

СПЕЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ АТТРИБУТОВ КАК КЛЮЧ К УСПЕШНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Волкова А.А.

Томский политехнический университет. E-mail: VolkovaAA@hw.tpu.ru

Аннотация. Результат применения технологий искусственного интеллекта в значительной степени зависит от качества подготовки и предобработки исходных данных. В сейсморазведке для задач автоматического выделения разломов и трещиноватости в качестве входных данных используются сейсмические атрибуты. В работе продемонстрировано, что при определённых комбинациях сейсмических атрибутов, повышается разрешающая способность интерпретируемых особенностей волнового поля за счёт подчёркивания линеаментов, ассоциируемых с тектоническими нарушениями.

Введение

Сейсмические атрибуты при выделении разломов применяются как для улучшения качества сейсмического изображения за счёт снижения доли шумов и информации, не имеющей отношения к тектонике, так и для повышения скорости работ и снижения субъективности при выделении разломов интерпретатором. Повсеместно распространяющиеся алгоритмы интеллектуального анализа данных позволяют автоматизировать некоторые процессы, выполняемые человеком, в том числе и при задачах выделения тектонических нарушений. В связи с простотой использования различных программных продуктов и открытых библиотек с готовыми кодами, становится возможным применить практически любой метод машинного обучения к различным исходным данным. И результат будет. При этом качество результата может быть подвергнуто сомнению, так как при использовании методов искусственного интеллекта в геофизике необходим контроль физичности и геологичности результатов, который и так затруднён за счёт того, что решается обратная задача, которая имеет бесконечное количество решений.

Осмысленный подход к подготовке исходных данных для последующего анализа методами искусственного интеллекта может быть ключом к повышению точности автоматического выделения разломов и шагом к созданию готовых решений для повсеместного использования в распространённых программных продуктах по сейсмической интерпретации. В исследовании проведено сравнение стандартного и усовершенствованного подходов к анализу сейсмических атрибутов, результат которого может быть подан на вход в автоматизированные системы выделения разломов. Также рассматривается вопрос наличия и подчёркивания трещиноватости в сейсмическом волновом поле.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассмотрено одно из месторождений Томской области, приуроченное к доюрскому комплексу отложений. Объект характеризуется высокой степенью неоднородности за счёт блокового строения с преобладающими тектоническими нарушениями северо-восточного и северо-западного направлений. Литологические разности верхней части доюрских отложений представлены как карбонатными породами, так и эффузивно-осадочными с глинисто-кремнистыми. К коллектору относятся доломитизированные известняки, в которых выявлена трещиноватость. Выбор объекта исследования обосновывается наличием куба 3Д сейсмических данных и 12 скважинами с литологическим описанием разреза, в одной из которых были записаны показания пластового электрического микросканера. Также в нескольких скважинах имеется палеомагнитно-ориентированный керн, по которому проводился анализ шлифов. [1, 3, 4]

Стандартная последовательность анализа сейсмических атрибутов заключается в: 1) преобразовании исходного куба амплитуд с помощью сглаживания или фильтрации (атрибуты Median Filter, Structural Smoothing и др.); 2) выявлении неоднородностей (атрибуты Chaos, Variance, Dip Deviation и др.) и 3) подчёркивании и усилении неоднородностей (атрибут Ant-Tracking). [2, 6, 7] В результате такого графа интерпретации ручное пикирование разломов становится более объективным за счёт снижения неопределённостей, то есть искусственном подавлении на сейсмических данных информации, предположительно не относящейся к тектоническим нарушениям. Но автоматизированные алгоритмы выявления разломов не всегда будут выделять именно разломы. Вероятно, что к существующим разломам будут добавляться шумы.

Для подчёркивания линейности тектонических нарушений на сейсмических данных предлагается усовершенствованный алгоритм работы с сейсмическим кубом. Вместо сглаживания куб раскладывается на азимутальные составляющие контраста амплитуд, чтобы уже на первом этапе выявить линейные объекты. Затем проводится суммирование только тех составляющих, на которых были выявлены линейные формы, предположительно соответствующие разломам. При таком суммировании снижается шумовая составляющая [9]. Затем выявляются неоднородности с помощью атрибутов Variance или Edge Evidence. На финальном этапе усовершенствованного алгоритма рассчитывается комбинация из агрессивной и пассивной модификации атрибута Ant-Tracking.

При усовершенствованном подходе к анализу сейсмических атрибутов возможно подчёркивание не только разломов, но и особенностей, связанных с трещиноватостью. Модификации атрибута Ant-Tracking на финальном этапе алгоритма определяются на основании зоны интереса: разломы или разломы + трещиноватость. Применение пассивной модификации (в том числе и повторного расчёта пассивного Ant-Tracking поверх пассивного Ant-Tracking) сгладит проявление трещиноватости, а агрессивный вариант подчеркнёт линейные особенности, которые в волновом поле были проявлены слабее. При этом следует учитывать, что на сейсмических данных выделяются не отдельные трещины, а их статистические скопления, преимущественно одной азимутальной направленности, которые могут формировать коридоры трещиноватости [8]. Следует отметить, что в стандартном подходе трещиноватость уже подавляется на этапе сглаживания и фильтрации.

Результаты и дискуссия

Объект исследования характеризуется как наличием тектонических нарушений, так и трещиноватости, поэтому в работе будут рассматриваться алгоритмы анализа сейсмических атрибутов, направленные на подчёркивание как разломов, так и коридоров трещиноватости. Соответственно, при реализации стандартного подхода был исключён первый шаг со структурным сглаживанием и сразу был переход к расчёту атрибута Edge Evidence и последующему расчёту атрибута Ant-Tracking в агрессивной модификации.

Усовершенствованный алгоритм анализа сейсмических атрибутов состоял из большего количества этапов, чем стандартный, за счёт чего в данных сохранилось и подчеркнулось больше признаков разломов и трещиноватости. Сначала был рассчитан атрибут контраста амплитуд по азимутам от 0 до 180° с интервалом в 5°. Градусы, по которым наиболее контрастно выделялись линейные объекты (15, 35, 55, 65, 85, 105, 135, 165) были просуммированы в общий куб, по которому затем рассчитывался атрибут Edge Evidence. Далее, результирующий расчёт комбинации атрибутов Ant-Tracking с модификациями агрессивный-агрессивный показал более контрастную картину, чем при стандартном подходе. Промежуточные шаги стандартного и усовершенствованного анализа сейсмических атрибутов по объекту исследования представлены на рис. 1. Для всех атрибутов приведён срез в верхней части доюрских отложений на глубине 2000 мс.

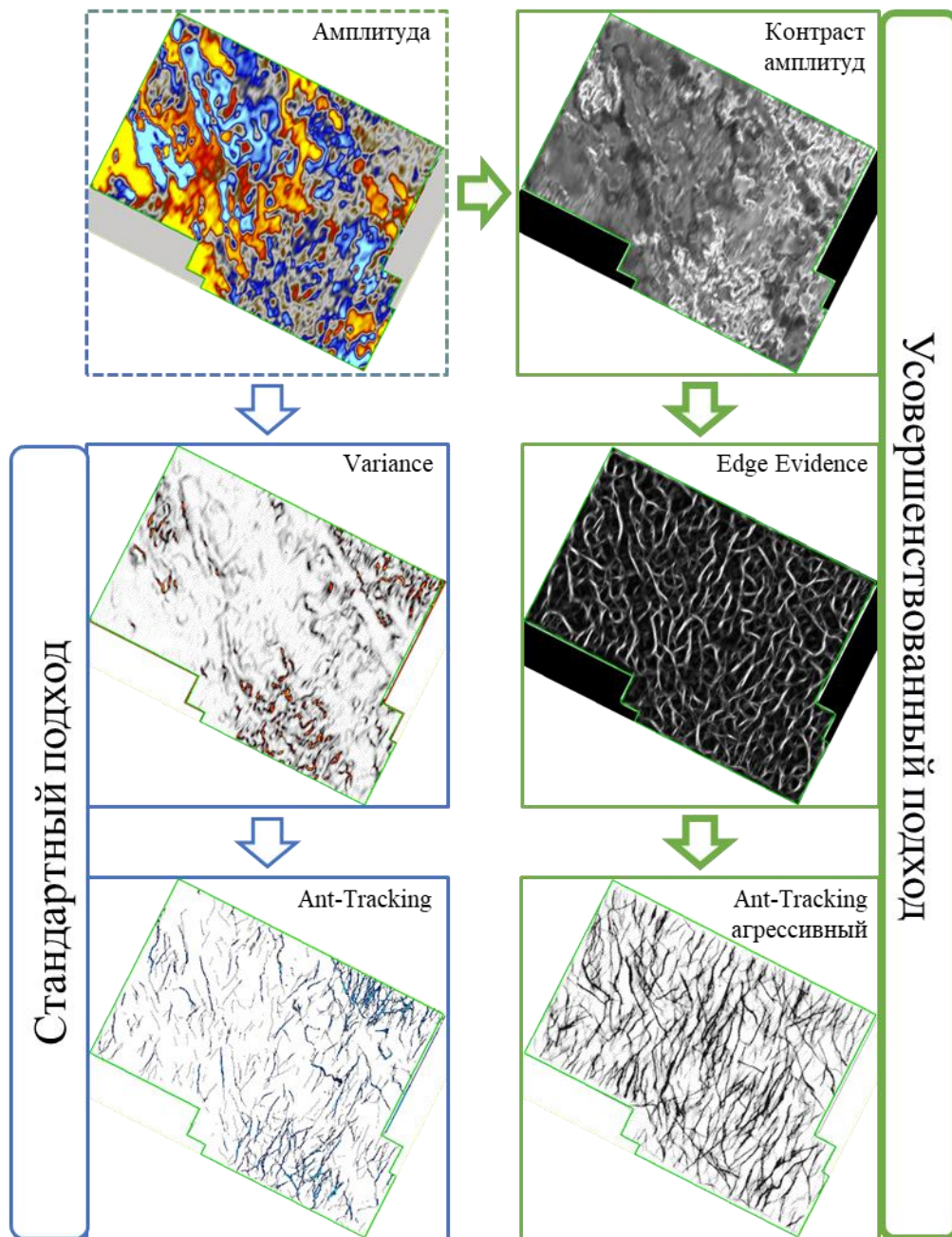


Рисунок 1 – Стандартный и усовершенствованный алгоритмы анализа сейсмических атрибутов. Приведены срезы атрибутов на глубине 2000 мс.

Иллюстрация выше (рис. 1) наглядно демонстрирует, что применение технологий искусственного интеллекта для автоматического выделения разломов и коридоров трещиноватости наиболее целесообразно на результате работы усовершенствованного алгоритма, а не на стандартном алгоритме или исходном кубе амплитуд. Для дальнейшего извлечения разломов может быть применён метод машинного обучения (с учителем / без учителя), а также нейронные сети. Некоторые алгоритмы демонстрируют успешное решение задачи выделения разломов даже на исходных данных (куб амплитуд). Но, чем более неоднородные и менее контрастные данные, тем ниже точность работы методов интеллектуального анализа. С примером по свёрточным нейронным сетям можно ознакомиться в работе [11] и в ряде других исследований. Пример с работой кластеризационного алгоритма машинного обучения представлен в [9]. Вариант реализации нейронных сетей представлен в [5]. Следует отметить, что исследование направлено на подготовку исходных данных для автоматического выделения разломов, а сама реализация алгоритмов искусственного интеллекта остаётся за рамками работы.

Как развитие метода подготовки исходных данных автоматического выделения разломов можно рассмотреть метод главных компонент, который основывается на ортогональном разложении данных по некоррелирующим друг с другом факторам (компонентам). Соответственно, возможны два дальнейших варианта событий. Первый актуален для старых сейсмических данных с менее детальной

обработкой и заключается в выявлении и вычитании из исходных данных компоненты с так называемыми «футпринтами», то есть следами расстановки при полевых работах, когда наблюдаются повышения амплитуд по приёмным и взрывным линиям профилей. Второй вариант представляет собой визуальный анализ горизонтальных срезов сейсмических кубов главных компонент и выборе составляющей, наиболее соответствующей по визуальным признакам тектонических нарушений. Метод главных компонент для выделения разломов был рассмотрен И.И. Приезжевым [10]. Предполагается, что для более достоверного (например, с меньшим значением ошибки после обучения нейронных сетей или другого алгоритма интеллектуального анализа данных) выявления разломов возможно использование исходного куба главной компоненты и рассмотренной в работе последовательности расчёта сейсмических атрибутов. Но при этом следует учесть, что у метода главных компонент могут быть свои «подводные камни» и возможно, выбранная интерпретатором компонента не является полностью основанной на признаках тектонических нарушений. Для проверки такой комбинации методов следует обратиться либо к максимально изученным данным (с наличием скважин с пластовыми микроимиджерами, результатами трассерных исследований или гидродинамических исследований скважин, с помощью которых можно подтвердить наличие разломов), либо к синтетическим данным, у которых известно истинное положение разломов.

Выводы

Для применения технологий искусственного интеллекта при интерпретации сейсмических материалов необходима более тщательная подготовка исходных данных. В работе рассмотрены подходы к анализу сейсмических атрибутов для выделения разломов и трещиноватости. Выявлено, что для дальнейшего применения автоматических алгоритмов обнаружения разломов требуется усовершенствованный цикл расчёта атрибутов, для того, чтобы наилучшим образом подчеркнуть неоднородности с линейной геометрией и сократить «помеху», то есть особенности сейсмического волнового поля, которые не имеют отношения к тектоническим особенностям.

Литература

1. Волкова А.А., Меркулов В.П. Применение сейсмических методов для оценки перспектив нефтегазоносности отложений палеозойского фундамента Западно-Сибирской плиты. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2019. – Т. 330. – № 3. – С. 156–162.
2. Дабер Р., Дитча Е., Густафссон Л. Э. Руководство по интерпретации сейсмических атрибутов // М.: Шлюмберже. – 2007. – 119 с.
3. Ежова А.В., Меркулов В.П., Чеканцев В.А. Геологическая модель строения палеозойского фундамента Северо-Останинского нефтяного месторождения (Томская область) // Горный журнал. – Томск, 2012. – С. 35 – 38.
4. Краснощечкова Л.А., Волкова А.А., Гарсия Бальса А.С., Меркулов В.П., Белозеров В.Б., Давид М.А., Серкина Г.С. Сравнительный анализ методик определения трещиноватости карбонатных коллекторов // Петрофизика сложных коллекторов: проблемы и перспективы. – М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель» - 2022. – Т. 4. – 385 с.
5. Приезжев И.И. Прослеживание особенностей сейсмического поля с помощью алгоритма симуляции разломов по локальным стрессам // Карбонатные резервуары 2020. – Москва, ЕАГО, 2020.
6. Chopra S., Marfurt K. Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization // Geophysical Developments. – Tulsa, SEG, 2007. – 464 p.
7. Chopra S., Kumar R., Marfurt K. J. Seismic discontinuity attributes and Sobel filtering // 2014 SEG Annual Meeting. – OnePetro, 2014.
8. Liu E., Martinez A. Seismic Fracture Characterization: Concepts and Practical Applications (EET 8). – Earthdoc, 2012. – 279 p.
9. Kim, M., Yu, J., Kang, N. K. and Kim, B. Y. Improved Workflow for Fault Detection and Extraction Using Seismic Attributes and Orientation Clustering // Applied Sciences. – 2021. 11(18), 8734.
10. Priezzhev, I., Scollard, A. Fracture detection through seismic cube orthogonal decomposition. SEG Technical Program. Expanded Abstracts. – 2013. 1308-1313.
11. Wu X., Geng Z., Shi Y., Pham N., Fomel S., and Caumon G. Building realistic structure models to train convolutional neural net-works for seismic structural interpretation // Geophysics. – 2020. 85(4), pp. WA27–WA39.