

Дослідження та методи аналізу

УДК 550.832

ДО ПРОБЛЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТОНКОШАРУВАТИХ ПРОДУКТИВНИХ ПЛАСТІВ НА ОСНОВІ ЛІНІЙНОГО ДИСКРИМІНАНТНОГО АНАЛІЗУ (НА ПРИКЛАДІ ОРХОВИЦЬКОГО ГАЗОНАФТОВОГО РОДОВИЩА)

¹Д.Д. Федоришин, ²М.В. Саварин

¹ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 42056, e-mail: geophys@nuing.edu.ua

²ВАТ «КУГР», 76014, Івано-Франківськ, вул. Блавацького, 22, (0342) 775561, e-mail: mishasav@rambler.ru

Рассмотрены проблемы геофизических исследований при изучении тонкослоистых разрезов. Предложена методика применения линейного дискриминантного анализа для выделения продуктивных пластов в тонкослоистом разрезе. Исследование, что проведено на примере Орховицкого газонефтяного месторождения позволяют оценить одіективність виділення порід-колекторів с использованием данного математико-статистического подхода.

The problems of geophysical researcher for studying thin-layers cuts were examined. It was proposed the method of applying linear discriminant analysis for selection of rock reservoir in a thin-layer cut. The researchers that were made on example of Orchovichy gas-oil field allows to estimate effectiveness for selection of rock reservoir using current mathematical-statistical approach.

З метою вирішення задач збільшення енергетичних ресурсів, проводиться розвідка та розробка глибокозалягаючих покладів нафти та газу, у геологічних розрізах складної будови. Особливості геологічних умов залягання і складна будова геологічних об'єктів досліджень зменшують ефективність використання типового комплексу геофізичних методів, що обумовлено їхньою низькою роздільною здатністю та невідповідною геофізичною характеристикою породам досліджуваних відкладів. До таких складнобудованих об'єктів відносять тонкошаруваті відклади, прикладом яких є глинисто-піщані породи неогену Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину.

Одним із варіантів підвищення ефективності свердловинних геофізичних досліджень є вдосконалення способів обробки та інтерпретації даних ГДС у тонкошаруватих теригенних розрізах. В даній статті пропонується методика застосування дискримінантного аналізу як одного із математичних методів для виділення продуктивних прошарків, що локалізуються в тонкошаруватому розрізі. Проведенні дослідження, на прикладі Орховицького газонафтового родовища, що знаходиться у північно-

західній частині Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину, дають змогу оцінити ефективність виділення тонкошаруватих продуктивних пластів за допомогою дискримінантного аналізу [1].

Особливістю Орховицького газонафтового родовища, як і більшості інших газових родовищ, що знаходяться в Більче-Волицькій зоні Передкарпатського прогину є те, що продуктивні відклади неогенового віку є досить складними для вивчення, а саме: при високій загальній глинистості газоносних товщ практично по всій глибині розрізу спостерігається тонкошаруватість порід, що значно ускладнює їх вивчення методами промислової геофізики.

Ідея застосування дискримінантного аналізу з метою прогнозу ймовірностей характеру насичення в складнобудованих породах-колекторах полягає у створенні класифікаційних груп за даними випробування, в яку входять еталонні інтервали залягання порід із певним характером насичення. Створена еталонна база, за даним підходом, дасть змогу здійснювати порівняльний аналіз еталонів із досліджуваним інтервалом розрізу, у якому необхідно виділити пласти та дати прогнозний характер їх

насичення. Для реалізації цієї задачі необхідно виконати умову, щоб кожна класифікаційна група володіла низкою ознак, що притаманні одним об'єктам спостереження та відсутні в інших. Це є необхідною умовою достовірного класифікування цілої сукупності точок спостережень досліджуваних геологічних об'єктів для подальшого віднесення за їхніми ознаками у відповідні класи. При цьому для складання вирішальних правил класифікації залучаються так звані дискримінантні класифікатори у якості яких використовують результати спостережень геофізичних методів, що входять у комплекс робіт проведених у розрізах досліджуваних свердловин [2, 3].

З метою реалізації ідеї виявлення тонкошаруватих продуктивних пластів на основі лінійного дискримінантного аналізу створюється база даних, яка згідно з результатами випробування еталонних пластів у свердловинах Орховичі-3 та Орховичі-7 (табл. 1) вміщує три класифікаційні групи: «сухо», вода і газ. База даних вміщує також геофізичну характеристику обраних інтервалів випробування еталонних пластів у свердловинах і геофізичну характеристику пластів свердловини Орховичі-2, що обирається як дослідна з метою виділення колекторів із наступним прогнозом характеру їх насичення. При цьому акумулювання результатів геофізичних досліджень в базу даних проводиться із збільшенням кроку дискретизації з 0,2 м до 0,5 м. Такий підхід дасть можливість зменшити вплив випадкових флуктуацій геофізичних параметрів в точках спостереження на корисну інформацію.

Оскільки геофізичні спостереження виконувались в обраних свердловинах при різних свердловинних умовах, то слід привести результатів геофізичних досліджень до однакових умов. Для цього було застосовано методику використання відносних геофізичних параметрів, прив'язаних до глинистих опорних пластів в кожному досліджуваному розрізі свердловини, що дозволить нам створити генеральну сукупність даних із незначною стандартною похибкою середнього значення геофізичних ознак класифікаційних груп.

Перед використанням виділених опорних глинистих пластів слід провести оцінку однорідності обраних вибірок. При цьому перевірка нульової гіпотези про відсутність достовірної статистичної різниці між середніми значеннями вибірок проводиться на основі *t*-критерію Стьюдента. До складу статистичних вибірок входять два геофізичних параметри такі як: $\rho_k^{0,45}$ та γ , що знімаються із результатів досліджень вибірових інтервалів, які містять опорні пласти в усіх досліджуваних свердловинах.

Перш, ніж визначати вірогідність розходжень отриманих даних між собою, потрібно перевірити рівність дисперсій вибірок і підпорядкування розподілу ймовірностей випадкових величин у кожній групі нормальному закону. У випадку відповідності цьому закону – подальше порівняння проводити за параметричним критерієм Стьюдента.

Таблиця 1 – Результати випробувань еталонних пластів в інтервалах їх залягання – Орховицького газонафтового родовища

№ свердловини	Інтервал, м	Характер насичення	Дебіт, м ³ /добу
3-Орховицька	1310-1330	Вода	5,4
	1688-1702	"Сухо"	–
	1724-1742	"Сухо"	–
	1749-1752	Газ	7 тис.
	1814-1823	Газ	28 тис.
7-Орховицька	1832-1846	Газ	28 тис.
	1725-1757	Газ	*
	1765-1775	Газ	*
	1781-1788	Газ	*
	1791-1795	Газ	*
	1830-1836	Газ	*
	1844-1858	Газ	*

* – у вказаних інтервалах отримані промислові значення дебіту газу

Слід також зазначити, що умовою використання дискримінантного аналізу є відповідність розподілу ймовірностей вхідних величин нормальному теоретичному закону розподілу. Тобто обов'язковим етапом підготовки даних також є перевірка статистичних гіпотез про вид розподілу ймовірностей вхідних величин.

Рівність дисперсій вибірок перевірялась за критерієм Фішера (*F*-критерій), що дає змогу робити висновки про приналежність вибірок до однієї генеральної сукупності. А перевірка нульової гіпотези про приналежність закону розподілу даних до нормального закону проводилась за допомогою таких непараметричних критеріїв як: Шапіро-Уїлка (Shapiro-Wilk) та Колмогорова-Смирнова (Kolmogorov-Smirnov).

З метою перевірки статистичних критеріїв використовувались наступні табличні граничні значення, що згідно з умовами $N > 120$ і $\alpha = 0,02$ (де α – рівень значимості) для *t*-критерію: $t_{гран.} = 2,33$ та граничне значення критерію Фішера: $F_{гран.} = 2 \div 4$ [2,4].

Внаслідок перевірки гіпотези про нормальний закон розподілу випадкових величин – гіпотеза про нормальний закон розподілу величин приймається на рівні значимості $\alpha = 0,05$, а результати перевірки однорідності опорних пластів, за допомогою критерію Стьюдента та критерію Фішера наводяться в таблиці 2.

Отримані результати наочно відображають важливість процедури приведення геофізичних спостережень до однакових умов вимірювання. Згідно з отриманими статистичними критеріями та обраними граничними значеннями зроблено висновок, що гіпотеза про однорідність всіх опорних пластів досліджуваних свердловин приймається.

В ході подальшого формування бази даних для проведення дискримінантного аналізу в якості геофізичних параметрів (дискримінантних класифікаторів) з наявних даних взято:

Таблиця 2 – Результати перевірки однорідності опорних пластів, використовуючи критерій Стьюдента та Фішера

Свердловина	Тип даних	Значення t-критерію при порівнянні за геофізичним параметром:		Критерій Фішера за приведеним геофізичним параметром:	
		$\rho_k^{0,45}$	I_γ	$\rho_k^{0,45}$	I_γ
7 і 3 – Орховицька	абсолютні	38,605	67,409	2,156	2,698
	приведені	1,241	2,014		
7 і 2 – Орховицька	абсолютні	53,736	168,690	1,371	1,802
	приведені	1,109	1,350		

Таблиця 3 – Перелік отриманих коефіцієнтів лінійних класифікаційних функцій для груп: газ, вода, “сухо”

Група	Геофізичний параметр	Значення коефіцієнта	Група	Геофізичний параметр	Значення коефіцієнта	Група	Геофізичний параметр	Значення коефіцієнта
Газ	$\rho_k^{0,5}$	629,16	Вода	$\rho_k^{0,5}$	622,25	"Сухо"	$\rho_k^{0,5}$	623,65
	$\rho_k^{МК(ПЗ)}$	20,59		$\rho_k^{МК(ПЗ)}$	19,35		$\rho_k^{МК(ПЗ)}$	18,22
	$\rho_k^{МК(ГЗ)}$	3,14		$\rho_k^{МК(ГЗ)}$	4,09		$\rho_k^{МК(ГЗ)}$	6,25
	$\rho_k^{8,5}$	78,88		$\rho_k^{8,5}$	79,64		$\rho_k^{8,5}$	69,69
	$\rho_k^{4,25}$	13,74		$\rho_k^{4,25}$	17,51		$\rho_k^{4,25}$	23,28
	$\rho_k^{2,25}$	79,71		$\rho_k^{2,25}$	77,51		$\rho_k^{2,25}$	79,84
	$\rho_k^{1,05}$	-80,18		$\rho_k^{1,05}$	-80,17		$\rho_k^{1,05}$	-80,78
	$\rho_k^{0,45}$	27,93		$\rho_k^{0,45}$	40,64		$\rho_k^{0,45}$	24,37
	I_γ	306,36		I_γ	305,94		I_γ	301,63
	$\rho_{БК}$	80,36		$\rho_{БК}$	80,60		$\rho_{БК}$	78,85
a_0	-1554,21	a_0	-1568,38	a_0	-1521,54			

- $\rho_k^{0,45}$ – позірний електричний опір 0,45 м градієнт-зонда;
- $\rho_k^{1,05}$ – позірний електричний опір 1,05 м градієнт-зонда;
- $\rho_k^{2,25}$ – позірний електричний опір 2,25 м градієнт-зонда;
- $\rho_k^{4,25}$ – позірний електричний опір 4,25 м градієнт-зонда;
- $\rho_k^{8,5}$ – позірний електричний опір 8,5 м градієнт-зонда;
- $\rho_k^{0,5}$ – позірний електричний опір 0,5 м потенціал-зонда;
- $\rho_k^{МК(ГЗ)}$ – позірний електричний опір зонда МК (градієнт-зонд);
- $\rho_k^{МК(ПЗ)}$ – позірний електричний опір зонда МК (потенціал-зонд);
- $\rho_{БК}$ – позірний електричний опір 3-х електродного зонда БК;
- I_γ – інтенсивність природного гамма-випромінювання при ГК.

Необхідною умовою отримання достовірних результатів проведення лінійного дискримінантного аналізу в досліджуваному інтервалі свердловини Орховичі-2 є перевірка роботи еталонів із підбором оптимального набору геофізичних методів, що дозволять нам судити про правильність функціонування обраних еталонних груп за кількістю точок спостережень, які не попадають у визначені класифікаційні групи, а також про оптимальність вибору певної

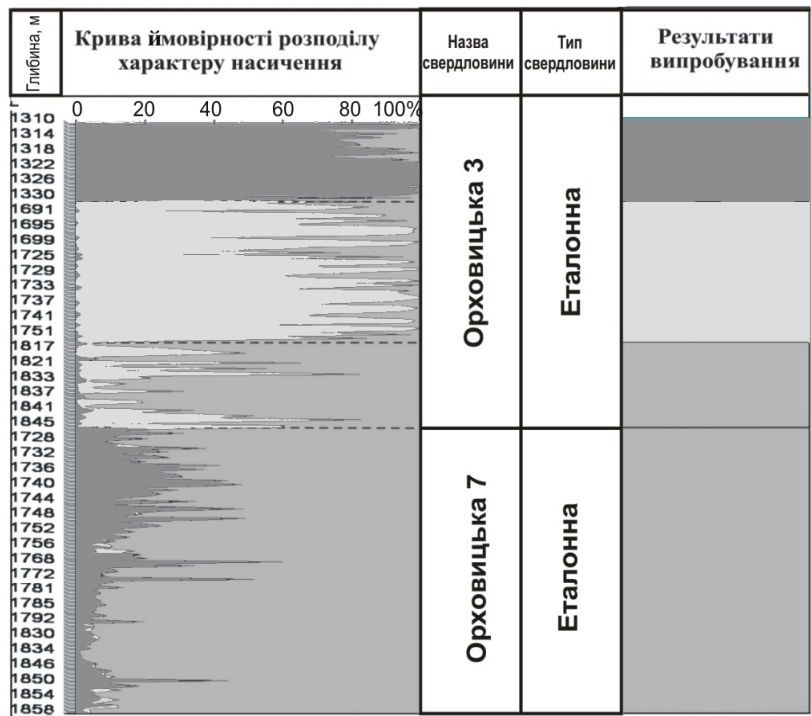
кількості геофізичних методів, як класифікаторів, для достатнього розділення точок спостережень на класи.

Для перевірки роботи еталонів виконано дослідження за двома напрямками з використанням дискримінантного аналізу:

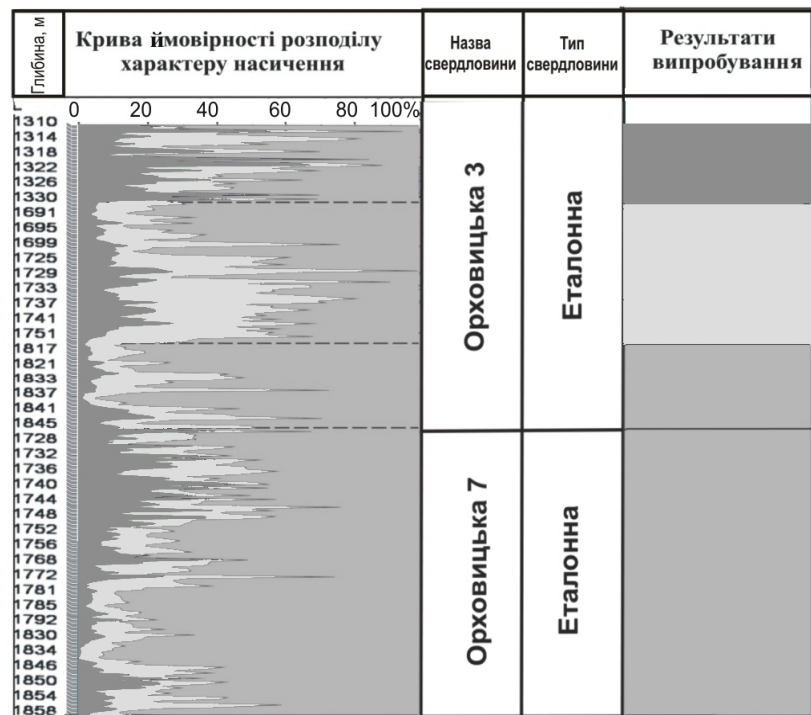
- із повним наявним комплексом геофізичних методів, як класифікаторів;
- із тим набором геофізичних методів, які логічно мали б давати найбільш оптимальний та раціональний результат при проведенні дискримінантного аналізу.

З отриманих досліджень (рис. 1, б) можна зробити висновки, що при дотриманні другого напрямку отримано значну кількість хибних попадань еталонних точок спостережень у відповідні класифікаційні групи, що свідчить про надання до вихідних даних досліджень недостатньої кількості інформації геофізичного характеру, яка була б доцільна для більш точного розділення точок спостережень та віднесення їх до певних класифікаційних груп.

Протилежна ситуація (рис. 1, а) була отримана із залученням до досліджень повного наявного комплексу геофізичних методів, як класифікаторів, про що свідчать результати порівняльного аналізу згідно яких кількість хибних попадань точок спостережень у відповідні класифікаційні групи є значно меншою. Достовірність класифікації точок спостережень у даному



а)



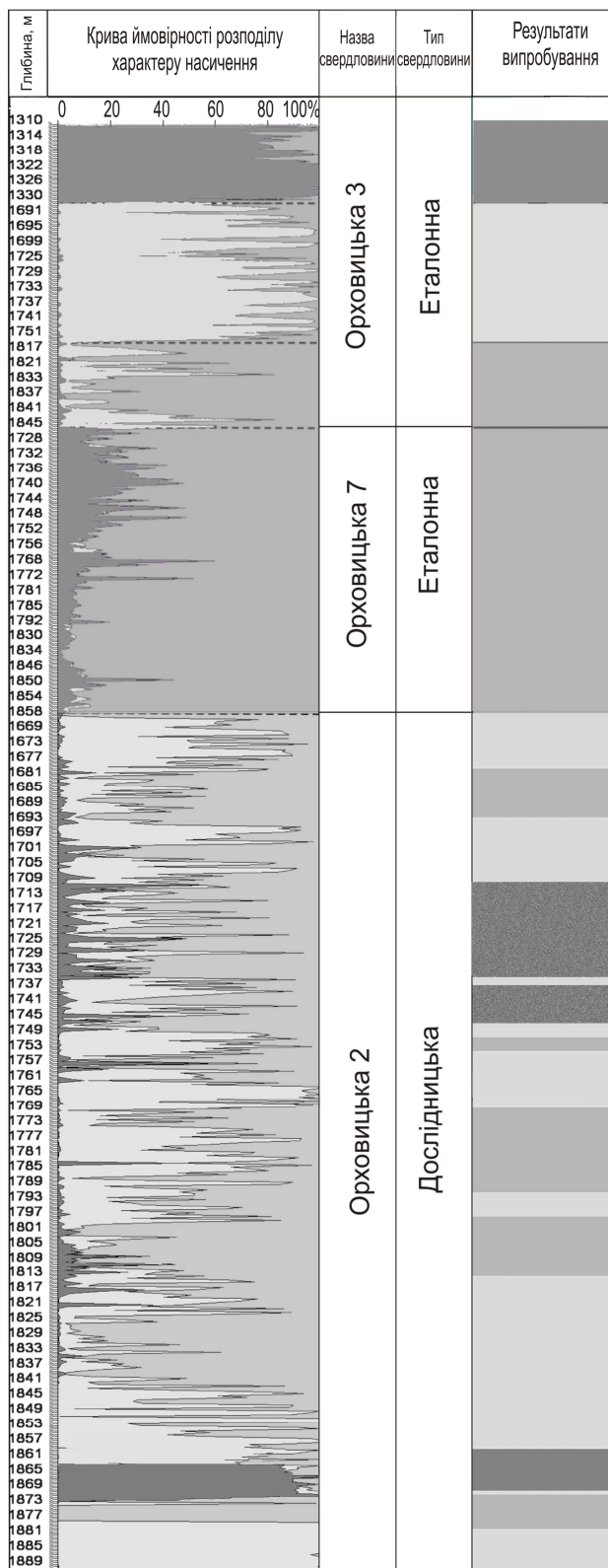
б)

Умовні позначення

- Вода
 - Газ
 - "Сухо"

а) перший напрямок досліджень;
б) другий напрямок досліджень.

Рисунок 1 – Графічна візуалізація кривої ймовірності розподілу характеру насичення пластів в еталонних інтервалах свердловин



Умовні позначення

- Вода
 - Газ
 - "Сухо"
 - Неясно

Рисунок 2 – Графічна візуалізація кривої ймовірності розподілу характеру насичення пластів в еталонних свердловинах та в досліджуваній свердловині

випадку відповідає реальним ситуаціям у свердловинах. Таким чином, доцільніше при виконанні дискримінантного аналізу застосовувати результати всього наявного комплексу геофізичних досліджень, що є оптимальним варіантом, який дає найбільший процент правильної класифікації.

Після перевірки еталонів було проведено дискримінантний аналіз із застосуванням точок геофізичних спостережень досліджуваної свердловини Орховичі-2, а також із використанням повного наявного комплексу геофізичних методів в ролі класифікаторів. При цьому згідно з отриманими даними (табл. 3) проводяться розрахунки значень класифікаційних функцій для груп "сухо", вода та газ.

Для всіх параметрів еталонних груп розраховуються так звані лінійні класифікаційні функції, за допомогою яких для кожного геофізичного спостереження (пласта, товщі) розраховуються три ідентифікаційні значення для груп: "сухих", водонасичених і газонасичених. Лінійні дискримінаційні функції визначають дискримінантні індекси через середні значення геофізичних параметрів для кожної з груп тестових вибірок. За допомогою даних функцій виконується подальша класифікація нових геофізичних спостережень, що будуть відноситися до того класу для якого класифіковане значення буде максимальне.

На рис. 2 в графічному вигляді представлено кінцевий результат проведення лінійного дискримінантного аналізу для порід відкладів нижньодашавської світи, що розкриті свердловиною Орховичі-2.

Використовуючи дані випробування свердловини Орховичі-2, можна зробити порівняльний аналіз із результатами наших досліджень із застосуванням лінійного дискримінантного аналізу для розчленування розрізу на продуктивні пласти із наступним прогнозуванням характеру насичення. Слід зазначити, що при цьому ступінь співпадання результатів інтерпретації даних ГДС та випробувань пластів із результатами проведеного дискримінантного аналізу становить близько 83%.

Отримана ефективність класифікації та наявність у певних інтервалах за переважаючими ймовірностями однієї групи появи ознаки іншої – обумовлено спрощеною лінійною моделлю дискримінантної функції, дуже складною структурою реальної фізико-геологічної моделі розрізу. Слід зазначити, що у межах інтервалів перфорації навіть за однозначних результатів випробувань знаходяться різні групи порід з різними колекторськими властивостями, тобто вибірки в еталонних групах не можна вважати повністю однорідними. Це призводить до певного зменшення ефективності класифікації під час дискримінантного аналізу. Хоча, незважаючи на це, застосування даного методу розпізнавання образів дає в цілому позитивні результати при розчленуванні геологічного розрізу на інтервали виповненими як породами-колекторами так і неколекторами з наступним визначенням їх характеру насичення. Для отримання більш достовірного прогнозного розчленування розрізу слід й надалі працювати в даному напрямку, моделюючи різні геологічні ситуації із залученням даних свердловинних геофізичних методів, що буде сприяти формуванню баз геолого-геофізичної інформації для подальших досліджень.

Література

- 1 Словарь по геологии нефти и газа. – Л.: Недра, 1988. – 679 с.
- 2 Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. – М.: Недра, 1990. – 251 с.
- 3 William R. Klecka. Discriminant Analysis. – Seventh Printing, 1986. – 76 с.
- 4 Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1965. – 464 с.