтные отвалы, нестационарная фильтрация.

Постановка проблеми. Західний Донбас є одним з найбільших гірничодобувних регіонів України, на якому ведеться інтенсивна розробка вугільних родовищ, і як наслідок - відсіпання шахтних відвалів.

Відсіпання відвалів супроводжується динамічним навантаженням на породну основу, що викликає зміну гідрогеологічних умов.

Однією з основних гідрогеологічних параметрів, що обумовлюють зміну гідрогеологічних умов, підйому або спаду рівня ґрунтових вод, є величина інфільтраційного живлення. Головна увага при вивченні цих питань слід приділяти натурним дослідженням, які є основою при прогнозних розрахунках. Особливо важливим це питання постає при гідрогеологічних розрахунках для територій з підвищеним техногенним навантаженням, а саме, гірничодобувних регіонах.

Аналіз основних випробувань та публікацій. Вивченню руху вологи в зоні аерації велику увагу в своїх роботах приділяли

С.Ф. Аверьянов[1], В.В. Бадов, М.М. Батирпін, А.І. Будаговській, І.К. Гавіч [2], А.М. Глобуо, Н.Е. Дзекунов, І.Е. Еернов, А.М. Лаврентьев, І.С. Пашковській, Н.В. Роговская, А.Б. Сітніков, І.І. Судніцін, Б.А. Файбішенко, В.Н. Чубаров та ін. Основна частина проведених досліджень присвячена вивченню кількісного пересування вологи в зоні аерації і визначенню інфільтраційного живлення підземних вод.

Існує декілька методів оцінки інфільтраційного живлення, їх розділяють на регіональні та локальні.

Першу групу утворюють балансовий (рішення рівняння загального водного балансу), гідролого-гідрогеологічний (кількісний аналіз річкового стоку) і гідрогеодинамічний (рішення зворотних задач геофільтрації) методи, представлені в роботах Н.Н. Верігіна, В.А. Всеволожського, І.К. Гавіч, Р.Г. Джамалови, І.С. Зекцера, Н.І. Коронкевич, Б.І. Куделіна, А.В. Лебедева, Н.А. Лебедевої, М.І. Львовича, В.М. Шестакова[3], В.М. Шестопалова та ін.