

# Дослідження та методи аналізу

---

УДК 550.835

## ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГАЗОНАСИЧЕННЯ ПЛАСТІВ-КОЛЕКТОРІВ ІЗ ГЛИНИСТО-КАРБОНАТНИМ ТИПОМ ЦЕМЕНТУ

*В.А. Старостін, Я.М. Коваль, І.О. Федак*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42056,  
e-mail: geophys@nimg.edu.ua*

*Гірські породи, які виповнюють продуктивні розрізи багатьох нафтогазових родовищ, характеризуються глинисто-карбонатним типом цементу. Для такого роду порід-колекторів заміщення глинистого цементу на карбонатний призводить до збільшення їх питомого електричного опору за рахунок зменшення вмісту зв'язаної води на поверхні карбонатної цементуючої речовини. У свою чергу, завищені значення питомого електричного опору порід-колекторів з глинисто-карбонатним типом цементу є причиною виникнення похибки у визначенні коефіцієнта газонасичення. З метою підвищення достовірності визначення коефіцієнта газонасичення пластів-колекторів пропонується модель електропровідності, яка враховує тип та кількісний вміст цементуючого матеріалу гірських порід. За основу створеної авторами моделі взято модель "двох вод" Вендельштейна Б.Ю. Електропровідність пластів-колекторів з глинисто-карбонатним типом цементу залежить від електропровідностей пластової води та води, зв'язаної карбонатною і глинистою компонентами цементу. Результати зіставлення теоретичних розрахунків за створеною моделлю із фактичними даними підтвердили високу її ефективність.*

*Ключові слова: коефіцієнт газонасичення, глинисто-карбонатний тип цементу, модель електропровідності, електричний опір, пористість.*

*Горные породы, наполняющие продуктивные разрезы многих нефтегазовых месторождений, характеризуются глинисто-карбонатным типом цемента. Для такого рода пород-коллекторов замещения глинистого цемента карбонатным приводит к увеличению их удельного электрического сопротивления за счет уменьшения содержания связанной воды на поверхности карбонатного цементирующего вещества. В свою очередь, завышенные значения удельного электрического сопротивления пород-коллекторов с глинисто-карбонатным типом цемента являются причиной возникновения погрешности при определении коэффициента газонасыщения. С целью повышения достоверности определения коэффициента газонасыщения пластов-коллекторов предлагается модель электропроводности, которая учитывает тип и количественное содержание цементирующего материала горных пород. В основание созданной авторами модели положена модель "двох вод" Вендельштейна Б.Ю. Электропроводность пластов-коллекторов с глинисто-карбонатным типом цемента зависит от электропроводности пластовой воды и воды, связанной карбонатной и глинистой компонентами цемента. Результаты сопоставления теоретических расчетов по созданной модели с фактическими данными подтвердили высокую ее эффективность.*

*Ключевые слова: коэффициент газонасыщения, глинисто-карбонатный тип цемента, модель электропроводности, электрическое сопротивление, пористость.*

*The rocks filling the productive sections of many oil and gas fields, are characterized by clay-carbonate type of cement. For this kind of reservoir rocks replacement clay cement on carbonate increases their resistivity by reducing the content of bound water on the surface of carbonate-hardening material. In turn, inflated the value of resistivity reservoir rocks of clay-carbonate type of cement is the cause of the error in determining the coefficient of gas saturation. To improve the accuracy of determining the coefficient of reservoir gas saturation authors proposed the model of conductivity, which takes into account the type and quantitative cementing material of rocks. For the basis of established model by the authors the model of "two waters" by Vendelshteyn B.Y. is taken. Electrical conductivity*

of reservoir with clay-carbonate type of cement depends on the electrical resistance of formation water and water who bound carbonate and clay component of cement. The results of the comparison of theoretical calculations according to created model with actual data have confirmed the high level of its efficiency.

Key words: the coefficient of gas saturation, clay-carbonate type of cement, the model of electrical conductivity, electrical resistance, porosity.

На нафтогазових родовищах України значна кількість пластів-колекторів характеризується наявністю у їх скелеті глинисто-карбонатного типу цементу. Залежно від пропорції глинистої і карбонатної компонент цементу породи пласт-колектор характеризується різним питомим електричним опором. Заміщення частки глинистої речовини цементу карбонатним домішком призводить до зменшення вмісту щільно зв'язаної води і, відповідно, до збільшення питомого електричного опору [1, 2, 3]. Тому визначення коефіцієнта газонасичення пластів-колекторів із переважаючим вмістом карбонатної речовини у цементі за даними електрометрії свердловин призводить до значних похибок.

Можливості урахування складу цементу гірських порід для визначення коефіцієнтів газонасичення пластів-колекторів є вкрай обмеженими, що пов'язано з малою кількістю досліджень кернавого матеріалу, а використання узагальнених моделей електропровідності ускладнено значною неоднорідністю цементної фракції у продуктивних породах.

Отже, визначення складу цементу гірських порід за даними геофізичних досліджень свердловин (ГДС) і його врахування у моделі електропровідності гірських порід є актуальним завданням, вирішення якого призведе до підвищення достовірності визначення коефіцієнтів газонасичення пластів-колекторів з глинисто-карбонатним типом цементу.

Проведено дослідження впливу складу цементу гірських порід на їх питомий електричний опір на прикладі продуктивних відкладів Богородчанського газового родовища. Аналіз результатів свердловинних досліджень свідчить, що пласти-колектори цього родовища мають нетипове відображення у геофізичних полях.

Колекторами газу на даному родовищі є пласти і прошарки пісковиків та алевролітів Косівської світи верхньотортонського під'ярусу, які нерівномірно розподілені серед аргілітів, що складають основну частину розрізу [4]. За умовами утворення породи-колектори відносяться до осадових відкладів, за мінеральним складом – до теригенного типу, а за морфологією порового простору – до міжгранулярного типу. Гранулярні колектори верхньотортонських відкладів класифіковано як складнобудовані, оскільки вони характеризуються складною структурою порового простору, неоднорідним цементом, двофазним насиченням у межах одного пласта (газ і вода). За характером змочуваності поверхні твердої фази колектори верхньотортонських відкладів відносяться до гідрофільних. За результатами досліджень кернавого матеріалу пласти-колектори Богородчанського газового родовища характеризуються глинисто-карбонатним та карбонатно-глинистим типом цементу.

Пісковики продуктивного горизонту світлосірі, німічні, слабо- і середньовапнисті (4-14 %), дрібнозернисті, алевроїтисті і алевроїтові, характеризуються високим ступенем відсортованості зерен (табл. 1).

Таблиця 1 – Гранулометричний склад пісковиків

№ з/п	Розмір фракції, мм	Вміст фракції, %
1	0,5-0,25	4-25,6 %
2	0,25-0,1	35,6-64,7 %
3	0,1-0,05	15,2-32,5 %
4	0,05-0,01	3,8-20,6 %

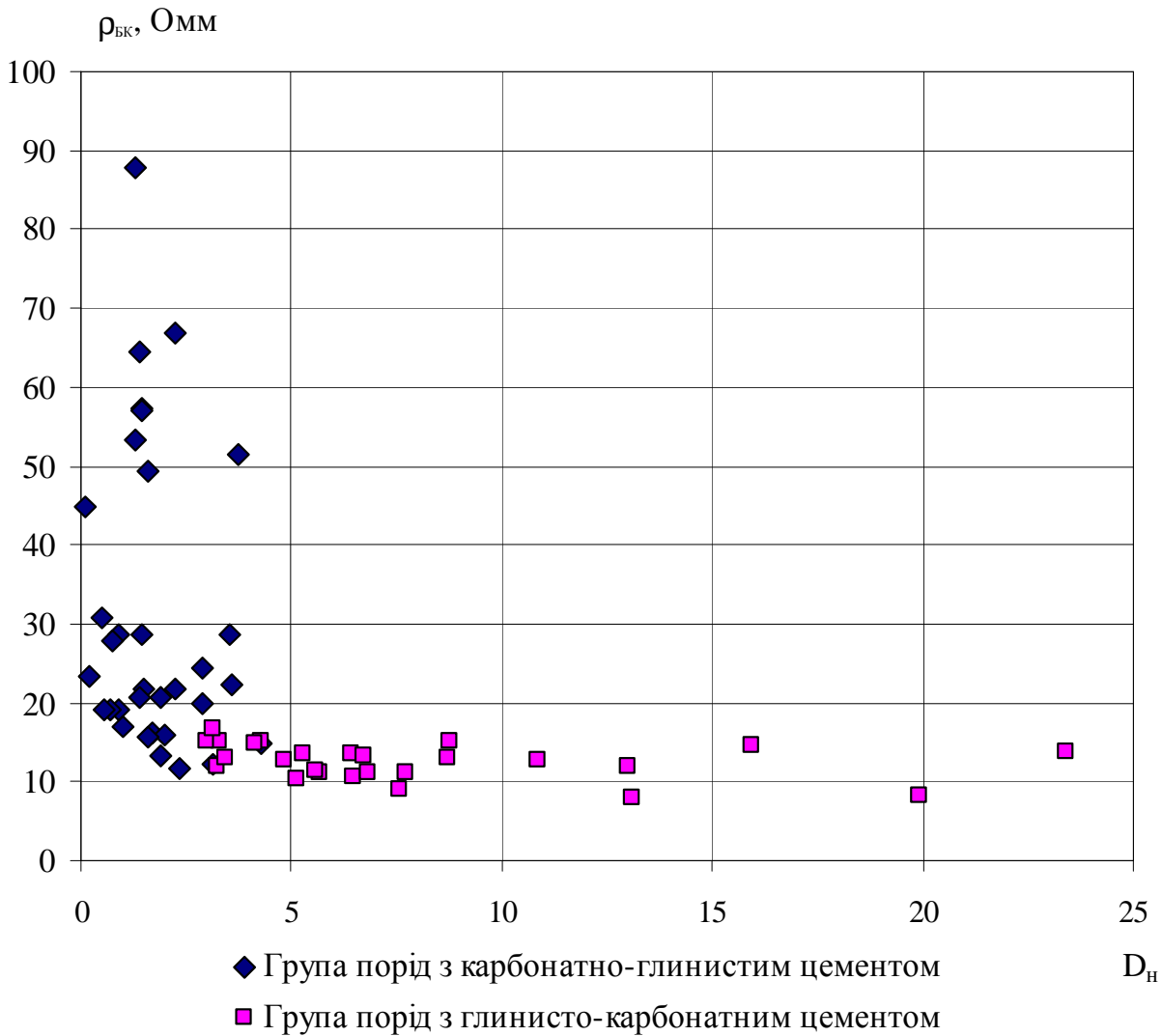
За мінеральним складом пісковики кварцеві (73-78 %) з уламками польових шпатів, кварцеподібних порід, рідше аргілітів з пластинками мусковіта (загалом не більше 3-5 %). Кварц кутуватий і напівокатаний, нерідко слабокородований кальцитом цементу. Цемент базально-поровий, поровий, контактний, глинисто-карбонатний (тонкозернистий кальцит в суміші з глинистою речовиною) з поодинокими дрібними (до 0,2 мм) зернами глауконіту, піриту і лейкоксену. Інколи цементуюча маса слабо збагачена органікою. Текстура пісковиків у шліфі хаотична.

Алевроліти світло-сірі і сірі, здебільшого німічні, рідше міцні, середньовапнисті (вміст карбонатів у перерахунку на CaCO<sub>3</sub> коливається від 12 % до 16 %), переважно різнозернисті, піщанисті, інколи піщані. Середній розмір зерен досліджуваних алевролітів коливається від 0,03 мм до 0,08 мм (табл. 2). Зерна скелету породи добре відсортовані.

Таблиця 1 – Гранулометричний склад алевролітів

№ з/п	Розмір фракції, мм	Вміст фракції, %
1	0,5-0,25	1-8 %
2	0,25-0,1	3-35 %
3	0,1-0,05	35-58,6 %
4	0,05-0,01	17-78 %

За мінеральним складом – це кварцеві (50-74 %) породи з мусковітом (не більше 1 %), поодинокими уламками кварцеподібних порід, польовими шпатами і лусками хлориту. Окремі кварцеві зерна слабокородовані цементом кальциту. Зазвичай цемент німічний, базальний, базально-поровий і поровий, глинисто-карбонатний (мікро- і тонкозернистий кальцит в суміші з пелітоморфною глинистою речови-



**Рисунок 1 – Зіставлення нормованого параметра водонасичення глинистої фракції порід-колекторів  $D_n$  з їх питомим електричним опором по боковому каротажу  $\rho_{BK}$**

ною), з глауконітом (до 2 %), піритом (до 1 %), окремими зернами лейкоксену і ангідриту. Іноді в цементі зустрічається бура органічна речовина (до 2 %).

Текстура алевролітів у шліфі нечітко шарувата, завдяки субпаралельному орієнтуванню окремих пластинчастих зерен, інколи тонкошарувата завдяки нерівномірному розподілу уламкового матеріалу, рідше хаотична.

Абсолютна проникність, визначена на взірцях керну, змінюється від  $0,01 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> до  $491,6 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>; а за результатами випробування –  $48 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> –  $86 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Залишкове газонасичення коливається в межах від 2 % до 25,8 %.

Підтвердженням впливу карбонатної речовини, що міститься у цементі породи-колектора, на збільшення її питомого електричного опору  $\rho_n$ , є побудований графік (рис. 1) зіставлення значень питомого електричного опору за боковим каротажем із значеннями нормованого параметра водонасичення глинистої фракції, який описується виразом:

$$D_n = \frac{\Delta I_\gamma}{\Delta I_{n\gamma} \cdot K_n}, \quad (1)$$

де  $\Delta I_\gamma$  – подвійний різницевий параметр природної  $\gamma$ -активності;

$\Delta I_{n\gamma}$  – подвійний різницевий параметр інтенсивності гамма-поля радіаційного захоплення теплових нейтронів;

$K_n$  – коефіцієнт пористості, ч.од.

Оскільки природна радіоактивність гірських порід визначається їх дисперсними властивостями та умовами басейну осадонакопичення, а інтенсивність гамма-випромінювання радіаційного поглинання нейтронів вмістом водню у гірській породі, то параметр  $D_n$  вказує, яка кількість води знаходиться у глинистому цементі порід конкретної площі. Нормування параметра водонасичення глинистої фракції гірських порід коефіцієнтом пористості приводить значення параметру до одиниці об'єму порового простору.

Отже, вміст карбонатів у глинистому цементі є основним визначальним чинником зміни електропровідності порід-колекторів проду-

ктивного комплексу Богородчанського газового родовища. Тому, основною метою даної роботи є побудова моделі електропровідності глинисто-карбонатних порід-колекторів, яка враховуватиме властивості та кількісний вміст цементуючого матеріалу.

Дослідженню електропровідності складно-побудованих порід-колекторів присвячено багато наукових праць [5, 6, 7, 8]. Так, у роботі [8] Вендельштейном Б.Ю. доведено, що присутність глинистого цементу у породі може призводити як до зменшення, так і до збільшення її питомого електричного опору. За умови, що питомий електричний опір пластової води  $\rho_v$  є більшим від питомого електричного опору подвійного шару  $\rho_{ш}$ , присутність глин призводить до зменшення питомого електричного опору, а за умови  $\rho_v < \rho_{ш}$  заглинизованість викликає його збільшення.

Дані геофізичних досліджень свердловин електричними методами і результати промислових випробувань показали, що питомий електричний опір пласта зменшується зі збільшенням глинистості, що, в свою чергу, вказує на справедливості першої умови –  $\rho_v > \rho_{ш}$ .

У роботі [9] Елланським М.М. експериментально доведено існування залежності, встановленої Вендельштейном Б.Ю. [8], і визначено величину електропровідності подвійного електричного шару, яка забезпечує рівновагу у електропровідності електроліту і подвійного електричного шару. Ця мінімальна величина становить  $\rho_{ш} \approx 1/4,54 \text{ См/м} \approx 0,22 \text{ Ом м}$  і є характерною для щільного глинистого цементу.

Для створення моделі електропровідності порід-колекторів з глинисто-карбонатним цементом нами взято за основу модель “двох вод”. У 1960 р Вендельштейном Б.Ю. [8] запропонована модель електропровідності, в якій існує два провідника електричного струму – пластова вода та зв’язана вода (подвійний електричний шар). Пластова вода знаходиться у поровому просторі, а зв’язана вода присутня як адсорбційна вода дисперсної частини породи. Дана модель має вигляд:

$$\frac{1}{\rho_{кан}} = \frac{Z_{ш}}{\rho_{ш}} + \frac{1 - Z_{ш}}{\rho_v}, \quad (2)$$

де  $\rho_{кан}$ ,  $\rho_v$  і  $\rho_{ш}$  – відповідно питомий електричний опір порового каналу, пластової води і подвійного електричного шару, Ом·м;

$Z_{ш}$  – частка порового каналу, зайнятого адсорбційною водою, ч.од.

Вендельштейном Б.Ю. доведено, що величина питомого електричного опору подвійного електричного шару не залежить від мінерального складу глинистої маси, а залежить від її структури.

При створенні моделі електропровідності порід-колекторів зроблено припущення про те, що подвійний електричний шар і адсорбційна вода на поверхні дисперсних частинок глинистої маси займають один і той самий об’єм:

$$Z_{ш} = \beta_{зл} = \frac{K_{зл} \cdot \omega_{зл}}{K_n}, \quad (3)$$

де  $\beta_{зл}$  – частка об’єму відкритих пор, зайнятих адсорбційною водою, ч.од.;

$\omega_{зл}$  – вміст адсорбційної води, ч.од.;

$K_{зл}$  – коефіцієнт об’ємної глинистості, ч.од.;

$K_n$  – коефіцієнт пористості, ч.од.

Оскільки подвійний електричний шар знаходиться у тому ж об’ємі, що і адсорбційна вода, то він і є провідником електричного струму.

Для порід-колекторів із глинисто-карбонатним цементом модель (3) набуде вигляду:

$$Z_{ш} = \beta_{зл} = \frac{K_{зл} \cdot \omega_{зл}}{K_n} + \frac{K_{дом} \cdot \gamma \cdot \omega_{дом}}{K_n}, \quad (4)$$

де  $K_{дом}$  – вміст карбонатного домішку у цементі, ч.од.;

$\omega_{дом}$  – вміст адсорбційної води на поверхні карбонатного домішку, ч.од.;

$\gamma$  – коефіцієнт, який характеризує структурні особливості карбонатного домішку.

Враховуючи модель “двох вод” (2) і модель (4), для порід-колекторів із глинисто-карбонатним цементом нами запропонована така модель питомого електричного опору:

$$\frac{\rho_n}{\rho_v} = \frac{1}{(K_n \cdot K_v)^m} \times \quad (5)$$

$$\times \frac{1}{1 - \left( \frac{K_{зл} \cdot \omega_{зл}}{K_n \cdot K_v} + \frac{K_{дом} \cdot \gamma \cdot \omega_{дом}}{K_n \cdot K_v} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\rho_{ш}}{\rho_v} \right)},$$

де  $\rho_n$  – питомий електричний опір породи, Омм;

$\rho_v$  – питомий електричний опір пластової води, Омм;

$K_n$  – коефіцієнт пористості, ч.од.

$K_v$  – коефіцієнт водонасичення, ч.од.;

$m$  – структурний коефіцієнт, який характеризує будову порового простору досліджуваних порід-колекторів ( $m=1,2,9$ );

$K_{зл}$  – коефіцієнт об’ємної глинистості, ч.од.;

$\omega_{зл}$  – вміст адсорбційної води на поверхні глинистої речовини, ч.од.;

$K_{дом}$  – вміст карбонатного домішку у цементі, ч.од.;

$\omega_{дом}$  – вміст адсорбційної води на поверхні карбонатного домішку, ч.од.;

$\gamma$  – коефіцієнт, який характеризує структурні особливості карбонатного домішку;

$\rho_{ш}$  – питомий електричний опір подвійного електричного шару, Омм.

Такого роду модель описує вплив двокомпонентного цементу на питомий електричний опір породи-колектора.

З метою оцінки впливу глинисто-карбонатного цементу на питомий електричний опір порід-колекторів проведені розрахунки  $\rho_n$  з використанням запропонованої моделі (5) у діапазоні зміни вмісту карбонатного домішку  $K_{дом}$  від 0,1 до 0,5 ч.од. Діапазон зміни значень коефіцієнта пористості  $K_n$  та водонасичення  $K_v$  отримано із результатів геофізичних досліджень свердловин Богородчанського родовища, виконаних ІФЕГДС [4]. Для розрахунків взято

значення питомого електричного опору пластових вод  $\rho_e=0,04$  Ом, а значення питомого електричного опору подвійного електричного шару –  $\rho_w=0,025$  Ом. Структурний коефіцієнт  $m$ , який характеризує будову порового простору досліджуваних відкладів, прийнятий рівним  $m=1,29$  [4], а коефіцієнт –  $\gamma=5,4$ . На рис. 2 відображено залежності зміни параметра пористості  $P_n$  від коефіцієнта пористості  $K_n$  для різних значень частки карбонатного домішку. З рисунку видно, що із збільшенням вмісту карбонатного домішку у діапазоні низьких значень пористості спостерігається значне зростання опору, а у діапазоні великих значень пористості – незначне.

Отже, вміст карбонатного домішку у цементі породи-колектора призводить до збільшення її питомого електричного опору, а в подальшому до недостовірного визначення коефіцієнта пористості та насичення. Для врахування впливу карбонатного домішку породи-колектора на її питомий електричний опір при визначенні підрахункових параметрів, необхідно використовувати запропоновану нами модель питомого електричного опору (5).

Для практичної реалізації запропонованої нами моделі питомого електричного опору необхідно визначити низку параметрів, які характеризують як колекторські, так і фізичні властивості породи-колектора. Великі труднощі виникають при визначенні вмісту карбонатного домішку  $K_{дом}$  у цементі породи-колектора. Дуже важливо під час визначення коефіцієнта газонасичення прогнозувати тип цементу (глинисто-карбонатний чи карбонатно-глинистий). Тому, перед нами постає завдання пошуку способів визначення частки карбонатного домішку у цементі. Для вирішення цього завдання пропонується використовувати нейтронний гамма-каротаж, результати якого залежать від водневмісту породи-колектора [10].

Основна проблема визначення коефіцієнта насичення за моделлю (5) полягає у визначенні геологічних характеристик, які входять до складу моделі електропровідності. В процесі перевірки можливості використання моделі (5) для визначення коефіцієнта газонасичення порід-колекторів Богородчанського родовища, нами проведено ряд досліджень, за результатами яких визначено значення параметрів, що входять до складу даної моделі.

Значення коефіцієнта пористості  $K_n$  вибиралось як середнє арифметичне із значень, визначених за даними мікробокового каротажу, акустичного та гамма-каротажу. Для цього використовувались емпіричні моделі зв'язку петрофізичних параметрів ( $P_n, \Delta T_n, \Delta I_\gamma$ ) з колекторськими властивостями ( $K_n$ ), які встановлені на основі лабораторних досліджень кернавого матеріалу верхньотортонських відкладів Карпатського регіону [4, 11].

Значення питомого електричного опору пластової води  $\rho_e$ , яка насичує поровий простір верхньотортонських продуктивних відкладів, прийняте рівним 0,04 Ом [4].

Показник степеня  $m$ , що використовувався у моделі (5), прийнятий як  $m=2$ .

Коефіцієнт об'ємної глинистості  $K_{gl}$  визначався за емпіричною формулою [10]:

$$K_{gl} = 1,72 - \sqrt{1,72^2 - 1,9 \cdot \Delta I_\gamma}, \quad (6)$$

де  $\Delta I_\gamma$  – подвійний різницевиий параметр природної  $\gamma$ -активності.

Дана залежність встановлена на основі зіставлення результатів гранулометричного аналізу продуктивних порід-колекторів Карпатського регіону з їх природною  $\gamma$ -активністю, визначеною за даними лабораторної гамма-спектрометрії [12]. Лабораторні дослідження проводились ІФІНГ.

Вміст адсорбційної води на поверхні глинистого матеріалу  $\omega_{gl}$ , досліджуваних нами продуктивних відкладів розраховувався на основі результатів визначення ємності катіонного обміну [12].

Для визначення вмісту карбонатного домішку  $K_{дом}$  у глинисто-карбонатному цементі використовувалась методика, запропонована у роботі [10], де  $K_{дом}=B$ .

Вміст адсорбційної води на поверхні карбонатного домішку  $\omega_{дом}$  взято з літературних табличних даних [3, 13].

Для розрахунків значення питомого електричного опору подвійного електричного шару взяте рівним  $\rho_w=0,025$  Ом.

Коефіцієнт, який характеризує структурні особливості карбонатного домішку, приймався рівним  $\gamma=5,4$ .

У результаті підстановки наведених вище параметрів до формули (5) отримаємо індивідуальну модель питомого електричного опору порід-колекторів з глинисто-карбонатним цементом, які виповнюють геологічний розріз Богородчанського родовища:

$$\rho_n = \frac{1}{(K_n \cdot K_g)^m} \times \frac{1}{1 - \left( \frac{1,72 - \sqrt{1,72^2 - 1,9 \cdot \Delta I_\gamma \cdot \omega_{gl}} + B \cdot \gamma \cdot \omega_{дом}}{K_n \cdot K_g} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\rho_w}{\rho_e} \right)} \quad (7)$$

При зіставленні коефіцієнта газонасичення, визначеного за стандартною методикою, яку використовували для підрахунку запасів газу Богородчанського родовища [4], із значеннями  $K_g$ , визначеними за вище наведеною моделлю (7), встановлено, що величини відрізняються (рис. 3). Так, наприклад, в інтервалі 1106,0-1109,1м, який характеризується високим вмістом карбонатної речовини у цементі ( $B=0,48$ ), коефіцієнт газонасичення визначений за стандартною методикою становить 81%, а за запропонованою нами моделлю (7) –  $K_g=72\%$ , що вказує на значну похибку у визначенні  $K_g$  за методикою, яка не враховує речовинний склад цементу гірської породи.

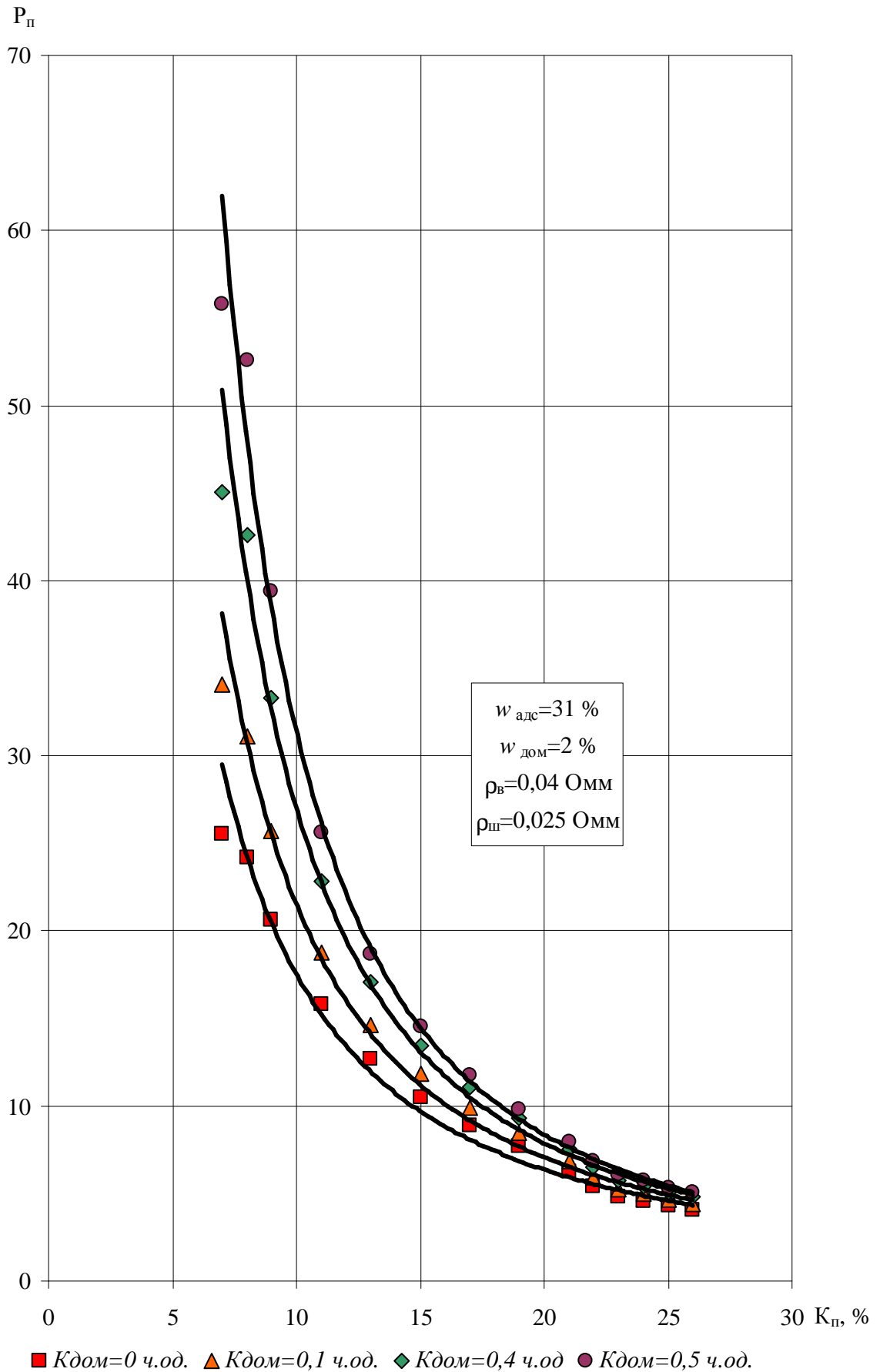


Рисунок 2 – Залежність параметра пористості  $P_n$  від коефіцієнта пористості  $K_n$  порід-колекторів із різним вмістом карбонатного домішку  $K_{дом}$

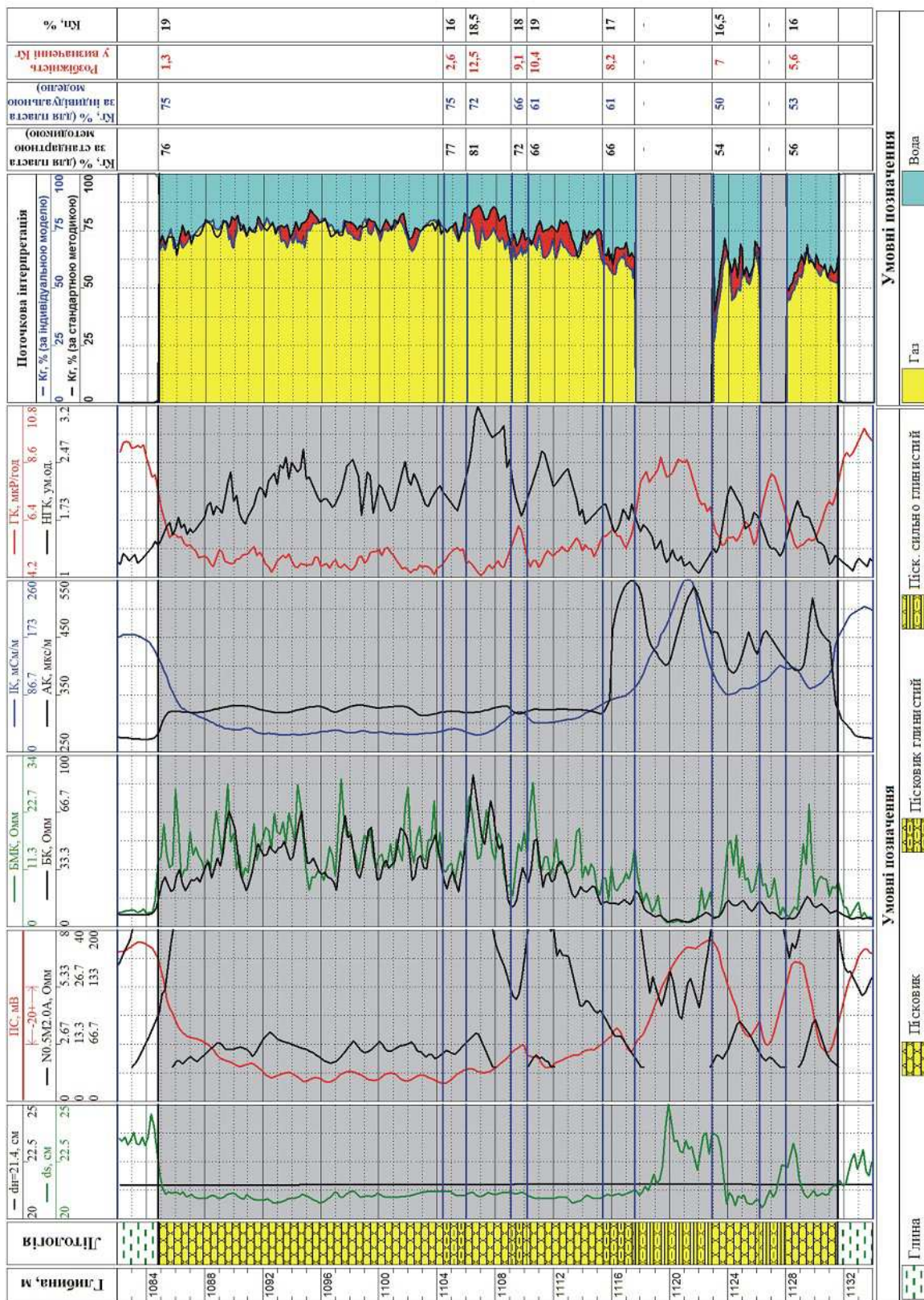


Рисунок 3 – Ефективність моделі електропровідності порід-колекторів з глинисто-карбонатним цементом (св. №67-Богородчани)

Отже, вміст карбонатного домішку у цементі породи-колектора впливає на її питомий електричний опір, а в подальшому і на визначення коефіцієнта газонасичення, що підтверджено нашими розрахунками та графічними побудовами. Для достовірного визначення коефіцієнта газонасичення необхідно використовувати модель питомого електричного опору, яка враховує неоднорідність мінерального складу цементу. В основу перспективи подальшої роботи буде покладено впровадження запропонованої нами індивідуальної моделі електропровідності глинисто-карбонатних порід-колекторів у виробництво.

### Література

- 1 Вендельштейн Б.Ю. Методические рекомендации по определению подсчетных параметров залежей нефти и газа по материалам геофизических исследований скважин с привлечением результатов анализа керн, опробований и испытаний продуктивных пластов / Б.Ю. Вендельштейн, В.Ф. Козяр, Г.Г. Яценко. – Калинин: НПО “Союзпромгеофизика”, 1990. – 261 с.
- 2 Ильинский В.М. Геофизические исследования коллекторов сложного строения / В.М. Ильинский, Ю.А. Лимбергер. – М.: Недра, 1981. – 208 с.
- 3 Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород (петрофизика) / В.Н. Кобранова. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горнотопливной литературы, 1962. – 490 с.
- 4 Сводное заключение по Богородчанскому газовому месторождению (анализ результатов геофизических исследований скважин) / В.В. Кузьменко, М.В. Николок, В.И. Грицишин, С.Я. Белик // Министерство геологии СССР трест “Укргеофизразведка”. – Ивано-Франковская промышленно-геофизическая экспедиция. – Ивано-Франковск. 1969. – 71 с.
- 5 Старостин В.А. Индивидуальное моделирование электропроводности газонасыщенных порід-колекторів складної будови / В.А. Старостин, Я.М. Коваль // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – №4(41). – С. 41-46
- 6 Александров Б.Л. Влияние температуры на удельное сопротивление и скорость распространения акустических волн в глинах / Б.Л. Александров, В.С. Афанасьев // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1976. – №18. – С. 10-14.
- 7 Єфімов В.А. Петрофизические модели сложнопостроенных глинистых коллекторов для оценки их нефтегазонасыщения по данным электрометрии скважин: автореферат. дис. на соиск. уч. степени канд. геол.-минер. наук: спец. 00.30.03 “Геология нефти и газа” / В.А. Єфімов; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 1984. – 26 с.
- 8 Вендельштейн Б.Ю. О связи между параметром пористости, коэффициентом поверхностной проводимости, диффузионного-адсорбционными свойствами терригенных пород / Б.Ю. Вендельштейн // Труды МИНХ и ГП. – 1960. – № 31. – С. 16-30.
- 9 Элланский М.М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных ГДС: Методическое пособие / М.М. Элланский. – М.: ГЕРС, 2001. – 229 с.
- 10 Старостин В.А. Оцінка типу цементувального матеріалу порід-колекторів за даними нейтронного гамма-каротажу / В.А. Старостин, Я.М. Коваль // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – №2(256). – С. 22-26.
- 11 Побудова фільтраційної моделі об’єктів зберігання газу Богородчанського ПСГ / Д.Д. Федоришин, В.А. Старостин, І.О. Федак, Я.М. Коваль // КНВП “Нафтогазтехсервіс” (заключний) – Івано-Франківськ, 2010. – 91 с.
- 12 Исследование закономерностей распределения радиоактивных элементов в горных породах-коллекторах месторождений Предкарпатя по промышленным и лабораторным данным / В.Я. Бардовский, В.А. Булмасов, В.А. Старостин, И.И. Прокопьев, Г.А. Жученко // Министерство высшего и среднего образования СССР. – Ивано-Франковск: Ивано-Франковский институт нефти и газа, 1977. – 108 с.
- 13 Добрынин В.М. Петрофизика: Учебник для ВУЗов / В.М. Добрынин, Б.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. – М.: Недра, 1991. – 368 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
28.02.12*

*Рекомендована до друку  
професором Орловим О.О.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором Максимчуком В.Ю.  
(Інститут геофізики ім. С.І.Субботіна  
НАН України, Карпатське відділення, м. Львів)*