

550.832.47
К31

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

КАШУБА ГРИГОРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

УДК 550.835

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНІСНИХ
ПАРАМЕТРІВ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ЗА ДАНИМИ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ
АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬОВИХ ПОЛІВ

Спеціальність 04.00.22 — Геофізика

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Івано-Франківськ — 2004

Дисертацією є рукопис

Дисертація виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

-доктор геологічних наук, професор Федоришин Дмитро Дмитрович, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри геофізичних досліджень свердловин

Офіційні опоненти:

-доктор геолого-мінералогічних наук Лизун Степан Олексійович, генеральний директор ДП "Науканафтогаз" НАК "Нафтогаз України";

-кандидат геолого-мінералогічних наук Грицишин Василь Іванович, консультант головного геолога Івано-Франківської експедиції геофізичних досліджень свердловин ДП "Укргеофізика".

Провідна установа: Львівське відділення Українського державного геологорозвідувального інституту Міністерства екології та природних ресурсів України.

Захист дисертації відбудеться "___" _____ 2004 р. о ___ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К. 20.052.01 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України (вул. Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, Україна, 76019).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України (вул. Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, Україна, 76019).

Вчений секре
спеціалізован
кандидат геол





ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

an719

ь теми. Для визначення ємнісних параметрів порід-колекторів, як основний метод використовується акустичний каротаж. В практиці застосування акустичного каротажу інформацію про властивості гірських порід оцінюють через реєстрацію одного параметра - інтервалу часу розповсюдження повздовжньої хвилі через гірські породи на задану відстань. Всі інші характеристики акустичного сигналу практично не використовуються через складність розкладу цього сигналу на прості складові та відсутність методик інтерпретації. Згаданий часовий параметр також виявляється не завжди ефективним тому, що його тривалість визначається не тільки акустичними властивостями гірських порід, але також, в першу чергу, способом відбору вимірювальної інформації, неадекватністю розроблених теоретичних моделей реальним процесам формування сигналу, діаметром свердловини та іншими факторами. Для зменшення впливу вищеперерахованих факторів застосували диференційний метод вимірювання тривалості часового інтервалу проходження повздовжньої хвилі через гірські породи. Диференційний метод виявився ефективним при однакових умовах проходження сигналу в обох каналах, тому реалізація цього методу трьохелементним зондом виявилася ефективною для порівняно щільних і однорідних гірських порід, а для розушільнених неоднорідних – не ефективною. Незважаючи на ці застереження здійснення вимірювання інтервального часу виявилось найбільш фізично реалізованим. З точки зору відбору вимірювальної інформації інтервальний час найменш надійний параметр при застосуванні акустичного каротажу.

Для тріщинуватих, кавернозних, низькопористих колекторів результатів вимірювання інтервального часу для інтерпретації недостатньо. Визначення коефіцієнта пористості у складнопобудованих розрізах за даними акустичного каротажу ускладнене в зв'язку з недосконалістю аналогової апаратури і методичного забезпечення. Отже, недосконалість відбору вимірювальної інформації, неадекватність розроблених теоретичних моделей реальним процесам формування акустичних сигналів призводить до похибок визначення ємнісних параметрів порід-колекторів. Очевидно, що додаткове використання акустичного сигналу, а саме параметрів, які його характеризують, для отримання інформації про ємнісні характеристики гірських порід досить актуальне.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тема дисертаційної роботи тісно пов'язана з планами робіт ДК "УкрГазвидобування", ВАТ "Укрнафта", ЗАТ "Укрпромгеофізика" (договір № 143 - 966/02 з УкрНДГПІ про створення алгоритмів і методик для обчислення та інтерпретації динамічних параметрів акустичного каротажу), в яких автор безпосередньо приймав участь.

Мета і задачі дослідження.

Мета роботи: Метою роботи є вирішення науково-практичної проблеми

підвищення надійності визначення смісних параметрів порід-колекторів.

Об'єкт дослідження: породи-колектори різної пористості та літолого-стратиграфічної належності.

Предмет досліджень: акустичні сигнали отримані при проведенні акустичного каротажу.

Методи дослідження: теоретичне моделювання, експериментальні свердловинні акустичні дослідження, математична обробка даних та методи промислової геофізики.

Основні задачі досліджень:

1. Підвищити надійність пошуку та виділення початку відліку хвильової картини.
2. Розробити та обґрунтувати модель процесів формування акустичного сигналу з врахуванням стаціонарних потоків флюїду в поровому просторі та впливу коливань флюїду у порах порід-колекторів.
3. Встановити основні чинники, що впливають на динамічні параметри акустичного сигналу;
4. Розробити підходи до оцінки якості середніх коливних швидкостей повздовжньої та поперечної пружних хвиль, сумарної амплітуди акустичного сигналу;
5. Виявити наявність зв'язків динамічних параметрів з смісними властивостями гірських порід;
6. Встановити закономірності зміни пружних хвиль у породах-колекторах різної пористості;
7. Розробити методичні підходи визначення смісних властивостей флюїдонасичених середовищ за даними динамічних параметрів акустичного сигналу.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше встановлено характер поведінки динамічних параметрів акустичного сигналу в пористих насичених середовищах та закономірності їх зміни при формуванні та розформуванні зони проникнення;
- вперше встановлені основні фактори, які впливають на формування акустичного сигналу;
- виявлені та досліджені зв'язки динамічних параметрів з смісними властивостями гірських порід;
- вперше встановлено закономірності зміни пружних хвиль у породах-колекторах різної пористості.

Основні положення, які виносяться на захист:

1. Амплітуди і коливні швидкості, які реєструються в області від першого вступу повздовжніх до першого вступу поперечних пружних хвиль, зростають при збільшенні фільтрації бурового розчину в пласт і зменшуються при русі флюїду із

порового простору гірських порід у свердловину.

2. Зв'язок коефіцієнта пористості з коливною швидкістю поперечної хвилі має нелінійний характер.

3. Коливна швидкість поперечної хвилі залежить від наявності та кількості вільного флюїду в порах породи-колектора.

Практичне значення одержаних результатів. Результати проведених досліджень сприяють новому підходу до визначення коефіцієнта пористості за даними акустичного каротажу, який на даному етапі є основним методом для його оцінки, та науково обґрунтовують зміни акустичних хвильових полів у складних геологічних умовах. Результати проведених досліджень дозволили:

- підвищити надійність вимірювання кінематичних параметрів акустичного каротажу;

- розробити методику виділення порід-колекторів за результатами комплексного параметра (P_{np}), який враховує динамічні характеристики повздовжньої та поперечної пружних хвиль;

- розробити методики визначення коефіцієнта пористості за даними середніх коливних швидкостей повздовжньої та поперечної хвилі;

- розробити методику визначення коефіцієнта ефективної пористості за даними сумарних амплітуд акустичного сигналу.

Алгоритми визначення перших вступів повздовжньої та поперечної хвилі, а також обрахунку їх динамічних параметрів разом із розробленими методики інтерпретації реалізовані у вигляді програми обробки хвильових акустичних сигналів в комп'ютеризованій технології обробки та інтерпретації матеріалів ГДС "Геопошук".

Розроблені автором методики виділення порід-колекторів та визначення коефіцієнта пористості за даними динамічних параметрів акустичного сигналу використовуються працівниками геологічного відділу ЗАТ "Укрпромгеофізика" при виділенні продуктивних горизонтів і оцінці їх пористості на родовищах Дніпровсько-Донецької западини (Ульянівське, Вишневецьке, Північно-Коробочкінське).

Запропоновані методики виділення порід-колекторів та визначення їх коефіцієнтів пористості можуть бути використані в різних регіонах, про що вказують приклади з різних родовищ СНД.

Фактичним матеріалом послужили:

- фондові та опубліковані геолого-геофізичні матеріали з геофізичних досліджень свердловин на родовищах Передкарпатського прогину та Дніпровсько-Донецької западини;

- хвильові картини, отримані ЗАТ "Укрпромгеофізика" при дослідженні свердловин методами акустичного зондування на родовищах ДДз;

- дані про фільтраційно-ємнісні параметри пластів-колекторів, які надані

філією ДК “Укргазвидобування” УкрНДІГазом, визначені на керновому матеріалі.

Автором вивчено і узагальнено результати досліджень методом акустичного каротажу (динамічні параметри) та опрацьовано матеріали комплексу промислово-геофізичних досліджень (каверіометрії, стандартного каротажу, БКЗ, ІК, БК, МБК, МК, АК, ГК, НГК, термометрії) більше ніж в п'ятдесяті свердловинах Передкарпатського прогину та Дніпровсько-Донецької западини.

Особистий внесок здобувача полягає у систематизації, інтерпретації та опрацюванні результатів акустичного каротажу. В основі дисертаційної роботи використані власні дослідження, які були спрямовані на вивчення змін акустичних сигналів у породах-колекторах. Результати проведених досліджень висвітлені в 7 опублікованих працях, в тому числі 2 самостійно. У статтях, що написані у співавторстві, основна частина використаного матеріалу – це дослідження і аналіз результатів, які виконав особисто здобувач.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу ІФДТУНГ (м. Івано-Франківськ 1998р.), 6-й Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України-2000” (м. Івано-Франківськ 2000р.), Науково-технічних радах підприємств: ЗАТ “Укрпромгеофізика”, ДК “Укргазвидобування”, ВАТ “Укрнафта”, а також Наукових семінарах кафедри геофізичних досліджень свердловин ІФНТУНГ.

Публікації. Автором опубліковано 7 праць за темою дисертації, із них 4 статті (в тому числі дві одноосібні) в журналах, рекомендованих ВАК України, 1 стаття в збірнику наукових праць та 2 тези в збірниках наукових праць науково-технічних конференцій.

Об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 7 розділів, висновків і списку використаних джерел. Текст викладено на 150 сторінках машинного тексту і включає 39 рисунків та 6 таблиць. Список літератури містить 98 найменувань.

Дисертація виконувалась на кафедрі “Геофізичних досліджень свердловин” ІФНТУНГ в 1998-2004 рр. під керівництвом завідувача кафедри геофізичних досліджень свердловин, доктора геологічних наук, професора Федоришина Дмитра Дмитровича, якому автор висловлює щирю подяку за постійну підтримку та цінні поради при написанні дисертаційної роботи.

Також автор висловлює подяку кандидату технічних наук, завідувачу відділом радіометрії ФМІ м. Львів Р.Ф. Федоріву, кандидату геолого-мінералогічних наук, професору В.П. Степацюку, кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту В.А. Старостіну, кандидату технічних наук, доценту С.В. Клібанцю, кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту Ю.В.

Філатову, кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту О.М. Карпенко, кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту Л.С. Мончаку, інженеру І.С. Іванику за допомогу у проведенні досліджень, співробітникам ЗАТ “Укрпромгеофізика”, ІФЕГДС, УкрНДГРІ за матеріали, які були надані дисертанту і сприяння у впровадженні результатів досліджень у практику геофізичних робіт.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПРОБЛЕМИ

На даний час із багатопараметрового акустичного сигналу використовується практично один параметр - інтервальний час (Δt_p), за який приймається мінімальний інтервал часу поширення повздожної хвилі у гірських породах на заданій відстані. На основі вимірювання інтервального часу розроблені методики визначення коефіцієнта пористості гранулярних колекторів. На сьогодні відомою і базовою є залежність інтервального часу повздожної хвилі від коефіцієнта пористості, яка отримала назву рівняння середнього часу і була вперше описаною Уїллі та Грегорі:

$$\Delta t_p = \Delta t_{cx}(1 - K_n) + \Delta t_f K_n, \quad (1)$$

де Δt_{cx} — інтервальний час пробігу повздожної хвилі в непористому мінеральному скелеті; Δt_f — інтервальний час пробігу повздожної хвилі у флюїді, значення якого залежать від складу флюїду, який заповнює пори, пластових температур, тисків і мінералізації пластової води; K_n — коефіцієнт пористості виражений в долях одиниць.

З метою врахування різних факторів, які впливають на величину пористості дана залежність уточнювалася багатьма дослідниками, шляхом введення в рівняння (1) різного роду коефіцієнтів і констант, але кардинальних змін не зазнала. Також мали місце спроби змінити рівняння середнього часу (1) шляхом використання інтервального часу розповсюдження поперечної хвилі Δt_s :

$$K_n = (\Delta t_s - \Delta t_{scx}) / (m - 1) \Delta t_{scx}, \quad (2)$$

де Δt_{scx} - інтервальний час розповсюдження поперечної хвилі в мінералогічному скелеті породи; m - структурний коефіцієнт, який враховує шлях поширення поперечної хвилі навколо пор.

Використання залежності (2) не знайшло широкого використання в зв'язку з проблемами визначення першого вступу поперечної хвилі та відсутністю моделей, які відповідають реальним умовам формування акустичного сигналу.

Разом з тим відомі деякі роботи, пов'язані з використанням додаткових параметрів акустичного сигналу, а саме дикременту затухання, фазокореляційних діаграм, параметрів хвилі Лемба – Стоуна які, на сьогодні, використовуються лише на якісному рівні.

Використання динамічних параметрів для кількісної оцінки емісійних

властивостей на сьогодні практично не вирішене. Цій проблемі присвячено багато робіт. В її вирішення найбільший вклад внесли Ніколаєвський В.Н., Колісниченко В.Г., Логінов К.В., Семенішин О.І., Дзєбань І.П., Козяр В.Ф., Федорів Р.Ф. На основі результатів їхніх досліджень стало можливим надалі вдосконалювати і проводити нові розробки апаратури та методик акустичного каротажу.

ПРОБЛЕМИ ВИДІЛЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРШОГО ВСТУПУ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Ефективність використання методу АК, як зазначалося вище, в значній мірі залежить від точності визначення першого вступу. Як відомо, апаратура та програмні продукти, які на сьогодні використовуються, дають похибку визначення першого вступу в межах 10 – 20 мкс, що відповідає 4 - 5 % пористості. Ця проблема постала давно і для її вирішення нами запропонована система автоматичного регулювання часового вікна очікування - появи першого вступу.

Нами запропоновано першим вступом вважати таку ознаку сигналу, як максимум амплітуди, або спосіб виділення першого вступу, якщо початком відліку вважати момент часу появи першого екстремуму, коли похідна акустичного сигналу дає перший нуль. Оскільки у гірських породах час розповсюдження хвилі змінюється приблизно від 200 до 1500 мкс, то виникає проблема усунення перешкод при пошуку і виділення найбільш ймовірної появи імпульсу початку відліку хвилевої картини. Для автоматичного пошуку імпульсу початку відліку нами запропоновано використовувати алгоритм системи пошуку з так званим змінним, по тривалості, вікном пошуку. Робота алгоритму системи пошуку полягає в наступному.

На етапі пошуку система формує вікно, ширина якого більша за найбільш імовірний період повздовжньої хвилі (для кожного регіону вибирається з експериментальних досліджень). Коли “вікно” попадає не на перший вступ (в його інтервал попадає попереднє коливання), воно рухається по часовій осі сигналу вперед доки не знайде перший вступ. Після цього воно автоматично зменшується до величини 3-4 мкс (в залежності від регіону досліджень). Другим етапом є підвищення надійності правильного визначення першого вступу, яке полягає у використанні для відбору ознаки першого вступу повздовжньої хвилі малого, меншого за період коливань, але достатнього для відслідкування, градієнту швидкості поширення пружних коливань у межах конкретного регіону. “вікна” відбору і заборони формування тих елементів сигналу, ознака початку відліку яких вибрана не вірно. В результаті роботи системи уточнені часові інтервали при збоях можуть відрізнитися від істинних на інтервал часу тривалості малого вікна відбору.

Крім того нами запропонований алгоритм визначення першого вступу поперечної хвилі, який ґрунтується на відомостях про відношення між собою швидкостей (V_p/V_s) і частот (f_p/f_s) повздовжньої та поперечної хвилі. На першому

етапі формується часове вікно існування повздовжньої хвилі, початок якого визначається мінімальним значенням відношення швидкостей (V_p/V_s) повздовжньої та поперечної хвиль, а кінець – першим вступом гідрохвилі, швидкість розповсюдження якої є величиною постійною. На другому етапі проводиться уточнення першого вступу, у часовому вікні існування поперечної хвилі, за рахунок аналізу відношення частот (f_p/f_s) повздовжньої та поперечної пружних хвиль.

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЕКТОРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ДАНИМИ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АКУСТИЧНОГО ХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ

Параметри акустичного сигналу. Нами пропонується імпульсний коливний сигнал охарактеризувати такими динамічними параметрами, вимірювання яких реалізоване завдяки підвищенню точності виділення першого вступу, саме:

- сумарною амплітудою $A_2 = \sum_{i=1}^N A_i$;

- числом коливань N з амплітудою $A_i \geq U_{\text{ог}}$, де $U_{\text{ог}}$ заданий поріг дискримінації;

- коливною швидкістю $C = dU/dt$.

Пропонується використовувати числове значення середньої коливної швидкості, яка розраховується за формулою:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{\sum_{i=1}^N \tau_i}, \text{ (за даними Р.Ф. Федоріва, 1984 р),}$$

де A_i та τ_i – відповідно амплітуда та час, за який вона відбулася для того чи іншого типу хвилі.

Використання даних параметрів для кількісної оцінки смісних властивостей порід-колекторів можливе тільки при уточненні геоакустичної моделі присвердловинної зони колектора. Класичні підходи до опису акустичних сигналів не відповідають реальним умовам їх формування, що в свою чергу призводить до похибок оцінки геолого-геофізичних параметрів колекторів.

Динамічна геоакустична модель присвердловинної зони колектора. Під динамічною геоакустичною моделлю слід розуміти модель радіального розрізу свердловини і навколосвердловинного простору, яка відображає основні особливості процесів, що протікають у реальному навколосвердловинному просторі при поширенні в ньому акустичних коливань.

Нами пропонується модель присвердловинної зони колектора, яка ґрунтується на наступних основних положеннях:

1. Кінематично радіальне поширення швидкостей характеризує присвердловинну зону, як внутрішній симетричний хвильовід.

2. Навколосвердловинний простір являє собою трьохфазне середовище, що складається з твердого пружного скелету, хімічно і капілярно зв'язаної рідини та вільної рідини, здатної до переміщення відносно зв'язаної без тертя. В залежності

від задачі, яка вирішується, середовище може розглядатися, як двофазне, при цьому зв'язана вода ототожнюється або із скелетом, або з вільним флюїдом.

3. Має місце гідродинамічний зв'язок між поровим об'ємом колектора і буровою рідиною в стовбурі свердловини, що здійснюється через тонкі капіляри в глинистій кірці.

4. Може мати місце гідродинамічна нерівновага між буровою рідиною та флюїдом в поровому просторі колектора і, як наслідок, стаціонарний потік флюїду в поровому середовищі.

5. При поширенні в проникному середовищі (колекторі) акустичних хвиль крім звичайних типів коливань (повздовжніх, поперечних, поверхневих) виникають вторинні хвилі (комбінаційні, рефраговані, відбиті), на утворення яких використовується найбільша частина енергії первинного (яке збуджується) хвильового поля.

6. При виконанні пункту 4 даної моделі проходить обмін енергією між стаціонарним потоком флюїду та акустичним полем і внаслідок цього - зміни в динамічних параметрах хвиль.

Залежність коливних швидкостей і амплітуд акустичного сигналу від пористості і процесів формування – розформування зони проникнення. Розглянуте положення підтверджується великою кількістю експериментальних даних, які отримані нами на родовищах України, так і за результатами обробки даних, отриманих з матеріалів наданих І.В. Логіновим та Р.Ф. Федорівим по родовищах Узбекистану та Західного і Східного Сибіру. Наприклад, коливні швидкості комбінаційних хвиль (вторинних хвиль, які реєструються в часовому вікні від першого вступу повздовжньої до першого вступу поперечної хвилі) в проникних газових пластах, одержані в процесі формування зони проникнення, при важкому буровому розчині, в 8 - 10 раз інтенсивніші, ніж в опорних, щільних (дзвінких) пластах на Ульянівському та Медведівському родовищах ДДз (Україна), площах Шуртан, Зсварди, Газли, Гумбулак і інших (Узбекистан). Навпаки, в одновікових і літологічно однотипних відкладах, але в процесі розформування зони проникнення (легкий розчин) (Східно-Олексіївська площа ДДз, Україна, площа Північний Сох і ін., Узбекистан) вони значно нижчі.

Отже виходячи із вищенаведеного, можна зробити висновок, що амплітуди і коливні швидкості, які реєструються в області від першого вступу повздовжніх до першого вступу поперечних хвиль, зростають при збільшенні фільтрації бурового розчину в пласт і зменшуються при русі флюїду із порового об'єму гірських порід в свердловину.

ВИДІЛЕННЯ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ЗА ДАНИМИ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ

Якісну уяву про наявність у розрізі порід-колекторів можна отримати при

суміщенні показів у вміщуючих породах зареєстрованих кривих \tilde{C}_p , \tilde{C}_s . Породини-колектори відповідають ділянкам розходження показів по \tilde{C}_s , \tilde{C}_p , причому \tilde{C}_p збільшується.

З метою детального виділення порід-колекторів для вищезгаданих параметрів, а також параметра A_{Σ} , будувалися нормативні криві: $\tilde{C}_{пор}$, $\tilde{C}_{\Sigma пор}$, $A_{\Sigma пор}$.

Нормування значень проводиться за формулою: $A_{норм} = -\frac{1}{l} \ln \frac{A_i}{A_{ог}}$,

де $A_{норм}$ -нормовані значення параметра (\tilde{C}_p , \tilde{C}_s , A_{Σ}); l - довжина зонда (для СПАК-6, СПАК-8, АК-АГАТ складає 1,2 м перший зонд, або 1,6 м – другий зонд); A_i - значення параметра (\tilde{C}_p , \tilde{C}_s , A_{Σ}) в i - тій точці оцифровки.

З цією ж метою нами запропоновано використати комплексний параметр (параметр проникності $P_{пр}$): $P_{пр} = \left| \tilde{C}_{пор} \right| + \tilde{C}_{\Sigma пор}$.

Породами-колекторами будуть інтервали, в яких значення параметрів $P_{пр}$, $\left| \tilde{C}_{пор} \right|$, $A_{\Sigma пор}$ перевищують рівневі лінії. Значення рівневих ліній для досліджуваних розрізів умовні. Вони визначаються по співставленню одержаних нормованих значень з результатами обробки стандартного комплексу ГДС і з даними лабораторних аналізів керну, а також, якщо такі є у досліджуваних інтервалах, результатами випробовування пластів. Для більшості розглянутих глибоких свердловин у Передкарпатському прогині (4,9 - Лопушна, 101 - Янківська і ін.) граничні значення $P_{пр}$ складають $0,6 \div 0,7$ ум.од., значення $A_{\Sigma пор}$ - $0,15 \div 0,2$ ум.од., пороговий рівень параметра $\left| \tilde{C}_{пор} \right|$ близький до $0,2$ ум.од.

Згідно результатів випробовування, в разі їх наявності, з інтервалів, які виділені за даними динамічних параметрів як колектори, отримано припливи пластових флюїдів. Отже такий спосіб виділення порід-колекторів є достатньо обґрунтованим і перспективним для використання.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОРИСТОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ДАНИМИ СЕРЕДНІХ КОЛИВНИХ ШВИДКОСТЕЙ ПОВЗДОВЖНЬОЇ ХВИЛІ

В літературі запропоновано наступне співвідношення, що пов'язує загальну і ефективну пористості з густинами середовища та коливними швидкостями частинок у повздовжній хвилі:

$$\rho_p \tilde{C}_p = (1 - K_n) \rho_{сг} \tilde{C}_{сг} + K_n \rho_{ф} \tilde{C}_ф - K_{пор} \rho_{ф} \tilde{C}_{пор}, \quad (3)$$

де ρ_p - середня об'ємна густина породи; \tilde{C}_p - середня по всьому об'єму породи коливна швидкість частинок у повздовжній хвилі; K_n - коефіцієнт загальної пористості (тобто відносний об'єм породи, зайнятий вільним і зв'язаним флюїдом);

$\rho_{ск}$ - густина речовини скелету; $\tilde{C}_{ск}$ - коливна швидкість повздовжньої хвилі у скелеті породи; $\rho_{ф}$ та $\tilde{C}_{ф}$ - густина та коливна швидкість для флюїду відповідно; $K_{неф}$ - коефіцієнт ефективної пористості (відносний об'єм, зайнятий вільним, рухомим флюїдом); $\tilde{C}_{ов}$ - швидкість відносного зміщення частинок скелету та флюїду.

Всі параметри із (3), крім $\tilde{C}_{р}$, яка обраховується, невідомі і оцінюються з апіорних відомостей про фізику хвильового поля в пористих насичених середовищах. На прикладі Ульяновського родовища (ДДз, Україна) нами показана послідовність визначення даних параметрів.

Визначення середньої коливної швидкості повздовжньої хвилі у скелеті породи. Нами запропоновані такі способи визначення величини $\tilde{C}_{ск}$:

- 1) розрахунковий за допомогою відомостей про інтервальний час розповсюдження повздовжньої хвилі та використання співвідношення: $\tilde{C}_{ск} = 100 \cdot \Delta t_{ск} / \rho_r$;
- 2) співставлення коливної швидкості C_r зареєстрованої навпроти пласта - колектора з коефіцієнтом пористості цього пласта. Коливна швидкість \tilde{C}_r зареєстрована навпроти пластів-колекторів збільшується із збільшенням коефіцієнта пористості цих пластів і має тісний кореляційний зв'язок: $\tilde{C}_r = 1,6 K_{пкери} + 6,12$, $r = 0,95$;
- 3) співставлення величини інтервального часу Δt_r і коливної швидкості \tilde{C}_r в пластах колекторах;
- 4) співставлення коливної швидкості \tilde{C}_r з величиною, оберненою питомому електричному опору $1/\rho_{эф,БК}$, розрахованою за результатами бокового каротажу (БК) для пластів, які характеризуються максимально великим діапазоном зміни цих параметрів.

Отримані значення коливної швидкості повздовжньої хвилі у скелеті породи різними методами мало відрізняються і змінюються від 6,1 до 6,6 ум.од.

Визначення середньої коливної швидкості повздовжньої хвилі у поровому флюїді ($\tilde{C}_{ф}$).

З метою визначення величини $\tilde{C}_{ф}$ співставлено величини середніх коливних швидкостей повздовжньої \tilde{C}_r та поперечної C_s хвиль (див. рис.1). Замість величини \tilde{C}_r можна використати коефіцієнт пористості K_n . Якщо побудувати вищезпропоновану залежність, а поперечна хвиля не розповсюджується у рідинних середовищах, тобто $\tilde{C}_s = 0$, то продовжуючи лінію регресії, одержану при усередненні точок, до перетину з віссю \tilde{C}_r одержимо не що інше, як $\tilde{C}_{ф}$.

Із залежності показаної на рис.1 видно, що значення \bar{C}_p для правої гілки залежності буде набувати від'ємних значень. Аналізуючи процес взаємодії повздовжніх та поперечних типів коливань у хвильовому акустичному полі ми отримали не коливну швидкість повздовжньої хвилі у поровому флюїді, а величину, яка враховує вплив коливань порового флюїду на коливну швидкість повздовжньої хвилі в породі-колекторі. Отриману величину, позначимо за $\bar{C}_{p,w}$, слід тлумачити наступним чином.

При малих значеннях пористості $1,5 \div 10\%$ останнім членом правої частини рівняння (3) можна знехтувати згідно вищеприведеного опису хвильових процесів у проникних середовищах та враховуючи емпіричний зв'язок коефіцієнта пористості та проникності. При збільшенні відкритої пористості різко зростає коефіцієнт проникності, а відповідно і коефіцієнт ефективної пористості (кількість вільного флюїду у порах). За таких умов у рівнянні (3) спрацьовує останній член у

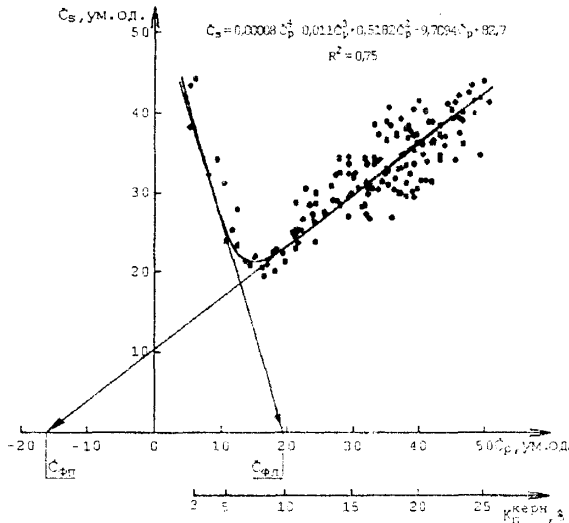


Рис.1 Характер зміни середньої коливної швидкості поперечної хвилі в залежності від середньої коливної швидкості повздовжньої хвилі (коефіцієнту пористості гірських порід)

правій частині рівняння (3) стають рівними і $\bar{C}_{p,w} = 0$. При подальшій зміні пористості (в бік збільшення) третій доданок ($K_{неф} \rho_p \bar{C}_{w0}$) переважає другий ($K_n \rho_p \bar{C}_p$) і як результат $\bar{C}_{p,w} < 0$.

Оскільки величину \bar{C}_{w0} оцінити важко, а коефіцієнт ефективної пористості невідомий, то для визначення коефіцієнта пористості за даними середніх коливних

($K_{неф} \rho_p \bar{C}_{w0}$). Він

приводить до зменшення величини правої частини швидше ніж може зменшуватися ліва $\rho_p \bar{C}_p$ за рахунок ρ_p . Разом з тим нами показано, що при збільшенні коефіцієнта пористості збільшується середня коливна швидкість повздовжньої хвилі. При збільшенні пористості збільшується фільтрація, величина C_p та $K_{неф}$. В результаті при деякому значенні пористості другий та третій доданок правої

швидкостей повздожньої хвилі, при відсутності залежності “керна-геофізика”, на основі статистичних даних нами виведена формула:

$$K_n = \frac{0,1(\bar{C}_p - \bar{C}_{\alpha})}{\left(\frac{\rho_p}{\rho_{\alpha}} \bar{C}_{p,\alpha} - \bar{C}_{\alpha} \right) + \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{\alpha}} \right) \bar{C}_p} \quad (4)$$

Величина $\bar{C}_{p,\alpha}$ є змінною, а її значення залежить від кількісного значення коефіцієнта пористості. Вона оцінюється за допомогою отриманої залежності показаної на рисунку 1.

Нами розраховані коефіцієнти пористості за допомогою (4) для свердловин ДДз (12, 51, 52 – Ульянівська) і Передкарпатського прогину (9 – Лопушнянська, 1 – Північно-Делятинська) та співставленні з коефіцієнтом пористості, визначеним на керовому матеріалі. Слід відмітити співставимість результатів (коефіцієнт кореляції складає 0,9 – 0,95).

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОРИСТОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ДАНИМИ СЕРЕДНІХ КОЛИВНИХ ШВИДКОСТЕЙ ПОПЕРЕЧНОЇ ХВИЛІ

Нами запропоноване наступне співвідношення для визначення пористості за даними середніх коливних швидкостей поперечної хвилі та густин:

$$K_n = \frac{0,1(\bar{C}_s - \bar{C}_{s\alpha})}{\bar{C}_s \left(1 + \frac{\rho_p}{\rho_{\alpha}} (n-1) \right) - \bar{C}_{s\alpha}} \quad (5)$$

де $\bar{C}_{s\alpha}$ - середня коливна швидкість поперечної хвилі у скелеті породи; n - коефіцієнт, що враховує вплив коливань порового флюїду на середню коливну швидкість поперечної хвилі.

Визначення середньої коливної швидкості поперечної хвилі у скелеті породи ($\bar{C}_{s\alpha}$). Здійснюється графічним або розрахунковим (по аналогії визначення параметра \bar{C}_{α}) методами. Ці методи вимагають даних про середню коливну швидкість повздожньої хвилі у скелеті породи \bar{C}_{α} . Враховуючи, що залежність середньої коливної швидкості поперечної хвилі і коефіцієнта пористості має нелінійний характер, тобто присутні дві гілки, то для різних діапазонів пористості будуть відповідати різні значення $\bar{C}_{s\alpha}$. Слід зазначити, що згідно графічного визначення $\bar{C}_{s\alpha}$ він досить добре співпадає з розрахунковим для правої гілки залежності (див. рис.1).

Оцінка коефіцієнта, що враховує вплив коливань порового флюїду на середню коливну швидкість поперечної хвилі. Множник n у рівнянні (5) буде враховувати вплив коливань порового флюїду, насамперед вільного, на скелет

породи, по якому розповсюджується поперечна хвиля. По аналогії з рівнянням (2) його не можна називати структурним коефіцієнтом. Коефіцієнт n буде змінюватися у залежності від впливу порового флюїду на середовище, де розповсюджується поперечна хвиля (скелет породи), і як наслідок цього, від зміни середньої коливної швидкості поперечної хвилі \bar{C}_S . Даний висновок стає зрозумілим, якщо проаналізувати залежність показану на рисунку 1. Як видно із даної залежності середня коливна швидкість поперечної хвилі нелінійно пов'язана з коефіцієнтом пористості і разом з тим, з середньою коливною швидкістю повздовжньої хвилі. Власне із даної залежності, згідно з наведеним, оцінюється коефіцієнт n , а саме $n = \bar{C}_{\text{пл}} / \bar{C}_S$.

Згідно даних про \bar{C}_P і \bar{C}_S , по свердловинах №№ 4, 9 – Лопушнянського родовища, № 101 – Янківська (Передкарпатський прогин), №№ 51, 52, 12 – Улянівського родовища, № 21 – Вишневська (ДДЗ), нами розраховані коефіцієнти пористості за даними \bar{C}_S і співставлені з коефіцієнтом пористості по керну у інтервалах його виносу. Коефіцієнт кореляції складає 0,78.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЕФЕКТИВНОЇ ПОРИСТОСТІ ЗА ДАНИМИ СУМАРНИХ АМПЛІТУД АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ

Задачу визначення коефіцієнта ефективної пористості теоретично можна вирішити і на базі використання формули (3), якщо виразити $K_{\text{неф}}$ як функцію решти параметрів. Практично такий шлях реалізувати важко через складність визначення величини $\bar{C}_{\text{пл}}$.

Для визначення $K_{\text{неф}}$ на основі статистичних даних виведена формула:

$$K_{\text{неф}} = K_{\text{пмс}} \left(1 - \frac{A_{\Sigma}}{A_{\Sigma \text{пл}}} \right), \quad (6)$$

де $K_{\text{пмс}}$ - коефіцієнт загальної пористості, визначений за даними ГДС (по НГК - ГК, ГГК - Ш, Δt_p , \bar{C}_P , \bar{C}_S , і т.д.), або по керну; $A_{\Sigma \text{пл}}$ – сумарна амплітуда акустичного сигналу навпроти опорного (щільного) пласта.

Значення $A_{\Sigma \text{пл}}$ для кожного літотипу вибирається в залежності від швидкості поширення повздовжніх хвиль на основі визначення $K_{\text{пл}}$ та $K_{\text{неф}}$ по керну.

Як результат слід відмітити, що в інтервалах, для яких відомі коефіцієнти ефективної пористості, визначені на керновому матеріалі, спостерігається співпадіння розрахованих значень $K_{\text{неф}}$ за даними A_{Σ} .

ВИСНОВКИ

Для оцінки ємнісних параметрів порід-колекторів, як основний метод, використовується акустичний каротаж. Недосконалість відбору вимірювальної

інформації, неадекватність розроблених теоретичних моделей реальним процесам формування акустичних сигналів призводить до помилок визначення смісних параметрів порід-колекторів.

У дисертаційній роботі в результаті експериментальних досліджень та теоретичних обґрунтувань розроблено новий методичний підхід до кількісної оцінки смісних властивостей порід-колекторів за даними динамічних параметрів акустичного сигналу.

Вивчено та встановлено закономірності зміни повздовжньої та поперечної пружних хвиль у породах-колекторах, виявлено їх зв'язок з коефіцієнтом пористості та фактори хвильового акустичного поля, що спричиняють ці зміни. Наведено приклади літологічного розчленування різних типів розрізів, виділення пластів-колекторів, оцінки їх смісних характеристик за даними середніх коливних швидкостей повздовжньої та поперечної пружних хвиль і сумарних амплітуд акустичних сигналів. Виявлено і показано ряд факторів, які не враховуються при визначенні смісних властивостей пластів-колекторів за даними кінематичних характеристик акустичного сигналу, одним з яких є неточність визначення першого вступу повздовжньої хвилі.

Вперше вивчено та обґрунтовано можливість використання динамічних параметрів з метою надійного виділення порід-колекторів та кількісної оцінки їх пористості.

При цьому отримані такі основні результати:

1. Запропоновано шляхи підвищення надійності пошуку та виділення початку відліку хвильової картини. На цій основі розроблені алгоритми визначення перших вступу повздовжньої та поперечної хвиль і обрахунку їх динамічних параметрів. Дані алгоритми реалізовані програмними засобами в комп'ютеризованій технології обробки та інтерпретації матеріалів ГДС "Геопозук", який широко і успішно використовується при дослідженні нафтогазоносних розрізів.

2. Розроблено модель процесів формування акустичного сигналу із врахуванням стаціонарних потоків флюїду в поровому просторі та впливу коливань флюїду в порах порід-колекторів. Виявлено, що має місце гідродинамічний зв'язок між поровим об'ємом колектора і буровою рідиною в стовбурі свердловини, який здійснюється через тонкі капіляри в глинистій кірці, в результаті чого проходить обмін енергією між стаціонарним потоком флюїду та акустичним полем, наслідком чого є зміни в динамічних параметрах хвиль.

3. Наявність та значний вплив рухомого флюїду на динамічні параметри АК у породах-колекторах вказує на доцільність проведення дослідження в найкоротші терміни після розкриття пласта бурінням, а саме в період інтенсивного формування зони проникнення. Чутливість методу дослідження свердловин за допомогою динамічних параметрів значною мірою залежить від часу їх проведення. Матеріали записані через великий інтервал часу (3-6 місяців) після розкриття досліджуваного

інтервалу характеризуються великим затуханням кривих (саме більше \bar{C}_p, A_z), що різко понижує їх диференційну здатність і затруднює використання для інтерпретації. Згідно проведеного аналізу цей час, по можливості, має бути мінімальним і не повинен перевищувати одного місяця.

4. Розроблено підходи до оцінки якості середніх коливних швидкостей повздожньої та поперечної пружних хвиль, сумарної амплітуди акустичного сигналу.

5. Встановлено зв'язок динамічних параметрів з емісійними властивостями гірських порід. Середня коливна швидкість повздожньої хвилі прямопропорційно зв'язана з коефіцієнтом пористості. Середня коливна швидкість поперечної хвилі нелінійно пов'язана з коефіцієнтом пористості.

6. Середня коливна швидкість поперечної хвилі, а отже і її амплітуда в області низьких значень пористості, зменшується в сторону збільшення пористості і починаючи з деякого значення пористості, а саме 8÷10 %, починає зростати, що вказує на зменшення впливу коливань флюїду в порах на коливання матриці породи.

7. Вперше розроблено методичні підходи до виділення порід-колекторів і визначення їх емісійних параметрів за даними динамічних характеристик хвильового акустичного поля. Показано принцип їх використання для розрізів родовищ Дніпровсько-Донецької западини та Передкарпатського прогину.

По темі дисертації опубліковані такі роботи:

1. Федорів Р.Ф., Кашуба Г.О. Система автоматичного пошуку, виділення та відбору першого вступу сигналу акустичного зонда // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ М.: Івано-Франківськ. 1997. - Вип. 34, том 1. - С. 131 – 142. (Особистий внесок - запропоновано та розроблено метод виділення першого вступу, який не залежить від амплітудного рівня та несиметричності сигналу відносно нульової лінії, 50 %).

2. Кашуба Г. О. Динамічна геоакустична модель присвердловинної зони колектора // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ М.: Івано-Франківськ. 1999. - Вип. 36, том 1. - С. 161 – 167.

3. Федоришин Д.Д., Федорів Р.Ф., Федорів В.В., Кашуба Г.О., Ужвій Г.М., Виділення порід-колекторів за даними динамічних параметрів акустичного каротажу// Науковий вісник національного технічного університету нафти і газу. Івано-Франківськ. 2002. - Вип. 1. - С.23 – 28. (Особистий внесок - зібрано та узагальнено наявний фактичний матеріал; розроблено методику виділення порід-колекторів за даними динамічних параметрів, 50 %).

4. Кашуба Г. О. Вивчення впливу коливань флюїду у порах порід-колекторів на формування акустичного сигналу // Питання розвитку газової промисловості

України. М.: Харків. - 2003. - Вип. 31. - С. 98 – 103.

5. Федорів Р.Ф., **Кашуба Г.О.** До інтерпретації динамічних параметрів акустичного каротажу // Збірник наукових праць “Теоретичні та прикладні проблеми нафтогазової геофізики”. М.: Київ. - 2001. - С.164-169. (Обробка, аналіз результатів досліджень свердловин динамічними параметрами, теоретичне обґрунтування, висновки, 70 %).

6. **Кашуба Г.О.**, Федорів Р.Ф. Стан і перспективи розвитку методу і апаратури акустичного каротажу// Збірник наукових праць. Матеріали 6^{ої} Міжнародної науково-практичної конференції “ Нафта і газ України-2000”, Івано-Франківськ. - 2000. - С.316 - 317.(Особистий внесок – проаналізовано стан розвитку методик визначення петрофізичних параметрів гірських порід, 80 %).

7. Федорів Р.Ф., **Кашуба Г.О.** Про можливість розділення хвильової картини на прості складові// Тези доповіді науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. Івано-Франківськ. - 1999. - С 166.(Особистий внесок – аналіз стану проблеми, ідея, 70 %).

Анотація

Кашуба Г.О. *Теоретичні та методичні основи визначення ємнісних параметрів порід-колекторів за даними інтерпретації акустичних хвильових полів.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 - геофізика, Міністерство освіти та науки України, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2004.

Захищаються результати наукових досліджень, у яких висвітлені основні теоретичні, експериментальні та практичні положення по вирішенню актуальної проблеми – підвищення геолого-геофізичної інформативності діагностики порід-колекторів та ефективності визначення їх ємнісних характеристик шляхом використання динамічних параметрів акустичного сигналу. З цією метою розроблено та впроваджено алгоритми визначення динамічних параметрів з хвильових акустичних сигналів.

На основі теоретичних обґрунтувань та експериментальних даних про поведінку цих параметрів в породах-колекторах розроблено методики якісної та кількісної оцінки їх ємнісних властивостей. Встановлено закономірності розповсюдження повздовжньої та поперечної хвиль в породах-колекторах однакового мінералогічного складу та різної пористості.

Методики апробовано при інтерпретації результатів акустичних досліджень геологічних розрізах ДДз і Передкарпатського прогину.

Ключові слова: акустичний сигнал, повздовжня і поперечна хвилі, сумарна амплітуда, динамічні параметри, пористість, породи-колектори.

ABSTRACT

Kashuba G.O. *Theoretical and Methodical Principles for Determining Capacity Characteristics of Reservoir Rocks on the Basis of Acoustic Wave Fields Data Interpretation.*

Thesis for Masters of Science degree (Geology) in specialty 04.00.22 – Geophysics. Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2004.

Supported are the research findings which bring to light the basic theoretical, experimental and practical techniques used for solving the topical problem – enhancement of geological and geophysical factual value for reservoir rocks diagnostics and efficient determination of their filtration and capacity characteristics by means of using acoustic signal dynamic parameters. Worked out and implemented for this purpose are the algorithms for determining dynamic parameters by acoustic signal waves.

On the basis of theoretical substantiation and experimental data obtained on the behavior of these parameters in reservoir rocks elaborated were the techniques for qualitative and quantitative estimation of their capacity characteristics. Established are the regularities of cross and longitudinal waves propagation in reservoir rocks of homogeneous mineralogical composition and heterogeneous porosity.

The methods were tested when interpreting the data of acoustic research done in geologic cross-sections of Dnieper-Donetsk area and Carpatian oil- and gas-bearing depression.

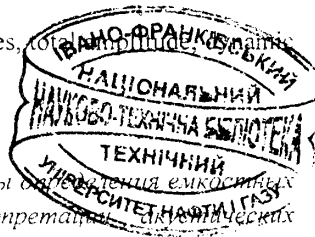
Key words: acoustic signal, longitudinal and cross waves, parameters, porosity, reservoir rocks.

Аннотация

Кашуба Г.О. *Теоретические и методические основы определения параметров пород-коллекторов за данными интерпретации акустических волновых полей.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.22 - геофизика, Министерство образования и науки Украины. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2004.

Защищаются результаты теоретических и экспериментальных исследований по важной научно-технической проблеме – повышение информативности геолого-геофизических исследований скважин путем использования динамических параметров акустического сигнала. Использование в комплексе ГИС акустического каротажа предусматривает, на сегодня, получение количественной информации с помощью одного параметра – интервального времени пробега продольной волны. Все остальные параметры не используются из-за трудности их вычисления и, в большей мере, отсутствия методик интерпретации.



Обобщение результатов измерения интервального времени позволили разработать и реализовать принципиально новые алгоритмы определения первого вступления продольной и поперечной волн, на основании которых реализовано вычисление динамических характеристик. В качестве динамических параметров нами предложено использовать скорость колебаний продольной и поперечной упругих волн, суммарную амплитуду акустического сигнала.

Обобщение и анализ результатов теоретических и экспериментальных акустических скважинных исследований позволили выявить особенности изменения динамических характеристик продольной и поперечной упругих волн в породах-коллекторах разной, по величине, пористости. На их основании разработана геоакустическая модель прискважинной зоны коллекторов, в которой учтены, главным образом, процессы, которые имеют максимальное влияние при формировании акустического сигнала.

Используя результаты скважинных акустических исследований (динамические параметры), а также данные кернового материала, нами разработаны методики выделения пород-коллекторов по признаку проницаемости, определения открытой и эффективной пористостей за данными акустических параметров. Основой выделения в геологическом разрезе пород-коллекторов и оценки их пористости есть измерение динамических параметров при формировании зоны проникновения.

Разработанные методики апробированы при интерпретации результатов акустических исследований на геологических разрезах ДДз и Предкарпатского прогиба.

Разработанные алгоритмы и методики реализованы в компьютеризированой технологии обработки и интерпретации данных ГДС "Геопойск".

Ключевые слова: акустический сигнал, скорость колебаний волны, интервальное время, первое вступление, продольная и поперечная волны, суммарная амплитуда, динамические параметры, пористость.