

# ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ ПОЛНО-АЗИМУТАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ES360-VA ДЛЯ ДЕТАЛИЗАЦИИ ТЕРРИГЕННЫХ И КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ, ЗАЛЕГАЮЩИХ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

*А.Иноземцев, З.Корен*

*Aspen Technology Inc.*

## *Актуальность работы*

На сегодня более 40% месторождений нефти и газа относится к сложнопостроенным терригенным и карбонатным коллекторам. Также известно, что существуют проблемы детализации коллекторов и их внутреннего строения, включая трещиноватые зоны, которые невозможно решить при использовании традиционных технологий глубинной обработки, таких как миграция Кирхгофа и ее разновидности. В докладе представлен новый рабочий процесс комплексного использования инновационной технологии полно-азимутальной глубинной угловой миграции EarthStudy360° (ES360) [1] и новых методов объемной амплитуды и структурной декомпозиции для повышения вертикальной и латеральной разрешенности, позволяющий принципиально повысить детальность сейсмического изображения и внутреннего строения терригенных коллекторов и карбонатных рифогенных органогенных построек, выделить и оконтурить разные по форме геологические объекты (сложные складчатые терригенные образования, системы нарушений и других неоднородностей, барьерные рифы, рифовые постройки, атоллы и др.) а также повысить точность прогноза общей и проницаемой трещиноватости внутри рифогенных построек. Реализованный в данной технологии метод азимутально направленной сейсмической освещенности дает возможность всесторонне изучить и детализировать карбонатные рифовые постройки в разных азимутальных и угловых секторах. Такой анализ предоставляет ценную информацию о структурных особенностях строения коллекторов и распространении трещиноватых зон в пространстве [6,7]. Приведены положительные результаты применения такого подхода на реальных месторождениях. Показаны возможности повышения вертикальной разрешенности сейсмических изображений терригенных коллекторов

и рифогенных построек и прогнозирования мезотрещиноватости с применением комплексирования миграции ES360 с новой технологией объемной амплитуды. Приведены практические примеры получения высокоразрешенного изображения структурно-тектонического каркаса терригенных коллекторов углеводородов и оконтуривания карстовых объектов и их связи с продуктивными и аварийными скважинами.

## *Используемые методы, технология и описание процесса*

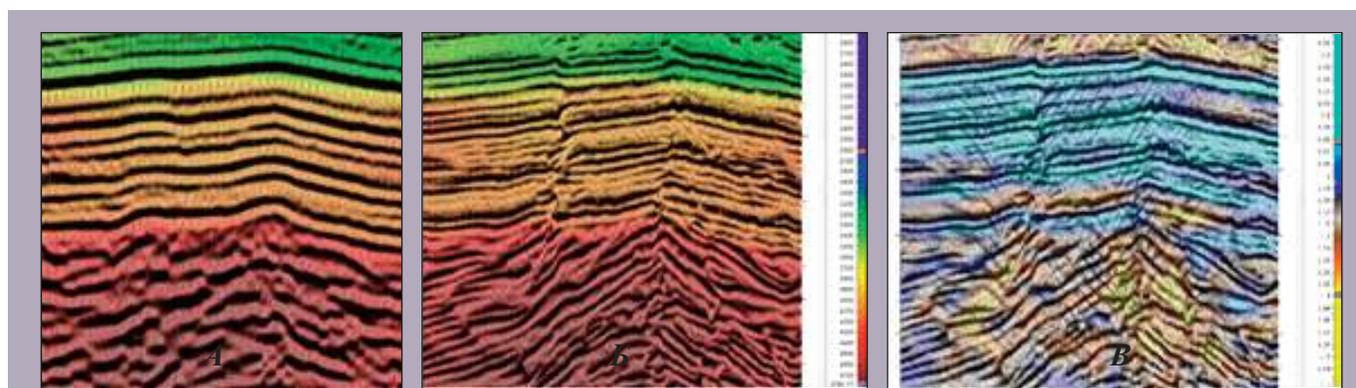
Технология основана на комплексировании метода полно-азимутальной освещенности карбонатных объектов и декомпозиции волнового поля на Дирекционную и Рефлекционную составляющие с последующей их глубинной миграцией и обработкой в локальной угловой области (Local Angle Domain processing - LAD обработка) [1] и высокоразрешенных модулей обработки изображений (методы объемной амплитуды и геометрической декомпозиции) [4]. Вначале по Дирекционным сейсмограммам получают качественное изображение структурного и тектонического каркаса резервуара. Затем по Рефлекционным сейсмограммам выполняют совместный VVAZ/AVAZ/FAVAZ анализ. При этом традиционный VVAZ/AVAZ [2,3,5] анализ в общем рабочем процессе дает информацию об эффектах НТИ анизотропии, связанных с общей трещиноватостью (закрытые и проницаемые трещины), включая их азимутальное направление. А новый подход – FAVAZ анализ [6,7] дает информацию о частотных вариациях в спектрах отраженных сигналов (и в форме сейсмической записи) в зависимости от азимутального направления, связанных с эффектами поглощения, которые возникают в коллекторах с проницаемой флюидонасыщенной трещиноватостью. В конце рабочего процесса используются модули высокого разрешения к полно-азимутальным и секторным изображе-

ниям. Далее следует интегральная интерпретация результатов всех составляющих рабочих процесс процедур обработки.

### **Результаты практического применения технологии**

Технология полно-азимутных сейсмических исследований в локальной угловой области ES360, включая рабочие процессы AVAZ/FAVAZ анализа (для выделения зон проницаемой трещиноватости), были успешно использованы для детализации строения сложных клинообразных ловушек в терригенной толще неомских песчаников и алевролитов, а также девонских карбонатных резервуаров (барьерный риф, локальные

региональных разлома. Применение объемной амплитуды расширяет спектр и повышает вертикальную разрешенность примерно в два раза. Четко просматривается тонкая слоистость и зоны выклинивания, а также детальная геометрия региональных разломов. Добавление информации по Дифракционному изображению и Плотности трещин FD (B) позволяет увидеть тонкие детали сложного геологического строения месторождения на разных глубинных уровнях, включая зоны выклинивания, две регулярные встречные системы нарушений сдвига и зоны повышенной трещиноватости, приуроченные к нарушениям.

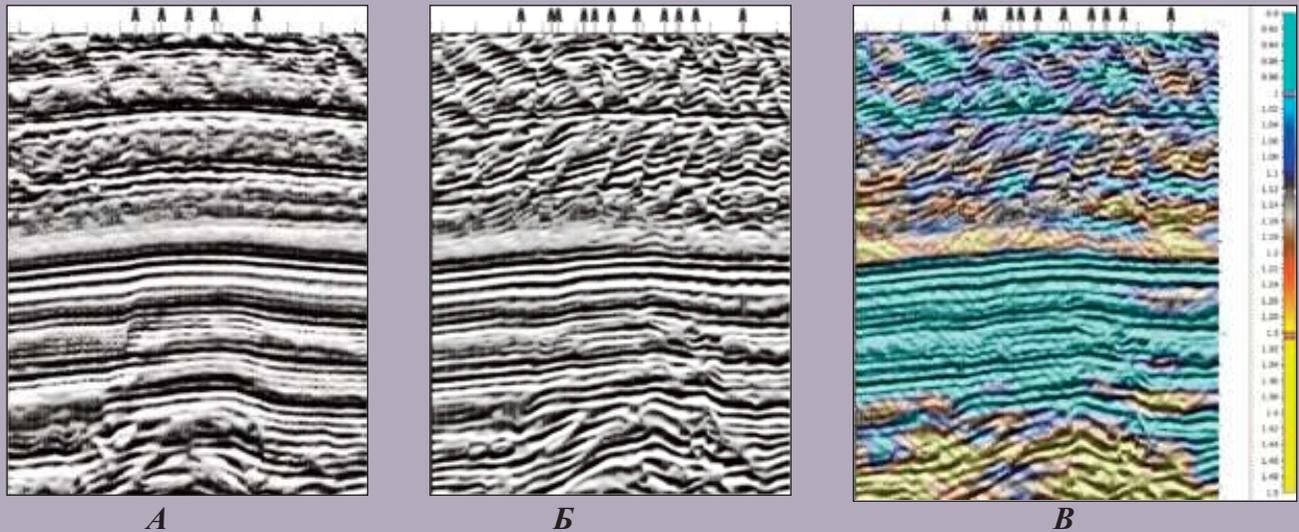


**Рис. 1 Сравнение результатов разных технологий получения глубинных изображений:**

*А - глубинное изображение, полученное по традиционной технологии Kirchhoff миграции. Б - глубинное изображение Зеркальной компоненты, полученное по инновационной технологии ES360-VA. В - Совместное изображение Зеркальной, Дифракционной компоненты и атрибута Плотность трещин (ES360). На рисунках А и Б в качестве цветной подложки изображена глубинно-скоростная модель для миграции. Северная часть месторождения*

рифовые постройки, палео атоллы) и прогнозировании зон общей и нефтенасыщенной мезотрещиноватости внутри коллекторов на нескольких нефтяных месторождениях в СНГ. На **рисунке 1** приведено сравнение продольного сечения сейсмических изображений, полученных по традиционной миграции Кирхгофа (А) и полно-азимутальной технологии ES360 (Б). В варианте миграции Кирхгофа отражающие границы в PZ комплексе кусочные, разбитые на хаотичные блоки из-за неточной фокусировки амплитуд, вызванных ограничениями алгоритма и технологии самого метода в целом. В варианте миграции ES360 отражающие границы в Pz комплексе непрерывные и фокусируются в единую антиклинальную структуру. Выделяется два

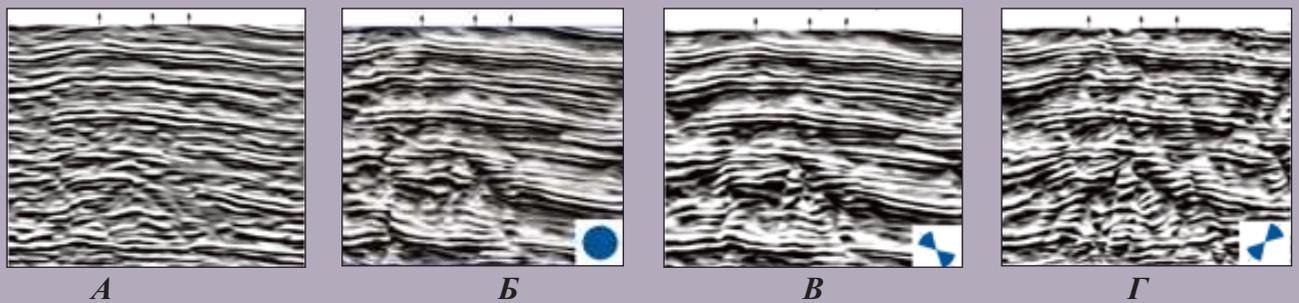
**На рисунке 2** в варианте миграции Кирхгофа (А) можно видеть сглаженное и “размытое” изображение разреза, особенно в неомской толще. Практически не выделяются клиноформные наклонные системы терригенных коллекторов. В варианте миграции ES360 (Б) просматривается повышенная детализация строения всего геологического разреза от Pz до К отложений. Очень четко и однозначно выделены наклонные зоны и системы выклинивания в неокоме, контролируемые двумя встречными системами нарушений сдвига (В). Плотность трещин “подсвечивает” наиболее трещиноватые зоны коллекторов сложной формы и делает прогноз перспективных для бурения участков более надежным.



**Рис. 2 Сравнение результатов разных технологий получения глубинных изображений:**  
 А- глубинное изображение, полученное по традиционной технологии Kirchhoff миграции.  
 Б - глубинное изображение Зеркальной компоненты, полученное по инновационной технологии ES360-VA. В - Совместное изображение Зеркальной, Дифракционной компоненты и атрибута Плотность трещин (ES360). На рисунках А и Б в качестве цветной подложки изображена глубинно-скоростная модель для миграции. Южная часть месторождения

На рисунке 3 приведены результаты дифференциального азимутального анализа по технологии ES360 сейсмических изображений рифогенных построек, полученных в разных азимутальных секторах. Отметим важный момент,

менения результатов AVAZ/FAVAZ анализа при интегральной интерпретации результатов совместно с сейсмическим изображением структурно-тектонического каркаса (СТК).



**Рис. 3 Получение высокоразрешенных сейсмических изображений рифогенных построек по технологии ES360 в разных азимутальных секторах - Б, В, Г в сравнении с миграцией Кирхгофа – А. Барьерный риф, Devon, СНГ. Примечание: во всех вариантах А, Б, В и Г применялся метод объемной амплитуды**

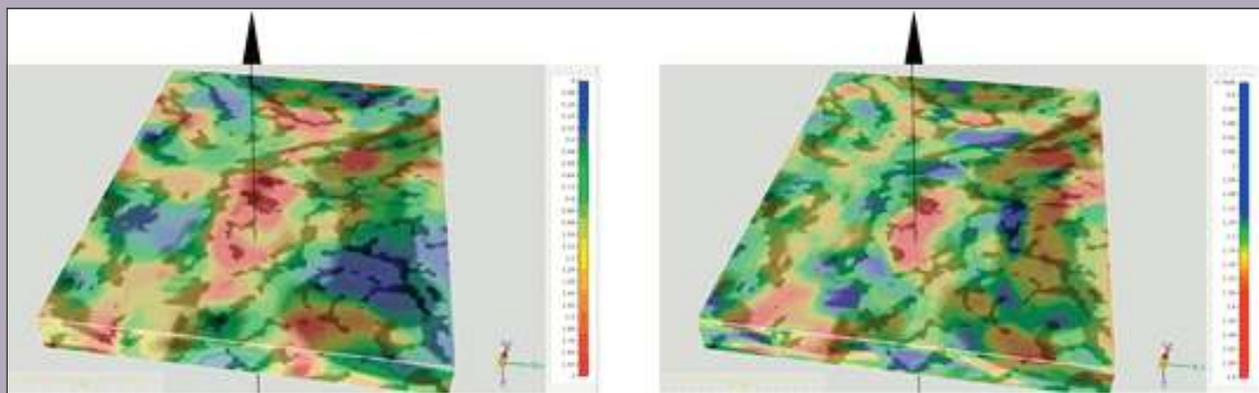
что в каждом азимутальном варианте выделяются (“подсвечиваются”) разные элементы внутренней структуры сложной рифогенной постройки (грибообразные очертания рифов, пилообразные боковые стенки, системы нарушений и др.) В совокупности суммарно все варианты изображений вносят важные дополнительные знания о геометрии и внутреннем строении барьерного рифа.

На рисунке 4 показана эффективность при-

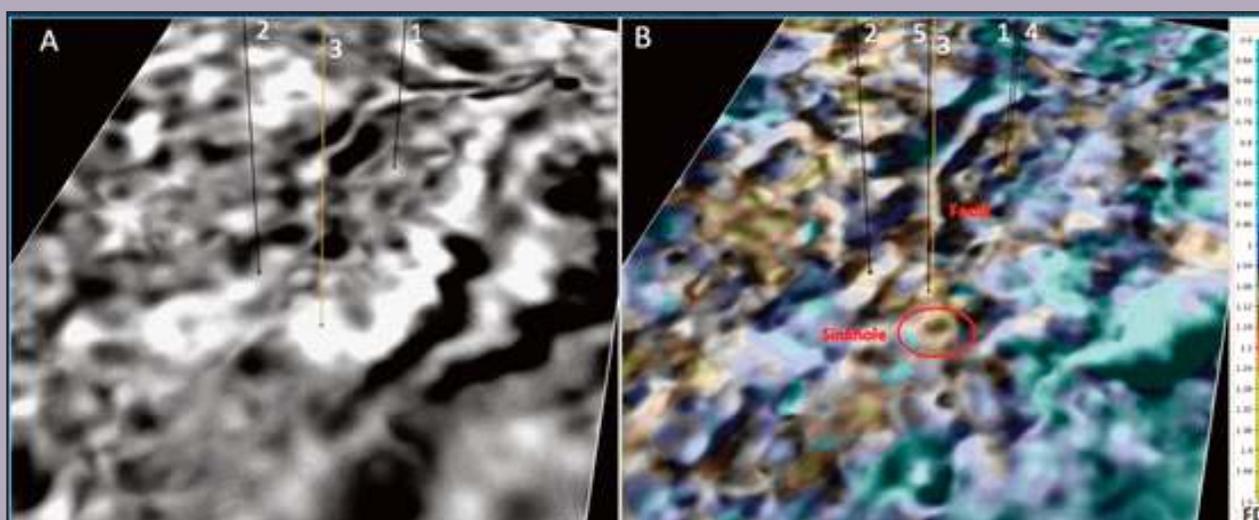
менения результатов AVAZ/FAVAZ анализа при интегральной интерпретации результатов совместно с сейсмическим изображением структурно-тектонического каркаса (СТК).

#### **Новизна работы и выводы**

В докладе продемонстрированы новые возможности комплексирования технологии полно-



**Рис. 4** Интегральная интерпретация изображения СТК и результатов AVAZ/FAVAZ анализа: А - Изображение СТК и Плотность трещин; Б - Изображение СТК и Интенсивность частотного поглощения. Барьерный риф, Devon, СНГ



**Рис. 5** Выделение и детализация карстовых воронок в районе барьерного рифа.

А – Изображение после миграции Кирхгофа и расположение пробуренных скважин: 1,2 - продуктивные, 3 - аварийная скважина. В – Комплексное изображение зеркальной, дифракционной компоненты и плотности трещин (FD). Очевидно, что скважина 3 попадает в карстовую воронку, чем объясняется аварийная ситуация. Новые продуктивные скважины 4 и 5 пробурены с учетом результатов комплексной интерпретации В. Примечание: в обоих вариантах А и В применялся метод объемной амплитуды.

азимутальной глубинной угловой миграции и высокоразрешающих методов объемной амплитуды и декомпозиции изображений по повышению разрешенности и детализации строения сложно-построенных терригенных и карбонатных коллекторов, а также более точному прогнозу общей и проницаемой трещиноватости внутри изучаемых коллекторов. Приведены примеры повышения качества и точности прогноза в нефтенасыщенных трещиноватых зонах на одном из месторождений СНГ. Показано, что новая дифферен-

циальная технология азимутального анализа позволяет провести намного более надежный прогноз продуктивных зон, в частности, в условиях трещиновато-кавернозных карбонатных коллекторов и повысить успешность бурения скважин.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Koren, Z., and Ravve, I. [2011] Full-azimuth Subsurface Angle Domain Wavefield Decomposition and Imaging: Geophysics, 76, no. 1, S1-S13
2. Canning A., and Malkin A. [2009] Azimuthal

*AVA Analysis Using Full-Azimuth Angle Gathers: SEG International Exposition and 79th Annual Meeting, Expanded Abstract*

3. de Ribet, B., Yelin, G., Serfaty, Y., Chase, D., Kelvin, R. and Koren, Z. (2017). *High-Resolution Diffraction Imaging for Reliable Interpretation of Fracture Systems. First Break, 35, Issue 2, 43-47.*

4. Bulhões, M. E; Amorim, N. W. *Princípio da sismo camada elementar e sua aplicação à técnica volume de amplitudes (tecVA). In: 9th international congress of the Brazilian geophysical society, 2005, Salvador. Anais... Salvador: SBGF, 2005. p. 1-6.*

5. Novikov M., Lisitsa V., Kozyev A. [2018] *Numerical Modeling of Wave Processes in Cracked-*

*Porous Fluid-Filled Media: Computational methods and programming, 19, 10.26089/NumMet.v19r212*

6. Alexander Inozemtsev, Zvi Koren and Alexander Galkin. *Applying full-azimuth depth imaging in the local angle domain to delineate hard-to-recover hydrocarbon reserves, First Break, vol 35, December, 2017*

7. Inozemtsev A., Dekel G., Koren Z., and Galkin A. [2019] *Applying full-azimuth depth processing in the Local Angle Domain for Frequency Absorption versus Azimuth) (FAVAz) analysis to predict permeable, oil-saturated fractures, First Break, Vol 37, pp. 67 – 72*

**A.İnozemtsev, Z.Koren**

### **ES360-VA SEYSMİK MƏLUMATLARIN YÜKSƏK DƏQİQLİKLİ AZİMUTAL TEXNOLOGİYA İLƏ EMAL NƏTİCƏLƏRİNİN MÜRƏKKƏB GEOLOJİ ŞƏRAİTİ OLAN SAHƏLƏRDƏ TERRİGEN VƏ KARBONAT KOLLEKTORLARIN ÖYRƏNİLMƏSİ ÜÇÜN TƏTBİQİ**

#### **XÜLASƏ**

Məqalədə mürəkkəb quruluşlu terrigen və karbonatlı kolektorların strukturunun dəqiqləşdirilməsi, həmçinin tam-azimutlu dərinlik bucaq miqrasiya texnologiyası və həcmli amplitud üsullarının birgə tətbiqi imkanları nümayiş etdirilmişdir. MDB yataqlarından birində neftlə doymuş çatlı zonalarda proqnozların keyfiyyətinin və düzgünlüyünün artırılmasına dair nümunələr verilmişdir. Göstərilmişdir ki, azimutal analizin yeni diferensial texnologiyası məhsuldar zonaların, xüsusən də çatlı-kavernoz karbonatlı laylar şəraitində daha etibarlı proqnoz verməyə imkan verir və quyuların qazılmasının uğurunu artırır.

**A.Inozemtsev, Z.Koren**

### **APPLICATION OF HIGH-RESOLUTION FULL-AZIMUTH TECHNOLOGY OF SEISMIC DATA PROCESSING ES360-VA FOR DETAILS OF TERRIGENIC AND CARBONATE RESERVOIRS UNDER COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS**

#### **ABSTRACT**

The paper demonstrates new possibilities for combining the technology of full-azimuthal depth angular migration and high-resolution methods of volumetric amplitude and image decomposition to increase the resolution and detail of the structure of complex terrigenous and carbonate reservoirs, as well as more accurate prediction of total and permeable fracturing within the studied reservoirs. Examples are given of improving the quality and accuracy of forecasts in oil-saturated fractured zones in one of the CIS fields. It is shown that the new differential technology of azimuthal analysis allows for a much more reliable forecast of productive zones, in particular, in the conditions of fractured-cavernous carbonate reservoirs and increases the success of well drilling.