

# РОЗВІДУВАЛЬНА ТА ПРОМИСЛОВА ГЕОФІЗИКА

УДК 550.834

## ОЦІНКА ХАРАКТЕРУ НАСИЧЕННЯ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ЗА ДАНИМИ АМПЛІТУДИ “НУЛЬОВОГО ЗОНДА” БАГАТОЗОНДОВОГО АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ

<sup>1</sup>Г.О.Кашуба, <sup>2</sup>С.Є. Муц, <sup>3</sup>Р.Ф. Федорів

<sup>1</sup>ЗАТ “Укрпромгеофізика”, 04144, м. Київ, вул. Дубровицька, 28, тел.(044) 4304286,  
e-mail: kashuba11@mail.ru

<sup>2</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42098,  
e-mail: pngg@nuing.edu.ua

<sup>3</sup>ЗАТ “Концерн НАДРА”, 04114, м. Київ, вул. Дубровицька, 28, тел.(044) 4304611,  
e-mail: rfedoriv@yandex.ru

*Пропонується використовувати новий інформативний параметр – амплітуду “нульового зонда” – для оцінки характеру насичення колекторів. Запропоновано алгоритм визначення цього параметра за амплітудою поздовжньої хвилі, зареєстрованої багатозондовим приладом хвильового акустичного каротажу. Ефективність нового підходу якісної оцінки характеру насичення підтверджено результатами випробувань продуктивних інтервалів.*

Ключові слова: характер насичення, порода-колектор, багатозондовий акустичний каротаж, амплітуда, коефіцієнт затухання

*Предлагается использовать новый информативный параметр – амплитуду “нулевого зонда” – для оценки характера насыщения коллекторов. Предложен алгоритм определения этого параметра по амплитуде продольной волны, зарегистрированной многозондовым прибором волнового акустического каротажа. Эффективность нового подхода качественной оценки характера насыщения подтверждено результатами испытаний продуктивных интервалов.*

Ключевые слова: характер насыщения, порода-колектор, многозондовый акустический каротаж, амплитуда, коэффициент затухания

*A new informative parameter – zero-sounding amplitude – is proposed to use for reservoir saturation evaluation. The calculation algorithm for this parameter involves the amplitude of P-wave registered by multi-sounding acoustic logging tool. The effectiveness of presented method for qualitative saturation evaluation is confirmed by well approbation in producing intervals.*

Keywords: saturation, reservoir rock, multi-sounding acoustic logging, amplitude, damping coefficient

Стаття стосується проблем оцінки характеру насичення порід-колекторів, які за даними комплексу геофізичних досліджень свердловин (ГДС) не мають однозначної характеристики насичення.

Визначення характеру насичення порід-колекторів є одним із основних завдань промислової геофізики. В цьому напрямку зроблено досить багато [1-4]. Суть усіх робіт, присвячених визначенню нафтогазоносності колекторів, зводиться до комплексного аналізу методів ГДС, за якими порода-колектор оцінюється на предмет насичення. У даному випадку найбільш інформативними є методи електричного опору, радіоактивні методи, газометрія та лю-

мінесцентний аналіз. В процесі оперативної інтерпретації основними при оцінці характеру насичення порід-колекторів є методи електричного опору. Детально зупинятися на кожному із методів немає сенсу, оскільки фахівці у галузі ГДС володіють і користуються такими підходами. Окремо слід вказати, що за наявності низькоомних колекторів їх використання (особливо методів електрометрії) не завжди ефективне. На практиці оцінка характеру насичення порід-колекторів може проводитися в два етапи. Перший етап включає аналіз методів ГДС, які записані у відкритому стовбурі свердловини (ІК, БК, БКЗ, МБК, ННК і т.д.). Якщо на даному етапі не вдається однозначно оцінити харак-

тер насичення порід-колекторів, то це робиться на другому етапі, який передбачає почасові заміри методами ГДС. Такий підхід часто застосовується на практиці. Повторні заміри методів ГДС проводять як у відкритому, так і закритому стовбурі свердловини (коли опущена обсадна колона). Якщо повторний замір у відкритому стовбурі свердловини є менш ефективним при оцінці характеру насичення (за незмінених параметрів бурового розчину), то у обсадженої свердловині ефективність досягається шляхом почасових замірів радіоактивних полів, які змінюються в процесі розформування зони проникнення (як приклад, комплексне використання методів ННК, ІННК). Специфіка досліджень радіоактивними методами у обсаджених свердловинах полягає у тому, що на їх покази будуть впливати ще й інші чинники [5-8]. Так, наприклад, у глинистих колекторах однозначно оцінити характер насичення за даними комплексу РК є вкрай важко через високі поглинаючі властивості водню, який міститься у глинах. Це стосується як імпульсних (ІННК), так і стаціонарних (ННК) радіоактивних методів. Ще одним вагомим перешкоджаючим чинником при оцінці насичення є наявність у колекторах прісних пластових вод.

Отже, даний напрямок залишається на сьогодні актуальним. Ефективність використання всіх наявних у комплексі ГДС методів для розв'язання вищезгаданого завдання уможливить більш однозначне оцінювання типу і складу флюїду в поровому просторі колектора.

За даними акустичного каротажу методика визначення типу порозаповнювача за кінематичними параметрами пружних хвиль базується на різниці швидкостей розповсюдження і затухання поздовжньої та поперечної хвиль в породах, насичених водою, нафтою чи газом. Ідентифікація колекторів з різним типом порозаповнювача за динамічними параметрами хвиль відбувається шляхом аналізу кривих амплітуд і коефіцієнтів затухання, а також побудови полів миттєвих динамічних параметрів [9, 10].

Авторами отримані результати визначення характеру насичення порід-колекторів за даними багатозондового акустичного каротажу (БАК). Цей метод ГДС реалізується у ході проведення досліджень апаратурно-програмним комплексом АМАК-2, який дає змогу отримати кінематичні та динамічні параметри повного хвильового пакету (навіть в умовах обсадженої свердловини) незалежно від якості цементування [6, 7, 11]. Апаратура АМАК-2 є приладом 16-зондового АК з формулою зонда  $V_{1,5-3,0}P_{10}, 1P_{20}, 1...0, 1P_{16}$ , при роботі якого реєстрація хвильового пакету здійснюється в одному циклі вимірювань для всіх 16 зондів у часовому вікні 6 мс [12]. Отримані записи дають можливість вивчати тонкі особливості хвильового поля, виділяти у хвильовому пакеті практично всі регулярні типи хвиль, а багатократно підвищення точності оцінки кінематичних і динамічних параметрів – вирішувати ряд геолого-геофізичних завдань, що було немож-

ливим або неефективним у випадку проведення досліджень серійною апаратурою [11].

З метою оцінки можливостей використання динамічних параметрів хвильового поля на характер насичення порід-колекторів нами проведено окремі дослідження акустичних сигналів, отриманих за допомогою апаратури багатозондового акустичного каротажу. Як інформативний параметр використані амплітуди поздовжньої хвилі, отримані від різноглибинних зондів АК.

Амплітуди поздовжньої хвилі акустичного сигналу, зареєстровані різними зондами БАК, містять інформацію про такі основні геофізичні параметри, як пористість, глинистість, характер насичення і т.д. Логічно виникає запитання, які з цих чинників найсуттєвіше впливають на зміни амплітуди поздовжньої хвилі?

З метою оцінки впливу цих чинників ( $K_n$ ,  $K_{2n}$ , характер насичення) на динамічні характеристики сигналу БАК проаналізуємо реальні дані, зареєстровані апаратурою АМАК-2 в свердловинах ДДЗ безпосередньо на Ольгівському, Північно-Коробочкінському, Олівінівському, Аксиотівському, Денисівському, Лиманському, Мелихівському родовищах вуглеводнів. Слід відзначити, що дослідження проводилися на частоті 12 кГц. Довжина першого зонда складала 1,5 м, останнього шістнадцятого – 3,0 м. Така частотність випромінювального сигналу та розміри зондів дають можливість збільшити радіус досліджень і зареєструвати сигнали, які охопили незмінену частину пласта за зоною проникнення фільтрату промивальної рідини.

Отже, наведемо основні залежності амплітуд поздовжньої хвилі від довжини зонда для порід-колекторів різної пористості, глинистості та характеру насичення. Для цього систематизуємо згадані залежності по групах, де один з чинників буде змінним, а два інших – стали.

На рисунку 1 зображено результати зіставлення значень амплітуд поздовжньої хвилі, зареєстрованої багатоелементним зондом АМАК-2.

Для аналізу обиралися зразки колекторських пластів пісковиків різного насичення (вода та газ) й близькими коефіцієнтами пористості та різними значеннями глинистості, яка оцінювалася за даними ГК. Для пластів однакового насичення глинистість, безумовно, вносить певні, хоча і незначні зміни у величини амплітуд і коефіцієнтів затухання (рис. 1, 2).

Отримані нами результати за реальними даними підтверджують теоретичні й експериментальні розрахунки про прямий зв'язок коефіцієнтів затухання та глинистості [8].

Натомість, для пластів однакового літологічного складу, близьких значень коефіцієнтів пористості та глинистості тип порозаповнювача найбільше впливає на величини амплітуд поздовжньої хвилі.

Наступним кроком є аналіз впливу пористості на динамічні параметри поздовжньої хвилі за однакових значень глинистості для пісковиків, заповнених газом і водою. Як видно з рис. 3, результати свердловинних досліджень

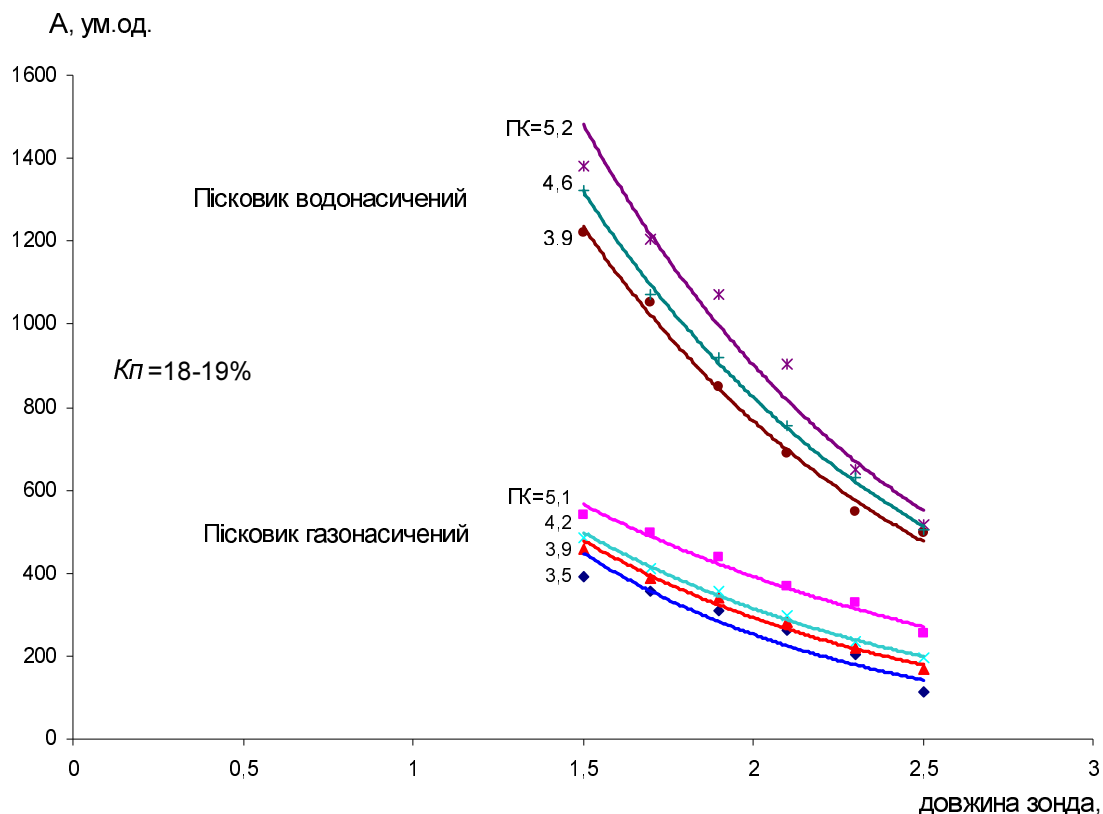


Рисунок 1 – Зіставлення амплітуд різноглибинних зондів БАК для водо- і газонасичених пісковиків різної глинистості та однакової пористості

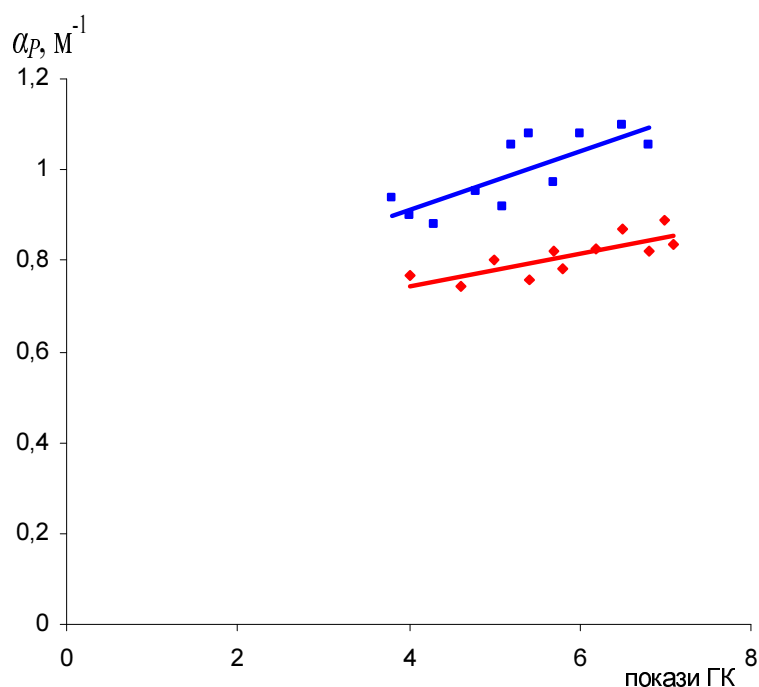
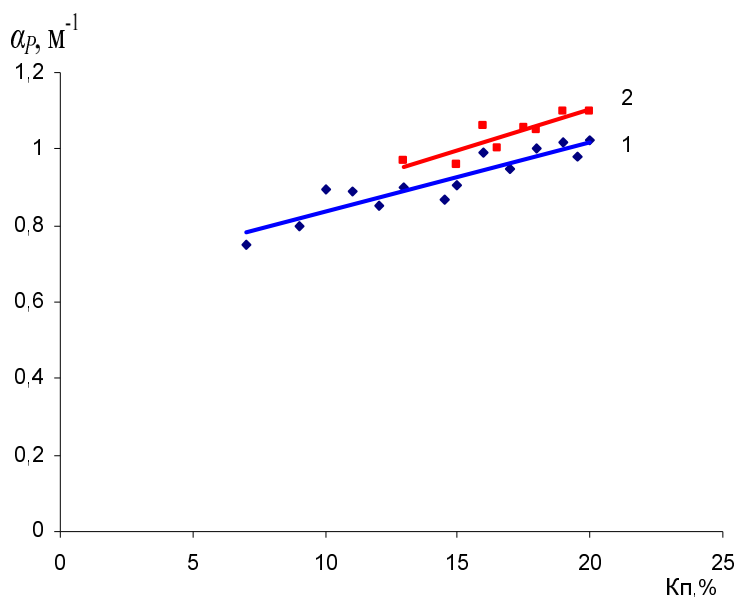


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнтів затухання поздовжньої хвилі від глинистості (за ГК) для пісковикових колекторів з різним типом порозаповнювача (1 – вода, 2 – газ) (ДДЗ)

підтверджують розрахункові висновки про прямий зв'язок між  $K_n$  і  $\alpha_p$  [10], але розмежування порід водо- і газонасичених ускладнене через близькі значення коефіцієнтів затухання за рівних значень пористості.

За результатами досліджень в природних умовах коефіцієнт затухання хвиль в породах-колекторах з різним характером насичення залежить від типу флюїду не так несуттєво, як це впливає з результатів теоретичних і експериментальних досліджень на зразках ( $\alpha_g < \alpha_w$  в



**Рисунок 3 – Залежність коефіцієнтів затухання поздовжньої хвилі від пористості для пісковиків з різним типом порозаповнювача (1 – вода, 2 – газ) (ДДЗ)**

декілька разів (300-400%) [10]). Хоча ті самі дослідники зауважують, що динамічні параметри поздовжніх хвиль найбільш чутливі до нафтогазонасиченості колекторів в області високих частот, тому що при збільшенні радіуса дослідження диференціація акустичних параметрів у горизонтах різного насичення помітно зменшується.

На перший погляд, це – суперечливі твердження. Але, на нашу думку, по-перше, слід розмежувати теоретико-експериментальні висновки і результати, отримані в реальних свердловинних умовах. По-друге, необхідно враховувати при порівнянні результатів дані, зареєстровані різними апаратними приладами. Різні довжини зондів і частоти запису визначають глибинність досліджень, а, отже, і динамічні параметри хвиль, що розповсюджувалися в промитій зоні, зоні проникнення фільтрату (яка сама по собі є градієнтною зоною поступової зміни відсоткового вмісту природного флюїду) і незмінній частині пласта. При дослідженнях малими зондами (1-1,5 м) на високих частотах (25 кГц) здебільшого оцінюється розріз в зоні проникнення фільтрату промивальної рідини. Серійними триелементними зондами реєструються першим приймачем амплітуди в ближній (більш інфільтрованій) зоні та другим приймачем у віддаленій зоні, де вміст залишкового газу значно вищий. Коефіцієнт затухання найбільш чутливий саме до зміни відсоткового співвідношення рідкої і газоподібної фаз у поровому просторі. Тому у ході цих досліджень спостерігаються ефекти значної різниці амплітуд, а, отже, і стрибкоподібні зміни коефіцієнта затухання [10, 13].

Дослідження проводилися зондами довжиною 1,5-3 м на нижчих частотах (12 кГц). Отже, радіус досліджень був значно вищим (приблизно вдвічі) і перевищував радіус зони проникнення фільтрату, тобто захоплювалась незміне-

на частина колекторів. В цій віддаленій зоні не відбувається суттєвої зміни відсоткового вмісту природного флюїду (газу). Цим пояснюється мала різниця між коефіцієнтами затухання пластів з різним порозаповнювачем.

На відміну від глинистості, пористість більше впливає на значення амплітуд (рис. 4), ніж на коефіцієнт затухання (рис. 3), що теж узгоджується з результатами інших досліджень [14].

Однак найсуттєвіший і визначальний вплив на значення амплітуд сигналу БАК пов'язаний з характером насичення колектора, тому подальші дослідження будуть спрямовані на визначення характеру насичення колекторів за амплітудними характеристиками поздовжньої хвилі БАК.

З метою оцінки характеру насичення за даними АК у необсадженої свердловині розглядався вплив порід-колекторів, насичених різним флюїдом, на динамічні характеристики поздовжньої хвилі. Для цього використовувалися амплітудні характеристики поздовжньої хвилі, зареєстровані 16-ма приймачами приладу АМАК-2, що відповідає різним розмірам зонда. Принцип якісної оцінки характеру насичення колекторів за даним способом продемонстровано на рисунку 5 на прикладі однієї із свердловин північної частини ДДЗ.

Якщо умовно продовжити отримані лінії регресії навпроти водонасичених (1) і газонасичених (2) колекторів у напрямку до нуля, отримаємо не що інше, як амплітуду пружних коливань “нульового зонда”, яка буде суттєво відрізнятися для колекторів з різними порозаповнювачами (рис. 6).

На основі такого поділу нами розроблено спеціальний алгоритм обробки результатів динамічних параметрів акустичного каротажу (амплітуд поздовжніх пружних хвиль) з метою визначення амплітуди “нульового зонда” ( $A_0$ ).



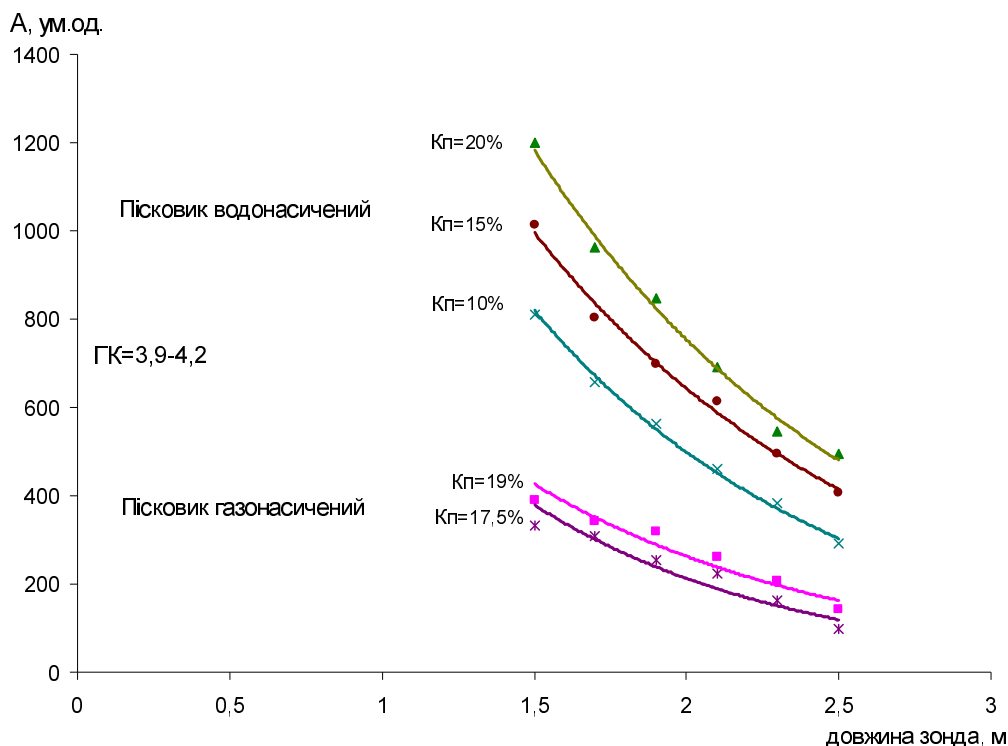


Рисунок 4 – Зіставлення амплітуд різноглибинних зондів БАК для водо- і газонасичених пісковиків різної пористості та однакової глинистості

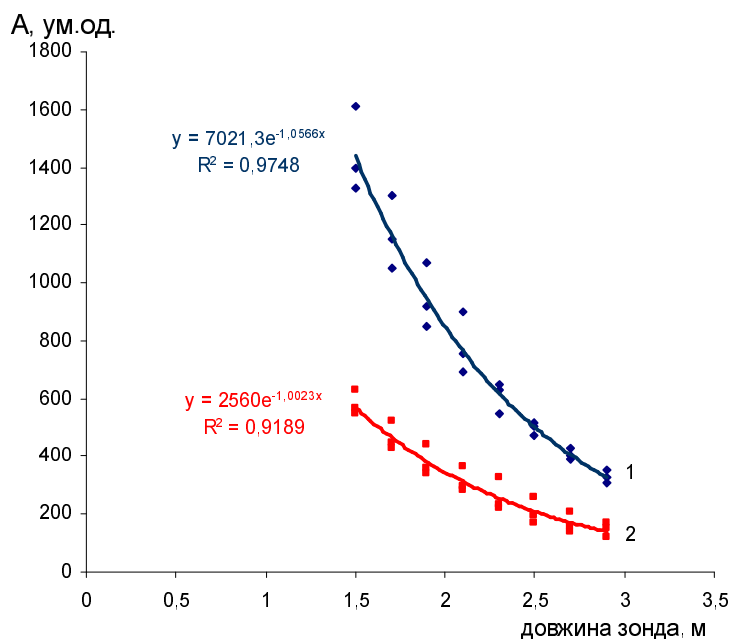


Рисунок 5 – Значення амплітуд поздовжньої хвилі, яка пройшла крізь водонасичені (1) та газонасичені (2) пласти-колектори, зареєстрованої багатозондовим приладом АМАК-2

Запропонований алгоритм опишемо на прикладі обробки амплітуд поздовжньої хвилі, зареєстрованої апаратурою АМАК-2. При спрацьовуванні випромінювача кожним приймачем реєструється сигнал  $A_N(z, t)$ , де за амплітуду поздовжньої хвилі  $i$ -го каналу приймають максимальну амплітуду в пакеті поздовжньої хвилі

$$A_i(z + l_i) = A_0(z) \cdot \exp(-\alpha_i \cdot l_i), \quad (1)$$

де:  $A_0(z + l_i)$  – гіпотетична амплітуда пружних коливань випромінювача навпроти гірських порід на глибині  $(z + l_i)$ ;

$\alpha_i(x)$  – коефіцієнт затухання поздовжньої хвилі гірської породи на глибині  $z + l_i$ ;

$l_i$  – відстань від випромінювача до  $i$ -го приймача.

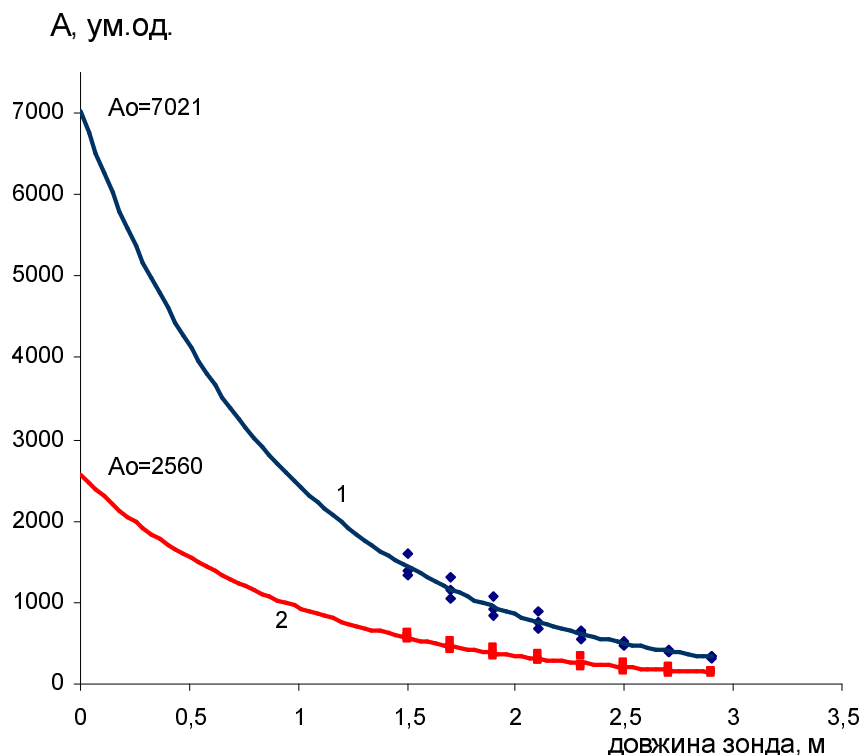


Рисунок 6 – Визначення амплітуди “нульового зонда”

Для того, щоб оцінити і врахувати  $A_0(z)$  додатково використовуємо значення амплітуди  $j$ -го каналу

$$A_j(z + l_j) = A_0(z) \cdot \exp(-\alpha_j \cdot l_j). \quad (2)$$

Якщо  $\alpha_j$  несуттєво відрізняється від  $\alpha_i$ , а на практиці переважно так і є, то з рівнянь (1) і (2) знаходимо

$$\alpha_i = \frac{1}{l_j - l_i} \ln \frac{A_i}{A_j}.$$

Підставляємо вираз для  $\alpha_i$  у формулу (1) і остаточно отримуємо

$$A_0(z) = \frac{A_i^2}{A_j} \exp\left(\frac{l_i}{l_j - l_i}\right). \quad (3)$$

На рисунку 7 зображено криву  $A_0$ , розраховану за амплітудами поздовжньої хвилі 5-го і 7-го каналів, зареєстрованими апаратурою АМАК-2 у одній із свердловин Ольгівського родовища північної частини ДДЗ. За величиною даного параметра досить добре розділяються продуктивні та водоносні колектори, які виділені за матеріалами повного комплексу ГДС та підтверджені результатами випробувань. Крім того, в нижньому потужному колекторі за даними ГДС виділено перехідну зону газ+вода. За даними наших досліджень ( $A_0$ ) контакт газ-вода відмічається нижче. При випробуванні даного горизонту в інтервалі, визначеному за ГДС як перехідна зона, отримано приплив газу без домішок пластової води, що вказує на ефективність використання параметра  $A_0$  при дослідженні низькоомних колекторів.

Такі дослідження проведені нами також для низки свердловин ДДЗ (Північно-Коробочкинська 3, Оливинівська 5 та ін.) та підтверджують високу ефективність описаного підходу до оцінки характеру насичення порід-колекторів.

Суттєвою перевагою оцінки характеру насичення за даними параметра  $A_0$  над методами питомого електричного опору, які є основними при вирішенні цієї задачі, є незалежність результатів від мінералізації пластових вод, наявності високопровідних мінералів у скелеті породи і т. ін. Тобто такий підхід підвищить ефективність інтерпретаційних робіт, особливо за наявності низькоомних колекторів та колекторів, насичених прісними водами.

Використання запропонованого алгоритму для обсадженої свердловини потребує досить серйозної перевірки, оскільки цей підхід ґрунтується на “акустичному опорі” оточуючих гірських порід, що не є постійною величиною і перною мірою заперечує його використання для цього випадку. Отже, використання запропонованого алгоритму для обсадженої свердловини потребує додаткового вивчення та накопичення статистичних даних.

Як бачимо, для оцінки характеру насичення порід-колекторів за даними АК у необсадженої свердловині є всі теоретичні підстави та практичні підтвердження. В подальшому отримані дані потребують накопичення результатів реальних свердловинних вимірювань та випробувань, що уможливить проведення досліджень щодо кількісного визначення коефіцієнта нафтогазонасиченості за даними параметра  $A_0$ .

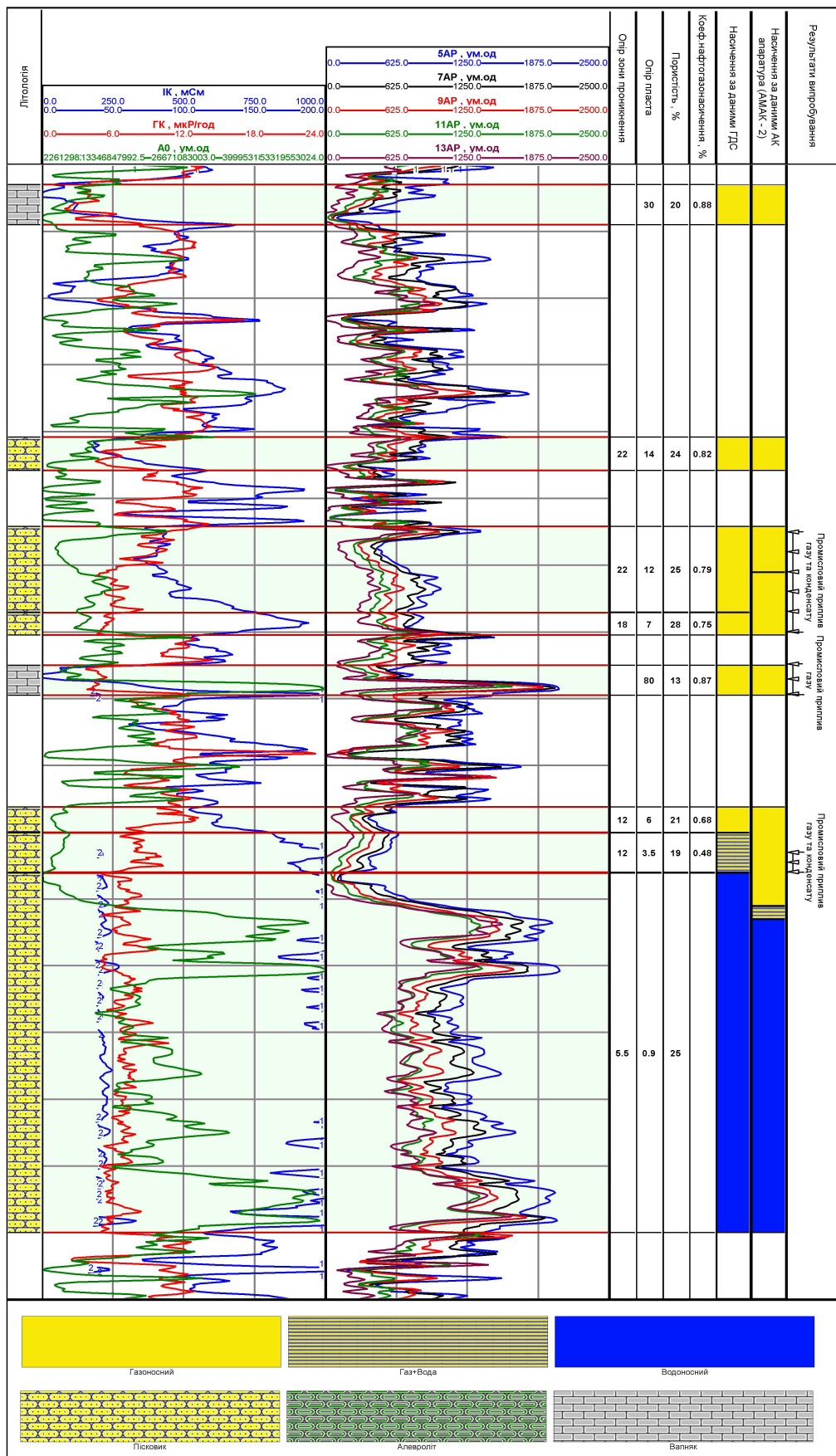


Рисунок 7 – Розподіл колекторів на продуктивні та водоносні за даними багатозондового АК (параметр  $A_0$ ) та комплексом ГДС (геолого-геофізична характеристика однієї із свердловин Ольгівського родовища)

**Література**

- 1 Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщенности горных пород / В.Н.Дахнов. – М.: Недра, 1975. – 344 с.
- 2 Исследования в открытом стволе нефтяных и газовых скважин / Б.Ю.Вендельштейн, В.М.Ильинский, Ю.А.Лимберег, З.К.Козина; под ред. Н.А. Савостьянова. – М.: Недра, 1984. – 230 с.
- 3 Методические рекомендации по определению подсчетных параметров залежей нефти и газа по материалам геофизических исследований скважин с привлечением результатов анализов керна, опробования и испытаний продуктивных пластов; под. ред. Б.Ю. Вендельштейна, В.Ф. Козяра, Г.Г. Яценко. – Калинин: НПО “Союзпромгеофизика”, 1990. – 261 с.
- 4 Журавлев Т.Б. Особенности обработки данных ядерно-физических методов при определении текущей нефтенасыщенности коллекторов сложно построенных низкопоровых карбонатно-терригенных отложений / [Т.Б. Журавлев, А.Н. Тропин, К.В. Чернолецкий и др.] // Каротажник. – 2009. – Вып.178. – С.15–29.
- 5 Тимошенко А.П. Опыт применения импульсного нейтрон-нейтронного каротажа для оценки коллекторских свойств и текущей газонасыщенности пластов Северо-Ставропольского подземного хранилища газа / [А.П. Тимошенко, А.А. Зименко, Л.М. Едигорьянц и др.] // Каротажник. – 2007. – Вып.162. – С.122–132.
- 6 Кулик В.В. Спільне використання методів радіоактивного і акустичного каротажу для визначення пористості пластів в обсаджених свердловинах / [В.В.Кулик, М.С.Бондаренко, Г.О.Кашуба та ін.] // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. – 2007. – Вип. 41-42. – С. 103–106.
- 7 Дворкин В.И. Особенности изменения нефтенасыщенности в прискважинной зоне коллекторов в обсаженных скважинах / В.И.Дворкин // Каротажник. – 2004. – Вып.7(120). – С.66-81.
- 8 Малев А.Н. Исследование методических возможностей двухзондового импульсного нейтрон-нейтронного каротажа для определения текущей газонасыщенности / А.Н. Малев, И.В. Бабкин // Каротажник. – 2007. – Вып.162. – С.153–168.
- 9 Козяр В.Ф. Акустические исследования в нефтегазовых скважинах – состояние и направления развития / [В.Ф. Козяр, Д.В. Белоконов, Н.В. Козяр и др.] // Каротажник. – 1999. – Вып.63. – С. 11–117.
- 10 Ивакин Б.Н. Акустический метод исследования скважин / Б.Н.Ивакин, Е.В.Карус, О.Л.Кузнецов. – М.: Недра, 1978. – 320 с.
- 11 Кашуба Г.А. Возможности аппаратурно-методического комплекса многозондового волнового акустического каротажа АМАК-2 при решении геологических задач в нефтяных и газовых скважинах / Г.А.Кашуба, В.Г.Стельмах // Каротажник. – 2008. – Вып.170. – С.30–41.
- 12 Аркадьев Е.А. Аппаратурно-методический комплекс многозондового акустического каротажа АМАК-2 / Е.А. Аркадьев, А.М. Блюменцев, Е.В. Забнев, В.П. Цирюльников // Каротажник. – 2004. – Вып.122. – С.66–76.
- 13 Булатова Ж.М. Акустический каротаж / Ж.М.Булатова, Е.А.Волкова, Е.Ф.Дубров. – Л., Недра, 1970. – 264с.
- 14 Кашуба Г.О. Теоретичні та методичні основи визначення ємнісних параметрів порідколекторів за даними інтерпретації акустичних хвильових полів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. геолог. наук. – Івано-Франківськ, 2004. – 150 с.

*Стаття поступила в редакційну колегію  
25.05.10*

*Рекомендована до друку професором  
Д.Д.Федоришиним*