

Отзыв официального оппонента Тяпкина Юрия Константиновича на диссертационную работу Верпаховской Александры Олеговны

“ФОРМИРОВАНИЕ ГЛУБИННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЙ МИГРАЦИИ ПО ДАННЫМ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ”,

представленную на соискание научной степени доктора физико-математических наук по специальности 04.00.22 – Геофизика

Актуальность темы диссертации

Диссертация А.О. Верпаховской посвящена *актуальной* проблеме развития и совершенствования технологии получения сейсмических изображений недр.

Построение сейсмических изображений, известное также как миграция сейсмических записей, является ключевым этапом обработки, обеспечивающим основную информацию для последующей структурной интерпретации. Все предшествующие этапы обработки по существу являются подготовительными и обеспечивают необходимые условия и необходимую информацию для успешного построения сейсмических изображений.

В настоящее время процедуры построения сейсмических изображений весьма развиты и разнообразны как в теоретическом, так и в технологическом аспекте. Они позволяют использовать самые совершенные широкоазимутальные и даже полноазимутальные 3D наблюдения в поле, любую природу (моду) и сложную траекторию распространения волн (обменные, дуплексные, кратные, рефрагированные и другие типы волн) и многокомпонентные записи. Кроме того, они учитывают множество путей распространения сейсмической энергии в среде (multipathing), а также анизотропию скоростей, вызванную не только квазипериодичной тонкой слоистостью разреза, но и повсеместным присутствием трещин в породах. Кстати, используемые в данной диссертации преломленные волны, в западной терминологии звучащие как “diving waves” или “turning waves”, успешно применяются в процедуре миграции в обратном времени (reverse time migration) для построения изображения субвертикальных границ даже с отрицательным наклоном, например стенок соляных штоков. А неучет их присутствия в природе в простейших схемах обработки порождает ложные “козырьки” в изображениях контуров соляных диапиров.

Значительный рост эффективности миграционных процедур в последнее время вызван разработкой и освоением более совершенных методов построения скоростной модели среды, без которой любая, даже самая совершенная процедура миграции не в состоянии обеспечить адекватное изображение геологического разреза. Речь идет о замене томографической инверсии, базирующейся на лучевых законах распространения сейсмической энергии, полноволновой инверсией (full wave inversion), использующей значительно более реалистичные волновые законы.

В этой ситуации А.О. Верпаховская нашла “слабое” звено в решении данной научно-методической проблемы и весьма активно и успешно занялась значительно менее развитым

направлением – построением сейсмических изображений с использованием преломленных волн по региональным данным метода ГСЗ.

Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Среди основных достижений диссертанта, обладающих несомненной *научной новизной*, в первую очередь следует назвать

- исследование критериев и разработку специальных подходов к определению интервала сейсмической записи для эффективного использования миграции рефрагированных волн при формировании изображения конкретной границы;
- создание алгоритмов и программного комплекса кинематической миграции рефрагированных волн для обработки данных ГСЗ, эффективность которых продемонстрирована на модельных и реальных материалах;
- разработка интерактивного программного пакета для обработки данных малоглубинной сейсморазведки, который использует языки объектного программирования и содержит специальный блок для обработки региональных данных ГСЗ;
- разработка методики совместного использования кинематической и динамической миграции рефрагированных волн, позволяющей построить глубинное изображение среды без дополнительных процедур расчета скорости, эффективность которой подтверждена на модельных и реальных материалах;
- усовершенствование теории, алгоритмов и программного обеспечения динамической миграции рефрагированных волн для формирования изображения сложно построенных геологических разрезов с учетом рельефа местности;
- разработка теории, алгоритмов и программного обеспечения трехмерной динамической миграции рефрагированных волн, эффективность которой подтверждена модельными исследованиями;
- математическое доказательство корректности и устойчивости трехмерного продолжения временных и волновых полей конечно-разностным методом.

Особо следует отметить тщательный и глубокий обзорный анализ современного состояния проблемы, выполненный Александрой Олеговной.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации А.О. Верпаховской, подтверждается строгими теоретическими методами исследований, проверкой корректности сформулированных задач, результатами апробации разработанных ею программно-алгоритмических комплексов на модельных и реальных материалах, а также успешным использованием полученных результатов на производстве.

Практическая ценность результатов

Разработанный А.О. Верпаховской интерактивный программный пакет для обработки данных малоглубинной сейсморазведки внедрен в производственную эксплуатацию в компании “Кумран” для изучения зоны малых скоростей.

Результаты обработки материалов ГСЗ с помощью разработанных А.О. Верпаховской программных комплексов позволили получить новую информацию о глубинном строении недр Украины.

Список замечаний

Работа не лишена недостатков. Остановимся на некоторых из них.

1. В обзорной части работы Александра Олеговна утверждает, что основным отличием миграции в обратном времени (reverse time migration - RTM) от остальных методов является предварительное прямое продолжение (экстраполяция) поля от источников и обратное продолжение от приемников с последующей увязкой (наиболее часто – кросс-корреляцией) результатов в точках отражения или дифракции. Но это не так, поскольку после работ Клербо и Берхаута этот принцип был положен в основу любых современных миграционных преобразований, основанных на решении волнового уравнения и предполагающих однонаправленное распространение сейсмической энергии от источника к границе и затем от границы к приемнику (называемых в западной литературе как one-way wave equation migration - WEM). *(Кстати, Ю.В. Тимошин, работавший на начальных этапах развития миграционных процедур, вместо волнового продолжения от источников использовал простейшие задержки поля, равные времени пробега волны от источника к возможной точке на границе, т.е. по существу комбинировал кинематический и динамический шаги миграции.)* На самом деле основное отличие RTM от WEM заключается в другом: более прогрессивная технология RTM допускает нетрадиционную и значительно более сложную траекторию распространения сейсмических волн в среде на обоих отрезках пути от источника к границе и затем к приемнику. Имеется в виду возможность изменения направления распространения сейсмической волны на каждом их отрезков. Именно эта особенность позволяет RTM эффективно использовать уже упомянутые дуплексные, кратные, рефрагированные и другие нетрадиционные типы волн для построения сейсмических изображений в сложных тектонических условиях, например при изучении контуров и внутренней структуры соляных тел со сложнейшей конфигурацией.
2. В обзорной части диссертации много говорится о сейсмической томографии, базирующейся на лучевых законах распространения энергии в среде, но ни разу не отмечается уже упомянутая полноволновая инверсия, в основу которой положены более реалистичные волновые законы. Развитию и совершенствованию этого направления в настоящее время посвящены многочисленные совещания и публикации в ведущих западных журналах, демонстрирующие его преимущества над сейсмической томографией при резких вариациях скорости волн в пространстве, вызванных интенсивными тектоническими процессами.

3. Все разработки Александры Олеговны базируются на изотропной скоростной модели среды, которая в настоящее время несколько устарела. Я бы рекомендовал ей в дальнейшем обобщить их на анизотропный случай. Такие модели давно, широко и успешно используются в западных технологиях скоростного анализа, сейсмической миграции и изучения свойств традиционных и нетрадиционных резервуаров углеводородов. Чтобы не быть голословным, приведу следующий пример. В интервью, данном журналу The Leading Edge (США) в октябре 2006 года, ведущие специалисты в области сейсмической анизотропии профессор Илья Цванкин (университет Colorado School of Mines, США) и доктор Владимир Гречка (компания Marathon, США) отметили, что все проекты глубинной 3D миграции в такой ведущей мировой компании как ExxonMobil уже выполняются исключительно с использованием анизотропных скоростных моделей. При этом следует отметить, что стремление приблизиться к реалиям привело в последнее время к значительному усложнению используемых анизотропных скоростных моделей: на смену моделям с наклонной осью трансверсальной изотропии (ТТИ) пришли модели с наклонной орторомбической симметрией. Они наиболее эффективно описывают поведение сейсмических скоростей в деформированных средах, таких как интенсивные складки и нарушения в зонах надвигов, зоны сбросов, деформированные галокинезом осадочные породы, содержащие радиальные разломы и трещины и т.д. Даже тела соляных штоков в последнее время стали рассматривать как анизотропные объекты. К тому же более близкая к научным интересам диссертанта глобальная сейсмология постоянно проявляет большой интерес к анизотропии коры и верхней мантии Земли (см., например, материалы только что завершившегося 17-го Международного рабочего совещания по сейсмической анизотропии - 17th International Workshop on Seismic Anisotropy, September 18-23, 2016, Horseshoe Bay Resort, Texas, USA, <http://www.beg.utexas.edu/17IWSA/agenda.php>).
4. Раздел 4.2 данной работы, посвященный обработке данных малоглубинной сейсморазведки, хотя и базируется тоже на использовании преломленных волн, но выходит за рамки основной темы диссертации.
5. В диссертации многократно используется термин “общая глубинная точка (ОГТ)”, который явно устарел и, строго говоря, не имеет смысла даже в идеализированном случае горизонтального залегания осадочных пород. Я бы рекомендовал Александре Олеговне впредь от него отказаться и использовать более современный и строгий термин “общая срединная точка (ОСТ)”.
6. Работа Александры Олеговны несомненно выиграла бы от сокращения ее объема после устранения многословия, повторений и тривиальной информации, не соответствующей уровню докторской диссертации.

Несмотря на отмеченные недостатки, я считаю, что диссертация А.О. Верпаховской является завершенной работой, удовлетворяющей требованиям специальности 04.00.22 – Геофизика. Работа характеризуется актуальностью, новизной и значимостью полученных результатов, поскольку она значительно продвинула вперед теорию, методiku и программное обеспечение построения глубинных сейсмических изображений по

региональным данным метода ГСЗ с использованием преломленных волн. Наличие указанных недостатков не снижает значения работы в целом, а сформулированные замечания можно расценивать как пожелания автору диссертации для будущей работы. Диссертация отвечает требованиям п.9, п.10 и п.12 «Порядку присуждения наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», утвержденного постановлением Кабинета Министров Украины №567 от 24 июля 2013 года, а ее автор, Верпаховская Александра Олеговна, заслуживает присуждения ей научной степени доктора физико-математических наук.

Научный консультант ООО «Юг-Нефтегазгеология»

доктор физико-математических наук

профессор

Тяпкин Ю.К.

Подпись Тяпкина Ю.К. подтверждаю: