

# Наука — виробництву

УДК 550.832

## ЛІТОЛОГІЧНЕ ЕКСПРЕС-РОЗЧЛЕНУВАННЯ КАРБОНАТНО-ХЕМОГЕННОГО РОЗРІЗУ НАФТОГАЗОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

В.А. Мураста, О.М. Карпенко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
01601, м. Київ, вул.Володимирська, 64, e-mail: alexbrig@inbox.ru

Підвищення інформативності промислово-геофізичного комплексу шляхом залучення передових методів і технологій в геофізичних підприємствах на даний час проблематично, тому доцільно вдосконалювати або створювати нові, більш ефективні способи обробки і інтерпретації. Запропонований експресний спосіб літологічного розчленування розрізу свердловини суттєво відрізняється від традиційного, в якому виділяються за літологічними ознаками пласти за обмеженою кількістю ознак. Автори пропонують використовувати один із способів розпізнавання образів, який базується на використанні евклідової відстані у багатомірному просторі нормованих значень геофізичних параметрів гірських порід. Із залученням запропонованого авторами способу з'являється можливість достатньо об'єктивно, без втручання суб'єктивного фактора – геофізика-інтерпретатора – оцінити літологічну приналежність гірських порід у складному, з точки зору інтерпретації даних ГДС, карбонатно-хемогенному комплексі порід. Наведений у статті матеріал обробки геофізичних даних ілюструє інтерпретаційні можливості нового підходу щодо оцінки літологічної приналежності пластів гірських порід у межах міжсолевих відкладів за даними типового комплексу ГДС.

Ключові слова: геофізика, свердловина, товща, літологія, розчленування

Повышение информативности промышленно-геофизического комплекса путем привлечения передовых методов и технологий на геофизических предприятиях в настоящее время проблематично, поэтому целесообразно совершенствовать или создавать новые, более эффективные способы обработки и интерпретации. Предложенный экспрессный способ литологического расчленения разреза скважины существенно отличается от традиционного, в котором выделяются за литологическими признаками пласты по ограниченному числу признаков. Авторы предлагают использовать один из способов распознавания образов, основанный на использовании евклидоваго расстояния в многомерном пространстве нормированных значений геофизических параметров горных пород. С привлечением предложенного авторами способа появляется возможность достаточно объективно, без вмешательства субъективного фактора – геофизика-интерпретатора – оценить литологическую принадлежность горных пород в сложном, с точки зрения интерпретации данных ГИС, карбонатно-хемогенном комплексе пород. Предложенный в статье материал обработки геофизических данных иллюстрирует интерпретационные возможности нового подхода к оценке литологической принадлежности пластов горных пород в пределах межсолевых отложений по данным типового комплекса ГИС.

Ключевые слова: геофизика, скважина, толща, литология, расчленение.

The informative increase of well logging complex by involving the advanced methods and technologies at geophysical enterprises is currently very problematic. Therefore it is advisable to improve or create more efficient ways of data processing and interpretation. The proposed express method of lithological well section differentiation significantly differs from the traditional one according to which strata are segregated to the limited number of features.

The authors suggest applying one of the methods of image identification which is based on using Euclidian distance in multidimensional space of geophysical rock parameters standard values. Involving suggested by the authors method there appears the possibility of impartial assessment of rock lithologic belonging in a complicated carbonate-homogeneous rock complex, in the terms of well logging data interpretation without interference of such a subjective factor as a geophysicist-interpreter.

The material of well logging data interpretation, presented in the article, illustrates the interpretational abilities of the new approach which is concerned with the assessment of rock strata lithologic belonging within the intersalt deposits due to the well logging data standard complex.

Keywords: geophysics, well, stratum, lithology, differentiation.

**Вступ.** Літологічне розчленування розрізу є важливим кроком інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин (ГДС) для розв'язання задач промислової геофізики. Визначення приналежності пластів або товщ гірських порід до певних літологічних типів є важливим та необхідним етапом геологічної інтерпретації, за результатами якого виконується уточнення значень відповідних петрофізичних коефіцієнтів (густина скелету породи, інтервальний час пробігу пружної хвилі по скелету породи, поправочний коефіцієнт за водневий вміст породи та ін.) для визначення фільтраційно-ємнісних параметрів гірських порід та формування інтерпретаційних моделей.

В більшості випадків у геологічних організаціях на обробку та інтерпретацію геолого-геофізичної документації виділяють лімітований час, за котрий потрібно виконати певний спектр робіт. Тому й виникає питання стосовно застосування швидкого та якісного методу обробки та інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин. Як правило, використовують стандартні підходи щодо виділення порід певних літотипів (за набором статистично обґрунтованих вирішальних правил) або заздалегідь встановлюють тип розрізу свердловини (теригенний, карбонатно-хемогенний, рідше – змішаний). Тут результат якісної інтерпретації цілком (або значною мірою) залежить від досвіду, інтуїції та кваліфікації геофізика-інтерпретатора.

Діагностика розрізів нафтових і газових свердловин з метою оцінки літологічної приналежності окремих пластів і товщ виконується, зазвичай, при комплексній інтерпретації промислово-геофізичних даних. Способи вирішення даного питання різноманітні та залежать від геологічних умов, наявності конкретної промислово-геофізичної інформації, результатів промислових досліджень, апріорних даних щодо наявності у розрізі певних літологічних типів порід, відомостей про типові промислово-геофізичні характеристики гірських порід розрізу, їх морфологічне відображення на каротажних діаграмах. Крім об'єктивних причин, котрі впливають на якість отриманих результатів з розчленування розрізу, як вже було наголошено, певну роль відіграє рівень кваліфікації інтерпретаторів та традиції інтерпретаційної служби.

Способи (методи) якісної геологічної інтерпретації даних ГДС залежно від наявності апріорної інформації можна поділити на декілька груп:

1. За відсутності геологічних та промислових даних (аналізів кернового матеріалу, результатів випробувань пластів) по території, що вивчається, використовують теоретичні петрофізичні моделі та залежності між окремими геофізичними параметрами і геологічними характеристиками гірських порід.

2. У випадку отримання нових промислово-геологічних даних вказані моделі корегуються. Створюються нові залежності типу "керна-керна" або "керна-геофізика", інколи суто статистичного характеру, які не мають строгого теоре-

тичного обґрунтування. Такі залежності широко застосовуються в практиці геофізичних досліджень як на етапі оперативної інтерпретації, так і при визначенні підрасунових параметрів покладів вуглеводнів за даними ГДС.

3. До спеціальних або нетрадиційних способів відносяться способи статистичної обробки геофізичної інформації - факторного, спектрального аналізу, розпізнавання образів т.ін.

На сьогоднішній день при інтерпретації результатів ГДС недостатньо використовуються способи розпізнавання образів, навіть за наявності значної додаткової промислово-геологічної інформації. Існують випадки, коли лише додаткові дані за результатами "нетрадиційної статистичної обробки геофізичних даних дозволяють зробити остаточні правильні висновки про геологічну будову або колекторські характеристики гірських порід в розрізі нафтової або газової свердловини.

**Постановка завдання.** Завдання дослідження полягає у знаходженні підходів до розчленування розрізу свердловини на якісному рівні, що може застосовуватись в автоматизованому режимі.

З метою вирішення поставленого завдання було виконано дослідження міжсолових карбонатно-хемогенних нижньопермських відкладів середньої частини ДДЗ за даними комплексу геофізичних досліджень свердловин.

В основі розчленування розрізу на літологічні типи лежить диференціація петрофізичних характеристик кожного літотипу, що відмічаються на каротажних кривих. Для встановлення чіткої прив'язки зареєстрованих позначок на каротажних діаграмах стосовно певного літологічного типу порід використовувались дані петрографічного опису керна.

Для знаходження статистичних розподілів кожного геофізичного параметра відносно певного літологічного типу порід була створена навчальна база даних, у котру ввійшли результати лабораторних досліджень відібраного керну із інтервалів розрізів свердловин Копилівського газоконденсатного родовища загальною довжиною 245 м, що були зіставленні із попластово-апроксимованими значеннями геофізичних параметрів. Створена представницька колекція дала змогу визначити закон статистичного розподілу ймовірностей значень кожного геофізичного параметра відносно певного літологічного типу [5, 6]. Для формування вибіркової бази даних були обрані такі промислово-геофізичні параметри:  $\Delta T$  – інтервальний час поздовжньої хвилі,  $\ln(\rho_{ef}^{BK})$  – прологарифмовані значення питомого електричного опору, зареєстровані методом бокового каротажу  $\rho_{ef}^{BMK}$ ,  $\Delta I\gamma$ ,  $\Delta In\gamma$ ,  $\Delta Inn$  – подвійний різницевий параметр відповідно природної радіоактивності порід за даними гамма-каротажу ГК, за даними нейтронного гамма-каротажу НГК і нейтронного каротажу ННК. На рис. 1-3 наведено приклади фактичного розподілу геофізичних параметрів окремих для літологічних типів гірських порід, апроксимовані розрахованими

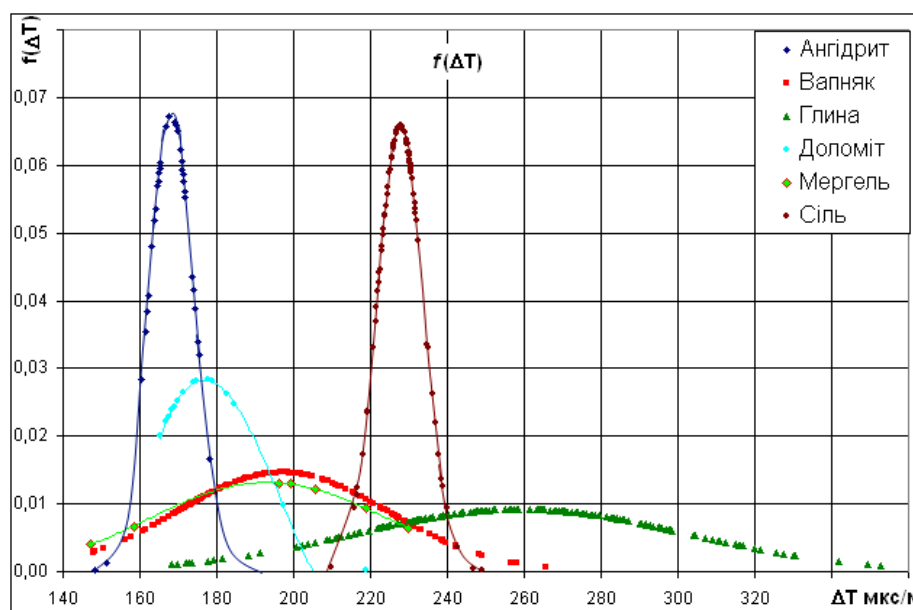


Рисунок 1 – Диференційні криві, що описують фактичні розподіли ймовірності значень параметра  $\Delta T$  (інтервальний час пробігу пружної хвилі) для певних літотипів міжсольової карбонатно-хемогенної товщі

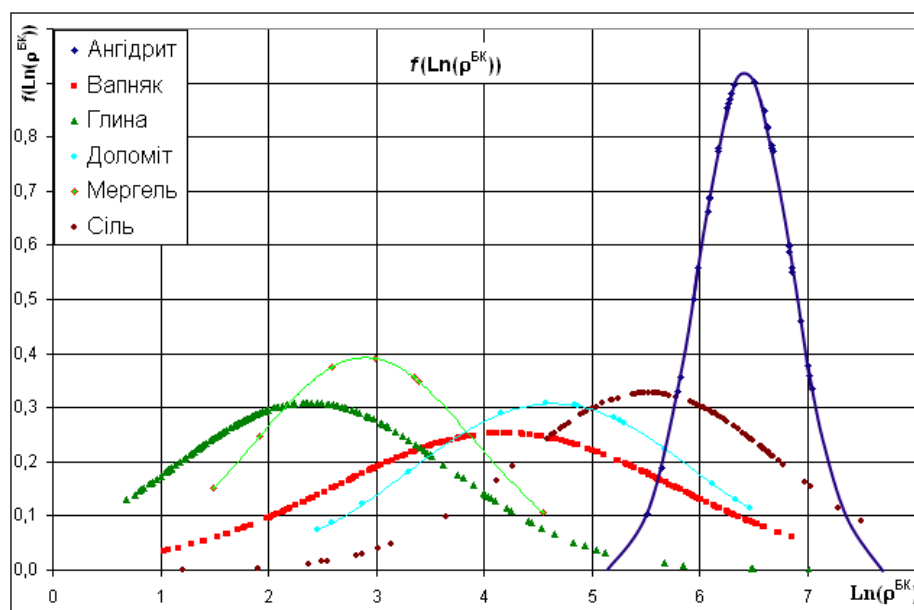


Рисунок 2 – Диференційні криві, що описують фактичні розподіли ймовірності прологарифмованих значень параметра  $\text{Ln}(\rho^{\text{BK}})$  – ефективного питомого опору для певних літотипів міжсольової карбонатно-хемогенної товщі

диференційними кривими за встановленим теоретичним законом.

Розподіл кожного з наведених вище геофізичних параметрів відносно відомого літологічного типу, визначеного за допомогою візуального опису ядерного матеріалу, підпорядковується нормальному теоретичному закону, розраховується за формулою [7]:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x_i - x_{\text{сер}})^2}{2 \cdot \sigma_x}}}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}}, \quad (1)$$

де:  $x_i$  –  $i$ -те значення геофізичного параметра,  $x_{\text{сер}}$  – середнє значення геофізичного параметра для певного літологічного типу,  $\sigma_x$  – середнє квадратичне відхилення параметра в межах окремого літологічного типу гірської породи.

З наведених розподілів ймовірностей значень геофізичних параметрів видно, що літологічні типи карбонатно-хемогенного розрізу не завжди помітно диференціюються за окремими геофізичними параметрами. Тобто середні та середньоквадратичні відхилення розподілів параметрів майже не відрізняються для різних літотипів. Як відомо, перехід від одномірного

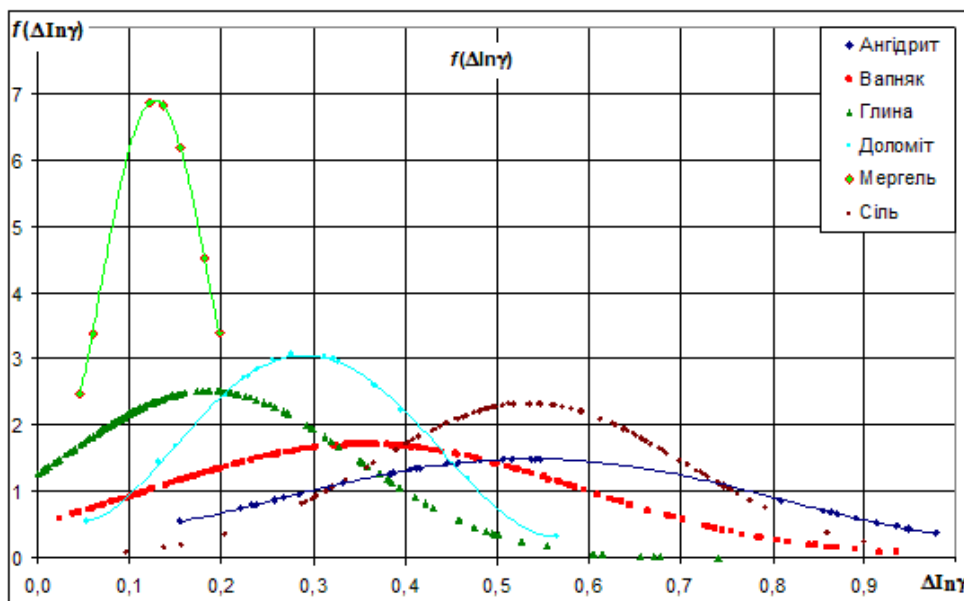


Рисунок 3 – Диференційні криві, що описують фактичні розподіли ймовірності значень подвійного різницевого параметра  $\Delta In\gamma$  для певних літологічних міжсоляної карбонатно-хемогенної товщі

Таблиця 1 – Вагові коефіцієнти  $A_j$  геофізичних параметрів

Порода	$\Delta T$ , мкс/м	$Ln(\rho_{эф}^{БК})$	$\rho_{эф}^{МК}$ , Ом·м	$\Delta\gamma$	$\Delta In\gamma$	$\Delta Inn_{мз}^*$	$\Delta Inn_{вз}^{**}$
Ангідрит	0,26	0,29	0,05	0,15	0,07	0,11	0,07
Вапняк	0,22	0,10	0,20	0,12	0,12	0,12	0,12
Глина	0,25	0,05	0,02	0,40	0,08	0,10	0,10
Доломіт	0,22	0,05	0,27	0,12	0,10	0,12	0,12
Мергель	0,21	0,01	0,20	0,30	0,12	0,08	0,08
Кам'яна сіль	0,31	0,23	0,19	0,12	0,05	0,05	0,05

Примітка:  $\Delta Inn_{мз}^*$  - значення подвійного різницевого параметра показів малого зонда нейтрон-нейтронного каротажу;  
 $\Delta Inn_{вз}^{**}$  - значення подвійного різницевого параметра показів великого зонда нейтрон-нейтронного каротажу

простору вихідних даних до багатомірного - обраних геофізичних параметрів дає змогу суттєво підвищити якість розпізнавання образів. Тому нами здійснено спробу використати увесь масив даних задіяних геофізичних характеристик з метою покращення ефективності розчленування на літологічні типи порід розрізів свердловин.

Для поділу багатомірного масиву даних (параметрів) на певні літологічні типи використовувався підхід «найменшої нормованої евклидової відстані»  $R(x)$  [6, 8]:

$$R(x) = \sqrt{\frac{\sum (1 - A_j)(x_{ij} - x_{сеп.j})^2}{\sigma_{x_j}^2}}, \quad (2)$$

де:  $x_{ij}$  –  $i$ -те значення  $j$ -го геофізичного параметра,  $x_{сеп}$  – середнє значення  $j$ -го геофізичного параметра для певного літологічного типу,  $\sigma_{x_j}$  – середнє квадратичне відхилення  $j$ -го гео-

фізичного параметра,  $A_j$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го геофізичного параметра.

Ваговий коефіцієнт  $A$  визначається дослідним шляхом і його значення контролювалось ступенем диференціації геофізичного параметра відносно інших обраних параметрів в межах певного літологічного типу породи. Для геологічного розрізу, представленого міжсоляним карбонатно-хемогенним типом, запропоновано значення вагових коефіцієнтів, наведених у табл. 1.

Середні значення та середні квадратичні відхилення розподілів ймовірностей геофізичних параметрів визначались для сформованих класів порід на основі зіставлення даних у вибірках «кern-геофізика» навчальної бази даних, макроопису зразків порід та ув'язування kernових і каротажних даних по глибинах розрізів свердловин. Визначені статистичні параметри, що характеризують літологічний тип породи, наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Статистичні характеристики геофізичних параметрів для окремих літологічних типів порід

Порода		$\Delta T$ , мкс/м	$\ln(\rho_{\text{эф}}^{\text{БК}})$	$\Delta I\gamma$	$\Delta \ln\gamma$	$\Delta \ln n_{\text{мз}}$	$\Delta \ln n_{\text{вз}}$
Ангідрит	$M_x$	168,1	6,4	0,1	0,8	0,83	0,86
	$\sigma_x$	5,9	0,4	0,034	0,3	0,3	0,3
Вапняк	$M_x$	197,2	4,2	0,2	0,6	0,63	0,65
	$\sigma_x$	27,3	1,6	0,2	0,2	0,3	0,2
Глина	$M_x$	259,1	2,4	0,75	0,2	0,1	0,1
	$\sigma_x$	43,4	0,8	0,25	0,2	0,07	0,1
Доломіт	$M_x$	176,9	4,6	0,2	0,8	0,82	0,82
	$\sigma_x$	14	1,3	0,2	0,1	0,2	0,3
Мергель	$M_x$	193,6	2,9	0,4	0,15	0,2	0,2
	$\sigma_x$	30,4	1	0,2	0,1	0,09	0,1
Кам'яна сіль	$M_x$	227,9	5,5	0,1	0,5	0,4	0,4
	$\sigma_x$	6,1	1,2	0,1	0,2	0,2	0,2

Примітка:  $M_x$  – середнє значення параметра,  $\sigma_x$  – середнє квадратичне відхилення.

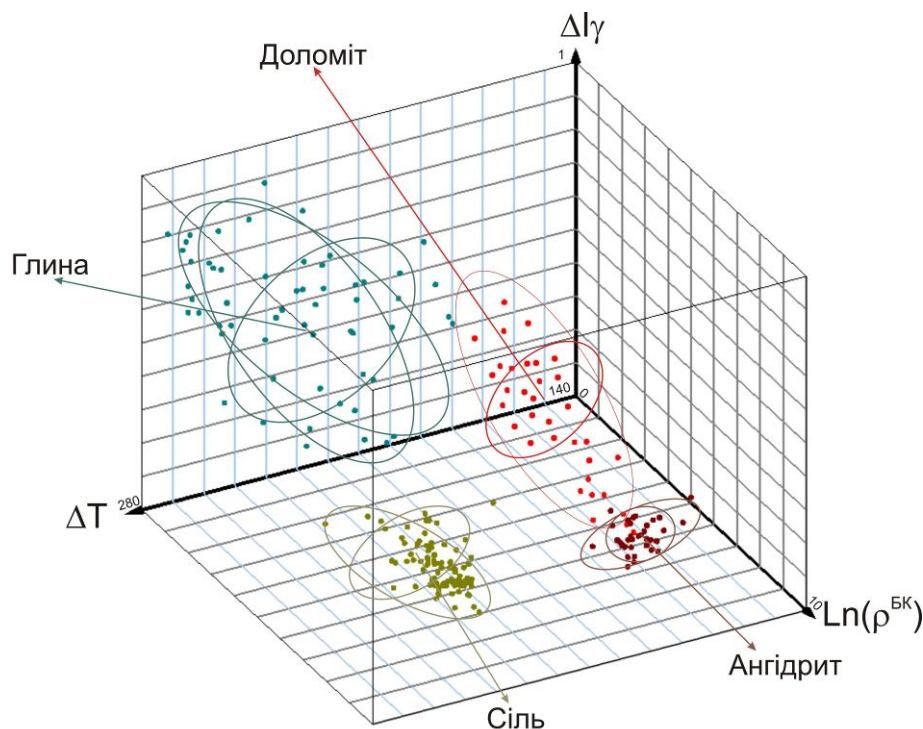


Рисунок 4 – Приклад виокремлення літологічних типів порід за даними трьох геофізичних параметрів

Були розраховані нормовані евклідові відстані від середніх значень геофізичних параметрів до кожної точки (спостереження) масиву. Точкам, що знаходились на мінімальній відстані в багатомірному просторі від середніх значень геофізичних параметрів, що характеризують певний літологічний тип, присвоювався індекс відповідного літологічного типу.

В просторовому уявленні багатомірного розподілу даних виділяються «хмарки» точок, що притаманні конкретній літології. На рис. 4 наведено приклад, як виділяються літологічні

типи порід у тримірному варіанті за трьома геофізичними параметрами.

З прикладу видно, що за трьома геофізичними параметрами указані літологічні типи достатньо чітко виділяються, але на графік не виносено повного масиву даних інших літологічних типів, тому що вони не так чітко виділяються за допомогою трьох геофізичних параметрів. Слід зауважити, що кожному виділеному пласту присвоюється індекс літологічного типу за допомогою n-мірного масиву даних геофізичних параметрів із задовільною вірогідністю [6].

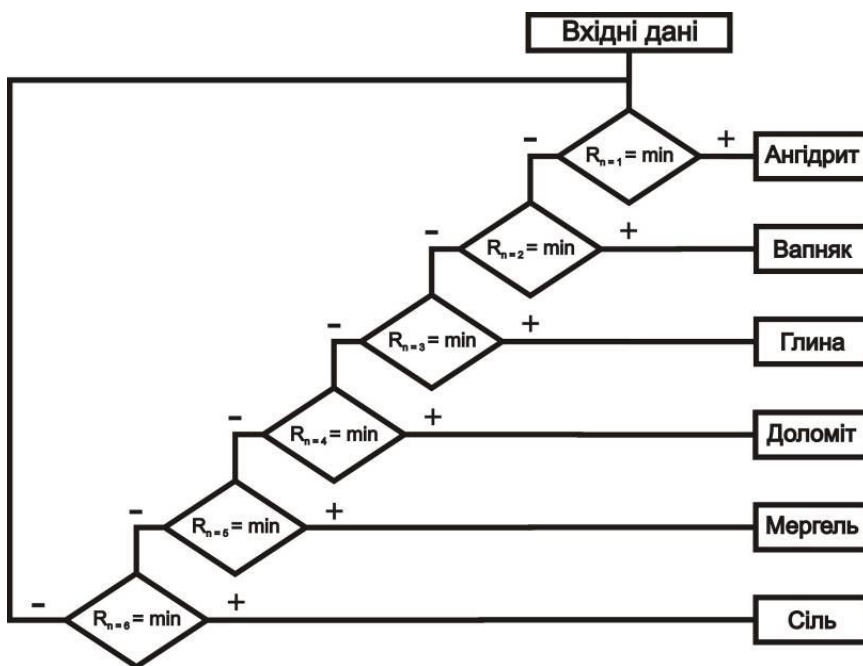


Рисунок 5 – Алгоритм визначення літологічного типу гірської породи за даними геофізичних досліджень свердловин

Алгоритм присвоєння літологічного індексу для точок, що мають найменшу нормовану евклідову відстань, від середніх значень геофізичних параметрів певного літологічного типу зображено на рис 5. На даному рисунку як вхідні дані застосовуються відомості про середні значення, значення середнього квадратичного відхилення кожного геофізичного параметра в межах певного літологічного типу. В розширеному вигляді нормована евклідова відстань розраховується, як:

$$R = \left\{ \frac{(1 - A_n) \cdot (\Delta T_i - \Delta T_{сепn})^2}{\sigma^2 \Delta T_n} + \frac{(1 - A_n) \cdot \left( \text{Ln}(\rho_{ef}^{BK})_i - \text{Ln}(\rho_{ef}^{BK})_{сепn} \right)^2}{\sigma^2 \text{Ln}(\rho_{ef}^{BK})_n} + \frac{(1 - A_n) \cdot (\Delta \gamma_i - \Delta \gamma_{сепn})^2}{\sigma^2 \Delta \gamma_n} + \dots \right\}^{1/2}, \quad (3)$$

де n – індекс літологічного типу породи (табл. 3).

Таблиця 3 – Таблиця літологічних індексів

Індекс n	Літотип породи
1	Ангідрит
2	Вапняк
3	Глина
4	Доломіт
5	Мергель
6	Сіль

Після тестових випробувань розробленого алгоритму автоматичного розчленування було встановлено, що при застосування типового комплексу методів геофізичних досліджень для задачі літологічного розчленування на літотипи міжсольових відкладів карбону оптимально використовувати наступні вихідні дані [1, 4, 10]:  $\text{Ln}(\rho_{ef}^{BK})$  – значення натурального логарифму ефективного питомого опору, визначені за методом БК;  $\rho_{ef}^{BK}$  – значення питомого ефективного опору, зареєстрованого методом бокового мікрокаротажу БМК;  $\sigma_{ef}$  – значення питомої ефективної електропровідності, вимірної методом індукційного каротажу ІК;  $\Delta T$  – значення інтервального часу пробігу пружної хвилі;  $\Delta \gamma$  – значення подвійного різницевого параметра інтенсивності експозиційної дози гамма-випромінювання гірської породи;  $\Delta \gamma_n$  – значення подвійного різницевого параметра інтенсивності вторинного гамма-випромінювання при НГК;  $\Delta I_n$  – значення подвійного різницевого параметра інтенсивності нейтронного випромінювання, зареєстрованого методом ННК.

Приклад отриманого результату - літологічного розчленування розрізу свердловини в межах міжсольового карбонатно-хемогенного комплексу наведено на рис. 6.

Даний підхід автоматизованого розчленування розрізу може бути застосований на площах із аналогічним за генезисом розрізом такими, наприклад, є: Мар'янівська площа, Копилівське, Чутівське, Східно-Полтавське, Новоукраїнське, Староверівське, Мдведівське, Меліхівське, Машівське родовища вуглеводнів та ін.



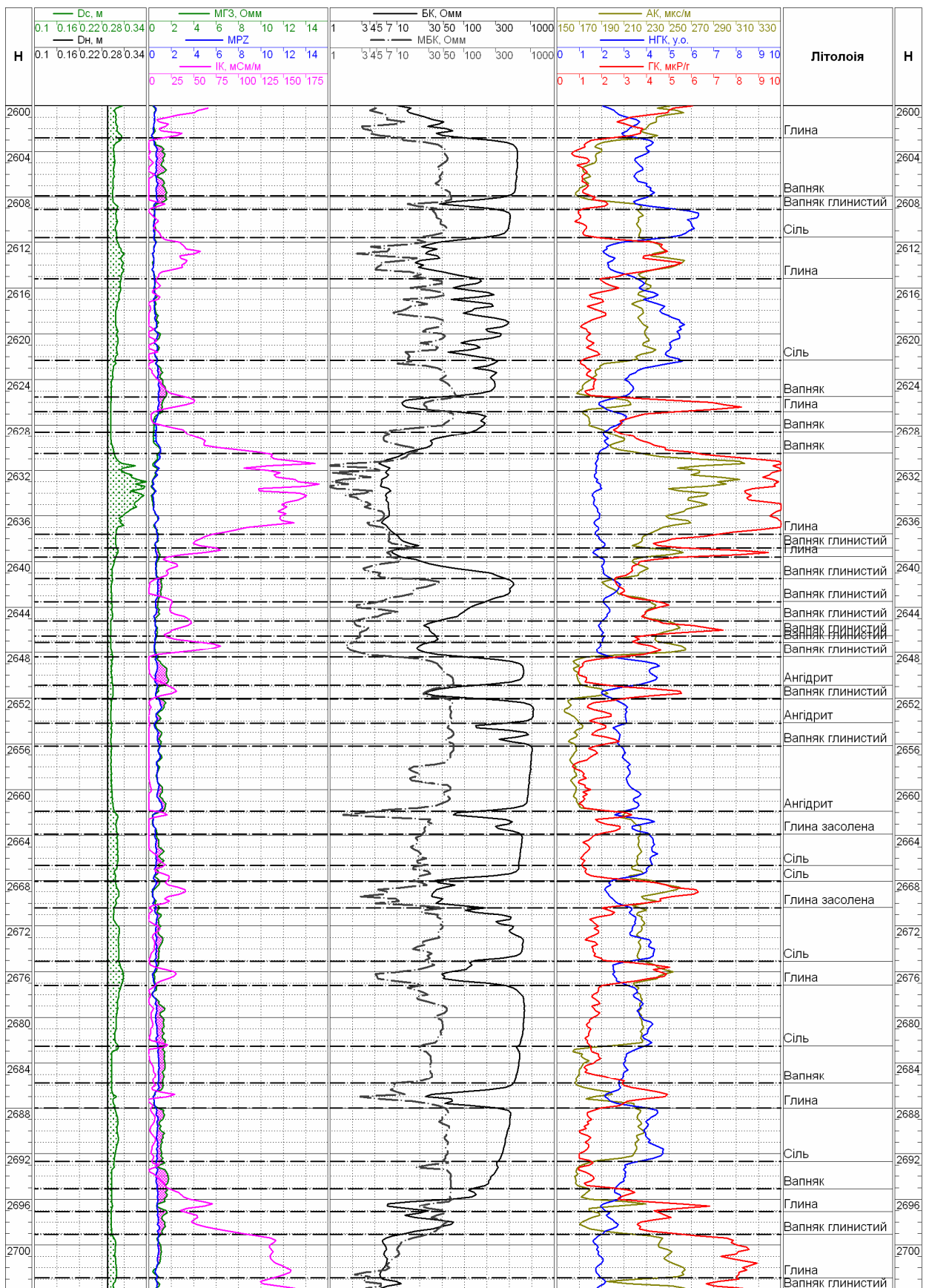


Рисунок 6 – Приклад результату автоматизованого літологічного розчленування розрізу на окремі літологічні типи за даними типового комплексу ГДС у міжсольовому карбонатно-хемогенному комплексі порід

Ефективність розчленування розрізів свердловин на літологічні типи з використанням наведеного способу достатньо висока. Основна перевага даного підходу – об'єктивність використання всього масиву геофізичної інформації за відсутності помилок суб'єктивного характеру. До отриманих результатів розчленування можна застосовувати різні прийоми та методику інтерпретації даних ГДС, залежно від встановленого літологічного типу порід.

### Література

1 Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин / В.Н. Дахнов. – М.: Недра, 1982. – 448 с.

2 Добрынин В.М. Петрофизика / В.М. Добрынин, Б.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. – М.: Недра, 1991. – 368 с.

3 Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии / Дж.С. Дэвис. – М.: Недра, 1990. – 185 с.

4 Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин / С.С. Итенберг. – М.: Недра, 1972. – 312 с.

5 Каждан А.Б. Математические методы в геологии / А.Б. Каждан, О.И. Гуськов. – М.: Недра, 1990. – 251 с.

6 Лозинський О.Є. Математичні методи в нафтовій геології / О.Є. Лозинський, В.О. Лозинський, Б.Й. Маєвський, В.В. Гладун, П.М. Чепіль. – Івано-Франківськ, 2008. – 276 с.

7 Жуков М.Н. Статистичний аналіз геологічних даних / М.Н. Жуков. – К.: ІСДО, 1995. – 552 с.

8 Родионов Д.А. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А. Родионов, Р.И. Коган, В.А. Голубева. – М.: Недра, 1987. – 335 с.

9 Mascle J., Lohmann G.P., Moullade M. (Eds.), 1998. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 159 lithologic interpretation of downhole logging data from The Côte D'ivoire-Ghana transform margin: a statistical approach.

10 Doveton J.H., 1994. Geologic log analysis using computer methods // AAPG Computer applications in geology, №2. – P. 42-48.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*09.03.12*

*Рекомендована до друку професором*

*Федоришиним Д.Д.*