

УДК 550.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.108.06>

Наталія РУСАЧЕНКО, асп.

ORCID ID: 0000-0002-7407-696X

e-mail: rusachenko_natasha@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Павло КУЗЬМЕНКО, канд. геол. наук, доц.

ORCID ID: 0009-0007-0157-9391

e-mail: pavlo.kuzmenko@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Сергій ВИЖВА, д-р геол. наук, проф.,

ORCID ID: 0000-0003-4091-6649

e-mail: s.vyzhva@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

АНАЛІЗ ШВИДКІСНИХ АНОМАЛІЙ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДИНАМІЧНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ СЕЙСМІЧНИХ ДАНИХ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СКЛАДНО ПОБУДОВАНИХ ГАЗОВИХ ПОКЛАДІВ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.В. Шабатурою)

Вступ. Одним із пріоритетних завдань геофізики є виявлення скупчень вуглеводнів на ранній стадії розвідки, до буріння першої свердловини, коли доступні лише сейсмічні дані. Аналіз аномалій швидкості проходження пружних хвиль разом з результатами кількісної інтерпретації сейсмічних даних є додатковим інструментом оконтурення місць поширення порід-колекторів. Особливо це актуально для складно побудованих покладів у зонах соляних куполів Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ).

Методи. Коли порода насичена флюїдами, її щільність і швидкість поширення пружних коливань змінюються, що впливає на відбиття та проходження сейсмічних хвиль. Зміни в сейсмічних амплітудах і швидкостях вказують на ознаки присутності різних флюїдів, таких як нафта, газ або вода, тим самим допомагаючи в ідентифікації пластових флюїдів. Також опосередкованими діагностичними інструментами є AVO-аналіз та еластична інверсія.

Результати. Проаналізовано шість газових родовищ на території ДДЗ, які мають тотожні характеристики сейсмічного поля в межах газового покладу. Описано інтегральний вплив пористого насиченого пласта на амплітуди, частоти та швидкості поширення пружних хвиль.

Висновки. У результаті комплексного аналізу сейсмічних даних описано методику, яка дає змогу оцінити ключові характеристики колектора та в той же час виявити газові пастки або ділянки накопичення вуглеводнів, притаманних регіону ДДЗ.

Ключові слова: сейсмічна розвідка, обробка, швидкісна аномалія, інтерсепт, градієнт, кутові суми, AVO аналіз.

Вступ

Гірські породи, з яких складається земна кора, значно різняться за пружними властивостями. Одні з них, до яких належать багато магматичних порід і сильно консолидованих осадових відкладів, близькі за своїми властивостями до ідеально пружних середовищ, інші, до яких відносять породи в ослаблених зонах і зонах тріщинуватості, а також пористі відклади, дуже помітно відрізняються від ідеально пружних середовищ. Гірські породи мають також низку інших суттєвих особливостей, таких як чітко виражена шаруватість, іноді помітна гетерогенність, мінливість пружних властивостей під дією різноманітних геологічних факторів. Тому важливо досліджувати швидкості пружних хвиль, їх спектральний склад та затухання сейсмічних хвиль у геологічному розрізі. Це є основою для прямого виявлення вуглеводнів, оскільки такі методи, як "яскрава пляма" та аналіз AVO (amplitude versus offset), використовують ці фізичні властивості. Ефективний підхід для раннього виявлення перспективних на газ товщ базується на аналізі динамічних параметрів та швидкостей проходження пружних хвиль через різноманітні геологічні середовища.

Першими почали досліджувати вплив природного газу на амплітуди сейсмічних хвиль і коефіцієнти відбиття на межі "газ – вода" в пористому піщаному колекторі Н. К. Датт та Х. Оде (1983). Використовуючи теорію Біюта, автори показують, що потік в'язкого флюїду впливає на поведінку сейсмічних хвиль, що призводить до втрати енергії та зміни коефіцієнтів відбиття. Дослідження виявило, що на втрату сейсмічної енергії у

газонасичених колекторах впливають частота та кут падіння сейсмічної хвилі на геологічне середовище, причому більші втрати відбуваються за вищих частот і більших кутів.

Широкий діапазон зміни швидкостей поширення пружних хвиль у гірських породах пояснюють впливом великої кількості одночасно діючих факторів геологічного та фізичного походження. Стаття (Pride, Berryman, & Harris, 2004) містить уніфіковану теоретичну основу для трьох механізмів загасання Р-хвиль в осадових породах. Дослідження зосереджено на хвильовому аналізі впливу геологічних неоднорідностей на модулі пружності в мезоскопічних масштабах (більших за розміри зерен, але менших за довжину хвиль). Автори показують, що неоднорідності мезоскопічного масштабу, такі як літологічні варіації та осередки незмішуваних флюїдів, можуть спричинити значне загасання та розсіювання сейсмічних хвиль. Ця модель допомагає пояснити різні рівні втрат сейсмічної енергії, які спостерігаються на польових сейсмічних даних.

Однією з важливих проблем при оцінці колекторів є також врахування анізотропії, що призводить до багатьох неточностей в розрахунках глибини залягання відбиваючих горизонтів та оцінці параметрів насичення. У статті (Chapman, Liu, & Li, 2006) досліджується, як поклади вуглеводнів, що часто демонструють більш високе загасання амплітудно-частотних характеристик, впливають на AVO-аналіз. Для моделювання цих ефектів автори використовують теорію еквівалентного середовища, основу на концепції променевого потоку.

© Русаченко Наталія, Кузьменко Павло, Вижва Сергій, 2025

Виявлено, що коефіцієнт відбиття змінюється залежно від частоти, що впливає на поведінку AVO. Відбиття класу I (високоімпедансний пісковик) зсуваються до вищих частот, тоді як відбиття класу III (низькоімпедансний пісковик) підсилюють нижчі частоти. Синтетичні сейсмограми для матеріалів із частотно-залежними швидкостями та згасанням показують, що ці ефекти можна виявити на підсумованих сейсмічних розрізах.

Аналіз сейсмічних швидкостей не тільки з погляду їх поширення з глибиною, а й у латеральному напрямку дає змогу оцінити структурно-тектонічні та петрофізичні характеристики пласта. Л. Конг та ін. (2013) дослідили, як тріщини в породах впливають на поширення сейсмічних хвиль. Дослідження зосереджене на нелінійній взаємодії сейсмічних хвиль із тріщинами, що призводить до згасання (втрати енергії) і частотної дисперсії швидкості (зміна швидкості хвилі з частотою). Автори надають аналітичні рішення та експериментальні дані, щоб показати, що тріщини можуть суттєво впливати на поведінку сейсмічних хвиль, що є вирішальним для точної інтерпретації сейсмічних даних у тріщинуватих колекторах.

Стаття Х. Чжана та К. Іннанена (2017) під назвою "Частотно-залежне згасання та дисперсія швидкості сейсмічних хвиль внаслідок флюїдонасичення в пористих породах" досліджує, як викликаний сейсмічними хвилями потік рідини в пористих породах викликає згасання сейсмічної хвилі та дисперсію швидкості. Використовуючи кінцево-різницеve моделювання, автори показують, що неоднорідна насиченість, призводить до значного частотно-залежного загасання та дисперсії. Дослідження демонструє, що ці ефекти можуть збільшувати коефіцієнт відбиття на низьких частотах, що часто спостерігається у породах-колекторах, насичених вуглеводнями.

Загальний аналіз дослідження методів локалізації пасток вуглеводнів на основі наведених вище літературних джерел показує, що науковці вивчали окремо швидкісні аномалії та результати кількісної інтерпретації сейсмічних даних. А комплексний підхід у ідентифікації

вуглеводнів є частиною загальної проблеми, яка раніше не була розв'язана.

Метою даного дослідження є аналіз впливу низькошвидкісних аномалій на кількісні параметри хвильового поля та прогноз перспективних на вуглеводні ділянок на основі комплексного підходу, що включає аналіз швидкостей, динамічних характеристик сейсмічного сигналу та найбільш інформативних сейсмічних атрибутів.

Методи

До недавнього часу сейсмічна швидкість використовувалася лише для міграції сейсмічних даних і перетворення даних із часового домену в глибинний. Однак завдяки останнім новим технологіям, таким як повна інверсія форми хвилі (FWI), точність і детальність визначення сейсмічних швидкостей значно поліпшилася. Аналіз сейсмічних швидкостей дає змогу оцінити ключові характеристики колектора (пористість, насичення флюїдами, щільність) і в той же час з використанням інших атрибутів виявити ділянки покладів вуглеводнів.

Швидкості поширення поздовжніх і поперечних сейсмічних хвиль та коефіцієнти їх поглинання є основними кількісними параметрами, що визначаються за результатами обробки матеріалів польових сейсмічних досліджень. Ці параметри характеризують літологічний склад гірських порід у розрізі, їх стан, характер осадонакопичення в розрізі, властивості флюїдів, що заповнюють пори гірських порід та ін. Крім того, знання швидкостей поширення пружних хвиль завжди необхідне для визначення глибини залягання відбиваючих і заломлюючих границь та кутів їхнього нахилу.

Дослідження (Abdul, & Ghosh, 2014) показують, що газонасичена зона може бути ідентифікована на основі значно зменшеної амплітуди Р-хвилі, що свідчить про наявність газу. Водночас наявність газових тіней на кінцевому зображенні чітко помітна в даних. Погане зображення в зоні, насиченій газом (рис. 1а), могло бути результатом значного ослаблення високочастотної складової та розсіювання енергії Р-хвилі, що спричинило зменшення її швидкості (рис. 1б) під час її поширення через пустотний простір, насичений газом.

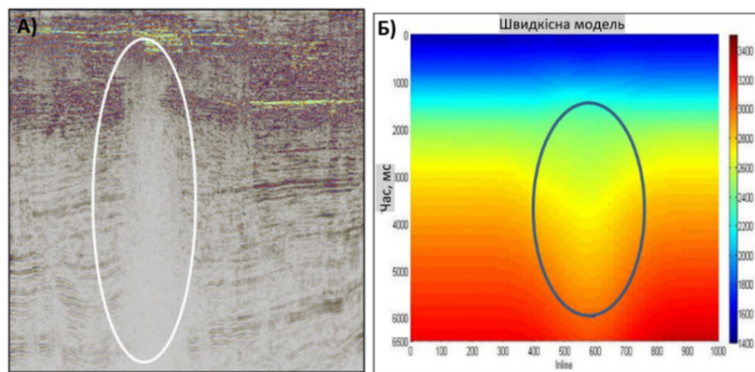


Рис. 1. А) сейсмічний розріз родовища газу, розташованого в шельфовій зоні Малайзії.

Зона низької інтенсивності сейсмічного сигналу (позначено білим колом) утворилася внаслідок накопичення газу на приповерхневому шарі; **Б)** сейсмічна швидкісна модель, яка відповідає розрізу, показаному на рис. 1А.

"Pull-down effect" можна побачити в межах чорного кола, що вказує на меншу швидкість у межах газової аномалії (Latiff, & Ghosh, 2014)

Комплексний аналіз сейсмічних даних є незамінним під час обробки та інтерпретації. Результати обробки сейсмічних даних інтегруються з матеріалами кількісної інтерпретації та аналізу динамічних характеристик швидкісного поля. Для комплексного аналізу сейсмічних даних найчастіше використовують набір параметрів, який

включає: відношення V_p/V_s ; відношення V_p/V_s , що представляє відношення швидкості хвилі стиснення (V_p) до швидкості хвилі зсуву (V_s) у геологічних середовищах, є важливим сейсмічним параметром. Співвідношення V_p/V_s – безрозмірна величина, яка використовується для визначення пружних властивостей гірських порід із

варіаціями, що вказують на зміни складу, пористості та вмісту рідини. Геофізики використовують це співвідношення для диференціації літології геологічних утворень, ідентифікації потенційних резервуарів і вдосконалення методів сейсмічної інверсії для моделювання геологічного середовища. Загалом співвідношення V_p/V_s відіграє важливу роль під час сейсмічних досліджень товщ, перспективних на вуглеводневі ресурси. Швидкості Р-хвилі (об'ємного стиснення) і S-хвилі (зсуву) розраховуються за співвідношенням

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad \text{та} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}},$$

де k – об'ємний модуль (ГПа), μ – модуль зсуву (ГПа) та ρ – густина породи (кг/м³), V – швидкість (м/с).

Хоча геологічне середовище не є ізотропними та однорідними, існує пружна еквівалентність у шаруватих

середовищах, коли швидкості апроксимуються як інтервальна, середня та середньоквадратична. Співвідношення швидкостей (V_p/V_s) і акустичний опір (AI) можна виразити як

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{k}{\mu} + \frac{4}{3}} \quad \text{та} \quad AI = V_p \cdot \rho.$$

Модуль об'ємної пружності, також званий нестисливістю, визначає загальну об'ємну жорсткість. Модуль зсуву, з іншого боку, визначає жорсткість матеріалу та описує його стійкість до деформації зсуву. Пісковики, що містять вуглеводні, демонструють зниження V_p (через значне зниження об'ємного модуля та помірне зниження густини), але невелике збільшення V_s (через зменшення об'ємної густини). Отже, сумарним ефектом є значно нижче співвідношення V_p/V_s у пісковиках насичених вуглеводнями. Це наочно показано на рис. 2.

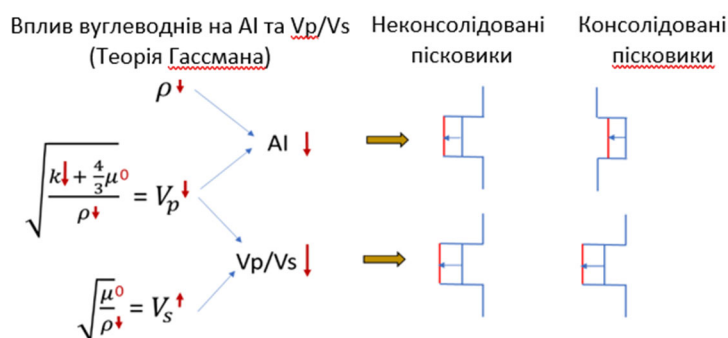


Рис. 2. Вплив вуглеводнів на AI та співвідношення V_p/V_s (Avseth, & Veggeland, 2015)

Аналіз AVO передбачає вивчення того, як змінюються амплітуди сейсмічних хвиль із зміною віддалення джерело-приймач. Інтерсепт та градієнт є параметрами в рівнянні лінійної відповідності амплітуди та виносу (AVO). Інтерсепт (A): представляє амплітуду при нульовому віддаленні. Градієнт (B): представляє нахил або швидкість зміни амплітуди зі зміщенням (градієнт лінійної відповідності):

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta V_p}{V_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right); \quad B = \frac{\Delta V_p}{2V_p} - 4k \left(\frac{\Delta V_s}{V_s} \right) - 2k \left(\frac{\Delta \rho}{\rho} \right).$$

Оскільки існує взаємозв'язок між розташуванням точок на кросплоті інтерсепт-градієнт (A і B) і петрофізичними характеристиками шаруватої моделі "колектор-покрівля-підстельні породи", можна розробити на цій

основі класифікацію AVO-аномалій. Зміщення точок, викликане зміною пружності породи-колектора, залежить від співвідношення акустичних імпедансів насиченого колектора і вмісних порід, яке визначає форму кривих на графіку рис. 3. Можливі варіанти можна розділити на чотири класи, які тяжіють до різних ділянок на кросплоті (рис. 3). Виділені класи наведено в табл. 1.

Аномалії або відхилення від очікуваної тенденції на крос-схемі можуть свідчити про наявність вуглеводнів (рис. 4). Класи AVO, такі як клас II (газовий пісковик) або клас III (пісковик зі значно пониженими значеннями AI порівняно із вмісними породами), часто можна розрізнити на перехресних графіках інтерсепта та градієнта (Вижва та ін., 2019), (табл. 1).

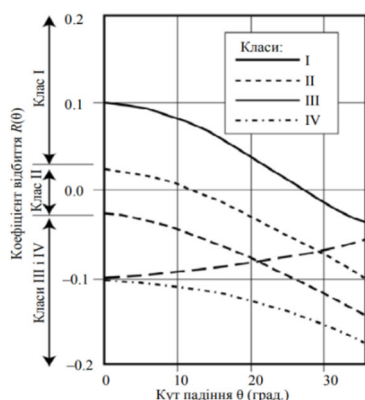


Рис. 3. Коефіцієнти відбиття плоских хвиль від покрівлі газонасиченого піщаного колектора залежно від співвідношення акустичних імпедансів колектора і глинистої покрівлі та класифікація AVO-аномалій

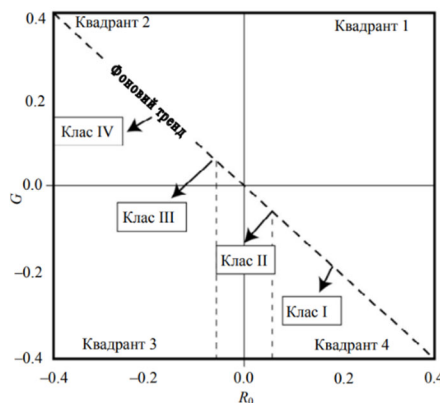


Рис. 4. Класифікація аномалій, зумовлених зменшенням акустичної жорсткості породи-колектора при відбитті хвилі від його покрівлі (стрілками показано флюїдні вектори)

Таблиця 1

Зміна ключових параметрів при 4-ступеневій AVO-класифікації

Клас	Акустичний імпеданс	Квадрант кросплота	A		Характер зміни амплітуди відбиття при зміні кута θ
I	Вищий, ніж у покрівлі пласта	4	+	–	Зменшується
II	Приблизно такий самий, як у покрівлі	2, 3 і 4	+/-	–	Зменшується / зростає, може змінювати знак
III	Нижчий, ніж у покрівлі	3	–	–	Зростає
IV	Нижчий, ніж у покрівлі	2	–	+	Зменшується

Сейсмічні дані дають уявлення про динамічні зміни сейсмічних амплітуд щодо просторових координат. Цей інструмент є незамінним при обробці та інтерпретації сейсмічних даних, особливо в галузі розвідувальної геофізики. Заглиблення в його створення, переваги, використання та інтерпретацію відкриває всебічне розуміння його ключової ролі в отриманні цінної інформації про геологічне середовище.

Результати

Проведено комплексний аналіз покладів родовищ вуглеводнів, які розташовані в межах Машівсько-Шебелинського газоносного району. Промислово-продуктивними є відклади нижньо-пермського та верхньо-кам'яновугільного періоду. Більшість родовищ у цьому районі представлені масивно-пластовими покладами, які зазвичай обмежені соляними діапірами та диз'юнктивними порушеннями.

Під час аналізу родовищ помічено еквівалентний набір характеристик сейсмічного хвильового поля, швидкостей та результатів кількісної інтерпретації, які вказують на наявність газу. У межах одного літологічного горизонту швидкість проходження пружних хвиль змінюється

залежно від його структурного положення. Зокрема відзначається зменшення швидкості у напрямку до склепін підняття. Також під час аналізу сейсмічних даних по досліджених родовищах ДДЗ було помічено інтегральний вплив пористого насиченого пласта на амплітуди, частоти та швидкості. Аналіз кубів після виконання пре-стек міграції дає змогу визначити target zones (цільові зони для буріння) для подальшого QI (quantitative interpretation) аналізу. Для всіх родовищ обробка та інтерпретація сейсмічних даних проводилась за подібним алгоритмом. На рис. 5–7 наведено приклади найбільш інформативних атрибутів та етапів обробки і геологічної інтерпретації сейсмічних даних на прикладі одного з родовищ Машівсько-Шебелинського газоносного району. На рис. 5 подано результати пре-стек часової міграції та відповідні куби сейсмічних швидкостей. На сейсмічних розрізах синя стрілка вказує на ділянку, перспективну на вуглеводні (область високоамплітудних горизонтів відбиття), відповідно в межах тієї ж ділянки спостерігається ефект пониження сейсмічних швидкостей, а у випадку б) – навіть локальна низькошвидкісна аномалія.

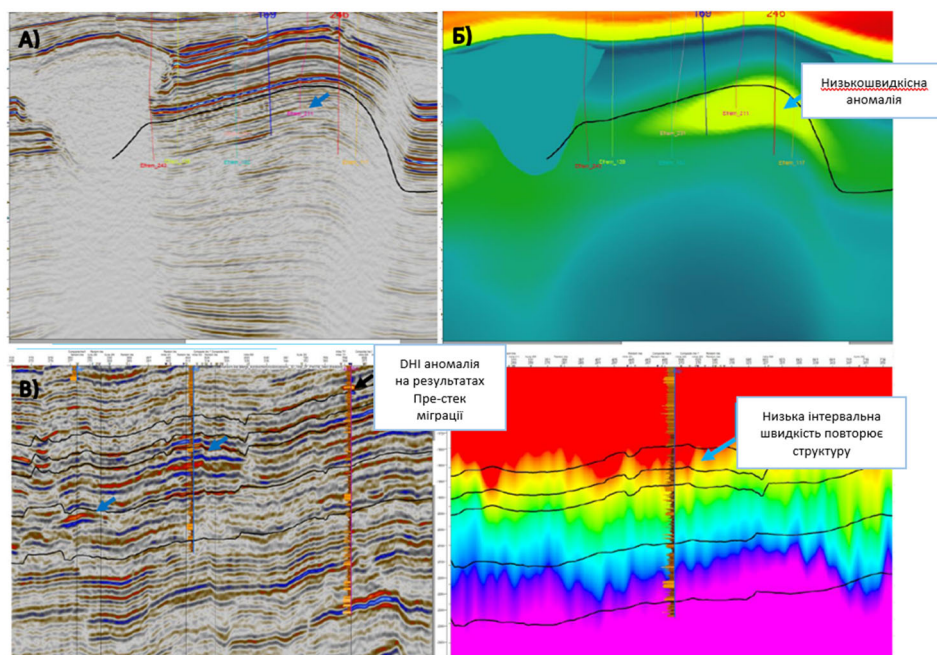


Рис. 5. Результати PreSTM міграції:
а), в) сейсмічні розрізи; б), г) сейсмічні швидкості

На сейсмічних даних аномалія типу "яскрава пляма" є індикатором вуглеводнів. Розріз середньоквадратичних швидкостей у даній ділянці характеризується пониженням швидкостей. Оскільки квазістатичні повільні S-хвилі розсіюються на набагато меншу відстань, ніж швидкі Р-хвилі, і оскільки повільні S-хвилі призводять до втрати енергії з первинного (primary) хвильового поля, це перетворення є ефективним механізмом втрати енергії.

Очевидно, чим більше генерується вторинних повільних хвиль, тим більше втрачається енергія первинної Р-хвилі.

Швидкість Р-хвилі зменшується для газовмісних пористих порід. Газонасичені товщі здебільшого лежать у межах значень V_p/V_s 1,4–1,62. Аналіз змін амплітуди зі збільшенням віддалень сейсмоприймачів дає цінну інформацію про наявність у розрізі газовмісних порід (рис. 6).

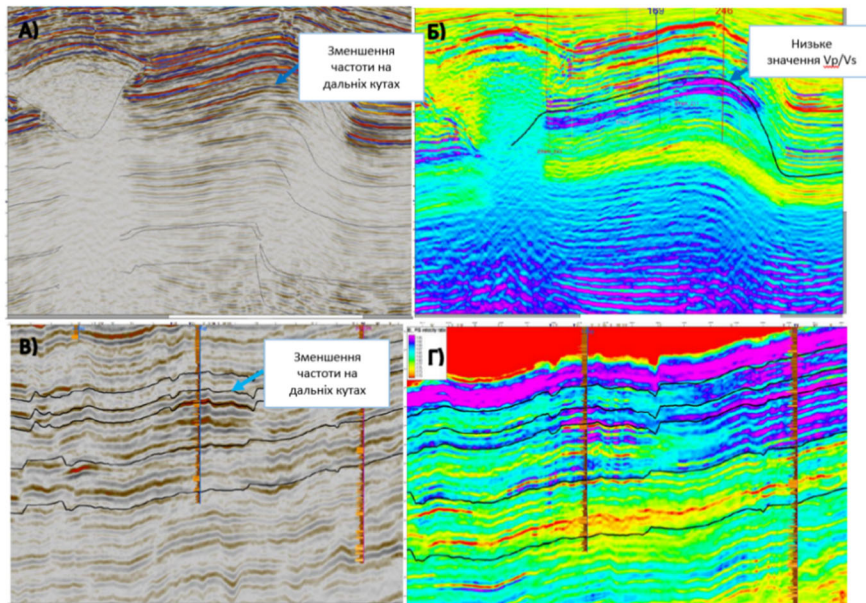


Рис. 6. Кутові суми з діапазоном
а) 26–35°, в) 34–46°; атрибут V_p/V_s б), г)

Наявність газу сильно впливає на фізичні властивості відкладів. Індикатор DHI (Direct hydrocarbon indicators) спричинений контрастом імпедансу між вищерозташованими газонасиченими відкладами та нижчезалеглими газонасиченими породами. Аналіз куткових сум на дальніх виносках показує пониження частот на дальніх кутах. Відповідно співвідношення V_p/V_s також має низькі значення в газонасиченій зоні.

Для повноцінної оцінки сейсмічних даних на предмет вуглеводневого насичення також проаналізовано AVO атрибут – добуток інтерсепта та градієнта та коефіцієнт Пуассона (рис. 7). Відношення V_p/V_s прямо пов'язане з коефіцієнтом Пуассона ν співвідношенням

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}}$$

Зміни амплітудних аномалій у сейсмічному полі пов'язані зі значними змінами відношення коефіцієнта Пуассона і виникають, якщо газонасичені породи заміщуються водонасиченими. Властивості гірських порід, насичених газом чи нафтою, відображаються в амплітудах відбитих хвиль від таких порід (Михалевич та ін., 2021). В аналізі сейсмічних атрибутів цей параметр є загальноприйнятною технікою, яка використовується для отримання інформації про геологію надр і властивості гірських порід.

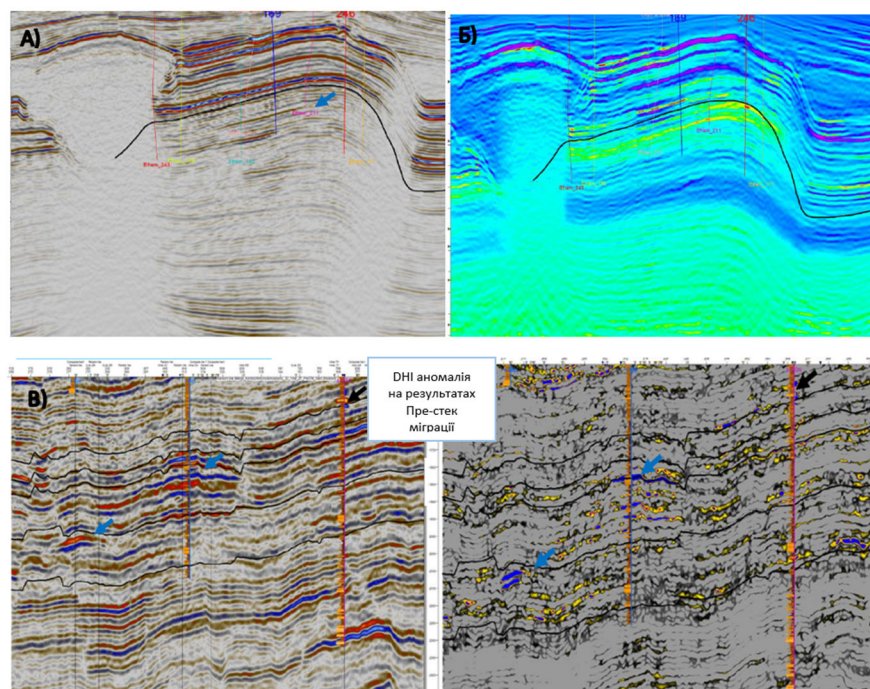


Рис. 7. Результати PreSTM міграції – а), в);
коефіцієнт Пуассона – б); атрибут інтерсепт * градієнт – г)

Один з ефективних способів аналізу колекторів базується на аналізі кросплатів атрибутів AVO, а саме градієнта та інтерсепта. Ці атрибути визначають пряму лінію $R(\sin^2\theta)$, де θ – кут нахилу відбитого сейсмічного променя, R – амплітуда відбитої хвилі. З використанням цих позначень формула градієнта може бути записана у такому вигляді: $G=\Delta R/\Delta \sin^2\theta$. А формула інтерсепта набуває вигляду $I=R$. Тобто фізичним змістом інтерсепта є амплітуда відбитої хвилі для нормального падіння. Визначення співвідношень між значеннями градієнта та інтерсепта дають можливість прогнозувати тип гірської породи, її фільтраційно-ємнісні властивості, а також тип флюїду, що її насичує (Вижва та ін., 2019). Результати аналізу атрибутів коефіцієнта Пуассона та добутка інтерсепт*градієнта підтверджують газонасиченість покладу та дають змогу віднести його до третього класу аномалій AVO (табл. 1). Третій клас AVO характеризується низьким імпедансом, але високою контрастністю імпедансу на межах розділу пластів. Від'ємні значення інтерсепта та градієнта вказують на зростання інтенсивності відбитих хвиль при збільшенні відстані між джерелами та приймачами. При цьому коефіцієнт відбиття залишається від'ємним. Цей клас AVO пов'язаний з класичними аномаліями коефіцієнтів відбиття, які мають негативні значення, або аномаліями у вигляді "яскравих плям".

Дискусія і висновки

Проведено комплексний аналіз кінематичних і динамічних параметрів сейсмічного хвильового поля та сейсмічних атрибутів на прикладі газових родовищ Машівсько-Шебелинському газонасиченого району, що представлений продуктивними горизонтами нижньо-пермського та верхньо-кам'яновугільного періоду. Використання інтегрованого підходу, що поєднує сейсмічні дані, характеристики хвильового поля (затухання, амплітуди) та атрибути AVO, дає змогу ідентифікувати перспективні зони для подальшої розробки та проаналізувати інтегральний вплив пористого насиченого пласта на амплітуди, частоти та швидкості. У дослідженні проілюстровано, що низькошвидкісні аномалії є індикаторами газонасичених пісковиків. Співвідношення V_p/V_s використовується для визначення пружних властивостей гірських порід із варіаціями, що вказують на зміни складу, пористості та типу флюїду. Відповідно, у статті аномальні значення V_p/V_s 1,4–1,62 тільки підтверджують, що низькошвидкісні зони (рис. 5) пов'язані з газовими аномаліями та значно відрізняються від літологічних аномалій та/або похибок при побудові швидкісної моделі. Інструменти кількісної інтерпретації, такі як сейсмоатрибутний аналіз та коефіцієнт Пуассона, дають додаткове уявлення про локалізацію газонасичених пластів. Добуток атрибутів "інтерсепт*градієнт" є основою для методів, таких як AVO-аналіз, який використовується для оцінки змін амплітуди сейсмічних хвиль залежно від кута падіння. Це дозволяє більш точно визначати властивості геологічного середовища і поліпшувати точність геологічних моделей. Отже, використання комплексного аналізу динамічних атрибутів сейсмічних даних дає змогу отримати якісно нову інформацію за рахунок дослідження швидкісних аномалій, кутів сум з діапазоном дальніх виносів, співвідношення V_p/V_s та AVO атрибутів, що, у свою чергу, зменшує ризики при бурінні та оптимізує витрати, оскільки фахівці можуть зосередитися на найбільш перспективних ділянках. Таким чином, комплексний підхід

до аналізу сейсмічних даних не лише підвищує ефективність пошуку вуглеводнів, але й сприяє більш раціональному використанню ресурсів, що є критично важливим для успішної розробки газових родовищ у регіоні.

Внесок авторів: Наталія Русаченко – концептуалізація, написання (перегляд і редагування), методологія; Павло Кузьменко – написання (оригінальна чернетка), програмне забезпечення, валідація даних, формальний аналіз; Сергій Вижва – концептуалізація, методологія.

Список використаних джерел

- Avseth, P., & Veggeland, T. (2015). Seismic screening of rock stiffness and fluid softening using rock-physics attributes. *Interpretation*, 3, SAE85-SAE93. <https://doi.org/10.1190/INT-2015-0054.1>
- Chapman, M., Liu, E., & Li, X.-Y. (2006). The influence of fluid sensitive dispersion and attenuation on AVO analysis. *Geophysical Journal International*, 167(1), 89–105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02919.x>
- Dutta, N. C., & Odé, H. (1983). Seismic reflections from a gas-water contact. *GEOPHYSICS*, 48, 148–162. <https://doi.org/10.1190/1.1441454>
- Kong, L., Gurevich, B., Müller, T. M., Wang, Y., & Yang, H. (2013). Effect of fracture fill on seismic attenuation and dispersion in fractured porous rocks. *Geophysical Journal International*, 195(3), 1679–1688. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt354>
- Latiff, A. H., & Ghosh, D. (2014). A Hybrid Approach for Subsurface Illumination Analysis in Shallow Gas Region: A Case Study in Malay Basin.
- Pride, S., Berryman, J., & Harris, J. (2004). Seismic attenuation due to wave-induced flow. *Journal of Geophysical Research*, 109, B01201. <https://doi.org/10.1029/2003JB002639>
- Telesto Energy. (n.d.). Compressional to shear velocity ratio. <https://www.telestoenergy.com/compressional-to-shear-velocity-ratio/>
- Zhang, H., & Innanen, K. A. (2017). Frequency dependent attenuation and dispersion in patchy saturated porous rocks. *GeoConvention 2017*.
- Вижва, С., Соловйов, І., Круглик, В., & Лісний, Г. (2019). Використання технології інтерактивної класифікації геологічних тіл для прогнозування покладів газу на сході України. *Вісник Київського ун-ту. Геологія*, 84(1), 70–76. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.84.10>
- Михалевич, І. Л., Кузьменко, П. М., Тищенко, А. П., Вижва, А. С., & Вижва, С. А. (2021). Виділення пасток неструктурного типу у межах північного борту Дніпровсько-Донецької западини за даними AVO-аналізу та сейсмічної інверсії. *Геофизический журнал*, 43(2), 227–235. <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001306568>

References

- Avseth, P., & Veggeland, T. (2015). Seismic screening of rock stiffness and fluid softening using rock-physics attributes. *Interpretation*, 3(3), SAE85-SAE93. <https://doi.org/10.1190/INT-2015-0054.1>
- Chapman, M., Liu, E., & Li, X.-Y. (2006). The influence of fluid sensitive dispersion and attenuation on AVO analysis. *Geophysical Journal International*, 167(1), 89–105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02919.x>
- Dutta, N. C., & Odé, H. (1983). Seismic reflections from a gas-water contact. *GEOPHYSICS*, 48(2), 148–162. <https://doi.org/10.1190/1.1441454>
- Kong, L., Gurevich, B., Müller, T. M., Wang, Y., & Yang, H. (2013). Effect of fracture fill on seismic attenuation and dispersion in fractured porous rocks. *Geophysical Journal International*, 195(3), 1679–1688. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt354>
- Latiff, A. H., & Ghosh, D. (2014). A Hybrid Approach for Subsurface Illumination Analysis in Shallow Gas Region: A Case Study in Malay Basin.
- Mikhalevych, I. L., Kuzmenko, P. M., Tyshchenko, A. P., Vyzhva, A. S., & Vyzhva, S. A. (2021). Identification of nonstructural type traps with in the limits of northern side of Dnieper-Donets depression according to the data of avo analysis and seismic inversion. *Geophysical Journal*, 43(2), 227–235. <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001306568>
- Pride, S., Berryman, J., & Harris, J. (2004). Seismic attenuation due to wave-induced flow. *Journal of Geophysical Research*, 109(B1), B01201. <https://doi.org/10.1029/2003JB002639>
- Telesto Energy. (n.d.). Compressional to shear velocity ratio. <https://www.telestoenergy.com/compressional-to-shear-velocity-ratio/>
- Vyzhva, S., Solovyov, I., Kruglyk, V., & Lisny, G. (2019). Use of the technology of interactive classification of geological bodies for gas deposits forecasting in eastern Ukraine. *Bulletin of the Kyiv University. Geology*, 84(1), 70–76. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.84.10>
- Zhang, H., & Innanen, K. A. (2017). Frequency dependent attenuation and dispersion in patchy saturated porous rocks. *GeoConvention 2017*.

Отримано редакцією журналу / Received: 23.11.24
Прорецензовано / Revised: 08.01.25
Схвалено до друку / Accepted: 12.03.25

Nataliia RUSACHENKO, PhD Student
ORCID ID: 0000-0002-7407-696X
e-mail: rusachenko_natasha@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Pavlo KUZMENKO, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0009-0007-0157-9391
e-mail: pavlo.kuzmenko@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Serhii VYZHVA, DSc (Geol.), Prof.
ORCID ID: 0000-0003-4091-6649
e-mail: s.vyzhva@knu.ua;
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF VELOCITY ANOMALIES AND RESULTS OF SEISMIC DATA DYNAMIC INTERPRETATION IN THE STUDY OF COMPLEX GAS RESERVOIRS

Background. One of the priority tasks of geophysics is to detect hydrocarbon accumulations at an early stage of exploration, before drilling the first well, when only seismic data are available. Analysis of elastic wave velocity anomalies together with the results of quantitative interpretation of seismic data is an additional tool for outlining the distribution of reservoir rocks. This is especially relevant for complex deposits in the salt dome zones of the DDB (Dnieper-Donetsk basin).

Methods. When the rock is saturated with fluids, its density and elastic waves propagation velocity change, which affects the reflection and transmission of seismic waves. Changes in seismic amplitudes and velocities indicate signs of the presence of various fluids, such as oil, gas or water, thereby helping to identify reservoir fluids. Also, indirect diagnostic tools are AVO analysis and elastic inversion.

Results. Six gas fields in the DDZ territory were analyzed, which have identical seismic field characteristics within the gas deposit. The integral influence of a porous saturated layer on the amplitudes, frequencies and propagation velocities of elastic waves was described.

Conclusions. As a result of a comprehensive analysis of seismic data, a methodology was described that allows assessing the key characteristics of the reservoir and, at the same time, identifying gas traps or areas of hydrocarbon accumulation inherent in the DDB region.

Keywords: seismic exploration, processing, velocity anomaly, intercept, gradient, angle stacks, AVO analysis.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.