

ПАК «Геотом» меняет подход к QC: контроль источников возбуждения по данным ОПП

- Тиссен А.А., Нефедов Н.Е., ООО «Фирма «Геосейс», г. Москва.
- Анкушев В.В., ООО «Сейстех», г. Москва.

Введение

Современная 3D-сейсморазведка предъявляет высокие требования к оперативному контролю качества полевых наблюдений. Одним из наиболее чувствительных факторов, влияющих на достоверность получаемых данных, остаётся стабильность источников возбуждения. Колебания энергии, неравномерность контакта вибратора с поверхностью или неполное срабатывание зарядов приводят к заметным отклонениям амплитуд и формы сигнала, что отражается на результирующих сейсмических разрезах и снижает качество дальнейшей обработки.

Традиционные методы контроля, основанные на анализе сейсмограмм общего пункта возбуждения (ОПВ), позволяют оперативно оценивать качество только при работе с кабельными сейсморазведочными станциями. При работе с бескабельными системами всё большее значение приобретает использование сейсмограмм общего пункта приёма (ОПП), в которых аккумулируются отклики от множества возбуждений, зарегистрированные одним приёмником. Такой подход обеспечивает независимую оценку качества источников и позволяет выявлять нестабильные возбуждения по их одновременному проявлению на нескольких сейсмограммах ОПП.

Внедрение подобной методики в программно-аппаратный комплекс (ПАК) «Геотом», разработанный компанией «Сейстех», позволило реализовать ежедневный оперативный контроль стабильности возбуждения непосред-

ственно в полевых условиях. Используя данные, считанные с ограниченного числа регистрирующих блоков после суточного отстрела, система автоматически формирует сейсмограммы ОПП, которые могут быть оперативно обработаны на полевом ВЦ.

Из теории сейсморазведки

Давайте разберём подробно, что означают сейсмограммы ОГТ, ОПВ и ОПП, и чем они отличаются. Эти термины часто используются в сейсморазведке (особенно при обработке и интерпретации данных МОГТ — метода общей глубинной точки).

1. Сейсмограмма ОГТ (Общей глубинной точки)

ОГТ (или CMP — Common Midpoint) — это сейсмограмма, составленная из трасс, имеющих общий середину между источником и приёмником. Это основная единица данных при обработке МОГТ:

- Каждая трасса записана при разном удалении (офсете), но отражение соответствует **одной и той же точке на отражающем горизонте**.
- После коррекции за время пробега (NMO-коррекции) отражения суммируются (стэкинг), усиливая сигнал и подавляя шум.
- Сейсмограмма ОГТ показывает **зависимость времени прихода отражений от офсета (удаления)**.
- Используется для:
 - Подбора скоростей (анализ годографов);
 - Подготовки к суммированию (стэкингу);

Тип сейсмограммы	Общая точка	Этап использования	Назначение
ОГТ	Середина между источником и приёмником	Обработка	Выделение отражений, подбор скоростей
ОПВ	Источник (взрыв, вибратор)	Полевые данные	Контроль качества, исходная запись
ОПП	Приёмник	Полевые данные, обработка	Проверка работы приёмников, специальные приемы обработки

- Выделения отражающих границ.

2. Сейсмограмма ОПВ (Общего пункта возбуждения)

ОПВ (или CSP — Common Shot Point) — это сейсмограмма, записанная от одного источника (взрыва, вибратора и т. д.):

- Все трассы имеют **одинаковый пункт возбуждения**, но разные приёмники.
- Используется на **полевом этапе** — именно так записываются первичные данные.

- Позволяет контролировать:
 - качество записи (помехи, фоновый шум);
 - синхронизацию каналов;
 - геометрию профиля.

3. Сейсмограмма ОПП (Общего пункта приёма)

ОПП (или CRP — Common Receiver Point) — это сейсмограмма, составленная из трасс, записанных на одном приёмнике, но с разных пунктов возбуждения:

- Все трассы имеют **одинаковое местоположение приёмника**, но разные источники.
- Используется для:
 - анализа характеристик приёмников и контакта с грунтом;
 - контроля качества работы геофонов;
 - специальных видов обработки (например, при обратной миграции

волнового поля).

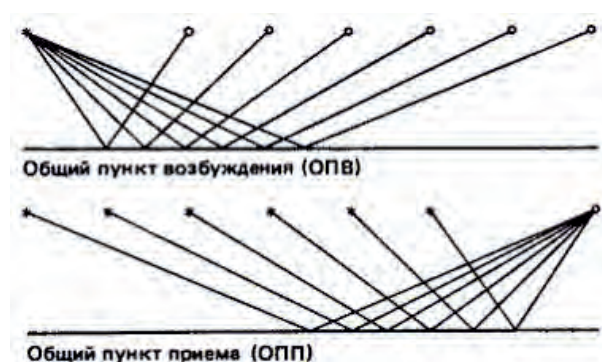
Отражения видны как совокупность волн, приходящих к одному приёмнику из разных точек возбуждения.

Таким образом, в полевых условиях для контроля качества материала могут использоваться, как сейсмограммы ОПВ, так и сейсмограммы ОПП. Одинаковый набор сейсмических трасс в сейсмограммах ОПП и ОПВ может ежедневно собираться при работах 2D (Рис.1.).

Оконный анализ для оперативного контроля качества сейсмического материала.

Оконный контроль качества (window QC) представляет собой метод оценки состояния сейсмических данных, основанный на анализе амплитуд, энергетики и формы сигнала в пределах заранее выбранных временных интервалов — окон. В процессе такого анализа времен-

▼ Рис. 1. Принципы сортировки (группирования) трасс по различным признакам в сейсморазведке (по Хаттон Л., 1989).



ная ось сейсмограммы делится на несколько характерных зон: «окно сигнала», где ожидается проявление полезных отражений от геологических горизонтов, «окно помех», соответствующее интервалам, в которых отражённый сигнал отсутствует, как правило, до прихода первых волн или после завершения отражений и окно ближних удалений, в котором анализируется поверхностные волны. Для каждого из этих интервалов вычисляются параметры, позволяющие количественно оценить качество записи: энергия или мощность сигнала, среднеквадратическая амплитуда (RMS), отношение сигнал/помеха (S/N), а также спектральные характеристики.

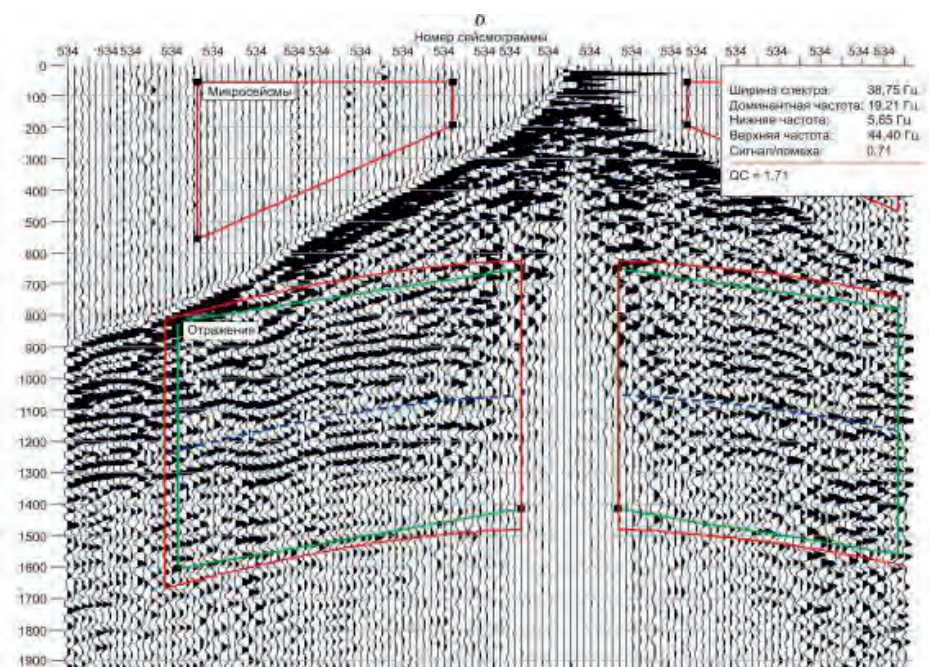
Цель такого подхода состоит в контроле и улучшении качества сейсмограммы. Оконный контроль применяется для оценки эффективности фильтрации и скоростных коррекций, контроля стабильности амплитуд по трассам, выбора оптимальных параметров обработки, а также для выявления зон ослабления или искажения сигнала вдоль профиля и во времени.

Одним из ключевых параметров, вычисляемых в рамках оконного контро-

ля, является отношение сигнал/помеха (S/N), которое отражает степень доминирования полезного сигнала над шумовой составляющей. Чем выше это значение, тем качественнее сейсмограмма. Для его расчёта выбираются два временных интервала: окно сигнала (например, 1,0–1,2 с) и окно помех (например, 0,2–0,4 с). Для каждого из них вычисляется энергия сигнала как сумма квадратов амплитуд в пределах окна. Затем отношение энергий в окне сигнала и окне помех характеризует уровень качества записи: при большем значении S/N сигнал считается более отчётливым и достоверным.

На практике оконный контроль применяется на различных этапах обработки данных метода общей глубинной точки (МОГТ) — до и после фильтрации, нормализации амплитуд, временных и статических коррекций, а также на этапе стэкинга. Современные программные комплексы обработки (Promax, Focus, Omega и др.) позволяют автоматически выполнять такие расчёты по заданным окнам и формировать графики или карты качества, отображающие пространственное распределение уровней сигнала и

► Рис. 2. Формирование окон анализа сейсмограмм ОПВ. [1].



шума. Это позволяет оперативно выявлять участки профиля с ухудшением параметров записи и принимать решения по корректировке обработки или повторным наблюдениям.

Таким образом, оконный контроль качества представляет собой эффективный инструмент диагностики и оптимизации сейсмических данных. Он обеспечивает количественную оценку стабильности сигнала, эффективности применённых фильтров и позволяет повысить достоверность последующей интерпретации отражённых волн.

Использование сейсмограмм ОПП для оперативного контроля качества возбуждения.

Действительно, хотя **ОПП (общий пункт приёма)** в первую очередь используется для контроля **приёмников**, по нескольким сейсмограммам ОПП можно также **оценивать работу источника возбуждения**. Давай разберём, как именно это делается и почему это работает.

Контроль качества источников по сейсмограммам общего пункта приёма (ОПП) в 3D-сейсморазведке основан на анализе изменений амплитуд и формы сигнала, регистрируемого одним и тем же приёмником от разных пунктов возбуждения. Каждая трасса на сейсмограмме ОПП соответствует отдельному источнику — взрыву, удару или воздействию вибратора, поэтому энергетические характеристики этих трасс напрямую отражают стабильность и эффективность работы источников.

При нормальной работе источника амплитуда и форма отражённого сигнала на сейсмограммах ОПП сохраняют устойчивый характер: амплитуды примерно одинаковы, фаза и форма волны стабильны, а спектральный состав не меняется.

Если же источник сработал нештатно — например, заряд оказался неполным, контакт вибратора с поверхностью был ослаблен или произошёл слабый удар — на сейсмограммах ОПП, соответствующих этому возбуждению, наблюдается резкое падение амплитуд, искажение формы волны или увеличение шумовой составляющей.

Практически контроль выполняется путём сравнения нескольких сейсмограмм ОПП, записанных для разных приёмников, но относящихся к одним и тем же возбуждениям. Для каждого источника оцениваются параметры энергетики сигнала — чаще всего энергия или среднеквадратическая (RMS) амплитуда в заданном временном окне. Если для одного и того же номера возбуждения наблюдается синхронное снижение энергии на всех сейсмограммах ОПП, это надёжно указывает на ослабленное или некачественное возбуждение.

Построив график изменения энергии по номерам возбуждений, можно легко выделить аномалии — участки, где энергия резко падает на всех приёмных пунктах, что является индикатором «плохого» источника.

Важно отличать такие случаи от неисправностей приёмников. Если аномально низкая амплитуда проявляется постоянно на одной и той же трассе при всех возбуждениях, это свидетельствует о неисправном приёмнике или плохом контакте геофона с грунтом. В противоположность этому, если снижение амплитуд наблюдается только для одного возбуждения, но синхронно на всех ОПП, причина заключается в неисправности или нестабильной работе источника.

Таким образом, контроль источников по сейсмограммам ОПП основан на сравнительном анализе энергетических

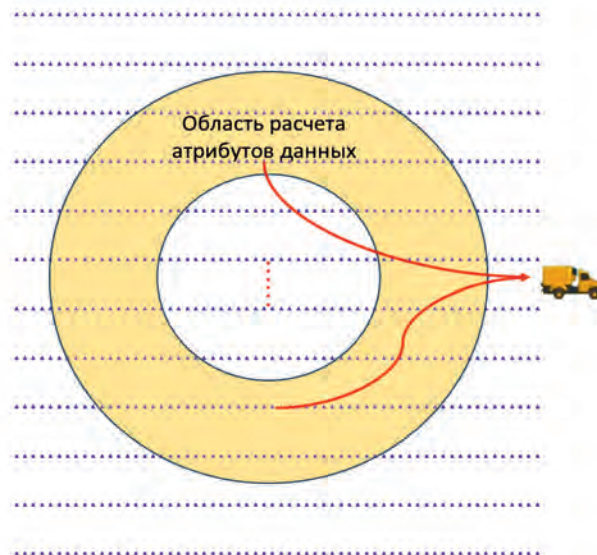
параметров трасс от разных возбуждений и позволяет своевременно выявлять случаи ослабленного возбуждения. Этот подход обеспечивает надёжную оценку стабильности работы источников в процессе 3D-съёмки, не требуя дополнительных измерений и позволяя оперативно реагировать на отклонения в полевых условиях.

Оперативный контроль качества по сейсмограммам ОПП в технологии «Геотом»

Одним из ключевых элементов технологии «Геотом» является возможность **оперативного контроля качества возбуждения и регистрации** по данным сейсмограмм общего пункта приёма (ОПП). Такой подход позволяет объективно оценивать стабильность источников и достоверность записей уже в ходе полевых наблюдений, без дополнительной обработки в офисе.

После завершения каждого суточного цикла отработки 3D-площади из **области расчёта атрибутов данных** (рис. 3) выбирается **небольшое количество блоков ПАК «Геотом»**, равномерно распределённых по активной зоне наблюдений. С выбранных регистрирующих модулей считываются записи, содержащие полные наборы трасс от всех пунктов возбуждения, попавших в радиус активной регистрации. Эти данные используются для построения **сейсмограмм ОПП**, каждая из которых представляет совокупность трасс, записанных одним приёмником от разных источников.

Анализ сейсмограмм ОПП проводится по амплитудным и энергетическим признакам. При нормальной работе источников амплитуда и форма сигнала на трассах сохраняют устойчивый характер, что свидетельствует о равномерном качестве возбуждений. Если же на



- ▲ - ПП активной расстановки,
- ▲ - ПВ выбранные для анализа

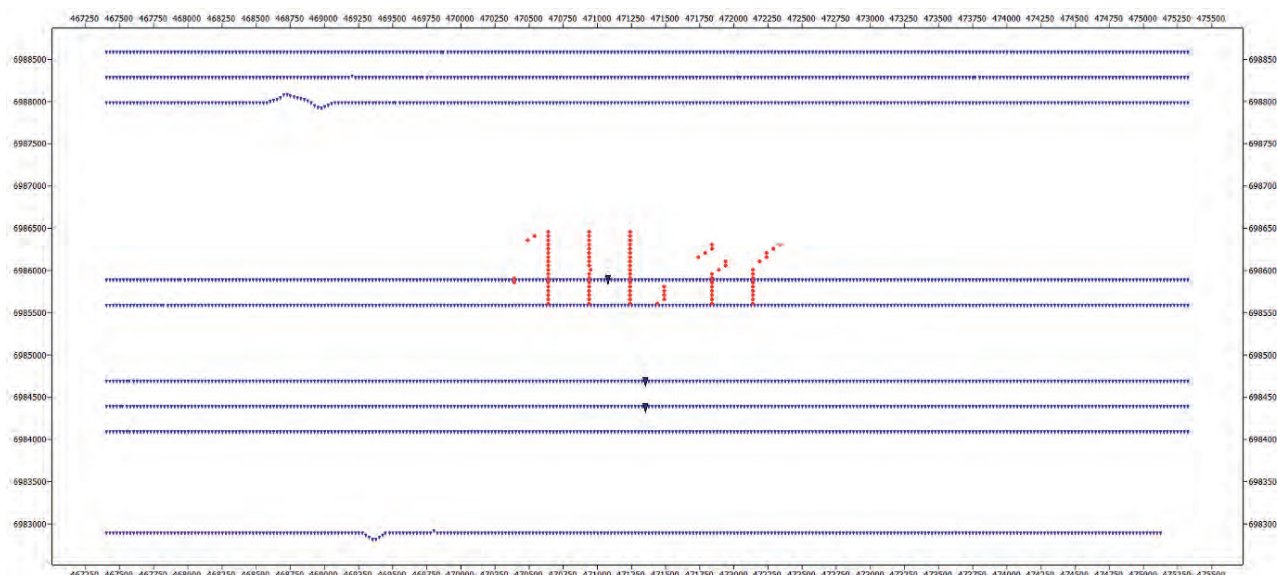
▲ Рис. 3. Область расчёта атрибутов сейсмограмм.

нескольких сейсмограммах ОПП одновременно фиксируется **падение амплитуды сигнала** на трассах, соответствующих **одному и тому же пункту возбуждения**, это указывает на **некондиционное возбуждение сигнала** — ослабленное или неполное срабатывание источника, нарушение контакта вибратора с поверхностью либо технический сбой.

Такой подход позволяет надёжно отличать проблемы возбуждения от неисправностей приёмников. Если амплитудные аномалии проявляются только на одной сейсмограмме ОПП и повторяются при всех возбуждениях, это свидетельствует о неисправности конкретного приёмника. Напротив, синхронное ослабление сигнала на нескольких ОПП для одного возбуждения указывает на источник как на причину нарушения.

Рассмотрим на примере полученных данных в реальных условиях.

Были взяты три пункта приема, по которым были сформированы три сейсмограммы ОПП соответственно (два ПП взяты в области расчёта атрибутов данных, и один ПП в районе ближних удалённых).

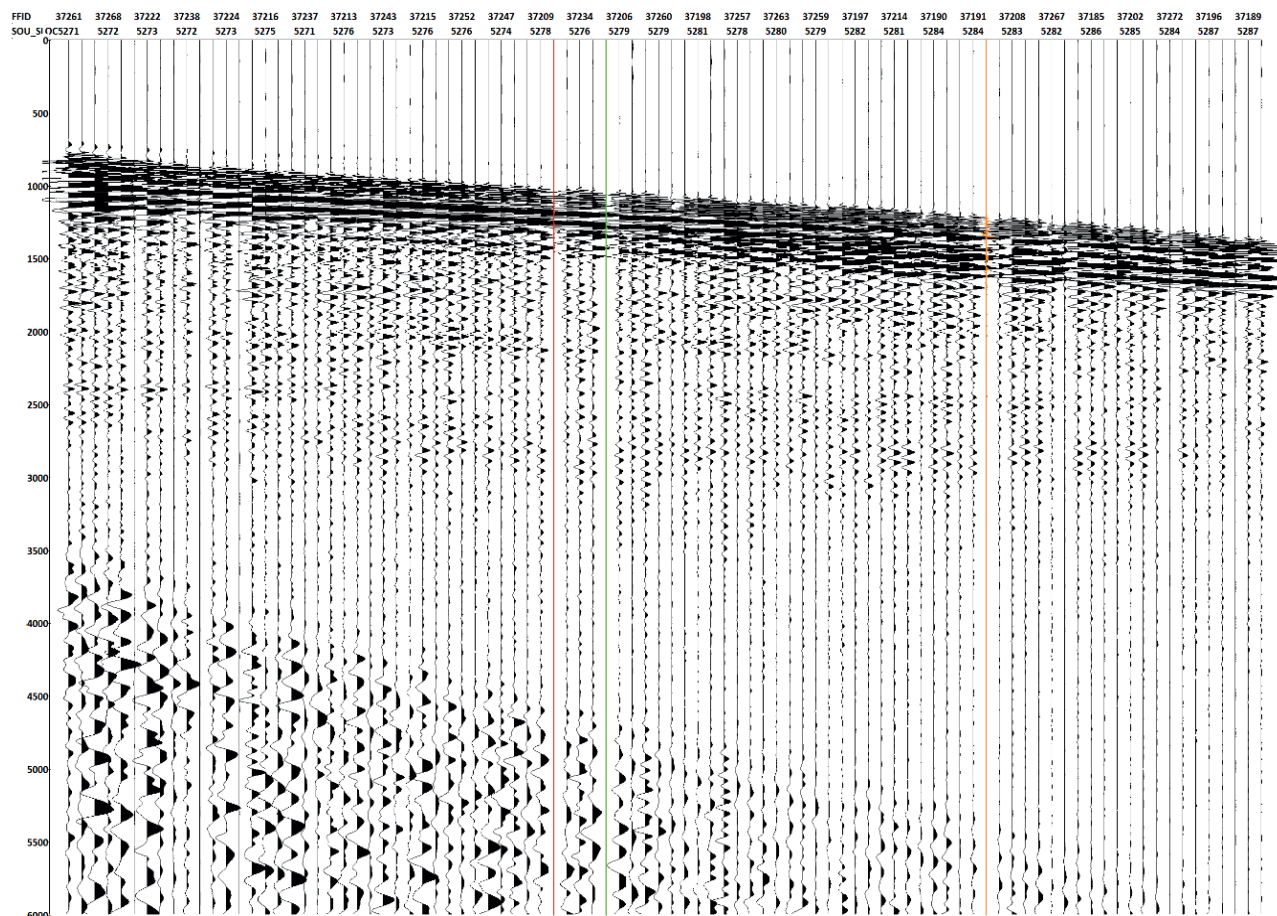


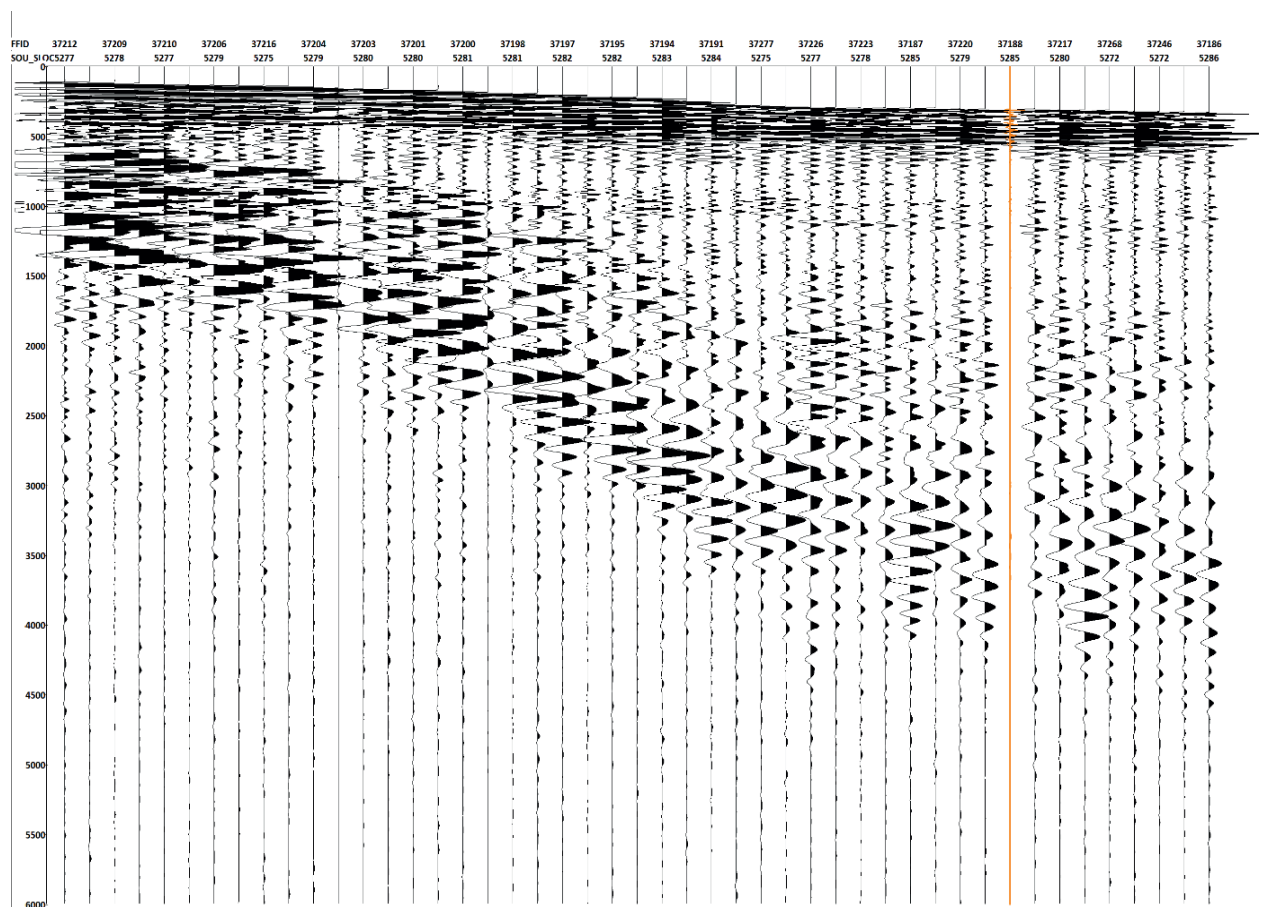
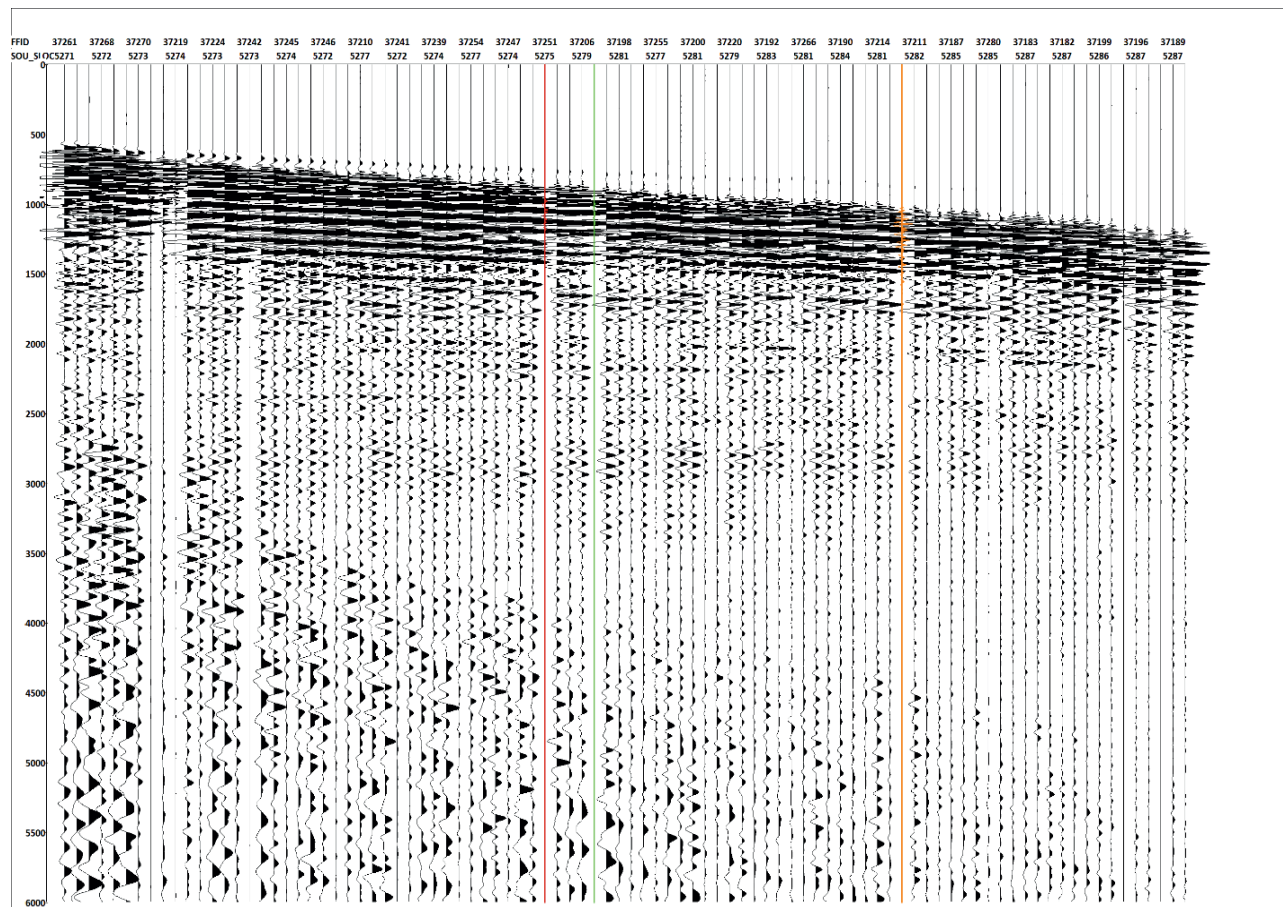
▲ Рис. 4. ПВ суточного отстрела с проекта 2025 года, определенные для контроля качества.

Результаты контроля визуализируются в виде сейсмограмм ОПП по всем точкам возбуждения, требуемых к анализу (Рис.4). На рис. 5 приведен набор сейсмограмм ОПП, участвующих в анализе

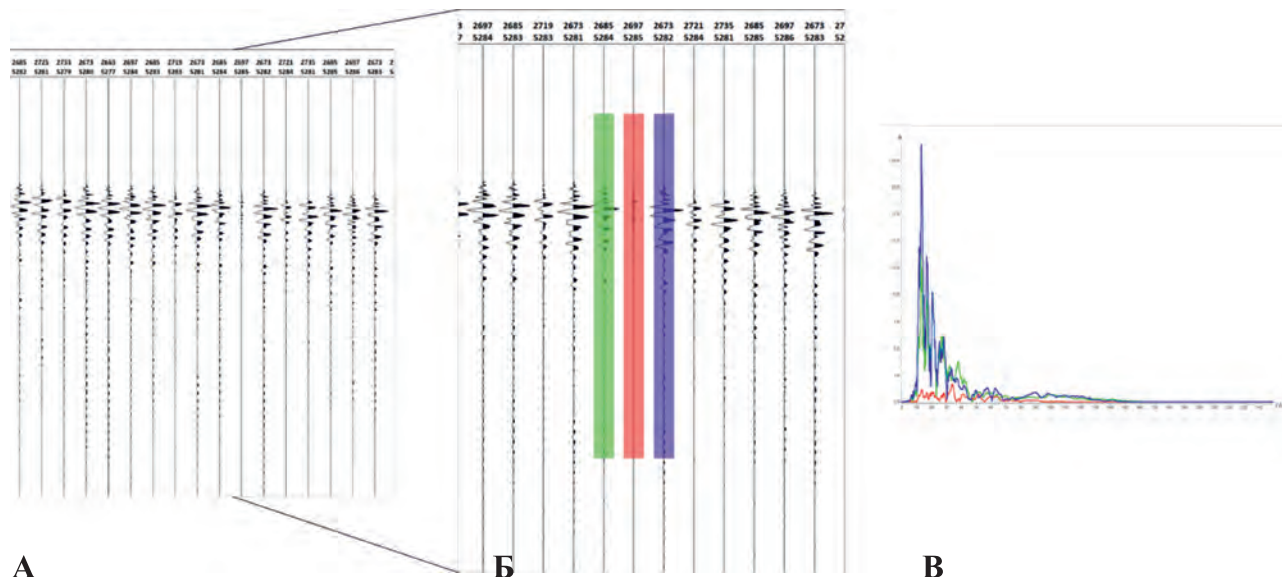
материала. Цветом выделены трассы, соответствующие одному ПВ. На рисунке 6 показан пример определения трассы сейсмограммы ОПП, соответствующей ПВ с неполной детонацией ВВ.

▼ Рис. 5 (начало). Сейсмограммы ОПП с проекта 2025 года.





▲ Рис. 5 (продолжение). Сейсмограммы ОПП с проекта 2025 года.



▲ Рис. 6. Пример выявления некондиционного возбуждения по сейсмограмме ОПП.
А – сводная сейсмограмма ОПП, Б- увеличенный фрагмент, В – Амплитуды выбранных трасс.

На рисунке 6 представлена типичная ситуация, когда некондиционное возбуждение проявляется синхронно на нескольких сейсмограммах ОПП. На панели А показана сводная ОПП-сейсмограмма, включающая трассы от различных пунктов возбуждения, поступившие на один приёмник. В общей однородной картине выделяется одна аномально «ослабленная» трасса, что является первым признаком нестабильного возбуждения.

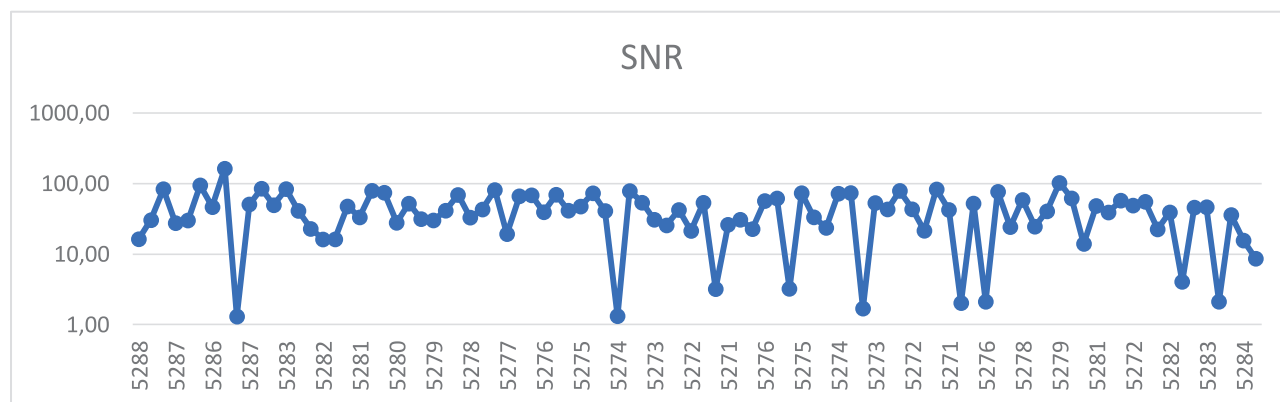
Фрагмент Б раскрывает локальную структуру волновой картины: событие приходит в ожидаемое время, его форма сохраняется, но амплитудный уровень существенно ниже нормы. Это типичное проявление слабого или неполного срабатывания источника — для приёмника оно выглядит как «приглушённая» копия обычного отражённого события.

На диаграмме В представлена количественная оценка: амплитудные значения выбранных трасс показывают резкое, дискретное снижение энергии именно на трассе, соответствующей этому возбуждению. В сочетании с повторяемостью эффекта на других ОПП-сейсмограммах это является чётким индикатором источниковой проблемы.

Таким образом, рисунок иллюстрирует ключевой принцип контроля качества в ПАК «Геотом»: некондиционное возбуждение проявляется как системная амплитудная аномалия на нескольких независимых ОПП, что позволяет достоверно диагностировать проблему уже в ходе суточной отработки.

Рисунок 7 представляет собой график распределения отношения сигнал/шум (S/N), вычисленного покомпонентно для всех трасс, сформированных в составе выбранных сейсмограмм ОПП. Каждый маркер на диаграмме соответствует одной трассе, относящейся к определённому пункту возбуждения, который участвовал в анализе качества. В основной массе значения S/N образуют компактное облако точек, отражающее нормальные условия возбуждения и стабильную энергию сигнала. Однако на фоне общего распределения чётко выделяются точки, демонстрирующие заниженные значения S/N — их положение почти на порядок ниже среднестатистического уровня.

Такие выбросы являются индикатором некондиционного возбуждения: трассы с аномально низким сигнал/шум указыва-



▲ Рис. 7. График распределения сигнал/шум, по трассам сейсмограмм ОПП.

ют на возбуждения, выполненные с нарушением технических параметров. Проведённый анализ показал, что все ПВ, соответствующие выделившимся точкам, действительно обладают характерными признаками низкоэнергетического возбуждения, ранее выявленными и на сейсмограммах ОПП (рис. 6). График S/N подтверждает их аномальность количественно, обеспечивая надёжную классификацию возбуждений и позволяя однозначно отнести их к категории требующих повторной проверки или перерегистрации.

Таким образом, рисунок 7 иллюстрирует важный этап оперативного контроля качества в системе «Геотом»: интегральная оценка отношения сигнал/шум по трассам ОПП служит объективным критерием стабильности источников и позволяет быстро выявлять нарушения в работе возбуждающей аппаратуры при минимальном объёме анализируемых данных.

Заключение

Представленный в работе подход к оперативному контролю качества возбуждения по сейсмограммам общего пункта приёма (ОПП) реализует новый уровень диагностики полевых данных, который стал возможен благодаря особенностям архитектуры программно-аппаратного комплекса «Геотом». В

отличие от традиционных полевых технологий, где контроль качества ограничивается анализом сейсмограмм ОПВ или периодической выгрузкой данных, система «Геотом» обеспечивает выборочное считывание информации с ограниченного числа автономных регистраторов из области расчёта атрибутов. Это позволяет получать репрезентативные сейсмограммы ОПП ежедневно, не останавливая поле и не выгружая полный объём данных.

Реализованный механизм дифференцированного доступа к данным и встроенные средства атрибутивного анализа делают возможным регулярный мониторинг энергетики возбуждений по трассам ОПП. Одновременное падение амплитуд на нескольких ОПП-сейсмограммах позволяет надёжно выявлять некондиционные возбуждения и верифицировать их природу без дополнительных полевых измерений.

Таким образом, технологические возможности ПАК «Геотом» — автономность регистраторов, гибкая организация области считывания, автоматизированный расчёт атрибутов и возможность формирования ежедневных сейсмограмм ОПП — приводят к появлению принципиально нового инструмента оперативного QC, ориентированного на реальную стабильность источника, а не на формальные признаки качества записи.

По результатам производственных испытаний такой подход выборочного (менее 10% каналов) анализа материала позволяет выявлять все случаи нестабильного возбуждения в процессе текущего отстрела, снижая объем потерь данных и увеличивая итоговую эффективность полевых работ до 25–30 %. Перспективы развития технологии связаны с дальнейшей автоматизацией построения амплитудных карт, интеграцией алгоритмов самообучения и применением статистических моделей для предиктивного контроля состояния источников и приёмной аппаратуры.

Литература

1. Тищенко И. В., Тищенко А. И., Жуков А. А. Алгоритмы и критерии оценки качества полевых сейсмических записей // Технологии сейсморазведки. — 2011. — № 2. — С. 40–48. URL: <http://ts.ipgg.nsc.ru> (дата обращения: 31.10.2025).
2. Yilmaz Ö. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data. — Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicists, 2001. — 2 vols. — ISBN 1560800941. Amazon
3. Bancroft J.C. Anatomy of common scatterpoint (CSP) gathers // CREWES Research Report. — Vol. 9, 1997. — (CREWES). — PDF.crewes.org
4. Delft University of Technology (TU Delft), lecture notes. Processing of Seismic Reflection Data: Chapter 5 // Introduction to Reflection Seismics — Delft: TU Delft OCW. Lecture notes and Chapter PDF (online). — [электронный ресурс]. — Режим доступа: OCW TU Delft, Chapter 5. TU Delft OCW+1
5. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь: Издательство АИС, 2006. — 744 с. GeoKniga
6. Гамбурцев Г. А. Основы сейсмораз-

ведки (2-е изд.). Москва: Гостоптехиздат, 1959. — 378 с. Большая российская энциклопедия.

Подробнее об авторах



Тиссен
Александр Артурович

Заместитель
генерального директора
ООО «Фирма «Геосейс»



Анкушев
Вадим Викторович

Генеральный директор
ООО «Сейстех»



Нефедов
Никита Евгеньевич,

ООО «Фирма «Геосейс»