

ВИДІЛЕННЯ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ЗА ДАНИМИ ГДС (на прикладі неогенових відкладів Гуцулівського газового родовища)

О.М. Трубенко, С.Д. Федоришин, В.В. Федорів

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40155,
e-mail: geotom@nung.edu.ua

Розглядається проблема виділення порід-колекторів підвищеної електропровідності за даними геофізичних досліджень свердловин (ГДС). Наведено фактичні результати визначення гранулометричного складу порід, виконано комплексну інтерпретацію даних ГДС складнобудованих баденських відкладів на прикладі св. 1-Гуцулівська. Встановлено критерії, що впливають на покази електричних методів у процесі обробки та інтерпретації результатів свердловинних геофізичних досліджень складнобудованих порід-колекторів.

Ключові слова: колектор, мінеральний склад, пісковик, глина, породи-покришки, структура порового простору

Рассматривается проблема выделения пород-коллекторов повышенной электропроводимости по данным геофизических исследований скважин (ГИС). Приведены фактические результаты определения гранулометрического состава пород, выполнена комплексная интерпретация данных ГИС складнопостроенных баденских отложений на примере скв. 1-Гуцуливская. Установлены критерии, влияющие на показания электрических методов в процессе обработки и интерпретации результатов скважинных геофизических исследований складнопостроенных пород-коллекторов.

Ключевые слова: коллектор, минеральный состав, песчаник, глина, породы-покрышки, структура порового пространства

The article deals with the selection of reservoir rocks of increased electric conductivity according to the well logging data. Given are the factual results of determining the granulometric composition of rocks. Complex interpretation of well logging data of baden deposits of complex structure on the example of Hutsulivsk Well № 1 has been carried out. Determined were the criteria influencing the data of electrical methods in the process of processing and interpretation of the of reservoir rocks of complex structure well logging data.

Keywords: reservoir rock, mineral composition, sandstone, clay, caprocks, porous space structure

Вивчення причин та чинників, які обумовлюють неадекватну насиченню електричну характеристику продуктивних порід колекторів, попередня оцінка їх характеру насичення та встановлення положення міжфлюїдальних контактів за даними геологічно-геофізичних досліджень свердловин є актуальним і необхідним завданням.

Значна частина невилучених вуглеводнів на газових родовищах пов'язана з породами складної будови, які ускладнюють виділення їх у геологічних розрізах. Найчастіше з такою проблемою стикаються при інтерпретації результатів геофізичних досліджень тонкошаруватих неогенових розрізів газових і газоконденсатних родовищ карпатської нафтогазоносною провінції. Як свідчить практика геолого-пошукових робіт, значні скупчення вуглеводнів приурочені до порід із складною мінералогічною будовою матриці та наявністю в них різних типів пористості (гранулярна, кавернозна, тріщинувата). Вивчення таких порід-колекторів геофізичними методами досліджень свердловин в окремих випадках утруднюється. Зокрема, це стосується інтерпретації показів електричних методів, які не відповідають дійсним електричним параметрам пластів, що вивчаються. Встановлення впливу складу матриці породи, типу

насичуючого флюїду, зв'язаної води та інших чинників на величину електропровідності породи-колектора дають змогу підвищити ефективність електричних досліджень. Підвищення інформативності результатів комплексних геофізичних досліджень складнобудованих порід-колекторів буде сприяти виявленню додаткових об'єктів скупчення вуглеводнів, що дасть змогу прирошувати їх запаси.

Ряд вчених Дахнов В.Н., Д'яконов Д.І., Леонт'єв Е.І., Кузнецов Г.С., Латишова М.Г., Вендельштейн Б.Ю., Тузов В.П. [1, 2, 3] займалися вивченням цієї проблеми і стали основоположниками методик та способів обробки і інтерпретації даних ГДС. Однак, у свій час ці роботи не отримали дієвого розвитку в силу недостатнього апаратурного забезпечення свердловинних та лабораторних досліджень. Зокрема, це стосується радіоактивних та електричних методів. Виходячи із того, що в різних регіонах України основні поклади нафти і газу приурочені до пластів кварцевих і польвошпатових пісковиків, алевролітів, вапняків, які цементовані глинистими, карбонатними, галітовими та змішаними цементами, комплекси геофізичних досліджень повинні бути цілеспрямовано оптимальними. З метою удосконалення інтерпретаційної обробки даних електри-

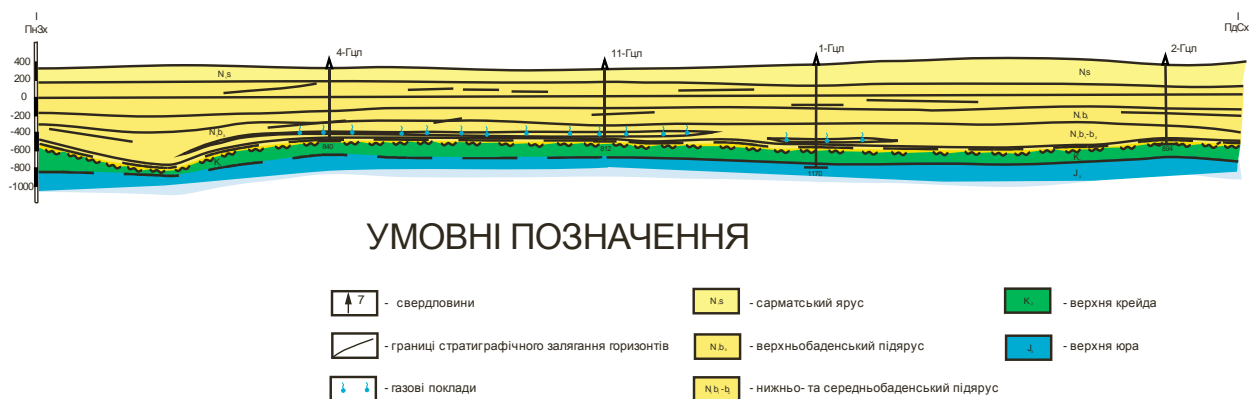


Рисунок 1 – Гуцулівське газове родовище. Геологічний розріз по лінії I-I (за Раделицьким В.С. [1], 2010)

чних досліджень складнобудованих порід-колекторів авторами нижче наводяться ізорезистивна методика обробки даних електрометрії з врахуванням встановлених чинників на прикладі неогенових відкладів Гуцулівського газового родовища.

Гуцулівське газове родовище підпорядковується в адміністративному відношенні Коломийському та Косівському районам Івано-Франківської області, в тектонічному перебуває в межах Івано-Франківської підзони Зовнішньої зони Передкарпатського прогину.

У будові родовища беруть участь породи палеозойської, мезозойської та кайнозойської еротем (рис. 1).

Поклад продуктивного горизонту Б-1 розкритий свердловиною 1-Гцл в інтервалі 850,8-875,6 м. Він приурочений до південно-західного схилу складнобудованої структури, пов'язаної з донеогеновим ерозійним палеопідняттям, зокрема до локального малоамплітудного врізу, який розділяє Гуцулівський виступ на дві частини: північно-західну і південно-східну.

Аналіз та узагальнення геолого-геофізичної інформації досліджень свердловин Гуцулівського родовища дав змогу встановити, що поклад газу продуктивного горизонту Б-2 приурочений до антиклинальної складки субкарпатського простягання розмірами 4x2 км і висотою 50 метрів. З північного заходу він літологічно обмежений в межах осевої лінії складки, що підтверджується відсутністю колекторів у свердловині 6-Пилипівська та значним падінням ефективної товщини у свердловинах 4-Гуцулівська і 19-Коршів-Іспас. Подібним чином поклад літологічно обмежується з південного сходу, де у свердловинах 1-, 2-, 8-Гуцулівські породи-колектори повністю заміщуються непроникними глинистими різновидами (рис. 2).

Як об'єкт нафтогазоносності в межах Гуцулівського родовища випробуваний майже весь розкритий стратиграфічний розріз, за винятком сарматських відкладів.

Юрські відклади (1115-1170 м св. 1-Гцл) літологічно представлені вапняками: щільними, середньої міцності і міцними, кавернозними і

тріщинуватими. За даними лабораторного аналізу пористість вапняків змінюється від 6,5 до 15,7%, а проникність – від $27 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ до $< 0,001 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$.

Інтервали 1122-1128 м і 1131-1134 за даними ГДС водонасичені, що і підтверджено випробуванням в процесі буріння (з інтервалу 1115-1170 м отримано приплив пластової води дебітом $2 \text{ м}^3/25 \text{ хв.}$).

Крейдові відклади розкриті свердловиною 1-Гцл. Вони представлені пісковиками сеноманського ярусу (1065-1105 м) і вапняками турон-сантонського віку (938-1065 м).

Пісковики місцями слабкоцементовані (майже піски), пористі. За даними ГДС пористість пісковиків складає 7-28%, а за лабораторними визначеннями – 19,7-36,2%. Величина проникності коливається від $132 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ до $253 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$.

Вапняки щільні, середньої міцності до міцних. За даними ГДС пористість змінюється від 0 до 7%. Проведене лабораторне визначення вапняків з інтервалу 939-945 м (пористість – 3,8%, проникність – менше $0,001 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$).

Крейдові відклади – водонасичені. Так, при випробуванні в процесі буріння інтервалу 927-972 м, де за даними ГДС вапняки – неколектори, флюїду не отримано. А при випробуванні ВПТ інтервалу 1051-1085 м спостерігався приплив пластової води дебітом $5,5 \text{ м}^3/70 \text{ хв.}$

Баденські відклади на Гуцулівському родовищі представлені мергелями баранівських верств, гіпсоангідритами тираської і піщано-глинистою товщею косівської світ.

Мергелі мають на родовищі невелику потужність (від 1,5 до 10 м) і характеризуються погіршеними колекторськими властивостями. Так, у свердловині 1-Гцл пористість складає 3,8-5,4%, а проникність – менше $1 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$.

Тираська світ представлена щільними гіпсоангідритами ($\rho_n^{0\text{кз}} = 80\text{-}500 \text{ ом}$). За даними лабораторного аналізу відкрита пористість дорівнює 0,7-1,2%.

При випробуванні в процесі буріння інтервалів: 927-972 м у свердловині 1-Гцл ($n_1 b_{1+2} + k_2$); 878-910 м у свердловині 8-Гцл ($n_1 b_{1+2} + k_2$); 815-840 м в свердловині 4-Гцл ($n_1 b_{1+2} + k_2$) приплив не було отримано. Це підтверджує, що

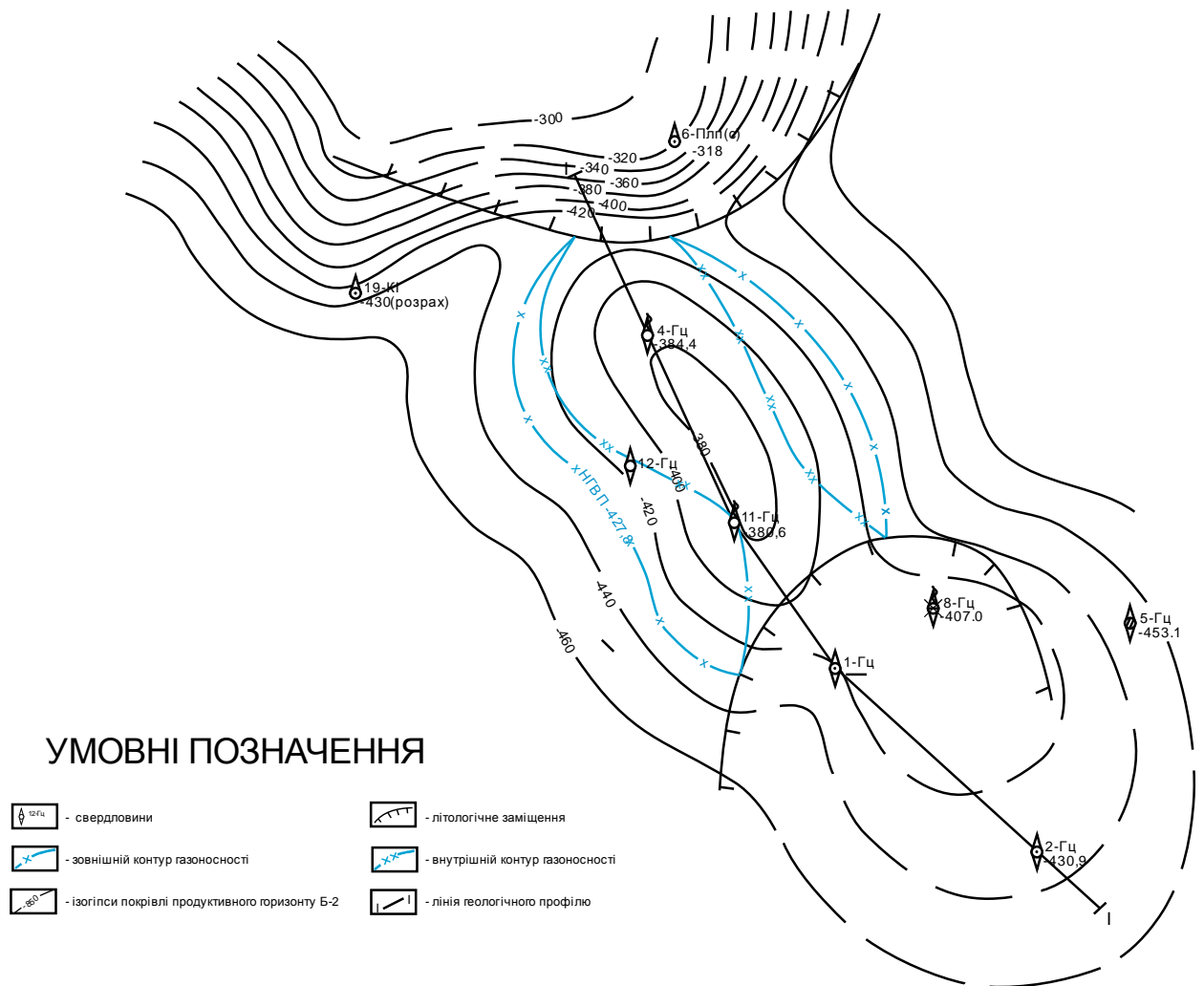


Рисунок 2 – Гуцулівське газове родовище. Структурна карта покрівлі продуктивного горизонту Б-2 (за Раделицьким В.С. [1], 2010)

середньо-баденські відклади і верхня частина крейдових відкладів представлені водотривкими породами.

Промислова газонасність Гуцулівського родовища пов'язується з нижньою частиною верньобаденської теригенної товщі, де відкрито два поклади газу, приурочені до піщано-алевролітових горизонтів Б-1 і Б-2. В середній частині верхньобаденської товщі кондиційні колектори водонасичені, а верхня частина представлена глинами і аргілітами.

Продуктивний горизонт Б-1 відкритий свердловиною 1-Гцл, в якій з інтервалу 878-851 м отримано приплив газу дебітом 31,97 тис. м³/добу на 8,2 мм штуцері. Відклади горизонту представлені піщано-алевролітистими різновидами з питомим електричним опором 4,5-4,0 Ом·м, пористістю – 15-18%, газонасиченістю – 58-68%. На жаль, керн з продуктивного горизонту не був піднятий, тому колекторські властивості характеризовані лише за результатами промислово-геофізичних досліджень. В інших свердловинах, пробурених в межах Гуцулівського родовища, колекторські властивості значно погіршуються. До склепіння структури він повністю заміщується малопотужними глинистими різновидами.

Продуктивний горизонт Б-2 відкритий свердловиною 11-Гцл, в якій з інтервалу 711-702 м отримано дебіт газу 145,47 тис. м³/добу на 15,33 мм штуцері. Крім того, другий поклад частково розвіданий свердловиною 4-Гцл, яка пробурена на його північно-західній окраїні в зоні заміщення порід-колекторів слабопроникними (в основному, алевролітовими) різновидами.

Роль покришок відіграють глини та аргіліти. Глини зеленувато-сірі, темно-сірі із слабким зеленуватим відтінком, щільні, середньої міцності, тонкослюдисті і слюдисті, вапнисті, з присипками по площинах нашарування і гніздами піску світло-сірого, дрібнозернистого, слюдистого, вапнистого.

Аргіліти темно-сірі зі слабким зеленуватим відтінком, щільні, середньої міцності, слюдисті, невапнисті і слабковапнисті.

Фізичні властивості порід-колекторів у межах покладів на родовищі лабораторними методами не вивчалися, оскільки зразки керну з продуктивних об'єктів не відбиралися.

Відомості про визначення петрофізичних параметрів для теригенних порід всього верхньобаденського комплексу в межах Гуцулівського родовища зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати визначення петрофізичних параметрів порід-колекторів баденських відкладів (Б-1,2) Гуцулівського родовища

№ з/п	№ св.	Інтервал, м		Назва породи	Геологічний вік	Пористість відкрита, %	Проникність, 10 ⁻³ мкм ²	Парагелъ (П) перенд (Δ) напл.	Карбонатність, %	Питома вага породи, г/см ³	Електричний опір, Омм		Примітка
		від	до								породи	наск. розв'язн	
1	2	593.0	598.0	пісковик	в. баден	10.30	1.10	П	5.90	2.37	3.3	0.0495	
2	2	593.0	598.0	пісковик	в. баден	9.80	< 0.01	П	7.80	2.38	3.2	0.0495	
3	2	593.0	598.0	пісковик	в. баден	9.60	0.19	П	8.60	2.39	2.0	0.0495	
4	2	593.0	598.0	пісковик	в. баден	10.30	0.03	П	8.30	2.37	1.9	0.0495	
5	2	593.0	598.0	пісковик	в. баден	11.20	0.05	П	7.70	2.36	5.4	0.0495	
6	2	593.0	598.0	пісковик	в. баден	10.80	0.02	П	7.50	2.36	2.3	0.0495	
7	2	593.0	598.0	пісковик	в. баден	10.90	< 0.01	П	7.90	2.36	1.5	0.0495	
8	5	701.0	706.0	пісковик	в. баден	11.80	< 0.01	П	6.8	2.26	2.9	0.0495	
9	8	770.0	772.0	пісковик вапнистий	в. баден	12.00	5.93	П	10.20	2.34	2.5	0.0495	
10	8	840.0	845.0	пісковик вапнистий	в. баден	10.10	0.67	П	10.50	2.40	3.7	0.0495	
11	8	858.0	863.0	пісковик вапнистий	в. баден	18.10	< 0.01	П	10.50	2.19	3.4	0.0495	
12	5	701.0	706.0	пісковик	в. баден	11.80	< 0.01	П	6.8	2.26	2.9	0.0495	

Таблиця 2 – Результати комплексної інтерпретації даних електрометрії свердловин складнобудованих баденських відкладів у св. 1-Гуцулівська

Номер пласта	Інтервал пласта, м	Товщина пласта, м	Діаметр свердловини, м	Питомий опір, Омм					К _{нафтонасичення}	Характеристика колектора	Характер насичення
				Промивальної рідини	Зони проникнення (ЗП)	БКЗ	БК	ІК			
1	209,2-211,6	2,4	0,3	3		16	18	10	піск.-алевр.різн.	водонасичений	
2	215,6-218,4	2,8	0,3	3		14	16	12	піск.-алевр.різн.	водонасичений	
3	231,2-236,8	5,6	0,3	3		26	28	16	пісковик	водонасичений	
4	236,8-243,6	6,8	0,3	3		12	15	8	алевроліт		
5	301,6-308,8	7,2	0,3	3,5		8	9	7	алевроліт	водонасичений	
6	557,2-558,8	1,6	0,3	3,5	14	8	20	8	піск.-алевр.різн.	водонасичений	
7	572,4-578,4	6,0	0,3	3,5	13	8	15	10	піск.-алевр.різн.	водонасичений	
8	603,0-608,0	5,0	0,3	3,5		12	18	16	пісковик	водонасичений	
9	608,0-611,4	3,4	0,3	3,5		18	20	14	пісковик уш.		
10	770,8-772,8	2,0	0,3	3,5		6	7	6,2	алевроліт	невизначений	
11	801,0-807,0	6,0	0,3	3,5		5,5	6	6,2	алевроліт	невизначений	
12	850,4-858,4	8,0	0,3	3,5	10,5	5,3	6,5	6	пісковик	газонасичений	
13	858,4-875,6	17,2	0,3	3,5	11,3	4,5	6	5	піск.-алевр.різн.	газонасичений	
14	876,0-888,0	12,0	0,3	3,5	10,2	3,6	6	3,8	піск.-алевр.різн.	газоводонасичений	
15	914,4-917,0	2,6	0,2	0,2		50	60	43	гіпс		
16	917,0-919,2	2,2	0,2	0,2		150	1000	43	ангідрит		
17	920,0-922,4	2,4	0,2	0,2		80	400	100	ангідрит		
18	922,4-926,0	3,6	0,2	0,2		50	140	43	гіпс		
19	926,0-928,8	2,8	0,2	0,2		180	1000	100	ангідрит		
20	928,8-937,0	8,2	0,19	0,2		22	20	16	вапняк		
21	937,6-943,6	6,0	0,19	0,2		28	30	27	вапняк		
22	943,6-954,0	10,4	0,19	0,2		20	23	20	вапняк		
23	954,0-963,0	9,0	0,19	0,2		60	87	43	вапняк		
24	963,0-977,0	14,0	0,19	0,2		25	29	20	вапняк		
25	977,0-989,0	12,0	0,19	0,2		14	17	11	вапняк	водонасичений	
26	989,0-1000,0	11,0	0,19	0,2		18	22	14	вапняк	водонасичений	
27	1000,0-1005,0	5,0	0,19	0,2		12	16	10	вапняк	водонасичений	

Таблиця 3 – Результати інтерпретації даних геофізичних досліджень у свердловині 1-Гуцулівська

Інтервал пласта, м		Перший вимір			Другий вимір		
покрівля	підшва	R_p , Ом	D/d	R_{zp} , Ом	R_p , Ом	D/d	R_{zp} , Ом
850	858,2	6,2	2,5	12,8	6,1	7	10,9
858,2	863,7	4,7	3,4	10,5	4,7	6	12,2
863,7	866,8	4,6	3,0	10,5	4,4	5,3	11,8
866,8	874,8	4,9	3,4	10,0	4,6	7,1	10,7

Сарматські відклади в свердловинах 1-, 2-, 8-Гцл за даними промислово-геофізичних досліджень – обводнені. Тільки у свердловині 4-Гцл в інтервалі 94,2-116,8 за даними ГДС визначено газонасичені пласти, які, однак, на газонасиченість не випробовувались.

У результаті експериментальних досліджень встановлено, що геофізична характеристика складнопобудованих порід-колекторів неогенових відкладів визначається низкою чинників, без врахування яких виділення продуктивних пластів є трудомісткою, а в окремих випадках і нерозв'язною геологічною задачею. Електрометричні методи, які входять до типового комплексу ГДС, мають свої обмеження при реєстрації значень питомого електричного опору, зокрема недостатню роздільну здатність та неоднозначність оцінки характеру насичення при дослідженні складнопобудованих порід-колекторів. Форма кривих самочинних потенціалів (ПС) слабкодиференційована, погано ув'язується з кривими інших методів. Низька інформативність методу ПС пояснюється літологічною будовою геологічного розрізу та однаковою мінералізацією пластової води і промивальної рідини. Така форма зареєстрованої інформації не дозволяє використати її для кількісної інтерпретації.

Інтегральна радіоактивність на кривій гамма-каротажу змінюється в межах від 8 мкр/год до 9 мкр/год, що відповідає подвійному різницевому параметру $\delta i_r=0,20$, характерному для мономінеральних пісковиків.

Крива нейтронного гамма-каротажу (НГК) також слабкодиференційована за рахунок впливу на канал НГК фону інтенсивності природної радіоактивності.

Інформативність кривих мікроградієнтів та мікропотенціалів зондів, а також мікробокового каротажу низька внаслідок впливу значної товщини глинистої кірки. За даними БКЗ, БК, ІК вказані пласти як продуктивні породи-колектори не виділяються. Для такого типу порід нами проведено ізорезистивну методику обробки даних електрометрії з врахуванням встановлених чинників, які впливають на геофізичні параметри. Обробка даних показана на прикладі свердловини 1-Гуцулівська (табл. 2). Розрахунки та побудова фактичної кривої БКЗ проводились за методикою повторних вимірів. За результатами першого виміру встановлено, що крива зондування є тришаровою, що вказує на підвищувальне проникнення.

Геоелектричні параметри при цьому становили:

- опір пласта ρ_p змінювався в межах 5,3-6,1 Ом·м;
- відношення діаметра зони проникнення (ЗП) до діаметра свердловини D/d складає 2,5-3,4;
- опір ЗП (ρ_{zp}) змінюється в межах 10,0-12,8 Ом·м;
- подвійний різничний параметр δi_r змінюється в межах 0,20-0,27.

Другий вимір, який здійснювався через 25 діб, показав, що геоелектричні дані в інтервалах досліджень змінилися (табл. 3).

Однак електричний опір незмінної частини пласта ρ_p не змінився, в той час ρ_{zp} змінилося разом із зміною відношення D/d, що свідчить про зростання радіуса зони проникнення в процесі її формування.

Виділений пласт у інтервалі 850-858,2 м характеризується підвищеним значенням електричного опору. За даними гамма-спектрометрії та гамма-каротажу цей пласт характеризується незначною глинистістю. У нижніх пластах кількість глинистого матеріалу зростає, електричний опір пласта зменшується і стає врівень опору вміщуючих порід. У матриці породи присутні мінерали, до складу яких входить калій та алюміній (алюмосилікати натрію, калію, польові шпати, глауконіт).

Результати експериментальних досліджень дозволили встановити, що наявність вище вказаних мінералів є основним чинником низькоомності продуктивних порід. Це підтверджено роботами таких вчених Н.І. Hill, J.D. Milburn, Н.В. Patnode (1956 р.), де обґрунтовано залежність електричних параметрів порід від ємності катіонного обміну та вмісту мінералів класу алюмосилікатів. Зростання останнього чинника призводить до зниження питомого електричного опору. На рисунках 3, 4 показано геоелектричні розрізи у свердловині 1-Гуцулівська, де видно співвідношення електричних опорів вміщуючих порід і продуктивного колектора. Виділені інтервали (850,4-858,4) м та (858,4-875,6) м є газонасиченими, а коефіцієнт їх складає відповідно $\kappa_2=64$, $\kappa_2=52$.

Апробація встановлених критеріїв, які впливають на покази електричних методів, в процесі обробки та інтерпретації результатів свердловинних геофізичних досліджень складнопобудованих порід-колекторів дозволила встановити, що продуктивні низькоомні породи-колектори, які представлені поліміктовими

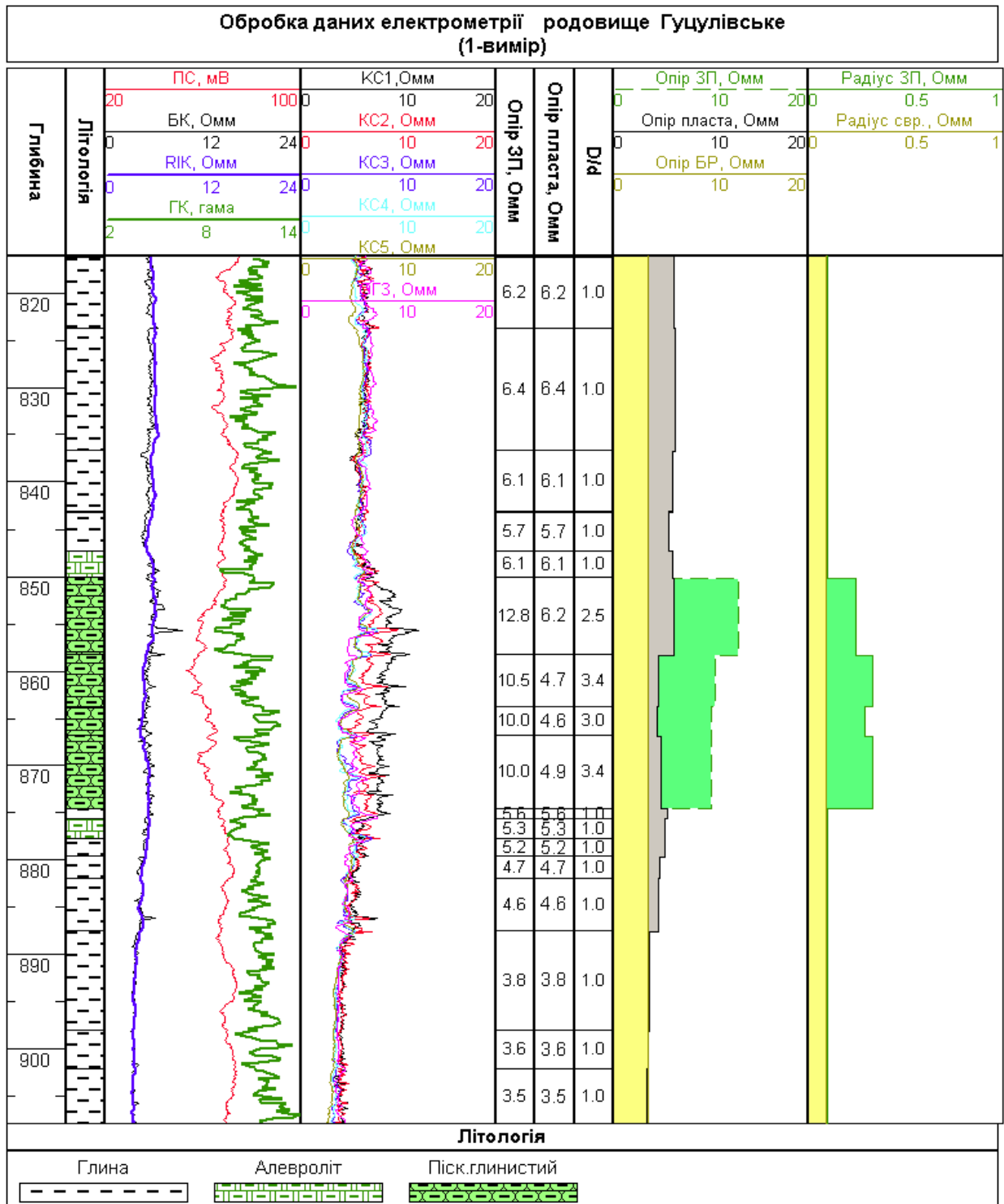


Рисунок 3 – Комплексна геофізична характеристика міоценових відкладів Гуцулівського газового родовища (перший вимір)

пісковиками, характеризуються властивим тільки для них розподілом радіоактивних ізотопів урану, торію та калію-40, а також їх співвідношенням та вмістом глинистого матеріалу.

Для більш обґрунтованого висновку про причини низькоомності продуктивних газонесних порід-колекторів необхідно провести комплексні петрофізичні дослідження та виконати серію свердловинних вимірювань впливу промивальної рідини на питомий опір.

Література

1 Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтенасыщенности пород / В.Н. Дахнов. – М.: Недра, 1985. – 310 с.
 2 Дьяконов Д.И. Общий курс геофизических исследований скважин: учебник для вузов; изд-во 2-е перероб. / Д.И. Дьяконов, Е.И. Леонтьев, Г.С. Кузнецов. – М.: Недра, 1984. – 432 с.

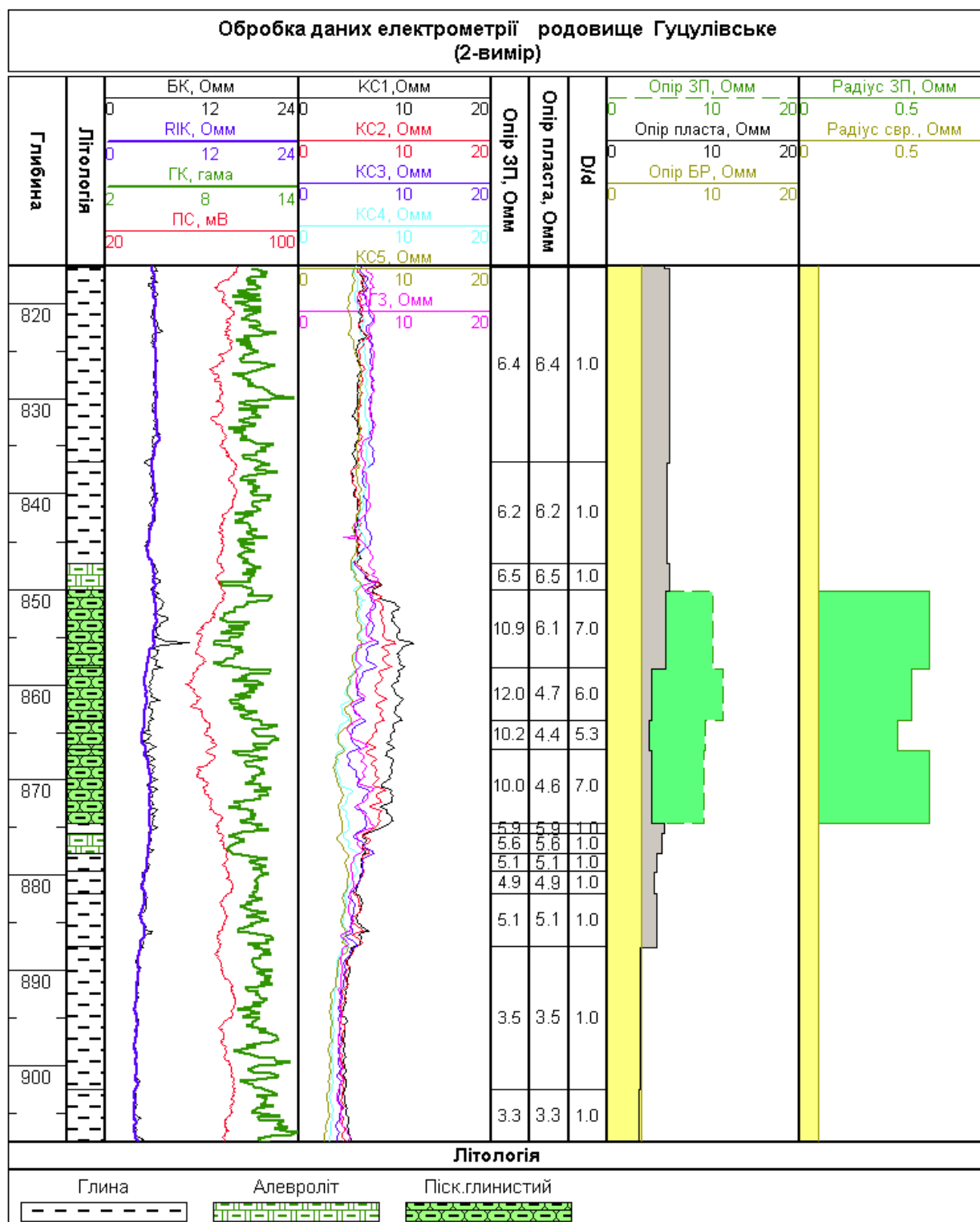


Рисунок 4 – Комплексна геофізична характеристика міоценових відкладів Гуцулівського газового родовища (другий вимір)

3 Латышова М.Г. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин / М.Г.Латышова, Б.Ю.Вендельштейн, В.П.Тузов. – М.: Недра, 1990. – 312 с.

4 Андрейчук М.М. Геолого-економічна оцінка Гуцулівського газового родовища в Івано-Франківській області (станом на 01.01.2010 року): звіт (3 книги, 1 папка) / Андрейчук М.М.

та ін. – Львів: ДП "Західукргеологія", 2010. – 214 с., 62 табл., 28 рис., 58 посилань.

Стаття надійшла до редакційної колегії 30.08.11

Рекомендована до друку професором Федоришиним Д.Д.