

P07

Geological Model of Channel Deposits Based on Results of Spectral Decomposition and Interactive Analysis of Seismic Data

P. Morozov* ((Foster Findlay Associates) (presenter)), H. Yadav (ffA)
& G. Paton (ffA)

SUMMARY

Over the past decade, digital geological modeling based on the analysis of three-dimensional seismic data securely has become a practice of exploration and development of oil and gas fields. Range of tasks expands every year, among them are risk assessment, reserve calculation, optimization of development scenarios, etc. Accuracy of the model is largely dependent on the complexity of the geological structure, data quality, interpreter experience, and some other subjective or objective factors. Particularly acute, this problem for those of complex geological objects as channels, volumetric isolation and analysis of which in the seismic field is highly difficult task.

Повышение достоверности цифровой геологической модели русловых отложений на основе спектральной декомпозиции и интерактивного анализа сейсмических данных

В.А. Цыбульский (ffA), Х. Ядав (ffA), П.В. Морозов (ffA), Г. Патон (ffA)

Введение

За последнее десятилетие, цифровое геологическое моделирование на основе анализа трехмерных сейсмических данных, надежно вошло в практику разведки и разработки месторождений нефти и газа. Круг решаемых задач расширяется с каждым годом, среди наиболее весомых следует отметить обоснование бурения скважин, оценку рисков, подсчет запасов, оптимизацию сценариев разработки и другие [Закревский, 2009]. Достоверность модели в значительной степени зависит от комплексности строения геологической среды, качества получаемых данных, опыта интерпретатора и ряда других, как субъективных, так и объективных факторов. Особенно остро этот вопрос стоит для таких сложно-построенных геологических объектов как палеорусла, выделение и анализ которых в сейсмическом поле является весьма нетривиальной задачей.

Рассмотрены результаты структурно-литологического моделирования продуктивных русловых отложений месторождения Эскдейл северо-западного шельфа Австралии. Ключевой особенностью работы является применение Геологической Экспрессии как основного интерпретационного подхода при выявлении трехмерной геоморфологии объекта исследований [Henderson, 2012]. Данный подход предполагает применение ряда последовательных преобразований сейсмического сигнала с целью максимального расширения пределов восприятия геологической информации потенциально присутствующей в данных. В зависимости от задач может включать в себя процедуры шумоподавления, стандартную и высокоразрешающую спектральную декомпозиции, цветовое суммирование, анализ атрибутов границ раздела, адаптивное трассирование контуров геологических объектов, интерактивное выделение сейсмических фаций и другие.

Методика интерпретации сейсмических данных

В работе использован пост-стек 3D сейсмический куб, мигрированный во временной области. Площадь исследований находится на северо-западном шельфе Австралии в 65 км от береговой линии в пределах суббассейна Эксмоус. Суббассейн эволюционировал из пририфтового регионального бассейна в позднем палеозое, до синрифтового суббассейна в раннем мелу и пассивной континентальной окраины в кайнозое. Основной углеводородный потенциал связывают с поздне-юрскими коллекторами формации Эскдейл. Породы представлены нефте-газо насыщенными, мелкозернистыми песчаниками, мощность которых по данным в скважине составляет 36,9 м, средняя пористость 28,8 %.

Построение трехмерной модели объекта исследований выполнено в несколько этапов:

- Подготовка сейсмических данных – включает в себя подавление помех и спектральное отбеливание;
- Подготовка структурного каркаса – включает в себя трассирование сейсмических поверхностей, выделение разломных нарушений;
- Выявление морфологии русловых отложений – включает в себя стандартную и высокоразрешающую спектральные декомпозиции, цветовое суммирование, атрибутивный анализ, адаптивное трассирование контура русловых отложений (геотело), интерактивную классификацию сейсмических фаций.

Несмотря на довольно высокое качество сейсмических данных, при детальном рассмотрении отмечается присутствие умеренного уровня случайного и регулярного шума. Регулярные помехи наиболее контрастно выражены в верхней части сейсмического разреза и связаны, прежде всего, с методикой проведения 3D сейсмической съемки. Подавление помех

выполнялось посредством итеративного применения адаптивных, структурно ориентированных алгоритмов фильтрации с сохранением истинных амплитуд и границ раздела. Как можно видеть, разрешённость конечного сейсмического изображения была значительно улучшена (Рисунок 1).

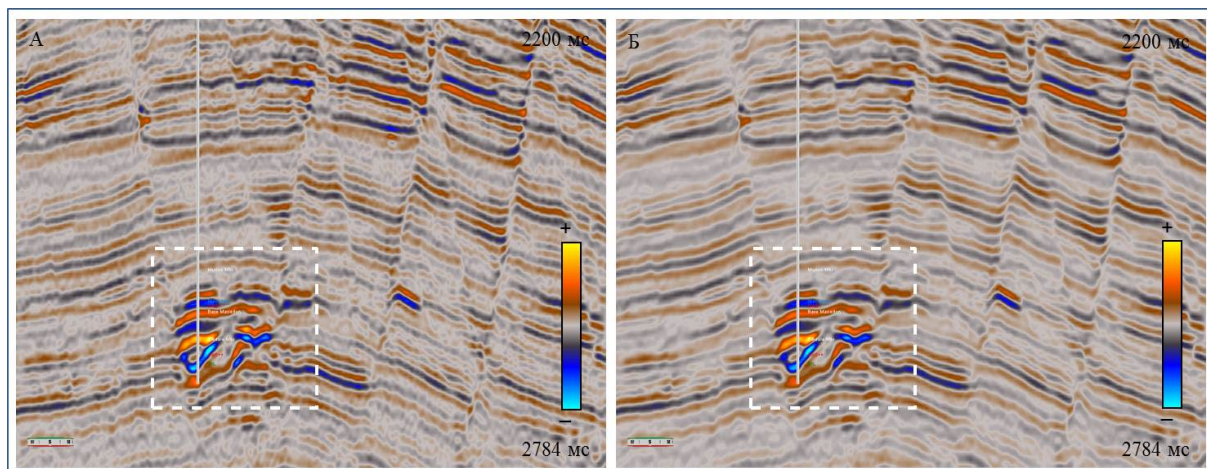


Рисунок 1 Вертикальный срез по сейсмическому кубу через скважину Эскдейл-2 до подавления случайных и регулярных помех в волновом поле (А) и после (Б). Пунктирной линией выделен интервал залегания русловых отложений.

Стратиграфическая привязка сейсмических отражений выполнена по отбивкам в скважине Эскдейл-2. Протрассировано четыре опорных сейсмических отражения и система разломов для включения в модель. Для контроля качества использованы атрибуты границ раздела. Детальная интерпретация русловых отложений Эскдейл выполнена с применением нетрадиционного подхода.

Методика спектральной декомпозиции и цветового суммирования, является мощным инструментом исследования гетерогенности геологической среды [Partyka et al.]. Суперпозиция абсолютных значений амплитуд, выделенных на различных частотах из общего спектра, позволила определить маломощные элементы строения объекта исследований на пределе разрешающей способности сейсмических данных. Для преобразования данных в частотную область и создания фильтрованных кубов, использованы два основных метода спектральной декомпозиции. Первый метод, назовем его стандартным, предполагает полосовую фильтрацию данных с использованием непрерывного вейвлет-преобразования. Второй метод, высокоразрешающий, основан на алгоритме максимального совпадения. Каждая сейсмическая трасса подвергается разложению на набор элементарных импульсов, сумма которых равна оригинальной трассе. После такого преобразования, трасса может быть реконструирована для любой частоты [McArdle and Ackers, 2012]. Преимуществом последнего, является более высокая вертикальная разрешающая способность.

Для каждого из методов декомпозиции, созданы три куба абсолютных значений амплитуд на различных центральных частотах, но с перекрывающимися диапазонами. На следующем этапе, для фильтрованных кубов выполнено кодирование с использованием аддитивной цветовой модели красный, зелёный, синий (RGB). Низким частотам присвоен красный цвет, средним частотам - зеленый цвет, высоким частотам - голубой цвет. В результате суперпозиции, становится возможным распознать участки волнового поля с преобладанием отдельных частот в цветовом пространстве RGB. В свою очередь, белый цвет указывает на мощный отклик от всех трёх частот задействованных в суммировании, а черный цвет, наоборот, на слабый.

На рисунке 2, можно видеть срезы цветовых сумм RGB, полученных по методам стандартной и высокоразрешающей спектральных декомпозиций. Оба метода позволяют успешно выделить

пространственную геометрию русла. Стандартная декомпозиция более контрастно «подсвечивает» ядро системы осадконакопления на низких частотах (оттенки красного). При удалении от центра, мощность отложений уменьшается, на цветовой сумме это проявляется в виде участков ярко-белого цвета, так как амплитуды сигнала возрастают на всех частотах. Не стоит также забывать о факторе влияния литологии и насыщения на характер результирующего волнового поля. Однако для более детальной калибровки цветовой суммы с этими параметрами, как правило, необходимо проводить дополнительные исследования, включая синтетическое моделирование сейсмических данных и статистический анализ. Оба метода декомпозиции дают возможность интерпретировать тектонические нарушения, выраженные в темных тонах на цветовых суммах. Сравнивая срезы по линии AA' и BB', возможно оценить вертикальную разрешающую способность двух методов. Здесь явным преимуществом обладает высокоразрешающая декомпозиция, на срезе которой границы объекта и разломы видны более четко. В результате становится возможным получить ясное представление о мощности отложений и их пространственной локализации.

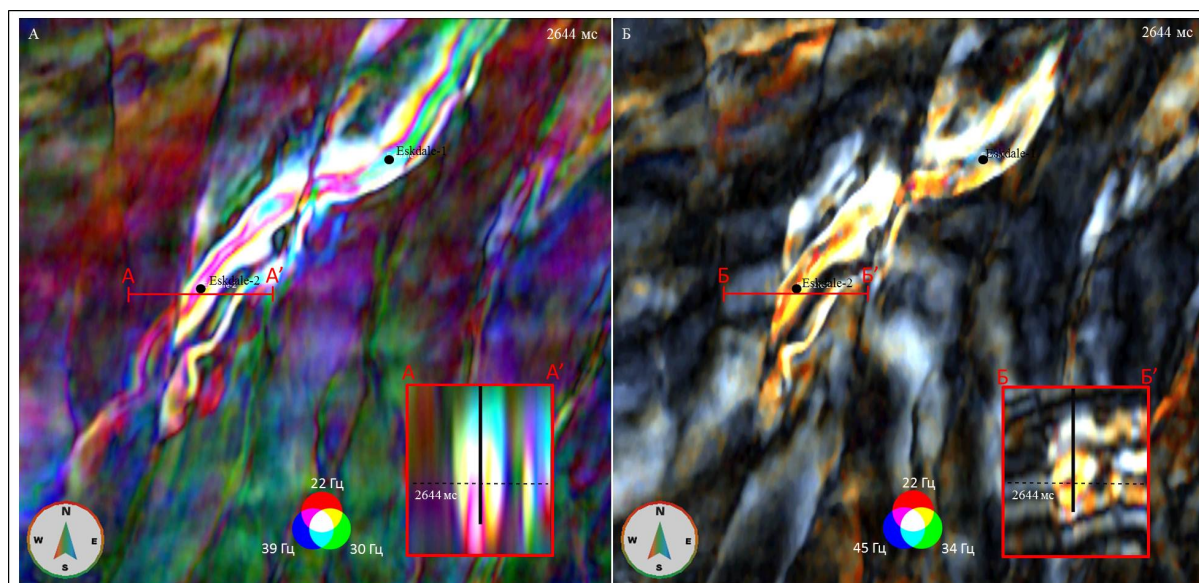


Рисунок 2 Сравнение цветových сумм на срезе 2644 мс. Цветовая сумма по методу стандартной декомпозиции чётко выделяет элементы потока (А). Высокораesрешающая декомпозиция несколько уступает в детальности по латерали, однако даёт более четкое представление о глубинном положении элементов системы осадконакопления (Б).

Результаты спектральной декомпозиции и цветového суммирования продемонстрировали довольно широкие возможности при выделении 3D морфологии объекта исследований. Следующим логичным шагом в интерпретационной цепочке является извлечение и имплементация полученной информации в цифровую геологическую модель. С этой целью использован алгоритм адаптивного трасирования контуров геологического тела.

Алгоритм основан на статистическом анализе диапазона данных с использованием функции распределения плотности. Процесс «роста» геотела во многом автоматизирован, хотя интерпретатор обладает высоким уровнем контроля над процессом. На первом этапе выделен набор внутренних и внешних кластеров, которые определяют диапазон данных для включения в функцию распределения плотности. В качестве основы для анализа использована цветовая сумма по методу высокоразрешающей спектральной декомпозиции, о преимуществах которой говорилось ранее. В результате итеративной адаптации, алгоритм протрассировал контуры данных, которые, по нашему мнению, описывают внутреннее строение палеорусла, во всем объеме цветовой суммы. Каркас финального геологического тела можно видеть на рисунке 3 А. Далее, кровля и подошва геологического тела экспортирована в интерпретационный пакет. После незначительной предварительной подготовки, поверхности

включены в конечную геологическую модель, тем самым повысив её надежность и достоверность. Результаты интерпретации данных ГИС в комплексе с статистическим анализом, позволили создать литологическую модель в пределах палеорусла. В качестве тренда использована упрощенная классификация сейсмических фаций на основе цветовой суммы стандартного метода декомпозиции.

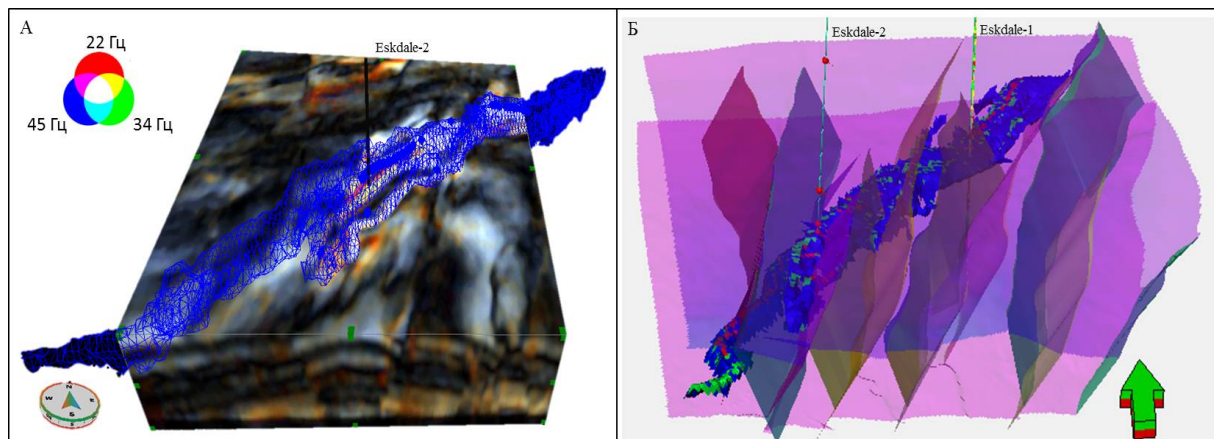


Рисунок 3 Каркас геологического тела, выделенного в цветовой сумме по методу высокоразрешающей спектральной декомпозиции (А). Имплементация геологического тела в структурную модель (Б). С целью визуализации, использован различный уровень прозрачности для горизонтов и разломов.

Выводы

Нетрадиционный подход к интерпретации сейсмических данных открывает новые возможности при построении высокоточных геологических моделей. Методика спектральной декомпозиции и цветового RGB суммирования в применении к русловым отложениям Эскдейл, позволила выделить тонкие детали строения и внутреннюю морфологию объекта, ранее не видимые в сейсмических данных. По нашему мнению, вариации откликов в цветовой сумме в первую очередь связаны с изменением мощности отложений, хотя литология и насыщение не должны игнорироваться до последующих исследований. Уровень детализации конечной геологической модели повышен за счет включения кровли и подошвы палеорусла, а также использования тренда сейсмических фаций на основе стандартной декомпозиции. Расширены возможности прослеживания и локализации пространственного распределения зон с повышенными коллекторскими свойствами.

Библиография

Закревский, К.Е. [2009] *Геологическое 3D моделирование*. М.: 000 "ИПЦ "Маска", 376.

Henderson, J. [2012] Geological Expression: Data driven-interpreter guided approach to seismic interpretation. *First Break*, **30**(3), 73-78.

McArdle, N.J. and Ackers, M.A. [2012] Understanding seismic thin-bed responses using frequency decomposition and RGB blending. *First Break*, **30**(12), 57-65.

Partyka, G., Gridley, J. and Lopez, J. [1999] Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization. *The Leading Edge*, **18**(3), 353-360.