

ВИКОРИСТАННЯ ПРЯМИХ ІНДИКАТОРІВ ВУГЛЕВОДНІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАФТОГАЗОВИХ ПОКЛАДІВ У ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКІЙ ЗАПАДИНІ

УДК 550.834

Сергій
ВИЖВА

доктор геологічних наук, професор, директор ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, член Спілки геологів України

Ігор
СОЛОВЙОВ

кандидат геолого-мінералогічних наук, генеральний директор ТОВ «ГеоЮніт», член Спілки геологів України

Ігор
МИХАЛЕВИЧ

заступник головного геолога ТОВ «КУБ-ГАЗ»

Вікторія
КРУГЛИК

провідний геолог ТОВ «ГеоЮніт», член Спілки геологів України

Георгій
ЛІСНИЙ

доктор геологічних наук, доцент, радник генерального директора ТОВ «ГеоЮніт», член Спілки геологів України

За результатами численних сейсмічних досліджень, проведених на площах і родовищах Дніпровсько-Донецької западини, розроблено стратегію виявлення пасток вуглеводнів у цьому регіоні з урахуванням сучасних вимог до пошуків та розвідки покладів газу та нафти. Дослідження полягають у визначенні ймовірних зон скупчення вуглеводнів на основі аналізу структурно-тектонічної моделі. Необхідним елементом розв'язання такої задачі є використання прямих індикаторів вуглеводнів для прогнозування пасток структурного, літологічного або комбінованого типу.

Визначено, що ефективним підходом до виявлення пасток вуглеводнів у цьому регіоні є атрибутний аналіз із використанням таких сейсмічних атрибутів, як обвідна сейсмічного сигналу, акустичний імпеданс або відносний акустичний імпеданс. У більшості практично важливих випадків аналіз розподілу значень цих атрибутів виявився достатнім для виконання геологічних завдань. Наведено приклад вилучення додаткової корисної інформації щодо просторового розподілу пасток вуглеводнів з об'ємних зображень, що отримані за сейсмограмами спільних джерел з обмеженим діапазоном нахилів кутів променів.

Для аналізу розподілів значень сейсмічних атрибутів рекомендовано застосовувати технологію виявлення геологічних тіл Geobody як найбільш ефективну у разі використання даних об'ємної сейсморозвідки. Залежно від типів сейсмічних атрибутів, застосовуваних у процесі аналізу, визначено розподіли різних властивостей гірських порід, зокрема зони підвищеної пористості або зони наявності вуглеводнів. Використання кількох сейсмічних атрибутів дає можливість виявити насичені вуглеводнями геологічні тіла з підвищеною пористістю тощо.

У статті наведено приклади виявлення пасток вуглеводнів на площах і родовищах Дніпровсько-Донецької западини, практично підтверджені шляхом буріння свердловин.

Здійснено узагальнення про розподіл перспективних щодо наявності вуглеводнів ділянок на північному борту Дніпровсько-Донецької западини та співвідношення цього розподілу з виявленими структурними елементами геологічного середовища.

Ключові слова: сейсморозвідка; пастки вуглеводнів; сейсмічні атрибути; геологічні тіла; прямі індикатори вуглеводнів.

ВСТУП

Розвиток нафтогазової галузі України традиційно пов'язаний із вирішенням складних проблем розвідки та розроблення родовищ вуглеводнів. Це зумовлено низкою причин, зокрема великими глибинами та складною геологічною будовою родовищ нафти і газу. Цілком природно, що успішне розв'язання геологічних задач у таких умовах пов'язано

із використанням нових ефективних технологій. У частині пошуків та розвідки родовищ вуглеводнів головну роботу із впровадження у геологічне виробництво нової техніки, технологій та програмного забезпечення здійснила українська компанія «ГеоЮніт». Виробничу діяльність ця організація розпочала у 1998 році. В цей час геофізичні підрозділи компанії були об'єднані під загальною

назвою «Група компаній "Надра"». Головним завданням компанії є забезпечення українських та іноземних нафтових компаній об'ємними цифровими геологічними моделями, що дають змогу значно підвищити ефективність розроблення родовищ вуглеводнів. Завдяки зусиллям організації сейсмозвідування 3D стає галузевим стандартом, що передбачає збирання даних із використанням телеметричного обладнання, перетворення польових сейсмограм на об'ємні зображення геологічного середовища та надання їм геологічного змісту або побудову геологічних моделей резервуарів вуглеводнів. Для цього вперше в Україні було організовано дві сейсмічні експедиції, укомплектовані сучасними вібраційними джерелами та системами збирання даних компанії Input/Output, Inc. Створено великий обчислювальний центр із високопродуктивними багатопроцесорними серверами для оброблення сейсмозвідувальної інформації, перетворення сейсмограм спільних джерел на об'ємні зображення геологічного середовища та побудови цифрових геологічних моделей резервуарів вуглеводнів. Обчислювальний центр використовує ліцензійні програмні пакети компанії Emerson Paradigm для оброблення сейсмозвідувальної інформації та компанії Schlumberger для інтерпретації геолого-геофізичних даних та побудови моделей резервуарів вуглеводнів. На вимогу замовників сейсмозвідувальних робіт обчислювальний центр використовує також технології і програми інших виробників на умовах оренди або лізингу. За час діяльності компанії було проведено сейсмічні дослідження та створено об'ємні геологічні моделі для більш ніж шістдесяти родовищ та ліцензійних площ, у результаті чого виявлено понад двадцять нових родовищ та сімдесят покладів нафти і газу.

Незважаючи на очевидні досягнення у сфері розвідки родовищ вуглеводнів, менеджмент та фахівці компанії, до яких належать спеціалісти найвищої кваліфікації, в тому числі кандидати та доктори геологічних наук, добре усвідомлюють необхідність підвищення правдивості результатів побудови геологічних моделей у частині визначення фільтраційно-ємнісних властивостей гірських порід. Сьогодні успішність пошуків та розвідки родовищ нафти і газу безпосередньо пов'язана з використанням прямих сейсмічних індикаторів наявності вуглеводнів. Актуальність такого підходу зумовлена збільшенням значення літологічних пасток вуглеводнів у загальному обсязі видобутку нафти і газу. Про це свідчить також чимала кількість публікацій, де цей напрям сейсмозвідувальних досліджень розглядають, ґрунтуючись на сучасних технологічних рішеннях.

Використання тривимірних сейсмічних зображень для вивчення та аналізу прямих індикаторів вуглеводнів передбачає визначення об'ємних розподілів їхніх значень. Традиційні підходи до аналізу тривимірних масивів сейсмічних зображень та атрибутів через їхні двовірні розрізи втрачають правдивість через збільшення впливу суб'єктивного чинника. Вирішити цю проблему можна шляхом використання технології інтерактивної

класифікації хвильових полів і сейсмічних атрибутів. Така технологія дає можливість знаходити об'ємні об'єкти, визначальними для яких є певні діапазони зміни значень їхніх характеристик. Важливим окремим випадком застосування технології інтерактивної класифікації є виявлення аномалій AVO, характерними для яких є певні діапазони змін атрибутів AVO.

У статті розглянуто результати виявлення покладів вуглеводнів шляхом застосування технології інтерактивної класифікації сейсмічних атрибутів для території Дніпровсько-Донецької западини.

ПРИНЦИПИ ОБ'ЄМНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

Моделювання резервуарів вуглеводнів передбачає виділення в їхніх межах пасток нафти або газу. Під час комп'ютерного моделювання резервуари зображають як набір комірок, що асоціюються з певними фізичними характеристиками або сейсмічними атрибутами. Фізичними характеристиками можуть бути: огинаюча сейсмічного сигналу, акустичний імпеданс, пористість тощо. Набір зв'язаних комірок називатимемо геологічним тілом. Процедура виявлення геологічних тіл полягає у знаходженні зв'язаних комірок, що перебувають у заданому діапазоні змін фізичних характеристик. Важливим елементом у процесі виявлення геологічних тіл є врахування їхнього фізичного об'єму, адже дуже малі тіла не становлять практичного інтересу.

Для виділення геологічних тіл в моделях родовищ або перспективних площ застосовували різні підходи та технології. Наприклад, було запропоновано (Hoshen and Kopelman, 1976) спосіб визначення геологічних тіл із застосуванням принципів кластерного аналізу. Процес обчислень за цією технологією виконували з допомогою CPU (центрального процесора), і він потребував багато часу на обчислення. Алгоритм, запропонований вченим (Deutsch, 1998), передбачав сканування тривимірної сітки комірок геологічної моделі окремо уздовж напрямків X,Y,Z. У результаті сканування були виділені зв'язані комірки, які перебували в заданому діапазоні значень атрибутів. Відповідні обчислювальні програми також були реалізовані з використанням CPU, що призводило до суттєвих витрат обчислювального часу.

Не зупиняючись на докладному описі різних способів класифікації геологічних тіл, зазначимо, що вивчення резервуарів вуглеводнів пов'язано з наявністю багатьох невідомих параметрів. Зазвичай для одного резервуару вуглеводнів створюють кілька альтернативних моделей, які презентують можливі розподіли параметрів резервуара. Разом з тим для кожної моделі необхідно виконати процедури виявлення геологічних тіл, визначення їхніх розмірів, взаємного впливу, зв'язку із свердловинами тощо. Таким чином, важливою задачею є зменшення часу обчислень за умови використання стандартної комп'ютерної техніки. Сьогодні це успішно виконується за допомогою паралельних обчислень на графічних картах (GPU) (Вижва та ін., 2016; Vyzhva et al., 2019). Наприклад, такий

процес у програмному пакеті Petrel (Schlumberger), що має назву технологія Geobody, дає змогу отримувати результати щодо виділення геологічних тіл фактично в реальному часі.

КЛАСИФІКАЦІЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ТІЛ ЗА ОДНИМ СЕЙСМІЧНИМ АТРИБУТОМ

Сучасні підходи до пошуків пасток вуглеводнів у Дніпровсько-Донецькій западині передбачають використання даних сейморозвідки як доволі інформативних. Разом із побудовою структурно-тектонічних моделей вивчають розподіли значень сейсмічних атрибутів, що дають можливість отримати кількісні характеристики фізичних властивостей гірських порід. У деяких випадках це дає змогу доволі точно виявляти пастки вуглеводнів будь-якого типу. Для ліцензійних ділянок Дніпровсько-Донецької западини значний інтерес становить розвідка літологічних пасток вуглеводнів. Вивченню таких пасток присвячено серію статей (Вишва та ін., 2018; Вишва та ін., 2019; Вишва та ін., 2020), а також тез доповідей на міжнародних конференціях (Vyzhva et al., 2018; Vyzhva et al., 2019; Vyzhva et al., 2020; Стрельцова та ін., 2019). Результати цих робіт засвідчують, що літологічні пастки доволі поширені в межах північного борту Дніпровсько-Донецької западини, а їхня розвідка має практичне значення. Процес виявлення літологічних пасток ґрунтується на аналізі значень сейсмічних атрибутів, що мають певний фізичний зміст. Цілком інформативними для визначення літологічних пасток є такі сейсмічні атрибути, як акустичний імпеданс, у тому числі й відносний акустичний імпеданс, огинаюча сейсмічного сигналу, миттєва частота. Цікавими також є зображення, побудовані за сейсмограмами з обмеженими діапазонами кутів променів, які використовують для отримання AVO атрибутів та визначення характеру насичення гірських порід вуглеводнями. Ці та деякі інші сейсмічні атрибути мають назву прямих індикаторів наявності вуглеводнів. Зрозуміло, що фізичний зміст цих індикаторів не обмежує їхнє застосування для виявлення лише літологічних пасток. Їх з однаковим успіхом використовують для виявлення наявності вуглеводнів у пастках будь-якого типу, зокрема структурних. Однак для виявлення неструктурних пасток головним підходом є саме використання прямих індикаторів вуглеводнів.

Розглянемо ділянку в південно-східній частині північного борту Дніпровсько-Донецької западини, що є перспективною щодо наявності вуглеводнів. У цій зоні можна виділити площу, структурні пастки вуглеводнів якої належать до відкладів башкирського та московського ярусів середнього карбону. Ці пастки характеризують незначні ресурси вуглеводнів та слабо виражений структурний чинник. За таких умов важливого значення набуває прогнозування покладів вуглеводнів з допомогою прямих сейсмічних індикаторів наявності нафти і газу в геологічному середовищі. Ефективним способом реалізації такого прогнозування є інтерактивна класифікація сейсмічних атрибутів та пов'язаних із ними геологічних тіл з певними фізичними

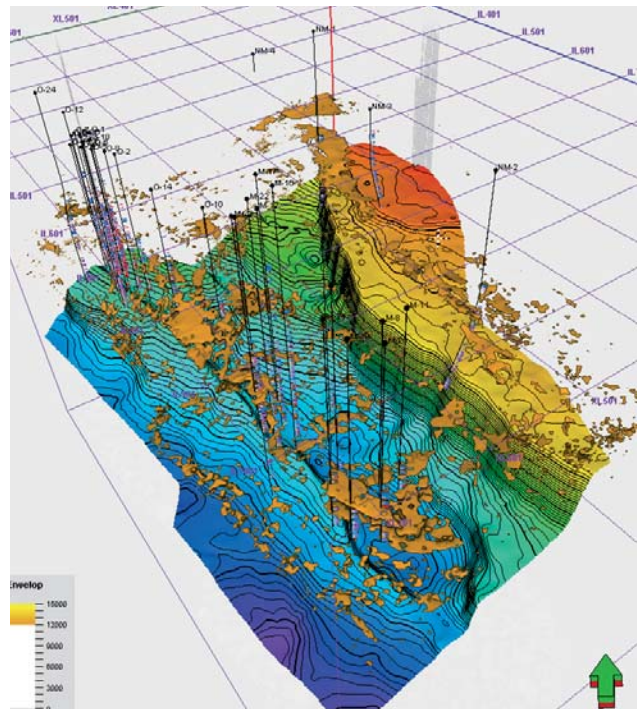


Рисунок 1. Просторовий розподіл тривимірних геологічних тіл, що відповідають підвищеним значенням огинаючої сейсмічного сигналу

властивостями. У наявних технологіях використовують різну кількість атрибутів.

Найбільш простою є класифікація на основі одного сейсмічного атрибута. Характерним її прикладом є виявлення підвищених значень огинаючої сейсмічних сигналів. Аномалії таких значень відомі також як аномалії «яскравих плям». Ефективність технології «яскравих плям» зумовлена тим, що відбиття від пластів гірської породи, насиченої вуглеводнями, або породи з низькими значеннями акустичного імпедансу характеризують значно більші амплітуди порівняно із хвилями, відбитими від пластів ущільнених гірських порід.

Для виявлення перспективних щодо наявності вуглеводнів ділянок за допомогою огинаючої сейсмічних сигналів використано технологію класифікації Geobody компанії Schlumberger. На *рисунку 1* зображено результат обчислення об'ємних елементів геологічного розрізу, перспективних щодо наявності природного газу. Діапазон зміни значень огинаючої у цьому прикладі становить 90–100%.

Однак підвищені значення коефіцієнтів відбиття можуть характеризувати також межі розділення гірських порід з іншими фізичними властивостями. Наприклад, підвищені значення огинаючої сейсмічного сигналу можуть свідчити про межі пластів карбонатів, вугілля, інтрузій тощо. Для підтвердження актуальності виділених тривимірних об'єктів щодо наявності в них природного газу необхідно долучити свердловинні дані.

Важливою характеристикою технології Geobody є можливість виділяти тривимірні геологічні об'єкти, які складно, а інколи неможливо, виявити шляхом аналізу

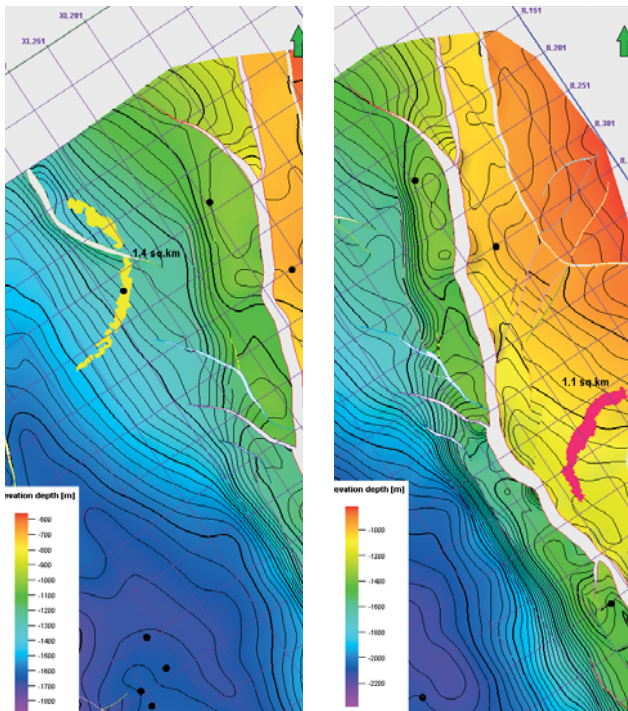


Рисунок 2. Стародавні річкові долини, виявлені за допомогою аналізу об'ємного розподілу значень огинаючої сейсмічного сигналу:

- а) у відкладах московського ярусу середнього карбону;
б) у відкладах башкирського ярусу середнього карбону

двовірних розрізів об'ємних зображень або масивів сейсмічних атрибутів. Характерним прикладом таких геологічних об'єктів є флювіальні відклади, які відіграють значну роль у формуванні родовищ вуглеводнів і доволі поширені у світі. Це пояснює посилену увагу до вивчення флювіальних резервуарів, моделювання яких є сферою багатьох наукових досліджень. Значні варіації розмірів таких резервуарів, їхній неоднорідний характер та складні геометричні форми спричиняють певні труднощі в побудові їхніх тривимірних моделей. Для оптимізації розвідки родовищ флювіального типу використовують різні технології фаціального моделювання. Однак певні алгоритмічні обмеження інколи стають причиною надмірного спрощення моделей таких резервуарів. Це призводить до зниження якості їхнього прогнозу. Наявність сучасної докладної сейсмічної та свердловинної інформації є передумовою для побудови достовірних моделей флювіальних резервуарів. Науковці (Vevle et al., 2018) зазначають, що флювіальні та дельтові родовища є одними з найважливіших у світі. Вони набули практичного значення близько тридцяти років тому і залишаються актуальними сьогодні. Багато великих родовищ є комбінацією різних річкових та дельтових відкладів. Однак, попри значний технологічний прогрес у сфері моделювання резервуарів вуглеводнів, проблеми вивчення флювіальних резервуарів у тривимірному поданні залишаються актуальними. Головною метою фаціального моделювання є отримання точного чисельного подання геологічної моделі

резервуара, що використовується для подальшого його наповнення петрофізичними властивостями.

Аналіз головних елементів флювіальних систем свідчить, що достовірність їхнього прогнозу залежить від всебічного врахування неоднорідностей геологічного середовища. У загальному випадку флювіальні системи описують як композицію кількох фацій: руслових, дельтових, заплавних тощо. В результаті процесів осадконакопичення кожна з фацій утворює геологічні тіла, що мають особливі структурні моделі та відрізняються за фізичними властивостями гірських порід. Моделювання таких структур передбачає насамперед точне відтворення їхніх геометричних та фаціальних особливостей з урахуванням геологічних уявлень про родовище або площу, наявної геолого-геофізичної інформації, можливостей технологій, що використовуються, та відповідних програм об'ємного моделювання. Як приклад такого моделювання на *рисунку 2* зображено стародавні руслові тіла у відкладах башкирського та московського ярусів середнього карбону. Такі руслові тіла є перспективними щодо наявності вуглеводнів у гірських породах, з яких вони складаються. Прогнозні ресурси природного газу становлять приблизно 60 млн м³ для об'єкта у відкладах московського ярусу та 40 млн м³ у відкладах башкирського ярусу середнього карбону. У цьому разі традиційні підходи до виявлення таких геологічних тіл не дали позитивних результатів. Цьому є пояснення: аналіз послідовності двовірних розрізів сейсмічних зображень або масивів сейсмічних атрибутів не дає змоги прослідкувати напрямки поширення руслових тіл через їхню нерегулярну форму та, відповідно, невеликі розміри в розрізах об'ємного сейсмічного зображення або в розрізах тривимірних масивів сейсмічних атрибутів.

Розглянемо приклад виявлення газонасиченого геологічного тіла у відкладах продуктивного горизонту М-3 московського ярусу середнього карбону. Для цього звернімося до *рисунку 3*, на якому зображено відповідне геологічне тіло з площею 0,5 км², що є класичною літологічною пасткою вуглеводнів. Ізолінії та кольорова палітра свідчать про глибини відбиваючого горизонту в товщі відкладів продуктивного горизонту М-3 московського ярусу середнього карбону. За вихідні дані використано об'ємне зображення, побудоване за сейсмограмами спільних джерел з обмеженим діапазоном нахилу променів. У цьому разі діапазон нахилу сейсмічних променів становить 10–30 градусів. Розріз такого зображення, що перетинає виділене геологічне тіло, наведено на *рисунку 4*. Для виявлення газонасиченого геологічного тіла використано лише один атрибут – огинаючу сейсмічного сигналу. У цьому випадку інформативності огинаючої сейсмічного сигналу виявилось достатньо для визначення літологічної пастки газу.

Наявність газу в літологічній пастці підтверджено даними, отриманими з вертикальної свердловини, зображеної на *рисунку 4*. Червоними точками вказано зони перфорації. Великі амплітуди сигналів хвиль сейсмічного зображення, вказані блакитним кольором, відповідають газовому покладу. Інакше кажучи, газовий

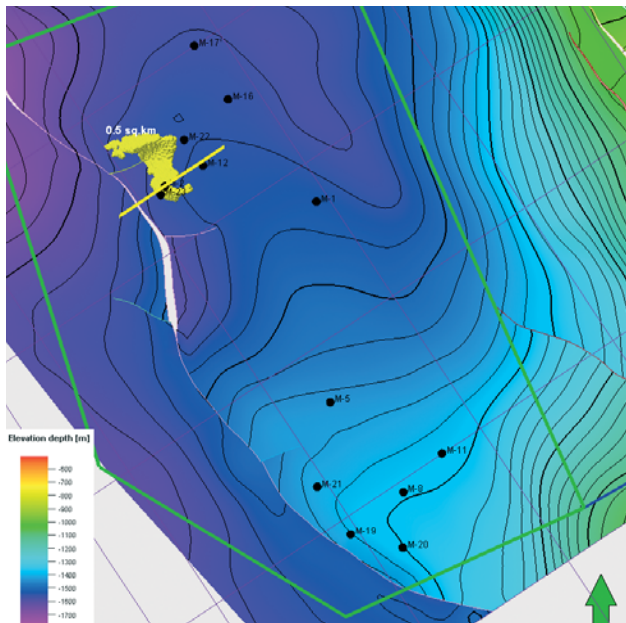


Рисунок 3. Газонасичене геологічне тіло у відкладах продуктивного горизонту М-3 московського ярусу середнього карбону

поклад, окреслений на сейсмічному зображенні, є класичною «яскравою плямою». Наведений вертикальний розріз містить також додаткову важливу інформацію: нижче газового покладу є горизонтальна зона, де зафіксовано підвищені амплітуди сигналів хвиль сейсмічного зображення, яка має назву «плоска пляма» і вказує на контакт газу з водою.

Для оцінювання пористості гірських порід та обчислення запасів газу в літологічній пастці можна використовувати акустичний імпеданс або відносний акустичний імпеданс. Однак у цьому випадку визначення пористості та підрахунок запасів газу було зроблено за даними геофізичних досліджень у пробуреній через пастку свердловині.

КЛАСИФІКАЦІЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ТІЛ ЗА НАБОРОМ СЕЙСМІЧНИХ АТРИБУТІВ

Наведені вище приклади інтерактивної класифікації передбачали використання одного сейсмічного атрибута, однак використання кількох атрибутів суттєво розширює можливості. Характерним прикладом класифікації за двома параметрами, або атрибутами, є технологія AVO. Вона дає змогу виділяти геологічні тіла, пов'язані зі змінами амплітуд сейсмічних хвиль залежно від відстані між їхніми джерелами та приймачами. У монографії (*Chopra and Castagna, 2014*) наведено вичерпні дані щодо класифікації аномалій AVO. Один із ефективних способів класифікації ґрунтується на аналізі кросплатів атрибутів AVO, зокрема градієнта та інтерсепта. Визначення співвідношень між значеннями градієнта та інтерсепта дають можливість прогнозувати тип гірської породи, її фільтраційно-ємнісні властивості, а також вид флюїду, що її насичує (*Rutherford and Williams, 1989; Castagna et al., 1998*).

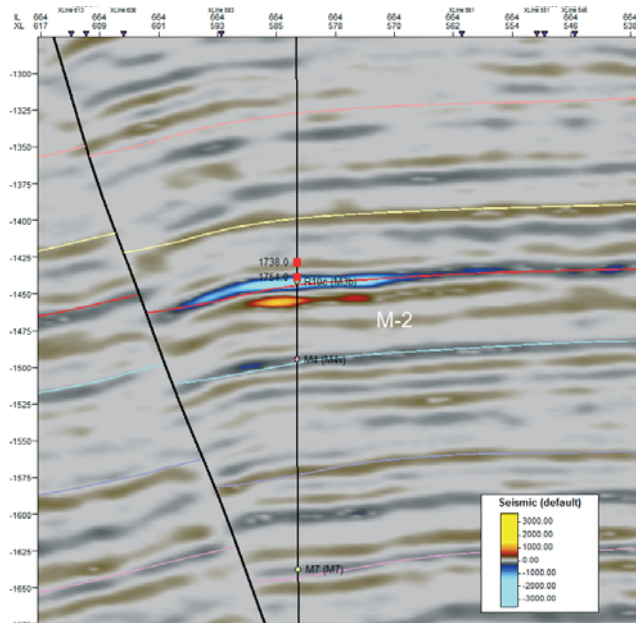


Рисунок 4. Вертикальний розріз об'ємного зображення, побудованого за сейсмограмами спільних джерел з обмеженим діапазоном нахилів кутів променів

Для першого класу аномалій AVO коефіцієнт відбиття, а разом з ним і інтерсепт, є позитивним для нульового віддалення. Коефіцієнт відбиття зменшується у разі віддалення джерел від приймачів. Зміна знаку коефіцієнта відбиття призводить до появи «тьмянних плям» на сейсмічних зображеннях, побудованих за відповідними кутівими наборами трас сейсмограм спільних джерел.

Другий клас характеризують слабка контрастність імпедансу на межах розділення пластів та різні знаки інтерсепта. Низька контрастність імпедансу відповідає малим значенням інтерсепта. У разі від'ємних значень інтерсепта зміна полярності відбитих хвиль відсутня. За позитивних значень інтерсепта відбувається зміна полярності відбитих хвиль разом зі збільшенням відстані між джерелами та приймачами.

Третій клас аномалій AVO визначає низький імпеданс, але високу контрастність імпедансу на межах розділення пластів. Від'ємні значення інтерсепта та градієнта свідчать про збільшення інтенсивності відбитих хвиль разом зі збільшенням відстані між джерелами та приймачами. Разом з тим коефіцієнт відбиття зберігає від'ємний знак. Цей клас AVO асоціюється із класичними аномаліями коефіцієнтів відбиття з великими негативними значеннями, або аномаліями «яскравих плям».

Четвертий клас AVO, описаний науковцями (*Castagna and Swan, 1997*), відповідає пісковикам зі значними за модулем негативними коефіцієнтами відбиття для нульових віддалень. Разом із збільшенням відстані амплітуда відбитих хвиль слабо збільшується та зберігає від'ємний знак. Аномалії такого класу відповідають слабоконсолідованим пісковикам, що залягають на невеликих глибинах, а також пористим пісковикам, розміщеним між

ущільненими гірськими породами, наприклад сланцями, алевролітами або карбонатами.

У загальному випадку технологію AVO можна розглядати як окремий приклад класифікації з використанням двох сейсмічних атрибутів. Отже, класифікація за допомогою кількох сейсмічних атрибутів є більш універсальною (Roden and Chen, 2017). Вона дає можливість прогнозувати набагато більше властивостей гірських порід порівняно з класифікацією на основі одного атрибуту.

Для класифікації геологічних тіл за двома атрибутами використовуються також розподіли значень швидкостей поздовжніх V_p та поперечних V_s хвиль тощо. Зокрема, класифікація із застосуванням швидкостей V_p та V_s дає змогу вивчати властивості порових флюїдів та літологію (Foster et al., 1993; Verm and Hilberman, 1995; Foster et al., 1997; Castagna et al., 1998; Foster and Keys, 1999).

Повертаючись до класифікації на основі AVO атрибутів інтерсепта та градієнта, розглянемо можливість виявлення з її допомогою геологічних тіл, перспективних щодо наявності вуглеводнів. Для цього використовують двовимірну інтерактивну панель, на якій у графічний спосіб задають області зміни значень атрибутів. У загальному випадку конфігурація областей зміни значень атрибутів може мати довільну форму. Гнучкий підхід до вибору областей зміни значень сейсмічних атрибутів дає можливість визначити нові класи аномалій AVO або уточнювати наявні класи залежно від геологічних особливостей площі досліджень. Послідовність процедур класифікації у цьому разі є такою: завантаження в проєкт продуктивних свердловин, визначення продуктивних інтервалів та характеру насичення вуглеводнями, обрання областей зміни значень атрибутів для досягнення збігу об'ємних геологічних тіл із зонами насичення гірських порід вуглеводнями, виділення геологічних тіл із заданими діапазонами зміни значень сейсмічних атрибутів та достатніми для закладання нових свердловин ресурсами вуглеводнів.

На *рисунку 5* зображено геологічне тіло, виділене за допомогою AVO атрибутів інтерсепта та градієнта.

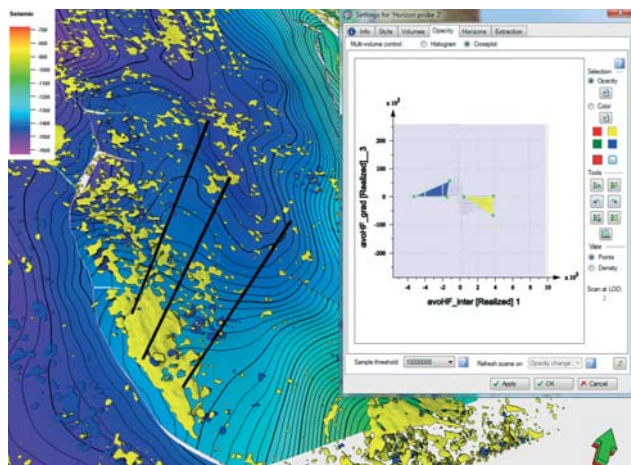


Рисунок 5. Геологічне тіло у відкладах московського ярусу середнього карбону, виявлене з використанням атрибутів інтерсепта та градієнта

Області допустимих значень атрибутів вказано у правій частині *рисунку*. Вони визначені шляхом ітерацій за критерієм максимальних розмірів та суцільної будови геологічних тіл. Апріорними даними для початку ітераційного процесу було припущення щодо наявності в геологічному середовищі пісковиків з низькими та середніми значеннями акустичного імпедансу, що належать до другого та четвертого класу AVO аномалій. Третій клас аномалій у цьому випадку не розглядаємо, бо йому відповідають аномалії «яскравих плям». Такі аномалії можна виявити шляхом класифікації за одним атрибуту. Приклади виявлення аномалій «яскравих плям» розглянуто вище.

Геологічне тіло, зображене на *рисунку 5*, відповідає відкладам московського ярусу середнього карбону. Для розкриття цього об'єкта пробурено свердловини (*рис. 5*) і таким чином підтверджені наявність в ньому промислових запасів природного газу.

Описаний вище підхід було застосовано для виділення геологічного тіла, зображеного на *рисунку 6*. Воно відповідає відкладам башкирського ярусу середнього карбону. Для розкриття цього об'єкта пробурено свердловини і таким чином підтверджені наявність у ньому запасів природного газу, що оцінюються як промислові.

Розглянуті літологічні пастки вуглеводнів (геологічні тіла) були виділені шляхом відповідного обрання діапазонів зміни значень тривимірних масивів інтерсепта та градієнта на двовимірних областях визначення цих AVO атрибутів, зображених на *рисунках 5 і 6*.

АНАЛІЗ РОЗБІЖНОСТЕЙ МІЖ ГЕОЛОГІЧНИМИ ТІЛАМИ, НАСИЧЕНИМИ ВУГЛЕВОДНЯМИ, ТА СТРУКТУРАМИ, ПЕРСПЕКТИВНИМИ ЩОДО НАЯВНОСТІ НАФТИ І ГАЗУ

Розглянемо результати робіт з виявлення покладів вуглеводнів на ділянці площею приблизно 500 км², розташованій на північному борту Дніпровсько-Донецької западини. Під час обрання і тестування оптимальної

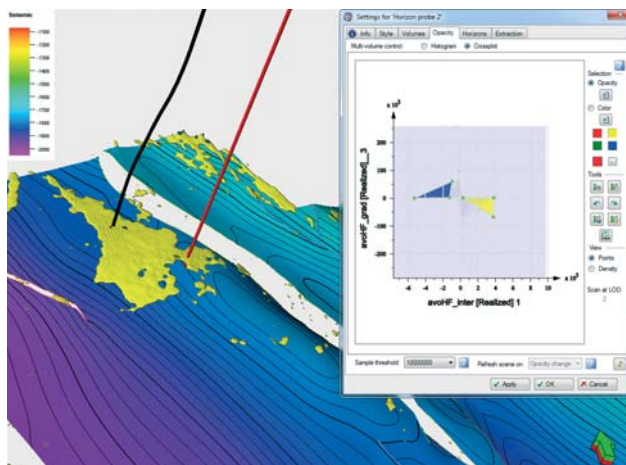


Рисунок 6. Геологічне тіло у відкладах башкирського ярусу середнього карбону, виявлене за допомогою технології Geobody з використанням атрибутів інтерсепта та градієнта

технології для виявлення геологічних тіл, насичених вуглеводнями, автори мали за мету отримати достовірні дані та прийняти чіткі рішення. Розв'язання цієї задачі ґрунтується на визначенні оптимального співвідношення між складністю та стійкістю алгоритмів, що застосовуються. У разі визначення властивостей літологічних пасток бажання досягнути максимальної точності рішень завжди пов'язано з необхідністю ускладнення технології та використання сейсморозвідувальних даних з підвищеними вимогами до їхньої якості. Однак на переважну більшість результатів сейсморозвідувальних знімів з тих чи інших причин вплинула доволі велика кількість завад. Зокрема, це типово для сейсмограм, зареєстрованих у межах Дніпровсько-Донецької западини, а також для результатів їхнього оброблення, в тому числі об'ємних сейсмічних зображень геологічного середовища. Якщо ускладнення технології дає позитивні результати щодо синтетичних сейсморозвідувальних даних, то стосовно реальних даних часто спостерігають зворотні результати. Вони пов'язані з нестійкістю обчислення сейсмічних атрибутів за сейсмограмами та сейсмічними зображеннями з низьким співвідношенням сигнал/завада. У таких випадках незначні помилки у сейсморозвідувальних даних спричиняють суттєві помилки у розподілах значень сейсмічних атрибутів, які використовують для визначення характеристик літологічних пасток вуглеводнів. З огляду на такі міркування було проведено низку експериментів і тестів з метою обрання оптимального набору сейсмічних атрибутів для виявлення геологічних тіл, насичених вуглеводнями.

На *рисунку 7* наведено схему розташування геологічних тіл, які є перспективними щодо наявності вуглеводнів. У цьому випадку кольорова палітра не надає інформації про розподіл значень сейсмічних атрибутів. Різні геологічні тіла зображено різними кольорами для зручності їхнього візуального сприйняття. Всі геологічні тіла належать до відкладів карбону. Ізольнії на схемі свідчать про виявлені структури в товщі відкладів карбону, що для традиційної структурної сейсморозвідки вважають перспективними щодо наявності вуглеводнів. Різні структурні плани зображені різними кольорами.

Аналіз наведеної на *рисунку 7* схеми вказує на суттєві розбіжності між класичними перспективними структурами та геологічними тілами, визначеними за допомогою прямих індикаторів вуглеводнів. Лише північно-західну частину наведеної ділянки характеризує збіг виділених структур та геологічних тіл, насичених вуглеводнями. Співвідношення між потенційно перспективними структурами та фактичним розташуванням пасток вуглеводнів різних типів, що вбачається зі схеми, є типовими для північного борту Дніпровсько-Донецької западини. У цьому разі закладання свердловин лише на підставі позитивного структурного чинника призводить до низької успішності буріння. Про це свідчать чисельні негативні результати буріння на цій території. Таким чином, для вдалого буріння свердловин необхідно використовувати прямі індикатори наявності вуглеводнів як для структурних, так і для неструктурних пасток.

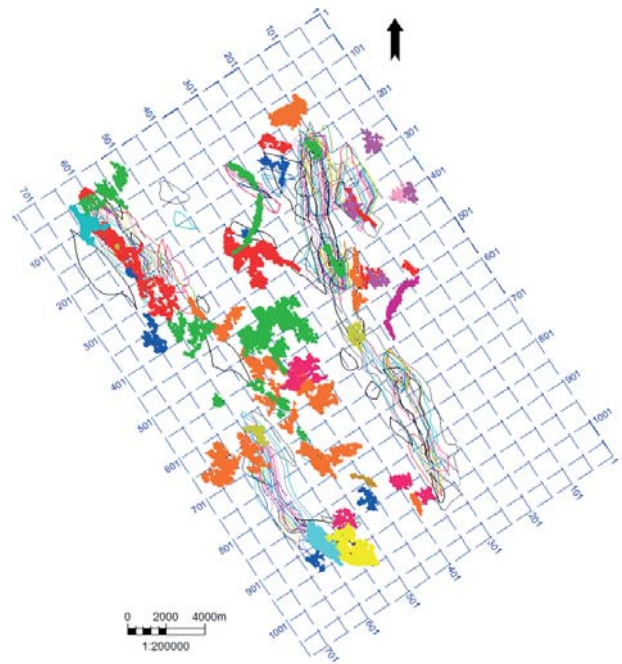


Рисунок 7. Схема розташування геологічних тіл та структур, перспективних щодо наявності вуглеводнів

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто сучасний підхід до пошуків та розвідки пасток вуглеводнів у Дніпровсько-Донецькій западині, зокрема в межах її північного борту. Результати сейсморозвідки, виконані в цьому регіоні, свідчать про зниження ефективності застосування традиційних технологій прогнозування пасток вуглеводнів, які ґрунтуються на аналізі структурно-тектонічних моделей. У деяких випадках врахування лише структурного чинника не дало позитивних результатів. Це певною мірою пов'язано з відсутністю великих структурних пасток у цьому регіоні. Відповідно, розроблення таких покладів може не досягти бажаної рентабельності. З наведеної схеми розташування геологічних тіл та структур, перспективних щодо наявності вуглеводнів, випливає наступне. Значну частину структур, які умовно вважають перспективними, характеризує низька ймовірність наявності вуглеводнів. Практика буріння свердловин на таких структурах засвідчує правильність такого висновку.

Підвищення ефективності пошуків, розвідки та розроблення покладів газу і нафти у цьому регіоні безпосередньо пов'язано із використанням прямих індикаторів вуглеводнів. У статті запропоновано концепцію доцільного використання сейсмічних атрибутів для розв'язання такої геологічної задачі. Проаналізовано ефективність застосування різних наборів сейсмічних атрибутів. Критерієм визначення оптимального набору атрибутів та технологій їхнього використання є доцільне співвідношення між

складністю та стійкістю застосовуваних алгоритмів. Визначено оптимальний спосіб інтерактивного аналізу об'ємних розподілів значень сейсмічних атрибутів, що ґрунтується на виявленні геологічних тіл з певними фізичними властивостями.

Наведено приклади виявлення пасток вуглеводнів та визначення їхніх фізичних властивостей,

практично підтверджених шляхом буріння свердловин. Виконано оцінювання розбіжностей пасток вуглеводнів, виявлених за допомогою різних наборів сейсмічних атрибутів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Вижда С., Лісний Г., Круглик В. Застосування графічних процесорів для побудови сейсмічних зображень геологічного середовища. *Вісник Київського університету. Геологія*. 2016. № 75. С. 45–49.
- Вижда С., Соловйов І., Круглик В., Лісний Г. Прогнозування зон підвищеної пористості у глинистих породах сходу України. *Вісник Київського університету. Геологія*. 2018. № 80. С. 33–39. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.80.04>
- Вижда С., Соловйов І., Круглик В., Лісний Г. Використання технології інтерактивної класифікації геологічних тіл для прогнозування покладів газу на сході України. *Вісник Київського університету. Геологія*. 2019. № 84. С. 70–76. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.84.10>
- Вижда С., Соловйов І., Михалевич І., Круглик В., Лісний Г. Використання кількісних даних 3D сейсмозвідки для виявлення пасток вуглеводнів у межах північного борту Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського університету. Геологія*. 2020. № 91. С. 35–41. [doi:http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.05](http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.05).
- Стрельцова І.О., Чуприна А.М., Круглик В.М. Визначення нафтогазоперспективності відкладів Нижньої Пермі в межах Південно-Хрестищенської площі Дніпровсько-Донецької западини із застосуванням сейсмічного атрибутивного аналізу. *Ідеї та новації в системі наук про Землю: матеріали VIII Всеукраїнської молодіжної наукової конференції*, м. Київ, 10–12 квіт. 2019 р. Київ, 2019.
- Castagna J.P., Swan H.W. Principles of AVO crossplotting. *The Leading Edge*. 1997. No 16. P. 337–342.
- Castagna J.P., Swan H.W., Foster D.J. Framework for AVO gradient and intercept interpretation. *Geophysics*. 1998. No 63. P. 948–956.
- Chopra S., Castagna J.P. AVO. *SEG, Investigation in Geophysics Series*. 2014. No 16. 288 p.
- Deutsch C.V. Fortran programs for calculating connectivity of three dimensional numerical models and for ranking multiphase saturations. *Computers&Geosciences*. 1998. No 24. 69 p.
- Foster D.J., Smith S. W., Dey-Sarkar S., Swan H.W. A closer look at hydrocarbon indicators: 63th Annual International Meeting. *SEG, Expanded Abstracts*. 1993. P. 731–733.
- Foster D.J., Keys R.G., Reilly J.M. Another perspective on AVO crossplotting. *The Leading Edge*. 1997. No 16. P. 1233–1237.
- Foster D.J., Keys R.G. Interpreting AVO responses: 69th Annual International Meeting. *SEG, Expanded Abstracts*. 1999. P. 748–751.
- Hoshen J., Kopelman R. Percolation and cluster distribution. Cluster multiple labeling technique and critical concentrational algorithm. *Physical Review*. 1976. No 14. P. 3438–3445.
- Roden R., Chen C.W. Interpretation of DHI characteristics with machine learning. *First Break*. 2017. No 35. P. 55–63.
- Rutherford S.R., Williams R.H. Amplitude-versus-offset variation in gas sands. *Geophysics*. 1989. No 54. P. 680–688.
- Vevle M.L., Scorstad A., Vonnet J. Recent developments in object modelling opens new era for characterization of fluvial reservoirs. *First Break*. 2018. No 36. P. 85–89.
- Verm R., Hilterman F. Lithology-color-coded seismic sections: the calibration of AVO crossplotting to AVO rock properties. *The Leading Edge*. 1995. No 14. P. 847–853.
- Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Modern approaches of gas deposits forecasting in Eastern Ukraine. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: XII International scientific conference*. Kyiv, Ukraine. 2018. November 13–16.
- Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Application of EasySeis software for construction of seismic images on the Dniiper-Donetsk depression. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects: XVIII International conference*. Kyiv, Ukraine. 2019. May 13–16. P. 15358.
- Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Application of two-parameter classification of seismic attributes for prediction of hydrocarbon deposits in the Dnieper-Donetsk depression. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: XIII International scientific conference*. Kyiv, Ukraine. 2019. November 12–15.

Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Recommendations for wells drilling in the unfavorable structural-tectonic conditions. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects: XIX International conference*. Kyiv, Ukraine. 2020. May 11–14. P. 17135.

Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Mykhalevych I.L., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Use of 3D seismic data for detection of hydrocarbon traps within the northern side of the Dnieper-Donetsk depression. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: XIV International scientific conference*. Kyiv, Ukraine. 2020. November 10–13.

REFERENCES

- Castagna J.P., Swan H.W. Principles of AVO crossplotting. *The Leading Edge*. 1997. No 16. P. 337–342 (in English).
- Castagna J.P., Swan H.W., Foster D.J. Framework for AVO gradient and intercept interpretation. *Geophysics*. 1998. No 63. P. 948–956 (in English).
- Chopra S., Castanga J.P. AVO. *SEG, Investigation in Geophysics Series*. 2014. No 16. 288 p. (in English).
- Deutsch C.V. Fortran programs for calculating connectivity of three dimensional numerical models and for ranking multiple realizations. *Computers&Geosciences*. 1998. No 24. 69 p. (in English).
- Foster D.J., Smith S. W., Dey-Sarkar S., Swan H.W. A closer look at hydrocarbon indicators: 63th Annual International Meeting. *SEG, Expanded Abstracts*. 1993. P. 731–733 (in English).
- Foster D.J., Keys R.G., Reilly J.M. Another perspective on AVO crossplotting. *The Leading Edge*. 1997. No 16. P. 1233–1237 (in English).
- Foster D.J., Keys R.G. Interpreting AVO responses: 69th Annual International Meeting. *SEG, Expanded Abstracts*. 1999. P. 748–751 (in English).
- Hoshen J., Kopelman R. Percolation and cluster distribution. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm. *Physical Review*. 1976. No 14. P. 3438–3445 (in English).
- Roden R., Chen C.W. Interpretation of DHI characteristics with machine learning. *First Break*. 2017. No 35. P. 55–63 (in English).
- Rutherford S.R., Williams R.H. Amplitude-versus-offset variation in gas sands. *Geophysics*. 1989. No 54. P. 680–688 (in English).
- Vevle M.L., Scorstad A., Vonnet J. Recent developments in object modelling opens new era for characterization of fluvial reservoirs. *First Break*. 2018. No 36. P. 85–89 (in English).
- Verm R., Hilterman F. Lithology-color-coded seismic sections: the calibration of AVO crossplotting to AVO rock properties. *The Leading Edge*. 1995. No 14. P. 847–853 (in English).
- Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Modern approaches of gas deposits forecasting in Eastern Ukraine. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: XII International scientific conference*. Kyiv, Ukraine. 2018. November 13–16 (in English).
- Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Application of EasySeis software for construction of seismic images on the Dnieper-Donetsk depression. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects: XVIII International conference*. Kyiv, Ukraine. 2019. May 13–16. P. 15358 (in English).
- Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Application of two-parameter classification of seismic attributes for prediction of hydrocarbon deposits in the Dnieper-Donetsk depression. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: XIII International scientific conference*. Kyiv, Ukraine. 2019. November 12–15 (in English).
- Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Recommendations for wells drilling in the unfavorable structural-tectonic conditions. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects: XIX International conference*. Kyiv, Ukraine. 2020. May 11–14. P. 17135 (in English).
- Vyzhva S.A., Solovyov I.V., Mykhalevych I.L., Kruhlyk V.M., Lisny G.D. Use of 3D seismic data for detection of hydrocarbon traps within the northern side of the Dnieper-Donetsk depression. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: XIV International scientific conference*. Kyiv, Ukraine. 2020. November 10–13 (in English).
- Vyzhva S., Lisnyi H., Kruhlyk V. Zastosuvannia hrafichnykh protsesoriv dlia pobudovy seismichnykh zobrazhen heolohichnoho seredovyshcha [The use of graphics processors to build seismic images of the geological environment]. *Visnyk Kyivskoho universytetu. Heolohiia*. 2016. № 75. P. 45–49 (in Ukrainian).
- Vyzhva S., Soloviov I., Kruhlyk V., Lisnyi H. Prohnozuvannia zon pidvyshchenoi porystosti u hlynistykh porodakh skhodu Ukrainy [Forecasting of zones of increased porosity in clay rocks of the east of Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho universytetu. Heolohiia*. 2018. № 80. P. 33–39. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.80.04> (in Ukrainian).
- Vyzhva S., Soloviov I., Kruhlyk V., Lisnyi H. Vykorystannia tekhnologii interaktyvnoi klasyfikatsii heolohichnykh til dlia prohnozuvannia pokladiv hazu na skhodi Ukrainy [Use of technology of interactive classification of geological bodies for forecasting of gas deposits in the east of Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho universytetu. Heolohiia*. 2019. № 84. P. 70–76. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.84.10> (in Ukrainian).
- Vyzhva S., Soloviov I., Mykhalevych I., Kruhlyk V., Lisnyi H. Vykorystannia kilkisnykh danykh 3D seismorozvidky dlia vyavlennia pastok vuhlevodniv u mezhakh pivnichnoho bortu Dniprovsko-Donetskoï zapadyny [Use of quantitative 3D seismic data to detect

hydrocarbon traps within the northern side of the Dnieper-Donetsk basin]. *Visnyk Kyivskoho universytetu. Heolohiia*. 2020. № 91. P. 35–41 (in Ukrainian). doi:<http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.05>.

Streltsova I.O., Chupryna A.M., Kruhlyk V.M. Vyznachennia naftohazoperspektyvnosti vidkladiv Nyzhnoi Permi v mezhakh Pivdenno-Khrestyshchenskoï ploshchi Dniprovsko-Donetskoi zapadyny iz zastosuvanniam seismichnoho atrybutyvnoho analizu [Determination of oil and gas prospects of Lower Permian sediments within the South Baptismal area of the Dnieper-Donetsk basin using seismic attributive analysis]. *Idei ta novatsii v systemi nauk pro Zemliu [Ideas and innovations in the system of Earth sciences]: materialy VIII Vseukrainskoi molodizhnoi naukovoï konferentsii [materials of the VIII All-Ukrainian youth scientific conference]*. Kyiv, 2019, April 10–12. Kyiv, 2019 (in Ukrainian).

Sergiy
VYZHVA

Doctor of Geological Sciences, Professor, director of the ESI «Institute of Geology», Taras Shevchenko National University, member of the UAG

Ihor
SOLOVYOV

Candidate of Geological Sciences, general director, GeoUnit LLC, member of the UAG

Ihor
MYKHALEVYCH

deputy chief geologist, CUB-GAS LLC

Viktoriia
KRUHLYK

senior geologist, GeoUnit LLC, member of the UAG

Georgiy
LISNY

Doctor of Geological Sciences, Associate Professor, advisor of general director, GeoUnit LLC, member of the UAG

APPLICATION OF DIRECT HYDROCARBON INDICATORS FOR OIL AND GAS PROSPECTING IN THE DNIPRO-DONETS DEPRESSION

Based on the results of numerous seismic studies carried out in the areas and fields of the Dnipro-Donets depression, the strategy to identify hydrocarbon traps in this region has been developed taking into account modern requirements for prospecting and exploration of gas and oil fields. The studies are designed to determine the favorable zones of hydrocarbon accumulations based on the analysis of the structural-tectonic model.

A necessary element for solving such a problem is to apply direct indicators of hydrocarbons to predict traps of the structural, lithological or combined type. It was determined that an effective approach to identify hydrocarbon traps in the region is attribute analysis employing seismic attributes such as seismic envelope, acoustic impedance or relative acoustic impedance. In most cases of practical importance, the analysis of the distribution of the values of these attributes turned out to be sufficient for performing the geological tasks. It is given an example of extracting additional useful information on the spatial distribution of hydrocarbon traps from volumetric images obtained from seismograms of common sources with a limited range of ray angles inclinations.

To analyze the distributions of seismic attribute values, it is recommended to use the Geobody technology for detecting geological bodies as the most effective when using volumetric seismic data. The distributions of various properties of rocks, including zones of increased porosity or zones of presence of hydrocarbons are determined depending on the types of seismic attributes used in the analysis. The use of several seismic attributes makes it possible to identify geological bodies saturated with hydrocarbons with increased porosity and the like.

The paper provides examples of hydrocarbon traps recognition in the areas and fields of the Dnipro-Donets depression practically proved by wells.

A generalization on the distribution of promising hydrocarbon areas on the Northern flank of the Dnipro-Donets depression and the relationship of this distribution with the identified structural elements of the geological subsoil is made.

Keywords: seismic survey; hydrocarbon traps; seismic attributes; geological bodies; direct indicators of hydrocarbons.