

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ ЛІТОЛОГО-СТРАТИГРАФІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

Д.Д. Федоришин, І.О. Пятковська, С.Д. Федоришин, М.В. Саварин

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

Геологічні розрізи свердловин в більшості випадків представлені складнобудованими літолого-стратиграфічними комплексами. Діагностика порід, які вповнюють складнобудовані геологічні розрізи, за результатами ГДС ускладнена і не завжди є ефективною, особливо при оцінюванні характеру насичення породи-колектора та визначенні його фільтраційно-ємнісних параметрів. Ідея використання результатів дискримінантного аналізу для прогнозування характеру насичення порід-колекторів обумовлює створення класифікаційних груп із притаманними їм ознаками, зіставленими із даними випробувань у межах еталонних інтервалів, вивчених породами із певним характером насичення. В процесі обробки геофізичного матеріалу, отриманого в процесі дослідження неогенових відкладів при різних свердловинних умовах, здійснювалася нормалізація їх до єдиних умов з використанням відносних геофізичних параметрів, прив'язаних до опорних глинистих пластів. Отримані результати експериментальних та аналітичних досліджень можливостей використання дискримінантного аналізу та моментів вищого порядку (асиметрія та ексцес) в процесі інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин із складною геологічною будовою підтвердили їхню значущість та наукову новизну.

Ключові слова: свердловина, дискримінантний аналіз, асиметрія, ексцес, породи-колектори.

Геологические разрезы скважин в большинстве случаев представлены сложнопостроенными литолого-стратиграфическими комплексами. Диагностика пород, наполняющих сложнопостроенные геологические разрезы, по результатам ГИС затруднена и не всегда эффективна, особенно при оценке характера насыщения породы-коллектора и определении ее фильтрационно-емкостных параметров. Идея использования результатов дискриминантного анализа для прогноза характера насыщения пород-коллекторов обусловливает создание классификационных групп с присущими им признаками, сопоставленными с данными испытаний в пределах эталонных интервалов, заполненных породами с определенным характером насыщения. В процессе обработки геофизического материала, полученного в процессе исследования неогеновых отложений при различных скважинных условиях, осуществлялась нормализация их к единым условиям с использованием относительных геофизических параметров, привязанных к опорным глинистым пластам. Полученные результаты экспериментальных и аналитических исследований возможностей использования дискриминантного анализа и моментов высшего порядка (асимметрия и эксцесс) в процессе интерпретации данных геофизических исследований скважин со сложным геологическим строением подтвердили их значимость и научную новизну.

Ключевые слова: скважина, дискриминантный анализ, асимметрия, эксцес, породы-коллекторы.

Geological sections of wells in most cases are presented by compound-built lithologic and stratigraphic complexes. Diagnostics of rocks, which fill compound-built geological sections according to the results of well logging is complicated and is not always effective, especially in assessing the nature of the reservoir-rock saturation and determining its filtration-capacitive parameters. The idea of using the results of discriminant analysis to predict the nature of saturated reservoir rocks causes the creation of classification groups with their inherent features, are compared with the test data within the reference intervals filled with the features of the rocks of the saturation. In the processing of geophysical data obtained during the study of the Neogene deposits in various borehole conditions was carried out their normalization to the uniform conditions using relative geophysical parameters of referred to supporting clay layers. The obtained results of experimental and analytical studies the possibility of using discriminant analysis and higher order moments (asymmetry and kurtosis) in the interpretation of well logging data with the compound-built geological structure confirmed their significance and scientific novelty.

Key words: well, discriminant analysis, asymmetry, excess, reservoir rocks.

Проблеми, які пов'язані з видобутком вуглеводнів на родовищах нафти і газу, обумовлені не тільки геологічними умовами та технологічними чинниками, але і інформативністю методів геолого-геофізичних досліджень геологічних розрізів.

В більшості випадків геологічні розрізи нафтогазових родовищ представлені літолого-стратиграфічними комплексами, які вповнені гірськими породами з різними фізичними та петрофізичними параметрами. Фільтраційно-

ємнісні властивості гірських порід значною мірою визначаються величиною цих параметрів, їх розподілом у продуктивних нафтогазонасичених пластах. В деяких випадках окремі літологічні різновиди характеризуються невисокими значеннями цих петрофізичних параметрів або неявно відображаються за результатами геофізичних досліджень. Множина таких особливостей геофізичних ознак гірської породи формує її образ, який відображається у геофізичних полях. Геологічні розрізи з тонкошару-

ватою будовою за даними свердловинних досліджень представлені слабкодіференційованими кривими свердловинних геофізичних досліджень, що знижує ефективність комплексних геофізичних досліджень, а, отже, і видобуток вуглеводнів. Таким чином, задача розпізнавання дійсних образів фізичних полів гірських порід за даними свердловинної геофізики та математичної статистики є актуальною.

Геологічні розрізи свердловин в більшості випадків представлені складно-побудованими літолого-стратиграфічними комплексами. Тектонічна будова цих комплексів суттєво ускладнює пошук та розвідку скупчень вуглеводнів у межах нафтогазоносних провінцій України.

Діагностика порід, які виповнюють складнопобудовані геологічні розрізи, за результатами ГДС ускладнена і не завжди є ефективною, особливо при оцінюванні характеру насичення породи-колектора та визначенні його фільтраційно-ємнісних параметрів. Одним із шляхів підвищення інформативності та ефективності ГДС є вдосконалення способів обробки та інтерпретації результатів геолого-геофізичних досліджень. Використання методів математичної статистики для досягнення цієї мети є, на нашу думку, одним із найбільш дійових способів збільшити ймовірність та точність виділення порід-колекторів, підвищити інформативність методів ГДС у процесі інтерпретації результатів дослідження.

Діагностувати породи-колектори в межах конкретних літолого-стратиграфічних комплексів за їхнім характером насичення можна за допомогою дискримінантного аналізу з використанням статистичних моментів першого, другого та вищих порядків. Дискримінантний аналіз знайшов широке застосування при розв'язанні геолого-прогнозних задач. Ряд науковців (Дег В.Н., Кноринг Л.Д.) досліджували можливість застосування цього методу для поділу порід-колекторів на газонасичені та водонасичені з використанням геофізичних дискримінантних змінних, а саме: ΔU_{nc} ; ρ_n ; $\Delta U_{nc}/\rho_n$. В умовах обмеженого комплексу свердловинних геофізичних методів для досліджень науковці застосували дискримінантний аналіз, здійснивши вибірку із двох класифікаційних груп порід-колекторів за характером насичення. При цьому була отримана лінійна дискримінантна функція, яка загалом відповідала експериментальним даним. Однак, слід зазначити, що дана методика справедлива у випадку визначення ймовірної приналежності об'єкта прогнозування до однієї із класифікаційних груп при умові, що такий геологічний об'єкт реально належить до газонасичених або водонасичених пластів, без припущення про наявність інших класифікаційних груп (газоводонасичений, глинистий пласт). Це вимагає збільшення кількості класифікаційних груп, щоб приблизити процес математичного моделювання до реального геологічного середовища. Такий підхід нами було прийнято при обробці та інтерпретації результатів ГДС Орховицького, Летнянського та Вижомлянського газових родовищ.

Особливістю геологічної будови цих родовищ, як і інших газових та газоконденсатних родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину, є те, що неогенові відклади, в яких сконцентровані основні запаси газу, представлені перешаруванням піщаників, глин та алевролітів незначної товщини. Окрім цього, матриця породи виповнена різного класу мінералами, в тому числі і такими, що характеризуються підвищеною електропровідністю. Величина зареєстрованих фізичних та перофізичних параметрів, а також форма геофізичних кривих будуть визначатися вказаними особливостями геологічної будови. Ідея використання результатів дискримінантного аналізу для прогнозу характеру насичення порід-колекторів обумовлює створення класифікаційних груп із притаманними їм ознаками, співставленими із даними випробувань у межах еталонних інтервалів виповнених породами із певним характером насичення. Створена у такий спосіб еталонна база дозволяє здійснювати порівняльний аналіз даних еталонів із результатами досліджень в інтервалі геологічного розрізу, в межах якого необхідно виділити перспективні об'єкти та оцінити характер їх насичення. Для цього кожній класифікаційній групі слід присвоїти притаманні лише їй ознаки.

Таким чином, для успішного використання лінійного дискримінантного аналізу а процесі інтерпретації результатів геофізичних досліджень неогенових відкладів за основу було взято свердловини Вижомлянського, Летнянського та Орховицького газових родовищ. За результатами випробування продуктивних пластів у свердловинах Орховичі-3 та Орховичі-7 (табл. 1) виділено водонасичені, газонасичені та «сухі» породи-колектори, а також встановлено притаманні їм ознаки. Для зменшення впливу випадкових флуктуацій геофізичних параметрів у точках спостереження на корисну інформацію, вибиралася крок дискредитації в межах від 0,2 до 0,5 м.

Під час обробки геофізичного матеріалу, отриманого у результаті дослідження неогенових відкладів при різних свердловинних умовах, здійснювалася нормалізація їх до єдиних умов з використанням відносних геофізичних параметрів, прив'язаних до опорних глинистих пластів. Оцінка достовірності обраних вибірок здійснюється шляхом перевірки нульової гіпотези про відсутність достовірної статистичної різниці між середніми значеннями вибірок з використанням t-критерію Стюдента. Із геофізичних параметрів до складу вибірки взято два параметри: питомий уявний електричний опір (ρ_{ns}), розрахований за результатами стандартного електричного каротажу, та інтенсивність гамма-поля (I_γ).

Перед визначенням вірогідності неузгодження отриманих даних перевірялась рівність дисперсій вибірок і підпорядкованість розподілу випадкових величин у кожній класифікаційній групі нормальному закону. Такий підхід в подальшому дасть змогу використати моменти третього та четвертого порядку для виділення

Таблиця 1 – Результати проведення дискримінантного аналізу результатів геофізичних досліджень свердловин Орховицького газового родовища

$$F(x) = 0.033 * \Delta U_{\text{nc}} - 0.1578 * \rho_{\text{n}} + 0.2405 * (\Delta U_{\text{nc}} / \rho_{\text{n}}) - 0.1350 * \rho_{\text{k}}^{0.45} + 0.0668 * \rho_{\text{k}}^{1.05} + 0.0221 * \rho_{\text{k}}^{2.25}$$

$$F_0(x) = -3/9791$$

Дискримінант		Результати розпізнавання		Дискримінант		Результати розпізнавання	
газ	вода	газ	вода	газ	вода	газ	вода
-6,123	2,1604	0	1	-9,7885	0,5556	0	1
-7,552	0,8993	0	1	-11,0762	0,1020	0	1
-6,420	-0,7235	0	1	-12,3913	-3,4637	0	1
-5,9013	-1,4316	0	1	-5,1137	-1,2591	0	1
-6,6681	1,1146	0	1	-9,9704	2,0900	0	1
-5,9430	-0,0281	0	1	-10,9104	3,9320	0	1
-7,5273	-0,1514	0	1	-12,4501	-0,4496	0	1
-5,5142	-1,1628	0	1	-8,8435	-3,1602	0	1
-6,3643	2,0692	0	1	-6,1766	-1,4891	0	1
-12,8323	2,6840	0	1	-12,6574	-1,1844	0	1
-11,6751	3,9286	0	1	-6,7161	-3,7416	0	1
-8,4134	0,7693	0	1	-7,2037	-2,0744	0	1
-3,8396	2,4067	0	1		-0,3422		1
-7,6071	2,0768	0	1		-5,4294		0
-1,5839	0,7879	0	1		-4,1612		0
-2,4241	4,9026	0	1		-4,3827		0
-8,3982	-0,4802	0	1		0,4833		1
-4,2523	1,6432	0	1		-3,1941		1

Таблиця 2 – Результати прогнозування колекторів

Номер дискримінантної функції	Геофізичні ознаки (дискримінантні змінні)	Горизонт	Кількість об'єктів		Кількість помилкових заключень		Ефективність класифікації
			приплив	сухо	приплив	сухо	
1	$\Delta U_{\text{c.n.}}, \rho_{\Delta}/\rho_{\Phi}$	M1	90	61	4	8	92
2	$\Delta U_{\text{c.n.}}, \Delta J_{\gamma}$	-/-	-/-	-/-	5	5	93
3	$\Delta U_{\text{c.n.}}, \Delta d$	-/-	-/-	-/-	5	7	92
4	$\Delta J_{\gamma}, \Delta d$	-/-	-/-	-/-	20	4	84
5	$\Delta J_{\gamma}, \rho_{\Delta}/\rho_{\Phi}$	-/-	-/-	-/-	18	4	85
6	$\Delta d, \rho_{\Delta}/\rho_{\Phi}$	-/-	-/-	-/-	20	11	79
7	$\Delta U_{\text{c.n.}}, \Delta J_{\gamma}, \rho_{\Delta}/\rho_{\Phi}$	-/-	-/-	-/-	2	4	96
8	$\Delta U_{\text{c.n.}}, \Delta J_{\gamma}, \Delta d$	-/-	-/-	-/-	5	3	94
9	$\Delta U_{\text{c.n.}}, \rho_{\Delta}/\rho_{\Phi}, \Delta d$	-/-	-/-	-/-	5	6	93
10	$\Delta J_{\gamma}, \rho_{\Delta}/\rho_{\Phi}, \Delta d$	-/-	-/-	-/-	11	4	90
11	$\Delta J_{\text{пг}}, \Delta J_{\gamma}$	Vr	91	110	20	7	87
		Sm	84	-	5	-	94
		Sr	17	53	11	15	63
12	$\Delta J_{\text{пг}}, \Delta J_{\gamma}, \Delta T$	Vr	91	110	33	14	77
		Sm	70	-	7	-	91
		Sr	32	35	12	27	42

порід-колекторів та оцінки їх характеру насичення.

Рівність дисперсій вибірок перевіряли за критерієм Фішера (F-критерій). На основі цього робиться висновок про приналежність вибірок до генеральної сукупності.

Перевірка нульової гіпотези про приналежність розподілу до нормального закону про-

водилась за допомогою непараметричних критеріїв, як у Шаніро-Уїлка та Колмогорова-Смірнова. Згідно з отриманими статистичними критеріями гіпотеза про нормальний закон розподілу вибірок приймається на рівні значущості $\alpha=0,05$, а результати перевірки однорідності опорних пластів за допомогою критерію Стюдента та критерію Фішера наведено в таблиці 2.

Отримані результати відображають важливість процедури приведення результатів геофізичних досліджень до однакових умов вимірювання. Згідно отриманих статистичних критеріїв видно, що гіпотеза про однорідність всіх опорних пластів, виділених у неогенових відкладах, прийнята за основу.

Необхідною умовою отримання достовірних результатів виділення порід-колекторів за даними лінійного дискримінантного аналізу є перевірка роботи еталонних пластів із підбором оптимального набору геофізичних параметрів. Значну роль у цьому процесі відіграють моменти третього та четвертого порядку, а саме асиметрія та ексцес. Розрахунки величин цих критеріальних ознак для неогенових відкладів проводилися за геофізичними результатами досліджень неогенових відкладів у свердловинах Вижомлянського та Вишнянського газових родовищ.

У відповідності з «Класифікацією запасів і ресурсів корисних копалин...» Вижомлянське та Вишнянське газові родовища відносяться до родовищ дуже складної будови, оскільки характеризуються наявністю тектонічних порушень, невитриманістю товщ і колекторських властивостей продуктивних пластів.

Як приклад, статистичні центральні моменти, які розраховані за даними ГДС у свердловині 20-Вижомлянська, чітко вказують на газоносний поклад як неоднорідність з масштабними ефектами третього-четвертого родів, і тому можуть бути використані для експрес-інтерпретації.

Результати роботи програми по двох інтервалах у свердловині 20-Вижомлянська за даними АК та ПЗ зображені на рис. 1. Експериментально вибрана база осереднення склала 20 м, яка дає змогу деталізувати параметр при такому способі експрес-інтерпретації та зберегти представницьку статистичну вибірку (101 точка).

У інтервалі 507.4-579.0 м (горизонт ВД-9) даними комплексу ГДС виділяється потужний водогазонасичений пласт піскуватого алевроліту пористістю 10-14%. Використання асиметрії та ексцесу дає змогу розбити тонкошарувату пачку на декілька інтервалів; найбільш перспективний з позиції газоносності знаходиться на глибинах 520-540 м.

Результати експрес-інтерпретації в інтервалі глибин 1210-1310 м (горизонт НД-9), в основному, збігаються із висновками за комплексом ГДС, але є більш деталізованими. Це дає змогу вибрати "кращі" пласти для випробування.

Для прикладу, розглянуто також статистичні центральні моменти, розраховані за даними ГДС у свердловині 53-Вишнянська (рис. 2, 3).

На рисунку 2 відображені асиметрія та ексцес, розраховані для горизонту НД-10 та НД-11. Тут додатно асиметрію та від'ємний ексцес можна спостерігати в інтервалі 1436-1448 м. При подальшій розробці даного інтервалу, було отримано приплив газу, що підтверджує наш прогноз.

Також, додатно асиметрію та від'ємний ексцес можна спостерігати в інтервалах 1469-1472 м, та 1478-1498 м. Від'ємні значення ексцесу в даних інтервалах сягають значення -1, в той час як додатні значення асиметрії досягають значення +1, але знаходяться в значно більшому інтервалі. Це може означати лише те, що вздовж даного інтервалу переважають пісковики-колектори, що можуть вміщувати природні вуглеводневі. Однак, розглядаючи лише одну асиметрію чи один ексцес, ми не побачимо цілісної картини, тобто зможемо виділити або тільки можливі породи-колектори, що можуть і не вміщувати вуглеводнів, або тільки можливі вуглеводні, які можуть знаходитися в невеликих кількостях, що не мають ніякої промислової користі. Тому необхідно розглядати статистичні центральні моменти третього та четвертого порядків (асиметрію та ексцес) лише разом. За результатами інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин з використанням моментів третього та четвертого порядку при розвідувальному бурінні було простріляно інтервал 1462-1498 м, з якого отримано приплив газу, що обумовило можливість рекомендації його для подальшої розробки.

На рисунку 3 відображено розраховані статистичні моменти третього та четвертого порядків (асиметрію та ексцес) для свердловини 53-Вишнянська.

В даному інтервалі розраховано асиметрію та ексцес як за даними акустичного каротажу, так і за даними потенціалів самочинної поляризації. Згідно з отриманими даними для АК і для ПЗ вздовж даного інтервалу не спостерігається продуктивних горизонтів, оскільки не виявлено жодного інтервалу із від'ємним ексцесом та додатною асиметрією. Отже, даний інтервал не є продуктивним, що підтверджується і висновком за результатами геофізичних досліджень.

Для тонкошаруватого розрізу цей підхід дозволяє отримати додаткову інформацію шляхом покровових розрахунків математичних моментів третього і четвертого порядків змінних параметрів електрометрії та акустичного каротажу, особливо у тих випадках, коли товщина пластів не перевищує 0.6 м і стандартні методи в таких умовах не спрацьовують.

Отримані результати експериментальних та аналітичних досліджень можливостей використання дискримінантного аналізу та моментів вищого порядку (асиметрія та ексцес) в процесі інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин із складною геологічною будовою підтвердили їхню значущість та наукову новизну. Особливо зростає важливість такого підходу до процесу комплексної інтерпретації результатів геолого-геофізичних даних, отриманих в пошукових свердловинах нафтогазових родовищ складної геологічної будови.

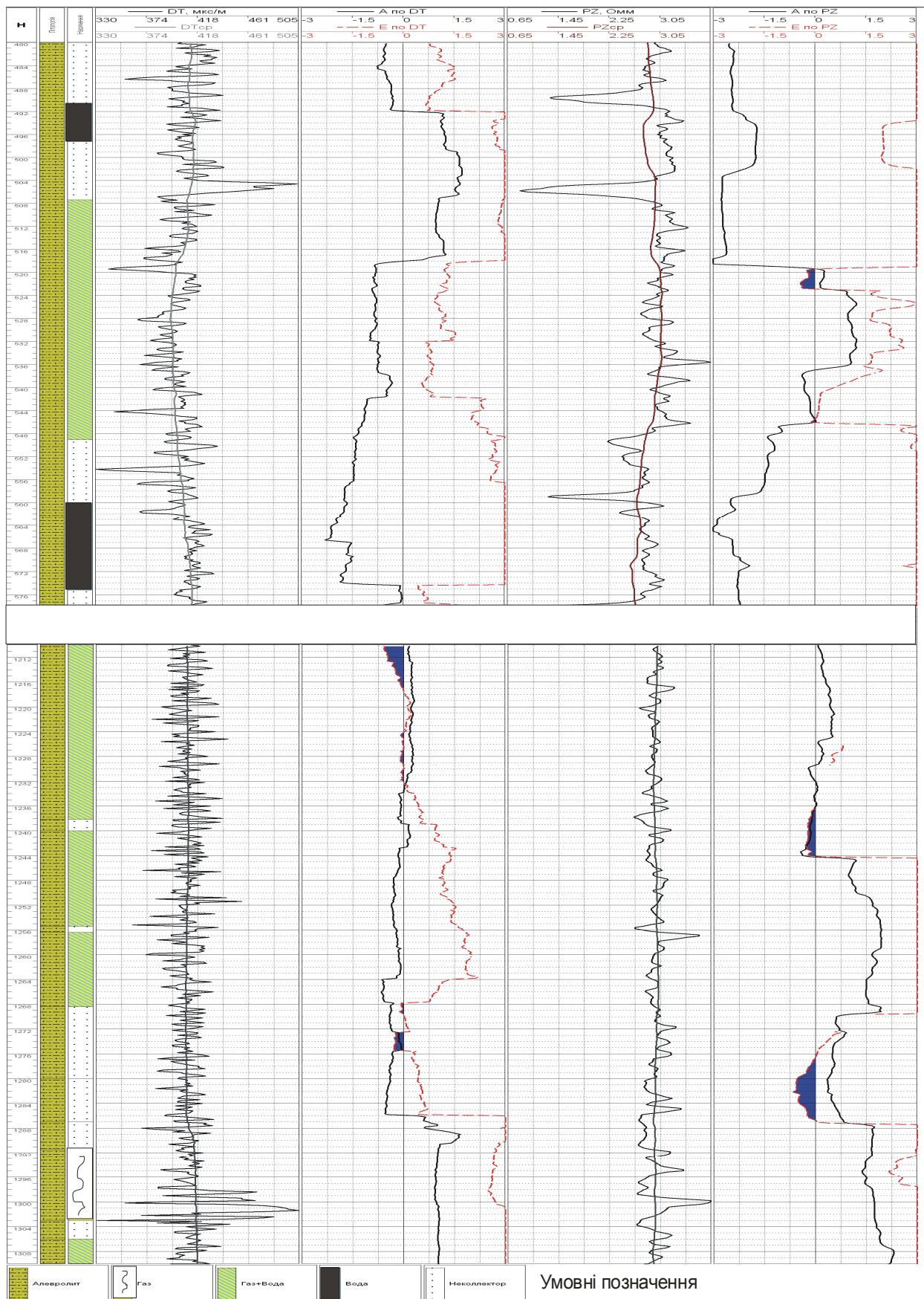


Рисунок 1 – Результати обробки даних АК і ПЗ у свердловині 20-Вижомлянська

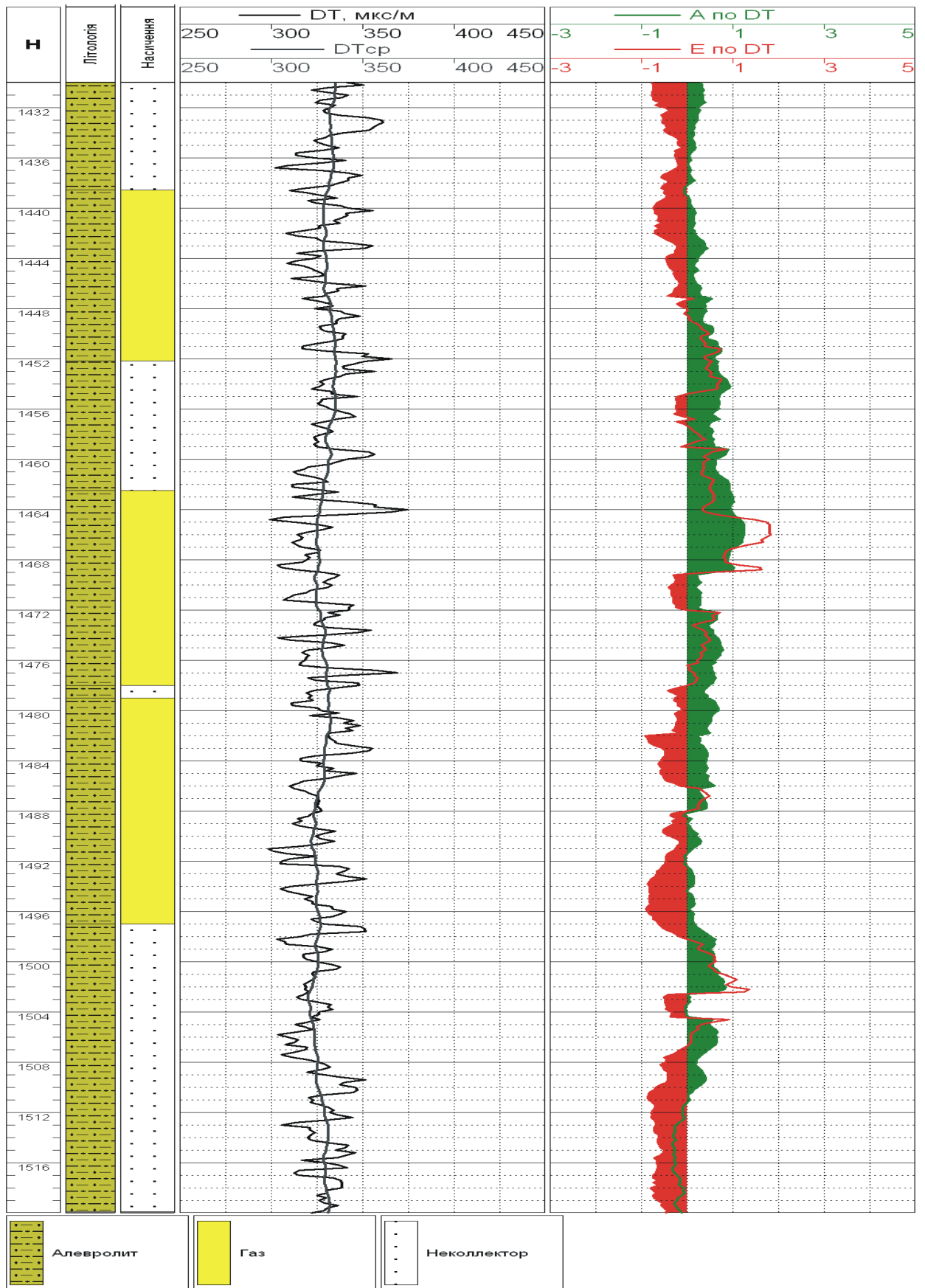


Рисунок 2 – Результати обробки даних АК у свердловині 53-Вишнянська

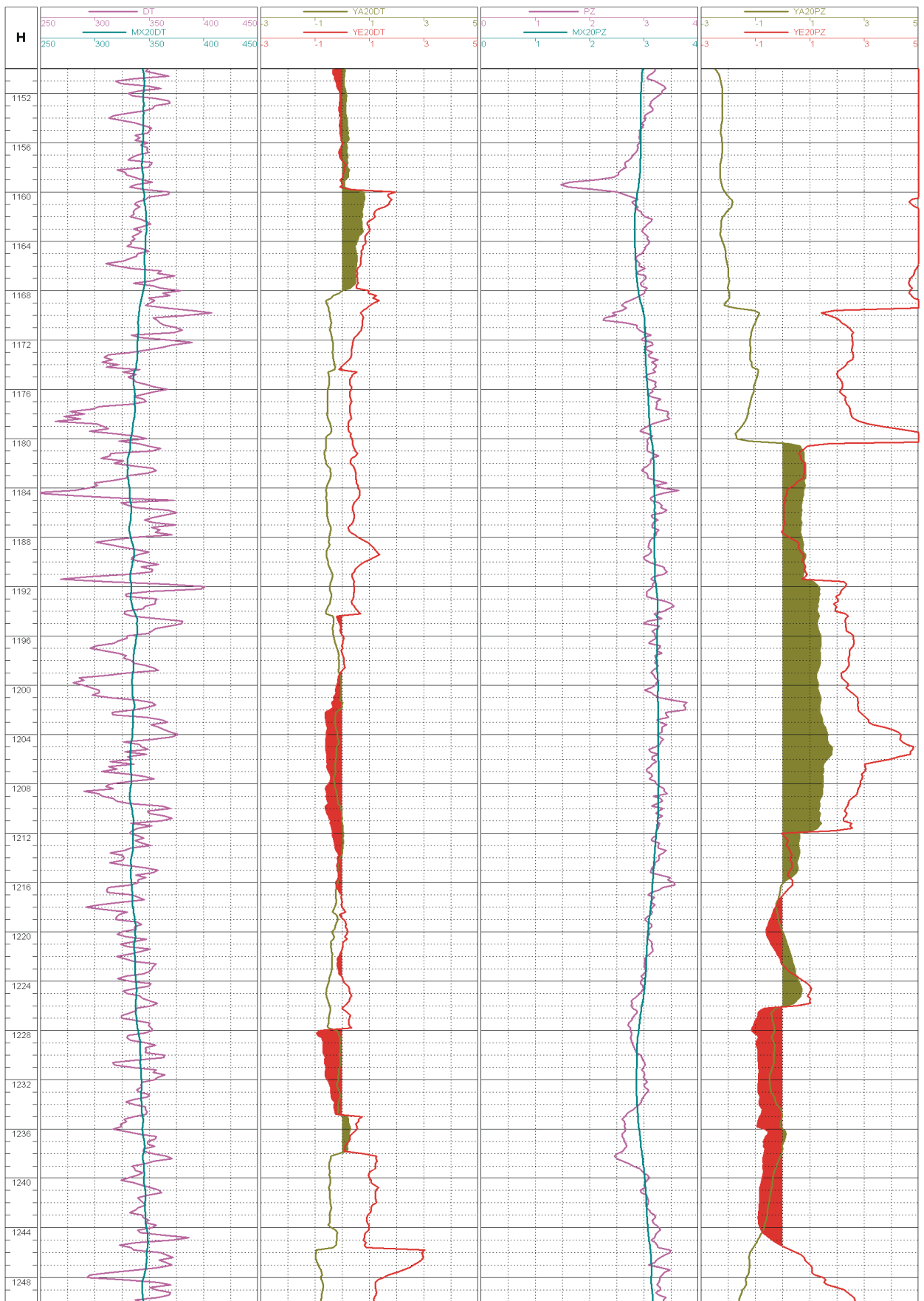


Рисунок 3 – Результати обробки даних АК і ПЗ у свердловині 53-Вишнянська

Література

- 1 Интерпретация данных ГИС тонкослоистых разрезов сармата Предкарпатского прогиба на основе компьютерных технологий / [Т.С.Изотова, О.В.Бондаренко, А.О. Пуш и др.] // Каротажник. – 2005. – Вып. 14(141). – С.112-118.
- 2 Кушта Г. Типізація відкладів сармату Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину / Г. Кушта, О. Бондаренко, Т. Вертепний // Тези доповідей наукової конференції молодих вчених і спеціалістів ЛВ УкрДГРІ. – Львів: ЛВУкрДГРІ, 2005. – С.33-35.
- 3 Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств / М.В.Рац. – М.: Наука, 1968. – 100 с.
- 4 Петкевич Г.Н. Скважинная сейсмоакустика при решении задач прогнозирования геологического разреза / Г.Н.Петкевич, Р.П.Морошан, Ю.В.Філатов. – Киев: Наук. думка, 1985. – 232 с.
- 5 Красножон М.Д. Комплексна інтерпретація матеріалів ГДС з використанням комп'ютерної технології «Геопошук» / М.Д.Красножон, В.Д.Косаченко. – К.: УкрДГРІ, 2007. – 254 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії

07.09.12

Рекомендована до друку професором

Маєвським Б.Й.