

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.НЗ – 01.00.00.000 ПЗ

Група НЗФ – 22 – 1

Квасняк Інна

Володимирівна

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерство освіти і науки України

Факультет природничих наук
Кафедра нафтогазової геофізики

Квасняк Інна Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 550.835

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Аналіз інформативності сейсмоакустичних параметрів для вирішення
(назва роботи)

завдань прогнозування геологічного розрізу

Нафтогазова геофізика
(назва освітньої програми)

103 «Науки про Землю»
(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач освітнього ступеня І. В. Квасняк
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Розловська Світлана Євгеніївна, к.геол.н., доцент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
в. о. Завідувач кафедри

доцент С. М. Багрій
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

м. Івано-Франківськ — 2026 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет природничих наук
Кафедра нафтогазової геофізики
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Спеціальність 103 «Науки про Землю»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри НГГ
_____доц. Федорів В.В.
“ _____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Квасняк Інні Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз інформативності сейсмоакустичних параметрів для вирішення завдань прогнозування геологічного розрізу

Керівник роботи Розловська Світлана Євгеніївна

Затверджені наказом закладу вищої освіти від “07” квітня 2026 р. №165/7 .

2. Строк подання студентом роботи 5 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Завдання на бакалаврську роботу. Геолого-геофізичні дані з вивчення Ковалівської площі. Спеціалізована література.

4. Зміст розрахунково– пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Вступ

2) Теоретичні основи використання сейсмоакустичних параметрів.

3) Оцінювання інформативності сейсмоакустичних параметрів.

4) Аналіз інформативності сейсмоакустичних параметрів при прогнозуванні геологічного розрізу.

5) Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

Презентація бакалаврської роботи в обсязі 15 слайдів.

6.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 07 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Формулювання мети і завдання роботи	07.04.2026– 13.04.2026	виконано
2.	Аналіз джерел і вихідних даних	14.04.2026– 22.04.2026	виконано
3.	Обґрунтування теоретичних основ використання сейсмоакустичних параметрів та аналіз методів прогнозування геологічного розрізу. Написання розділу 1	23.04.2026– 04.05.2026	виконано
4.	Оцінювання інформативності сейсмоакустичних параметрів, аналіз умов отримання матеріалів та факторів, що впливають на хвильове поле. Написання розділу 2	05.05.2026– 16.05.2026	виконано
5.	Практичний аналіз інформативності сейсмоакустичних параметрів при прогнозуванні геологічного розрізу на прикладі Ковалівської площі. Написання розділу 3.	17.05.2026– 28.05.2026	виконано
6.	Написання висновків та переліку посилань на джерела.	29.05.2026– 01.06.2026	виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки, підготовка презентації та графічного матеріалу до захисту.	02.06.2026– 05.06.2026	виконано

Студент

(підпис)

Квасняк І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Розловська С.Є.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврську роботу викладено на 65 сторінках, містить 18 рисунків, 4 таблиці. Використано 31 джерело.

Бакалаврська робота присвячена дослідженню інформативності сейсмоакустичних параметрів для прогнозування будови геологічного розрізу. Актуальність зумовлена необхідністю підвищення точності інтерпретації даних 2D/3D сейсміки в умовах ДДЗ при пошуках складних неантиклінальних пасток, де структурних побудов недостатньо.

Метою є оцінювання інформативності основних параметрів та розробка комплексного підходу для локалізації перспективних об'єктів. Для цього досліджено закономірності поширення хвиль, зв'язок швидкостей із петрофізичними властивостями, систематизовано алгоритми перетворення сигналу, сформовано матриці інформативності атрибутів та проведено їх тестування на Ковалівській площі.

На основі комплексного аналізу динамічних і структурних атрибутів сейсмічного запису, а також залучення апріорних даних геофізичних досліджень свердловин і каротажу суміжних ділянок встановлено закономірності поведінки сейсмоакустичного поля в складних геологічних умовах північної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини. Результати досліджень дозволили мінімізувати неоднозначність інтерпретації цільових горизонтів в умовах відсутності прямого буріння на Ковалівській площі, локалізувати та геологічно охарактеризувати перспективне лінзовидне утворення карбонатного складу у підсольових девонських відкладах, а також обґрунтувати критерії виділення неантиклінальних пасток вуглеводнів.

СЕЙСМОАКУСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ, СЕЙСМІЧНИЙ АТРИБУТ, ІНФОРМАТИВНІСТЬ, МАТРИЦЯ ОЗНАК, КОВАЛІВСЬКА ПЛОЩА.

ABSTRACT

The bachelor's thesis comprises 65 pages, includes 18 figures, 4 tables. It draws on 31 sources.

The bachelor's thesis is devoted to studying the informativeness of seismoacoustic parameters for predicting the geological section structure. The relevance is due to the need to increase the interpretation accuracy of 2D/3D seismic data in the DDB for complex non-anticlinal traps, where structural constructions are insufficient.

The purpose is to assess the informativeness of main parameters and develop a comprehensive approach for localizing promising objects. For this, wave propagation laws and their relation to petrophysical properties were studied, signal transformation algorithms were systematized, attribute information matrices were formed and tested within the Kovalivska area.

Based on a comprehensive analysis of the dynamic and structural attributes of the seismic record, combined with a priori data from well logging and geophysical investigations of adjacent areas, regularities in the behavior of the seismoacoustic field within the complex geological conditions of the northern near-board zone of the Dnieper-Donets Depression have been established. The research results allowed for minimizing the ambiguity in interpreting target horizons under conditions of a lack of direct drilling at the Kovalivska area, localizing and geologically characterizing a promising lens-shaped carbonate formation within the subsalt Devonian deposits, and substantiating the criteria for identifying non-anticlinal hydrocarbon traps.

SEISMOACOUSTIC PARAMETERS, SEISMIC ATTRIBUTE, INFORMATIVENESS, ATTRIBUTE MATRIX, KOVALIVSKA AREA.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ СЕЙСМОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	8
1.1 Фізичні основи формування сейсмічного хвильового поля	8
1.2 Основні сейсмічні параметри та їх геологічна інтерпретація	10
1.3 Поняття інформативності геофізичних параметрів.....	16
1.4 Класифікація сейсмічних атрибутів	17
2 ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ СЕЙСМОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	22
2.1 Характеристика сейсмічних матеріалів та умов їх отримання.....	22
2.2 Методи аналізу кінематичних і динамічних параметрів.....	24
2.3 Критерії та методи оцінювання інформативності	26
2.4 Похибки та обмеження сейсмоакустичної інтерпретації.....	30
2.5 Критерії та методи оцінювання інформативності атрибутів.....	33
3 АНАЛІЗ ІНФОРМАТИВНОСТІ СЕЙСМОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ГЕОЛОГІЧНОГО РОЗРІЗУ	39
3.1 Коротка геологічна характеристика досліджуваної ділянки	39
3.2 Аналіз інформативності швидкісних параметрів	45
3.3 Аналіз динамічних характеристик	47
3.4 Комплексна оцінка сейсмоакустичних параметрів та зіставлення з геологічними даними	55
ВИСНОВОК.....	61
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

Сейсморозвідка є одним із найважливіших геофізичних методів дослідження надр, який широко застосовується для вивчення геологічної будови земної кори, пошуку та розвідки родовищ корисних копалин, зокрема нафти й газу. Аналіз параметрів сейсмічних хвиль дає можливість отримати інформацію про фізичні властивості гірських порід, характер їх залягання та особливості будови геологічного розрізу. Особливе значення при цьому мають сейсмоакустичні параметри, які відображають кінематичні та динамічні характеристики сейсмічних сигналів і можуть бути використані для інтерпретації геологічних умов досліджуваної території.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення достовірності інтерпретації сейсмічних матеріалів шляхом більш повного використання інформативності сейсмоакустичних параметрів. Аналіз швидкісних, амплітудних та спектральних характеристик сейсмічних хвиль дозволяє уточнювати будову геологічного розрізу, виявляти літологічні неоднорідності та підвищувати ефективність прогнозування геологічних структур. Комплексне використання цих параметрів є важливим елементом сучасної сейсмічної інтерпретації.

Метою бакалаврської роботи є оцінювання інформативності основних сейсмоакустичних параметрів та обґрунтування можливості їх використання для прогнозування геологічного розрізу з метою підвищення достовірності сейсмічної інтерпретації.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати теоретичні основи поширення сейсмічних хвиль у геологічному середовищі та їх зв'язок із властивостями гірських порід.
2. Розглянути основні види сейсмоакустичних параметрів та їх фізичний зміст.

3. Проаналізувати інформативності швидкісних, амплітудних та спектральних сейсмоакустичних параметрів і атрибутів.

4. Оцінити ефективність використання сейсмоакустичних параметрів для вирішення завдань прогнозування геологічного розрізу.

5. Порівняти результати сейсмічного прогнозу з наявними геологічними та свердловинними даними.

Об'єкт дослідження – геологічний розріз та його відображення у сейсмічному хвильовому полі.

Предмет дослідження – сейсмоакустичні параметри сейсмічних записів та їх інформативність щодо будови геологічного розрізу.

Практичне значення отриманих результатів – отримані результати щодо оцінювання інформативності сейсмоакустичних параметрів (швидкісних, амплітудних, спектральних) і сейсмічних атрибутів можуть бути безпосередньо використані для підвищення достовірності та деталізації сейсмічної інтерпретації на локальних ділянках з метою прогнозування геологічної будови і локалізації потенційних пасток вуглеводнів. Комплексний підхід до аналізу сейсмічного хвильового поля та порівняння отриманих прогнозів із свердловинними і геологічними даними дозволяє оптимізувати процес інтерпретації геофізичних матеріалів, знизити ризики при закладанні пошуково-розвідувальних свердловин, а також підвищити загальну геолого-економічну ефективність геофізичних робіт.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ СЕЙСМОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Сейсморозвідка є одним із найважливіших методів геофізичних досліджень і використовується для вивчення глибинної структури геологічних об'єктів. Вона дозволяє визначити просторове розташування геологічних пластів, їхню товщину, морфологію та природу тектонічних розломів. Тому сейсмічна розвідка відіграє ключову роль у дослідженні геологічних профілів та прогнозуванні їхньої структури. Ключовою особливістю сейсмічної розвідки є можливість досліджувати великі площі з відносно високим рівнем деталізації. Це робить метод ефективним як для регіональних геологічних досліджень, так і для вирішення прикладних задач у розвідці корисних копалин, інженерній геології та оцінці геологічних ризиків [14].

1.1 Фізичні основи формування сейсмічного хвильового поля

Фізичні принципи, що лежать в основі генерації сейсмічного хвильового поля, базуються на законах, що регулюють поширення пружних коливань у неоднорідному геологічному середовищі [4].

Хвильове поле, зареєстроване на поверхні, є результатом взаємодії випромінюваної енергії з межами розділу шарів з різними пружними властивостями.

Пружні властивості середовища та типи хвиль – генерація хвильового поля починається з виникнення пружної деформації в точці збудження. Згідно з теорією пружності, у твердому тілі поширюються два основні типи об'ємних хвиль:

- поздовжні хвилі (P) – хвилі стиснення та розтягнення. Вони демонструють найвищу швидкість (V_p) і першими виявляються приладами [14];
- поперечні хвилі (S) – хвилі зсуву. Їхня швидкість (V_s) приблизно в 1.73 рази менша за V_p [14].

Акустичний імпеданс (акустична жорсткість) та умови відбиття – хвильове поле виникає лише в неоднорідних середовищах. Основною характеристикою кожного шару є акустичний імпеданс (Z) – добуток швидкості на густину ($Z = V_p \cdot \rho$) [26].

На межі двох шарів із різними імпедансами енергія розділяється: частина хвилі відбивається назад до поверхні, а інша частина проникає глибше; коефіцієнт відбиття, який є найкращим параметром для визначення контактів флюїдів (ГВК), залежить від контрасту імпедансів.

Динамічні перетворення – поглинання та дисперсія:

- поглинання (α): частина енергії перетворюється на тепло через внутрішнє тертя.
- дисперсія: фазова швидкість хвилі залежить від частоти. Це явище особливо виражене у середовищах, насичених флюїдами, і враховується при детальному прогнозуванні геологічного розрізу [28, 30].

Під час поширення сейсмічна хвиля втрачає свою енергію та змінює форму (спектр). Те, що ми бачимо на сейсмограмі – це не окрема хвиля, а результат суперпозиції (накладання) багатьох відбитих, заломлених та розсіяних хвиль.

Аналіз спектральних властивостей, що є вирішальним для визначення пористості, дозволяє «розшифрувати» ці перешкоди та отримати дані про внутрішню будову пласта, навіть якщо його потужність менша за чітку роздільну здатність сейсморозвідки.

Отже, фізичною основою сейсмічного поля є пружна реакція геологічного середовища на зовнішній вплив. Розуміння процесів відбиття, поглинання та спектральних процесів дозволяє нам використовувати сейсмоакустичні параметри (від часу приходу до дисперсії) для точного прогнозування геологічного розрізу.

1.2 Основні сейсмічні параметри та їх геологічна інтерпретація

Сейсмоакустичні параметри є кількісними характеристиками сейсмічного хвильового поля, які відображають фізичні властивості геологічного середовища та використовуються для прогнозування елементів геологічного розрізу. У сейсморозвідці застосовується різноманітний спектр таких параметрів, які умовно поділяються на кінематичні та динамічні.

До найважливіших кінематичних параметрів належать часи приходу відбитих хвиль, швидкості поширення поздовжніх (V_p) і поперечних (V_s) хвиль, а також їх співвідношення V_p/V_s .

Динамічні параметри включають амплітуди відбитих хвиль, коефіцієнти відбиття, спектральні властивості сигналів, а також параметри поглинання та дисперсії хвиль.

Швидкість поширення сейсмічних хвиль (V_p , V_s) є базовим параметром, що відображає пружні властивості гірських порід [14, 26].

Швидкість поздовжніх хвиль (V_p) – це швидкість хвиль стискання, за якої частинки породи коливаються вздовж напрямку поширення променю.

При аномально високих тисках швидкість зазвичай зменшується, що слугує попереджувальним сигналом небезпеки при бурінні (за методологією Eaton, що використовується в нафтогазовій геофізиці).

Швидкість поперечних хвиль (V_s) – ці хвилі не поширюються в рідинах та газах (їхня швидкість у воді дорівнює нулю). Тому V_s надає інформацію виключно про «скелет» породи, ігноруючи флюїд.

Співвідношення V_p/V_s (параметр Пуассона) – це один із найбільш змістовних показників для сучасного прогнозування.

Флюїдний індикатор. Оскільки газ сильно знижує швидкість поздовжніх хвиль (V_p), але майже не впливає на швидкість поперечних хвиль (V_s), різке падіння коефіцієнта V_p/V_s є прямим показником газонасичення пласта (згідно з концепцією AVO-аналізу, SEG) [19, 28] (рисунок 1.1).

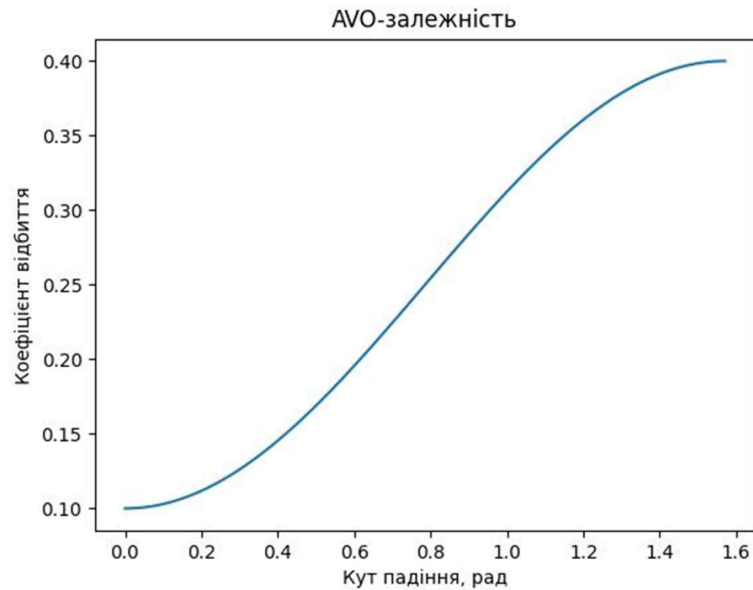


Рисунок 1.1 – AVO-залежність коефіцієнта відбиття від кута падіння хвилі

Для чистих кварцових пісковиків це значення становить близько 1.5 – 1.7, для глин воно зростає до 2.0 – 3.0 і вище. Це дозволяє диференціювати піщані колектори та глинисті покриття навіть на великих глибинах.

Для ДДЗ характерно: AVO II – III класу – газові поклади, тобто із зростанням амплітуди з кутом маємо газонасичення, а якщо стабільна або спадна – вода або щільні породи.

Вертикальний градієнт швидкості. Швидкість у розрізі майже ніколи не буває постійною – вона збільшується з глибиною через ущільнення порід під вагою вищерозміщених товщ.

Літостатичний тиск. Аналіз того, як швидко зростає швидкість із глибиною, дозволяє геофізикам моделювати історію осідання басейну та прогнозувати зони декомпресії.

Загасання – це поступове зменшення амплітуди (енергії) хвилі під час її проходження через геологічні шари. Воно базується на двох основних факторах:

- геометричне розходження – енергія поширюється по більшій площі зі збільшенням відстані від джерела (аналогія з колами на воді);
- істинне поглинання (абсорбція) – перетворення механічної енергії хвилі в теплову через внутрішнє тертя в породі [28, 30].

Параметр загасання (Q) характеризує втрати енергії хвиль при їх поширенні. Фактори, що впливають: пористість, тріщинуватість, флюїдонасичення, мінеральний склад [13, 30].

Для ДДЗ встановлено (рисунок 1.2):

- низький Q (високе загасання) – у газонасичених і тріщинуватих породах;
- високий Q (низьке загасання) – у щільних карбонатах і солях.

Аналіз Q -фактора дозволяє відрізнити водонасичений пласт від нафтоносного шару, оскільки нафта є більш в'язкою і поглинає енергію інакше.

Розглянемо коефіцієнти поглинання поздовжніх (α_p) та поперечних (α_s) хвиль.

Ці параметри мають вирішальне значення для прогнозування літології та продуктивності.

Механізм тертя – це, коли хвиля проходить крізь породу, мінеральні зерна зсуваються одне відносно одного. У сухому граніті це тертя мінімальне, а в пухкому пісковіку з нафтою – дуже високе.

Чутливість до газу – газонасичені пласти діють як сильні «поглиначі» високих частот. Це створює ефект «сейсмічної тіні» під газовими резервуарами, що є прямою пошуковою ознакою.

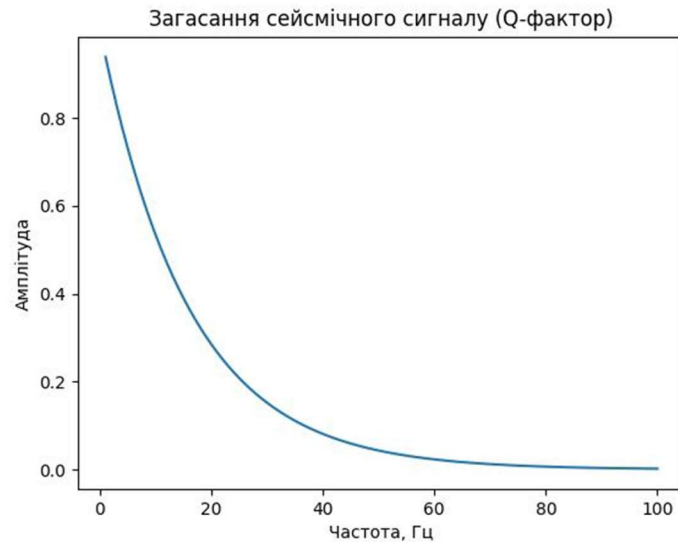


Рисунок 1.2 – Загасання амплітуди сейсмічного сигналу залежно від частоти (Q-фактор)

Поглинання сейсмічного сигналу завжди залежить від частоти: високі частоти згасають швидше, через що після проходження крізь продуктивний пласт спектр зміщується в бік нижчих частот (ефект «червоного зміщення»). Крім того, поглинання є прямою ознакою проникності, оскільки втрати енергії через в'язке тертя залежать від свободи руху флюїду в поровому просторі [2].

До динамічних параметрів належать: амплітуда, енергія сигналу, коефіцієнти відбиття [19, 26].

Амплітуда сейсмічного сигналу безпосередньо пов'язана з контрастом фізичних властивостей на межі двох середовищ.

Коефіцієнт відбиття (R) – це найважливіший показник динаміки. Він визначається різницею акустичної жорсткості ($V \cdot \rho$) гірських порід. Він найкраще підходить для визначення контуру залягання та продуктивності. Різка зміна амплітуди часто вказує на перехід від щільної породи до пористого колектора.

AVO-аналіз (Amplitude Versus Offset) – сучасний метод вивчення того, як амплітуда змінюється залежно від відстані між джерелом і приймачем. Це дозволяє розділяти вплив літології та флюїдонасичення, що має вирішальне

значення для пошуку газу. AVO-аналіз дозволяє диференціювати газонасичені та водонасичені пласти. Для ДДЗ характерні AVO-аномалії II – III класу, що часто відповідають газовим покладам [18, 19].

Спектральний аналіз дозволяє оцінити частотний склад сигналу. Будь-який сейсмічний сигнал складається з набору частот (спектра). Спектр змінюється, коли хвиля проходить через геологічний розріз. До основних параметрів відносять: домінуюча частота, ширина спектру та спектральне затухання [30].

Частотна фільтрація середовищем полягає у швидшому поглинанні Землею високих частот, що через інтерференцію дозволяє виявляти складні об'єкти (наприклад, русла річок). Для їх деталізації застосовують спектральну декомпозицію – розкладання сигналу на частотні компоненти, що незамінно для картування тонких пластів, виклинювань та літологічних пасток поза межами стандартної роздільної здатності. Водночас фазові характеристики відображають природу та безперервність геологічних границь, а миттєва фаза допомагає чітко візуалізувати приховані розломи та порушення структури [28].

Також, низькочастотні аномалії («low-frequency shadows») є додатковим індикатором наявності вуглеводнів.

Поляризація хвиль відображає напрямок коливань частинок середовища і описує траєкторію руху частинок гірської породи у просторі під час проходження хвилі. У середовищі, де панує анізотропія (неоднакові властивості в різних напрямках), тип поляризації змінюється [4].

Розглянемо деякі важливі функції поляризації.

Діагностика тріщинуватості – це головна функція поляризації. Коли поперечна хвиля (V_s) потрапляє у пласт із паралельними тріщинами, вона розщеплюється на дві складові, що поширюються з різною швидкістю. Аналіз цього розщеплення дозволяє визначити напрям тріщин у колекторі, що має вирішальне значення для розробки сланцевих покладів.

Визначення типу хвилі. В цьому випадку поляризація допомагає відокремити корисні сигнали від перешкод (наприклад, поверхневих хвиль). Це підвищує точність визначення механічних властивостей та літології.

У складних геологічних умовах ДДЗ ми можемо спостерігати розщеплення S-хвиль (shear-wave splitting), що призводить до виникнення анізотропії середовища. До причин цього можна віднести: тріщинуватість, шаруватість, тектонічні напруження [26].

Дисперсія сейсмічних хвиль – це залежність швидкості поширення хвилі від її частоти. У ідеально пружному тілі дисперсії немає, але реальні геологічні пласти – це складні пористі системи [7, 30].

Високочастотні та низькочастотні коливання по-різному «захоплюють» структуру гірських порід. Це пояснюється тим, що наявність газу чи нафти в порах посилює дисперсію, поширюючи таким чином різні спектральні компоненти з різними швидкостями.

Оскільки дисперсія тісно пов'язана з в'язким тертям рідини в порах, її аналіз дозволяє оцінювати здатність пласта віддавати флюїд. Це складне завдання, яке потребує високочастотної сейсмоакустики. Розглянемо дисперсійну криву на рисунку 1.3. На ньому бачимо, що швидкість змінюється з частотою і це особливо виражено в пористих середовищах. Отже, сильна дисперсія – газонасичення, а слабка – щільні породи [7, 30].

Хоча поляризація та дисперсія є складнішими для вимірювання, вони забезпечують перехід від макромоделі (де розташований пласт) до мікромоделі (як він влаштований всередині).

Таким чином, геологічна інтерпретація сейсмоакустичних параметрів базується на розумінні їх фізичної природи та цільового призначення. Жоден параметр не є універсальним, а їх ефективне застосування можливе лише з урахуванням конкретних геологічних задач і умов дослідження.

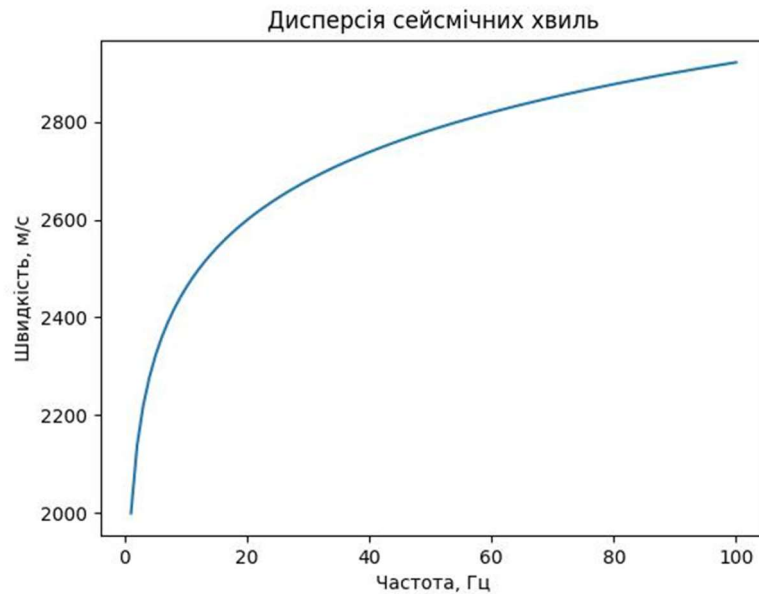


Рисунок 1.3 – Дисперсійна залежність швидкості поширення хвиль від частоти

1.3 Поняття інформативності геофізичних параметрів

Інформативність геофізичних параметрів визначає їхню здатність надійно відображати структуру й властивості геологічного середовища, розрізняти геологічні особливості та зменшувати неоднозначність інтерпретаційних рішень [28, 29].

Цей показник не є універсальним і прямо залежить від конкретної задачі: параметри, ефективні для вивчення структурної будови, можуть бути малоінформативними для аналізу колекторських властивостей, і навпаки. Така специфіка зумовлена різною чутливістю швидкісних, амплітудних, спектральних та поглинальних характеристик до окремих елементів розрізу [28, 29].

Оцінювання інформативності базується на аналізі чутливості параметрів до змін властивостей порід, їхньої стабільності у сейсмічному полі та стійкості до завад чи похибок обробки. Оскільки однакові значення параметрів можуть

відповідати різним геологічним умовам, результати вимагають обережного трактування.

Важливою особливістю є зростання інформативності при комплексуванні параметрів різної природи. Поєднання кінематичних і динамічних характеристик компенсує обмеження окремих методів і підвищує достовірність прогнозу, що є основою сучасної методології сейсмоакустичної інтерпретації [26, 28].

1.4 Класифікація сейсмічних атрибутів

Сейсмічний атрибут – це обчислений із первинного сигналу параметр, який трансформує складні для прямої інтерпретації амплітудні траси у більш інформативні показники, підкреслюючи конкретні фізичні, геометричні або динамічні характеристики підземного середовища [4, 18].

З математичної точки зору, атрибут є функцією від сейсмічного сигналу або групи сусідніх трас, яка враховує амплітуду, фазу, частоту чи просторові співвідношення. Аналізуючи схожість сигналів, зміну частоти або енергію в інтервалі, кожен атрибут «підсвічує» окрему властивість геологічного середовища, яку неможливо побачити без такої додаткової обробки.

З геофізичної точки зору, сейсмічні атрибути є своєрідним мостом між «сирими» хвильовими даними та геологічною інтерпретацією. Вони дозволяють перейти від абстрактного сигналу до конкретних висновків: де проходить розлом, де можливий колектор, де змінюється літологія або присутній газ. Наприклад, різка зміна когерентності може вказувати на тектонічне порушення, а зниження миттєвої частоти – на газонасичення [21].

Сейсмічні атрибути не вимірюються в природі безпосередньо, а є результатом обробки даних, тому їхня якість та інформативність залежать від вихідних записів, методів обробки й правильного вибору під конкретну геологічну задачу. Залежно від умов, один і той самий атрибут може бути як високоефективним, так і майже неінформативним.

У сучасній геофізиці використання сейсмічних атрибутів є стандартом, особливо при 3D-сейсміці, де вони дозволяють автоматизувати інтерпретацію, будувати карти властивостей пластів і значно зменшувати невизначеність при пошуку родовищ вуглеводнів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація сейсмічних атрибутів та їх геологічна інформативність

Категорія	Назва атрибута	Що вимірює / Фізична суть	Геологічна інформативність (Призначення)
Геометричні (Структурні)	Когерентність / Дисперсія - Coherence / Variance	Ступінь схожості сусідніх трас.	Виявлення розривних порушень (розломів), меж каналів, зон тріщинуватості.
	Кривина (max позитивна / негативна) - Curvature (Most Positive/Negative)	Ступінь викривленості сейсмічного горизонту.	Прогнозування зон тріщинуватості, дрібних флексур та напруженого стану пласта.
	Chaos	Локальну хаотичність сейсмічного сигналу.	Виділення соляних куполів, газових труб (gas chimneys) або зон обвалення.
Амплітудні (Фізичні)	Середньоквадратична амплітуда - RMS Amplitude	Середньоквадратичну амплітуду у вікні.	Прямі ознаки покладів вуглеводнів (DHI), зміна літології, оцінка пористості.
	Sweetness	Комбінація амплітуди та миттєвої частоти.	Виявлення "солодких плям" — нафтонасичених пісковиків у глинистому розрізі.
	Середня амплітуда - Average Magnitude	Середнє значення модуля амплітуди.	Виділення яскравих плям (bright spots), картування фацій.
Спектральні (Часові)	Миттєва фаза - Instantaneous Phase	Миттєву фазу сигналу (не залежить від амплітуди).	Простеження слабких горизонтів, виявлення переривчастості пластів та неузгоджень.
	Миттєва частота - Instantaneous Frequency	Миттєву частоту (швидкість зміни фази).	Індикатор потужності пласта; низькі значення частоти часто вказують на поклади газу.
	Спектральна декомпозиція - Spectral Decomposition	Розклад сигналу на окремі частоти.	Детальне картування руслових систем, виклинювання пластів та оцінка їхньої товщини.

Геометричні атрибути використовують для вивчення будови середовища, залягання пластів та їхніх структурних особливостей. Вони відображають узгодженість сусідніх сейсмічних трас: плавну зміну сигналу пов'язують з однорідністю середовища, а різкі злами чи розбіжності свідчать про наявність розломів, тріщин або інших порушень [20, 21].

Геометричні (структурні) атрибути – когерентність, кривина та chaos відображають форму й порушення геологічного середовища через аналіз узгодженості сусідніх трас. Вони є базовим інструментом для побудови структурної моделі родовища, оскільки чітко підсвічують тектоніку, межі каналів та зони деформацій.

Когерентність оцінює схожість сусідніх сейсмічних трас: за спокійного залягання пластів її значення високі, а розломи чи різкі межі порушують цю схожість, відображаючись на розрізах контрастними лініями.

Кривина (Curvature) визначає ділянки найбільшого вигину сейсмічних горизонтів (прогинання чи випуклості), що вказує на напружений стан порід і слугує непрямым індикатором тріщинуватості колекторів.

Chaos вимірює рівень неупорядкованості сигналу, виділяючи хаотичні й «розбиті» зони (соляні тіла, обвали, газові аномалії), що дозволяє швидко локалізувати складні геологічні об'єкти.

У комплексі ці атрибути ефективно доповнюють один одного: когерентність фіксує розривні межі, кривина вказує на деформації, а Chaos локалізує зони загального порушення структури, забезпечуючи повне розуміння розрізу без ручного аналізу кожної траси.

Амплітудні атрибути більше «про зміст», ніж про форму. Вони показують, як змінюється енергія сигналу, а це вже безпосередньо пов'язано з властивостями порід. Коли сейсмічна хвиля відбивається від межі двох шарів, її амплітуда залежить від того, наскільки ці шари відрізняються за густиною та швидкістю поширення хвиль [18, 29].

Амплітудні атрибути працюють з енергією сейсмічного сигналу, відображаючи силу відбиття по розрізу, що дозволяє фіксувати зміни літології та виявляти флюїди (зокрема, аномалії «яскраві плями»). Для пошуку вуглеводнів і локалізації колекторів найчастіше використовують середню амплітуду, Sweetness та середньоквадратичну амплітуду.

Середньоквадратична амплітуда (RMS amplitude) є ключовим атрибутом для оцінки енергії сигналу в інтервалі. Вона усереднює значення з більшою

вагою для сильних відбиттів, чітко виділяючи зони підсилення. Такі енергетичні аномалії зазвичай збігаються з межами колекторів або ділянками літологічного контрасту, першими вказуючи на перспективні об'єкти.

Середня амплітуда розраховується як звичайне середнє значення без акценту на пікових показниках, що забезпечує згладжену картину сейсмічного поля. Це дозволяє уникнути впливу поодиноких аномалій і отримати стабільний результат при аналізі загального характеру змін по площі, зокрема під час картування фацій або виділення великих геологічних тіл.

Атрибут Sweetness поєднує амплітуду з частотою сигналу: його високі значення формуються при одночасному зростанні амплітуди та зниженні частоти. Оскільки таке співвідношення властиве високоякісним колекторам, Sweetness активно застосовують для локалізації «sweet spots» - ділянок із найвищим нафтогазовим потенціалом. Загалом амплітудні атрибути вказують на фізичні властивості й наповнення порід, а не на їхню форму, тому їх ефективно використовують для підтвердження наявності вуглеводнів, коли структура родовища вже відома.

Спектральні атрибути забезпечують детальніший аналіз, фокусуючись на поведінці сигналу в часі (частоті, фазі, компонентах). Це дозволяє виявити особливості розрізу, невидимі на звичайному амплітудному записі [4, 21].

Миттєва фаза чітко простежує горизонти незалежно від сили сигналу, а миттєва частота є індикатором газу через ефект «заниження» частот газонасиченими інтервалами. Спектральне розкладання дає змогу досліджувати об'єкти на різних частотах, деталізуючи тонкі пласти або давні руслові системи [18, 21].

Спектральні атрибути аналізують сейсмічний сигнал як сукупність хвиль різної частоти та фази, оцінюючи його формування в часі. Найчастіше в роботі використовують миттєву фазу, миттєву частоту та спектральну декомпозицію.

Миттєва фаза є стабільною і підкреслює безперервність відбиттів незалежно від амплітуди. Завдяки цьому на розрізах пласти відображаються

без хибних розривів, що робить її незамінною для чіткого простеження й кореляції горизонтів на складних ділянках.

Миттєва частота відображає зміну спектра в кожній точці. Оскільки газонасичені пласти інтенсивно поглинають високочастотні компоненти, такі інтервали супроводжуються локальним зниженням частоти, що слугує додатковим критерієм нафтогазоносності.

Спектральна декомпозиція розкладає сигнал на окремі частотні компоненти для ізолюваного аналізу. Це дозволяє візуалізувати різномасштабні об'єкти (тонкі пласти проявляються на високих частотах, потужні – на низьких) і детально картувати складні стратиграфічні пастки, зокрема руслові системи.

Висновок по розділу 1.

У цьому розділі узагальнено теоретичні засади використання сейсмоакустичних параметрів у геофізичних дослідженнях. Сейсморозвідка є одним із найінформативніших методів вивчення надр, оскільки через аналіз поширення пружних хвиль у неоднорідному середовищі дозволяє отримувати достовірні відомості про будову, склад і властивості гірських порід без буріння.

Параметри сейсмічного хвильового поля відображають фізичний стан середовища і застосовуються для визначення літології, колекторських властивостей та флюїдонасичення пластів. Ефективність інтерпретації залежить від комплексного аналізу цих характеристик, що зменшує неоднозначність побудов і підвищує надійність прогнозів.

Отже, ці теоретичні положення є основою для практичного застосування сейсмоакустичних параметрів під час інтерпретації даних та оцінювання перспектив нафтогазоносності досліджуваних територій.

2 ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ СЕЙСМОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Оцінювання інформативності сейсмоакустичних параметрів базується на системному підході до аналізу хвильового поля, зареєстрованого в межах досліджуваної ділянки [14].

2.1 Характеристика сейсмічних матеріалів та умов їх отримання

Якість матеріалів сейсмозвідки MBX є базовим фактором, що визначає межі інформативності подальшого аналізу. Щоб сейсмоакустичні параметри (амплітуда, частота, фаза) надійно відображали геологічні межі, умови реєстрації складного хвильового поля повинні зберігати динамічний діапазон та спектральну повноту сигналу [14, 27].

Сейсмічні дані є основою для реконструкції геологічної архітектури надр за результатами польових спостережень зі штучними пружними збуреннями. Процес перетворення цих збурень у змістовну геологічну модель проходить через кілька ключових етапів трансформації даних.

На рівні первинної реєстрації (сейсмограми) формується вихідний масив інформації, який фіксує коливання ґрунту в часовій області. Сейсмограми є «сирим» відбитком хвильового поля, де корисні сигнали від цільових горизонтів співіснують із різнотипними завадами, що вимагає подальшої сепарації даних.

Рівень структурної візуалізації (результативні матеріали 2D/3D): шляхом складного математичного опрацювання – зокрема деконволюції, стекування та міграції – розрізнені записи трансформуються у цілісні часові або глибинні розрізи та об’ємні куби. Саме ці матеріали дозволяють геологу візуалізувати просторове положення відбивних меж та детально вивчати морфологію хвильових пакетів у межах дослідної площі.

Рівень фізико-геологічної інтерпретації (сейсмоакустичні параметри): кінцевим етапом аналізу є вилучення інформації про внутрішню будову

середовища. На основі динамічних та кінематичних характеристик розраховуються швидкісні моделі та амплітудні аномалії, що дає змогу вийти за межі простої геометрії та прогнозувати літологічний склад порід, а також характер їхнього флюїдонасичення.

Проте варто розуміти, що надійність такої інтерпретації безпосередньо залежить від техніко-технологічних факторів на етапі польових робіт. Визначальними чинниками, що формують фундамент майбутньої інформативності, є вибір джерела збудження та врахування особливостей середовища реєстрації.

Вибір джерела збудження визначає початкову форму сигналу: вибухові джерела генерують імпульс із широким спектром, що підвищує роздільну здатність, але вимагає підбору глибини заряду для уникнення впливу зони малих швидкостей (ЗМШ). Вібраційні джерела дозволяють контролювати частотний склад через налаштування свіп-сигналу, що забезпечує стабільність форми хвилі – критичний фактор для оцінювання динамічних параметрів [31].

Верхня частина розрізу (ВЧР) діє як природний фільтр, оскільки приповерхневі неоднорідності (зміни потужності ґрунту, рівень підземних вод) зумовлюють поглинання високочастотної складової та появу статичних затримок. Без врахування цих умов на етапі збору даних подальше оцінювання інформативності швидкостей чи амплітуд матиме значні похибки, не пов'язані з цільовим об'єктом [14].

Розглянемо параметри реєстрації та їх методичне значення:

- 1) крок спостереження – визначає максимальну роздільну здатність по горизонталі та запобігає ефекту «елайзингу» (накладання частот);
- 2) кратність спостережень. Висока кратність (60-кратна і вище) дозволяє ефективно придушувати випадкові завади та кратні відбиття, що є необхідним для коректного AVO-аналізу (аналіз зміни амплітуд з відстанню);
- 3) динамічний діапазон запису. Сучасні 24-бітні системи реєстрації дозволяють фіксувати слабкі відбиття від глибоких горизонтів на фоні

сильних завад, що розширює інформативність динамічних характеристик [17, 27].

Окрім впливу ВЧР, роздільну здатність методу обмежують геометричні викривлення через складний рельєф та неоднорідності в інклінометрії. Вони ускладнюють розрахунок поправок, а будь-яка нелінійність у геометрії системи спостереження розфокусовує хвильові пакети, створюючи на часових розрізах фальшиві структурні аномалії.

Суттєвою проблемою є й екрануючий ефект літологічних неоднорідностей. Потужні високошвидкісні товщі (соляні штоки чи масивні карбонати) відбивають або розсіюють більшість пружної енергії, через що підстилаючі відклади потрапляють у «сейсмічну тінь», а підекранні цільові горизонти стають слабовираженими або невидимими.

Достовірність моделі також лімітується ландшафтними умовами (болота, піщані масиви), які генерують інтенсивні завади. Їхні поглинаючі та розсіювальні властивості критично знижують відношення сигнал/завада, що ускладнює виділення слабоконтрастних геологічних меж і деталізацію розрізу.

Отже, інформативність сейсмічних параметрів закладається на етапі польових робіт і залежить від техніко-методичних умов реєстрації.

Для забезпечення високої інформативності динамічних параметрів (амплітуд та фаз), обробка даних виконувалася за графом, що передбачав збереження істинного співвідношення амплітуд. Особлива увага приділялася корекції за вплив верхньої частини розрізу, оскільки неоднорідності в приповерхневому шарі (яри, балки, зони поглинання) можуть створювати фальшиві аномалії на часових розрізах [31].

2.2 Методи аналізу кінематичних і динамічних параметрів

Методика оцінювання інформативності базується на комплексному аналізі двох груп параметрів, кожна з яких несе специфічну інформацію про

геологічне середовище, також передбачає роздільний та комплексний аналіз кінематичних і динамічних ознак хвильового поля.

Кінематика сейсмічних хвиль вивчає геометрію променів та час їхнього пробігу для реконструкції форми відбивних меж і побудови швидкісної моделі середовища. Цей процес починається з аналізу годографів, які відображають залежність часу реєстрації хвилі від відстані між пунктом вибуху та приймачем. Дослідження форми годографів дозволяє чітко визначити типи хвиль (прямі, відбиті, заломлені) та розрахувати ефективні швидкості, що є підґрунтям для детальних структурних побудов.

Основним інструментом подальшої інтерпретації виступає аналіз швидкостей, який реалізується через кілька послідовних методичних підходів:

1) визначення середніх та ефективних швидкостей, які розраховуються за годографами відбитих хвиль. Вони використовуються для загальної побудови глибинно-швидкісної моделі, проте мають обмежену інформативність для детального прогнозу літології;

2) аналіз інтервальних швидкостей: розрахунок проводиться за формулою Дікса або методами томографії. Інтервальна швидкість безпосередньо залежить від модуля пружності та щільності породи, що робить її чутливим індикатором для визначення типу породи (пісковик, аргіліт, вапняк) та її ущільнення з глибиною [16];

3) вертикальне сейсмічне профілювання використовується для найбільш точної прив'язки часового розрізу до глибинного. Це еталонний метод аналізу кінематики, що дозволяє оцінити зміну швидкості безпосередньо в розрізі свердловини [26].

Динаміка хвильового поля є значно більш інформативною для прогнозування пористості та флюїдонасичення, ніж кінематика. Вона базується на вивченні енергії та форми запису. Ці дані є ключовими для прогнозування пористості, нафтогазонасиченості та речовинного складу порід.

Комплексний аналіз на основі перетворення Гільберта детально вивчає динаміку хвильового поля. Ключовим інструментом є AVO-аналіз, який досліджує зміну амплітуди відбиття залежно від кута падіння чи видалення від джерела. У сучасній геофізиці це основний метод прямого пошуку вуглеводнів, оскільки газонасичені пласти генерують специфічні амплітудні аномалії [19, 27].

Паралельно застосовується сейсмічна інверсія – трансформація сейсмічної траси у профіль акустичного імпедансу для оцінки фізичних властивостей порід. Цю картину доповнює спектральний розклад (де згасання високих частот індикує флюїдонасичені колектори або тріщинуватість) та похідні атрибути, як-от миттєва фаза чи когерентність. Остання чітко локалізує тектонічні порушення (скиди й зсуви), малопомітні на стандартних розрізах [27, 31].

Для достовірності результатів динамічні характеристики аналізуються у зв'язку з кінематичними параметрами. Кінематичний аналіз вибудовує структурний каркас і просторову модель, відповідаючи на питання «де» локалізована межа, тоді як динаміка наповнює її фізичним змістом, пояснюючи «що» саме вона собою являє (наприклад, перехід від щільних вапняків до пористих пісковиків).

Проте надійність інтерпретації обмежена поглинанням у ВЧР, оскільки приповерхневі викривлення можна помилково прийняти за геологічні аномалії. Тому використання систем спостереження з високою кратністю за методикою МСГТ є критичним – це єдиний шлях забезпечити стабільність хвильового поля для виділення слабких динамічних відгуків від глибоких горизонтів.

2.3 Критерії та методи оцінювання інформативності

Оцінювання інформативності ґрунтується на здатності сейсмічного параметра фіксувати зміни фізичних властивостей порід і забезпечувати їхню

Тому оцінювання інформативності сейсмоакустичних параметрів зосереджене на виявленні ознак хвильового поля, які найбільш однозначно відображають літологію, пористість та флюїдонасичення. Цю інформативність розглядають як ступінь відповідності між геофізичним сигналом і реальними фізико-механічними властивостями гірських порід, що є індикатором успішності геологорозвідки [17, 27].

Матричний аналіз інформативності за даними ПГР виступає основним методом вибору цільових параметрів під конкретні прогностні задачі (таблиця 2.1).

*Таблиця 2.1 – Інформативність сейсмоакустичних параметрів при
рішенні задач прогнозування геологічного розрізу*

Інформативність сейсмоакустичних параметрів при рішенні задач прогнозування геологічного розрізу (ПГР)										
Параметри	Час приходу хвиль	Швидкість поздовжніх хвиль Vp	Швидкість поперечних хвиль Vs	Vp/Vs	Поглинання поздовжніх хвиль ap	Поглинання поперечних хвиль as	Коефіцієнт відбиття	Спектральні характеристики	Поляризація коливань	Дисперсія хвиль
Глибина залягання										
Контур залягання										
Товщина пласта										
Продуктивність										
Літологія										
Механічні властивості										
Газо- й нафтоводяні контакти										
Пластовий тиск										
Пористість										
Проникність										
Генезис залягання										
Позначка										
Пояснення	Найкраща	Хороша	Корисна	В поєднанні з іншою інформацією						

Структурні задачі (глибина й контури залягання) найкраще вирішуються через коефіцієнти відбиття та часові параметри. Речовинний склад (літологія, пористість) знаходить максимальний відгук у полях поглинання поздовжніх (α_p) і поперечних (α_s) хвиль, а також у динаміці відношення швидкостей V_p/V_s . Флюїдонасичення та продуктивність детектуються через спектральні характеристики, тоді як складні для прогнозу проникність і генезис відкладів вимагають поєднання швидкостей та параметрів поглинання [17, 29].

Аналіз інформативності сейсмоакустичних параметрів, наведений у таблиці 2.1, показує, що ефективність їх використання безпосередньо залежить від поставленої геологічної задачі та фізичних властивостей середовища, які необхідно визначити. Жоден параметр не є універсальним для всіх випадків, однак окремі з них відіграють провідну роль при розв'язанні конкретних задач прогнозування геологічного розрізу.

Структурні задачі, зокрема визначення глибини та контуру залягання пластів, найнадійніше вирішуються за швидкісними характеристиками хвильового поля. Швидкості поздовжніх і поперечних хвиль та їхнє співвідношення V_p/V_s відображають зміну пружних властивостей порід і дозволяють впевнено простежувати межі геологічних тіл, а параметри поглинання хвиль уточнюють характер переходів між середовищами [16, 19].

При дослідженні літології, механічних властивостей і товщини пластів визначальним стає співвідношення V_p/V_s у поєднанні з характеристиками затухання хвиль. Ці параметри чутливо реагують на зміну складу порід, ступінь їхнього ущільнення та особливості внутрішньої структури, що робить їх основою петрофізичної інтерпретації сейсмічних даних [17, 26].

Прогнозування колекторських властивостей (продуктивності, пористості та флюїдонасичення) потребує аналізу не лише кінематичних, а й динамічних параметрів. Найбільш інформативними тут виступають відношення V_p/V_s , коефіцієнт відбиття та показники поглинання, оскільки вони безпосередньо пов'язані зі зміною насичення порового простору, тоді як

поляризаційні та спектральні характеристики уточнюють положення флюїдальних контактів [17, 19].

Водночас такі параметри, як проникність або генезис залягання, не можуть бути надійно визначені за одним окремим показником. Їх оцінка можлива лише на основі комплексного аналізу сукупності сейсмоакустичних характеристик разом із геологічними та каротажними даними.

Отже, результати аналізу підтверджують, що найбільш універсальним індикатором стану геологічного середовища є співвідношення швидкостей V_p/V_s , тоді як швидкості хвиль забезпечують вирішення структурних задач, а параметри поглинання та відбиття є ключовими при прогнозуванні колекторських властивостей і флюїдонасичення порід. Це обґрунтовує необхідність комплексного використання сейсмоакустичних параметрів при прогнозуванні геологічного розрізу.

Основна мета використання сейсмоакустичних параметрів (швидкості, імпедансу, коефіцієнтів відбиття та поглинання) полягає в уточненні літолого-стратиграфічної будови розрізу. Аналіз цих параметрів дозволяє фіксувати зміни пружно-щільнісних характеристик середовища, які залежать від складу, пористості, ущільнення й насичення шарів, що забезпечує надійне виділення літологічних меж та прогноз зон розвитку флюїдонасичених колекторів.

Для переходу до конкретних числових значень використовується математичний апарат, де центральне місце посідає кореляційний аналіз сейсмічних атрибутів із даними ГДС у свердловинах. Коефіцієнт парної кореляції (r) оцінює тісноту лінійного зв'язку: значення $r > 0,7$ свідчить про високу інформативність параметра, а при $r > 0,9$ між ознаками один із них визнається надлишковим через мультиколінеарність. Окрім статистичного підходу, застосовується імовірнісний метод для визначення шансів безпомилкового розпізнавання об'єкта та аналіз чутливості, який оцінює варіації сейсмічного відгуку при мінімальних змінах геологічного фактора (наприклад, пористості на 2%) [26, 29].

Важливим критерієм надійності є відношення сигнал/завада: інформативність динамічного параметра вважається достатньою, якщо амплітуда корисної аномалії перевищує середньоквадратичне відхилення фонового шуму щонайменше у 2 – 3 рази. Для обґрунтування цих показників застосовують пряме моделювання, створюючи еталонну модель за даними ядра й АК/ГГМ-Г з подальшою штучною варіацією пористості чи флюїдонасичення. Через розрахунок синтетичних сейсмограм аналізують чутливість системи: якщо зміна геологічного фактора не викликає помітних флуктуацій сигналу, що виходять за межі похибки запису, параметр визнається малоінформативним.

У складних випадках, де пряма кореляція відсутня, використовують ентропійне оцінювання, де інформативність визначається як величина зменшення невизначеності (різниця між апіорною та апостеріорною імовірністю) після отримання сейсмічного параметра. Проте надійність оцінок завжди обмежена фізичними факторами: низька кратність спостережень спотворює спектри й амплітуди, неоднорідна ЗМШ у верхній частині розрізу створює хибні аномалії, а дисперсія хвиль суттєво ускладнює аналіз кінематики в неоднорідних геологічних умовах [27].

2.4 Похибки та обмеження сейсмоакустичної інтерпретації

Процес сейсмічної інтерпретації пов'язаний із похибками та обмеженнями, які впливають на інформативність сейсмоакустичних параметрів. Основними чинниками невизначеності є техногенні завади, неоднорідність ВЧР, фізичні ліміти роздільної здатності та спрощення в алгоритмах обробки даних. Розуміння їхньої природи є критично важливим для об'єктивного визначення меж застосування параметрів під час прогнозування розрізу та оцінки достовірності фінальних висновків.

Неоднозначність (неєдиність) розв'язку оберненої задачі є фундаментальним обмеженням, коли одна й та сама сейсмічна картина

відповідає кільком різним геологічним моделям. Це явище еквівалентності виникає через ідентичний сейсмічний відгук на різні причини: наприклад, зростання амплітуди може свідчити як про наявність газу в колекторі, так і про появу вугільних пропластків чи зменшення глинистості. Для подолання цього бар'єру обов'язковим є залучення апріорної інформації буріння та ГДС.

Кінцева довжина сейсмічної хвилі накладає суворі обмеження на можливість деталізації об'єктів, де критичним чинником є вертикальна роздільна здатність. За критерієм Релея, коли товщина пласта стає меншою за чверть довжини хвилі ($\lambda/4$), відбиття від його покрівлі та підосви інтерферують і зливаються в єдиний відгук. Це унеможливорює диференціацію пластів у розрізі без застосування спеціальних методів високочастотної обробки.

З обмеженням роздільної здатності тісно пов'язаний ефект «настроювальної товщини» (tuning thickness). У пластах малої потужності виникає інтерференція, через яку амплітуда відбиття перестає відображати лише фізичні властивості породи, а починає критично залежати від геометричної товщини шару. Амплітуда досягає максимуму при товщині, близькій до $\lambda/4$, що створює небезпеку формування хибних аномалій типу «яскрава пляма» у зонах, де реальний поклад вуглеводнів відсутній, а є лише специфічне поєднання потужності пласта та частоти сигналу [19, 27].

Окрім вертикальних лімітів, існують суттєві обмеження роздільної здатності по латералі, яке визначається зоною Френеля. Велика площа цієї області на відбивній межі спричиняє ефект «змазування» хвильового образу, що заважає точній локалізації малоамплітудних тектонічних порушень або зон літологічного виклинювання. У результаті чіткі геологічні межі на часових розрізах трансформуються у розмиті перехідні ділянки, що вимагає особливої обережності при структурних побудовах.

Точність відтворення геометрії структурних планів, особливо при роботі з глибокозалягаючими горизонтами, перебуває у прямій залежності від

адекватності побудованої швидкісної моделі середовища. Будь-які прорахунки при розрахунку середніх чи інтервальних швидкостей неминуче трансформуються у суттєві викривлення структурних карт, що зумовлено дією кількох фундаментальних факторів.

Одним із критичних, але часто ігнорованих аспектів є акустична анізотропія середовища, коли швидкість поширення хвиль уздовж нашарування порід перевищує швидкість у перпендикулярному напрямку. Нехтування цим ефектом під час обробки та інтерпретації призводить до систематичних вертикальних похибок у діапазоні 3 – 7%. Такі відхилення є критичними при визначенні положення флюїдальних контактів (ГВК, НВК), де кожен метр помилки суттєво змінює оцінку запасів родовища.

Крім того, неправильно підібраний швидкісний закон провокує каскад геометричних спотворень хвильового поля, викривляючи реальні глибини горизонтів та порушуючи роботу алгоритмів міграції. У розрізах із різкими латеральними змінами швидкостей (соляні штоки, рифи, інтенсивна тектоніка) помилки фокусування сигналу просторово «зміщують» структурні елементи. Це створює серйозну загрозу при закладанні свердловин, оскільки проєктна точка може не збігатися з реальною вершиною структури чи продуктивною зоною [31].

Зрештою, комплексний вплив цих чинників вимагає постійного уточнення швидкісної моделі шляхом її калібрування за даними свердловинних спостережень (ВСП, АК), оскільки лише прямі вимірювання дозволяють мінімізувати вплив анізотропії та неоднорідностей середовища на кінцевий результат ПГР.

Зона малих швидкостей є агресивним джерелом спотворень у сейсмозвідці, оскільки цей приповерхневий шар першим взаємодіє з пружними коливаннями. Пухкий, водонасичений та неоднорідний склад верхньої частини розрізу зумовлює нерівномірне поглинання енергії й уповільнення сигналу, що негативно впливає на інтерпретацію.

Найбільш підступним проявом ЗМШ є формування «удаваних» структурних форм на часових розрізах. Через латеральну мінливість потужності або швидкості в цьому шарі виникають локальні затримки часу приходу хвиль, які без статичних поправок виглядають як антиклінальні підняття чи прогини. Такі аномалії легко прийняти за реальні геологічні об'єкти, хоча вони є ілюзією, спричиненою приповерхневими неоднорідностями.

Окрім часових зміщень, ЗМШ деградує динамічні характеристики поля через поглинання й розсіювання високочастотної складової спектра. Це знижує надійність AVO-інверсії та аналізу поглинання, оскільки стає важко розрізнити, чи зумовлена аномалія властивостями глибокого колектора, чи спотвореннями в приповерхневій товщі. Відтак ЗМШ виступає фільтром, що вимагає спеціальної математичної корекції під час обробки даних ПГР.

Крім того, процес інтерпретації часто обтяжується наявністю кратних відбиттів та випадкових шумів. Недосконале придушення кратних хвиль на етапі обробки створює фальшиві горизонти, які можуть бути сприйняті як реальні геологічні межі або глибокі пласти, що веде до неправильної оцінки загальної потужності осадового чохла [17].

2.5 Критерії та методи оцінювання інформативності атрибутів

У сучасній сейсмічній інтерпретації відбувається перехід від аналізу первинних параметрів хвильового поля (часу, амплітуди, швидкості) до комплексного використання похідних величин – сейсмічних атрибутів. Це зумовлено зростанням вимог до детальності геологічних прогнозів, особливо при локалізації складних неантиклінальних пасток вуглеводнів та дослідженні тонкошаруватих колекторів [19, 27].

Традиційні параметри сейсмічних хвиль характеризують фізику поширення пружного збурення в середовищі, проте вони часто є «зашумленими» інтегральним впливом багатьох чинників одночасно.

Наприклад, зміна амплітуди на розрізі може бути викликана як реальною геологічною межею, так і зміною умов збудження на поверхні, поглинанням у верхній частині розрізу або інтерференцією.

Використання первинних параметрів сейсмічних хвиль має ряд обмежень:

Недостатня роздільна здатність. Параметри швидкості та часу обмежені домінуючою довжиною хвилі, через що вони «пропускають» дрібні тектонічні порушення та тонкі пласти [27, 31].

Проблема неоднозначності. Один і той самий параметр може відповідати різним геологічним сценаріям.

Складність візуальної кореляції. Монотонність хвильової картини у первинних параметрах унеможливорює виділення зон тріщинуватості або фаціальних змін без спеціальної математичної обробки.

Саме тому сучасна методологія передбачає розрахунок сейсмічних атрибутів, які дозволяють «декомпонувати» сейсмічну трасу на окремі складові, кожна з яких відповідає за конкретну фізичну властивість середовища [19].

Математичне обґрунтування через аналітичний сигнал

В основі більшості сучасних атрибутів лежить поняття аналітичного сигналу, який отримується через перетворення Гільберта. Сейсмічна траса $x(t)$ розглядається як дійсна частина комплексного сигналу

$$z(t) = x(t) + iy(t), \quad (2.1)$$

де $y(t)$ – квадратурна компонента (зсунута на 90°) [30].

Це дозволяє отримати три фундаментальні атрибути, що лежать в основі інформативного аналізу:

- миттєва амплітуда (обвідна) $A(t)$: відображає акустичну контрастність меж незалежно від фази [27];

- миттєва фаза $\phi(t)$: підкреслює структурну неперервність, навіть якщо енергія сигналу дуже низька [19];
- миттєва частота $\omega(t)$: реагує на поглинання енергії, що є прямим індикатором флюїдонасичення [30].

Оцінка інформативності атрибутів проводиться за складнішою схемою, ніж для звичайних параметрів. Основними критеріями виступають:

- 1) селективність – здатність атрибута виділяти цільовий геологічний фактор на фоні завад. Наприклад, якщо атрибут «косинус фази» чітко показує розрив лінії там, де амплітудний запис не змінюється, він визнається високінформативним для тектонічного аналізу;
- 2) статистична незалежність: у набір для інтерпретації обираються атрибути з низькою взаємною кореляцією. Якщо два атрибути дублюють один одного, їхня сумарна інформативність не зростає;
- 3) геологічна валідність – можливість однозначного переходу від математичного значення атрибута до фізичної властивості порід (пористість, тріщинуватість, тип флюїду) [17, 27].

Для систематизації вибору ефективних ознак геологічних завдань використовують матрицю інформативності (таблиця 2.2). Ця класифікація оцінює спроможність сейсмоакустичних атрибутів прогнозувати параметри розрізу – від структури до петрофізики, що дозволяє оптимізувати інтерпретацію шляхом вибору інструментів із найвищою кореляцією з цільовим параметром.

Аналіз таблиці 2.2 показує, що ефективність атрибутів визначається фізичною природою геологічних параметрів і хвильовим відгуком середовища. Структурні задачі, як-от визначення глибини й контурів залягання, найкраще вирішуються атрибутами когерентності та кривизни, які чітко виділяють розривні порушення й геометрію відбивальних горизонтів [27].

Таблиця 2.2 – Інформативність сейсмоакустичних атрибутів при рішенні задач прогнозування геологічного розрізу

Інформативність сейсмоакустичних атрибутів при рішенні задач прогнозування геологічного розрізу (ІПР)									
Параметри	Когерентність - Дисперсія - Coherence / Variance	Кривизна (max позитивна / негативна) - Curvature (Most Positive/Negative)	Chaos	Середньоквадратична амплітуда - RMS Amplitude	Sweetness	Середня амплітуда - Average Magnitude	Миттєва фаза - Instantaneous Phase	Миттєва частота - Instantaneous Frequency	Спектральна декомпозиція - Spectral Decomposition
Глибина залягання									
Контур залягання									
Товщина пласта									
Продуктивність									
Літологія									
Механічні властивості									
Газо- й нафтоводяні контакти									
Пластовий тиск									
Пористість									
Проникність									
Генезис залягання									
Помилка									
Пояснення	Найкраща	Хороша	Корисна	В поданих з іншою інформацією					

Аналіз інформативності сейсмічних атрибутів, наведених у таблиці 2.2, показує, що ефективність їх застосування визначається фізичною природою досліджуваних геологічних параметрів і характером хвильового відгуку середовища. Структурні задачі, зокрема визначення глибини та контурів залягання, найкраще вирішуються атрибутами когерентності та кривизни, оскільки вони забезпечують чітке виділення розривних порушень і геометрії відбивальних горизонтів [27].

Оцінка товщини пласта та літологічних особливостей найбільш ефективно здійснюється за часовими атрибутами та середньою миттєвою амплітудою, які відображають зміну акустичного імпедансу і внутрішньої будови порід. При дослідженні продуктивності, пористості та зон можливого флюїдонасичення найбільш інформативними виявляються атрибути Миттєвої фази, Спектральної декомпозиції та RMS-амплітуди, що чутливо реагують на зміну колекторських властивостей і наявність флюїдів у поровому просторі [17, 31].

Виділення газо- і нафтоводяних контактів та зон підвищеного пластового тиску найкраще забезпечується поєднанням амплітудних і частотних атрибутів, оскільки саме їхня динаміка відображає зміну енергетики хвильового поля. Водночас такі задачі, як прогноз проникності або генезису залягання, потребують комплексного аналізу декількох атрибутів одночасно, оскільки жоден із них окремо не забезпечує однозначної інтерпретації.

Таким чином, таблиця підтверджує, що найбільшу інформативність забезпечує інтегроване використання структурних, амплітудних і спектральних атрибутів, що дозволяє підвищити достовірність прогнозування геологічного розрізу та зменшити неоднозначність інтерпретації сейсмічних даних.

Отже основною метою застосування атрибутів при прогнозуванні геологічного розрізу є виділення геологічних меж, встановлення особливостей будови структур та виявлення пасток можливого накопичення вуглеводнів. Важливе значення при цьому має аналіз осей синфазності, які відображають просторову організацію відбиттів, свідчать про наявність перспективних структур і дозволяють окреслити їх межі. Найбільш ефективними для розв'язання цих задач є сейсмічні атрибути, що підвищують інформативність хвильового поля, зокрема розрізи миттєвих фаз, відносного акустичного імпедансу та середньоквадратичної амплітуди, які забезпечують чіткіше простеження стратиграфічних границь, структурних елементів і зон можливого колекторського розвитку.

Тому для оцінки ефективності атрибутів використовуються методи багатовимірної статистики та кластерного аналізу. Замість того, щоб аналізувати одну характеристику, інтерпретатор створює багатовимірний простір ознак. Критерієм інформативності в такому разі стає «відстань» між кластерами різних літофацій у цьому просторі.

Також застосовується метод теоретичних синтетичних моделей. На моделі з відомими параметрами розраховуються різні атрибути, і той, що

найкраще відтворює задану геологічну неоднорідність, обирається як основний для подальшої практичної роботи [31].

Таким чином, перехід від параметрів до атрибутів у розділі 2 обґрунтовується як методична необхідність для переходу від простої візуалізації меж до детального кількісного та якісного прогнозування геологічного розрізу. Це закладає теоретичний фундамент для практичних досліджень, де на основі розрахованих атрибутів буде виконано детальну інтерпретацію цільових об'єктів.

Висновок по розділу 2.

У другому розділі виконано методичне обґрунтування оцінювання інформативності сейсмоакустичних характеристик хвильового поля. Показано, що для детального вивчення геологічного розрізу недостатньо лише кінематичних параметрів, тоді як використання динамічних і спектральних показників суттєво підвищує чутливість інтерпретації до літологічних змін і нафтогазонасичення порід.

Застосування аналітичного сигналу та перетворення Гільберта дозволило обґрунтувати перехід до сейсмічних атрибутів, що зменшує неоднозначність інтерпретації та підвищує інформативність даних. Встановлено, що вибір ефективного комплексу атрибутів має базуватися на їх селективності, завадостійкості та фізико-геологічній обґрунтованості.

Урахування впливу зони малих швидкостей, поглинання та інтерференційних ефектів дало змогу визначити межі достовірності результатів і сформулювати основу для подальшого практичного аналізу сейсмічних матеріалів у наступному розділі роботи.

3 АНАЛІЗ ІНФОРМАТИВНОСТІ СЕЙСМОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ГЕОЛОГІЧНОГО РОЗРІЗУ

3.1 Коротка геологічна характеристика досліджуваної ділянки

Ковалівська площа розміщена в північно-східній частині Чернігівської області, в межах Бахмацького та Ічнянського районів (рисунок 3.1).

До найближчих населених пунктів належать м. Бахмач (районний центр), с. Фастовці, Мартинівка, Кропивне та ін. Транспортна мережа представлена переважно ґрунтовими дорогами; неподалік території досліджень проходять залізничні гілки Бахмач-Ічня та Бахмач-Ромни.

Рельєф території являє собою горбисту рівнину із загальним ухилом у південно-західному напрямку, розчленовану балками та ярами. Абсолютні висоти денної поверхні змінюються в межах 130 – 155 м.

Гідрографічна мережа представлена річками Ромен і Остер, а також болотами, невеликими струмками та ставками.

Клімат району помірно-континентальний, середньорічна температура повітря становить близько +6 °С.

В економічному аспекті район робіт має переважно сільськогосподарське спрямування. Основна частина населення зайнята у сільському господарстві, а також у харчовій та легкій промисловості [11].

У межах Ковалівської площі проведено значний комплекс геофізичних досліджень, який охоплює сейсморозвідувальні, гравіметричні, електророзвідувальні та магнітометричні роботи [2].

За результатами гравіметричної зйомки виділено локальний максимум північно-західного простягання, характерний для солянокупольних структур.

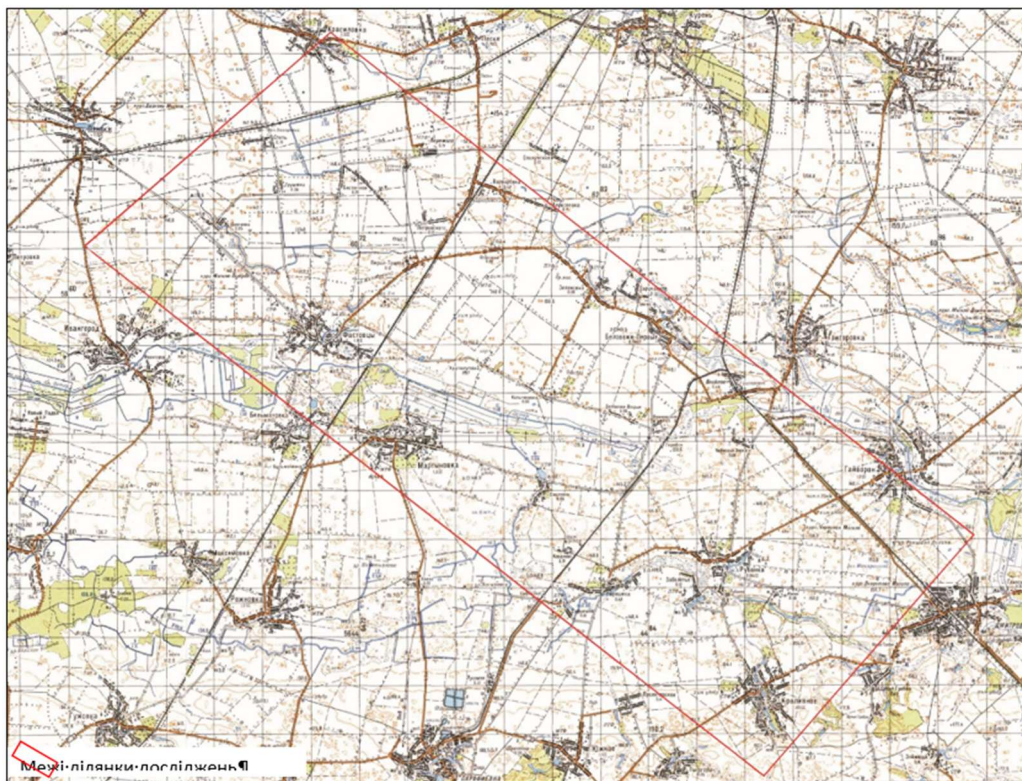


Рисунок 3.1 - Оглядова карта ділянки робіт на топографічній основі

Завдяки сейсморозвідувальним дослідженням, що велись із 1960-х років, було побудовано структурні плани мезозойських, пермських і кам'яновугільних відкладів. Роботами 1971 – 1972 років з'ясовано, що Плисківсько-Лисогорське підняття є структурою облягання виступу фундаменту, яка тектонічно розчленована на Плисківський, Мартинівський і Лисогорський блоки. Кожен із них вважається окремим перспективним об'єктом для пошуків нафти і газу [7].

У результаті подальших робіт (с.п. 8/76 та 8/77) вдалося уточнити геологічну будову північного схилу Плисківсько-Лисогорського виступу, зокрема його поділ на Волчегорський, Ковалівський, Пролетарський та Бережівський блоки (рисунок 3.2).

Для деталізації геологічної будови та вибору оптимального місця закладання параметричної свердловини з метою розкриття підсольових девонських відкладів у межах лінзовидного тіла на Ковалівській площі були

проведені додаткові сейсморозвідувальні дослідження [1, 2].

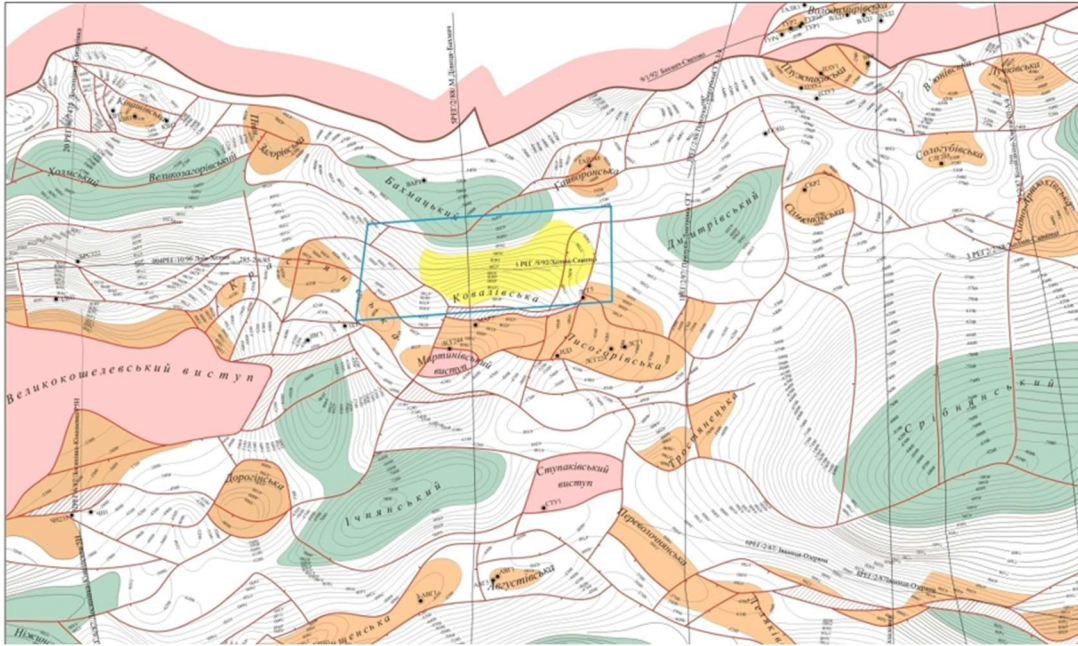


Рисунок 3.2 - Структурна карта по горизонту відбиття IV_5

У геологічній будові Ковалівської площі на кристалічному фундаменті докембрійського віку з кутовим та стратиграфічним неузгодженням залягає осадовий чохол, представлений палеозойськими, мезозойськими і кайнозойськими відкладами (рисунок 3.3). Оскільки сама територія не вивчена глибоким бурінням, її геологічну характеристику встановлено за даними свердловин із суміжних площ: Бахмацької, Гайворонської, Васиївської, Софіївської, Мартинівської та Лисогорської.

Кристалічні породи докембрію розкриті поблизу площі досліджень у межах північного борту ДДЗ. Зокрема, на Плисківсько-Лисогорському та Гайворонському виступах фундамент складений гранітами, гнейсами, кристалічними сланцями тощо [8, 15].

Найдавнішими осадовими утвореннями є девонські відклади, які залягають на фундаменті з великим стратиграфічним і кутовим

неузгодженням. У їхньому складі виділяють підсольовий, нижній соленосний, міжсольовий, верхній соленосний та надсольовий комплекси.

система	відділ	ярус	підярус	горизонт	товща
Д Е В О Н С Ь К А	В Е Р Х Н І Й	Ф А М Е Н С Ь К И Й	В Е Р Х Н І Й	Озерсько-Хованський	Надсольова D_3^6
				Данківський	
				Лебедянський	Верхня соленосна D_3^4
			Н И Ж Н І Й	Єлецький	Міжсольова D_3^5
				Задонський	
		Ф Р А Н С Ь К И Й	В Е Р Х Н І Й	Євланівсько-Лівенський	Нижня соленосна D_3^2
				Воронежський	Підсольова D_3^1
			С Е Р Е Д Н І Й	Алатирський	
				Семилукський	
			Н И Ж Н І Й	Саргаївський	
				Киновський	
				Старооскольський	
				Пярнусько-Нарівський	
	С Е Р Е Д Н І Й	Живетський			
		Ейфельський			

Рисунок 3.3 - Стратиграфічна схема осадової товщі девону в ДДЗ

Підсольові відклади складені теригенними, карбонатними та хемогенними породами зі значним вмістом вулканогенного матеріалу. Загальна товщина підсольового девону у свердловинах Мартинівська 5 та Лисогорська 244 становить відповідно 304 і 453 м [8].

Нижній соленосний комплекс характеризується різкою зміною потужностей – від майже повної відсутності до понад 5000 м у межах

Дмитрівського штока. У склепінній частині штока соленосні породи перекриті кепроком потужністю до 468 м.

Міжсольовий комплекс представлений переважно глинисто-карбонатними та теригенними породами. Його товщина у північній частині площі перевищує 1500 м, тоді як у південній частині вона становить лише 100–150 м [3, 10].

Верхній соленосний і надсольовий комплекси в межах території досліджень не розкриті.

Кам'яновугільні відклади залягають на міжсольових або підсольових утвореннях і поділяються на три відділи. Нижній відділ представлений турнейським, візейським і серпуховським ярусами. При цьому верхньовізейські відклади поширені повсюдно, складені піщано-глинистими породами з рідкісними прошарками вапняків і містять продуктивні горизонти В-14 – В-20 [3, 6].

У тектонічному відношенні територія досліджень розташована в північній прибортовій зоні західної частини ДДЗ.

За даними КМЗХ, у межах площі виділяється Плисківсько-Лисогорівський виступ, який з півночі облямовує Дмитрівський прогин і межує з крайовим розломом північного борту ДДЗ, уздовж якого простягаються Куреньський та Гайворонський виступи. Глибина залягання кристалічного фундаменту в западині сягає 5 – 6,5 км, а в межах виступів зменшується до 4,0 – 4,5 км (рисунок 3.4) [2, 12].

В осадовій товщі девону виділяються два структурні поверхи. Структурний план підсольового девону повторює рельєф фундаменту, тоді як будова надсольового комплексу зумовлена соляним тектогенезом. Соляні маси формують ядра надсольових структур, утворюючи вали та штоки, які подекуди проривають осадову товщу [12].

Мартинівське та Лисогорське склепіння відокремлені від північного схилу виступу фундаменту зоною розривних порушень, уздовж яких підсольові відклади занурюються ступінчасто. Ця зона, ймовірно, контролює

поширення соленосних відкладів, потужність яких зменшується на північ, аж до повної відсутності в центральній частині Дмитрівського компенсаційного прогину [9, 12].

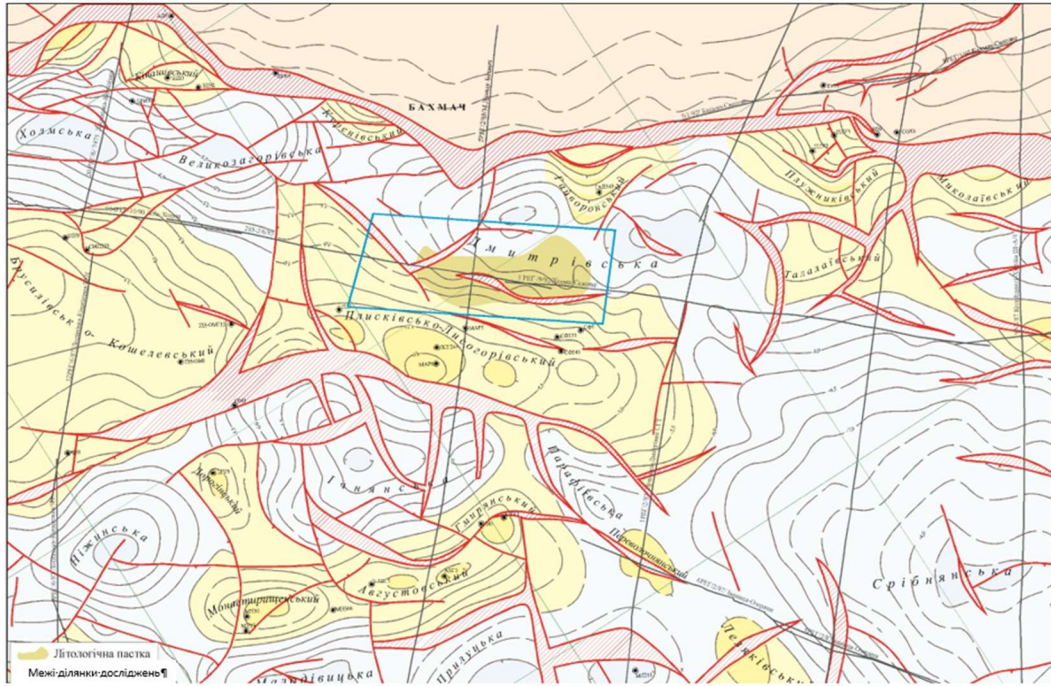


Рисунок 3.4 - Фрагмент структурної карти поверхні фундаменту (тп 100 Манюта М.Г.)

За надсольовим структурним планом VI3-4 виділено низку структур, пов'язаних із соляною тектонікою: Великозагорівську, Осинівську, Першотравневу, Остерську, Бельмачівську та Варварівську [12].

Район досліджень є перспективним щодо пошуків нафти і газу. Нафтогазоносність північно-західної частини ДДЗ підтверджується відкриттям понад 30 родовищ, пов'язаних переважно з локальними антиклінальними підняттями. Промислові поклади приурочені до відкладів від нижнього карбону до нижньої пермі [1].

Перші нафтогазопрояви поблизу проектної ділянки були зафіксовані у 1976 році у параметричній свердловині Лисогорська 6, де з інтервалу 4063 –

4070 м отримано нафтовий фонтан дебітом до 40 т/добу. Проте свердловина швидко обводнилася через неоптимальні режими випробування.

Газопрояви зафіксовані у свердловині Осинівська 1, де під час випробування КІІ з інтервалів 2996 – 3050 м (ПГ В-20) та 3113-3216 м (ПГ В-26) було отримано воду з газом.

У межах Петрушівської структури свердловинами 6, 7, 9 і 10 відкрито промислові поклади в горизонтах В-19, В-20, В-21 та В-26. Водночас частина свердловин розкрила щільні або водонасичені розрізи без ознак нафтогазоносності, що спростувало прогноз щодо наявності літологічних пасток виклинювання [1].

Попри це, перспективними залишаються неантиклінальні пастки різного типу: руслові, дельтові, прибережно-морські та карбонатні утворення.

На Ковалівському об'єкті перспективи нафтогазоносності, окрім уже зазначених продуктивних горизонтів верхньовізейських відкладів нижнього карбону, насамперед пов'язуються з карбонатними утвореннями девонського віку.

3.2 Аналіз інформативності швидкісних параметрів

Через складну рифтогенно-блокову будову приосьової частини ДДЗ швидкісні сейсмоакустичні параметри є ключовими для прогнозування розрізу Північно-Єфремівського ГКР. На профілі 319-04 їхню інформативність оцінювали через аналіз кінематики хвильового поля, швидкісного аналізу та зіставлення часових і глибинних побудов. Основну увагу приділили диференціації інтервальних та середніх швидкостей у мезозойських, кам'яновугільних і девонських відкладах (таблиця 3.1).

Аналіз часів приходу та швидкостей позовжніх хвиль дозволив надійно визначити геометрію відбивних горизонтів Північно-Єфремівського родовища в умовах асиметричної брахіантикліналі. Виявлені швидкісні аномалії допомогли простежити скиди й межі блоків у продуктивному

московському ярусі, що стало основою для побудови глибинної моделі та корекції профілю 319-04 [31].

Таблиця 3.1 – Швидкісна характеристика основних стратиграфічних комплексів (профіль 319-04)

Стратиграфічний комплекс	Глибина, м	Інтервальна швидкість, м/с	Характер інформативності
Мезозойські відклади	0 - 600	1800 - 2200	Низька (диференціація за літологією)
Карбонові відклади	600 - 3500	3200 - 4100	Середня (структурний каркас)
Девонські підсольові	до 4200	4800 - 5600	Висока (виділення жорстких меж)

За розподілом швидкостей встановлено, що пухкі мезозойські теригенні відклади мають найнижчі значення, тому їх використано лише для загальної стратифікації верхньої частини розрізу. У кам'яновугільних відкладах фіксується зростання швидкостей у щільних карбонатно-теригенних товщах. Проте через слабкоконтрастне швидкісне поле всередині карбонатних пачок ці параметри застосовували суто для структурного картування, оскільки для детального літологічного розчленування їх недостатньо.

Водночас оцінювання швидкостей поперечних хвиль та параметра V_p/V_s дозволило локалізувати зони газонасичення й уточнити контури флюїдних контактів в умовах високих пластових тисків і температур глибоких горизонтів карбону [16, 22].

В умовах соляного діпірізму швидкісний режим чітко вказав на приконтатні зони штоків із підвищеною тріщинуватістю, а значний

акустичний контраст забезпечив надійне трасування покрівлі підсольового комплексу. Найбільш контрастні характеристики продемонстрували підсольові девонські відклади, де високі інтервальні швидкості (4800 – 5600 м/с) за умов близько 180°C чітко відображають щільні карбонатні й доломітизовані породи з різким зростанням акустичної жорсткості [21, 27].

Таким чином, швидкісні параметри родовища є ефективним інструментом для структурної інтерпретації, трасування розломів і відтворення геологічних меж. Проте їх використання для прогнозування літологічних і колекторських неоднорідностей повинно здійснюватися виключно в комплексі з атрибутним аналізом та динамічними параметрами хвильового поля.

3.3 Аналіз динамічних характеристик

Аналіз динамічних характеристик сейсмічного запису (енергії, форми сигналу, спектрального складу та фазової структури) дозволяє перейти від геометричних побудов до вивчення фізичного стану й літологічних властивостей породи. Завдяки цьому такий атрибутний аналіз є ефективним інструментом для прогнозування літологічних неоднорідностей, зон тріщинуватості та флюїдонасичення [5, 20].

У межах профілю 319-04 для оцінювання інформативності сейсмоакустичних параметрів були використані амплітудні, фазові, спектральні та імпедансні атрибути.

Миттєва фаза та косинус миттєвої фази належать до найбільш інформативних атрибутів при дослідженні структурної будови складнодислокованих територій. Їх основною перевагою є незалежність від абсолютних амплітудних значень, що дозволяє підвищити контрастність осей синфазності та більш чітко виділяти елементи геологічної будови.

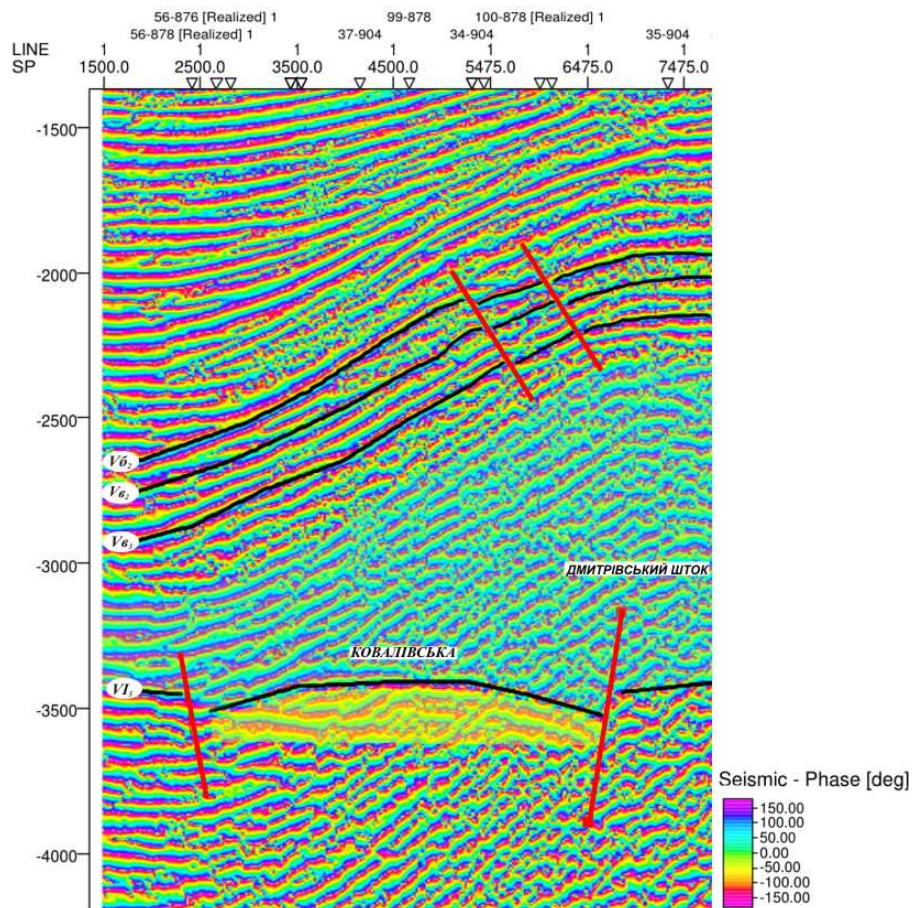


Рисунок 3.1 – Часовий розріз миттєвих фаз по профілю 319-04

На часовому розрізі миттєвої фази по профілю 319-04 (рисунок 3.1) простежується впорядкована система відбиттів у межах підсольового девону, що дозволяє деталізувати геометрію перспективної структури. Особливо чітко проявляються зони локального порушення синфазності, які інтерпретуються як малоамплітудні диз'юнктивні порушення [21, 27].

Використання косинуса миттєвої фази (рисунок 3.2) дозволило додатково підвищити контрастність меж відбиттів та виявити ділянки тектонічного екранування, що практично не проявлялися на традиційних часових розрізах. Такі зони можуть відігравати роль елементів пасток вуглеводнів або контролювати розвиток тріщинуватості.

Отже, фазові атрибути характеризуються високою інформативністю при аналізі структурної цілісності об'єкта та виділенні тектонічних порушень.

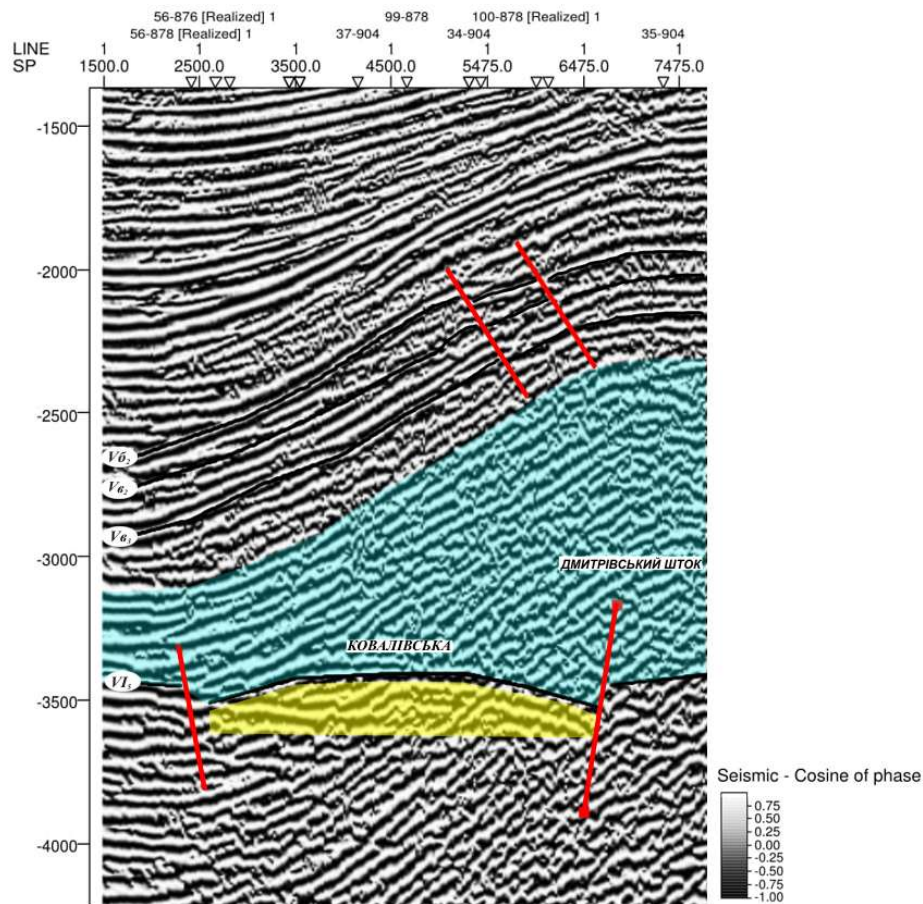


Рисунок 3.2 – Часовий розріз косинусів миттєвих фаз по профілю 319-04

Спектральні характеристики хвильового поля є чутливими до поглинаючих властивостей геологічного середовища. У процесі поширення сейсмічних хвиль через пористі та тріщинуваті породи відбувається вибіркове поглинання високочастотної складової сигналу, що проявляється у вигляді локального зниження домінуючих частот [23, 30].

На розрізах переважуючої (рисунок 3.3) та миттєвої частоти (рисунок 3.4) по профілю 319-04 спостерігається загальна тенденція до зменшення частотного спектра з глибиною. Це відповідає закономірностям загасання високочастотної енергії в умовах зростання потужності осадового чохла.

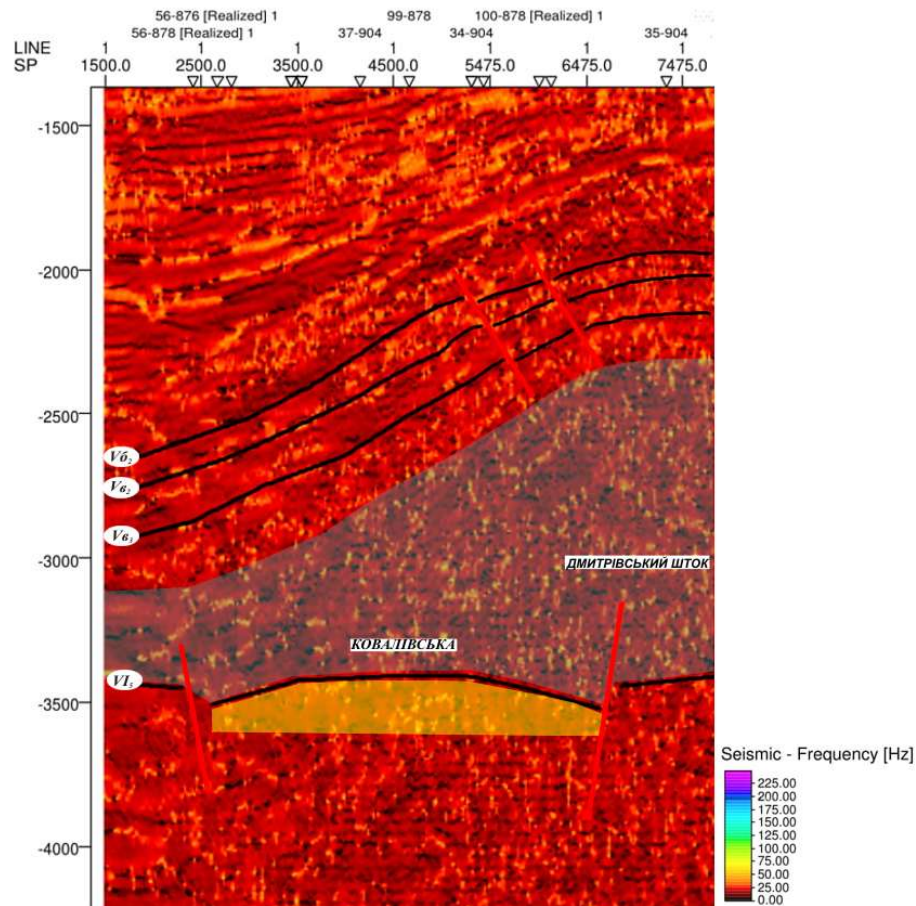


Рисунок 3.3 – Розріз сейсмічного атрибуту «Переважаюча частота» по профілю 319-04

Разом з тим у межах перспективного об'єкта зафіксовано локальні низькочастотні аномалії, приурочені до прогнозованого карбонатного тіла. Подібні аномалії можуть бути пов'язані з розвитком зон підвищеної пористості, тріщинуватості або флюїдонасичення.

Найбільш виразне зниження переважаючих частот спостерігається у склепінній частині структури, де також фіксуються амплітудні аномалії. Така просторова узгодженість різних атрибутів підвищує достовірність прогнозу.

Таким чином, спектральні атрибути мають середню та високу інформативність і можуть використовуватись як додатковий критерій прогнозування зон розвитку колекторів.

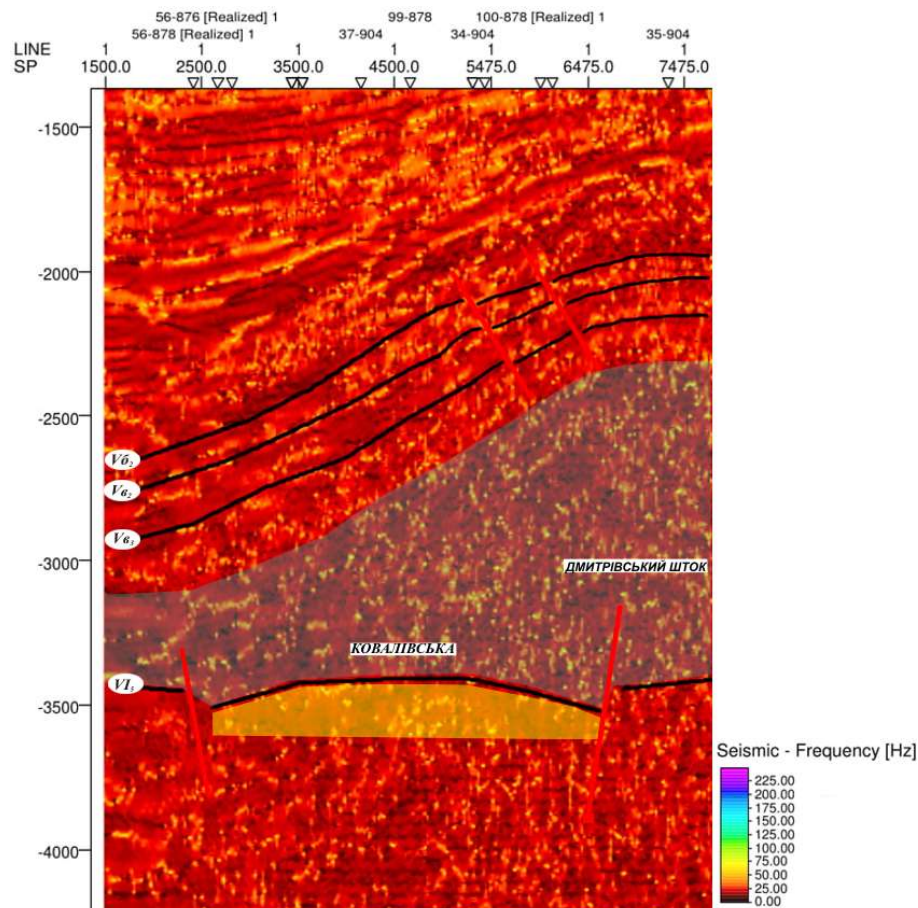


Рисунок 3.4 – Розріз сейсмічного атрибуту «Миттєва частота»
по профілю 319-04

Середньоквадратична (RMS) амплітуда відображає енергію сигналу й застосовується для виявлення аномалій, зумовлених змінами акустичних властивостей порід [21, 27].

На розрізі профілю 319-04 (рисунок 3.5) у склепінні структури зафіксовано аномалії «bright spots», які виникли через високий акустичний контраст із вміщуючими породами. Такі показники можуть вказувати на пористі колектори, тріщинуваті зони або флюїдонасичення, і на Ковалівській площі вони чітко корелюють із ділянками зниження частот [16, 25].

Ця узгодженість свідчить про високу інформативність RMS-амплітуди для прогнозування перспективних зон у межах досліджуваного об'єкта.

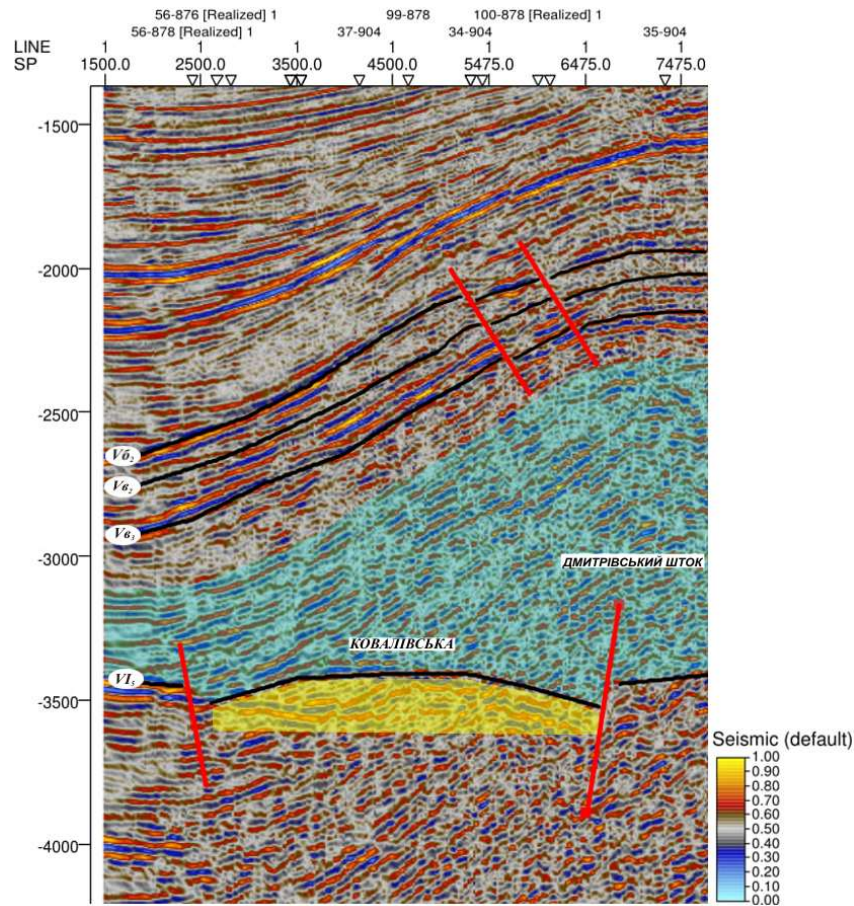


Рисунок 3.5 – Розріз сейсмічного атрибуту «Середньоквадратична амплітуда» по профілю 319-04

Відносний акустичний імпеданс є одним із найбільш важливих атрибутів для літологічного розчленування розрізу та прогнозування змін фізичних властивостей порід. Атрибут характеризує розподіл акустичної жорсткості середовища та дозволяє виділяти межі зі значним контрастом густини і швидкості [16, 24].

На розрізі відносного акустичного імпедансу по профілю 319-04 (рисунок 3.6) чітко проявляються основні стратиграфічні межі, а також локальні зони контрастних значень у межах прогнозованого об'єкта.

Позитивні аномалії імпедансу у межах перспективної структури можуть бути пов'язані з розвитком щільних карбонатних тіл або зон вторинної

доломітизації. Водночас окремі локальні зниження імпедансу можуть свідчити про розвиток пористих інтервалів [16, 24].

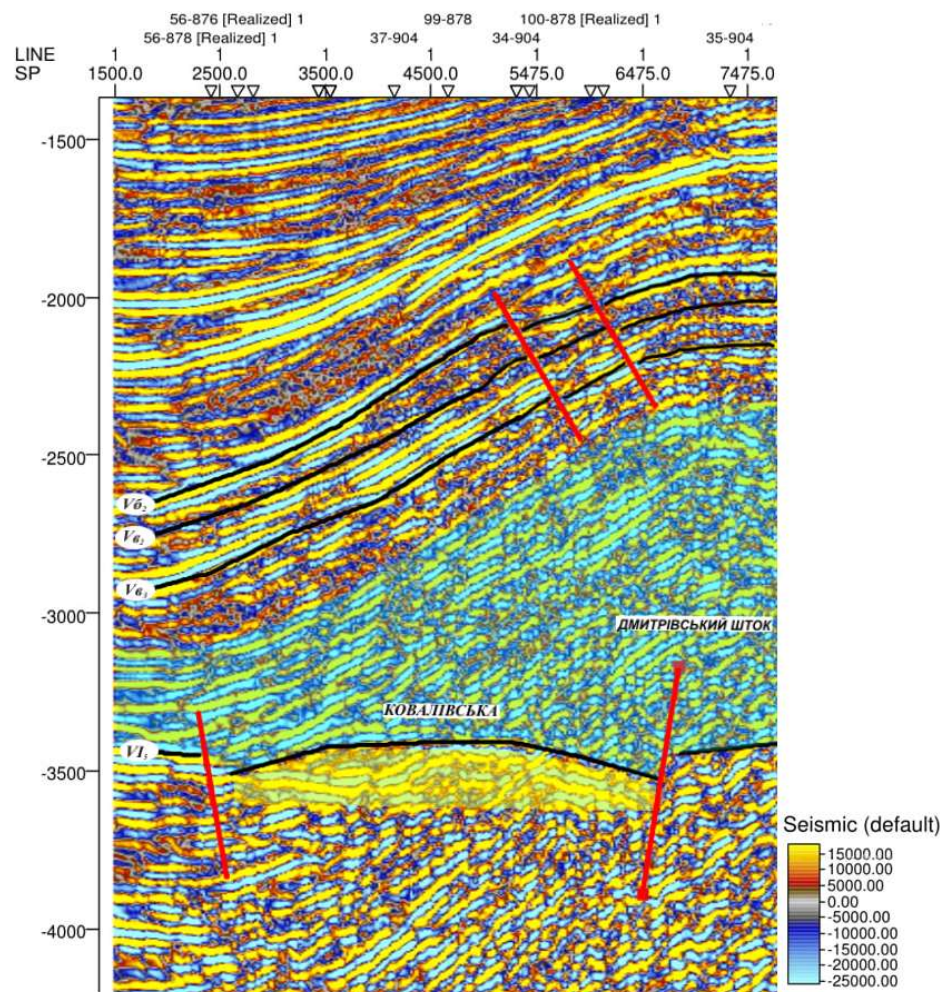


Рисунок 3.6 – Розріз сейсмічного атрибуту «Відносний акустичний імпеданс» по профілю 319-04

Аналіз просторового розподілу атрибуту показав його високу ефективність для підтвердження наявності прогнозованого карбонатного тіла та деталізації його внутрішньої будови.

Частотно-компонентний аналіз використовується для дослідження просторового розподілу енергії сигналу в окремих частотних діапазонах. Метод дозволяє виявляти зміни літології, особливості седиментації та ознаки флюїдонасичення.

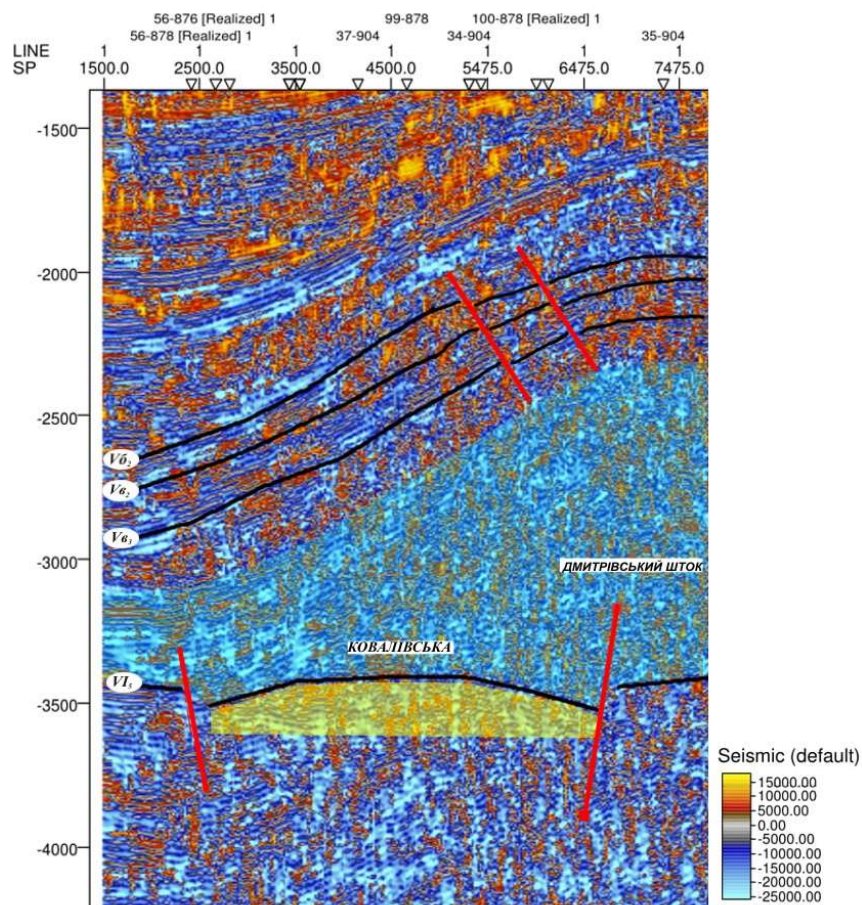


Рисунок 3.7 – Розріз сейсмічного атрибуту «Частотно-компонентний аналіз» по профілю 319-04

На розрізі профілю 319-04 (рисунок 3.7) у межах прогнозованої структури зафіксовано зниження високочастотної та підсилення низькочастотної складових сигналу. Така трансформація спектра є типовою для зон підвищеного поглинання сейсмічної енергії, що може вказувати на пористі й тріщинуваті колектори, насичені вуглеводнями [30].

Ці результати узгоджуються з даними RMS-амплітуди та миттєвої частоти, підтверджуючи комплексний характер аномалії.

Динамічні параметри, попри чутливість до завад, забезпечують перехід до прямих пошуків покладів. Як свідчить досвід досліджень ДДЗ, саме поєднання аналізу амплітуд і спектрального поглинання дозволяє найбільш

достовірно виділяти продуктивні горизонти в теригенних та хемогенних відкладах [5].

На відміну від кінематичних параметрів, які «малюють» каркас, динаміка «наповнює» цей каркас змістом: літологією, пористістю та типом наповнювача (вода, нафта чи газ).

3.4 Комплексна оцінка сейсмоакустичних параметрів та зіставлення з геологічними даними

Комплексна інтерпретація по Ковалівській площі зіставляє атрибутивні аномалії з геолого-геофізичними даними для встановлення зв'язку між хвильовим полем і геологічною будовою. Прогнозування розрізу Північно-Єфремівського родовища базується на поєднанні параметрів: швидкісні показники відтворюють структуру й блокову архітектоніку, а динамічні та спектральні – характеризують літологію, пористість, тріщинуватість і флюїдонасичення пластів [13, 16].

Виявлені аномалії узгоджуються із закономірностями розвитку підсольового девону північної прибортової зони ДДЗ. За даними буріння на суміжних площах, найперспективнішими є схили виступів фундаменту з підвищеними товщинами підсольового девону та карбонатами біогермного типу. Саме до такої зони приурочена Ковалівська площа (рисунок 3.8) [7, 10].

Дані свердловин Мартинівська 5, Лисогорська 244 та Гайворонська 348 підтверджують латеральну мінливість девонських утворень: від склепінь до схилів виступу товщина підсольового комплексу зростає від перших десятків метрів до 300 – 500 м (рисунок 3.9).

Ця закономірність корелює з хвильовим полем профілю 319-04, де простежується лінзовидне тіло з інтенсивними відбиттями, що також підтверджується кореляційною схемою (рисунок 3.10).

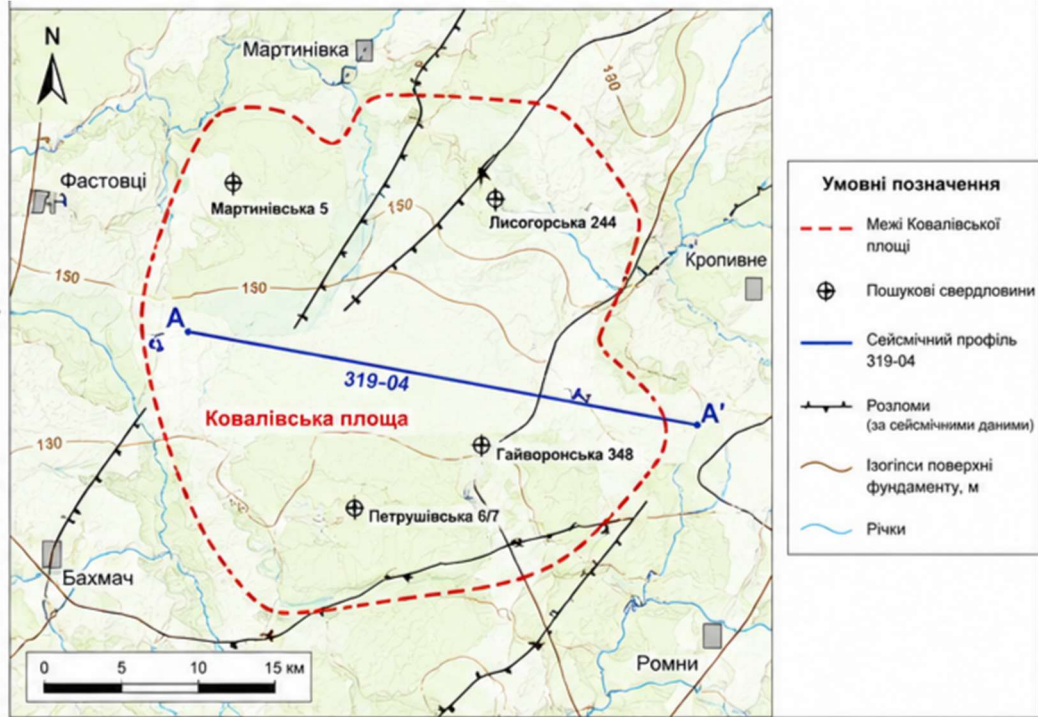


Рисунок 3.8 – Карта положення свердловин і профілю 319-04

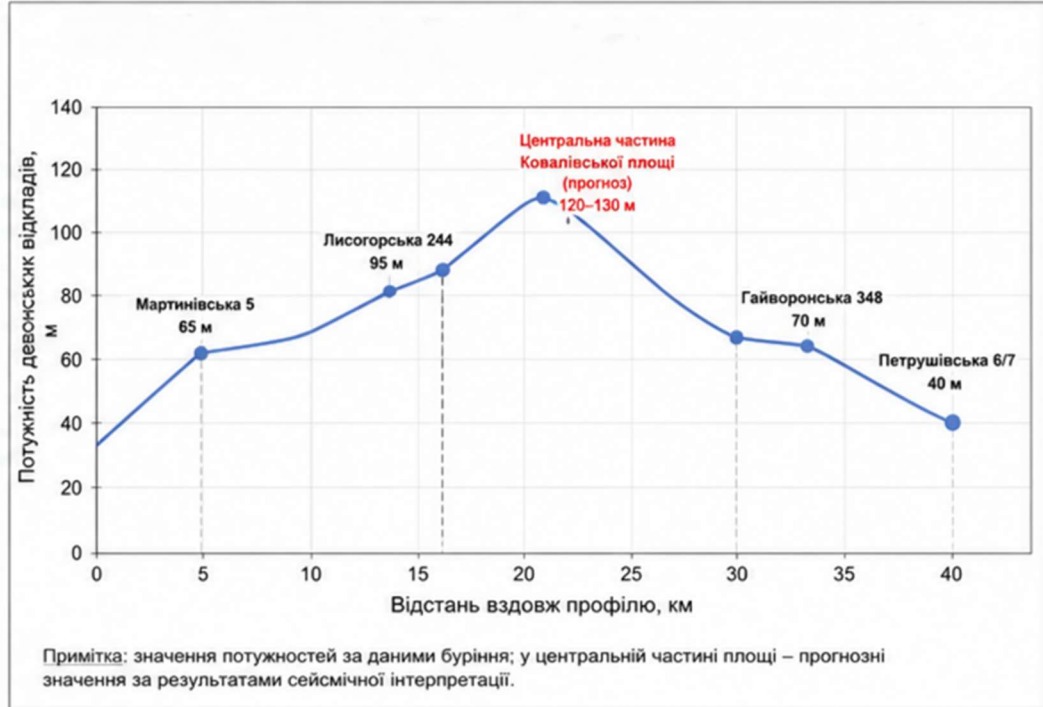


Рисунок 3.9 – Графік зміни потужності підсолевих девонських відкладів уздовж профілю 319-04 (А-А')

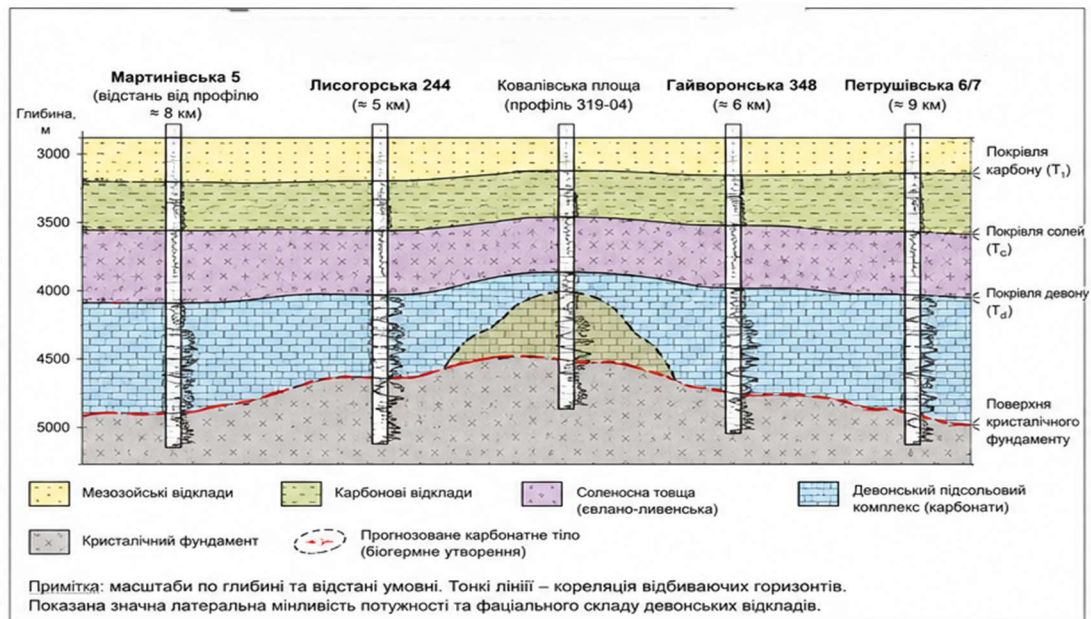


Рисунок 3.10 – Схема кореляції девонських відкладів у межах Ковалівської та суміжних площ

У межах Ковалівської площі прогнозуються карбонатні біогермні тіла, які зумовлюють амплітудні, частотні та імпедансні аномалії. На сейсмічному профілі 319-04 цей об'єкт має вигляд лінзи з підвищеною інтенсивністю відбиттів (рисунок 3.11) [8, 29].

Аналіз RMS-амплітуди виявив у склепінні структури зони підвищених значень, геологічно пов'язані з пористими колекторами або вторинно доломітизованими породами, що характерно для подібних пасток у північно-західній частині ДДЗ [17, 21].

Спектральні атрибути також узгоджуються з геологічною моделлю: локальне зниження переважаючих частот у межах об'єкта вказує на поглинання високочастотної складової сигналу в пористому чи тріщинуватому середовищі. Подібний ефект типовий для флюїдонасичених зон розвитку колекторів.

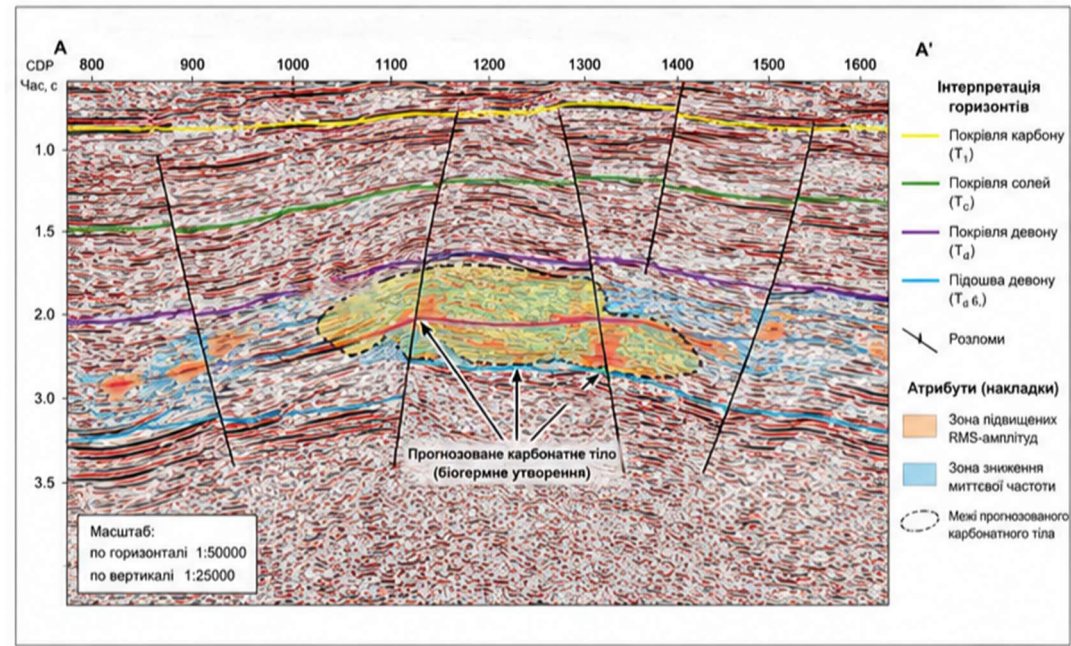


Рисунок 3.11 – Фрагмент сейсмічного розрізу профілю 319-04 з інтерпретацією

Зіставлення атрибутного аналізу з даними буріння, стратиграфії та гідрогеології суттєво зменшує неоднозначність інтерпретації. На площі виявлено узгодженість між амплітудно-спектральними аномаліями та зонами колекторів, що підтверджується досвідом сусідніх структур [13].

Зокрема, у свердловинах Лисогорська 6, Бахмацька 6, Петрушівська 6 та 7 встановлено ознаки нафтогазоносності або отримано промислові припливи, що доводить перспективність регіону [1, 2].

Водночас буріння показує, що на склепіннях виступів фундаменту підсольові відклади часто відсутні або скорочені. Тому найперспективнішими є не апікальні частини структур, а їхні схили та прибортові ділянки, де формувалися карбонатні пастки літологічного типу [7, 12].

На профілі 319-04 прогнозований об'єкт розташований саме в такій зоні: виявлені амплітудні та частотні аномалії збігаються з локальним збільшенням потужності хвильового пакету, що інтерпретується як карбонатне тіло. Фазові атрибути додатково виявили систему малоамплітудних порушень (екранів або

каналів міграції флюїдів), які відповідають блоковому стилю Плисківсько-Лисогорського виступу [27].

Аналіз відносного акустичного імпедансу підтвердив наявність локальних аномалій, пов'язаних зі змінами літології, доломітизацією та покращенням колекторських властивостей. Комплексування кінематичних і динамічних параметрів із геологічними даними забезпечує обґрунтовану оцінку нафтогазоносності та підвищує достовірність прогнозу.

Отже, результати комплексного аналізу свідчать про високу ступінь узгодженості між сейсмоакустичними параметрами та геологічними даними. Найбільш інформативними атрибутами для прогнозування перспективних зон у межах Ковалівської площі виявилися:

- миттєва фаза та косинус миттєвої фази – для виявлення тектонічних порушень і деталізації будови об'єкта;
- RMS-амплітуда – для прогнозування зон розвитку пористих карбонатних колекторів;
- переважаюча та миттєва частоти – для визначення зон підвищеного поглинання сейсмічної енергії;
- відносний акустичний імпеданс – для літологічного розчленування та оцінки акустичних властивостей порід.

Комплексне використання зазначених параметрів дозволило обґрунтувати наявність у межах профілю 319-04 перспективного об'єкта, пов'язаного з карбонатним тілом у відкладах підсольового девону.

Таким чином, зіставлення результатів сейсмоакустичного аналізу з геологічними та буровими даними підтверджує перспективність Ковалівської площі щодо пошуків покладів вуглеводнів та свідчить про доцільність проведення подальших детальних геофізичних досліджень і параметричного буріння.

Висновок по розділу 3.

Отже, проведений комплексний аналіз сейсмоакустичних параметрів підтвердив їх високу інформативність для прогнозування геологічного розрізу Ковалівської площі. Встановлено, що швидкісні параметри ефективні для побудови структурної моделі, трасування відбивних горизонтів і виявлення тектонічних порушень, тоді як динамічні, спектральні та імпедансні атрибути дозволяють деталізувати внутрішню будову перспективних інтервалів і виділяти зони розвитку колекторів.

Зіставлення сейсмоакустичних аномалій із геолого-геофізичними та буровими даними показало добру узгодженість хвильового поля з особливостями будови підсолевих девонських відкладів. Найбільш перспективними для накопичення вуглеводнів визначено схили виступів фундаменту та ділянки розвитку карбонатних тіл біогермного типу, які проявляються у вигляді локальних амплітудних і частотних аномалій.

Отримані результати доводять доцільність комплексного використання швидкісних і динамічних параметрів при прогнозуванні літологічних неоднорідностей та пошуку нафтогазоперспективних об'єктів. Така інтерпретація дозволила підвищити достовірність моделі геологічної будови Ковалівської площі та обґрунтувати доцільність подальших пошуково-розвідувальних робіт на досліджуваній території.

ВИСНОВОК

У бакалаврській роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу, що полягає в оцінюванні інформативності сейсмоакустичних параметрів сейсмічного запису та обґрунтуванні можливості їх практичного використання для прогнозування будови геологічного розрізу, що має критичне значення для забезпечення точності й результативності сейсморозвідувальних робіт MBX 2D/3D.

Метою роботи було формування комплексного підходу до оцінювання інформативності основних сейсмоакустичних параметрів (швидкісних, амплітудних, частотних та фазових характеристик) з урахуванням обмежень роздільної здатності хвильового поля та неєдності розв'язку оберненої геофізичної задачі для підвищення достовірності сейсмічної інтерпретації.

На основі проведених досліджень отримано такі найбільш важливі наукові та практичні результати:

1. Опрацьовано теоретичні та фізичні основи поширення пружних хвиль у геологічному середовищі, що дозволило встановити загальні закономірності зв'язку швидкісних параметрів (V_p , V_s) та характеристик загасання й поглинання з літологічним складом, пористістю, щільністю та типом флюїду, що насичує породи.

2. Проаналізовано методику систематизації та розрахунку сейсмічних атрибутів на основі перетворення Гільберта й аналітичного сигналу. З метою декомпозиції хвильового поля MBX розроблено класифікаційні критерії селективності та завадостійкості ознак, що забезпечило надійну опорну базу для розділення атрибутів на структурно-тектонічні (когерентність, кривизна) та літолого-колекторські (RMS-амплітуда, миттєва частота, відносний акустичний імпеданс).

3. Проведено аналіз інформативності сейсмоакустичних параметрів у межах лімітів вертикальної роздільної здатності хвильового поля та з

урахуванням спотворюючого впливу ЗМШ. Обґрунтовано оптимальні підходи до комплексування результатів сейсморозвідки з апріорною інформацією ГДС та каротажу суміжних свердловин, що дозволило мінімізувати неоднозначність інтерпретації цільових горизонтів в умовах відсутності прямого буріння на Ковалівській площі.

4. Виконано комплексний аналіз сейсмоакустичного поля по відбиваючому горизонту у складних геологічних умовах північної прибортової зони ДДЗ на прикладі Ковалівської площі, де на основі інтерпретації динамічних і структурних атрибутів та залучення даних суміжних свердловин у підсольових девонських відкладах виявлено, локалізовано та геологічно охарактеризовано перспективне лінзовидне утворення карбонатного складу.

Практичне значення та рекомендації щодо використання отриманих результатів:

Розроблені методичні підходи та критерії оцінки сейсмоакустичних параметрів мають безпосереднє практичне значення для нафтогазової геофізики. Вони дозволяють знизити рівень невизначеності при інтерпретації даних, зменшити ймовірність помилок під час виділення неантиклінальних пасток і підвищити надійність прогнозування властивостей колекторів. Запропоновані рішення рекомендуються для впровадження у практику 3D-сейсморозвідки на ділянках зі складною геологічною будовою та високою мінливістю літології. Використання цих результатів дозволяє зменшити ризики буріння «сухих» свердловин за рахунок підвищення якості глибинного петрофізичного моделювання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас родовищ нафти і газу України в шести томах / За редакцією М.М.Іванюти, В.О.Федишина, Б.Ш.Денегі, Ю.О.Арсірія, Я.Г.Лазарука – Львів, 1998.
2. Баранова Н.М., Войцицький З.Я., Вергуненко О.П. Пошукові сейсморозвідувальні роботи МСГТ на Ковалівській площі в північно-західній частині ДДЗ – Київ, 2015.
3. Вакарчук С. Г., Довжок Т. Є., Критьо П. М. Стратиграфія та літолого-фаціальні особливості палеозойських відкладів західного сегмента Дніпровсько-Донецької западини. *Нафтова і газова промисловість*. 2019. № 1. С. 8 – 14.
4. Гринь Д. М., Пігулевський П. І. Основи інтерпретації геофізичних даних. – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2012. – 304 с.
5. Дейбер Р., Густафсон Л.Е. Керівництво з інтерпретації сейсмічних атрибутів – Schlumberger, 2007.
6. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ нафти і газу. ДКЗ України. Київ, 2021. 76 с.
7. Лисинчук В. М., Козел М. О., Глушко В. В. Особливості геологічної будови підсольового комплексу девону Плисківсько-Лисогорського виступу фундаменту за результатами нових геофізичних досліджень. *Геофізичний журнал*. 2018. Т. 40, № 3. С. 45 – 58.
8. Лукін О. Ю. Геологічна будова та нафтогазоносність девонського комплексу Дніпровсько-Донецької западини. Київ: Наукова думка, 2012. 248 с.
9. Манюта М. Г., Сіренко О. В. Тектонічні особливості та перспективи нафтогазоносності північного борту Дніпровсько-Донецької западини. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2020. № 2. С. 112 – 125.

10. Матеріали геологічного фонду (Геоінформ України). Результати пошуково-розвідувального буріння на Василівській та Лисогорській площах (1975–1990 рр.). Київ, 2022.
11. Офіційний сайт Чернігівської обласної військової адміністрації. Паспорт Чернігівської області (географічні та соціально-економічні відомості). Чернігів, 2024.
12. Ступка О. С., Миронов В. А., Козак М. П. Тектонічна еволюція та структурна диференціація осадового чохла північно-західної частини ДДЗ. *Мінеральні ресурси України*. 2017. № 2. С. 34 – 41.
13. Філатов Ю.В. Прогнозування геологічного розрізу: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2004.-213с.
14. Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморозвідка. – К.: Вища школа, 1987.
15. Шпак П. Ф., Гавриш В. К., Чебаненко І. І. Геологія і нафтогазоносність глибокозанурених зон Дніпровсько-Донецької западини. *Геологічний журнал*. 1989. № 4. С. 15 – 29.
16. Aki K., Richards P. Quantitative Seismology. – 2nd ed. – Sausalito: University Science Books, 2002. – 700 p.
17. Avseth P., Mukerji T., Mavko G. Quantitative Seismic Interpretation. – Cambridge: Cambridge University Press, 2005. – 359 p.
18. Brown, A. R. Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. – 7th ed. – SEG and AAPG, 2011. – 660 p.
19. Castagna J. P., Backus M. M. Offset-dependent reflectivity – Theory and practice of AVO analysis. – SEG, 1993. – 345 p.
20. Chopra S., Marfurt K. J. Seismic Attributes and Their Classification // The Leading Edge. – 2005. – Vol. 24, № 3. – P. 274 – 281.
21. Chopra, S., Marfurt, K. J. Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization. – SEG, 2007. – 464 p.
22. Crampin S. Shear-wave splitting. – Geophysics, 1981.
23. Kjartansson E. Constant Q-wave propagation. – Geophysics, 1979.

24. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. – Cambridge, 2009.
25. Rutherford S.R., Williams R.H. Amplitude-versus-offset variations. – Geophysics, 1989.
26. Serra O. Fundamentals of Well-Log Interpretation. – Amsterdam: Elsevier, 1984. – 423 p.
27. Taner M. T., Sheriff R. E. Seismic attributes. – Geophysics, Vol. 42, No. 6, 1977. – P. 1104–1133.
28. Taner, M.T., Koehler, F., Sheriff, R.E. *Complex seismic trace analysis*, Geophysics, 1979.
29. Veeken, P. C. Seismic Stratigraphy, Basin Analysis and Reservoir Characterisation. – Elsevier, 2007. – 526 p.
30. Wang Y. Seismic inverse Q filtering. – Blackwell Publishing, 2008. – 256 p.
31. Yilmaz Ö. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data. – Society of Exploration Geophysicists, 2001. – 2027 p.

БІБЛОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: «Аналіз інформативності сейсмоакустичних параметрів для вирішення завдань прогнозування геологічного розрізу».

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи містить 65 сторінок.

Графічний матеріал:

1. Презентація бакалаврської роботи в обсязі 15 слайдів.

_____ Інна КВАСНЯК