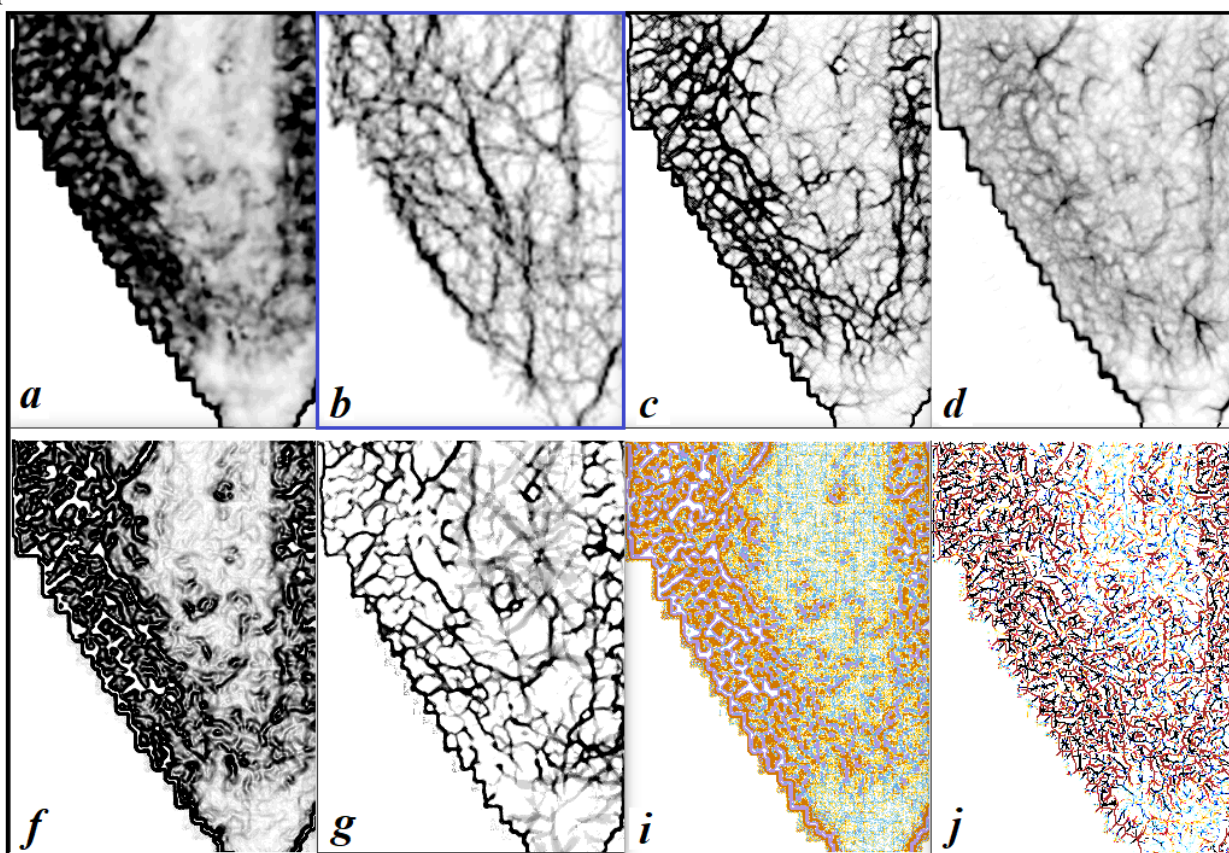


## Методические принципы комплексирования сейсмических атрибутов для анализа карбонатных резервуаров

Шленкин С.И., Масюков В.В.

ООО «Славнефть-НПЦ», г. Тверь, [masvol@mail.ru](mailto:masvol@mail.ru)

Хорошо известно, что для качественного и количественного анализа свойств карбонатных коллекторов используются разнообразные сейсмические атрибуты [1], обычно нацеленные на выделение особенностей сейсмического поля. Общеизвестный граф их использования предполагает сначала вычисление таких атрибутов, их обострение и подчеркивание (enhancement), а затем автоматическое выделение нарушений и построение DFN (discrete fracture network) [2]. В последнее время для отображения свойств трещинной среды появляются все новые атрибуты [2,3] и «реанимируются» старые [4]. Проблема в том, что различные авторы часто предлагают использовать только определенные атрибуты. При чем, такой выбор обычно обосновывается наличием лучшей корреляционной связи с тем или иным параметром ФЕС среды на их, часто специфических, данных. Однако хорошо известно [5], что при переборе достаточно большого числа атрибутов мы рано или поздно получим высокий коэффициент корреляции даже при отсутствии фактической связи между признаками.

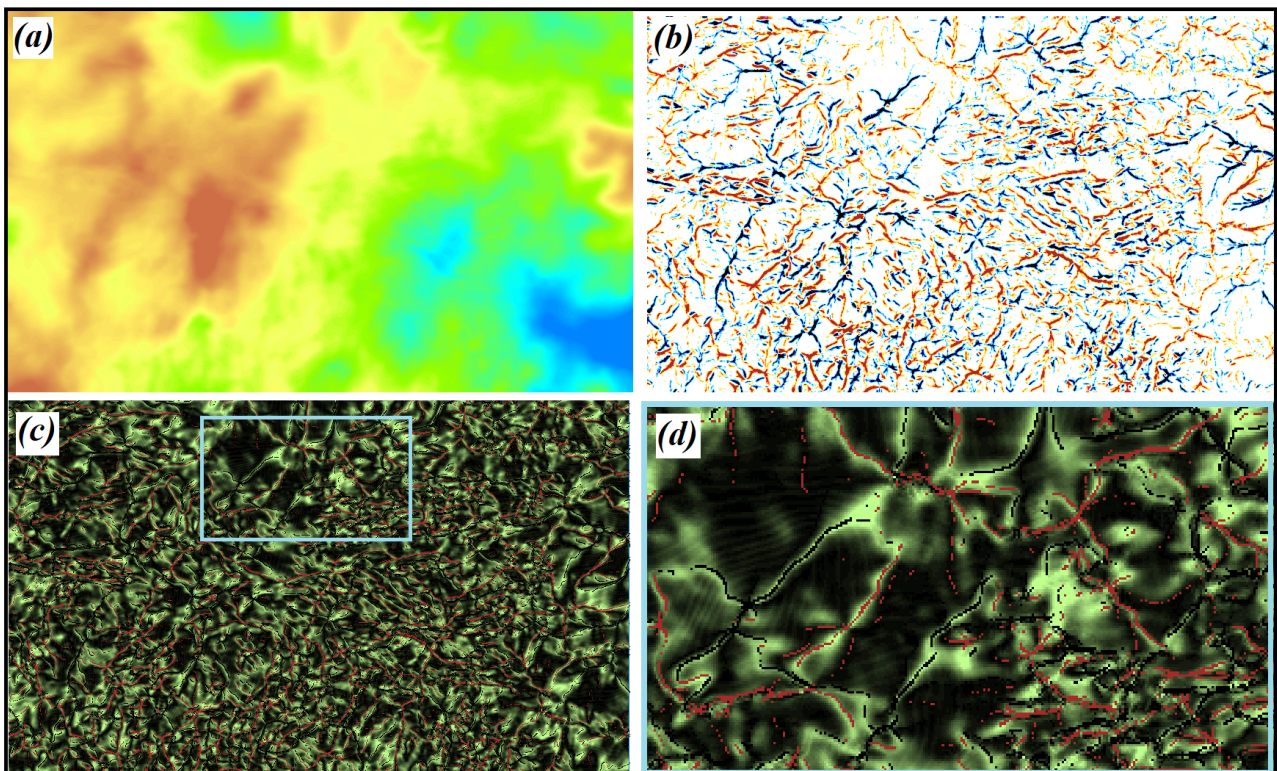


**Рис.1** Пример набора атрибутов, нацеленных на выявление и подчеркивание особенностей сейсмического поля. Рис. (a) и (b) взяты из статьи S. Schneider etc. [1]. Атрибуты (b)-(j) получены из (a). Атрибут (b) принципиально отличается от других, его следует исключить из анализа.

Такой же эффект имеет место с некоторыми недетерминированными атрибутами, при использовании которых, стохастические реализации соответствуют множественному перебору регрессоров. Заметим, что использование и детерминированных атрибутов, результат расчета которых связан с выбором значительного числа непрерывных параметров, часто соответствуют случайному перебору. Какие же все-таки атрибуты использовать, есть ли объективные критерии их эффективности? Есть ли универсальные методические рекомендации для карбонатных коллекторов? Для решения этой проблемы мы предлагаем комплексный подход, основанный на следующих эмпирических принципах анализа, верификации и использования атрибутов особенностей сейсмического поля.

1. Необходимо иметь целый набор атрибутов, направленных на выделение амплитудных, фазовых, спектральных и других особенностей сейсмического поля.

2. Все атрибуты должны быть **непротиворечивы** в главном. То есть действительные события (адекватно отображающие свойства среды), в той или иной степени, должны проявляться на большинстве отобранных для использования атрибутов. Ситуация, при которой на одном атрибуте есть яркое событие (линеамент), а на всех остальных атрибутах в этой же области присутствует другое яркое событие, не соответствующее первому атрибуту, требует дополнительного анализа и, скорее всего, отбраковки первого атрибута (рис.1).
3. Целесообразно максимально использовать всю полезную информацию, содержащуюся в выбранном сете атрибутов. Учитывая, что в силу принципа 2 отобранные для анализа сейсмические атрибуты часто существенно коррелируют между собой, предлагается вычислять главные компоненты сейсмических атрибутов, которые уже не коррелируют между собой и именно их использовать для качественного и количественного анализа.
4. В большинстве случаев следует использовать специальные возможности обострения (подчеркивания) особенностей сейсмического поля (например, с помощью искусственного интеллекта – алгоритмов типа ACS [3]).
5. Для анализа картины линеаментов (часто очень сложной) рекомендуется их зональная интерпретация (кластеризация) на основе производных атрибутов (плотности линеаментов, их направления и фрактальной размерности) [6]
6. Следует также использовать современные средства визуального комплексирования различных атрибутов (RGB- и RBY-смешивание и др.)
7. Целесообразно в ряде случаев извлекать максимум информации из анализа тонких особенностей уверенно коррелируемых структурных поверхностей (например, горизонта Б) (см. рис.2) и сопоставлять эту информацию с атрибутами особенностей, рассчитанных по суммарным сейсмическим данным.
8. В перспективе для получения суперразрешенных изображений трещинной среды (и DFN) целесообразно применять алгоритмы роста фрактальных структур и фрактальной интерполяции с переходом на все более мелкую сетку [2]



**Рис.2** Пример анализа тонких особенностей временного структурного плана (а) горизонта Б. (b) - атрибут «наноспайки», рассчитанный по (а). (с) – атрибут изменчивости горизонта (а) (фактически нормированная дисперсия в скользящем окне).(d) – фрагмент (с) с наложением (b).

Важно подчеркнуть, что сформулированный принцип 2 не является бесспорным. Но он вытекает из опыта. Действительно, атрибуты рассеянной компоненты сейсмического поля часто, в основных чертах, повторяют атрибуты оценки когерентности, а сложный аналитический алгоритм

«топологические сингулярности» дает результат близкий к очень простому атрибуту «наноспайки». На рис.1 атрибут (b) следует исключить из рассмотрения на основании принципа 2. На этом атрибуте, в отличие от других, не видно явного «события» (линеамента) в северной части. Напротив, на нем, присутствуют линеаменты, абсолютно не соответствующие другим атрибутам. Атрибут (b) является примером некорректного использования известного стохастического алгоритма Ant-tracking.

Еще одним аргументом в пользу принципа 2 является тот факт, что атрибуты особенностей обычно выделяют тонкие геологические объекты – не только разрывные нарушения, но и, например, палеоруслы, которые, естественно должны присутствовать (в той или иной степени выраженности) на всех используемых атрибутах. Их прослеживаемость тоже может быть показателем «качества» атрибутов особенностей (правда такие объекты не всегда присутствуют в целевых интервалах). Однако, наряду со стремлением к высокоразрешенным контрастным образам геологической среды, надо иметь в виду, что и достаточно гладкие сейсмические атрибуты могут представлять интерес для количественного анализа карбонатных коллекторов, так как часто пространственное распределение их ФЕС имеет тоже достаточно гладкое распределение (по крайней мере, не линеаментное).

Следует особо обсудить седьмой принцип. Как отмечалось выше, крайне желательно, чтобы рассчитываемые атрибуты были максимально защищены от волюнтаризма пользователей, то есть, являлись объективными характеристиками анализируемого волнового поля. Включение в рассмотрение структурных поверхностей, с точки зрения анализа тектонических нарушений, распределения трещиноватости и т.п. представляется чрезвычайно важным. Однако, высокий уровень объективности и надежности результатов гарантирован лишь тогда, когда осуществлена прецизионная (автоматическая) корреляция отражающих горизонтов с минимальным влиянием субъективной интерпретации геолога-геофизика. Извлечение тонких особенностей из структурных поверхностей (стратиграфического каркаса) и сопоставление их с атрибутами особенностей, рассчитанным по суммарным сейсмическим данным, представляет несомненный интерес (в частности, при изучении коллекторов сланцевой нефти).

Что касается восьмого принципа, при использовании которого в перспективе есть надежда сократить «вакуум» информации от масштабов сеймики до масштабов скважинных измерений на основе непротиворечивого заполнения этого вакуума системой линеаментов (трещин), базирующегося на фундаментальных физических принципах развития нестационарных процессов [2]. В результате применения идей мультимасштабного анализа появляется возможность получения суперразрешенных изображений трещинной среды в любом масштабе. Безусловно, эти подходы требуют дальнейшего развития и подтверждения на практике (в лабораторных экспериментах и реальных производственных проектах).

В докладе планируется обсудить и другие сформулированные выше принципы, а также проиллюстрировать их примерами. Безусловно, сделанные в работе выводы являются дискуссионными. Они являются эмпирическими в полном смысле этого слова, так как основаны на личном опыте авторов при моделировании трещинных коллекторов [7]. Но начальная формулировка и дальнейшее развитие этих методических принципов комплексного использования атрибутов особенностей сейсмического поля для моделирования карбонатных коллекторов представляется актуальным.

### Литература

- [1] S. Schneider etc. Interpretation of fractured zones using seismic attributes — Case study from Teapot Dome, Wyoming, USA // Interpretation, 2016, Vol. 4, No. 2, p. T273–T284
- [2] Масюков В.В. Совместное использование алгоритма роста фрактальных структур и стохастической фрактальной интерполяции для детального моделирования трещинной среды // В сборнике: ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии Труды Международной геолого-геофизической конференции. 2018. С. 871-875.
- [3] Шленкин С.И., Масюков А.В., Масюков В.В., Козлова А.Н. Вычисление кубов когерентности и сингулярностей // Технологии сейсморазведки. 2012. № 2. С. 5–15.
- [4] Chopra, S., and K. J. Marfurt, 2007, Volumetric curvature attributes for fault/fracture characterization: First Break, 2007, 25, P. 35–46
- [5] Масюков В.В., Попов М.А., Тюнегин С.П. Практика атрибутного прогнозирования требует совершенствования // Технологии сейсморазведки, 2013, №3, С.76-87.
- [6] Масюков В.В., Харахинов В.В. Новый подход к кластеризации трещиноватых коллекторов углеводородов на основе данных 3D сейсморазведки // Технологии сейсморазведки, 2015, №2, 29-35.
- [7] Харахинов В.В., Шленкин С.И. Трещинные резервуары нефти и газа. – М. Научный Мир, 2015, 278С.