

С. А. Станкевич, О. В. Титаренко

Виділення осей синфазності на сейсмограмах за допомогою одновимірного перетворення Радона

(Представлено членом-кореспондентом НАН України О. Д. Федоровським)

Запропоновано алгоритм автоматичного виділення лінійних осей синфазності на сейсмограмах на основі одновимірного дискретного перетворення Радона і плоскої агломеративної кластеризації. Алгоритм забезпечує достовірність, прийнятну для сейсморозвідки. Використання розробленого алгоритму дозволить удосконалити автоматизовану обробку даних сейсморозвідки та підвищити об'єктивність їх інтерпретації.

Останнім часом у нафтовій і газовій промисловості спостерігається необхідність збільшення темпів видобутку вуглеводнів, що спричинює зростання витрат на пошуки та розвідку родовищ. У зв'язку з цим, методи прогнозу й оцінювання припустимих покладів вуглеводнів до буріння свердловин набувають більшої актуальності.

Усі геологорозвідувальні роботи, що спрямовані на прямий пошук покладів вуглеводнів, практично так або інакше пов'язані з сейсморозвідкою. Сейсмічна розвідка — реєстрація поширення в земній корі штучно згенерованих сейсмічних коливань з подальшою математичною обробкою отриманих даних [1]. За останнє десятиріччя в сейсморозвідці на відбитих хвилях відзначений якісний стрибок в методиці й практиці робіт. Перехід на цифрову реєстрацію при польових спостереженнях, цифрова обробка, що безперервно удосконалюється, та новітні методи аналізу сейсмічних даних забезпечили значне підвищення якості отриманих результатів. У міру розвитку та вдосконалення методів обробки сейсмічних даних виникла гостра необхідність у створенні нових способів їх автоматизованої інтерпретації, що базуються на використанні всього обсягу корисної інформації.

Тому всебічне вивчення будови та нафтогазоносності регіону для пошуково-розвідувальних робіт сейсморозвідкою, спрямованих на виявлення і розвідку нових покладів нафти і газу з метою стабілізації видобутку та забезпечення приростів розвіданих запасів вуглеводнів на перспективу, є важливим і нагальним науково-практичним дослідженням.

Геологічні утворення продуктивного розрізу — в осадовому чохлі або в корі вивітрювання фундаменту над покладами вуглеводнів та навколо них — епігенетично змінені за складом, структурою, фізичними властивостями [2]. У продуктивному розрізі над покладом вуглеводнів формується область сліду дифузійно-ефузійного потоку, яка відображається в фізичних полях, особливо в сейсмічному полі, на амплітудах хвиль відбиття. В самому покладі вуглеводнів, де відбувається підвищене поглинання сейсмічних хвиль, амплітуда хвиль відбиття зменшується. Навколо покладів вуглеводнів на водно-нафтових та газодних контактах утворюються високоамплітудні різкоградієнтні хвилі відбиття. Область сліду дифузійно-ефузійного потоку, що формується над покладом вуглеводнів, складається з відновної зони безпосередньо над цим покладом та окисної зони вище по розрізу. Відновна зона характеризується підвищеною літолого-мінералогічною й фізичною диференційованістю та підвищеною в цілому акустичною жорсткістю, тому в сейсмічному полі виділяється

значно збільшеними амплітудами хвиль відбиття — частим утворенням “яскравої плями” на сейсмічних зображеннях, часових розрізах сейсмограм (рис. 1).

Для виділення таких “плям” сейсмічні дані беруть в інтервалах запису, більших за інтервал розташування покладу вуглеводнів, та вздовж осей синфазності найбільш чітко корельованих відбиттів у межах всього часового розрізу профілю дослідження: від верхньої його частини до глибини розташування продуктивних відкладів (рис. 2).

На даний час ефективним інструментом виділення параметризованих ліній і фігур на цифрових зображеннях є перетворення Хо [3], що належить до інтегральних перетворень, тому воно має властивість придушення шумів. Оскільки вздовж ліній проводиться інтегрування, відношення сигнал/шум підвищується в порівнянні з вихідним зображенням, і цільові фігури виявляються з більшою вірогідністю [4]. Перетворення Хо для прямих еквівалентне перетворенню Радона, для обчислення якого розроблені ефективні алгоритми [5]. Класичне двовимірне перетворення Радона $H(\cdot)$ відображає задану на площині функцію $f(x, y)$ у безлічі її лінійних інтегралів [6]:

$$H(x, y, \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x + t \cos \theta, y + t \sin \theta) dt. \quad (1)$$

Це перетворення є інтегралом функції $f(x, y)$ уздовж прямої, що проходить через точку (x, y) у напрямі θ . Дискретне перетворення Радона (ДПР) дозволяє стійко детектувати напрями ліній, що переважають, у довільних точках цифрових зображень в умовах перешкод і сітчастих структур [7]. Також перетворення Радона, поряд з перетворенням Фур’є й деякими іншими, часто застосовується в геофізиці для аналізу сейсмічних сигналів [8]. Застосування ДПР з параметром $\theta = 0$ до типової сейсмограми, наведеної на рис. 1, ілюструє рис. 3.

У більшості випадків сейсмічний розріз може бути описаний більш-менш регулярною лінійною багатошаровою структурою. У цьому разі результатом застосування ДПР з напрямом θ , паралельним переважному напрямку шарів, до вихідної сейсмограми буде квазі-періодичний сигнал, максимуми якого відповідають осям синфазності. Залишається лише коректно виділити ці максимуми на діаграмі вказаного перетворення.

З цією метою пропонується використовувати плоску агломеративну кластеризацію з нарощуванням зв’язних компонентів [9]. Алгоритм детектування осей синфазності сейсмограми включає такі кроки:

- визначення частоти характерної гармоніки функції $H(x, y, \theta)$ за допомогою стандартної процедури MESE (maximum entropy spectral estimation) [10];

- визначення порогу кластеризації за умов лінійності або нормальності розподілу відхилень гармонійного сигналу [11]; при необхідності дослідник може задати значення порогу кластеризації вручну;

- відбір значень $H(x, y, \theta)$, що перевищують поріг кластеризації;

- розбиття дібраних значень на послідовно зв’язані кластери;

- вибір осей синфазності в кожному із кластерів як координати максимуму сигналу кластеру; у випадку кількох максимумів брали найближчий до медіани кластеру.

Перевірку працездатності описаного алгоритму проведено на вибірці з 24 типових сейсмограм реальних відбиваючих розрізів. Кожна сейсмограма містила кілька сотень вертикальних відліків даних, отриманих окремими сейсмоприймальниками, та кілька десятків відбиваючих горизонтів, виділених кваліфікованим експертом-інтерпретатором [12]. Лінійні

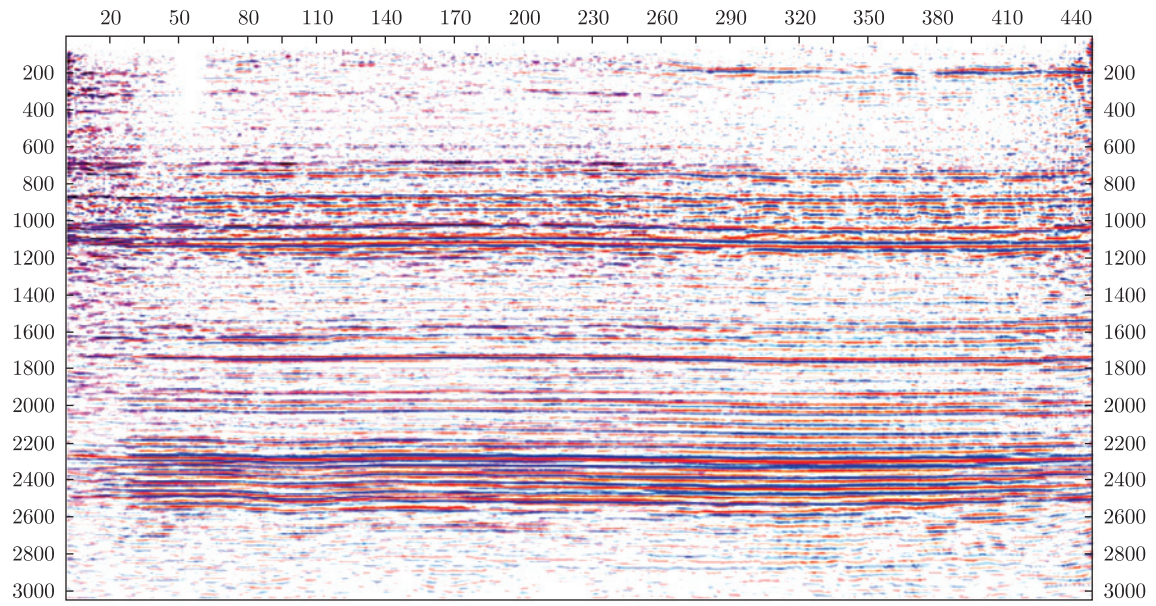


Рис. 1. Типова сейсмограма геологічного профілю

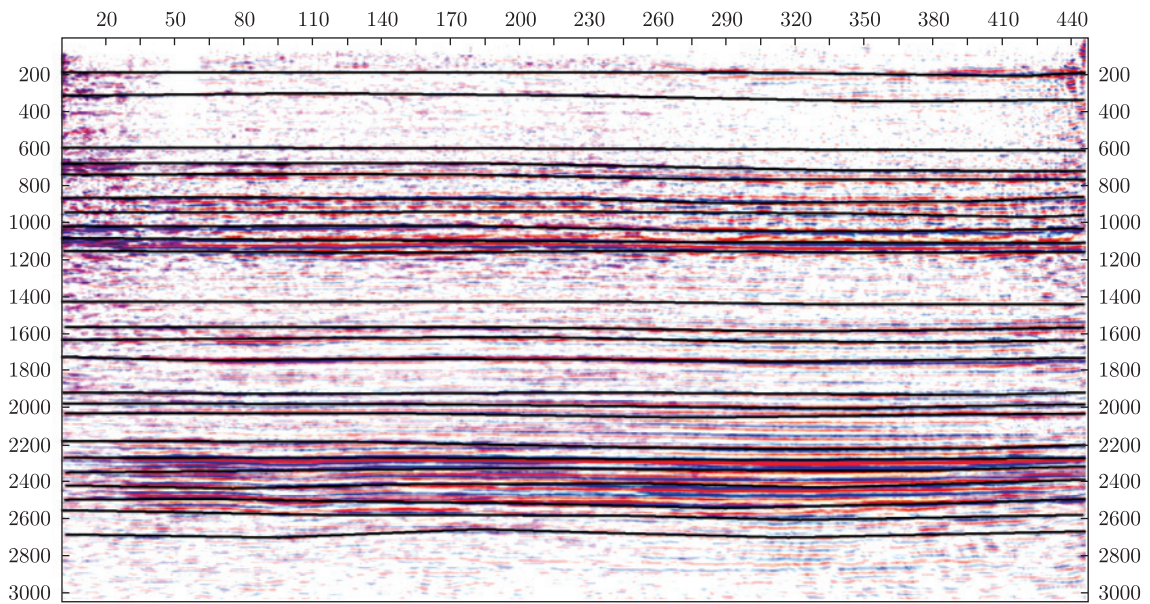


Рис. 2. Виділення відбиваючих горизонтів на сейсмограмі

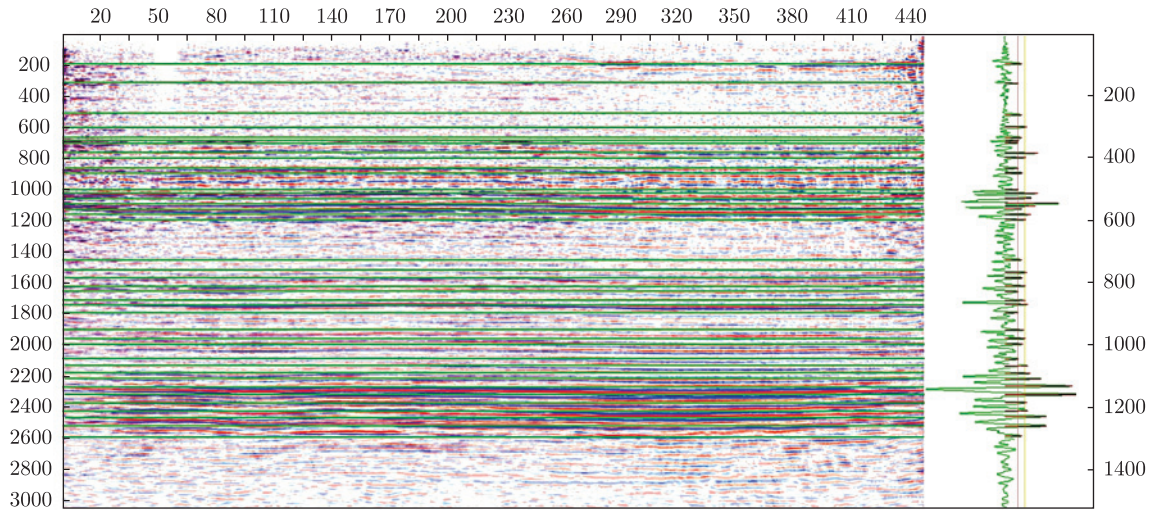


Рис. 3. Застосування дискретного перетворення Радона до типової сейсмограми

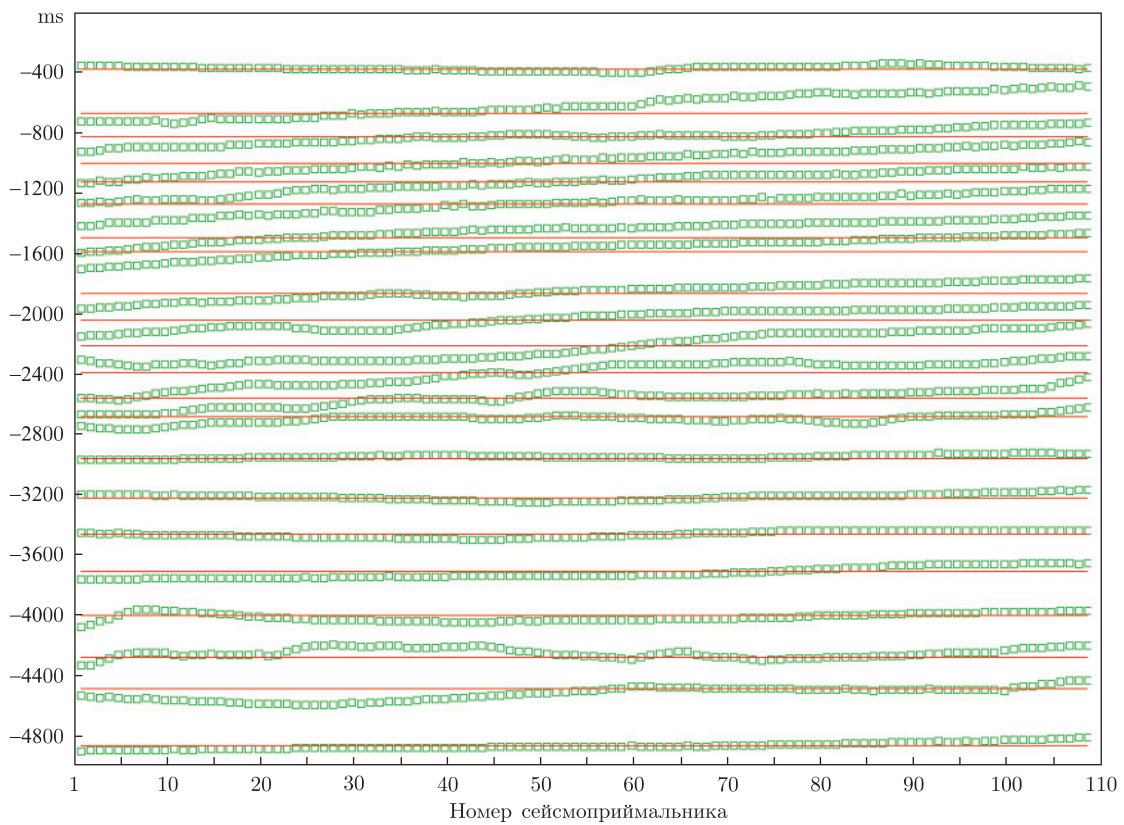


Рис. 4. Зіставлення автоматично виділених лінійних відбиваючих горизонтів з експертно визначеними

відбиваючі горизонти також виділялися автоматично з використанням розробленого алгоритму. Приклад накладення автоматично виділених горизонтів (червона лінія) на визначені експертом (зелені клітинки) демонструє рис. 4.

Якість автоматичного виділення оцінювалася коефіцієнтом детермінації R^2 [13] і достовірністю підгонки α за критерієм Фішера [14]. Середній на всіх 24 сейсмограмах коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,997$ при вірогідності $\alpha = 0,861$, що є досить прийнятним результатом.

Таким чином, запропонований алгоритм на основі одновимірного ДПР забезпечує ефективне і достовірне автоматичне виділення лінійних осей синфазності на сейсмограмах, що дає змогу істотно спростити і прискорити процес їх обробки, звільнити оператора від виконання рутинних операцій та зосередити його зусилля на змістовній інтерпретації.

1. Гурвич И. И., Боганик Г. Н. Сейсмическая разведка. – Москва: Недра, 1980. – 552 с.
2. Семенова С. Г., Ковалев Д. М., Семенец О. И. Возможности прогноза фазового состояния углеводородов в залежах по сейсмическим данным // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – Київ: ЦММ ІГН НАН України, 2009. – С. 177–185.
3. Бескровный В. В., Надточий В. И., Бескровная И. А. Выделение отрезков прямых на цифровых снимках на основе биоалгоритмов обработки зрительной информации // Пробл. информ. та управління. – 2009. – Вып. 4(28). – С. 16–19. – [36].
4. Федотов Н. Г. Методы стохастической геометрии в распознавании образов. – Москва: Радио и связь, 1990. – 144 с.
5. Волегов Д. Б., Гусев В. В., Юрин Д. В. Обнаружение прямых линий на изображениях на основе преобразования Хартли. Быстрое преобразование Хафа // Proc. Sixteen. Int. Conf. on Computer Graphics and Applications (GraphiCon'2006). – Novosibirsk: Ins. Comp. Mathemat. and Mathemat. Geoph., 2006. – P. 235–242.
6. Хелгасон С. Преобразование Радона / Пер. с англ. – Москва: Мир, 1982. – 152 с.
7. Баранов В. Г., Храмов А. Г. Дискретное вейерное преобразование Радона в задаче выделения центров ветвей сетчатых структур // Компьютерная оптика. Вып. 23. – Самара: Ин-т систем обработки изображений РАН, 2002. – С. 44–47.
8. Пат. РФ на изобрет. № 2300123 С2, МПК⁷ G01VK 1/28. Высокоразрешающее преобразование Радона для обработки сейсмических данных / Я. Мур, К. Костов, Д. Ингст; № 2004137818/28; Заяв. 19.05.2003; Опубл. 27.05.2007; Бюл. № 15.
9. Шальмов Д. С. Алгоритмы устойчивой кластеризации на основе индексных функций и функций устойчивости // Стохастическая оптимизация в информатике / Под ред. О. Н. Граничина. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2008. – Вып. 4. – С. 236–248.
10. Haykin S., Kesler S. Prediction-error filtering and maximum-entropy spectral estimation // Nonlinear Methods of Spectral Analysis / Ed. by S. Haykin. – Berlin: Springer, 1983. – P. 9–72.
11. Shi J., Malik J. Normalized cuts and image segmentation // IEEE Trans. on Patt. Anal. and Mach. Intellig. – 2000. – 22, No 8. – P. 888–905.
12. Бондарев В. И., Крылатков С. М. Основы обработки и интерпретации данных сейсморазведки. – Екатеринбург: УГГГА, 2001. – 194 с.
13. Дрейпер Н. Р., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ / Пер. с англ. – Москва: Диалектика, 2007. – 912 с.
14. Rayner J. C. W., Best D. J. Smooth tests of goodness of fit. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1989. – 176 p.

С. А. Станкевич, О. В. Титаренко

Выделение осей синфазности на сейсмограммах при помощи одномерного преобразования Радона

Предложен алгоритм автоматического выделения линейных осей синфазности на сейсмограммах на основе одномерного дискретного преобразования Радона и плоской агломеративной кластеризации. Алгоритм обеспечивает достоверность, приемлемую для сейсморазведки. Использование разработанного алгоритма позволит усовершенствовать автоматизированную обработку данных сейсморазведки и повысить объективность их интерпретации.

S. A. Stankevich, O. V. Titarenko

Separation of the coherence axes on seismograms using the one-dimensional Radon transform

An algorithm for the linear pattern automatic detection on seismograms based on the one-dimensional discrete Radon transform and the flat agglomerative clustering is proposed. The algorithm provides a confidence level acceptable to the seismic exploration. The use of the developed algorithm will improve the automated processing of seismic survey data and enhance the objectivity of their interpretation.