

Сейсморазведка высокой четкости (СВЧ) – бескомпромиссный подход к регистрации и обработке сейсмических данных: основные положения, регистрация данных, анализ волновых полей*

High Definition Seismic (HDS) – Uncompromised Approach
to Acquisition and Processing of Seismic Data: Principles,
Data Acquisition, Analysis of Wave Paths

А.А. Табаков, к.т.н.

vsp@geovers.ru

В.Н. Ференци

vfern@mail.ru

Л.В. Калван

lyuba.kalvan@gmail.com

/ООО «Геоверс»,

г. Москва/

Ю.А. Степченков

urijs.stepchenkov@gmail.com

А.С. Колосов

kolosovas@gmail.com

/ООО «Универсалные

Интеллектуальные Системы»,

г. Санкт-Петербург/

A.A. Tabakov, PhD, V.N. Ferenczi,
L.V. Kalvan /ООО «Geovers», Moscow/
Ya.A. Stepchenkov, A.S. Kolosov /ООО
«Universal Smart Systems»,
St. Petersburg/

На основе анализа ограничений методики сейсморазведки на поверхности и использования подходов, разработанных в методе ВСП, предлагаются усовершенствования полевых работ и обработки данных. В результате предполагается увеличить информативность сейсморазведки примерно в два раза за счет увеличения ширины спектра с 3-3.5 до 7 октав, что позволяет называть такую технологию сейсморазведкой высокой четкости (СВЧ). Представлены результаты применения разработки на модельных и реальных данных, полученных в сложных условиях.

Based on analysis of restrictions of surface seismic prospecting and application of approaches invented for VSP processing the improvements in acquisition and processing of seismic data are proposed. It is supposed that informative content of seismic result may be approximately doubled due to widening of band-width from 3-3.5 octaves to 7 octaves. The technology is called «High Definition Seismic» (HDS). The technology is illustrated by application to model and real data obtained in complex surrounding.

Ключевые слова: сейсморазведка на поверхности, вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), трехмерная геометрия наблюдений, высокая четкость, инновация, ширина спектра.

Key words: seismic prospecting, vertical seismic profiling, three-dimensional geometry of survey, high definition, innovation, spectrum width.

Введение

Многие концепции современных приемов регистрации, обработки и интерпретации данных сейсморазведки исходят из традиционных подходов, основанных на упрощенных моделях строения геологической среды и соответствующих им упрощенных алгоритмах обработки.

Построенные на этих концепциях технологии позволяют во многих случаях получать удовлетворительные и даже хорошо согласующиеся

с данными бурения результаты, но в условиях, которые сильно отличаются от упрощенных моделей. Например, в зонах вариаций мощностей многолетнемерзлых пород (ММП) в верхней части разреза, в горных и других районах заключения по данным сейсморазведки не являются объективным критерием для проектирования бурения или источником надежной информации для построения моделей продуктивных пластов.

В статье предложен и описан комплекс концепций и технологий, основанных на фундаментальных подходах, которые устраняют очевидные противоречия и недостатки, ограничивающие рост эффективности применения метода сейсморазведки. Основные положения этого комплекса не являются принципиально новыми, во всяком случае, они уже с конца 70-х годов прошлого века применяются в разработке определенных направлений метода

* Материал представлен на Международной научно-практической конференции «Гальперинские чтения».

вертикального сейсмического профилирования (ВСП).

Особое внимание следует обратить на потенциальную эффективность предлагаемых инноваций. Поскольку важнейшим достижением нового подхода является существенное увеличение ширины спектра выделяемых отражений, приводящее к получению более четких изображений строения среды, метод получил название сейсморазведки высокой четкости (СВЧ-High Definition Seismic).

Основные положения

Существенные недостатки общепринятых методик наземной сейсморазведки в целом заключаются в следующем:

- Фактическая двумерность системы наблюдений 3D очевидно неадекватна трехмерным средам.
- Невозможно зарегистрировать форму импульса возбуждения.
- Сейсмоприемники устанавливаются без достаточного прижима к грунту, что приводит к появлению резонансов.
- Полный вектор колебаний либо не регистрируется, либо не используется в полной мере из-за неадекватности систем обработки.
- Не регистрируются шумы до начала записи (опережение начала записи), что не позволяет оценивать и применять при обработке свойства шумов.

▪ При использовании вибрационных источников ширина спектра возбуждения ограничивается 3-3.5 октавами.

▪ Концепция статических поправок не соответствует реальности при наличии высокоскоростных слоев в ВЧР.

В связи с этим отмечается ряд принципиальных ограничений:

▪ Селекция волновых полей выполняется как процедура выделения сигналов на фоне помех, тогда как с фундаментальной точки зрения это задача анализа интерференционных волновых полей и селекция является частью итеративного процесса.

▪ Статические поправки рассматриваются как общая для всех времен компонента, что не соответствует реальности в условиях сильной латеральной неоднородности верхней части разреза (ВЧР) и наличия в ней высокоскоростных включений.

▪ Оцениваемые переборами параметры гипербол интерпретируются как информация о скоростной модели, что в условиях, описанных в предыдущем пункте, не работает в силу сильного отличия годографов отражений от гипербол.

▪ Используемая концепция линии приведения имеет ограниченное применение и непригодна для сложных геологических моделей, например в условиях горного рельефа.

▪ Алгоритмы миграции не соответствуют сути решаемых задач при условии больших углов наклона, что ясно проявляется при рассмотрении объектов шарообразной формы.

▪ Не разработана концепция количественного использования динамических характеристик обменных волн для обработки трехкомпонентных данных.

▪ Сложность и многовариантность систем обработки требует высоких затрат на обучение персонала.

Для устранения приведенных выше принципиальных ограничений применения метода сейсморазведки новая технология предлагает реализовать следующие подходы:

а) В области регистрации:

▪ Использовать трехмерные системы наблюдения, включающие данные поверхности сейсморазведки 3D и скважинные наблюдения по методу вертикального сейсмического профилирования (3D+ВСП), обеспечивающие оценку истинных скоростей и истинной формы импульса возбуждения.

▪ Полностью перейти на регистрацию трехкомпонентными датчиками.

▪ Выполнять запись сейсмического фона до возбуждения.

▪ Сократить шаг наблюдений и увеличить вынос.

б) В области обработки данных:

▪ Использовать предлагаемый ниже способ аддитивного итеративного анализа волновых полей вместо выделения сигналов на фоне помех.

▪ Вычислять переменные во времени, выравнивающие сдвиги вместо статических поправок.

▪ Использовать для описания реальных годографов дополнительные к гиперболам корректирующие полиномы необходимой степени.

▪ Формировать изображение волнового поля с использованием скоростной модели среды, рассчитанной по реальным годографам (сумма выравнивающих поправок, гиперболы и полиномы), от поверхности, полученной скоростной инверсией годографов первых вступлений.

▪ Использовать обменные поперечные волны для компенсации зависимости величины коэффициента отражения продольных волн от угла падения путем суммирования отражений продольных и поперечных волн с расчетными весами.

▪ Применять векторную конечно-разностную миграцию для получения динамически представительных результатов.

▪ Использовать элементы искусственного интеллекта для автоматизации процесса обработки.

Применение рекомендуемого комплекса может увеличить ширину спектра со стандартных 3-3.5 октав до 7 октав, как это будет продемонстрировано на реальных данных, полученных в условиях меняющихся мощностей зоны ММП при интенсивных звуковых, ветровых, техногенных помехах и больших перепадах рельефа.

Трехмерные системы наблюдений

Единственной полностью адекватной геометрией наблюдений для изучения трехмерных сред является трехмерная. В реальности вертикальная координата может быть реализована при проведении наблюдений в скважине, тогда

возможно построение квазитрехмерной геометрии наблюдений, как в предлагаемой ниже методике 3D + ВСП [1, 4, 5, 6, 7]. Термин требует пояснений. 3D – это традиционная площадная сейсморазведка на поверхности, а +ВСП означает, что третья ось координат может быть реализована только в имеющейся на площади системе скважин.

Геометрия размещения сейсмоприемников при проведении работ 3D+ВСП в технологии СВЧ схематически изображена на **рис. 1**.

Применение технологии на практике означает, что одновременно с проведением поверхностных наблюдений производится регистрация сигналов в скважине и, таким образом, устраняются два принципиальных ограничения наземной сейсморазведки – невозможность определения истинных скоростей и истинной формы сигнала.

На **рис. 2** приведен пример определения скоростей в ВЧР, включающей ММП, на одной из площадей Западной Сибири с помощью наблюдений 3D+ВСП. Зоны понижения скоростей хорошо коррелируют с зонами растяжения вдоль русел малых рек. Вариации скоростей ВЧР определены по разнице модельных и фактических времен прихода прямых волн на глубинном приборе вблизи забоя.

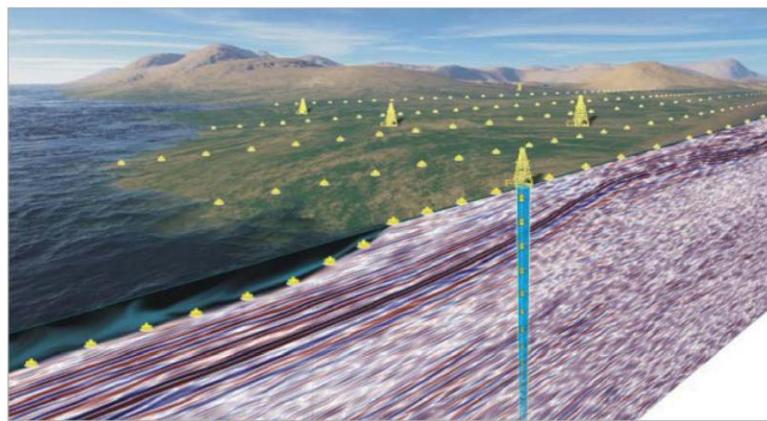


Рис. 1. Схематическое изображение трехмерной системы наблюдений в технологии СВЧ

На **рис. 3** представлено сопоставление временных разрезов, полученных по одним и тем же данным 3D на поверхности с использованием одновременных наблюдений ВСП вблизи забоя скважины (В) и без него (А).

Хорошо заметны различия в структурном плане за счет учета вариаций ММП и в динамике отражений за счет устранения резонансных явлений благодаря стандартизации сигналов по данным ВСП.

Анализ волновых полей

Зарегистрированные сейсмограммы волновых полей представляют собой интерференцию упругих полезных волн, волн-помех различ-

ного типа и квазислучайных помех различного типа. Ширина спектра полезных волн, используемых в дальнейших преобразованиях и интерпретации, в котором обеспечивается заданное отношение сигнал/шум, зависит от успешности процедуры разделения волновых полей. В классе линейных систем эта задача решается как оптимальная многоканальная фильтрация. Недостатком указанного подхода является необходимость использования на входе параметров разделяемых волн, которые могут быть определены после разделения.

В данной работе представлены результаты использования аль-

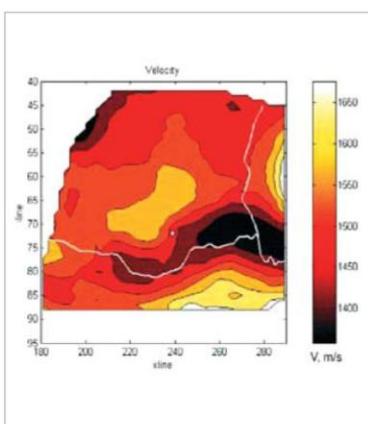


Рис. 2. Результаты оценки скоростей ВЧР, включающей ММП, по результатам 3D+ВСП на одной из площадей Западной Сибири

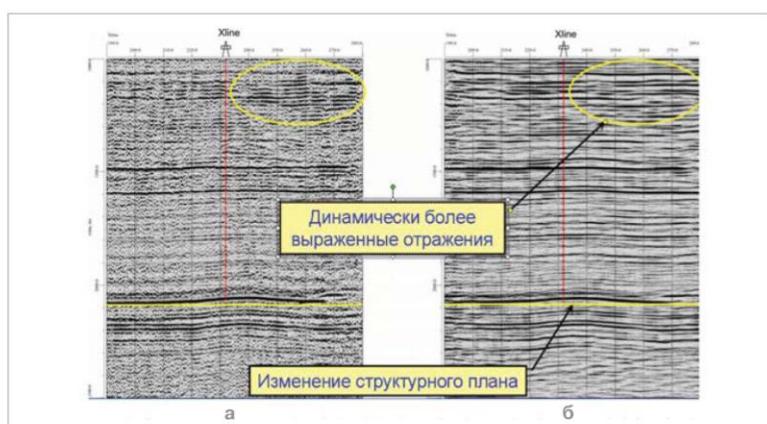


Рис. 3. Сопоставление сечений куба 3D (а) и 3D+ВСП (б) на одной из площадей Западной Сибири

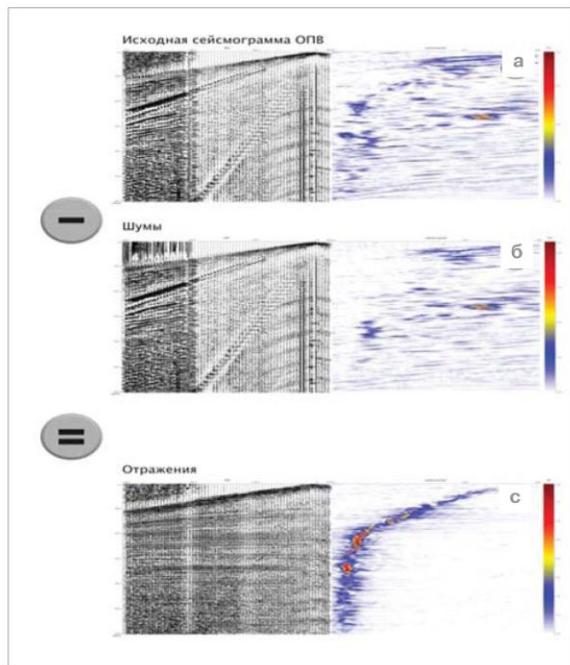


Рис. 4. Селекция волновых полей сейсмограмм на поверхности: а – исходная сейсмограмма; б – сейсмограмма выделенных шумов; в – остатки (отражения + нерегулярный шум)

тернативного подхода – аддитивного итеративного метода, который впервые был предложен С.А. Нахамкиным [2, 3]. С 1970 г. метод развивается сотрудниками ООО «Геоверс» и реализован для обработки данных ВСП [9], а также успешно применяется для обработки первичных сейсмограмм наземной сейсморазведки.

Суть метода заключается в том, что сначала выявляется наиболее сильный сигнал сейсмической записи, оцениваются его параметры, находится проекция сигнала в поле параметров и затем выделенный сигнал с найденными параметрами вычитается из волнового поля. Последовательно выделив все или части отражений, можно провести уточнение каждого сигнала путем выделения его из суммарного поля остатков и искомой волны, исключив при этом искажающее влияние интерференции остальных сильных отражений. В результате этой процедуры получается аддитивный набор сигналов и остатки, которые не превышают заданного порога относительно выделенных сигналов либо содержат только нерегулярные сигналы.

При селекции все выделяемые сигналы равнозначны, и их разделение на полезные и помехи разных типов выполняется после завершения анализа. Тем не менее для основных типов отражений задается модель и выделение каждого сигнала выполняется путем нахождения ближайшей проекции на об-

ласть допустимых решений, благодаря чему достигается решение проблемы единственности.

Однако эта задача не только не соответствует принципу единственности решения, но может и расходиться. Для решения данной проблемы эмпирически подобраны аддитивные и в том числе нелинейные процедуры, обеспечивающие правдоподобные устойчивые решения.

На **рис. 4** приведен пример анализа реальной сейсмограммы, зарегистрированной на поверхности (4A). Результаты анализа представлены суммой всех регулярных шумов (4B) и разницы между исходной сейсмограммой и совокупностью шумов (4C). Помеченные там же результаты перебора скоростей (слева) показывают, что в поле помех отсутствуют разрастания, связанные с полезными волнами; эти разрастания начинают доминировать после вычитания шумов.

Оценка статических поправок по методу «Поликор» и результаты применения технологии в условиях ММП

Система «Поликор», предложенная одним из авторов более 30 лет назад, основана на корреляции трасс равных удалений и корреляции и накапливании рядов корреляционных функций. Особенностью этой системы является независимость статпправок за ПВ (пункт взрыва) и ПП (пункт приема) и неиспользование информации о скоростях.

На **рис. 5** приведены статические поправки, определенные в условиях Восточной и Западной Сибири. На левом рисунке видно, что поправки за ПВ и ПП с особенностями длиной 20 км хорошо совпадают друг с другом и с рельефом.

На **рис. 6** приведены временные разрезы ОГТ, полученные по технологии СВЧ (слева) и по стандартной технологии с использованием наиболее известных мировых систем обработки (справа).

По оценке авторов, относительная гладкость отражающих горизонтов более свойственна морским условиям осадконакопления в условиях Западной

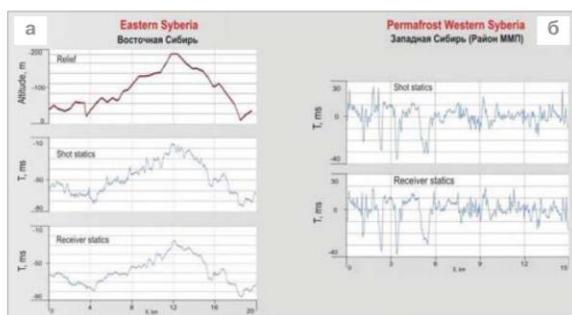


Рис. 5. Оценка статических поправок по методу «Поликор» в условиях Восточной Сибири (а) и Западной Сибири (б)

передовые технологии сбора и интерпретации геологической информации

Сибири. На разрезе, полученном по стандартной технологии, отсутствует антиклинальный перегиб из-за недостоверных статических поправок и известный по геологическим данным косослоистый горизонт на временах 2400-2450 мс.

Заключение

Предложенные концепции сейсморазведки высокой четкости реализованы на нескольких примерах в сложных условиях ММП в Западной и Восточной Сибири с положительными результатами.

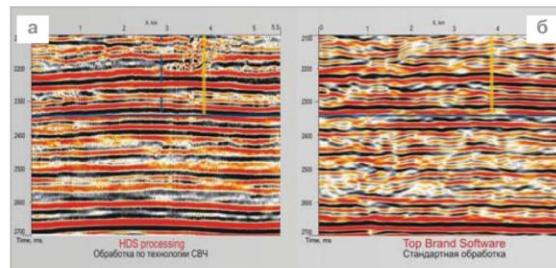


Рис. 6. Фрагмент временного разреза ОГТ в условиях севера Западной Сибири (ММП) по технологии СВЧ (а) и по стандартной технологии (б)

Литература

1. Результаты применения методик «3D+ВСП локальный проект» и «2D+ВСП локальный проект» в условиях Западной Сибири / К.В. Баранов, В.С. Бикеев, Н.В. Стариakov, А.А. Табаков // Технологии сейсморазведки. – 2014. – №1. – С. 19-22.
2. Нахамкин С.А. Оптимальный алгоритм выделения сейсмических волн на фоне регулярных волн-помех // Изв. АН ССР. Сер. Физика Земли. – 1966. – № 5. – С. 52-60.
3. Нахамкин С.А. Математические алгоритмы вычитания регулярных помех при разделении сейсмических волн // Изв. АН ССР. Сер. Физика Земли. – 1966. – № 5. – С. 23-31.
4. Методики совмещенных наземно-скважинных наблюдений «Локальный проект 3D+ВСП» для детального изучения околоскважинного пространства / А.А. Табаков, В.С. Бикеев, К.В. Баранов, И.В. Яковлев, А.Ю. Барков // Состояние и перспективы развития методики ВСП: сб. тезисов докладов науч.-практ. конференции, г. Москва, 2001. – М., 2001. – С. 32-34.
5. Табаков А.А. 3D Acquisition Geometries as the Way to Overcome Drawback of Conventional Seismic Technologies. Transactions of International Borehole Geophysical Symposium, Kunming, China, 2006. – Р. 1-4.
6. Табаков А.А., Баранов К.В. Integrated land seismic and VSP survey geometries offer improved imaging solution // First Break Journal. Vol. 25. – 2007. – Р. 97-101.
7. Табаков А.А. Трехмерные системы наблюдений – новый этап в развитии нефтегазовой геофизики // Геофизика. – 2007. – № 4. – С. 153-156.
8. Сейсморазведка высокой четкости (СВЧ) – бескомпромиссный подход к регистрации и обработке сейсмических данных / А.А. Табаков, В.Л. Елисеев, А.А. Мухин, Ю.А. Степченков, Д.В. Огуренко // Гальперинские чтения – 2009: тез. докладов конференции, 2009. – С. 5-7.
9. Автоматическая селекция волн при модельбазированной обработке данных ВСП / В.Н. Ференци, А.А. Табаков, Л.В. Севастьянов, Е.А. Фурсова, В.Л. Елисеев // Технологии сейсморазведки. – 2008. – С. 35-39.

XXXVIII конференция Ассоциации буровых подрядчиков

Инновационные технико-технологические решения в строительстве и капитальном ремонте скважин на суше и море

20-23 мая 2014 года
Москва

Инновационные технологии и оборудование для шельфовых нефтегазовых проектов.
Современные подходы в создании и модернизации бурового оборудования.
Повышение технико-экономических и качественных показателей строительства скважин с большими отходами, многозабойных и боковых стволов.
Геолого-технологическое и геофизическое сопровождение процесса бурения.
Геонавигация и управляемые системы в бурении.
Информационные технологии для эффективного ведения буровых работ.
Ремонт скважин и интенсификация притока.
Оптимизация затрат в промысловом сервисе.
Обеспечение технологической и экологической безопасности строительства скважин.

тел: 8 (495) 380 72 30
e-mail: adcr@adcr.ru; abprus@mail.ru

Экспо-форум НЕФТЬ ГАЗ SPE Нефть-Газ. Новации ROGTEC
www.rogtec.com/ru/en