

## Возможности использования различного типа оборудования для возбуждения и регистрации сейсмических данных в условиях Восточной Сибири

- Твердохлебов Д.Н., к.т.н., Гайдук А.В., ООО «РН-Эксплорейшн»,
- Иванов Г.В., ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть», Филичев А.В., ПАО «ВЧНГ»

### Аннотация

*При проведении сейсморазведочных работ часто стоит вопрос выбора оптимальных источников и приемников сейсмических колебаний с учетом поставленных задач и условий производства полевых работ. Традиционно большая часть сейсморазведочных работ 3D выполняется с использованием группы геофонов, а результаты анализа АЧХ данных показывают связь с поверхностными условиями в точках возбуждения/регистрации. В статье демонстрируется сравнительный анализ данных при использовании взрывного и виброисточника с регистрацией геофонами, геоакселерометрами и акселерометрами.*

На территории лицензионных участков в Восточной Сибири выполняются масштабные широкоазимутальные сейсморазведочные работы МОГТ-3D. Получаемые сейсмические данные должны обеспечивать выделение поисковых объектов для обоснования дальнейшего бурения на основе прогноза свойств.

При этом, уже на этапе полевого сбора сейсмической информации необходимо регистрировать высокоразрешенные данные с минимальным влиянием помех и микросейсм.

С целью опробования возможностей повышения детальности сейсморазведки 3D и сравнения качества сейсмических данных, полученных с использованием различных сейсмических датчиков, на одном из лицензионных участков Иркутской области были выполнены специальные опытно-производственные работы (ОПР) по уплотненной системе наблюдения в модификации МОГТ-2D. Опытный профиль длиной 10 км располагался в относительно благоприятных сейсмогеологических условиях вдоль одной из ЛПВ широкоазимутальных работ МОГТ-3D, выполненных ранее. Данный участок был выбран вследствие того, что условия

на нем наиболее характерны для территории, на которой производились сейсморазведочные работы МОГТ-3D и при небольших изменениях рельефа включают в себя возвышенность, заболоченную местность-низину, пойму ручья.

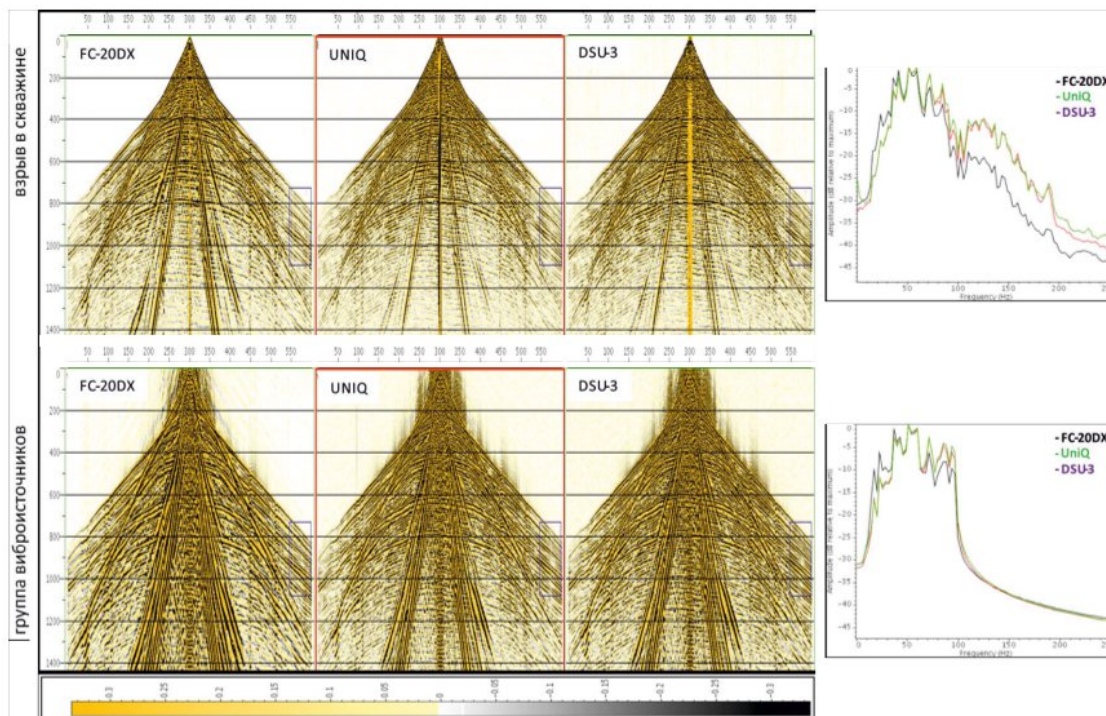
Уникальность ОПР заключается в одновременной регистрации сейсмического сигнала тремя разными типами приемников: группой из 6 геофонов FC-20DX в точке (по аналогии с работами МОГТ-3D), акселерометрами DSU-3 и геоакселерометрами UniQ. Возбуждение производилось двумя типами источников: 1) взрыв заряда массой 3кг в одиночных скважинах на глубине 15 м; 2) регистрировались 4 накопления с записью суммарной коррелограммы после корреляции - группа из 3-х вибристочников Sercel «Nomad-65» (линейный СВИП длительностью 12 секунд с конусом 500/500мс и диапазоном частот 6-100 Гц) на минимальной пространственной базе.

Для анализа АЧХ было сформировано 6 наборов по 401 сейсмограмме ОПВ в каждом (рис.1). Для каждого набора выполнялся потрассный расчет значений RMS амплитуд и доминирующей частоты

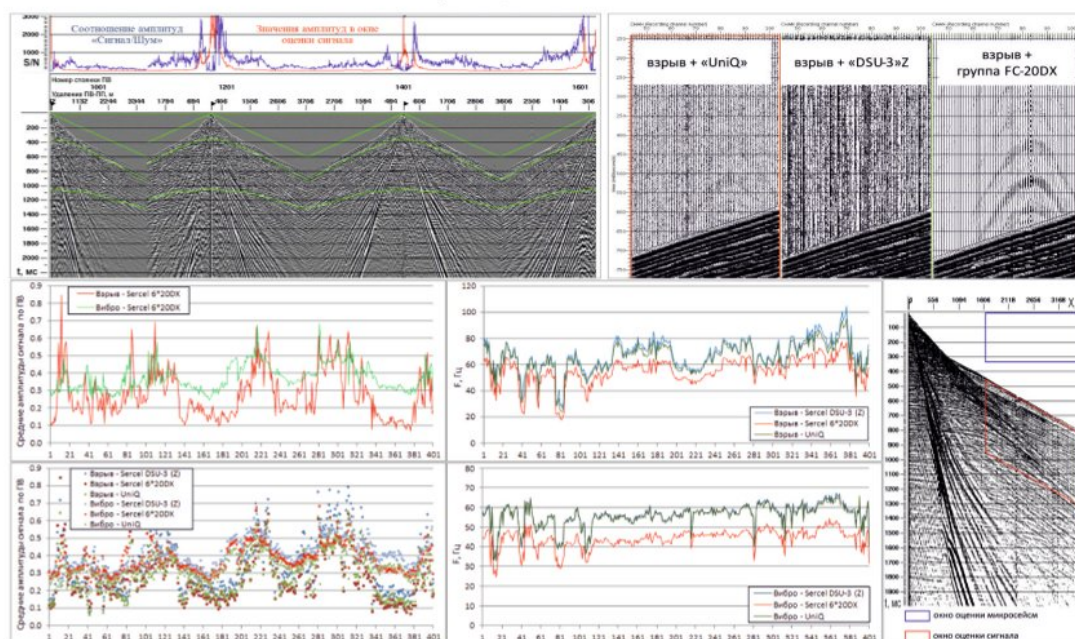
сигнала, с последующим осреднением значений по ансамблю ОПВ. При расчете среднего производилось исключение экстремальных значений в распределе-

нии по ансамблю (25% alpha-trim mean) (рис.2). В целом, при достаточной энергии возбуждения и минимальных ветровых помехах записываются сейсмограм-

▼ Рис. 1. Сопоставление сейсмограмм и АЧХ в окне отраженных волн при возбуждении сигнала взрывом в скважине и группой виброисточников, зарегистрированных различными комплексами.



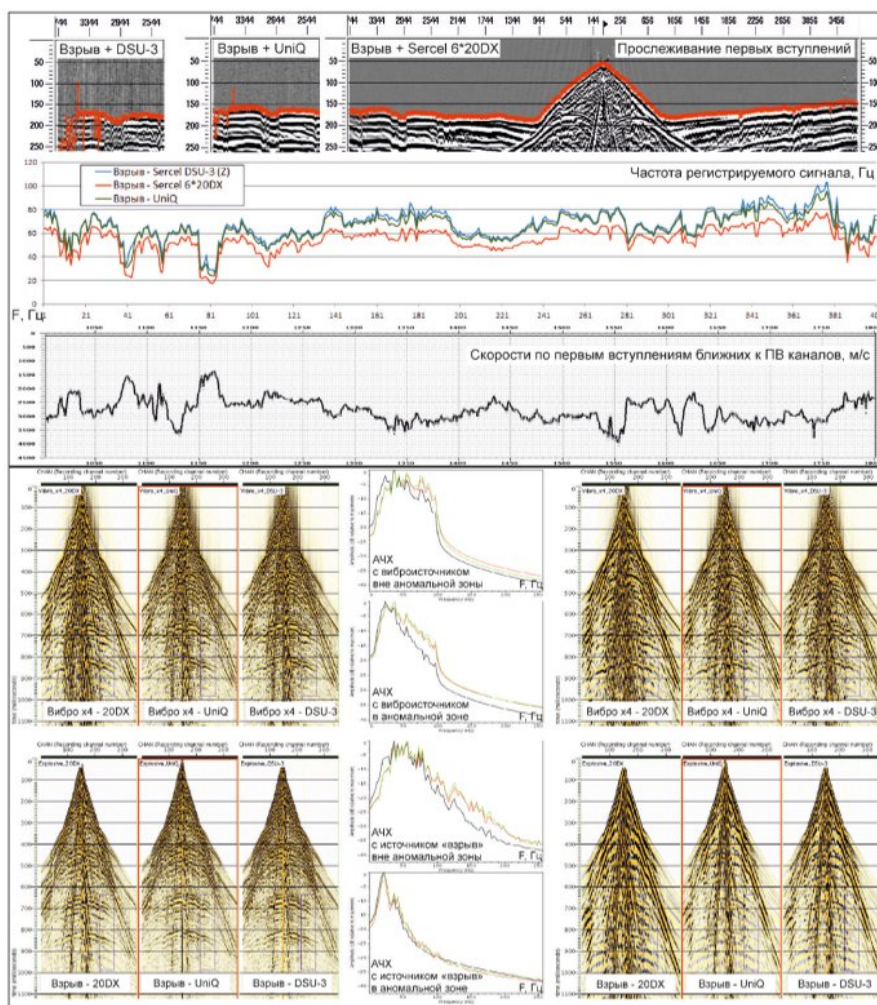
▼ Рис. 2. Оценка качества сейсмических данных в окнах сигнала и до первых вступлений. Влияние поверхностных условий в пункте возбуждения на регистрируемые амплитуды и частоты сигнала для всех типов оборудования. Средняя амплитуда сигнала для взрывного источника меняется в 3 раза, даже на соседних ПВ.



мы хорошего качества. Группирование сейсмоприемников, даже на небольшой площадке, позволяет повысить соотношение «сигнал/микросейсм» при регистрации в сравнении с одиночными датчиками, количество которых должно быть большим для аналогичного статистического подавления шумов при обработке. Традиционно для этого региона характеристики волнового поля исходных сейсмограмм и итоговое качество сейсмического материала определяется поверхностными условиями. Невзрывные источники обладают более однородным амплитудным спектром на участках с резкоизменчивой поверхностной геологией, тогда как погруженный заряд ВВ дает большой разброс значений даже на соседних ПВ.

Использование взрывного источника дает возможность оценки скоростей ЗМС двумя способами: по регистрируемым вертикальным временам и по ближним к ПВ каналам, и подтверждает наличие латеральной неоднородности ВЧР (рис.3). Наиболее качественное прослеживание первых вступлений в автоматическом режиме выполняется при группировании приемников. Вибросейсмическая технология не оптимальна для этих оценок.

На большей части профиля ОПР сейсмогеологические условия благоприятны, хотя встречаются участки, осложненные неоднородностями ВЧР. Наиболее контрастная по характеристикам ВЧР зона выделяется на стоянках 1151-1167 (ПВ № 76-84). Регистрируемые на этом



◀ Рис. 3. Строение ВЧР по первым вступлениям и влияние поверхностных условий на характеристики регистрируемых сейсмограмм взрывного источника.

участке сейсмограммы взрывного источника имеют небольшую задержку по первым вступлениям (+10 мс), но огромную по временам регистрации отраженных волн (до +50 мс) и крайне низкочастотный состав волнового поля (рис.3). Это говорит о наличии низкоскоростного «кармана» с рыхлыми породами и о неблагоприятном расположении заряда в приповерхностной толще. Сейсмограммы всех регистрирующих комплексов, полученные на этих ПВ с взрывным источником, имеют общие тенденции изменения волнового поля, однако выигрыш одиночных приёмников очевиден.

Сопоставление с материалами вибро-технологии подтверждает суждение о большей стабильности волнового поля поверхностных источников. АЧХ сейсмограмм виброисточника менее подвержены влиянию поверхностной аномалии такого типа, возможно, из-за пространственной базы группы трех источников «NOMAD-65». При прохождении этой зоны сохраняются спектральные характеристики, а динамические искажения сигнала менее контрастны. Не столь критично, как для взрывных материалов меняются времена регистрируемых отраженных волн, но также увеличивается вклад поверхностных волн-помех.

Интегральная оценка АЧХ в рамках этих работ показывает преимущество одиночных сейсмоприемников как в благоприятных сейсмогеологических условиях, так и при работах в сложных зонах ВЧР. При этом необходимо выдерживать заданные соотношения «сигнал/микросейсм», а в случае повышения фона микросейсм обеспечивать избыточную кратность (плотность наблюдений). Одиночные приборы способны регистрировать широкий спектр частот при взрывном источнике возбуждения.

Для более полного раскрытия потенциала одиночных приборов при вибросейсмической технологии необходим более широкий диапазон частот свипа и отсутствие фильтрации ВЧ в среде, иначе преимущество имеет группа геофонов. Группирование приборов, даже на малой пространственной базе, может оказаться существенным для сокращения ширины спектра, что особо заметно для материалов взрывного источника на участках, где по анализу записи одиночных приборов можно судить об умеренных фильтрующих свойствах ВЧР.

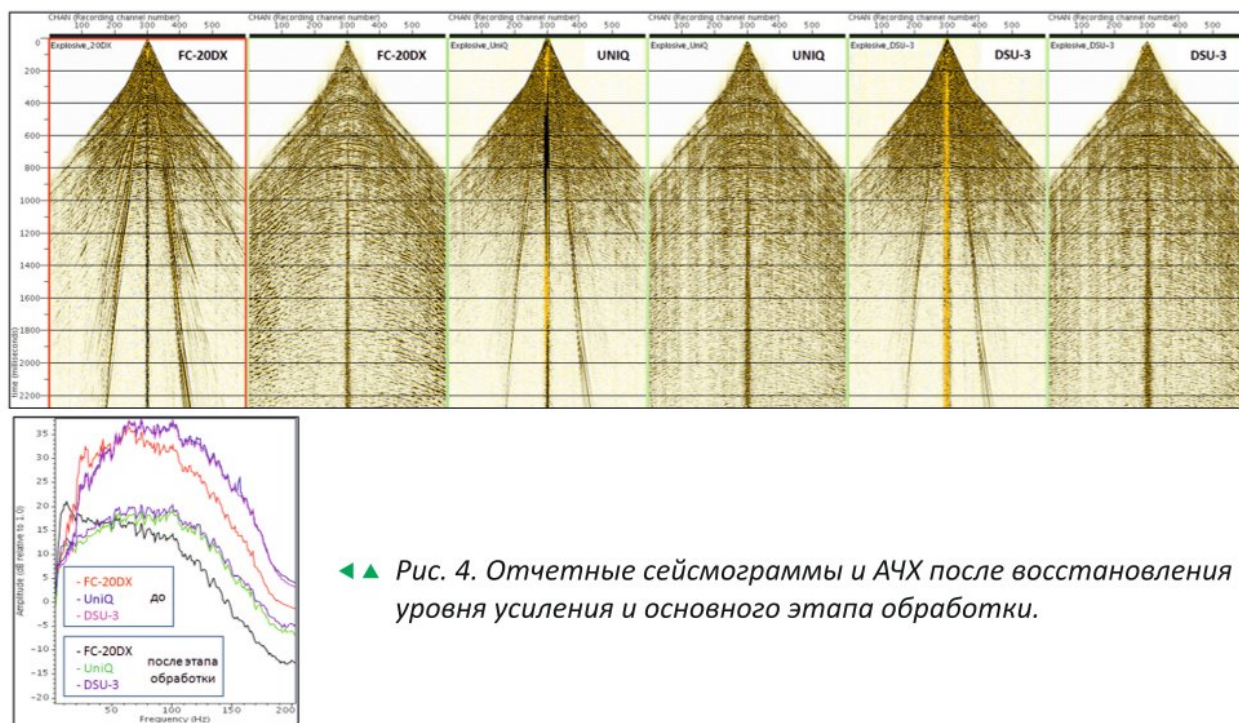
Сопоставление качества сейсморазведочных материалов является комплексной задачей и включает в себя и перспективы его улучшения в ходе обработки. При этом во внимание принимается оценка реальной кратности суммирования на уровне целевых горизонтов, а также эффективность работы процедур и алгоритмов в ходе цифровой обработки. Второй этап сравнительной оценки шести наборов сейсмических данных выполнялся на этапе обработки. Использован стандартный граф обработки с сохранением амплитуд и выполнением временной миграции сейсмограмм. Построение модели ВЧР и расчет статических поправок выполнены по преломленным волнам, остаточная статическая поправка корректировалась при помощи поверхностно-согласованных алгоритмов, процедуры повышения отношения сигнал/шум применялись в мягком режиме для сохранения АЧХ полезного сигнала. Были применены идентичные процедуры для повышения разрешенности и динамической выразительности записи всех наборов данных.

Все наборы сейсмограмм были оценены с точки зрения перспектив дальнейшего формирования модели ВЧР и расчета статических поправок по методу преломленных волн. Для сопоставления

были прослежены времена первых вступлений в автоматическом режиме модулем с идентичными параметрами. Наиболее применимой для автоматического прослеживания годографов преломленных волн в первых вступлениях является набор данных с взрывным источником и группированием геофонов. В интерактивном режиме можно добиться схожих результатов формирования модели ВЧР для всех наборов сейсмограмм. Однако при обработке площадных работ с большим объемом сейсмических данных интерактивный режим сложно реализуем из-за высоких трудозатрат. Это необходимо учитывать при расчетах параметров методики сейсморазведочных работ в условиях сложного сейсмогеологического разреза с целью повышения качества решения статических поправок. Вибросейсмическая технология существенно ограничивает точность выделения годографов преломленных волн в первых вступлениях из-за наличия корреляционных шумов.

Район работ на территории ЛУ является благоприятным для получения информации о скоростном строении ВЧР по преломленным волнам. Здесь не наблюдается затухание энергии первых вступлений и экранирование преломленных волн при инверсии скоростей в преломляющих горизонтах. В ходе проведенной работы для дальнейшего использования была выбрана модель ВЧР с двумя преломляющими границами и скоростью замещения 5500м/с до финальной линии приведения +350м.

В процессе обработки использовались процедуры, направленные на повышение соотношения «сигнал/помеха», такие как: обнуление неработающих и сильно шумящих трасс, мьютинг, а также ослабление различного рода нерегулярных и регулярных помех (отскоков, просечек, звуковых волн, поверхностных волн и т.д.). На исходных сейсмограммах хорошо видны низкоскоростные низкочастотные волны, распространяющиеся в ВЧР. Их амплитуда превосходит другие регистрируемые волны, а скорости



▲▲ Рис. 4. Отчетные сейсмограммы и АЧХ после восстановления уровня усиления и основного этапа обработки.

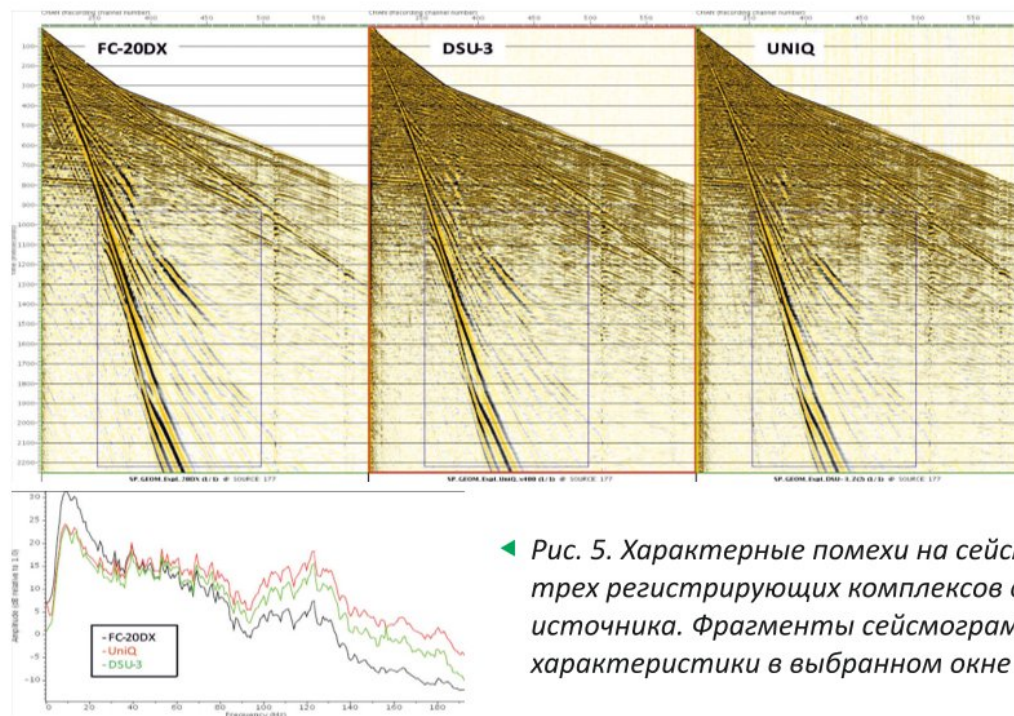


Рис. 5. Характерные помехи на сейсмограммах трех регистрирующих комплексов от взрывного источника. Фрагменты сейсмограмм и частотные характеристики в выбранном окне анализа.

составляют от 350 м/с до 3000 м/с. Основная энергия низкоскоростных волн-помех переносится в диапазоне частот (4-30 Гц). Существенно больше сложностей при обработке доставляют высокоскоростные линейные помехи с частотами соответствующими отраженным волнам. Однако благодаря высокой плотности наблюдений и хорошей пространственной дискретизации как в области ОПВ, так и ОПП качественно ослабить волны помехи удалось стандартными способами (рис. 4). То же касается и расчета остаточной статики. Временные разрезы, полученные в ходе обработки, приведены в последнем разделе статьи (рис. 8).

На эффективность обработки сейсмических материалов и качество регистрирующих суммарных разрезов оказывает влияние совокупность факторов: поверхностных сейсмогеологических условий, методики полевых работ и характеристик системы наблюдения. На третьем этапе контроля качества сейсмических данных выполнен анализ влияния системы наблюдения путем сопоставления возможностей и результатов используемых

алгоритмов коррекции статических поправок и подавления помех при стандартной и «высокоразрешенной» системах наблюдений. Для этого были сформированы дополнительные наборы сейсмограмм путем прореживания исходных сейсмограмм по ПВ и ПП. Необходимо отметить, что для оценки ВЧР, статики, шумоподавления и динамики набор данных для анализа может быть бесконечным с учетом возможной комбинации прореживания исходных данных по ПВ и ПП и их последующей независимой обработки. В рамках этой работы ограничимся несколькими наиболее реальными вариантами, сопоставимыми с традиционной методикой работ.

При сравнении волнового поля регистрируемых сейсмограмм и их амплитудно-частотных характеристик предпочтение отдается взрывным сейсмическим данным. Для иллюстраций основных тенденций будет использован массив сейсмограмм, полученный с применением группы геофонов FC-20DX, традиционных для работ в изучаемой местности.

Среди вариантов двукратного прореживания данных: а) отбор сейсмограмм до шага ПВ - 50 м, при 12,5-метровых интервалах между ПП; б) отбор регистрирующих каналов с шагом ПП 25 м, при интервалах ПВ - 25 м; в) прореживание ПВ с шагом 50 м и ПП с шагом 25 м. На этапе обработки были выполнены оценки: эффективности построения модели ВЧР, алгоритмов подавления помех и коррекции кинематических и статических поправок, динамических характеристик разрезов.

Значительную роль, определяющую качество финальных временных разрезов, для изучаемой территории имеет этап расчета и уточнения статических поправок компенсирующих значительные скоростные аномалии ВЧР. Помимо временных аномалий, скоростные неоднородности оказывают искажающее влияние на динамические характеристики записи, что осложняет последующие коррекции статических поправок по отраженным волнам. В случае использования более плотных систем наблюдения увеличивается точность расчета всех компонент формируемой модели ВЧР и определения статических поправок.

#### **Оценка эффективности работы алгоритмов подавления помех.**

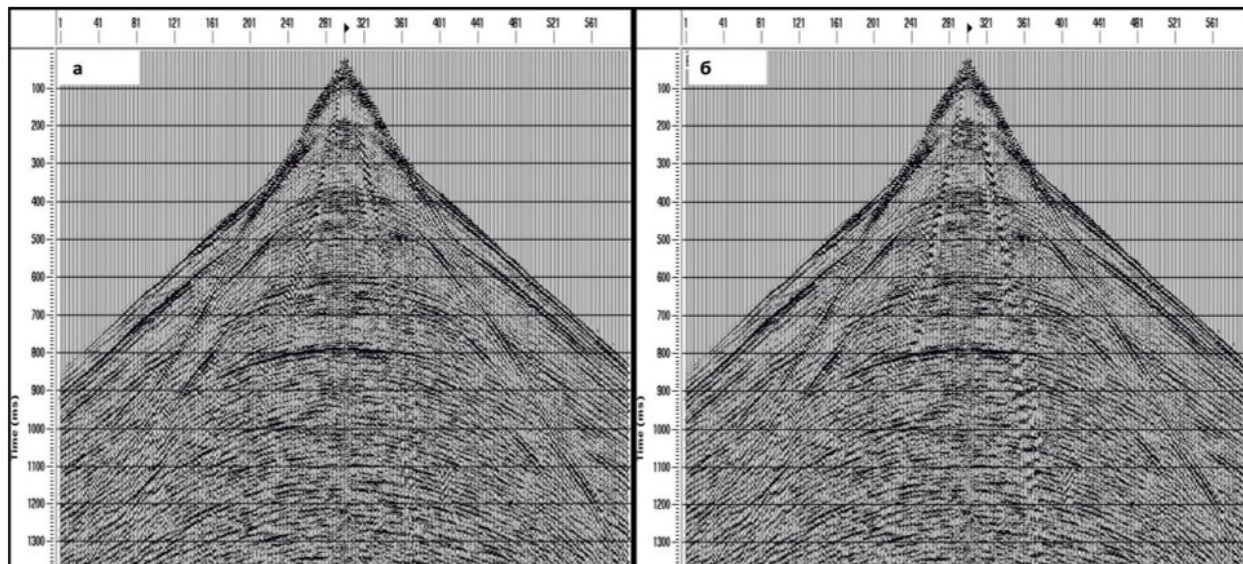
Отчетный сейсмический материал имеет сопоставимые характеристики волн-помех как при работе с группой геофонов FC-20DX, так и при регистрации одиночными сейсмоприемниками DSU-3 и «UniQ». Немного более интенсивными в низкочастотной области регистрируются поверхностные волны-помехи на сейсмограммах с группированием сейсмоприемников FC-20DX в точке (Рис. 5). Именно для этого набора сейсмических данных можно подобрать примеры сопоставления эффективности работы

процедур подавления помех при различной плотности ПП.

Эффективность борьбы со сложными помехами зависит от применяемых алгоритмов многоканальных пространственных фильтров, а результаты их применения для МОГТ-2D определяются плотностью стоянок приема. Ввиду высокой кратности при суммировании ОСТ на временных разрезах разница слабо различима. Качество подавления помех на сейсмограммах, полученных в сложных сейсмогеологических условиях, определяет эффективность процедур коррекции остаточных статических поправок и скоростного анализа. Основным типом волн-помех, составляющими до 80% сейсмической записи в сложных сейсмогеологических условиях, являются интенсивные поверхностные волны. Даже в неблагоприятных условиях для формирования и распространения поверхностных волн очевидно их лучшее ослабление на сейсмограммах ОПВ при меньшем шаге ПП (рис. 6). Аналогичный эффект стоит ожидать при выполнении шумоподаления по ОПП при наиболее плотной расстановке ПВ.

#### **Оценка эффективности работы алгоритмов коррекции статических поправок.**

Плотность системы наблюдения, определяющая кратность ОСТ, влияет на эффективность расчета остаточных статических поправок, так как алгоритмы основаны на поиске оптимального временного сдвига между анализируемой трассой и пилотной трассой, полученной в заданном диапазоне окружающих данных. Учитывая, что оценка эффективности работы алгоритмов коррекции статических поправок проходила на завершающем этапе работы с использованием финальных статических



▲ Рис. 6. Сопоставление эффективности работы процедур подавления помех для систем наблюдения с группой геофонов при различной плотности ПП на примере сейсмограммы ОПВ, а) после применения процедур подавления помех при интервале ПП=12.5 м, прореженная до ПП=25м, б) после применения процедур подавления помех при интервале ПП=25 м.

и кинематических поправок, а также не самые сложные сейсмогеологические условия участка расположения профиля, можно отметить лишь незначительные различия в оценках, полученных в ходе последовательного выполнения 15 итераций расчета.

#### Оценка динамических характеристик временных разрезов полученных с различными системами наблюдения.

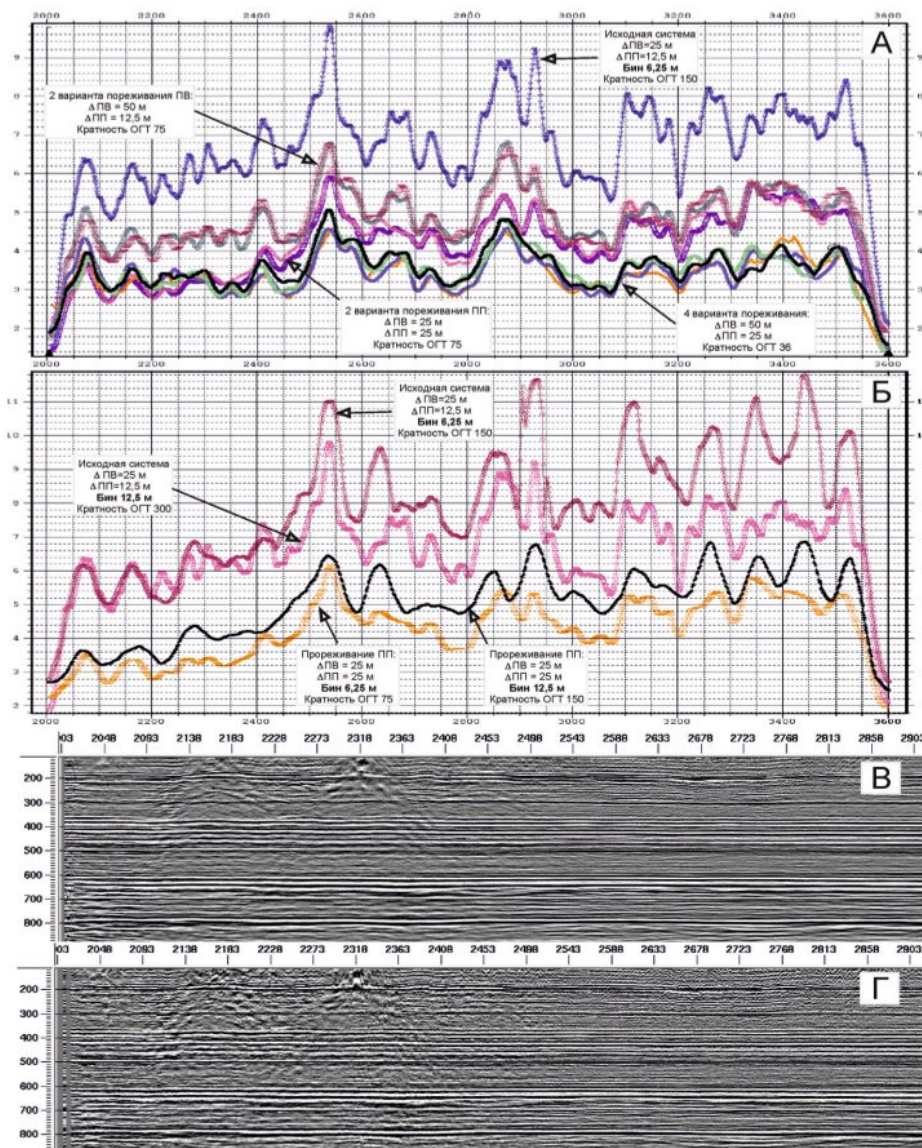
Для того, чтобы не внести искажений в сопоставление, все разрезы были получены с процедурами шумоподавления, одинаковыми статическими и кинематическими поправками, рассчитанными по наиболее представительному набору данных. Таким образом, на данном этапе не учитывается эффективность работы алгоритмов определения поправок и подавления помех. Суммирование выполнялось без применения регулировки усиления. Чтобы избежать нормировки амплитуд просуммированных отсчетов на кратность, применялся алгоритм медианного суммирования. По полученным временным разрезам оценивались динамические характе-

ристики. Наиболее адекватное представление о влиянии системы наблюдения дает анализ атрибута «среднего значения отношения сигнал/шум». Его уменьшение характеризует большую энергию некогерентной составляющей и ухудшение видимой прослеживаемости отражающих горизонтов (синфазность суммирования). Тенденции этих изменений четко соответствуют теории: сокращение кратности суммирования ОСТ ведет к уменьшению соотношения «сигнал/шум» в корень ( $N$ ) раз, где  $N$  – отношение кратности МОГТ сравниваемых временных разрезов. При этом, определяющими могут стать параметры бинирования. Поэтому список моделируемых систем наблюдения был представлен комбинациями прореживания ПВ до 50м и ПП до 25м с размерами бина равными половине и шагу ПП.

Сейсмические изображения различных систем показывают ожидаемое ухудшение прослеживаемости, особенно для высоко расположенных ОГ, при системах наблюдения приближенных к стандартным параметрам (шаг ПВ=50 м, шаг ПП=25 м). Понижение эффективной

кратности суммирования на малых временах обусловлено вводом кинематической поправки с применением автомьютинга, с пороговым значением растяжения в 30%. Кратность ОГ на временах 500 мс составляет 50 % от проектной и кратное снижение, при использовании стандартной системы наблюдения, приводит к ухудшению качества сейсмического изображения.

Уменьшение допустимого порога растяжения приводит к дальнейшему снижению кратности и, как следствие, ухудшение качества прослеживаемости отражающих горизонтов в верхней и средней частях разреза при прореживании системы наблюдения приводит к дальнейшему снижению надежности определения сейсмических скоростей и статических поправок.



▲ Рис. 7. Оценка соотношения «Сигнал/Шум» временных разрезов с различными системами наблюдения для сейсмических материалов взрывного источника с регистрацией группой геофонов. а) исходная и прореженные по ПВ и ПП системы с бином 6.25м, б) исходная и прореженные по ПВ и ПП системы с бином 6.25м и 12.5м. Фрагмент временного разреза на уровне целевых ОГ полученный в) при шаге ПВ=25м, ПП=12.5м, ОСТ=6.25м, г) при шаге ПВ=50м, ПП=25м, ОСТ=6.25м

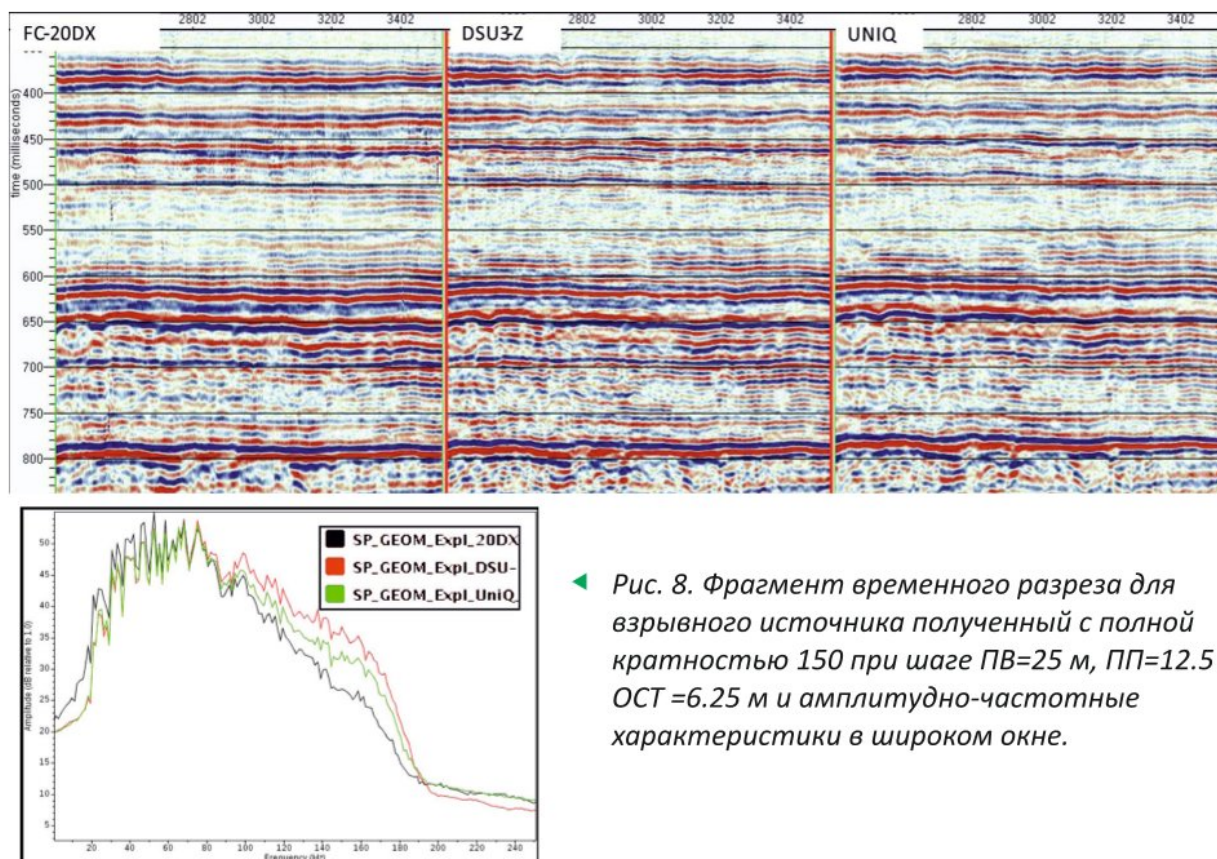


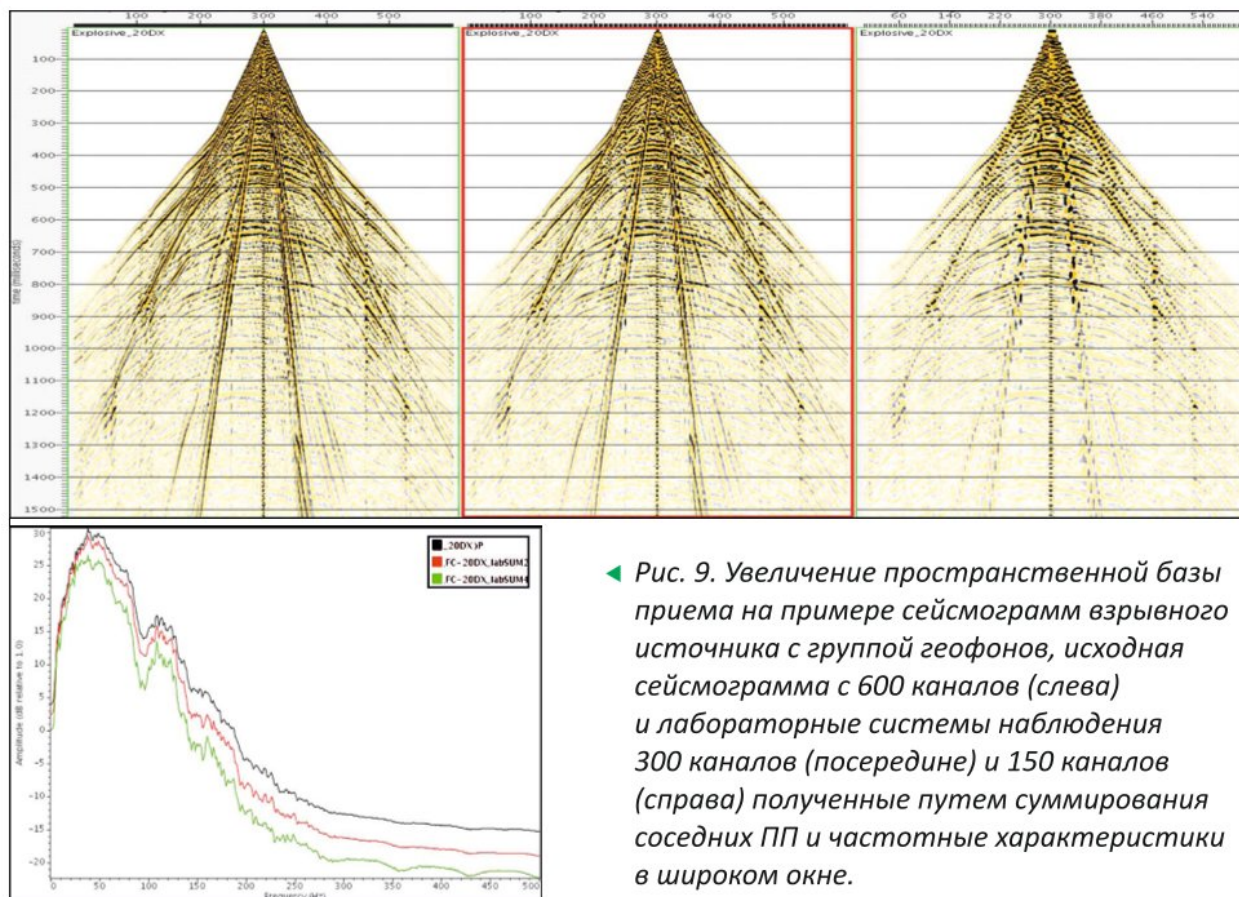
Рис. 8. Фрагмент временного разреза для взрывного источника полученный с полной кратностью 150 при шаге ПВ=25 м, ПП=12.5 м, ОСТ=6.25 м и амплитудно-частотные характеристики в широком окне.

Численно оценить динамические параметры можно по сопоставлению графиков соотношения «сигнал/шум» временных разрезов. Наиболее высокие значения оценок соответствуют исходному разрезу с полной кратностью (рис. 7). Все остальные графики показывают ухудшение прослеживаемости ОГ временных разрезов при любом прореживании системы наблюдения, даже с восстановлением кратности ОГТ путем увеличения пространственного размера бина. Как видно на графиках, левая часть профиля имеет более низкое качество суммирования, что обусловлено наличием аномалии ВЧР на стоянках ПВ 1151-1167. Визуальное сопоставление суммарных разрезов с различными по кратности системами наблюдения полностью согласуется с численными оценками (рис. 7). Все представленные разрезы получены без использования

«жестких» процедур подавления помех. Если совокупно учитывать преобладающую эффективность работы процедур расчета и коррекции статики, шумоподавления, то следует ожидать еще меньшую информативность данных, полученных с разряженными системами наблюдения. Детальные различия можно оценить по фрагментам временных разрезов различных регистрирующих комплексов (рис. 8).

#### Анализ увеличения пространственной базы приема лабораторным суммированием.

Одним из путей создания и анализа лабораторных систем наблюдения является попарное суммирование соседних каналов сейсмограммы ОПВ. Таким образом, двукратно увеличивается пространственная база приема, аналогично линейному группированию сей-



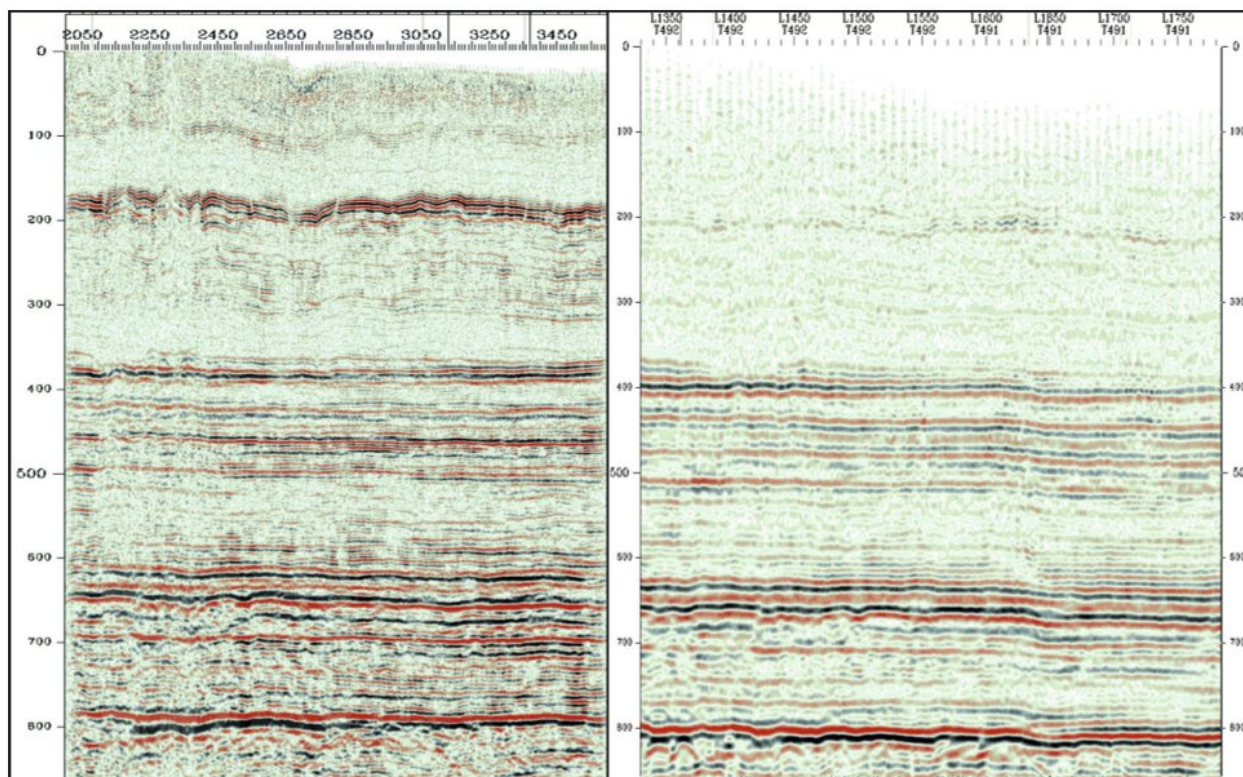
◀ Рис. 9. Увеличение пространственной базы приема на примере сейсмограмм взрывного источника с группой геофонов, исходная сейсмограмма с 600 каналов (слева) и лабораторные системы наблюдения 300 каналов (посередине) и 150 каналов (справа) полученные путем суммирования соседних ПП и частотные характеристики в широком окне.

смприемников. При лабораторном суммировании все зарегистрированные каналы вносят свой вклад в визуальную оценку сейсмограммы. Наиболее значимый эффект при увеличении пространственной базы приема должен выражаться в ослаблении высоких частот в спектре, особенно для сейсмограмм, полученных с одиночным сейсμοприемником. Однако при подсуммировании двух соседних ПП частотный спектр сравниваемых сейсмограмм не имеет существенных отличий для каждого регистрирующего комплекса. Сопоставление сейсмических материалов других регистрирующих комплексов позволяет выявить незначительные различия в частотном составе исходных сейсмограмм и с подсуммированием соседних ПП (увеличение базы приема до 12,5м). Дальнейшее увеличение простран-

ной базы приема до 38 м приводит к заметным изменениям частотного состава спектра и не желательно (рис. 9).

#### Сопоставление данных ОНР 2D и МОГТ-3D.

Возможность сопоставления динамических характеристик временных разрезов данных ОНР МОГТ-2D с кросслайном съемки МОГТ-3D существенно ограничена. Помимо изменения системы наблюдения, с переходом к более густому шагу ПВ/ПП наблюдаются и другие факторы, влияющие на оцениваемые атрибуты. Так, например, кратность суммирования МОГТ имеет большую значимость при оценке соотношения «сигнал/шум» по временным разрезам и, в свою очередь, она определяется пространственными размерами бина ОСТ. Для данных 3D шаг ПП и ПВ составлял 50м, а кратность 169. Сопоставление результативных сейсмог-



▲ Рис. 10. Сопоставление временных разрезов 2Д и 3Д по линии опытно-производственных работ. Результаты 3Д получены на этапе кинематической обработки.

рамм 2D с вибрационными и взрывным источниками показывают достаточную мощность вибрационных источников для полноценной регистрации сигнала на удалении до 3 км. Все результаты 2D ожидаемо демонстрируют лучшую детальность верхних горизонтов и более широкий спектр частот благодаря большей плотности наблюдения. Благодаря пространственным наблюдениям результаты МОГТ-3D показывают лучшее соотношение «сигнал/шум» и прослеживаемость отражений в целевой части разреза (рис. 10). Разрешенность данных 3D может достигнуть и даже превзойти ОПР 2D при сопоставимой пространственной дискретизации.

В результате анализа данных ОПР 2D можно сделать выводы, применимые для изучаемых сейсмогеологических условий:

- После совокупного анализа данных можно расположить эффективность

методик в порядке убывания: взрывная технология с трехкомпонентным одиночным приемником DSU-3/«UniQ»; вибрационная технология с высокочастотным свипом и одиночным приемником; взрывная технология с группированием геофонов;

- Одиночные приемники более чувствительны к фону микросейсм и имеют немного меньшее соотношение «сигнал/шум» по сравнению с группой геофонов.

Для достижения приемлемого уровня соотношения «сигнал/шум» возможно использование различных приемов: увеличение энергии возбуждения (масса заряда по результатам опытных работ, количества источников, количества накоплений), использование специальных методических приемов по оптимальному суммированию одиночных воздействий, увеличению кратности ОСТ за счет уплотнения шага ПВ/ПП;

- Увеличение энергии сигнала позволяет повысить точность прослеживания преломленных волн в первых вступлениях, необходимых для построения модели ВЧР на территории Восточной Сибири. К сожалению, корреляционные шумы виброграмм не способствуют повышению точности прослеживания первых вступлений. Взрывной источник имеет все преимущества перед вибротехнологией;

- В благоприятных сейсмогеологических условиях с плотными системами наблюдения не рекомендуется чрезмерно ограничивать нижнюю и верхнюю частоту свип-сигнала. Точечные датчики обеспечивают регистрацию широкого спектра частот;

- Волновое поле сейсмограмм, полученных с поверхностными невзрывными источниками, менее подвержено динамическим искажениям в зонах неоднородного строения ВЧР (ЗМС). Оно более стабильно по всем оцениваемым характеристикам;

- При проведении сейсморазведочных работ МОГТ 3D рекомендуется переход на более плотные системы наблюдения, в первую очередь за счет уменьшения шага ПП.

### Литература

Руководство - Методические рекомендации к технической инструкции по наземной сейсморазведке при проведении работ на нефть и газ, Министерство природных ресурсов России, Москва – 2002, 338

Плешкевич А.Л. Актуальные вопросы группирования источников и приемников при наземных 3D-сейсмических наблюдениях. Геофизика №4 2007 стр.93-102

Притчетт У. Получение надежных данных сейсморазведки М.: Мир, 1999. 448 с.

Череповский А. В. Наземная сейсморазведка нового технологического уровня, ООО «ЕАГЕ Геомодель», Москва 2016

Шнеерсон М.Б., Потапов О.А., В.А. Гродзенский и др, Вибрационная сейсморазведка, Недра, М. 1990

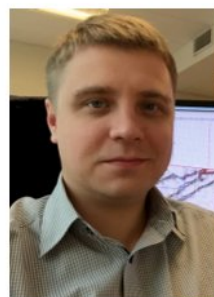
Уайт Дж.Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн, М: Недра, 1986 г. 261 с.

### Подробнее об авторах



Твердохлебов  
Данила Николаевич

к.т.н., Руководитель группы  
геофизических работ  
ООО «РН-Эксплорейшн»



Гайдук  
Андрей Викторович

Главный геолог  
проекта  
ООО «РН-Эксплорейшн»



Иванов  
Григорий Валерьевич

Заместитель директора  
департамента геофизики  
ООО «РН-Красноярск-  
НИПИнефть»



Филичев  
Александр Викторович

Начальник отдела  
сейсмических  
исследований ПАО  
«Верхнеконскнефтегаз»