

Дослідження та методи аналізу

УДК 550.834

DOI: 10.31471/1993-9973-2021-1(78)-35-42

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ЛІТОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У МЕЖАХ ПІВНІЧНОГО БОРТУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

І. Л. Михалевич

ТОВ «КУБ-ГАЗ»; 02121, м. Київ, вул. Вірменська, 29/92, тел. 0504040049,
e-mail: *sprinter1983@ukr.net*

В роботі демонструється ефективний метод аналізу сейсмічних даних – спектральна декомпозиція. Метод у світовій практиці використовується для виділення додаткових геологічних особливостей, як інструмент сейсмічної геоморфології в умовах розвитку складних геологічних структур, під час ідентифікації палеорусел, лінз та тонких пластів. Слід відмітити, що спектральна декомпозиція не є прямим інструментом ідентифікації вуглеводневого насичення. Вона дозволяє представити сейсмічні дані у форматі RGB (red – червоний, green – зелений, blue – синій), шляхом розкладання сейсмічних даних на частотні складові. Авторами продемонстровані результати застосування методу спектральної декомпозиції сейсмічних даних в теригенних відкладах на прикладі газових родовищ у відкладах карбону в межах північного борту Дніпровсько-Донецької западини. За результатами аналізу наявних сейсмічних матеріалів показано, що в межах потужних та пористих піщаних тіл спектральна декомпозиція демонструє обґрунтовані результати, максимально інформативними частотами є 25, 28, 31, 37, 39, 47, 56 Гц. Реальне підтвердження уже відомих покладів у горизонтах московського та башкирського ярусів дає підстави вважати спектральну декомпозицію дієвим інструментом в межах північного борту ДДЗ, яка зазвичай чітко реагує на літологію та інколи, навіть, на насичення. Проаналізовано 8 найбільш представницьких горизонтів – М-2а, М-3а, М-4, М-6, М-7, Б-6 (на різних стратиграфічних рівнях), Б-7 та С-6. Найбільш однозначні результати отримані в товщі наступних продуктивних горизонтів: М-2а (поклад, який підтверджений бурінням), М-3а (поклад підтверджений бурінням та палеорусло), М-4 (палеорусло). Комплексуєчи результати спектральної декомпозиції з іншими геофізичними методами, виділені перспективні для буріння об'єкти. Дані тіла отримали своє підтвердження за даними АВО-аналізу та аналізу співвідношення V_p/V_s . На обидва об'єкта в оптимальних умовах закладені пошукові свердловини. Наочно продемонстровано, що головний акцент на спектральну декомпозицію як інструменту геологічної розвідки повинен робитися з позиції пошуку виокремлених лінз та руслових тіл з елементами структурного контролю.

Ключові слова: сейсмічні дані, спектральна декомпозиція, літологічні об'єкти, північний борт ДДЗ.

В работе демонстрируется эффективный метод анализа сейсмических данных – спектральная декомпозиция. Метод в мировой практике используется для выделения дополнительных геологических особенностей, как инструмент сейсмической геоморфологии в условиях развития сложных геологических структур, при идентификации палеорусел, линз и тонких пластов. Следует отметить, что спектральная декомпозиция не является прямым инструментом идентификации углеводородного насыщения. Она позволяет представить сейсмические данные в формате RGB (red – красный, green – зеленый, blue – синий), путем разложения сейсмических данных на частотные составляющие. Авторами продемонстрированы результаты применения метода спектральной декомпозиции сейсмических данных в терригенных отложениях на

примере газових местороджень в отложениях Карбона в пределах северного борта Днепровско-Донецкой впадины. По результатам анализа имеющихся сейсмических материалов показано, что в пределах мощных и пористых песчаных тел спектральная декомпозиция демонстрирует обоснованные результаты, максимально информативными частотами являются 25, 28, 31, 37, 39, 47, 56 Гц. Реальное подтверждение уже известных залежей в горизонтах московского и башкирского ярусов дает основания считать спектральную декомпозицию действенным инструментом в пределах северного борта ДДЗ, который обычно четко реагирует на литологию и иногда даже на насыщение. Проанализированы 8 самых представительных горизонтов - М-2а, М-3а, М-4, М-6, М-7, Б-6 (на разных стратиграфических уровнях), Б-7 и С-6. Наиболее однозначные результаты получены в толще следующих продуктивных горизонтов М-2а (залежь, которая подтверждена бурением), М-3а (залежь, подтвержденная бурением и палеорусло), М-4 (палеорусло). В результате компиляции спектральной декомпозиции с другими геофизическими методами, были выделены перспективные для бурения объекты. Данные тела получили свое подтверждение по данным АВО-анализа и анализа соотношения V_p/V_s . На оба объекта в оптимальных условиях заложены поисковые скважины. Наглядно продемонстрировано, что главный акцент на спектральную декомпозицию как инструмент геологической разведки следует делать с позиции поиска выделенных линз и русловых тел с элементами структурного контроля.

Ключевые слова: сейсмические данные, спектральная декомпозиция, литологические объекты, северный борт ДДЗ.

The article dwells upon the effective method of seismic data analysis called spectral decomposition. This method has been used worldwide for identifying additional geological features, as a tool for seismic geomorphology in the conditions of complicated geological structures during identification of paleochannels, lenses, and thin formations. It should be noted that spectral decomposition is not a direct tool for identifying the hydrocarbon saturation. It allows to represent the seismic data in the RGB format (red, green, blue) by way of decomposing seismic data into frequency elements. Authors demonstrate results of applying the seismic data spectral decomposition method within the terrigenous deposits on the example of gas fields in the Carbon age within the northern edge of Dnieper-Donets Depression. Based on the results of the available seismic material analysis, it has been shown that within thick and porous sand bodies, spectral decomposition demonstrates reasonable results, and the most informative frequencies are 25, 28, 31, 37, 39, 47, 56 Hz. By confirming the really existing deposits in the Moskovian and Bashkirian ages, spectral decomposition gives grounds for considering this method an effective tool to be used within the northern edge of the DDD, because the latter usually clearly responds to lithology, and sometimes even to saturation. The 8 most representative horizons have been analyzed: M-2a, M-3a, M-4, M-6, M-7, B-6 (at different stratigraphic levels), B-7 and S-6. The most definite results have been received within the following horizons: M-2a (the deposit has been confirmed by drilling), M-3a (the deposit and paleochannel have been confirmed by drilling), M-4 (paleochannel). Having regarded the spectral decomposition in complex with the results of other geophysical methods, some perspective objects have been identified. The bodies have been confirmed by the results of AVO and V_p/V_s analyses. Both objects served the targets for two prospecting wells located in the most optimal conditions. It has been brightly illustrated that the spectral decompositions as a tool for geological prospecting should be specifically used when some individual lenses and channel bodies are being prospected, with structural factor being present.

Key words: seismic data, spectral decomposition, lithological objects, northern edge of DDB.

Вступ

Незважаючи на те, що спектральна декомпозиція виникла як метод у 1991-1992 роках [Chakraborty A., Okooya D., 1995; Partyka G. et al., 1999], зараз у світі вона активно застосовується як інструмент сейсмічної геоморфології та є особливо актуальною в умовах розвитку складних геологічних структур, ідентифікації палеорусел, линз та тонких пластів [Henderson J. et al., 2007; Chung, et al., 1995; Henderson J., 2012]. Інколи дані спектральної декомпозиції можуть бути прямим індикатором газоносності (так званій ДНІ [Rost S., 2006] конкретного горизонту (наприклад, дуже часто високі частоти можуть поглинатись газонасиченою товщею) [Tomasso M. et al., 2010].

Спектральна декомпозиція проводиться лише на даних після підсумовування (Post

Stack). Однак, попри те, що методу вже близько 30 років, у межах України він використовується дуже рідко. Метою даної статті є показати результати практичних напрацювань цього методу в умовах північного борту ДДЗ та продемонструвати, наскільки дані спектральної декомпозиції можуть корелюватись із даними підтвердженої нафтогазоносності та результатами інших атрибутивних аналізів (АВО, інверсії) [Rutherford S. R. & Williams R. H., 1989].

Характеристика методу

Головна ідея спектральної декомпозиції — це розкладання хвильового поля на частотні складові [Henderson J., Purves S. J., Fisher, G. et al., 2008; Szafian, P., Lowell, J., Eckersley, A., et al., 2015]. Її головною перевагою є те, що вона дає можливість спеціалісту виявити в сейсміч-

ному хвильовому полі добре відомі з теорії ефекти залежності пікової частоти сейсмічного сигналу від часової потужності тонкого шару і контролювати у такий спосіб поведінку тонких пластів-колекторів потужністю менше $\frac{1}{4}$ довжини сейсмічної хвилі [Ricker N., 1953; Satish, et al., 2005].

Загалом, зміни в частотному спектрі, які можна побачити на колірній сумі, можна пов'язувати зі зміною потужності об'єкта досліджень (виклинювання), природою взаємодії між різними пластами (як варіант, через зміну їх гранулометрії), а також насиченням пласта флюїдом.

Магнітуди частотних наборів найчастіше представляють у так званому RGB-форматі (червоний, зелений та блакитний), і така форма представлення дає можливість виокремити і структурні і стратиграфічні об'єкти [McArdle N.J. & Askers M.A., 2012]. Для простоти розуміння можна описати вказану кольорову гамму так: низькі частоти магнітуд розташовані в червоному спектрі, середні частоти – в зеленому, а високі – в блакитному. Домінантний червоний колір означатиме переважаюче поширення низькочастотних магнітуд, а ціан (синьо-зелений) – рівномірне розповсюдження середніх та високих частот. Білий колір вказує на однаково сильний відгук від всіх трьох базових кольорових спектрів, а чорний – на відсутність відгуків з будь-якого із спектрів (найчастіше чорним кольором відображаються розривні порушення).

Дослідження спектральних характеристик сейсмічного хвильового поля за матеріалами родовищ північного борту ДДЗ

Полігоном для досліджень є ділянка площею близько 500 км² з пробуреною на ній 31 свердловиною глибинами від 2000 до 4000 метрів. Загалом було проаналізовано вісім найбільш представницьких горизонтів – М-2а, М-3а, М-4, М-6, М-7, Б-6 (на різних стратиграфічних рівнях), Б-7 та С-6.

Спектральна декомпозиція проводилася в чотирнадцяти двооктавних субдіапазонах, які перекривають частоти сейсмічного спектру. Двооктавність мінімізує артефакти, пов'язані з перетворенням сигналу до частотного домену і назад у часовий.

Серед результатів було обрано п'ять субдіапазонів, найбільш характерних для умов даної території. В ідеальному випадку на різних частотах мають бути відображені геологічні структурні елементи різного порядку, однак такого результату у явному вигляді отримано не було.

В межах виділеної території для кожного окремого горизонту підбиралась своя частотна компонентна гамма для оптимальної роботи спектральної декомпозиції, однак найбільш інформативними частотами слід вважати 25, 28, 31, 37, 39, 47, 56 Гц.

Розглянемо та проаналізуємо отримані результати по усіх восьми горизонтах. Досліджувані горизонти складені теригенними породами.

Газовий поклад горизонту М-2а (рис. 1) підтверджений умовними свердловинами М-21, М-19 та М-20 (незначне гіпсометричне зростання у цій лінзі спостерігається від 21 до 20 свердловини). Потужність даного горизонту складає 20 м, пористість – 18-20 %.

Даний горизонт виділяється за всіма іншими атрибутивними аналізами (AVO та сейсмічна інверсія).

Наявність газового покладу горизонту М-3а (рис. 2) було підтверджено свердловинами М-2 та М-23. Як і попередній горизонт, М-3а є виключно літологічним об'єктом, без жодного структурного фактору. У ймовірно дельтових відкладах до головного регіонального порушення в опущеному блоці чітко простежуються ознаки руслового тіла потужністю 16 м і пористістю 16 %. Цікаві результати було отримано під час аналізу горизонту М-4 (рис. 3). Тут було чітко виділено два фрагменти руслових тіл, які, можливо, з'єднуються на ділянці, де відсутня сейсміка. Дані тіла отримали своє підтвердження за даними AVO [Rost S., 2006] та аналізу співвідношення Vp/Vs. На обидва об'єкти в оптимальних умовах закладені пошукові свердловини. Варто додати, що прогнозоване руслове тіло, на яке вказує червона стрілка праворуч, з очікуваними потужностями понад 20 м та високими коефіцієнтами пористості знаходиться в оптимальних структурних умовах, що значно підвищує його перспективи.

Спектральна декомпозиція в горизонтах М-6 та М-7 була одним з критеріїв визначення доцільності буріння свердловини в межах обмеженої ділянки жовтого кольору полігону на правій частині рис. 4. Структурний фактор, а також аналіз інших атрибутів вказував на ризикованість такого проекту. Припущення, що в даному горизонті спектральна декомпозиція та інші атрибути реагують на літологію, а не на насичення, було підтверджено бурінням пошукової свердловини. У горизонті М-7 було розкрито водоносний пористий (понад 20 %) пісковик потужністю понад 40 м.

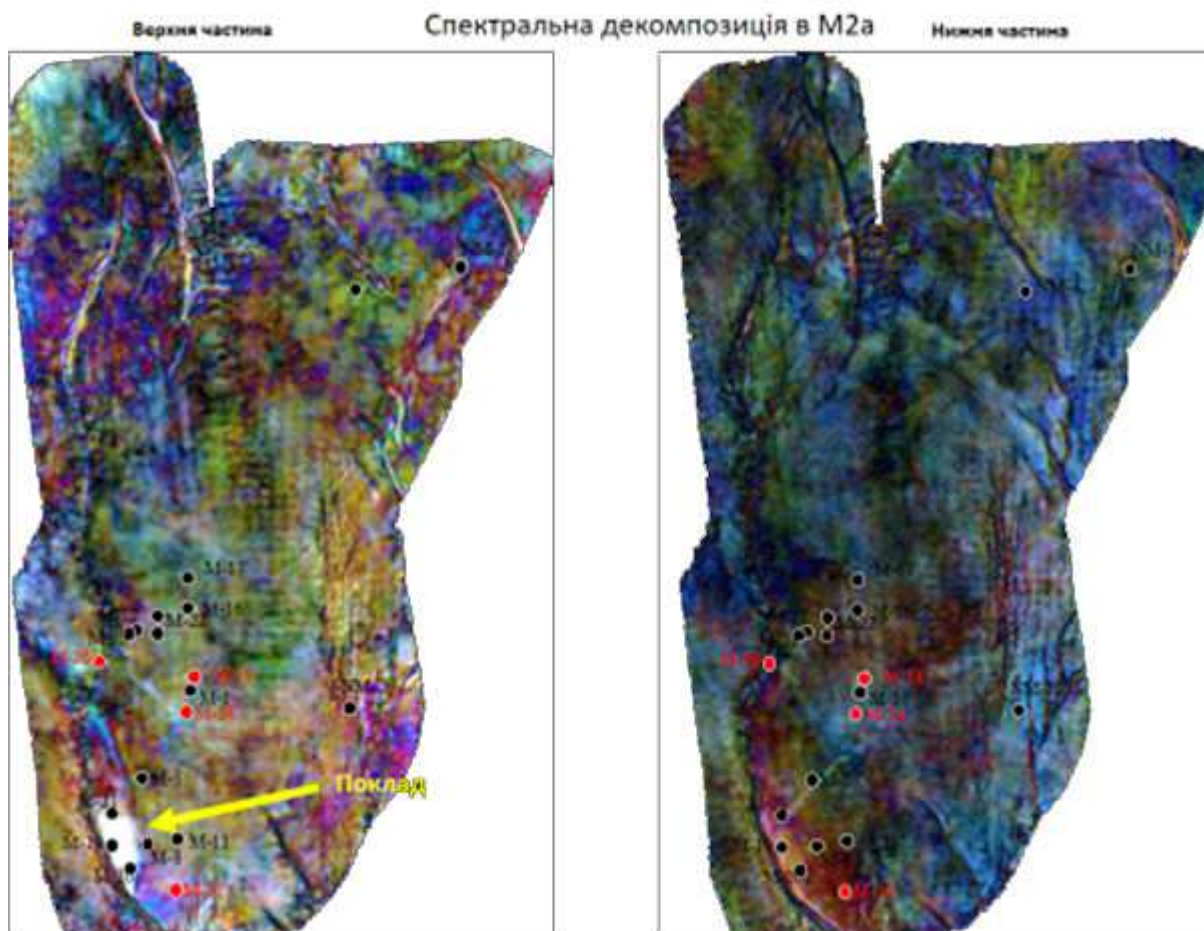


Рисунок 1 – Спектральна декомпозиція у горизонті M-2a

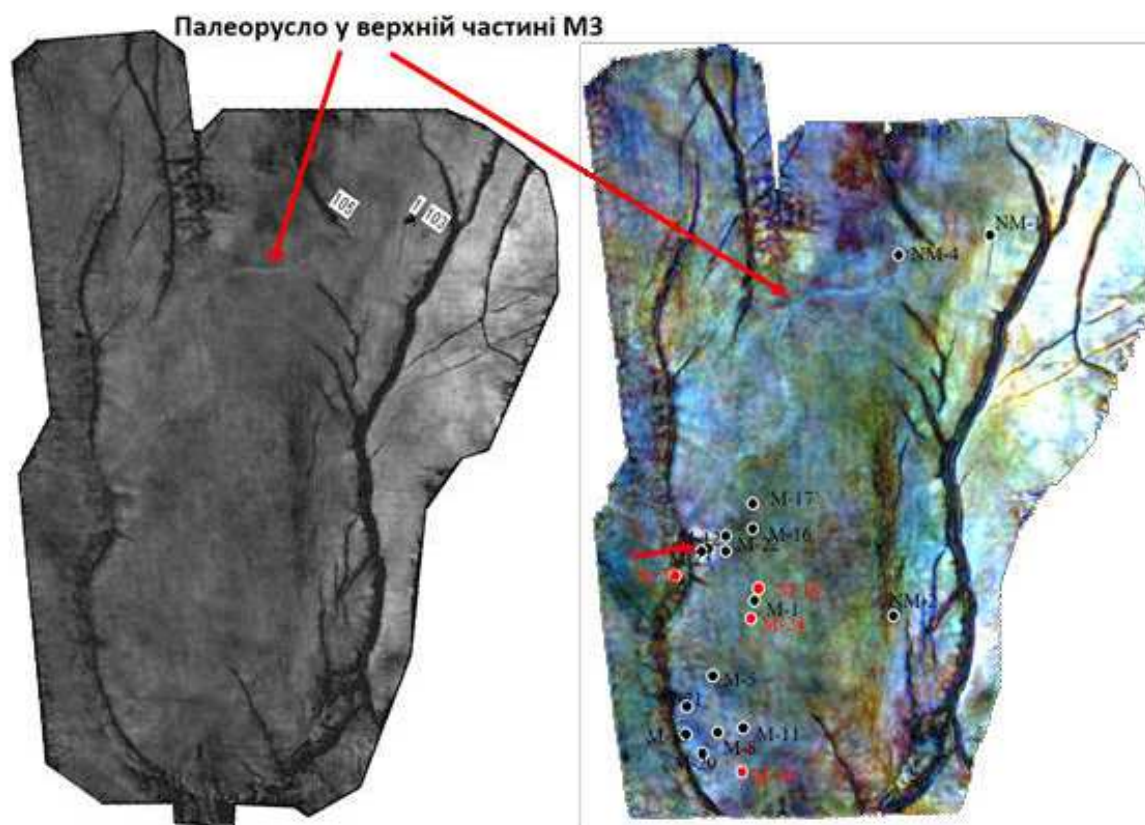


Рисунок 2 – Спектральна декомпозиція у горизонті M-3a

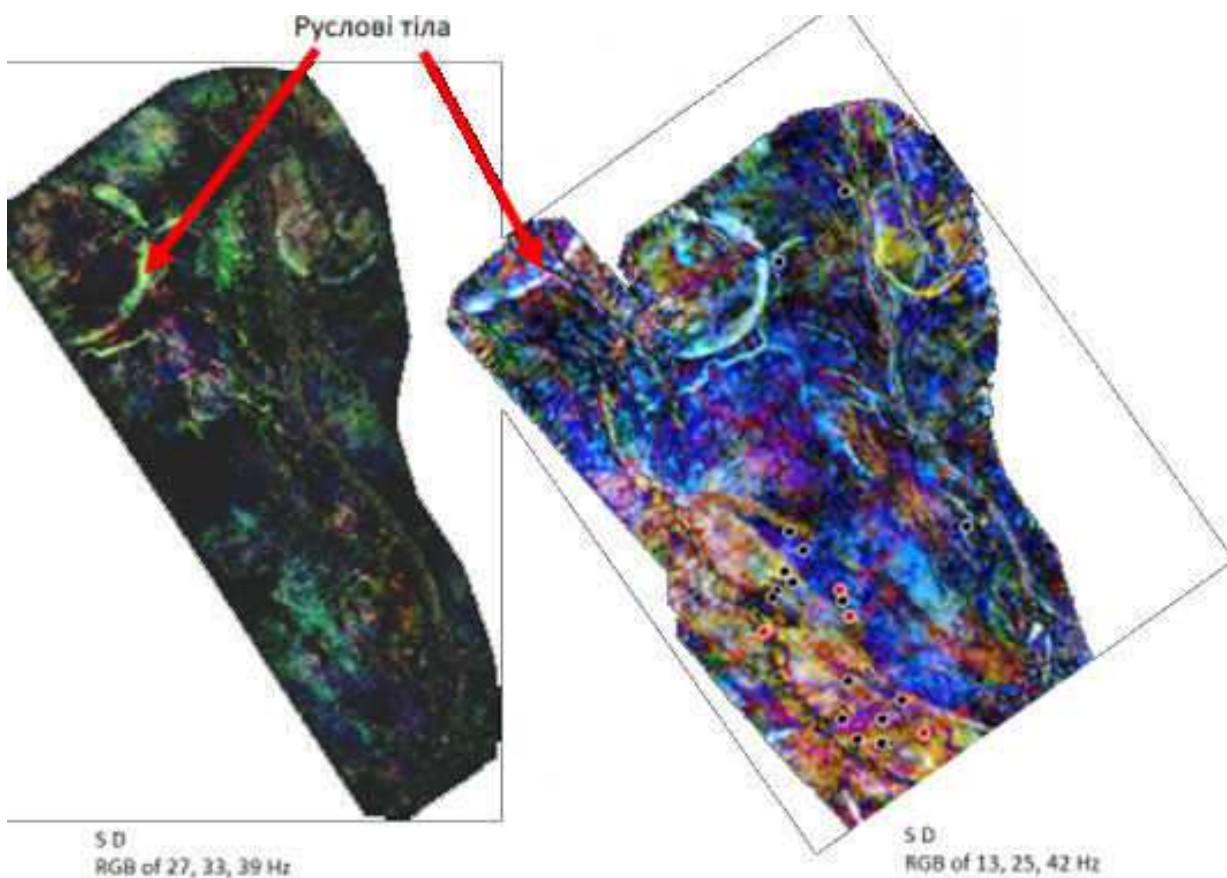


Рисунок 3 – Спектральна декомпозиція у горизонті М-4

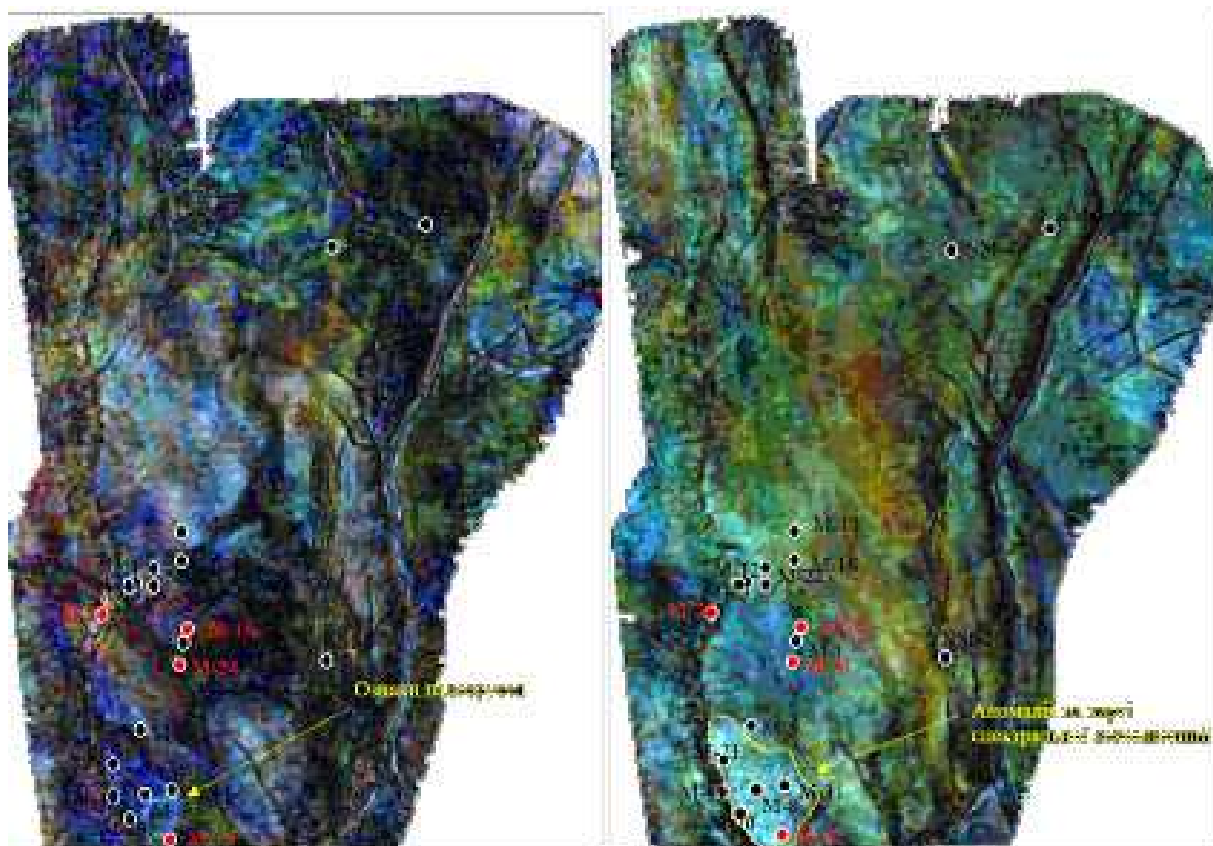


Рисунок 4 – Спектральна декомпозиція у горизонтах М-6 (ліворуч) та горизонту М-7 (праворуч)

Зона доведеної продуктивності



Рисунок 5 – Спектральна декомпозиція у горизонті Б-6б (доведена продуктивність)

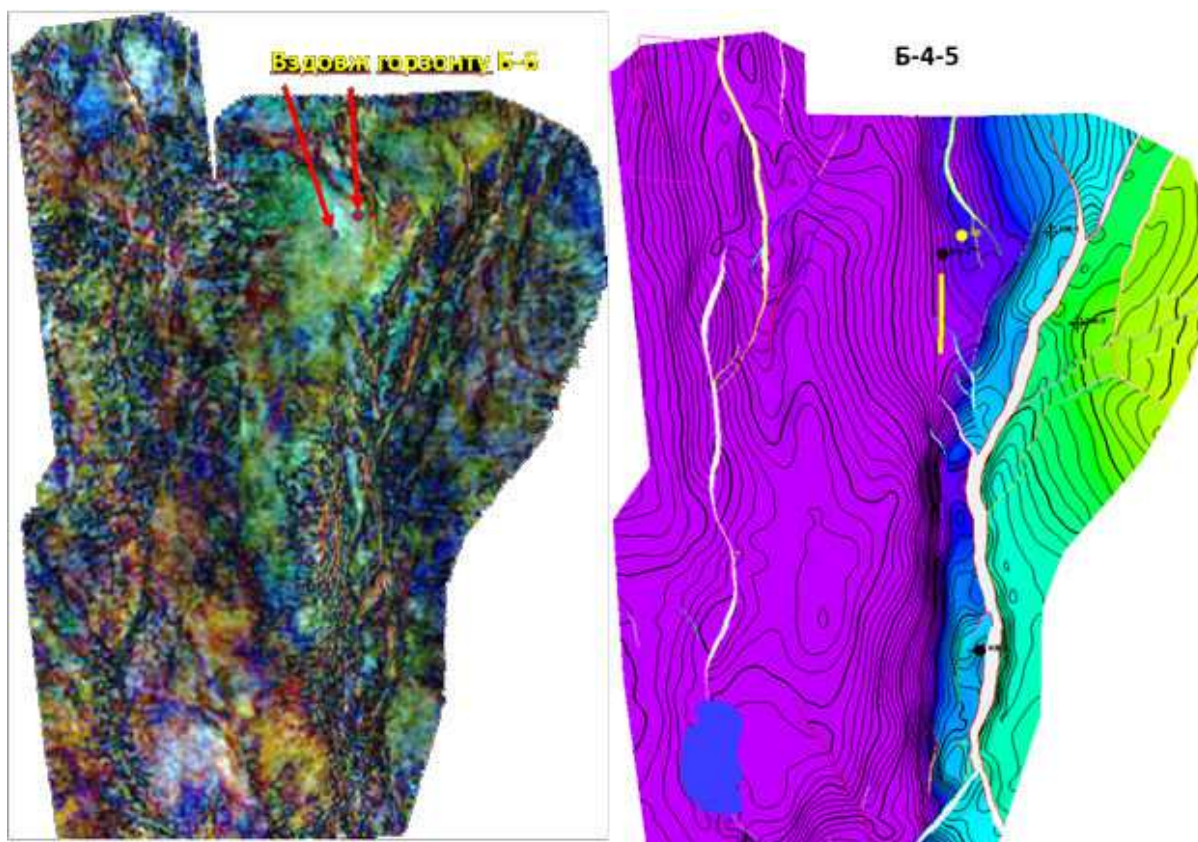


Рисунок 6 – Спектральна декомпозиція у горизонті Б-6 (максимально перспективна зона для буріння)

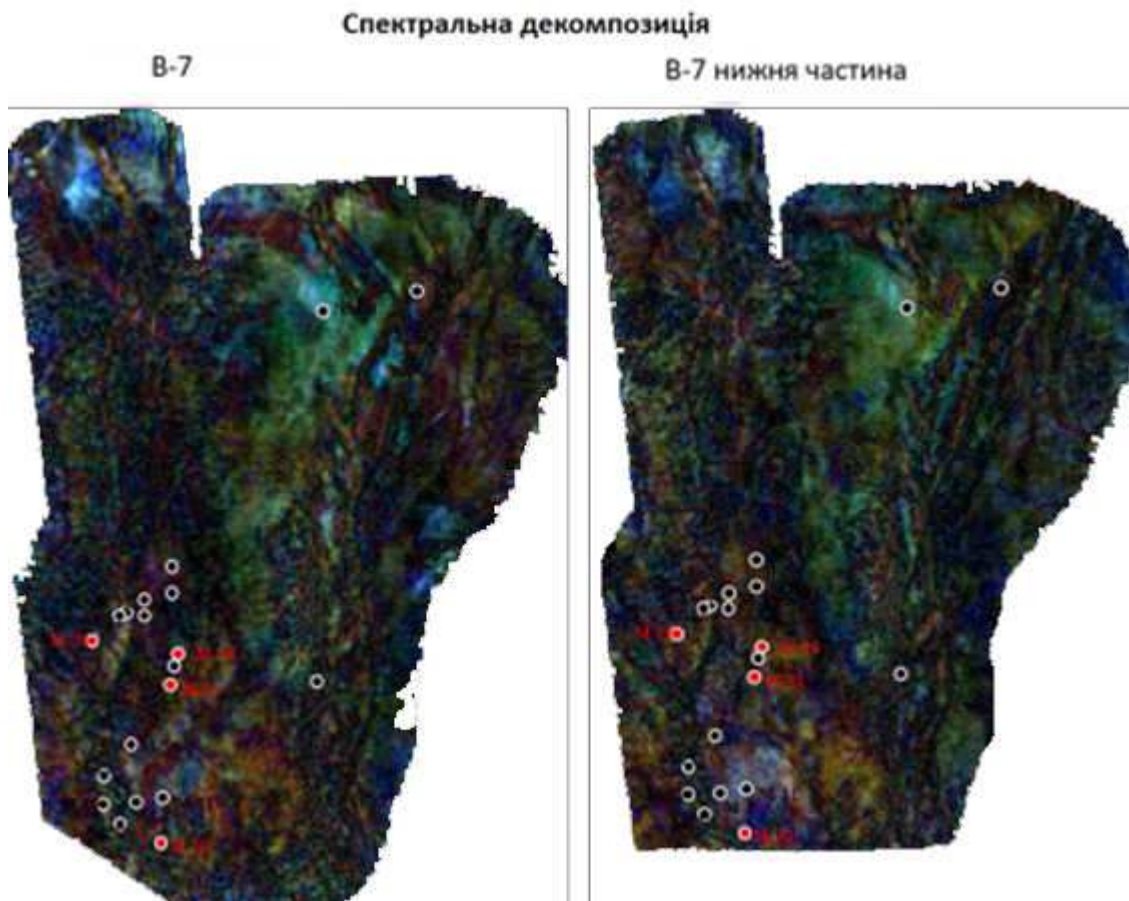


Рисунок 7 – Спектральна декомпозиція у горизонті В-7

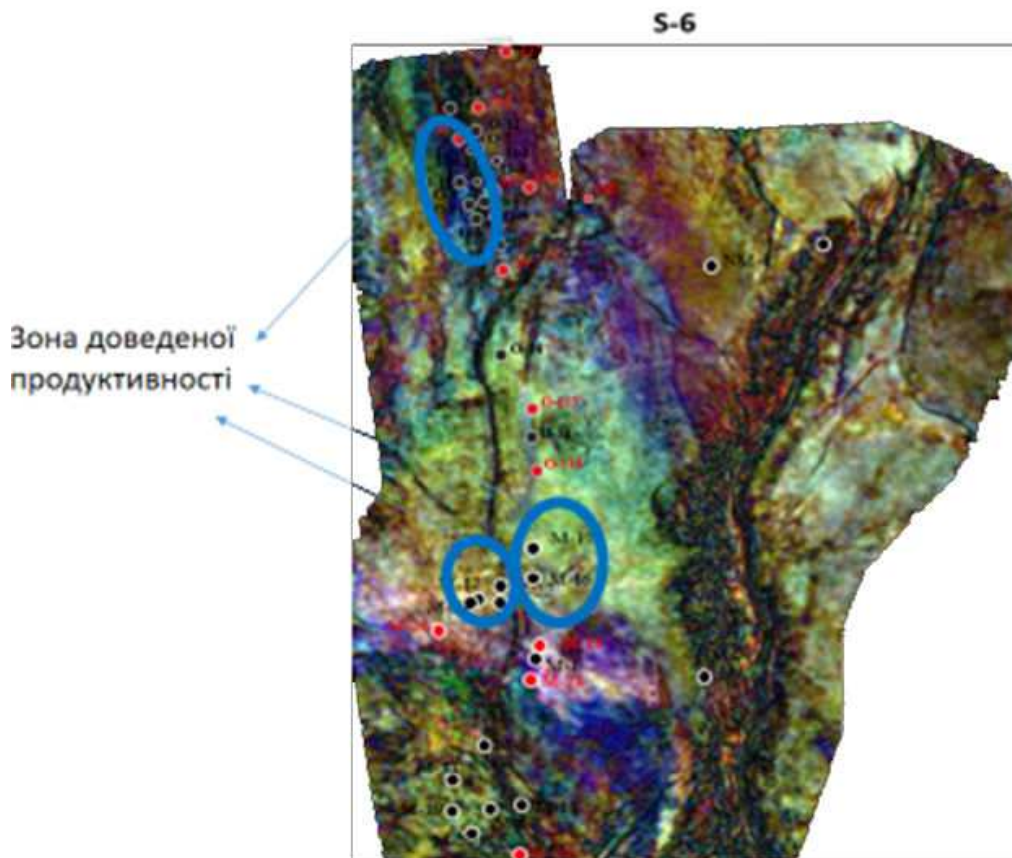


Рисунок 8 – Спектральна декомпозиція у горизонті С-6

На рисунку 5 продемонстровано, як якісно проявив себе поклад із структурним контролем по горизонту Б-6б у виділеній зоні (у інших місцях цей горизонт відсутній - ущільнений або заміщений глиною). Горизонт має потужність 17 метрів та пористість – 20-24%. Концентрація на даному горизонті дала можливість виокремити ще одну зону максимальної перспективності (рис. 6), яка ідеально виділяється при будь-якому атрибутивному аналізі та має відповідний структурний контроль. На ній закладено пошукову свердловину.

Доволі парадоксально виглядають результати по горизонту Б-7 (рис. 7). Даний горизонт є регіонально витриманим, потужність його перевищує 20 метрів, загалом понад 30 % продукції газу в регіоні отримано саме з нього. Проте (ймовірно, через близькі до граничних (10%) пористості) неможливо якісно ідентифікувати його ні за спектральною декомпозицією, ні за іншими атрибутами.

Не зважаючи на значну глибинність залягання горизонту С-6 (понад 3 км), існує певна закономірність, що характеризує особливо південній його частині (рис. 8). Умовним свердловинам М-16 та М-17 з комбінованим структурно-літологічним типом пастки притаманна чітка зелена гамма спектру при потужності горизонтів до 12 м та пористості 9-13%. В комбінації з аналізом структурного фактору та інших атрибутів це дає підставу для виділення нових об'єктів для буріння на ці горизонти, які характеризуються високими початковими тисками та дебітами.

Висновки

Варто зазначити, що в межах потужних та пористих піщаних тіл спектральна декомпозиція демонструє обґрунтовані результати. Реальне підтвердження уже відомих покладів у горизонтах М-2а, М-3а та Б-6б дає підстави вважати спектральну декомпозицію дієвим інструментом в межах північного борту ДДЗ, яка зазвичай чітко реагує на літологію та інколи навіть на насичення (горизонти М-2а, М-3а та Б-6б). Базуючись зокрема й на даних спектральної декомпозиції виділені перспективні для буріння об'єкти в горизонтах М-4, Б-6 та С-6. На даний момент відбувається глибинний аналіз описаної вище території з кроком продукування карт спектральної декомпозиції 10 м для пошуку аналогічних до виділених газоносних тіл. Головний акцент робиться на пошуку виокремлених лінз та руслових тіл з елементами структурного контролю.

Література / References

1. Chakraborty A. and Okoya D. Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods. *Geophysics*. 1995. Vol. 60. P. 1906–1916.
2. Chung H., Lawton, D.C. Frequency characteristics of seismic reflections from thin beds. *Canadian Journal of Exploration Geophysics*. 1995, Vol. 31. P. 32–37.
3. Henderson J. Geological Expression: data driven-interpreter guided approach to seismic interpretation. *First Break*. 2012. No 30. P. 73-78.
4. Henderson J., Pruves S., Leppard C. Automated delineation of geological elements from 3D seismic data through analysis of multi-channel, volumetric spectral decomposition data. *First Break*. 2007. No 25. P. 87-93.
5. Henderson J., Purves S.J., Fisher G. and Leppard C. Delineation of geological elements from RGB color blending of seismic attribute volumes. *The Leading Edge*. 2008. No 27. P. 342–350.
6. McArdle N.J., Ackers M.A. Understanding seismic thin-bed responses using frequencydecomposition and RGB blending. *First Break*. 2012. No 30(12). P. 57-65.
7. Partyka G., Gridley J. Lopez J. Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization. *The Leading Edge*. 1999. No 18. P. 353–360.
8. Rutherford S. R., Williams R. H. Amplitude Variation with Offset AVO and Direct Hydrocarbon Indicators DHI, accessed April 21, 2018 (1989). Amplitude-versus-off setvariation-singassands: *Geophysics*. 2006. No 54. P. 680–688
9. Ricker N. Wavelet contraction, wavelet expansion and the control of seismic resolution. *Geophysics*. 1953. No 18. P. 769–792.
10. Satish S., Partha R., Phil A., Castagna J. Spectral Decomposition of Seismic Data with Continuous Wavelet Transform. *Geophysics*. 2005. No 70, 1ND-Z113.
11. Szafian P., Lowell J., Eckersley A., Kristensen T. Frequency Decomposition of Broadband Seismic Data: Challenges and Solutions. *EAGE Workshop on Broadband Marine Seismic Data 2015*. Kuala Lumpur, Malaysia, 11-13 May 2015.
12. Tomasso M., Bouroullec R., Pyles D. The use of spectral recomposition in tailored forward seismic modeling of outcrop analogs. *Geohorizons*. 2010. No. 94. P. 457–474.