

## ЯДЕРНО-ФІЗИЧНІ МЕТОДИ ЯК ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДІЛЕННЯ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ЗА ДАНИМИ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИН

Д. Д. Федоришин\*, М. В. Матрофайло, О. М. Трубенко, С. Д. Федоришин

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. 0505388415;  
e-mail: dmytro.fedoryshyn@nuing.edu.ua

*Підвищення ефективності та інформативності результатів геофізичних досліджень свердловини є актуальним завданням для забезпечення сталого видобутку вуглеводнів із порід колекторів, складно побудованих літолого-стратиграфічних розрізів, пошукових площ та розвіданих родовищ. Теоретичне, а також експериментальне обґрунтування інформативності новітніх ядерно-магнітних методів та високочастотних індукційних каротажних ізопараметричних зондувань, дозволяє значно підвищити достовірність оцінки характеру насичення складно побудованих порід колекторів та якісно і оперативно визначає фільтраційно-ємнісні параметри, які характеризують породу-колектор. Проведені експериментальні дослідження кернавого матеріалу, відібраного із складно побудованих літолого-стратиграфічних товщ, означили основні чинники та структурні параметри, що впливають на фільтраційно-ємнісні властивості нафтогазонасичених порід. Комплексна інтерпретація результатів свердловинних та лабораторних даних показали основні напрямки ядерно-фізичних досліджень та їх ефективність для підвищення інформативності комплексних геофізичних досліджень порід-колекторів поліміктового та мономіктового типу. Особливо в цьому напрямку виділяється технологія та методологія індукційних каротажних параметричних зондувань (ВІКІЗ). Таким чином, виникає необхідність в обґрунтуванні та розробленні методологічних аспектів використання переваг ядерно-фізичних методів у процесі виявлення та оцінки нафтогазонасичених порід-колекторів.*

Ключові слова: геофізичні дослідження свердловин, ядерно-магнітний каротаж, радіоактивний каротаж, високочастотне індукційне каротажне ізометричне зондування, геологічний розріз, флюїд, коефіцієнт пористості та проникності.

*Повышение эффективности и информативности результатов геофизических исследований скважины является актуальной задачей обеспечения устойчивой добычи углеводородов из пород коллекторов, сложно выстроенных литолого-стратиграфических разрезов, поисковых площадей и разведанных месторождений. Теоретическое, а также экспериментальное обоснование информативности новых ядерно-магнитных методов и высокочастотных индукционных каротажных изопараметрических зондирований позволяет в значительной степени повысить достоверность оценки характера насыщения сложно построенных пород коллекторов и качественно и оперативно определяет фильтрационно-емкостные параметры, характеризующие породу. Проведены экспериментальные исследования кернавого материала, отобранного из сложно построенных литолого-стратиграфических толщ, обозначили основные факторы и структурные параметры, влияющие на фильтрационно-емкостные свойства нефтегазонасыщенных пород. Комплексная интерпретация результатов скважинных и лабораторных данных показала основные направления ядерно-физических исследований и их эффективность для повышения информативности комплексных геофизических исследований пород-коллекторов полимиктового и мономиктового типов. Особенно в этом направлении выделяется технология и методология индукционных каротажных параметрических зондирований (ВИКИЗ). Таким образом, возникает необходимость обосновать и разработать методологические аспекты использования преимуществ ядерно-физических методов в процессе выявления и оценки нефтегазонасыщенных пород-коллекторов.*

Ключевые слова: геофизические исследования скважин, ядерно-магнитный каротаж, радиоактивный каротаж, высокочастотное индукционное изометрическое зондирование, геологический разрез, флюид, коэффициент пористости и проницаемости.

*Improving the efficiency and informativeness of the results of well geophysical research is an urgent task aimed at ensuring sustainable hydrocarbon production from reservoir rocks, complex lithological-stratigraphic sections, exploration areas, and explored deposits. Theoretical and experimental informativeness substantiation of the newest nuclear-magnetic methods and High-Frequency Induction Logging with Isoparametric Soundings allows to considerably increase the estimation reliability concerning the saturation character of complex-structured reservoir rocks and qualitatively and operatively defines reservoir properties. Experimental studies of the core material.*

*selected from complex-structured lithological-stratigraphic strata have identified the primary factors and structural parameters affecting the reservoir properties of oil and gas zones. Well and laboratory data comprehensive interpretation has shown the main directions of nuclear physics research and their effectiveness to increase the informativeness of complex geophysical research of polymictic and monomictic reservoir rocks. Especially in this direction stands out the technology of High-Frequency Induction Logging with Isoparametric Sounding (VIKIZ). Thus, there is a need to substantiate and develop methodological aspects of using the advantages of nuclear-physical methods in detecting and evaluating oil and gas reservoir rocks.*

Key words: geophysical research of wells, nuclear-magnetic logging, radioactive logging, high-frequency induction logging isometric sounding, geological section, fluid, porosity and permeability coefficient.

## Вступ

Зниження видобутку нафти і газу в Україні обумовлено як економічними факторами, так і технологічними проблемами, які виникають в процесі досліджень складно побудованих геологічних розрізів. Основні родовища покладів нафти і газу в Карпатській нафтогазоносній провінції виявлені в Більче-Волицькій та Бориславо-Покутській зонах. Геологічні умови їх формування зокрема, якщо розглянути Більче-Волицьку зону, то вона представляє собою класично виражене крило платформеного типу, слабо дислоковане верхніми моласами міоцену. Потужність літолого-стратиграфічних відкладів різна і в основному складає від 10 см до 9,5 м з перешаруванням пісковиків, глини та алевролітів. Унаслідок моноклінального падіння в напрямку мезопалеозойської основи порушеної численними розривами, гірські породи в більшості випадків мають повздовжній напрямок простягання. Південно-західна частина Більче-Волицької зони, перекрита потужними товщами нижніх молас міоцену Самбірського покриття, на який насунуті флішеві покриви Українських Карпат, що суттєво вплинуло на геологічну будову неогенових відкладів. У зв'язку з цим виникають значні проблеми в процесі обробки та інтерпретації результатів геофізичних досліджень свердловин у сарматському ярусі неогенових відкладів. Основні труднощі, що виникають у процесі дослідження таких розрізів геофізичними методами, незважаючи на суттєві зміни в технології їх проведення, що відбулися за останні роки, в основному пов'язані із тонкошаруватою будовою неогенових відкладів, поліміктовим складом матриці продуктивних порід-колекторів, а також різними фільтраційно-ємнісними властивостями (ФСВ), особливо у присвердловинній зоні пласта.

**Актуальність** наукових досліджень ефективності ядерно-фізичних та високочастотних індукційних каротажних ізопараметрів зондувань, обумовлена необхідністю апробації вище вказаних геофізичних методів у промислово

виробництво для підвищення якісної і кількісної оцінки колекторських властивостей складно побудованих геологічних розрізів, а також оптимізації типового геофізичного комплексу методів, результати якого базуються на якісних параметрах, насичуючих породи флюїдів. У процесі пошукового буріння технологічний режим розкриття літолого-стратиграфічного розрізу створює передумову зміни присвердловинної ділянки пласта, обумовлює діаметр зони проникнення бурового розчину в пласт, а також стимулює утворення так званої облямовуючої зони, параметри якої суттєво відрізняються від фізичних та електричних характеристик незайманої ділянки породи-колектору. Таким чином, стандартними електричними методами не завжди можна оцінити характер насичення продуктивного пласта та його колекторські характеристики.

Обґрунтування та впровадження новітніх геофізичних методів і технологій, значно оптимізує типовий комплекс геофізичних методів досліджень складно побудованих літолого-стратиграфічних розрізів та підвищить інформативність комплексних геофізичних результатів досліджень тонкошаруватих, насичених вуглеводнями порід-колекторів.

## Аналіз попередніх досліджень і публікацій

Результати попередніх лабораторних та свердловинних геофізичних досліджень, висвітлили ряд проблем, які знижують ефективність та інформативність електричних методів в процесі свердловинних досліджень тонкошаруватих літолого-стратиграфічних розрізів [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Аналіз наукової і періодичної літератури вказує, що найбільш актуальним і дієвим напрямком є вивчення структури та текстури порід-колекторів складної мінералогічної будови, а також вмісту глинистості, новітніми геофізичними методами та технологіями. Науково-експериментальним шляхом доведено, що наявність в матриці породи мінералів класу сульфідів, окислів з елементами заліза, значно

впливає на природу електропровідності газонасичених пластів та їх відображення у геофізичних образах. Необхідно також відзначити, що вплив мінералогічного складу матриці на фізичні та петрофізичні параметри висвітлювалися у працях наукових досліджень відомих вчених В.М. Добриніна, А.А. Ханіна та В.Н. Кобранової. Однак основні причини, що знижують інформативність пошукових та розвідувальних геофізичних досліджень у складнопобудованих літолого-стратиграфічних товщах, висвітлено недостатньо. Враховуючи вищенаведене, виникає потреба в обґрунтуванні та оцінці можливість новітніх методів, зокрема ядерно-магнітного резонансу, високочастотного індукційного каротажного ізопараметричного зондування та ядерно-магнітного резонансу. Зіставлення ефективності результатів досліджень кернавого матеріалу та свердловинних досліджень показав їхню значну інформативність та високу роздільну здатність в процесі виділення порід-колекторів, а також підвищить однозначність фізичних та петрофізичних параметрів присвердловинної ділянки пласта.

Моніторинг процесів, пов'язаних із геолого-геофізичними дослідженнями, дозволив встановити, що на результати комплексних досліджень впливають відсутність ефективних технологічних геофізичних методів, які спрямовані на виділення пісковиків та алевролітів за прямими ознаками колектора, а саме, їх характеру насичення, фільтраційній здатності, параметру пористості та проникності. Враховуючи те, що у пустотному просторі порід-колекторів наявний вільний флюїд, пропонується доповнити типовий комплекс геофізичних досліджень методами, які безпосередньо дозволяють його виявляти в процесі реєстрації фізичних параметрів. До таких методів належать ядерно-магнітний каротаж (ЯМК) та високочастотне індукційне каротаже ізометричне зондування (ВІКІЗ). За результатами методу ЯМК можна оцінювати кількість флюїду у пустотному просторі (води, нафти і газоконденсату), який здатний переміщуватися під дією перепаду тисків і реєструвати його в одиницях імпульсу вільного флюїду (ІВФ), незалежно від літології породи. Завдяки цьому метод ЯМК із великою достовірністю дозволяє розчленовувати складнопобудовані геологічні розрізи та виділяти в них породи-колектори. Беручи до уваги те, що роздільна здатність методу висока при дослідженнях різних за товщиною порід геологічних розрізів, його результати використовують для оцінки ефективних товщин колекторів, їх пористості та проникності.

Основними інформативними параметрами ЯМК є індекс вільного флюїду (ІВФ), а також амплітуда сигналу вільної прецесії та час релаксації, які мають наступний вигляд:

$$A_{СВП} = A_{СВП1} \times \exp\left(\frac{-t}{T_2}\right) \times \exp\left(\frac{-t_p}{T_1}\right), \quad (1)$$

де  $T_1$  і  $T_2$  відповідно час спін кристалічної (або повздожньої) релаксації, та стала спаду амплітуди сигналу вільної процесії, яка визначається неоднорідністю магнітного поля і називається поперечною релаксацією.

$t$  і  $t_p$  – відповідно проміжки часу моменту збудження сигналу вільної процесії до реєстрації його амплітуди, а також проміжок часу релаксації з моменту виключення струму поляризації до моменту збудження сигналу вільної процесії.

З фізичної точки зору, процес релаксації вільних, не зв'язаних рідин визначається їхньою молекулярною рухомістю в залежності від середовища, в якому вони знаходяться. У гірських породах, зокрема в насичених вуглеводнями, релаксація протонів зростає залежно від питомої поверхні колектора, тобто обумовлюється розміром пор. Такий зв'язок можна виразити рівнянням:

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_{eo}} + \frac{K}{r_n}, \quad (2)$$

де  $T_1$  – час повздожньої релаксації протонів рідини, що вміщується в гірській породі;

$T_{eo}$  – час релаксації протонів рідини у вільному об'ємі середовища;

$K$  – коефіцієнт, який залежить і визначається властивостями породи та рідини присутній в ній;

$r_n$  – радіус пор.

Результати проведених нами на зразках керна різної пористості та насичених водою різної концентрації солі натрій хлор (NaCl) експериментальних досліджень характеризується наявністю певної кількості відповідних компонентів релаксаційних кривих та притаманним для них часом релаксації. (рис. 1). Як видно із побудов, великому значенню коефіцієнта пористості відповідає компонента часу релаксації  $T_1 = 300$ мс і складає 65 % в той час, як інша компонента складає 35 % і характеризується часом релаксації 70 мс. Найбільш короткі релаксаційні компоненти характеризують частину флюїду, зв'язаного із твердою фазою породи-колектора і не вносять ніякого впливу на загальну амплітуду сигналу вільної прецесії (ВП)

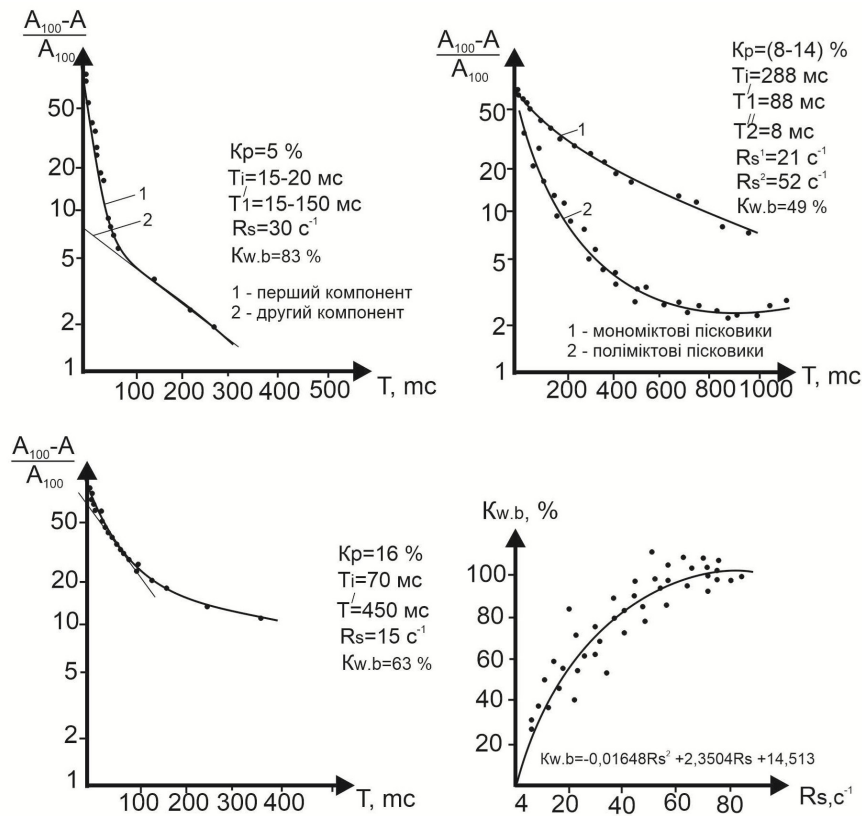


Рисунок 1 – Релаксаційні характеристики порід-колекторів міоценових Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину [3]

[1]. Щодо впливу градієнту напруженості магнітного поля, яке впливає на величину часу поперечної релаксації  $T_2$ , для флюїдів, які розміщуються в мікропустотах та тріщинах порід, їх значення, дозволяють оцінити вторинну пористість, яка характеризує ємнісні властивості, враховуючи “мертвий час” геофізичної свердловинної апаратури АЯМК-3 амплітуди сигналу ядерно-магнітного каротажу. Таким чином, величина індексу вільного флюїду (ІВФ) буде визначатися відношенням числа ядер водню, який сконцентрований у вільному флюїді, що переміщується під дією пластового тиску. У цьому випадку можна розрахувати коефіцієнт ефективної пористості породи-колектора за формулою:

$$K_{неф} = K_{н.в} (1 - K_{вз}), \quad (3)$$

де  $K_{неф}$  – ефективна пористість;

$K_{н.в}$  – коефіцієнт пористості заповненою вільною водою;

$K_{вз}$  – коефіцієнт зв’язної води.

Визначення коефіцієнта ефективної пористості за результатами проведеного у свердловинах ЯМК буде розраховано як відношення початкової амплітуди сигналу вільної прецесії ( $A_{cen1}$ ) до початкової амплітуди ( $A_{cen0}$ ) еталон-

ного пласта в геологічному розрізі пошукових свердловин або зразка керну, відібраного із продуктивного пласта за співвідношеннями амплітуд:

$$ІВФ = \frac{A_{cen1}}{A_{cen0}}. \quad (4)$$

Враховуючи те, що релаксація вільних флюїдів визначається їхньою молекулярною рухомістю, яка залежить від питомої поверхні породи, то час релаксації буде базовим критерієм виявлення порід-колекторів у складнобудованих геологічних розрізах. (рис. 2) [2].

У процесі геофізичних досліджень складнобудованих теригенних відкладів широкого застосування також набув електромагнітний метод ВКІЗ. Основна перевага його в порівнянні із типовими електричними та електромагнітними методами полягає в тому, що основним реєстраційним параметром є різниця фаз змінного магнітного поля в області високих частот, що пронизують гірську породу. Використання високих частот в процесі генерування електромагнітних полів забезпечує високу роздільну здатність методу. Експериментальні виміри у пошукових свердловинах показали, що відносна амплітуда сигналу електромагнітного поля та фаза зареєстрованих у двох близько розміщених котушок приладу практично не

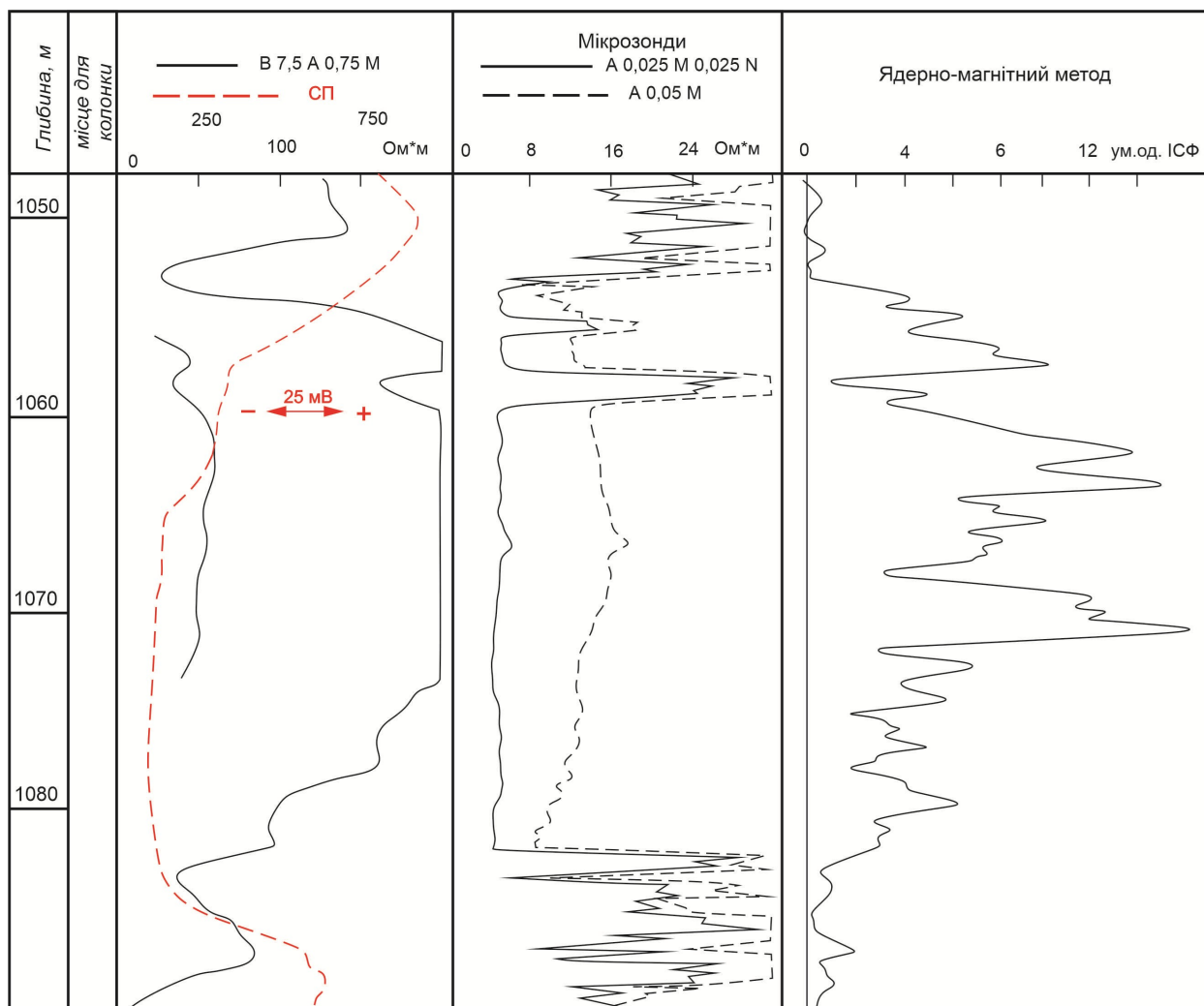


Рисунок 2 – Діаграма метода ЯМР в комплексі з мікрозондами на ділянці розрізу однієї із свердловин площі Тлянчі – Тамакської [2]

залежать від фізичних параметрів геологічних розрізів свердловини в діапазоні частоти до 20 МГц. Враховуючи таку особливість методу, з'являється можливість виключити із інформаційного сигналу вплив свердловини, при хорошій роздільній здатності інтегрованої інформації.

Оптимальна кількість котушок у свердловинній апаратурі складається із однієї генераторної і двох вимірювальних. У цьому випадку вимірюванні котушки розміщуються по одну сторону від генератора. Віддаль між центрами генераторної та віддаленої вимірювальної котушки називається довжиною зонда ( $L_z$ ), а відстань між центрами вимірювальних котушок називається базою зонда. Наведений змінний струм генераторної котушки, збуджує в однорідному провідному середовищі змінне електромагнітне поле, яке фіксується випромінювальними котушками за величиною різниці фаз інтегрованого сигналу. Зареєстрована величина

різниці фаз в однорідних пластах буде однаковою і залежатиме тільки від питомого електричного опору породи. Трикотушкові зонди, для яких виконуються умови стабільності частот розміру зонда, характеризуються формулою (5) і називаються ізопараметричними:

$$\sqrt{fL_1} = \sqrt{const} \times 10^3, \frac{\Delta L}{\Delta L_1} = const, \quad (5)$$

де  $f$  – частота електромагнітного поля;  
 $L_1$  – розмір зонда;  
 $\Delta L$  – база зонда.

Амплітуда ВІКІЗ включає п'ять трикотушкових зондів, які за геометрією розміщення та електродинамічною характеристикою ідентичні. Розмір найменшого зонда складає 0,5 м і працює він на частоті 14 МГц. Частота кожного наступного зонда вдвічі менша і становить відповідно 7 МГц; 3,5 МГц; 1,75 МГц; 875 кГц. (рис. 3). Діапазон вимірювання  $\Delta\psi$  коливається від  $1^\circ$  до  $67^\circ$ , що відповідає значенню ПЄО

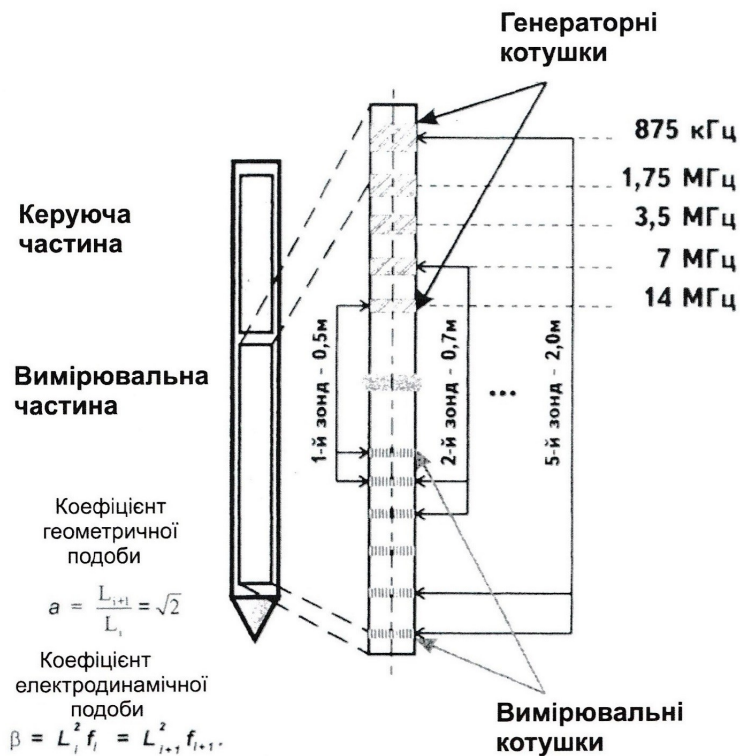


Рисунок 3 – Схема зондів апаратури ВІКІЗ

від 200 Ом до 0,4 Ом. Похибка виміру складає 5%. У присвердловинній ділянці пласта, простір поділяється на три різні за електричними параметрами середовища, а саме: зона проникнення – область, віддалена від стінок свердловини, в якій утримується суміш пластової залишкової води, що надходить із свердловини в пласт, і так звана облямовуюча зона. У третій області спостерігається незмінна ділянка пласта, яка має, відповідно насиченню та складу породи питомий електричний опір. За результатами стандартного комплексу БКЗ-БК-ІК, в основі якого закладена двошарова та тришарова моделі, визначити достовірно питомий електричний опір незайманої ділянки пласта проблематично. Пов'язано це з проникністю та непроникністю гірських порід. Оцінка питомого опору в цьому випадку відбувається шляхом зіставлення фактичної кривої зондування із теоретичною побудовою з використанням палеток Альпіна. У цьому випадку зонди малого радіусу, відображають величину питомого електричного опору зони проникнення, в той час як зонди великого радіусу досліджень визначають електричний опір незмінної частини пласта. Враховуючи складні геологічні будови геологічного розрізу та порід, що його виповнюють, зокрема тонкошаруватість та поліміктовість матриці, в більшості випадків отримати достовірну геоелектричну інформацію не зав-

жди можливо, особливо за наявності анізотропії в зоні проникнення.

Перевагою методу ВІКІЗ є можливість диференціювати вказані вище ділянки з виділенням та використання інформації перехідної облямовуючої зони в нафтогазонасичених породах (рис. 4). Використання якісної оцінки в процесі експрес-інтерпретації, результати ВІКІЗ здійснюється в комплексі із даними прямих методів, а саме: самочинних потенціалів (ПС) та радіоактивного каротажу (РК). У цьому випадку можна виділяти породи-колектори з оцінкою їх вертикальної неоднорідності та характеру насичення. Ефективність такого підходу базується на незначній залежності вимірів методу ВІКІЗ від параметрів свердловини та присвердловинної зони пласта, а також завдяки високій роздільній здатності методу як у радіальному, так і в повздовжньому напрямку [3].

### Висновки

Підсумовуючи вказані вище результати апробації використання ядерно-фізичних методів в процесі лабораторних та свердловинних досліджень, складнопобудованих геолого-стратиграфічних розрізів, можна стверджувати, що новітні технології ЯМР та ВІКІЗ є надійними та ефективними доповнюючими компонентами типового комплексу методів геофізичних досліджень свердловин при виділенні порід-колекторів та оцінці їх фільтраційних параметрів.

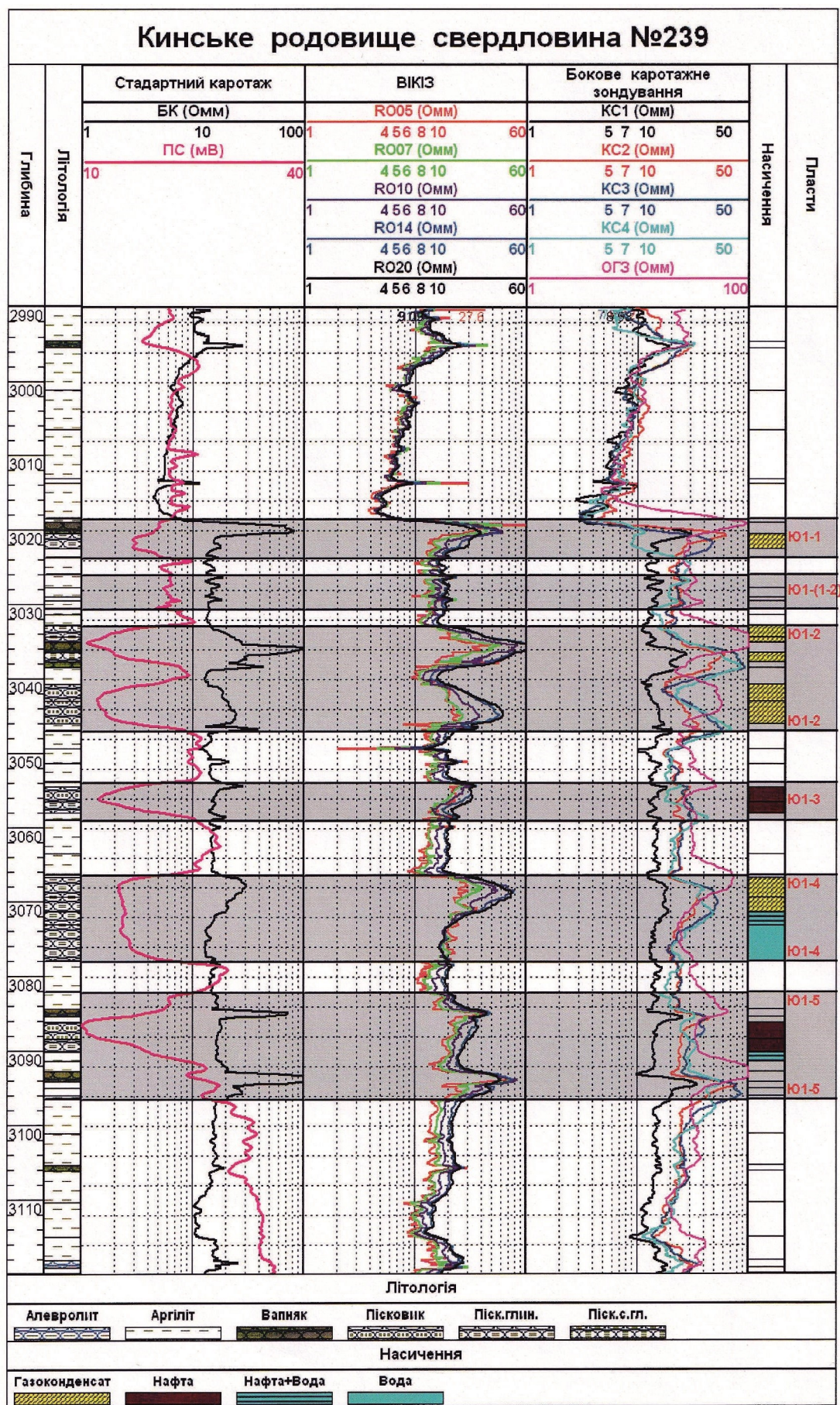


Рисунок 4 – Приклад геолого-геофізичного розрізу Кинського родовища [1]

Необхідно відмітити, що в процесі проведення ядерно-магнітних досліджень в тонкошаруватих неогенових відкладах, з'явилась можливість оперативно оцінити характер насичення порід-колекторів, а також визначити їх ефективну пористість та фазову проникність.

Таким чином, в процесі пошукового та розвідувального буріння тонкошаруватих геологічних розрізів, вищевказані ядерно-фізичні методи підвищують можливість оперативного визначення як якісних, так і кількісних фізичних та петрофізичних параметрів порід-колекторів.

### Література

1. Серженьга О.В., Федоришин Д.Д. Науково-методичні засади оцінки характеру насичення пластів і положення газонафтового контакту з використанням геоелектричної моделі присвердловинної зони (на прикладі нафтогазоконденсатних родовищ Західно-Сибірської нафтогазоносною провінції): автореф. дис. ... канд. геол. наук. Івано-Франківськ, 2007. 189 с.

2. Латишева М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин. Москва: Недра, 1991. 219 с.

3. Федоришин Д. Д. Теоретико-експериментальні основи петрофізичної та геофізичної діагностики тонкошаруватих порід-колекторів нафти і газу (на прикладі Карпатської нафтогазоносною провінції): дис. д-ра геол. наук. Львів, 1999. 289 с.

4. Fedoryshyn D. D., Trubenko O. N., Dmytruk V. V., Fedoryshyn S. D., Humeniuk V. V. Peculiarities of geological structure of neogenic deposits of Haiv gas deposit and their influence on filtration capacity parameters. *Geoinformatics* 2021, 11-14 May 2021, Kyiv, Ukraine.

5. Борисов М.А. Повышение степени извлечения палеозной информации из геофизических данных при поиске, разведке и разработке месторождений нефти и газа / (ЕАГО) геофизическая научно-практическая конференция "Выделение коллекторов, оценка их ФЕС, и нефтегазонасыщении по данным полевой и промышленной геофизики в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Тюмень, 2004. С.72-74.

6. Федоришин Д. Д., Прокопів В. Й. Оцінка геолого-геофізичних неоднорідностей при дослідженнях складнопобудованих порід-колекторів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2003. № 2(7). С. 28–34.

### References

1. Serzhenha O.V., Fedoryshyn D.D. Naukovo-metodychni zasady otsinky kharakteru nasychennia plastiv i polozhennia hazonaftovoho kontaktu z vykorystanniam heoelektrychnoi modeli prysverdlivynnoi zony (na prykladi naftohazokondensatnykh rodovyshch Zakhidno-Sybirskoi naftohazonosnoi provintsii): avtoref. dys. .. kand. heol. nauk. Ivano-Frankivsk, 2007. 189 p. [in Ukrainian]

2. Latisheva M.G. Prakticheskoe rukovodstvo po interpretatsii diagramm geofizicheskikh metodov issledovaniya skvazhin. Moskva: Nedra, 1991. 219 p. [in Russian]

3. Fedoryshyn D. D. Teoretyko-eksperymentalni osnovy petrofizychnoi ta heofizychnoi diahnostryky tonkoprosarkovykh porid-kolektoriv nafty i hazu (na prykladi Karpatskoi naftohazonosnoi provintsii): dys. d-ra heol. nauk. Lviv, 1999. 289 p. [in Ukrainian]

4. Fedoryshyn D. D., Trubenko O. N., Dmytruk V. V., Fedoryshyn S. D., Humeniuk V. V. Peculiarities of geological structure of neogenic deposits of Haiv gas deposit and their influence on filtration capacity parameters. *Geoinformatics* 2021, 11-14 May 2021, Kyiv, Ukraine.

5. Borisov M.A. Povyishenie stepeni izvlecheniya paleznoy informatsii iz geofizicheskikh danyih pri poiske, razvedki i rozrabotki mestorozhdeniy nefiti i gaza / (EAGO) geofizicheskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Videlenie kolektorov, otsenka ih FES, i neftegazonasichenosti po danyim polevoy i promyselovoy geofiziki v Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii. Tyumen, 2004. P.72-74. [in Russian]

6. Fedoryshyn D. D., Prokopiv V. Y. Otsinka heoloho-heofizychnykh neodnorodnostei pry doslidzhenniakh skladnopobudovanykh porid-kolektoriv. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2003. No 2(7). P. 28–34. [in Ukrainian]