

О качестве супервайзерского сопровождения в сейсморазведочных работах

■ Больбат В.М., ОАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка», г.Тюмень

Преамбула

Из «Положения о полевом контроле выполнения сейсморазведочных работ» ведущих российских нефтяных компаний:

1. Ограничения прав супервайзеров

Супервайзер не имеет права:

- без согласования с руководителем проекта заказчика требовать выполнения мероприятий, приводящих к снижению производительности полевой партии;

2. Контролер (супервайзер) несет ответственность:

- за принятие неквалифицированных решений, повлекших нарушение технологии работ, а также за необоснованную остановку производства работ.

Введение

Контроль за соблюдением технологии и качеством исходных данных сейсморазведочных работ независимой супервайзерской службой, безусловно, необходим. Но в условиях современного развития 3D-съемки с громадным количеством активных каналов соблюдение требований инструкции по сейсморазведке 1986 г. может снизить плановую производительность и, в конечном итоге, сорвать геологоразведочные работы.

Настоящей работой преследуется цель актуализации пересмотра для высокоплотной регистрации (до 1 млн сейсмотрасс на 1 кв.км) требований к технологии и оценке качества полевых данных и привлечение для супервизинга сервисных предприятий, которые не просто формально заставляют Исполнителя сейсморазведки выполнять не всегда рациональные предписания, но и способны на компромиссные решения для создания условий плановой производительности съемки без ущерба качеству результата работ.

В этом аспекте на примере одного из проектов 3D сейсморазведки рассмотрены некоторые фрагменты деятельности одного из предприятий, осуществлявшего супервайзерский контроль.

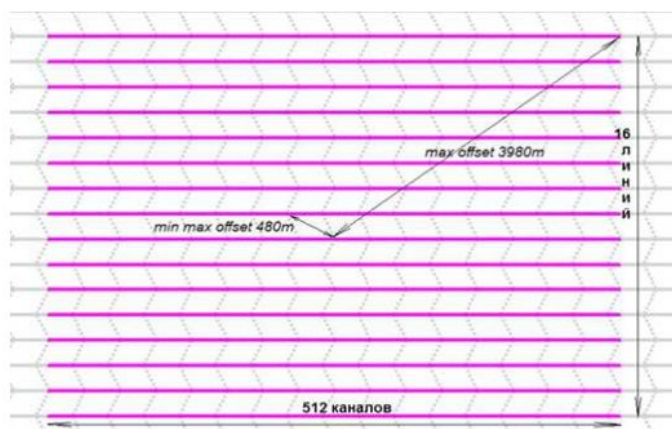
1. Особенности 3D-съемки

В рассматриваемом проекте реализована высокая плотность ПП с регистрацией данных телеметрической системой UniQc использованием точечных сейсмоприемников-акселерометров GAC (таблица 1, рис.1)..

Преимущества технологии UniQв сравнении с традиционной сейсморазведкой (шаг ПП-50м, группирование геофонов) сводятся к повышению качества сейсмических данных, за счет снижения пространственного «аляйсинг-эффекта», отсутствия искажений регистрируемого сигнала аналоговым суммирование в линейной группе, расширения частотного спектра как со стороны высоких, так и низких частот. При потрассной обработке данных учитывается и компенсируется влияние микростатики и искажения амплитуд, вызванные приповерхностными неоднородностями, проводится более корректное разделение волнового поля на полезный сигнал и помехи разных типов с их последующим подавлением. Комплексный подход к регистрации и обработке приводит к улучшению привязки сейсмических данных к скважинной информации и значительному улучшению результатов акустической и динамической инверсии.

Показатели	Значения
Система регистрации	UniQ
Прием колебаний	Одиночным на ПП геофоном - акселерометром GAC
Способ возбуждения	взрывы из одиночных скважин
Система наблюдения	«zig-zag», центрально симметричная
Размер бина, м	6,25x25
Номинальная кратность	64, 256 для бина 25x25 м
Величина заряда, кг	5-17,5
Глубина погружения заряда, м	20
Длительность записи, с	6
Шаг дискретизации, мс	1
Плотность сейсмотрасс на кв.км	422 558

▲ Табл. 1. Основные показатели методики работ .



◀ Рис. 1. Активная расстановка. Шаг ПП=12,5м, ПВ=55,9м, шаг ЛП=300м, ЛВ=400м, 16 линий приема по 512 активных каналов, всего 8192 ак. канала.

На предстартовом до начала полевых работ совещании всеми участниками проекта (Заказчик, Исполнитель, Супервайзер) было признано (но во многом не реализовано), что инновационная технология требует пересмотра некоторых ограничений, в частности, возможно увеличение кол-ва неработающих каналов (в % от активной расстановки), уровня допустимого микросейсмического шума и пр.

2. Супервайзерское сопровождение

Проецирование требований к критериям качества данных и параметрам установки приемных каналов для традиционной сейсморазведки с группами стандартных геофонов на высокоплотную технологию с точечными датчиками-

акселерометрами и формализованный контроль супервайзерской службой безусловного соблюдения не всегда адекватных для этой методики требований, создали предпосылки для значительного снижения производительности и невыполнения планового объема работ.

В частности:

2.1. К требованиям установки приемников около пикетов

Точечные датчики –акселерометры весьма чувствительны к микросейсам из-за высокой чувствительности на высоких частотах и отсутствия группирования. Как бы тщательно не пытались их установить и изолировать от внешних воздействий, повышенный фон шума на приемных линиях естественен. Вешки ПП

также являются дополнительным источником фоновых помех даже при небольшом ветре.

Тем не менее, по инициативе Супервайзера в технический проект без теоретического обоснования было внесено максимально-допустимое отклонение прибора GAC от пикета не более 0,3 м (с нашей точки зрения погрешность в 0,7 м не влияет на точность геометризации данных).

В рамках соблюдения требований к распределению ОСТ в сетке бинов, известно[4], что допустимая погрешность смещения положения ПГН относительно проектного положения определяется формулой: $\Delta X, Y_{max} < B_{min}/3$, где B – длина минимальной стороны бина. Для бина со сторонами 6.25 на 25 м получаем допустимый сдвиг (без учета смещения пикета от планового положения) приемников от вешки ПП до 2 м.

Отталкиваясь же от более жестких требований, вытекающих из необходимости обеспечения синфазного суммирование с минимальными временными подвижками трасс ОСТ, допустимую погрешность смещения ПП от проектного положения можно определить из теории пространственной неоднозначности на основе известной формулы максимальной пороговой частоты, которая не будет давать побочных составляющих при данном угле наклона, скорости и интервале между трассами

$$\text{ОСТ: } f_{\text{threshold}} = v / (4\Delta x \sin \theta) \quad (1),$$

где v = скорость в среде; Δx = интервал между трассами, θ = структурное падение.

Данные для расчета (из ГТЗ):

- допустимая подвижка во времени сигнала не более шага дискретизации – 1 мс;

- минимальная глубина целевого горизонта – 1500 м;

- максимальное удаление В-П – 3980 м;

- скорости ОГТ 2000-2500 м/с.

Из формулы (1) следует, что допустимое смещение приемника с подвижкой трассы во времени не более 1 мс:

$$\Delta x = (T \cdot V_{\text{ОГТ}}) / (4 \sin \theta).$$

Для критического случая (прямая волна, $\sin \theta = 1$, $V = 1650-2000$ м/с)

$$\Delta x = (0,001 \text{ с} \cdot (1650-2000) \text{ м/с}) / 4 = 0,4 - 0,5 \text{ м};$$

Для ОВ максимальный $\sin \theta$ соответствует минимальным глубинам исследования и максимальным удалениям В-П и составляет 0,35, тогда

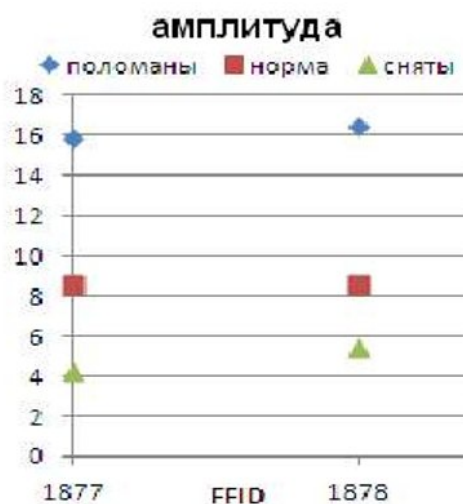
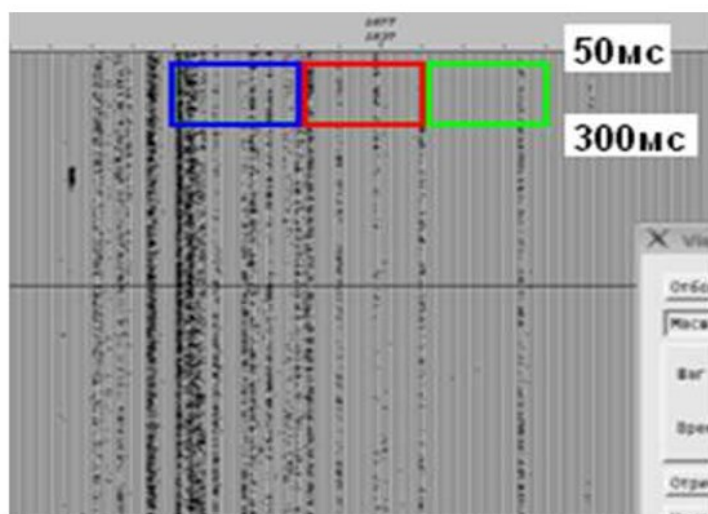
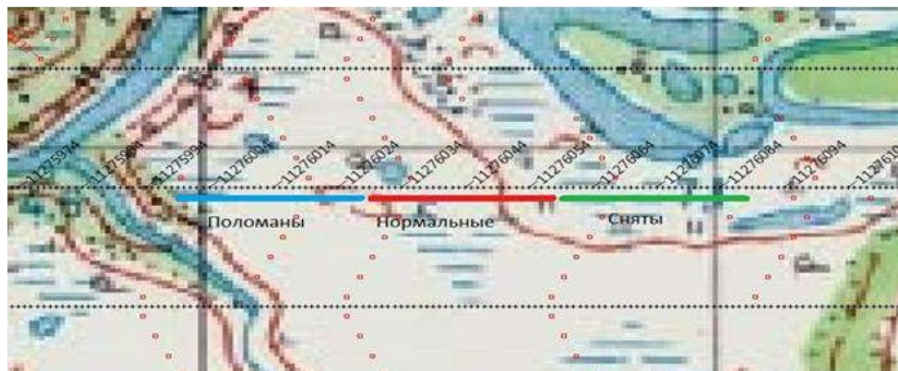
$$\Delta x = (0,001 \text{ с} \cdot (2000-2500 \text{ м/с}) / (4 \cdot 0,35)) = 1,4 - 1,8 \text{ м};$$

Для изучения влияния колебаний пикетов ПП на уровень микросейсм были проанализированы данные по трем смежным фрагментам приемной линии на тундровом участке в пойме (рис.2) с вешками: поломанными (укороченными вдвое) и установленными на то же место, нормально поставленными и положенными на снег (сняты).

Принуждения Исполнителя работ к установке сейсмодатчиков как можно ближе к пикетам привели к повышенному уровню шума (рис.3) и, соответственно, к снижению соотношения сигнал/микросейсм. Очевидно, что наиболее «чистые трассы» регистрируются при снятых вешках, что свидетельствует о необходимости максимально возможного удаления акселерометров от вешек ПП.

То, что укороченные вдвое вешки генерируют более сильную помеху в сравнении со стандартной, объясняется как их повторной установкой с менее плотной закрепленностью в насте, так и более высокой резонансной частотой колебания от ветра. А поскольку приемники GAC не теряют чувствительность на высоких частотах, то результат естестве-

► Рис. 2. Фрагмент ЛП с интервалами различно установленных вешек ПП



▲ Рис. 3. Окна расчета и амплитуда шума по 2-м тестовым записям для различных интервалов и состояния вешек (синий – высота ПК вдвое меньше стандартной, красный- стандартные, зеленый – сняты).

нен. Кроме того, очевидно, что минимальный уровень микросейсм соответствует снятым пикетам.

То, что укороченные вдвое вешки генерируют более сильную помеху в сравнении со стандартной, объясняется как их повторной установкой с менее плотной закрепленностью в насте, так и более высокой резонансной частотой колебания от ветра. А поскольку приемники GAC не теряют чувствительность на высоких частотах, то результат естественен. Кроме того, очевидно, что минимальный уровень микросейсм соответствует снятым пикетам.

Логичным для повышения значений основного атрибута качества данных А сигнала/А микросейсм (далее по тексту S/N) стало следующее письменное

обращение Исполнителя к Супервайзеру (Заказчику):

«Для уменьшения уровня микросейсм на тундровых участках, как правило, характеризующихся неблагоприятными условиями для возбуждения и приема, мы предлагаем удаление на расстояние не меньше метра разметочных вешек после установки акселерометров на участках, где не предполагается повторная размотка оборудования в текущем сезоне. (Имеется практика – для снижения влияния ветровой помехи при работах в тундровых зонах ЯНАО полное снятие вешек после размотки даже линейных групп приемников на базе 12,5-25м)».

Согласование на данное предложение без объяснения причин получено не было.

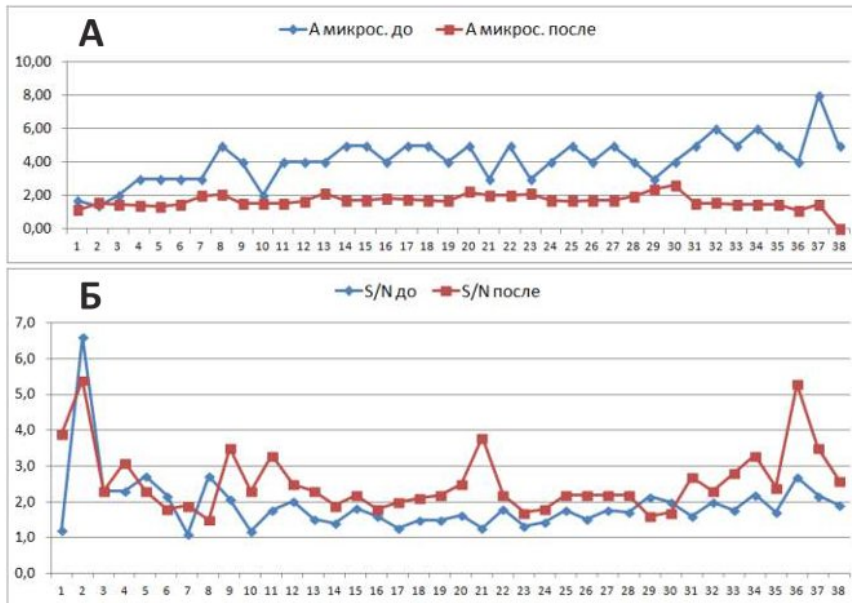


Рис. 4. Уровень микро-сейсм (А) и S/N (Б) до и после перебуров с одинаковым весом заряда.

2.2. Качество полевого материала

2.2.1. Оптимизация параметров возбуждения

Перебурыв забракованных по S/N 63-х ПВ с тем же весом заряда не привели к качественному улучшению динамических характеристик записи (рис.4). В основном, энергия сигнала после «перестрела» не изменилась, что является признаком выдержанности параметров заложения ВМ для забракованных ПВ, а незначительное (на 20-30%) повышение S/N для повторных наблюдений обусловлено меньшим уровнем ветровых помех.

Исполнителем для повышения энергии сигнала в неблагоприятных зонах согласовано с Заказчиком увеличение заряда на 2,5 – 5 кг в зависимости от литологического строения ВЧР-ЗПС, что

привело к повышению А сигнала (S/N) (рис.5) и сокращению перебуров.

Безрезультатные с точки зрения улучшения качества сейсмограмм массовые перебурыв забракованных ПВ с изначально выбранными по опытным работам неоптимальными параметрами возбуждения привели к срыву графика подготовки заряженных скважин.

2.2.2 Приемка материала по атрибутивной оценке

На основании письменного обращения Исполнителя Заказчиком была согласована возможность приемки данных по визуальной и дополнительной углубленной оценке, S/N для которых незначительно ниже допустимых значений.

Рис. 5. Сравнение перебуров брака по А сигнала с разным весом заряда.



Выдержка из протокола:

«Физическое наблюдение, получившее оценку «0» по оценочному параметру S/N . . . , подлежит дополнительному исследованию. Выполняется анализ всех факторов (рельеф, поверхностные условия, литология), влияющих на получение характерного материала. Оцениваются отдельно амплитудная характеристика сигнала,Выполняется визуальный просмотр материала. На основании анализа принимается решение о причинах снижения качества – нарушение технологии или неблагоприятные поверх-

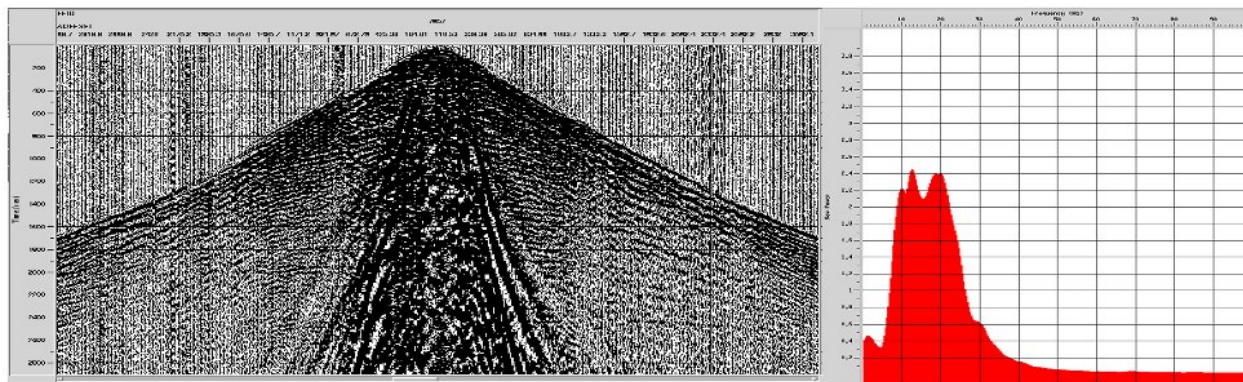
ностные условия. После чего выдается задание на повторную отработку ф.н., либо сейсмограмма принимается с оценкой 0,9.»

Это заключение Заказчика, в основном, супервайзерами не выполнялось. Продолжалась отбраковка сейсмограмм только по значениям S/N , которые зачастую формализованы и не несут в себе полную информацию о действительном качестве данных.

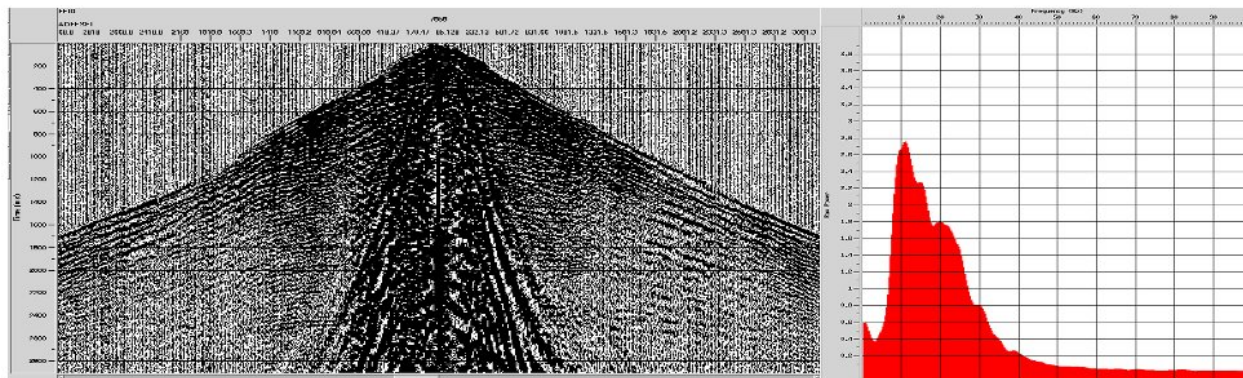
Например, визуально принятая сейсмограмма (рис 6) выглядит не лучше, а по АЧХ хуже, чем забракованная (рис.7,8)



▲ Рис. 6. Сейсмограмма принята. S/N в допуске. Ненормированная АЧХ в окнах анализа сигнала.



▲ Рис. 7. Не принята. Брак по S/N



▲ Рис. 8. Не принята. Брак по S/N

2.3. Оценка влияния угла наклона датчиков на качество полевого материала

Апогеем супервайзерского неосмысленного фанатизма в усердии принуждения Исполнителя к безусловному соблюдению во многом неприемлемых для оборудования UniQ некоторых требований к технологии работ стала забраковка 2134 ф.н. по причине превышения на этих сейсмограммах угла наклона приемников выше 20° более чем на 2-х % трасс от количества каналов в активной расстановке.

Основой таких заключений стали данные ежедневных тестов Tilt. Причем «специалисты» от геофизики даже не удосужились принять во внимание, что тесты выполнены на всю рабочую расстановку, в 1,5 раза превышающую количество активных каналов.

После анализа реального соответствия данных тестов и параметров активной расстановки, 439 ф.н., удовлетворяющие 2-х (2,5) процентному допуску, были забракованы без необходимости какого-то обоснования.

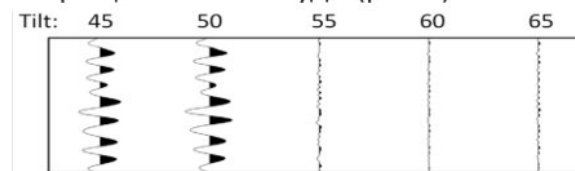
Результаты анализа оценки влияния угла наклона акселерометра GAC на динамические и фазовые характеристики сейсмической записи сводятся к следующему.

2.3.1. Изменение динамических характеристик записи

Для ТМС типа SN (Sercel), I/O, Aries наклон датчиков (геофонов) измеряется в отклонении измеренного значения сигнала на выходе от эталонного в процентах. Допустимые значения Tilt по требованиям различных Заказчиков могут достигать 10-15%, но менее 7,5% никто не устанавливает.

Из исследований влияния наклона одиночного стандартного геофона на величину искажений регистрируемых колебаний [3] следует, что при угле наклона в 50 градусов мы можем регис-

трировать волну, но при угле наклона в 55 градусов и выше отмечается резкое сокращение амплитуды (рис.9).



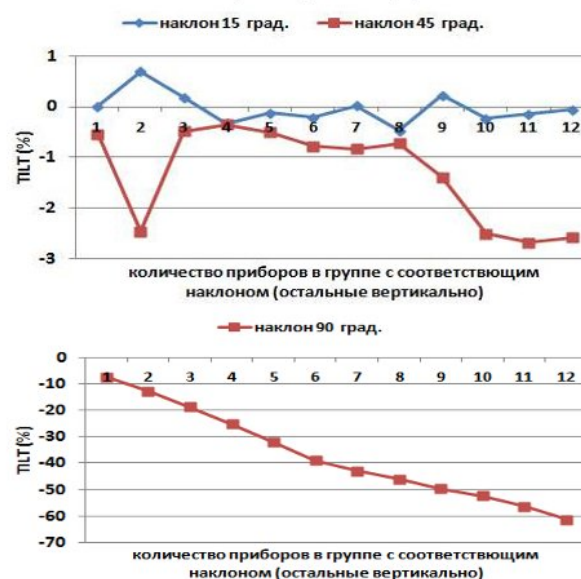
▲ Рис. 9. Запись сигнала геофонами с углами наклона от 45 до 65 градусов.

В аналогичных с рассматриваемым проектом поверхностных и климатических условиях выполнена проверка влияния угла наклона геофонов GS-20DX в различном положении от вертикали и количестве в группе (рис.10).

Фактически, с учетом почти повсеместного группирования сейсмоприемников, для 12-ти геофонов на канал даже угол



▲ Рис. 10. Измерения Tilt (%) от разнонаклоненных приборов в группе.



▲ Рис. 11. Диаграммы Tilt (%) в зависимости от количества геофонов в группе с соответствующим наклоном. Осредненные значения по 4-м группам с одинаково установленными приемниками.

наклона в 45 град. всех приборов не является критическим (Tilt не более $\pm 3\%$). Но 2 горизонтально лежащих прибора уже дают высокие искажения (Tilt = 12%) (рис.11).

Трассы от групп приемников с Tilt более 20% действительно должна относиться к забракованным каналам. Точные данные о наклоне приемников отсутствуют в заголовках и корректное восстановление амплитуды сигнала невозможно. В случае работы с цифровыми акселерометрами ситуация совершенно иная.

Наличие внутри каждого прибора GAC инклинометра, фиксирующего угол наклона приемника каждые 2 минуты и записывающего измерения в заголовки трасс сейсмограмм, позволяют компенсировать искажение амплитуды вертикального смещения на этапе обработки данных.

WesternGeco устанавливает допустимое значение по углу наклона 45°, при котором сигнал не имеет значимых искажений.

Атрибутивный анализ трасс ПП с углами наклона более 20 градусов и

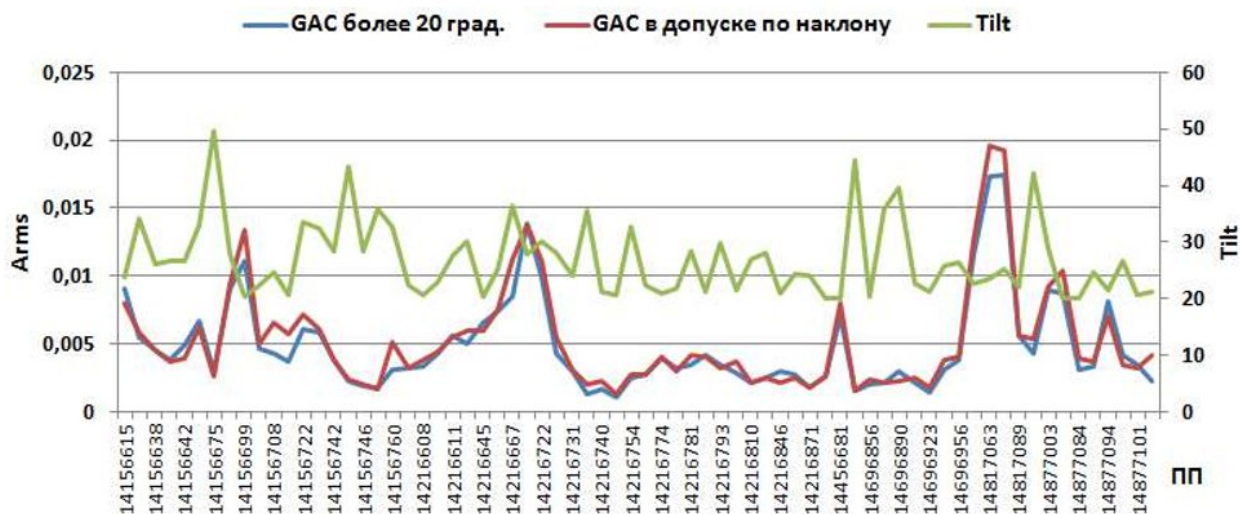
после их переустановки в близкое к вертикальному положению, записанных от нескольких соседних пар ПВ, а так же сравнение формы записи сигналов на соседних ПП от одного взрыва с различными углами наклона приемников, свидетельствуют о следующем.

Из диаграмм на рис.12,13 следует, что выполняется корректировка амплитуд трасс после ввода поправки за наклон до значений близких для субвертикального положения приемников.

Коррекция амплитуд за наклон иногда приводит к увеличению разницы среднеквадратичных амплитуд трасс, что, вероятно, объясняется некомпенсированными различиями в условиях приема (рис.14).

2.3.2. Влияние наклона датчиков на форму сигнала (фазовые характеристики)

Конструкция акселерометра GAC подразумевает возможность его работы в горизонтальном положении для регистрации горизонтальных компонент. Т.е. никакой наклон не приведет к искажению фазы сигнала за счет трения катушки о корпус или иных причин.



▲ Рис. 12. Графики распределения по ПП Tilt (град.) и среднеквадратической амплитуды. Arms в первом приближении (не учтены изменения энергии в зависимости от удалений В-П) приведены к одному уровню за разные условия возбуждения через коэфф. = Arms 1-го ПВ в окне полезного сигнала/ Arms 2-го ПВ в окне полезного сигнала.



▲ Рис. 13. Графики распределения по ПП Armsc учетом поправочного коэффициента - $1/\cos(\text{rad})$ для ПП с углом наклона датчика >20 (желтый цвет), в графики с $\text{tilt} < 20^\circ$ поправки не вводились (красный цвет).

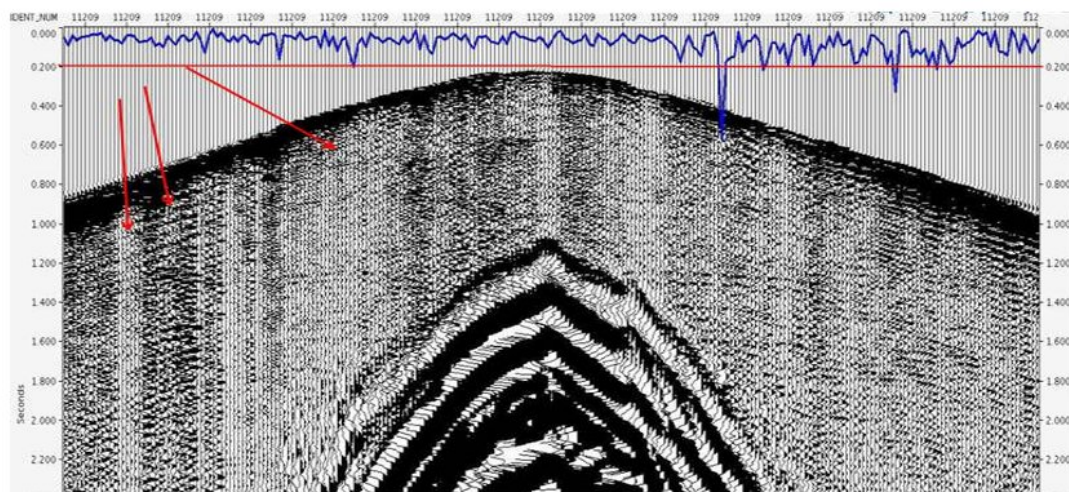
Это заключение подтверждается сравнением трасс с допустимым и с поправками за наклон более 20 град. (рис.15).

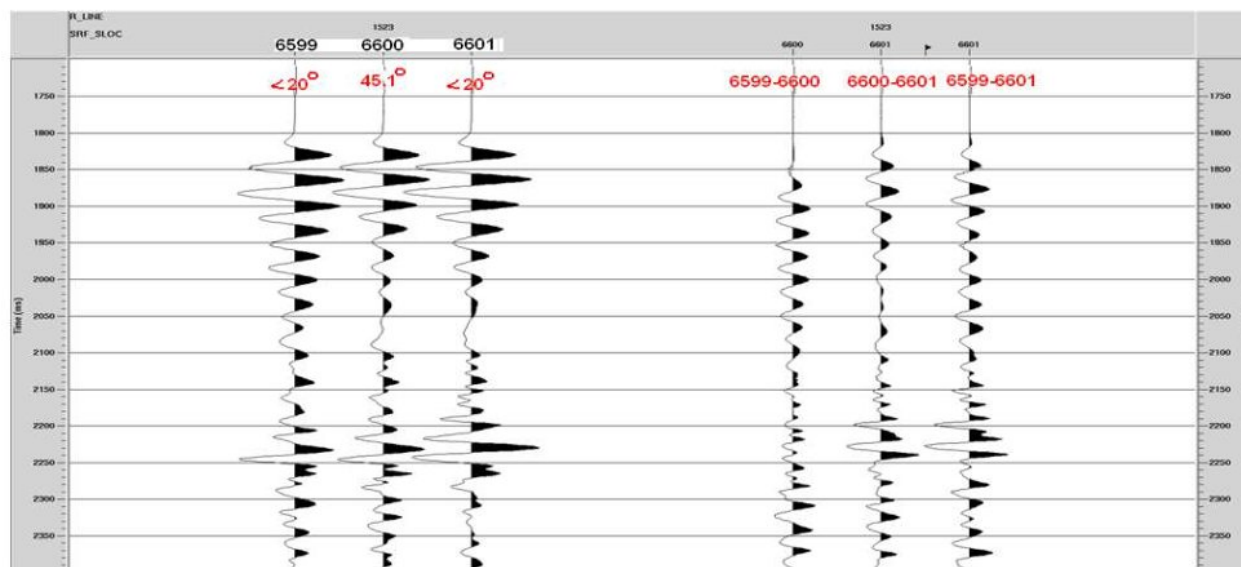
Для трасс в предположительно одинаковых условиях приема с различным отклонением от вертикали датчиков (до 45°) в области первых вступлений и целевом временном интервале не выявлены подвижки сигнала во времени и изменения его формы, значимые для

результатов обработки. Различия в форме трасс с наклоном менее 20 град. могут быть более существенными, чем разница трасс с большими наклонами (сравнение 6-й с 4,5-й трассами на рис.15).

Об этом же свидетельствуют и примеры формы ФАК подряд идущих каналов, намного больше непохожие (амплитуды и положения центрального и побочных экстремумов) для наклонов в 5 и 10 град,

▼ Рис. 14. Изменение формы записи сейсмотрасс в зависимости от поверхностных условий приема. Влияние наклона приемников (синий график, $\text{Tilt} \cdot 0,01$ на шкале слева) на этом фоне ничтожно и не поддается количественной оценке.





▲ Рис. 15. Соседние трассы с коррекцией за угол наклона и результат их вычитания друг из друга.

чем в сравнении 50 и 10 град. (рис.16).

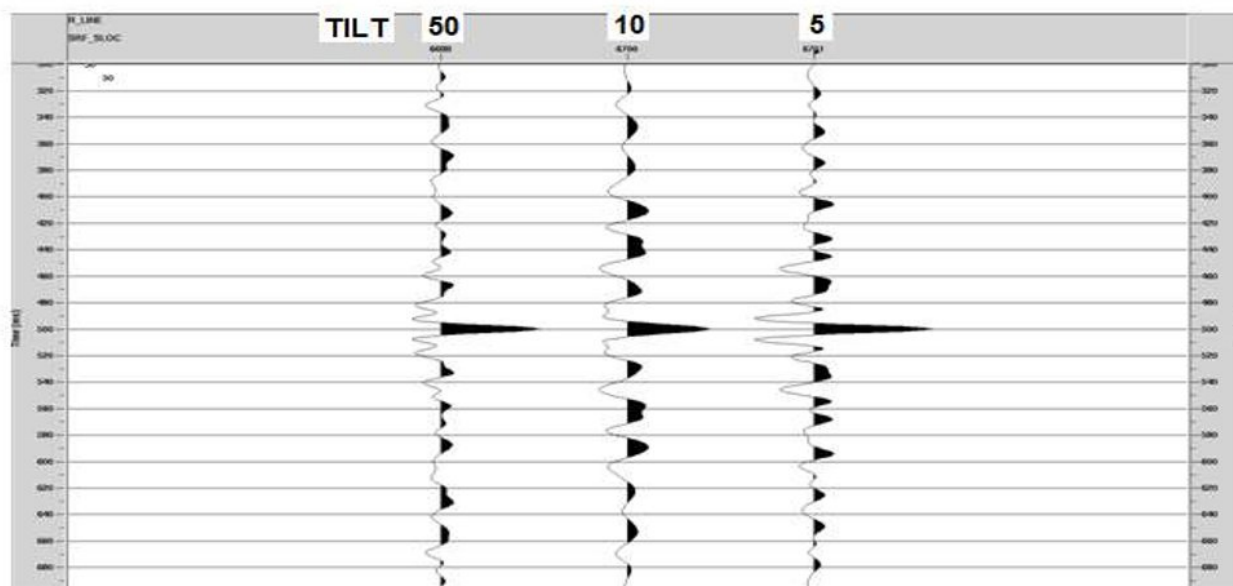
2.33. Выводы, касающиеся влияния наклона приемников GAC на качество данных

По результатам анализа учета влияния угла наклона однокомпонентного датчика пункта приема системы UniQ акселерометра-сейсмоприемника (GAC) на сейсмическую запись можно сделать вывод, что амплитудные характеристики сейсмической записи в зависимости от различного угла наклона датчика изменяются незначительно и могут корректи-

роваться вводом поправочного коэффициента – $\text{Amp}/\cos(\text{rad})$. После коррекции амплитуд фазовый сдвиг или значимое изменение формы сигнала не наблюдается при углах наклона, значительно превышающих 30 градусов.

Таким образом, критическим углом наклона GAC можно считать угол 45 градусов, выше которого на вертикальную компоненту отраженного сигнала возможно наложение горизонтальной компоненты обменной волны или волн-помех.

▼ Рис. 16. ФАК по соседним трассам с различными Tilt.



На основании принятых Заказчиком вышеизложенных аргументов, с одной стороны, и согласованного увеличения лимита некондиционных по наклону трасс с 2-х до 4-х % (в связи с 5 кратным увеличением плотности ПП в сравнении с традиционной сейсморазведкой 3D), с другой стороны, из 2134 предварительно забракованных Супервайзером ф.н. 65% по результатам окончательной приемки было признано кондиционным.

Заключение

Современный уровень развития сейсморазведочных работ 3D с огромным количеством активных каналов требует пересмотра некоторых положений и допусков устаревших инструкций Заказчиков по технологии и оценке качества данных.

Отличительными особенностями супервайзерского сопровождения сейсморазведочных работ в рассматриваемом проекте явились:

- бессмысленные с точки зрения повышения качества данных требования максимального приближения приемников ГАС к вешкам ПП;
- бесполезные перебуры взрывных скважин без оптимизации параметров возбуждения;
- приемка материала по формализованным, в определенном смысле атрибутивным критериям (S/N), без действительного анализа качества и, как следствие, переотработка вполне кондиционных сейсмограмм;
- массовая забраковка ф.н. по наклону датчиков, обусловленная только стремлением к буквальному и безусловному соблюдению необоснованных требований, не везде адекватно «настроенных» под уникальное и специфическое геофизическое оборудование.

Все эти усилия супервайзерской службы, совместно с неудовлетворительной организацией работ Исполнителем (проблемы с запуском UniQ, недостатки транспорта и персонала) привели к

рекордно низкому времени непосредственно регистрации данных -17%. Понятно, что необходимо бороться за культуру производства, но следует разделять действительно важные проблемы и мелкие недочеты, не влияющие на результат, иначе можно парализовать любые работы в любой сейсморазведке.

Разумеется, инициатива оптимизации технологических параметров, корректировки различных критериев и допусков – прерогатива Исполнителя, как стороны, в первую очередь, заинтересованной в повышении производительности работ. Но ответственность за своевременное выполнение геологического задания лежит на всех участниках процесса, включая и Заказчика (лицензионные обязательства, планы ГРП и пр.), представленного на полевом этапе геофизиками-супервайзерами.

Поэтому логичным представляется участие в производственном процессе «контролеров» не только в рамках выполнения надзорных функций, но и в формировании консолидированных предложений по повышению эффективности производства без ущерба качеству полевого материала.

Выбор супервайзера должен определяться не его рыночной или тендерной стоимостью, а квалификацией, опытом и способностью выполнять свои функции в эффективном взаимодействии с исполнителем работ.

Литература

1. Требования заказчиков к технологии и производству сейсморазведочных работ.
2. Производственный отчет ОАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» о выполнении сейсморазведочных работ 3D с использованием оборудования UniQ.
3. Field Measurements of the Distortion Resulting from the Use of Tilted Geophones T. Dean* (WesternGeco), P. Claasen (WesternGeco) & B. McCarthy, (WesternGeco).
4. Формирование требований к геометрии сейсмической съемки 3D. Е.В. Варенков (НПЦ «Геосейсконтроль», г. Москва).